



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE EFECTOR FINAL DE PERFORACIÓN Y DISPENSADOR DE SEMILLAS PARA ROVER

AGRICULTOR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21711166 NOHELIA CRUZ SERRANO

ASESOR: JOSÉ LUIS ORDOÑEZ

CAMPUS: SAN PEDRO SULA; ENERO, 2021

DEDICATORIA

Dedicado primeramente a Dios por que "todo viene de ti y todo vuelve a ti" quien ha sido mi luz y mi guía en momentos de angustia y quien me ha dado sabiduría y encaminado a culminar un sueño más, sin ti nada sería posible.

A mis padres Laura Serrano y Noel Cruz mis pilares y apoyos incondicionales a lo largo de toda mi vida, su sacrificio me ha llevado hasta aquí y me ha formado y convertido en lo que ahora soy.

AGRADECIMIENTO

En agradecimiento a Dios, mi pilar, que con paciencia y amor moldeó mi carácter en lo personal y lo profesional y lo sigue haciendo hasta el día de hoy. Que en su palabra siempre me dio consuelo y ánimo cuando mis fuerzas decaían y cuando mi espíritu no sentía seguir. Que en todo momento dispuso en mi camino de grandiosas personas que tendieron su mano en los momentos de angustia. Gracias, mi Dios, porque “vas delante y detrás de mí, pones tu mano de bendición sobre mi cabeza”.

A mi madre, porque con ella todo es más fácil, mi consuelo y mi ayuda. Sus oraciones llegaron hasta mí y con amor y paciencia me has formado y has sido pieza clave en mi desarrollo. En tus brazos siempre encuentro refugio. A mi padre que me apoyó en todo momento, sin duda esto no habría sido posible sin su ayuda y sus consejos me mantuvieron firme en el camino. Gracias a ambos que han sido parte de mi formación y mis logros, deseando enorgullecer con un logro más.

A mi familia por sus oraciones, apoyo y motivación. A Claudia por motivarme y siempre sacar lo mejor de mí con una sonrisa. A Rafael su apoyo fue clave en este proceso, estaré infinitamente agradecida. A mis hermanos que siempre creyeron en mí.

A mis compañeros, Pamela por siempre creer en mí aun cuando yo no creía en mí misma y darme una palabra de aliento cuando más lo necesitaba, gracias por ser una amiga paciente e incondicional. Shawn, por aguantarme y siempre ayudarme pacientemente. Y todos aquellos que en algún momento fueron cruciales en mi vida académica e hicieron de esta experiencia más confortable.

A mis amigas por siempre creer en mí y apoyarme y ser parte de mi formación durante todo este tiempo.

A mi asesor metodológico, el Ing. José Luis Ordoñez por su contribución al desarrollo de la presente investigación.

EPÍGRAFE

*"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la
voluntad"*

— Albert Einstein

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se expone el diseño mecánico y fabricación de un prototipo de efector final para rovers aplicable en el sector agrícola, su función permite perforar un agujero de 4cm en terrenos llanos sobre suelos cohesivos y granulares a una profundidad de 4cm. Así mismo cuenta con un dispensador de semillas cuyo diseño y funcionamiento se verifico mediante pruebas realizadas con semillas de frijol. Para el desarrollo del modelo se utiliza la metodología de diseño de ingeniería, que está destinada a la elaboración de sistemas complejos o simples siguiendo 7 etapas de procedimiento lógico y retroalimentado. El estudio comienza con el diseño de prototipos en Solidworks y pruebas de funcionamiento para el mecanismo de perforación obteniendo como resultado un mecanismo tipo taladro con una herramienta de acero al manganeso y acero HSS resistente a una fuerza a la compresión de 60N ejercida por el suelo. La profundidad de la herramienta se logra con la ayuda de un actuador lineal con un estiramiento de 4cm y la operación de perforación se realiza en un tiempo estimado de 24 segundos. Luego se diseña el dispensador de semillas el cual se monta sobre el mecanismo de taladro para lograr mayor cohesión en el diseño, consiste en un sistema con elementos de tolva, con una capacidad de 256 gramos de frijoles y un rodillo diseñado de acuerdo con las dimensiones de la semilla en muestra, ambos fabricados de material PLA. Su funcionamiento se basa en que las semillas ubicadas en la tolva se movilizan a través del giro del rodillo hasta el ducto dispensador, inclinado a un ángulo de 20 grados, donde caerán por gravedad logrando una trayectoria adecuada de las semillas en dirección al agujero. Las pruebas de validación demostraron que un máximo de tres semillas de frijoles cae a través del ducto y la precisión varía de acuerdo con el tamaño de la semilla. Ambos mecanismos se diseñaron eligiendo actuadores abiertos a un control automatizado de sus funciones además su estructura es desmontable lo que permite ser adaptado a otras estructuras móviles. Se concluye que los efectores finales para tareas específicas en el área agrícola de siembra son una alternativa para la robótica aplicada en la automatización de estos procesos enfocándose en la siembra individualizada y precisa, logrando agilizar y aumentar el rendimiento de estos.

Palabras claves- Efector final, mecanismo, actuadores, siembra individualizada.

ABSTRACT

In the present work the mechanical design and manufacture of a prototype of final effector for rovers applicable in the agricultural sector is exposed, its function allows to drill a hole of 4cm in flat soils on cohesive and granular soils to a depth of 4cm. It also has a seed dispenser whose design and operation are verified by tests carried out with bean seeds. For the development of the model the engineering design methodology is used, which is intended for the elaboration of complex or simple systems following 7 stages of logical and feedback procedure. The study begins with prototype design in Solidworks and operational tests for the drilling mechanism resulting in a drill-like mechanism with a manganese steel tool and HSS steel resistant to a 60N compression force exerted on the ground. The depth of the tool is achieved with the help of a linear actuator with a stretch of 4cm and the drilling operation is performed in an estimated time of 24 seconds. Then the seed dispenser is designed which is mounted on the drill mechanism to achieve greater cohesion in the design, consists of a system with hopper elements, with a capacity of 256 grams of beans and a roller designed according to the dimensions of the sample seed, both made of PLA material. Its operation is based on the seeds located in the hopper being mobilized through the rotation of the roller to the dispenser duct, inclined at an angle of 20 degrees, where they will fall by gravity achieving an adequate path of the seeds in the direction of the hole. Validation tests showed that up to three bean seeds fall through the duct and the accuracy varies according to the size of the seed. Both mechanisms were designed by choosing actuators open to an automated control of their functions in addition its structure is removable allowing it to be adapted to other mobile structures. It is concluded that the final effectors for specific tasks in the agricultural area of sowing are an alternative for the robotics applied in the automation of these processes focusing on the individualized and precise sowing, achieving to accelerate and increase the yield of these.

Keywords- Final effector, mechanism, actuators, individualized seeding.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción	1
Capítulo II. Planteamiento del Problema	4
2.1 Precedentes Del Problema	4
2.2 Definición Del Problema	4
2.3 Justificación	5
2.4 Preguntas De Investigación	6
2.5 Objetivos	6
2.5.1 Objetivo General	6
2.5.2 Objetivos Específicos	6
Capitulo III. Marco Teórico	7
3.1 Intensificación de la Agricultura	7
3.1.1 Preparación de la Tierra	7
3.1.2 Minimización de los Procesos en la Balanza	7
3.1.3 Evolución Tecnológica de la Agricultura	8
3.1.4 Las necesidades de introducir tecnología en la agricultura	10
3.1.5 Modelos de transferencia de tecnología para agricultores	10
3.1.6 Tipos de Siembra	11
3.2 Sistemas Mecatrónicos en los procesos de siembra	12
3.2.1 Automatización de maquinaria agrícola y sus aplicaciones mecatrónicas.	12
3.2.2 Agricultura de Precisión	13
3.2.3 Robots Agricultores	14
3.2.4 Análisis de accidentes laborales con maquinaria agrícola.	14
3.2.5 Drones	15
3.2.6 Tecnologías de redes	16
3.2.7 Sistema de manejo agrícola basado en Big Data	16
3.2.8 Agricultura Inteligente	17
3.2.9 Clasificación de efectores finales según su aplicación en el sector agrícola	18

3.3	Enfoque de estudios pasados _____	20
3.3.1	Integración de sistema defector final de siembra en un robot agricultor _____	20
3.3.2	Sistema de tasa de siembra variable _____	26
3.3.3	Aplicación de microcontroladores en la agricultura _____	27
3.3.4	Estado de tensión-deformación y fatiga del cuerpo de trabajo _____	28
3.4	Beneficios de los sistemas mecatrónicos agrícolas para ADSS _____	28
3.4.1	planificación de misión _____	29
3.4.2	Planificación de rutas _____	31
3.5	Resumen del enfoque de estudio _____	32
Capitulo IV. Metodología _____		34
4.1	Enfoque _____	34
4.2	Variables de la Investigación _____	34
4.3	Técnicas e Instrumentos Utilizados _____	35
4.4	Materiales _____	35
4.4.1	Efactor Final de Siembra. _____	35
4.5	Metodología de Estudio _____	37
4.5.1	Confrontación _____	38
4.5.2	Formulación del problema _____	39
4.5.3	Conceptos de Diseño _____	41
4.5.4	Mecanismo de taladro _____	42
4.5.5	Árbol de Producto _____	42
4.5.6	Síntesis o ingeniería de detalle _____	43
4.5.7	Modelo Analizable _____	43
4.5.8	Experimentación, análisis y optimización _____	44
4.5.9	Presentación _____	44
4.6	Cronograma _____	44
Capitulo V. Resultados y Análisis _____		46
5.1	Análisis del marco teórico _____	46

5.2	Pasos de la metodología	47
5.2.1	Diseño MECÁNICO DEL efector final	51

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1-Modelos de transferencia tecnológica	11
Figura 2- Tipos de accidentes provocados en el entorno agrícola.	15
Figura 3- Accidentes provocados por maquinaria agrícola.	15
Figura 4-Mapa de ruta tecnológica.	17
Figura 5-Características de sembradoras disponibles comercialmente.	19
Figura 6-Estructura de los subsistemas de una tarea en un robot agricultor.	21
Figura 7-Efactor final con husillo motorizado para robot de mecanizado de piezas.	25
Figura 8-Variables de investigación.	35
Figura 9-Pasos de la metodología de ingeniería de diseño.	38
Figura 10-Árbol de producto de efector final de siembra.	43
Figura 11-Cronograma de Actividades	45
Figura 12-Diagrama de Gantt	45
Figura 13-Pistón y mecanismo de taladro en una posición coaxial entre sí.	48
Figura 14-Pistón con acople paralelo a un costado.	48
Figura 15-Soporte para mecanismo de taladro	49
Figura 16- Etapas de tiempos y movimientos del efector final de siembra.	50
Figura 17-Dimensiones de Rodillo	52
Figura 18-Pruebas de estrés del rodillo	52
Figura 19-Deformación y desplazamiento del rodillo	53
Figura 20- Capacidad de Tolva en función de sus dimensiones	53
Figura 21.Dimensiones de la tolva	54
Figura 22-Dimensiones de Housing	55
Figura 23-Sistema dispensador de semillas	55
Figura 24.Análisis de elemento finito para la herramienta de taladro	57
Figura 25-Soporte de Base	58
Figura 26.Análisis finito del soporte de base	58
Figura 27-Contraste entre efector final de mecanizado y de siembra	59
Figura 28.Grafico de desplazamiento lineal del pistón	59
Figura 29.Grafica de torque del taladro	60
Figura 30.Grafica de velocidad del actuador lineal	60

Figura 31-Desplazamiento angular de la semilla hasta su salida del dispensador. _____	61
Figura 32-Magnitud de velocidad angular de la semilla _____	62
Figura 33-Velocidad angular en el eje x. _____	62
Figura 34-Semilla cayendo del sistema _____	63
Figura 35-Ducto de semillas con diámetro de 4cm _____	65
Figura 36-Ducto de semillas _____	65
Figura 37-Profundidad de agujero de 4cm. _____	66
Figura 38-Porcentaje de precisión del dispensador de semillas. _____	67
Figura 39-Modificación de boquilla _____	69
Figura 40-Ensamble de efector final sobre rover _____	69
Figura 41- Ensamble de efector final vista lateral. _____	70
Figura 42-Prototipo final _____	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Clasificación de tecnología de redes según su topología de conexión _____	16
Tabla 2-Viabilidad técnica de los robots. _____	21
Tabla 3-Distintos tipos de plantas y distancias de siembra. _____	24
Tabla 4-Características de actuador lineal _____	36
Tabla 5-Especificaciones de taladro. _____	36
Tabla 6-Especificaciones motor stepper _____	37
Tabla 7- Matriz de Especificaciones _____	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Plano del Prototipo	83
------------------------------	----

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El futuro próximo de la agricultura apuntando hacia 11.200 millones de personas en años próximos, dentro de las condiciones actuales del mundo con menos tierras, recursos y cambios climáticos exige a este sector mayor eficiencia y sustentabilidad productiva. A raíz de esto los métodos agrícolas tradicionales y obsoletos que aún se ejecutan en este sector deben ser arraigados quitando el concepto de un hombre labrando la tierra o conduciendo un tractor. El sistema productivo actual puede revolucionar implementado la robótica y la inteligencia artificial. En este sentido con el propósito de brindar un panorama más claro sobre el uso de la robótica y los mecanismos a través de los cuales los robots cumplen su finalidad en este sector. A través de una revisión bibliográfica para afianzar conceptos se desarrolla un mecanismo de efector final de taladro para efectuar agujeros y un dispensador de semillas, demostrando su funcionalidad a partir de pruebas realizadas del dispositivo adaptado a un rover, así mismo se confirma que el aparato perfora agujeros y dispense semillas sobre terrenos llanos.

La presente investigación se compone de varios capítulos para mayor comprensión del desarrollo de la tesis. A continuación, se brinda un resumen introductorio sobre cada capítulo a examinar en el progreso del proyecto hasta los resultados finales.

Capitulo II. En esta sección se prevé un panorama sobre el conflicto que rodea la temática de los métodos de siembra en los procesos agrícolas, siendo aún muy rudimentarios y forzosos para el agricultor. Así se establecen los precedentes, la definición y la justificación del problema, de esta manera se sustenta el objetivo de la investigación

Capitulo III. Este capítulo se construye del marco teórico donde se recolecta los conceptos o conocimientos básicos para el desarrollo del proyecto. Se plantea la evolución de las técnicas existentes en los procesos agrícolas para la siembra, las tecnologías emergentes aplicables al sector y soluciones mecatrónicas que automaticen estos procesos. Así mismo se recaban modelos o diseños que inspiraron el prototipo final.

Capitulo IV. En este capítulo se plantea la metodología de investigación aplicada para el desarrollo del prototipo siguiendo una secuencia lógica, ordenada y descriptiva de sus etapas, se presenta el enfoque de la investigación, las variables independientes que afectan el

resultado final del prototipo, los materiales para su fabricación y las opciones en diseño hasta lograr un diseño final.

Capítulo V. Aquí se consideran los aportes del marco teórico que sustentan el diseño del prototipo, así también se exponen las etapas que comprenden la metodología desarrollando a mayor detalle el proceso que conlleva el desarrollo del proyecto. La teoría propuesta se pone en práctica para obtener resultados que validen el funcionamiento y propósito de este.

Capítulo VI. Capítulo de conclusiones se proveen las conclusiones obtenidas de acuerdo con los resultados y delimitados con los objetivos de la investigación.

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planteamiento del problema en una investigación son las razones, secuelas y pronósticos de la temática abordada que ayudan a la comprensión del objetivo de dicha indagación.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La industria agrícola tiene sus inicios con la siembra de semillas de manera manual, progresando al uso de herramientas de hierro o mecanismos para la labranza de la tierra y siembra de semillas, en donde era imprescindible la intervención humana para la manipulación de estos. Desde entonces el sector agrícola ha evolucionado introduciendo al proceso maquinaria refinada desde tractores a mecanismos menos rudimentarios y consigo métodos que facilitan el proceso de siembra y encamina a reducir la participación humana y hacer de estos artefactos de siembra más rentables. (Sunitha et al., 2017).

Los métodos para colocar semillas se logran con equipos mecánicamente impulsados y que suelen ser máquinas de una sola operación, por lo que el proceso de labranza y siembra se realiza en varias pasadas, que en muchos casos se considera agronómicamente injustificado. La cantidad de pasos dada a la tierra provoca sequía lo que implica mayores gastos en recursos y demoras para preparar la tierra (Mirzaev et al., 2019).

Según Magomedov et al., (2020) "En la actualidad, la agricultura depende de nuevos aparatos y utiliza la ingeniería y las ciencias físicas y biológicas. La implicación de la nueva tecnología en la agricultura proporciona un rendimiento mucho mayor y optimiza el flujo de trabajo". El proceso de siembra de la agricultura demanda mejoras tecnológicas en los artefactos de siembra en la medida que la población crezca, obligando a este sector con la ayuda de la ingeniería a desarrollar nuevos utensilios para la práctica de la siembra, artefactos multifuncionales o combinados, adaptables que pueden ser operados por dispositivos tecnológicos autónomos como por ejemplo un robot, poco a poco esta práctica desplaza al ser humano en esta labor.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la agricultura como es conocido la tierra requiere ser labrada para proceder a la siembra, dicho proceso en la agricultura tradicional si es realizada manualmente requiere que el

sembrador se auxilie de una herramienta que labre la tierra previa a colocar la semilla. Si por el contrario tanto la labranza como la siembra son realizados por dispositivos mecánicos de cualquier tipo, comúnmente se observa que estas dos operaciones son realizadas en dos rutinas distintas, un paso para la labranza y otro para la siembra. Esto es debido a que los mecanismos de herramientas utilizados suelen ser uni-operacionales y por consecuencia hacen el proceso de agricultura más laborioso alargando las horas de trabajo, incrementando la cantidad de máquinas necesarias y consigo costos, además de las sequias intensivas causadas a la tierra (Igamberdiyev et al., 2020).

Estos inconvenientes en el tipo de herramienta o mecanismo utilizado en el sector agrícola necesitan ser estudiado para lograr el desarrollo en diseño y fabricación de mecanismos más eficientes en comparación con los ya existentes, orientándolo hacia la creación de dispositivos adaptables para ser operados por autómatas(robots) y potenciar el desarrollo de maquinaria agrícola de precisión.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Los procesos de la agricultura convencional presentan deficiencia en cuanto a las técnicas de arado y siembra, pues se siguen realizando de manera artesanal haciendo uso de herramientas de trabajo manuales y rudimentarias que exigen mayor esfuerzo físico de los trabajadores y en consecuencia un desgaste en la salud de estos (Ospina-Bayona et al., 2019). Las condiciones de la tierra dificultan el proceso de siembra incrementando los tiempos de trabajo y el periodo de espera para la siega, lo que representa un problema para la alta demanda en el sector alimenticio.

Por otra parte, la agricultura moderna con maquinaria especializada suele incluir dispositivos con una sola funcionalidad lo que significa que el proceso para preparar la tierra toma más de una pasada y provoca erosión en la tierra y consigo mayor consumo de recursos (Ravshanov et al., 2020). En vista de las deficiencias en las técnicas de agricultura artesanal y aun los problemas presentados en la agricultura moderna, el propósito de la presente investigación es el desarrollo de mecanismos de siembra que reduzcan el esfuerzo físico de los trabajadores y automaticen el proceso rustico de la siembra en Honduras. El desarrollo de la investigación está enfocada a demostrar el impacto positivo que la implementación de tecnologías emergentes representa en el sector agrícola.

Mediante la implementación de artefactos novedosos el objetivo es aumentar la productividad en la siembra, reducir el desperdicio en semillas, el desgaste de la tierra y agilizar los procesos de arado y siembra al reducir cantidad de pasadas.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué mecanismos se adecuan más para un mayor control al dispensar semillas y mayor precisión al labrar la tierra?
- ¿Qué impacto muestra un diseño portable y electromecánico en la plantación de precisión?
- ¿Se asegura la profundidad de perforación con el mecanismo perforador?
- ¿El diseño del dispensador satisface la necesidad de tener la capacidad de controlar la disposición espacial y la ubicación de semillas dentro del agujero?

2.5 OBJETIVOS

El objetivo de investigación es el fin propuesto a alcanzar con la investigación y que rige los parámetros de esta. A continuación, se presenta el objetivo global y los objetivos más concretos.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño y fabricación de efector final de siembra y labranza que disminuya la intervención manual en el campo y automatice el proceso de siembra en la agricultura.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Lograr que la profundidad de siembre sea de un máximo de 4cm para una germinación correcta de semillas de frijol.
- Implementar actuadores eléctricos para la generación de movimiento en los mecanismos de siembra.
- Diseñar y fabricar un mecanismo de taladro para la perforación de los agujeros y un dispensador de semillas de rodillo, ambos mecanismos accionados mediante elementos motrices.
- Lograr que el diseño del dispensador se adecue a una trayectoria correcta, considerando que las semillas caen por gravedad.

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizará la evolución tecnológica en los procesos agrícolas y las técnicas de siembra, así como el impacto de las tecnologías emergentes del área de mecatrónica aplicadas a este sector con el objetivo de visualizar una agricultura sostenible.

3.1 INTENSIFICACIÓN DE LA AGRICULTURA

Para el 2050, se estima que el crecimiento poblacional alcanzara aproximadamente 9.1 billones, lo que representa 34% más de la población actual. Para alimentar este crecimiento masivo la producción de alimentos debe incrementar en un 70% (Vasconez et al., 2019).

3.1.1 PREPARACIÓN DE LA TIERRA

La tierra es un subsistema dentro de un sistema más complejo, la biogeocenosis (Kokieva et al., 2020). Al ser un sistema dinámico abierto está sujeto a la migración del flujo de elementos que pasan a través de él y por ende es el resultado de la interacción entre factores de formación del mismo suelo y el ambiente en el que se desarrolla.

En el sector agrícola debido a los procesos de siembra la tierra se ve en frecuente contacto con equipos de operación móviles usados para arar la tierra y demás tareas. Este método agro técnico es el menos amigable con el ambiente y el más costoso debido a las maquinas tecnológicas que se utilizan. Los procesos de intensificación de la agricultura han llegado al punto de saturar la tierra con tecnología que recorre la tierra de 10 a 15 veces (Kokieva et al., 2020) para cumplir con los procesos de cultivos, ocasionando erosión y compactación del suelo que a largo plazo repercute en un bajo rendimiento de este, la vida de microorganismos se reduce, fertilidad del suelo disminuye y la productividad en los cultivos empeora.

Según la tarea que se ejerza en el proceso de labranza será la interacción y el degrado que sufrirá la tierra debido al contacto entre sí. Según estudios realizados se ha determinado que el grado de destrucción por los procesos de arado fluctúa en un 35 a 60% y es esta operación de procesar la tierra la más intensiva en energía y la más importante en la agricultura ya que de ella depende la eficiencia en el uso de los recursos del suelo y la cantidad de pasadas de la maquinaria pesada (Petunina & Rudnev, 2020).

3.1.2 MINIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA BALANZA

En la producción de cultivos de campo, la operación de varios robots que comparten la misma tarea es inevitable en dos escenarios. El primer escenario implica una tasa de producción

relativamente bajo para un solo sistema de robot autónomo en comparación con la tasa de producción de la tarea deseada, o la existencia de una ventana de tiempo en la cual completar la tarea en el área total antes de algún plazo impuesto (condiciones climáticas y estacionales, pronóstico de lluvia, máximo madurez aceptable del producto, requisitos del mercado, etc.) El segundo escenario implica el requisito de diferentes tipos sistemas de robots autónomos para realizar varias subtareas en el mismo espacio al mismo tiempo. En agricultura, el segundo escenario de ingeniería de biosistemas es común ya que muchos tipos de operaciones de campo requieren que dos o más vehículos se realicen correctamente (Bechar & Vigneault, 2017).

La minimización de los procesos de labranza está orientada a la aplicación de máquinas o mecanismos que sean multi-operacionales, realizando de ser posible todas las operaciones de labrado, siembra y fertilizar en una sola pasada por la tierra. Una sola pasada reduce el impacto del incremento de densidad en la superficie del suelo debido a la presión generada por los tractores (que recientemente han presentado un incremento de 3 veces más la cantidad de peso por unidad de área) como los de ruedas que alcanzan entre 85 y 165 kPa o los tractores caterpillar que alcanzan entre 60y 80kPa (Kokieva et al., 2020) cuando el peso permisible por área es de 0.4 a 0.5kg/cm² sin embargo los tractores ejercen una presión de 3 a 4 kg/cm². Por otra parte, el proceso de labranza desde un punto de vista económico es el proceso de mayor costo representando el 40% en consumo de energía y el 25% de los costos totales laborales en el cultivo (Solodun & Zaitsev, 2019)

La minimización más allá de un ahorro económico conlleva el balance ecológico en los sistemas de la agricultura y el desarrollo tecnológico opta por mejoras en maquinaria que potencien la conservación del suelo u opciones que no involucren tractores pesados sino sistemas más compactos en cuanto a peso y tamaño como robots agricultores.

3.1.3 EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA AGRICULTURA

Con el continuo desarrollo de la sociedad, la ciencia y la tecnología, lo tradicional y tosco en la gestión del cultivo de plantación manual ya no se utiliza en el desarrollo de la agricultura moderna. En cambio, se ha implementado un modelo de información digital para la gestión agrícola. A pesar de que la elección de la tecnología agrícola es afectada en cierta medida porque existen diferencias en la naturaleza de la tecnología, el comportamiento de los agricultores al elegir tecnología agrícola, y las características de los propios agricultores, su

importancia no ha disminuido. Al mismo tiempo, el análisis de factores que afectan la adopción de tecnología por los agricultores y problemas en la extensión de la tecnología agrícola han profundizado aún más la comprensión de la gente sobre la importancia de las aplicaciones tecnológicas agrícolas (Yu et al., 2020).

3.1.3.1 Agricultura 1.0

La agricultura 1.0 esta principalmente caracterizada por una productividad en un nivel bajo y controlado debido a que el ser humano usaba su fuerza para todas las labores que conlleva la agricultura, así como el uso de herramientas manuales simples (hoces y palas) y se auxiliaba de la fuerza de animales para operaciones más arduas como arar la tierra (Zhai et al., 2020).

3.1.3.2 Agricultura 2.0

Se da en el siglo 19 con la primera revolución industrial y el desarrollo de las maquinas a vapor. La introducción de maquinaria agrícola operada por el granjero manualmente y el uso de químicos fertilizantes, a pesar de que hubo un incremento considerable de la eficiencia y productividad en la agricultura con la facilidad de trabajo que ofrecían las innovaciones tecnológicas, consigo también trajo un excesivo consumo de energía por las maquinas que funcionaban a gasolina, una contaminación química en el campo de trabajo, destrucción del ambiente y desperdicio de recursos naturales (Zhai et al., 2020).

3.1.3.3 Agricultura 3.0

En el siglo 20 la invención de las computadoras y el desarrollo de la programación facilito la apertura a la creación de mecanismos multioperacionales autómatas con la capacidad de reemplazar al ser humano en ciertas operaciones de la vida diaria. El sector agrícola no fue la excepción al verse beneficiado con el rápido desarrollo de la electrónica y computación para aplicar estas técnicas robóticas en la mejora de su maquinaria y consigo realizar operaciones de manera inteligente y eficiente. La distribución de tareas redujo el uso de químicos y mejoro la precisión en los procesos como la irrigación y la siembra (Bechar & Vigneault, 2017; Sharda et al., 2018).

3.1.3.4 Agricultura 4.0

Esta nueva era de la agricultura presenta un nuevo concepto "la agricultura de precisión" cuyo objetivo es observar, medir y responder a la variabilidad del campo auxiliándose de la tecnología para el análisis de datos como el internet de las cosas, la inteligencia artificial, Big Data, Cloud Computing y el control de sensores remotos entre otros. Esta etapa provee mejorar

la eficiencia y mejorar la capacidad en toma de decisiones de las actividades agrícolas de manera significativa. Plataformas que documentan resultados que mejoran la calidad y la eficiencia en la producción, minimizan el impacto medioambiental y potencia el ahorro de recursos naturales. El análisis de datos provee a los agricultores de visiones predictivas en las operaciones del proceso y posibilita tomar decisiones en tiempo real de acuerdo con los resultados. Un enfoque que cumple de manera simultánea los objetivos en la producción y el ambiente(Charania & Li, 2020; Zhai et al., 2020).

3.1.4 LAS NECESIDADES DE INTRODUCIR TECNOLOGÍA EN LA AGRICULTURA

El crecimiento global y el cambio climático ha implicado una intensificación de la agricultura a lo largo de los últimos años, la necesidad de implementar nuevas tecnologías que garanticen un desarrollo sustentable para los procesos agrícolas paralelo a un uso razonable de los recursos naturales del medio es prioridad para incrementar el rendimiento y rentabilidad de los agricultores y reducir costos de producción.

Entre las innovaciones tecnológicas aplicables al área de agricultura tenemos los robots colaborativos, inteligencia artificial, GPS, sensores, el internet de las cosas entre otras. La aplicación de estas tecnologías emergentes a las áreas más vitales del proceso potencia la automatización y digitalización de procesos y consigo un control sostenible, el aumento de la tasa de producción, reducción de tiempo de trabajo y fácil acceso a la información y control de los sistemas (Dokin et al., 2017).

Cabe mencionar que para lograr un futuro prometedor para la agricultura inteligente es imprescindible admitir la conectividad, debido a que es uno de los principales impedimentos que limitan a los agricultores adoptar las innovaciones modernas. El internet de las cosas (IoT) es usada por grandes compañías agricultores y no hay conciencia por parte de los agricultores rurales de su existencia. Según un estudio reportado en los Estados Unidos se estima que solo el 68% de agricultores están familiarizados con el IoT (Mentsiev et al., 2020).

La complejidad y diversidad en la agricultura moderna exige nuevos accesorios de la ingeniería, así como el uso de las ciencias físicas y biológicas (Magomedov et al., 2020a). Todo para lograr el desarrollo de procedimientos, aparatos, mecanismos y esquemas organizacionales que alcancen rendimientos máximos.

3.1.4.1 Modelos de transferencia de tecnología para agricultores

Existen muchos modelos que describen el proceso mediante el cual los agricultores adoptan tecnologías, el siguiente diagrama muestra un modelo de transferencia de tecnología (ToT)

usado por las compañías agrícolas tradicionales (Modelo1) en el cual las tecnologías se producen por empresas dedicadas a dicho rubro de tecnología agrícola y se entregan productos tangibles a los agricultores. Este modelo ha predominado en los últimos años hasta que recientemente empresas agro-técnicas (Agtech) introducen un modelo destinado a la agricultura de precisión. La diferencia con este modelo es que estas compañías agtech transforman la información recolectada de los procesos agrícolas modernos y la convierten en productos o servicios que el mismo destinatario pueda utilizar como asesoramiento para toma de decisiones. Se enfocan en datos, conocimientos y servicios puede mostrar en tiempo la dinámica de los interés y las necesidades del agricultor orientándolo (Gras & Cáceres, 2020).

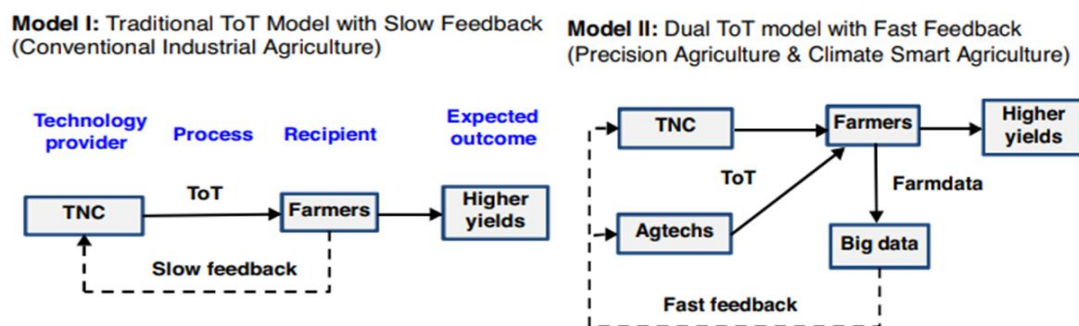


Figura 1-Modelos de transferencia tecnológica

Fuente:(Gras & Cáceres, 2020)

Un nuevo modo de extensión de tecnología agrícola implica la publicación de información técnica, la resolución de problemas técnicos de los agricultores en línea y la prestación de apoyo a la tecnología agrícola a través de nuevos medios, como las cuentas públicas de WeChat de tecnología agrícola y las aplicaciones de teléfonos móviles de extensión de tecnología agrícola (aplicaciones) (Gao et al., 2020).

3.1.5 TIPOS DE SIEMBRA

La siembra directa es una técnica que implica la colocación directa de semillas en un sitio para su germinación mediante medios manuales o auxiliándose de aparatos mecánicos para mayor rapidez (Souza & Engel, 2018).

La siembra directa manual se ha considerado una técnica simple, conveniente y económica que es fácilmente adoptada por los propietarios de parcelas pequeñas y medianas (Souza & Engel, 2018).

La siembra de precisión, como la siembra con sembradoras, es donde las semillas se colocan a una profundidad particular dentro del perfil del suelo en un espaciado particular en la superficie del suelo. La siembra de precisión puede entregar semillas con mayor exactitud en condiciones del suelo propicias para la germinación, emergencia y establecimiento, aumentando la eficiencia general del uso de semillas. La siembra de precisión asegura que las semillas estén cubiertas e incrustadas en el perfil del suelo, aumentando el contacto entre las semillas y el suelo y protegiendo las semillas de la depredación (Masarei et al., 2019). El cultivo de ciertas semillas, desde la siembra hasta el envasado, requiere mucho trabajo manual y aumenta el costo de producción. La siembra manual requiere un trabajo manual experimentado, para colocar la semilla a una profundidad y en una posición adecuada, así como la calidad de la siembra y de la semilla depende de una correcta germinación y desarrollo de la planta. El alto costo del proceso y la falta de disponibilidad de trabajadores manuales experimentados ha impulsado la creación de máquinas automáticas y semiautomáticas para este arduo trabajo. Sin embargo, su rendimiento está por debajo de los niveles de calidad que se obtienen a través de la siembra manual (Arteaga et al., 2020).

3.2 SISTEMAS MECATRÓNICOS EN LOS PROCESOS DE SIEMBRA

Aunque las operaciones agrícolas en el campo son complejas, diversas, intensivas en mano de obra y orientadas a los cultivos, la productividad agrícola ha aumentado de manera significativa y continua a lo largo de los siglos como resultado de la mecanización, la intensificación y, más recientemente, con la introducción de la automatización (Bechar & Vigneault, 2017).

Existe una gran cantidad de tecnologías emergentes en la agricultura industrial, cabe mencionar: agricultura de precisión, agricultura climáticamente inteligente, agricultura digital, agricultura inteligente, intensificación sostenible, agricultura 4.0 etc, (Zhai et al., 2020). En este capítulo se provee una visualización de las bases que definen los cambios tecnológicos para reacondicionar los principios de la agricultura industrial tradicional hacia un remedio viable en la perspectiva de lograr una agricultura productiva, eficiente adaptable y sostenible.

3.2.1 AUTOMATIZACIÓN DE MAQUINARIA AGRÍCOLA Y SUS APLICACIONES MECATRÓNICAS.

El segmento agrícola es una de las regiones clave para distinguir la cantidad de recursos obsoletos utilizados en los procesos. El campo se enfrenta a algunas cuestiones sobre cómo aumentar las ganancias, aumentar la productividad y reducir los costos. Desde la revolución industrial, las máquinas de integración continua han permitido la creciente popularidad de la

automatización intensiva generando mayor ganancia, ahorrando energía, materiales y exhibiendo excelencia y precisión.

La necesidad conduce a la implementación de tecnologías de la información al sector agrícola en la dirección del uso de microcontroladores, maquinas o sistemas de planeación y manejo. Actuadores mecánicos son dispositivos usados en el desarrollo de mecanismos construidos como ayuda en los procesos agrícolas, agro robots o maquinas que plantan, recolectan, aran o regeneran la tierra. Los sensores por su parte son vitales para la agricultura digitalizada e inteligente, recolectando, almacenando y procesando todo tipo de información censada sobre los aspectos ambientales que afectan el entorno del cultivo (Azeta et al., 2019).

La automatización mecánica se implementa a partir de sistemas que consisten en módulos de funciones, es decir ajustar parámetros a cumplir por el sistema como por ejemplo posicionamiento; control de operaciones específicas y módulos programados para asignar tareas al sistema; y el módulo de formulación que puede comparar y analizar en tiempo real la información procesada por el sistema para generar alarmas (Xiong et al., 2018). El uso de accionamientos hidráulicos y eléctricos en diseños de maquinarias agrícolas multifuncionales son frecuentados para controlar automáticamente los parámetros de la maquina dentro de los requerimientos agro técnicos, en tiempos de trabajo menores y con menor consumo de metales en su fabricación sin disminuir su calidad de desempeño en el campo (Igamberdiyev et al., 2020).

3.2.2 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Agricultura de precisión es un concepto que abarca los enfoques relacionados con el internet de las cosas para mantener el control y exactitud de la agricultura. Su alcance se enfoca en decisiones hechas para cada parte del proceso como un elemento individual y no como un todo, es por eso que provee el cuidado preciso y una extraordinaria exactitud a través de máquinas agro técnicas para los agricultores utilicen los procesos más efectivos y selectivos para la atención de sus cultivos (Mentsiev et al., 2020).

Este sistema tecnológico de agricultura de precisión se ha perfeccionado en las bases de varias áreas tecnológicas y de las ciencias entre ellas mencionamos la tecnología de información para agronomía, ciencias de la tierra, protección de plantas, ciencia de los recursos y el medioambiente, monitoreo automático y equipo inteligente para generar mapas de distribución de rendimiento de los cultivos, manejo de base de datos del cultivo y modelos de

simulaciones del crecimiento y desarrollo de los mismos, además de un asesoramiento de decisiones para los agricultores (Xiong et al., 2018). Muchos aspectos de la AP han sido adoptados rápida y extensamente como el GNSS, mientras otros se han quedado estancados ya sea por razones económicas o técnicas, sin duda AP es una estrategia de información electrónica para orientarnos a acciones específicas que generen mayor eficiencia.

3.2.3 ROBOTS AGRICULTORES

La NSF (National Science Foundation) promueve iniciativas para la investigación de la próxima generación de robots colaborativos (co-robots) que trabajan con socios humanos. Un co-robot debe ser capaz de cooperar con personas en una variedad de aplicaciones, como compañeros de trabajo, co-habitantes, co-exploradores y co-defensores. De acuerdo con esta visión, los co-robots se convertirán en compañeros útiles para las personas en sus actividades diarias y se encontrarán en hogares, escuelas, hospitales, fábricas, minas y granjas (Vasconez et al., 2019). Los robots agricultores son aparatos mecánicos con sistemas artificiales inteligentes, programados para trabajar sensiblemente en ambientes externos en la tierra. Los robots recolectores de frutas, los tractores / rociadores sin conductor y las desmalezadoras están ahora diseñados para reducir el trabajo humano. La robótica se respalda de los distintos biosistemas que comprenden la mecatrónica, para su funcionamiento; los robots agricultores operan bajo tecnologías de autoviraje para trasladarse a lo largo del campo (Magomedov et al., 2020). Esta tecnología es utilizada en Agricultura de precisión para automatizar vehículos, así se reducen costos de combustible, sobreuso de químicos y errores hechos por el ser humano. Estas técnicas de navegación pueden ser varias entre ellas navegación especializada con odómetro, basada en visión, GPS, basada en sensores, en mapas, inercial etc; y cuyas aplicaciones varían según la tarea asignada : colocación de semillas, riego robótico, mapeo de semillas, exploración de cultivos, control de malezas, microaspersión entre otras (Dutta et al., 2019).

El grado de autonomía que estos sistemas sinérgicos pueden lograr depende de estrategias de iniciativa que faciliten la interacción humano-robot de tal manera que humanos y robots pueden interceder cuando sea necesario a la hora de operar en el proceso (Benos et al., 2020). La aplicación de robots en la agricultura es rentable, siempre que sustituya al menos a dos empleados con su depreciación total durante más de tres años. (Dokin et al., 2017).

3.2.4 ANÁLISIS DE ACCIDENTES LABORALES CON MAQUINARIA AGRÍCOLA.

La variedad de accidentes en el entorno agrícola y circunstancias en las que un ser humano

puede lesionarse es amplio. Accidentes como resbalones, caídas y La pérdida de control de la máquina suele ocurrir en aplicaciones agrícolas. Los lugares de trabajo más habituales en los que los accidentes se producen son corrales y campos. Además, la labranza agrícola y las operaciones de cosecha tienen tasas de accidentes más altas, seguidas de los trabajos de mantenimiento y reparación (Vasconez et al., 2019).

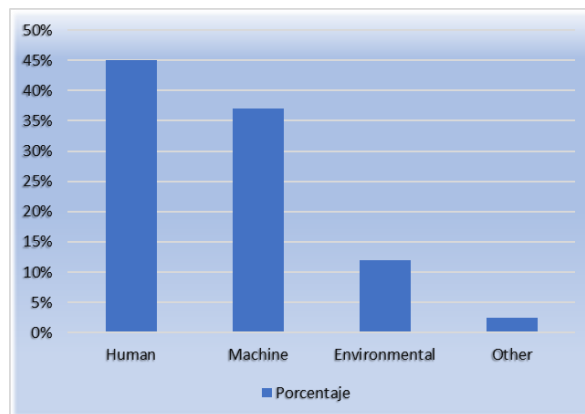


Figura 2- Tipos de accidentes provocados en el entorno agrícola.

Fuente: (Vasconez et al., 2019).

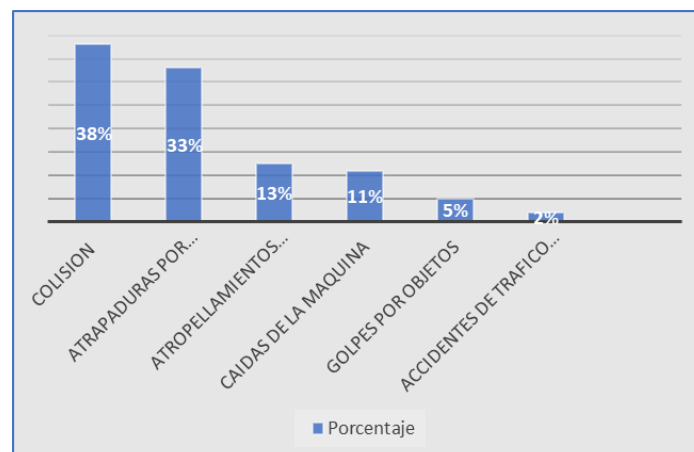


Figura 3- Accidentes provocados por maquinaria agrícola.

Fuente: (Vasconez et al., 2019).

3.2.5 DRONES

Los drones aéreos en la agricultura a través de su tecnología pueden recolectar imágenes visuales, térmicas y multiespectrales las cuales se utilizan para análisis de campo, evaluación de la tierra y de la salud de los cultivos, rociar cultivos, monitoreo e irrigación. Con esta información recolectada los agricultores evalúan el drenaje o estanque de agua del campo, la presión de las malezas, se dan informes de exploración y otras aplicaciones (Mentsiev et al., 2020). Los drones pueden clasificarse como semiautónomos, autónomos o enjambres

dependiendo del nivel de automatización. El tipo de nave de vuelo es un importante criterio de selección del diseño; los ejemplos incluyen naves de ala fija para aplicaciones que requieren alta velocidad y "multi-rotocopters" de tipo helicóptero (Vasconez et al., 2019).

3.2.6 TECNOLOGÍAS DE REDES

Hay muchos tipos diferentes de opciones de conexión inalámbrica y cableada disponibles, cada una con una variedad de rangos, ancho de banda y topologías. Estas tecnologías se pueden agrupar según su topología y organizarse adicionalmente por su rango.

Lo que hace que estos dispositivos sean valiosos no es la recopilación de datos, sino la transmisión de esos datos. Las señales de los sensores a menudo deben comunicarse a través de una red a otras ubicaciones para su agregación y análisis. Las tecnologías de redes han progresado rápidamente con aumentos significativos en el ancho de banda y el alcance, al tiempo que reducen el consumo y el costo de energía (Charania & Li, 2020).

Tabla 1- Clasificación de tecnología de redes según su topología de conexión

Topología	Conexión Estrella	Conexión Malla
Tecnologías	PAN	Wifi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave
	USB, Bluetooth, Zigbee	
	LAN	
	Ethernet, Wifi	
	WAN	
	NB-IoT, loRA, Suffox	

Fuente: (Charania & Li, 2020).

3.2.7 SISTEMA DE MANEJO AGRÍCOLA BASADO EN BIG DATA

Las principales funciones del sistema son las siguientes: Monitoreo de datos del entorno de plantación, el sistema de información recopila y analiza los datos de los sensores recopilados en cada parcela, y analiza y procesa los parámetros recopilados en tiempo real; alerta temprana de siembra, se establecen umbrales de varios datos de sensores en el sistema para recibir alerta en caso de que se exceda el límite del umbral; videovigilancia de plantación; las imágenes de videovigilancia de las parcelas se pueden visualizar en tiempo real con equipos de video. Gestión de equipos, a través del sistema de información, se puede monitorear el estado actual de funcionamiento de todos los equipos de automatización y se puede controlar y administrar la automatización de manera remota; consulta de datos, los datos se pueden consultar, examinar y filtrar por número de parcela, variedad de plantación, etc.; Análisis de plantación, se lleva a cabo un análisis comparativo de los datos de plantación obtenidos para lograr una

plantación científica y rentable y aumentar el rendimiento y la calidad de la plantación; tabular estadísticas, las estadísticas se presentan en forma de informe(Li, 2020).

3.2.8 AGRICULTURA INTELIGENTE

La agricultura inteligente se refiere a la adopción de un modelo de gestión científico y refinado. La tecnología de la información se utiliza en el proceso de producción agrícola para lograr el desarrollo sostenible y la trazabilidad de los productos agrícolas que podrían satisfacer la demanda de los consumidores de seguridad alimentaria. Un sistema inteligente de trazabilidad de la calidad y la gestión de la siembra de cultivos, recopila principalmente información sobre las tierras agrícolas, información sobre la gestión del campo e información ambiental durante la siembra de cultivos, y el procesamiento y circulación de productos agrícolas para proporcionar orientación científica sobre la gestión de la siembra de las tierras agrícolas, lo que puede mejorar la productividad agrícola y reducir la contaminación por metal del suelo y garantizar la calidad y seguridad de los productos agrícolas(Yang & Sun, 2019).

Muchos modelos de agricultura inteligente, como el mostrado en la figura inferior, pueden trazarse para desarrollar un sistema del manejo de cultivos apropiado que dé seguimiento en tiempo real desde los momentos de inicio del proceso de cultivo hasta el momento que el producto llega a manos del consumidor.

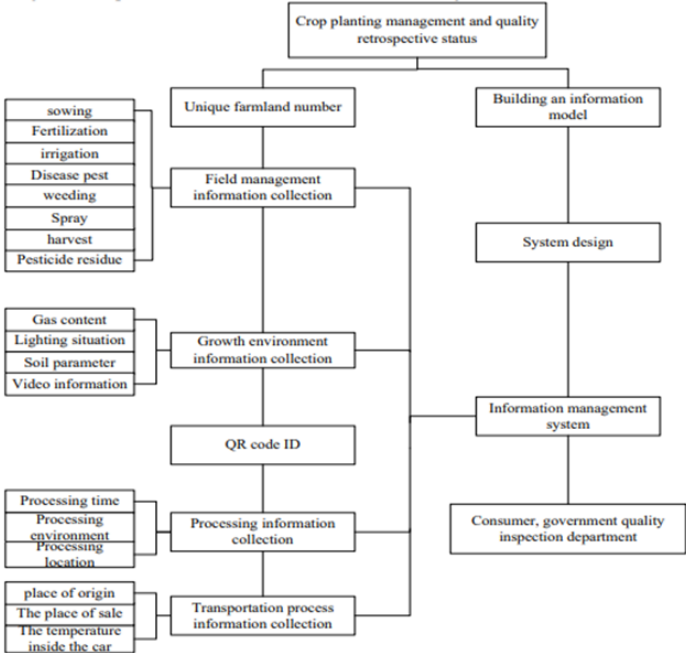


Figura 4-Mapa de ruta tecnológica.

Fuente: (Yang & Sun, 2019).

Todas estas emergencias tecnológicas y las no mencionadas anteriormente coinciden entre sí y trabajan dependiente una de la otra como parte de un sistema mayor, por lo tanto, para maximizar el rendimiento del sistema es necesario un correcto uso de la tecnología, ya que si una parte falla el resto se verá afectado (Magomedov et al., 2020b).

3.2.9 CLASIFICACIÓN DE EFECTORES FINALES SEGÚN SU APLICACIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA

Un robot agricultor está conformado por tres estructuras principales: el equipo de locomoción, la estructura manipuladora y el efector final. Cada uno cumple una función importante para lograr el objetivo final, el equipo de locomoción se encarga de trasladar la estructura manipuladora y al efector final a su área de destino para que a través del manipulador el efector final tenga acceso directo al área de trabajo y realice su función asignada. La diferencia entre un robot agricultor y otro se aprecia según el tipo de subsistema mecatrónico de pinza (efector final) que tenga; para sembrar, cosechar, quitar maleza etc., (Morar et al., 2020). En esta sección contemplamos la clasificación de los efectores finales utilizados en la robótica de agricultura según la aplicación para la que se destina.

3.2.9.1 Efector final de cosecha.

Para los robots de cosecha el efector final tiene la función de tomar la fruta del tallo y depositarla en un reservorio. Existen efectores finales de cosecha accionados por compresión los cuales abarcan una gran área de contacto entre sus dedos, pero su desventaja es no tener la habilidad de transmitir movimientos con estos, un ejemplo se ve en los efectores que hacen vibrar el tronco de un árbol para dejar caer la fruta. Otro tipo se refleja en los efectores de precisión, los cuales disponen de unas pinzas o dedos que pueden agarrar la fruta individualmente (Morar et al., 2020).

3.2.9.2 Efector final de siembra: Abre surcos y perforadores de tipo disco.

Los abre surcos de púas crean un surco a medida que se empujan a través del suelo, después de lo cual la semilla y el fertilizante se colocan en el surco a profundidades separadas. El mayor riesgo de las sembradoras con abre surcos de púas es que los residuos no anclados, y particularmente húmedos, obstruyen la sembradora. Los abre surcos de discos, por su parte, causan menos alteraciones superficiales del suelo que los abre surcos de púas y, por lo tanto, pueden conservar mejor la estructura del suelo y la actividad biológica. Los abre surcos de dientes y discos utilizan diferentes mecanismos para plantar semillas a través de residuos (Swanepoel et al., 2019).

3.2.9.3 Dispositivo de dispersión de precisión.

La descarga incontrolable de las semillas desde el dispositivo dosificador de semillas provoca el fenómeno de balanceo, rebote y colisión en el trayecto de caída hasta el choque con el suelo, esto provoca destrucción del flujo uniforme de las semillas, lo que resulta en una siembra deficiente y que afecte el proceso de emergencia de la semilla y su crecimiento posterior (Xi et al., 2020). La colocación de semillas convencional se realiza a una profundidad constante, en la parte inferior de una capa de suelo suelta poco profunda y por encima de una capa de suelo más compactada.

Un análisis comparativo de las características de diseño entre dos sembradoras de siembra comerciales, mostradas en la figura de abajo, demostró que ambas opciones tienen las siguientes desventajas: limitación de la velocidad máxima de siembra, presencia de un impacto oblicuo en el fondo del surco e inversión de semillas, distribución desigual de semillas en la fila, y la completa falta de capacidad para controlar el proceso de siembra después de que las semillas caen del disco (Zubrilina et al., 2019).

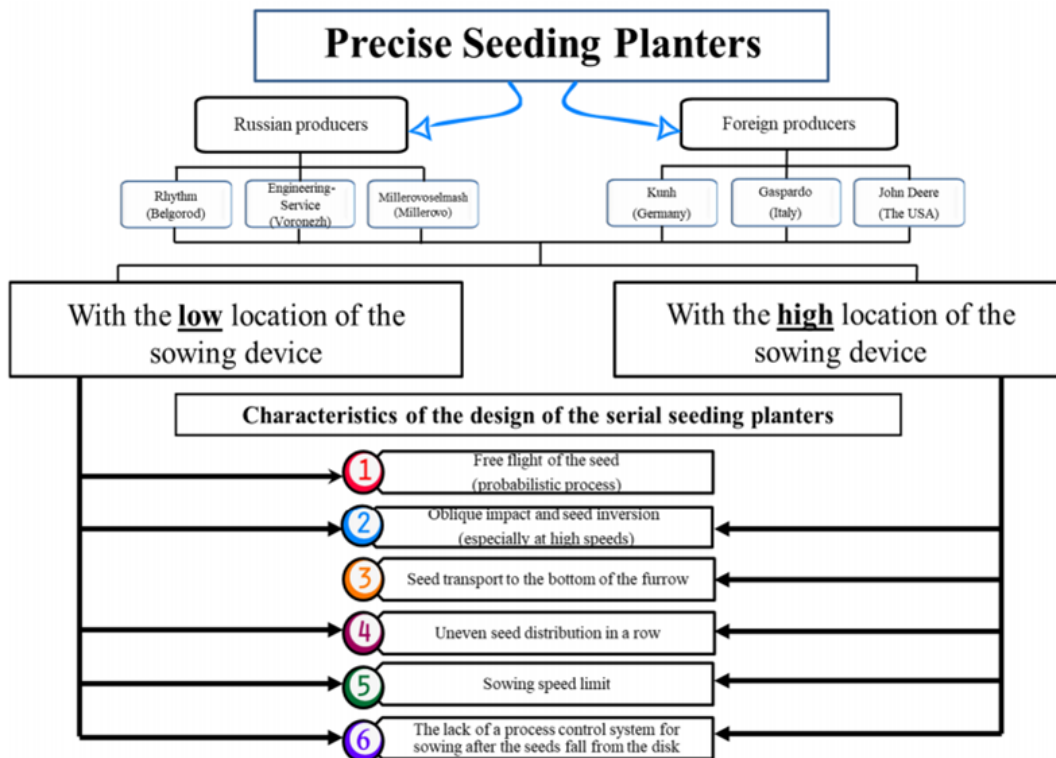


Figura 5- Características de sembradoras disponibles comercialmente.

Fuente: (Zubrilina et al., 2019).

Estudios realizados a varias unidades de sembradoras de hileras comerciales basados en la evaluación de su capacidad de seleccionar una sola semilla demostraron que: ninguna de las

plantadoras examinadas pudo mantener la exactitud de selección de semillas dentro del 5% a medida que la velocidad de siembra aumentaba; asimismo todas las plantadoras podían lograr un 95% de precisión bajo ciertas condiciones- principalmente cuando operaban a una velocidad baja; a medida que aumenta la velocidad de siembra, la precisión tiende a disminuir, y; la precisión del espaciamiento de las semillas en el surco podría describirse como al azar en las condiciones de estas pruebas, aunque había diferencias entre las máquinas estudiadas (Iacomi & Popescu, 2015)

3.3 ENFOQUE DE ESTUDIOS PASADOS

3.3.1 INTEGRACIÓN DE SISTEMA DE EFECTOR FINAL DE SIEMBRA EN UN ROBOT AGRICULTOR

Las funcionalidades de un robot pueden variar dependiendo de las finalidades de la tarea que se quiere realizar y así las habilidades para cumplirlas incluyen: navegación y orientación, sistemas de trasplantes de plantas, poda, control de malezas, cosechas, seguimiento de enfermedades, trazabilidad o incluso la interacción entre varios robots. Comúnmente la orientación y navegación en un robot puede considerarse un componente básico en la automatización de la agricultura; y es eminente su importancia para la movilidad de un artefacto como un robot, sin embargo su aporte en todo el sistema puede considerarse como una tarea principal, por ejemplo cuando se requiere transportar cultivo del campo a la estación de empaque; o bien puede ser una tarea de apoyo para el rociado del campo (Bechar & Vigneault, 2017) o en el caso especial de este estudio para movilizar los efectores finales de siembra.

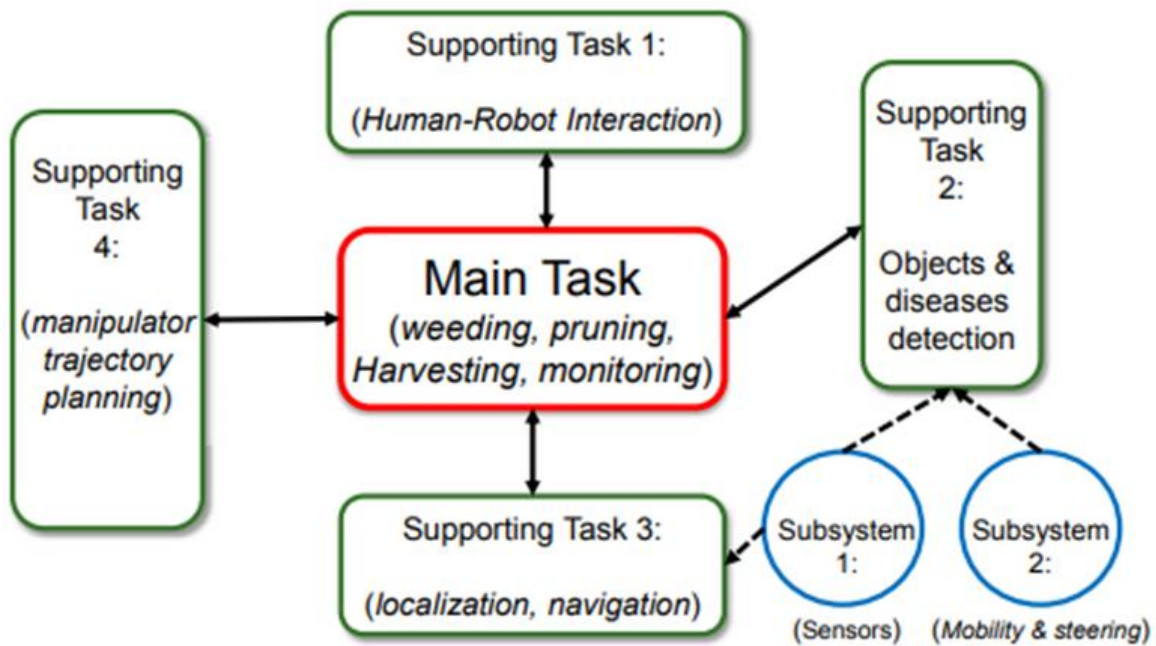


Figura 6-Estructura de los subsistemas de una tarea en un robot agricultor.

Fuente: (Bechar & Vigneault, 2016).

En la **Tabla 2** se presenta un resumen de viabilidad técnica de robots agrícolas para cultivos, tareas y habilidades. El esfuerzo del autor Bechar & Vigneault, (2016) de investigación se refleja en la medición del número de artículos relacionados con su estudio para lograr clasificar los datos ,recopilando artículos publicados en las últimas tres décadas utilizando una búsqueda de Scopus.

Tabla 2-Viabilidad técnica de los robots.

Categoría	Tipo (cantidad de artículos)
Cultivo	Cítrico (193)
	Manzana (363)
	Tomate (176)
	Chile (73)
	Pepino (66)
	Fresa (31)
	Melones y sandías (46)
	Arroz (186)
Tarea agrícola	Trasplantación y siembra (255)
	Protección de la planta y control de maleza (326)
Tareas de Apoyo	Cosecha (302)
	Corte de frutas y vegetales (125)
	Interacción multirobot(60)

Fuente: (Bechar & Vigneault, 2016)

La sembradora de semillas ha sido ampliamente desarrollada por varios proveedores en la industria de tecnología agrícola. Muchos dispositivos dosificadores de semillas se han desarrollado en países de acuerdo con diferencias en los métodos de cultivo como, por ejemplo, las estaciones de cultivos, tierras agrícolas, cultura social. Los métodos de dispersión de semillas en plantaciones por filas, se han logrado con una variedad de métodos mecánicos que la mayoría de las veces involucran una rueda que gira haciendo contacto con el suelo, que además de sembrar, labra la tierra previamente (T Putra et al., 2020). Proporcionar energía mecánica a este tipo de sistemas para accionarlos serían viables, sin embargo, para este estudio, el enfoque se orienta más hacia la adaptación de sistemas de siembra y arado a un sistema mayor como lo es un robot agricultor, para lograr automatizar las fases en este proceso. Las máquinas de operación dúplex multifuncionales de alta eficiencia de trabajo se están promoviendo en una producción a gran escala (Xi et al., 2020). Sistemas que reduzcan la cantidad de pasadas que se dan en los procesos de siembra y minoricen los tiempos en cada una de las fases amplía la integración de mecanismos multifuncionales a sistemas operacionales como los robots.

En este proyecto se toman ciertas consideraciones en el diseño e implementación de estos dos mecanismos: un modelo orientado a la plantación de precisión, funcionamiento con accionamiento electromecánico y diseño adaptable, es decir que puede ser montado y desmontado de la estructura robótica. Se elige un sistema de accionamiento electromecánico para que adopte cierto dominio en las velocidades operativas y el concepto de control por unidad específica. El proceso funciona por requerimientos operacionales de transmisión de potencia para el punzonado y colocación de semillas; transmitir potencia al pistón para ejercer un movimiento vertical a la herramienta de perforación y suficiente potencia al motor de CC para generar un movimiento rotacional que genere una acción de rompimiento en la broca y penetre la tierra. Con respecto al dispensador un motor paso a paso es necesario para hacer que el mecanismo gire a cierto ángulo. La elección del controlador o microprocesador se ajusta a condiciones de costo y funcionabilidad.

Entre las ventajas de integrar mecanismos operativos a un agribot se dedujeron las siguientes: El costo es bajo en comparación con otros vehículos multi-operacionales; La multitarea, la siembra y la fertilización se realizan simultáneamente; reduce las labores debido a la automatización; reduce el consumo de tiempo; el equipo es flexible para un fácil montaje y

desmontaje en la estructura de soporte (Bechar & Vigneault, 2016; Benos et al., 2020; Magomedov et al., 2020b; Morar et al., 2020; Xiong et al., 2018).

La perforación precisa de la tierra y el espaciamiento continuo de las semillas reducirá el desperdicio de semillas y hará un mejor uso del campo.

3.3.1.1 Mecanismos de dispersión de semilla.

La siembra de precisión de una sola semilla es una nueva forma que podría hacer que las plantas se distribuyan de manera uniforme, reducir la competencia entre los individuos y alcanzar el máximo potencial de producción de una sola planta (Zhang et al., 2020). Los dispositivos dosificadores de semillas accionados mecánicamente actualmente realizan su función de manera eficiente y son una buena solución al problema de dosificación a medida que se planta la semilla, pero hay muchas deficiencias que podrían mejorarse con un cambio sustancial en el proceso de dosificación. Los dispositivos de dispersión de semillas controlados electrónicamente pueden abordar muchas de las ineficiencias experimentadas en un sistema impulsado mecánicamente y tienen el potencial de aumentar la productividad y las tasas de rendimiento en gran manera (Jeyakumar et al., 2020).

La incorporación de accionamientos electrónicos para un control más preciso en la colocación de semillas puede agregar las siguientes características al dispositivo de medición de semillas: Proporcionar una medición precisa de las tasas de semillas, reducir el tamaño total del dispositivo para adaptarlo a otras maquinarias de siembra y lograr su posición más cerca del suelo, eliminar componentes mecánicos, esto incluye el eje de accionamiento común que alimentaría una sección de unidades de fila, un motor de accionamiento hidráulico o el sistema de rueda motriz/piñón utilizado en tierra, que por lo general necesitan la intervención física del ser humano para impulsarse o para accionarse (Dutta et al., 2019; Jeyakumar et al., 2020; Sharda et al., 2018; Xi et al., 2020).

Esta investigación involucra el proceso de diseño, desarrollo y prueba de la viabilidad de un aparato utilizado para colocar con precisión semillas individuales en un surco durante la operación de plantación, con incorporación de accionamiento electrónico en el sistema.

3.3.1.2 Control del espacio.

La uniformidad del espaciamiento de semillas es un criterio importante en las pruebas de campo del rendimiento de la sembradora. Una distribución de semillas proporciona una tasa de distancia para cada planta y aumenta los rendimientos del campo agrícola debido a la

reducción de la competencia intraespecífica entre las plantas en crecimiento(T Putra et al., 2020).

Como se demuestra en la **Tabla 3** el tipo de semilla que se desea germinar se toma en consideración para asignar una distancia fija entre semilla y semilla.

Tabla 3-Distintos tipos de plantas y distancias de siembra.

Vegetales	Distancia entre plantas(cm)
Repollo	45
Maíz	15-25
Coliflor	45-60
Zanahoria	3-5
Cebolla	5-8

Fuente: (Jeyakumar et al., 2020).

Para el enfoque de esta investigación visualizamos que un sistema de control electrónico puede ajustar una tasa de siembra variable, dejando caer la semilla en el lugar específico y en el momento preciso donde se perforo el agujero, lo que reduce el desperdicio de semillas en este proceso y asegura la estricta colocación de la semilla. El sistema se vale de actuadores y de la misma gravedad para colocar la semilla.

3.3.1.3 Mecanismos de siembra por perforación.

La colocación de semillas a poca profundidad aumenta el riesgo de depredación por aves e insectos. Una ubicación demasiado profunda puede reducir la concentración de oxígeno, lo que aumenta el riesgo de roedores de semillas y el agotamiento de la energía de semillas almacenada antes de que la planta llegue a la superficie del suelo(Masarei et al., 2019). Es una tarea desafiante para las sembradoras lograr una colocación uniforme de la semilla a la profundidad óptima, debido a las variaciones en la resistencia del suelo que afectan la profundidad de la herramienta, lo que en consecuencia da como resultado variaciones en la profundidad de la herramienta(Kirkegaard Nielsen et al., 2018).

El efector final del robot es un dispositivo que está diseñado para completar una tarea específica y se instala en la brida final del robot, este se puede reemplazar de acuerdo con los requisitos de procesamiento. El efector final para un robot de mecanizado de precisión de piezas de alto rendimiento generalmente incluye un diseño que le permita realizar las

operaciones de fresado, rectificado y pulido. En este tipo de aplicaciones el efector se diseña de acuerdo con el husillo motorizado en donde ira la herramienta de corte y pueden ser estructuras coaxiales y no coaxiales. El efector final para un robot de mecanizado de estructura coaxial hace que las líneas centrales del eje motorizado y el sensor de fuerza del brazo robótico estén en el mismo eje, y el sensor de fuerza está conectado a la brida del robot. La estructura no coaxial es simple y fácil de ensamblar comparándola con la estructura coaxial. El dispositivo de sujeción del eje motorizado está montado en el lado de la brida del sensor, de modo que el baricentro de la herramienta final esté cerca de la brida del brazo mecánico. Puede reducir la longitud total de la herramienta final y mejorar la rigidez del brazo mecánico durante el procesamiento (Xie et al., 2018).

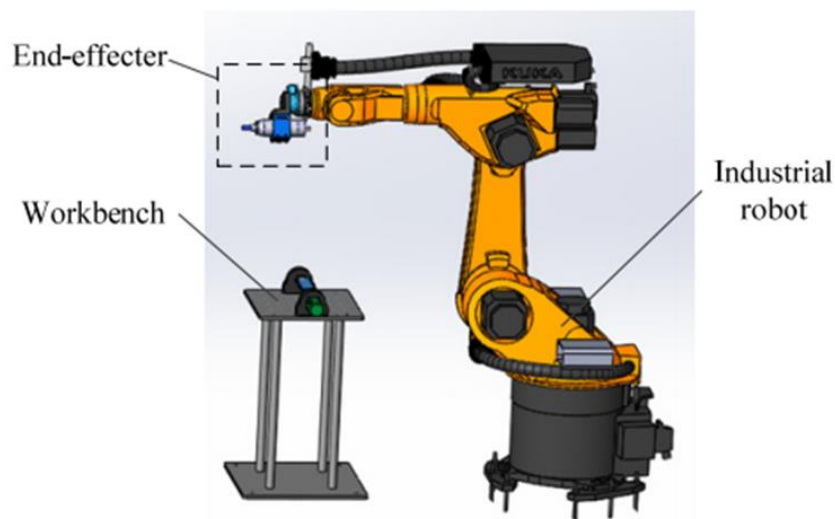


Figura 7-Efector final con husillo motorizado para robot de mecanizado de piezas.

Fuente: (Xie et al., 2018).

Se hace referencia a este tipo de efectores de brazos robóticos para mecanizados con la intención de proyectar una idea sobre el diseño en base a un husillo motorizado giratorio y a la permisibilidad de adaptación que tendrá el efector final para el robot agricultor, su funcionamiento mecánico trabaja bajo el mismo principio que el efector mencionado.

La mayoría de las plataformas robóticas son sobre ruedas (Morar et al., 2020) y en términos de la estructura del manipulador, la solución elegida es un mecanismo suspendido o un brazo fijo sobre el cual se monta los componentes del sistema de perforación: el pistón, el husillo motorizado y la herramienta de perforación. El desplazamiento en el eje vertical controla la profundidad del surco en la tierra y el diámetro de la herramienta determina así mismo el diámetro del agujero.

3.3.1.3.1 CRITERIO DE EVALUACIÓN: CONTROL DE PROFUNDIDAD DE SEMBRADO.

Es una tarea desafiante para las sembradoras lograr una colocación de semilla uniforme a la profundidad óptima, debido a variaciones en la resistencia del suelo afectando la profundidad del agujero, lo que en consecuencia da como resultado variaciones en la profundidad que alcanza la herramienta (Xi et al., 2020).

Es bien sabido que, para maximizar la posibilidad de establecimiento, las semillas deben colocarse en el perfil del suelo a una profundidad que no exceda aquella a la que pueden emerger las semillas (Masarei et al., 2019). Estudios han demostrado la importancia de una distribución de semillas uniforme y una profundidad de taladrado adecuada para maximizar la entrada de la semilla y la intercepción de la luz solar para optimizar su crecimiento (T Putra et al., 2020). Existe una necesidad en aplicar un control automatizado para controlar la profundidad de la herramienta y reducir las desviaciones no deseadas en la profundidad de esta.

En esta aplicación para el proyecto la profundidad se proporciona por el accionamiento del pistón. El pistón ejerce un desplazamiento vertical sobre la herramienta, que logra que alcance una profundidad de perforación específica.

3.3.2 SISTEMA DE TASA DE SIEMBRA VARIABLE

El equipo de precisión de tasa variable se utiliza para aplicar de forma variable preceptos a tareas específicas. Para esto el sistema necesita conocer información conveniente que le sirva para variar su reacción según la situación con la que se enfrente. Esta información proviene de distintos recursos como reportes creados de mapas, monitoreos de rendimiento o datos censados de manera remota (He et al., 2019).

Antes de la disponibilidad de unidades hidráulicas o eléctricas, los dosificadores de semillas eran propulsados mediante el impulso del mecanismo de disco de semillas que araba la tierra, la tasa de dispersión de las semillas dependía totalmente de la velocidad a la que el aparato giraba en la tierra. Los últimos modelos de sistemas de accionamiento de dosificadores han migrado de accionamientos hidráulicos a motores eléctricos, estos últimos suelen ser menos costosos, pero los accionamientos electrónicos suelen girar a menores velocidades debido al accionamiento directo de naturaleza del mecanismo. Las sembradoras de accionamiento eléctrico suelen utilizar motores paso a paso o un motor de CC con reducción de engranajes.

Con esta independencia entre el mecanismo transportador y el dispensador de semilla se logra que el control de la tasa de dispersión de semillas varíe según las exigencias del usuario y no con respecto a la velocidad de la estructura que lo traslada. Independientemente del enfoque, todos los sistemas de tasa variable de precisión requieren la recopilación de información precisa, la configuración adecuada de los sistemas de ubicación y guía, y la calibración del equipo utilizado para aplicar los tratamientos. El equipo hará lo que se le comunique, ya sea por prescripciones basadas en mapeos o por lecturas del sensor en tiempo real tomadas en campo(Sharda et al., 2018).

Este tipo de mecanismos por control electrónico es el enfoque del proyecto a realizar en donde el dispensador si bien sigue la trayectoria del agribot, su dispersión se dará solo si se cumplen ciertos parámetros dentro de la secuencia de operación. Mediante medios electrónicos, comandos de operación asignados en un microcontrolador, datos sensoriales y dispositivos mecánicos se controla la tasa de dispersión de un dispensador de semillas en tiempos o momentos específicos dictados por el usuario y que no dependen necesariamente del artefacto móvil sobre el cual va montado.

3.3.3 APLICACIÓN DE MICROCONTROLADORES EN LA AGRICULTURA

Hoy en día, atravesamos una época tecnológica con una cantidad enorme de recursos para agilizar, optimizar y mejorar el rendimiento en procesos agrícolas. Existen soluciones basadas en tecnología de microprocesador, a muy bajos costos, que pueden automatizar muchos procesos agrícolas y fortalecer la digitalización en este medio. La plataforma de microprocesador Arduino representa un tipo de constructor sobre el cual se pueden crear sistemas de control monitoreados y automatizados para diferentes fines y a diferentes escalas de complejidad, en el campo de la agricultura son muchas las ventajas que trae consigo (Devaraj et al., 2020).

El uso de estructuras y mecanismos basados en Arduino disminuye los arduos esfuerzos en realizar trabajos rutinarios y físicamente duros, dando un aspecto más atractivo y eficiente para el trabajo agrícola. La ejecución automática de ciertos procesos reduce la cantidad de inexactitudes y el agricultor actúa como un supervisor que evalúa los resultados de la labor en condiciones apropiadas. Los trabajadores en las instalaciones agrícolas no tienen la necesidad de recurrir a información de recursos abiertos, sino que sus análisis y toma de decisiones se basan en datos recolectados de sensores, los que también ayudan a ejecutar una acción mecánica dentro de una secuencia de operación(Titovskaya et al., 2019). El sistema de control

constituye la esencia intangible de la máquina que permite operar de manera coordinada el sistema (Arteaga et al., 2020).

En este proyecto el microprocesador Arduino se usa para controlar los dispositivos de accionamiento mecánico, para el dispensador de semillas un motor paso a paso y para el mecanismo de siembra un motor de CC y un pistón de 12V. Otras consideraciones como Fuente de voltaje para alimentación del Arduino se toman en cuenta y la alimentación de estos dispositivos eléctricos ya que operan con un voltaje de 12V, pero el controlador opera con 5 voltios. Las librerías ofrecidas por el paquete de Arduino IDE se usan como parte de la programación para el accionamiento de los motores.

3.3.4 ESTADO DE TENSION-DEFORMACIÓN Y FATIGA DEL CUERPO DE TRABAJO

Aplicaciones repetidas de cargas en los mecanismos de arado causan deterioro o destrucción en su estructura bajo niveles de estrés significativamente menores a los de su única carga. Con un gran número de cargas repetidas, la fractura por estrés se puede dar por debajo de la resistencia a la tracción y del límite elástico. La destrucción de piezas como resultado de la acción de un gran número de tensiones alternas es consecuencia de la fatiga del metal del cuerpo de trabajo de la unidad (Shindelov et al., 2020).

La técnica más apropiada para evaluar la vida en fatiga de un elemento y realizarle pruebas de deformación es auxiliándose de programas de diseño asistido por computadoras como SolidWorks CAD que provee de un panorama para pruebas de deformación a elementos finitos como lo es la broca de taladro que se utiliza en este proyecto. La deformación que sufre al estar expuesto ante fuerzas externas como la de la superficie de la tierra cuando perfora un agujero en ella ayudan a determinar una medida aproximada de la vida útil del material.

3.4 BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS MECATRÓNICOS AGRÍCOLAS PARA ADSS

Dentro de la etapa de agricultura 4.0 los datos recolectados de todas las áreas son procesados para proveer a los agricultores de un panorama más claro en cuanto a las decisiones que competen sus procesos. En este plano y debido a las dificultades de los agricultores de enfrentarse a tanta información y deducir conjeturas propias para aspectos decisivos en sus procesos, es que se desarrollan Sistemas de apoyo a las decisiones agrícolas. ADSS puede reducir la debilidad en la toma de decisiones humanas o las limitaciones cognitivas expandiendo la percepción del usuario que tome la decisión (Borisenko et al., 2019).

ADSS proviene de DSS (Decision Support System) el cual se aplica a cualquier sistema en donde se quiera facilitar el proceso de toma de decisiones. Este se puede dividir en los siguientes grupos de componentes, para cada uno de los cuales se pueden aplicar diversas soluciones técnicas y de software: Interfaz para interactividad y visualización; modelado, donde se pueden involucrar modelos numéricos, big data, registro distribuido, redes neuronales, modelos basados en la teoría de juegos, etc.; análisis de datos inteligente que cumpla con las tareas de organizar el flujo de datos, su presentación física y lógica en el sistema, trabajando con la base de dato; y entrono de creación de aplicaciones basadas en código prefabricado (Galchenko et al., 2020).

ADSS cubre muchas aplicaciones en la agricultura por mencionar algunas: manejo de recursos del agua, adaptación al cambio climático, control de desperdicio de alimentos y planificación de misión. Sobre esta última nos enfocaremos (Zhai et al., 2020); en la Agricultura de precisión el concepto se basa en medir, observar y responder a las variaciones del campo (Lundström & Lindblom, 2018). En este contexto veremos la importancia de tener una base sólida en el desarrollo robótico o maquinaria de la a agricultura 3.0 para comprometerse con la agricultura de precisión y lograr una intensificación sostenible de los grandes sistemas agrícolas.

3.4.1 PLANIFICACIÓN DE MISIÓN

Estudios realizados sobre ADSS en planificación de misión, se enfocan principalmente en dos aspectos: asignación de tareas y planificación de rutas. Con la primera se destaca que las tareas agrícolas deben ser asignadas a la maquinaria adecuada para ejecutarlas; una ruta planeada apropiadamente puede guiar la maquinaria rápida y precisamente a su destino donde realizara su tarea final (Zhai et al., 2020).

Para nuestro enfoque analizamos 4 sistemas de apoyos agrícolas (ADSS) dentro de la planificación de misión. Dos de ellos relacionados con la asignación de tareas: Sistema de soporte Agricolall y sistema de acción sensorial de múltiples robots y dos orientados hacia la planificación de rutas: ADSS para la planificación de rutas en campos sensibles al suelo y enfoque de toma de decisiones a bordo.

3.4.1.1 Asignación de tareas.

3.4.1.1.1 SISTEMA DE SOPORTE AGRÍCOLA (AGRISUPPORT II).

El objetivo de este sistema es proveer al agricultor con suficientes y adecuadas sugerencias para la toma de decisiones agrícolas entre ellas mencionamos: horarios de operación, costo de

operación, uso de recursos y análisis de rentabilidad. Existen factores por detrás del sistema de decisiones que deben reunirse o conocerse en la asignación de tareas como, por ejemplo, la cantidad de maquinaria agrícola disponible, la capacidad que tienen, la cantidad de tareas a realizar, entre otras. Por otra parte, deben de conocerse los tiempos en los que las actividades específicas de sembrar, fertilizar y cosechar se ejecutan considerando los periodos agrícolas para cada cultivo.

El modelo de asignación de tareas para planeación sigue un algoritmo de acuerdo con atributos tomados como entrada que especifican la tarea que se ejecutara. Se describen cinco atributos: el modo de operación, cuyo propósito es considerar el posible plan para una tarea agrícola; el trayecto técnico, dicta la secuencia de operaciones que se realizaran; los recursos, encierra toda la maquinaria y la intervención humana dentro del proceso; la precedencia, indica la prioridad de las operaciones en el trayecto técnico; y el tiempo, en él se definen los tiempos de inicio y de conclusión del modo de operación(Zhai et al., 2020).

Una vez los parámetros han sido indicados el sistema puede calcular los costos de operación y el óptimo para distribuir las tareas a las unidades de trabajo.

3.4.1.1.2 SISTEMA DE ACCIÓN SENSORIAL DE MÚLTIPLES ROBOTS.

Este es un sistema multirobot orientado a la ejecución de tareas automáticamente a través vehículos aéreos y de terreno. Los vehículos aéreos tienen la misión de recolectar datos, mientras que los terrenales son los que ejecutan la misión en los campos. Aunque sus funciones son distintas los dos cooperan entre sí. El control de esta operación se da de la siguiente manera: los vehículos son controlados por un "Mission Manager" que a su vez se conectan a una computadora de estación base, dentro del mission manager hay dos planificadores asignados para cada vehículo respectivamente. El planificador terrestre distribuye las tareas a los agribots dictando la mejor trayectoria para cubrir las áreas de operación(Zhai et al., 2020). En general, este sistema contribuye a asignar tareas agrícolas a las unidades de trabajo más adecuadas.

Con este sistema los agricultores pueden obtener apoyo para la toma de decisiones sobre la distribución del trabajo agrícola. Los enfoques de planeación pueden aumentar la productividad ya que las tareas se realizan en un tiempo mínimo.

3.4.2 PLANIFICACIÓN DE RUTAS

3.4.2.1 ADSS para planificación de rutas en terrenos sensibles

El objetivo principal de este enfoque es minimizar el daño en terreno sensible debido a la carga de vehículos de gran escala. Logrando optimizar las trayectorias de las rutas no solo se ahorran el consumo de recursos, si no se minoriza el impacto mecánico de estrés y compactación de los vehículos en la estructura terrestre. Trayectorias más cortas causan menor daño en el campo.

Existen cuatro pasos dentro del algoritmo para trazar una trayectoria, según los parámetros de entrada como la dirección de conducción, los límites de la tierra e indicadores de riesgo potencial que exista en el terreno será la ruta de trabajo de la máquina. Un plan de trayectoria optima se genera en los siguientes 4 pasos: Las vías trayectorias se ordenan según el riesgo potencial que exista de manera secuencial, clasificándolos entre riesgos bajos o altos, para generar una permutación secuencial de vías; luego se estima un numero de rutas, la ruta se compone de acuerdo con operaciones secuenciales que van desde llenado de recursos hasta el retorno de la maquina; seguidamente se asignan pistas con una ruta; y por último se mide el factor de riesgo para cada ruta. La ruta con menor factor de riesgo es la ideal para abordar la operación (Zhai et al., 2020).

3.4.2.2 Enfoque de toma de decisiones a bordo

Este enfoque se centra en los vehículos aéreos no tripulados para que de manera autónoma estos vehículos realicen operaciones a bordo. El objetivo de este trabajo es detectar ubicaciones exactas de cultivos enfermos y realizar operaciones de precisión como pulverizar herbicidas(Borisenko et al., 2019).

El enfoque de toma de decisiones a bordo se basa en un ciclo de 4 pasos: observación, orientación, decisión y acción (OODA). En la observación las medidas de toman con sensores ultrasónicos e imágenes tomadas por cámara; con la orientación se inicia el recorrido hacia el punto de destino, la computadora a bordo supervisa el seguimiento del trayecto y corrige en caso de que haya una desviación; el componente de toma de decisiones ordena el ajuste de altitud y verifica los puntos de referencia pasados para monitorear el estado actual del proyecto; en la última etapa de acción se toman fotografías, se llega al destino y se cumple con la tarea asignada que puede ser esparcir herbicidas a los cultivos (Zhai et al., 2020).

Como se pudo apreciar a lo largo de este estudio basado en lectura, desde la revolución industrial, las máquinas de integración continua han permitido la creciente popularidad de las ventajas de la automatización intensiva en tecnología, ahorro de recursos, labor humana y desarrollo sostenible del sector agrícola demostrando exactitud y precisión. Los robots y vehículos agrícolas multifuncionales son solo la base hacia una plataforma agrícola basada en modelos de tecnologías de la información, donde procesos completos son registrados a sumo detalle y se procesan de tal manera que puedan generar respuestas inmediatas ante cualquier variación del medio. La toma de decisiones apoyada de sistemas sinérgicos humano-robots se convierte en la manera más inteligente de solventar los problemas más complejos que surgen debido a la naturaleza inestable del entorno agrícola.

3.5 RESUMEN DEL ENFOQUE DE ESTUDIO

Aún está por verse cuál de la amplia gama de tecnologías asociadas con la Agricultura 4.0, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, la robótica y la edición de genes, irá más allá de una etapa de nicho y se implementará a escala. Es probable que el auge del pensamiento de Agricultura 4.0 amplíe esta narrativa hacia el extremo de la alta tecnología del espectro de la innovación, dejando de lado otras respuestas a los desafíos de la seguridad alimentaria que no se basan en la tecnología (Klerkx & Rose, 2020).

El objetivo apunta a reducir el tamaño de los sistemas agrícolas. Vehículos pequeños consumen menos energía que los grandes y se adaptan mejor a requisitos dinámicos. Los vehículos pequeños también permiten reducir el impacto ambiental al evitar la aplicación excesiva de productos químicos y la cobertura superpuesta, y su menor peso y menor presión sobre el suelo provocan una menor compactación del suelo. Además, los sistemas más pequeños generalmente cuestan menos que los más grandes (Bechar & Vigneault, 2017).

Las máquinas se volverán inevitablemente más inteligentes y completamente autónomas; Es solo cuestión de tiempo. Sin embargo, para lograr estos desarrollos y obtener los beneficios asociados, debemos determinar qué tan inteligentes deben ser estas máquinas y definir sus comportamientos apropiados. Los aumentos en los costos laborales y la demanda de trabajo menos arduo, las demandas de mejor calidad de vida y productos de mayor calidad y el costo progresivamente decreciente de computadoras, dispositivos electrónicos y sensores cada vez más potentes, están promoviendo la economía la adopción tecnológica en la agricultura (Bechar & Vigneault, 2016; Gao et al., 2020).

Como resumen existen estrategias y enfoques de interacción entre el ser humano y robots en el campo agrícola para comprender, diseñar y evaluar sistemas robóticos y sus interacciones con los seres humanos. La robótica y los subsistemas encerrados en esta disciplina como los efectores finales son todas partes indispensables para el desarrollo, automatización, intensificación sostenible y mejora tecnológica para presentes y futuras emergencias tecnológicas. Este crecimiento ha sido posible gracias al creciente desarrollo de sensores, la reducción de costos de equipos debido a la producción en masa, y el desarrollo de innovadores algoritmos de control, visión por computadora e inteligencia artificial, entre otros. La digitalización y la agricultura inteligente no pueden subsistir por sí solas sin la cooperación de sistemas mecatrónicos. Como resultado, la robótica se ha implementado con éxito en muchas tareas agrícolas y aplicaciones de invernaderos, convirtiéndose en una herramienta indispensable para reducir la carga de trabajo y aumentar la productividad de los procesos agrícolas.

CAPITULO IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

El trabajo experimental implica esencialmente una interacción compleja de comprensión de conceptos, comprensión procedimental, habilidades experimentales (psicomotoras), procesamiento cognitivo, capacidad de resolución de problemas, habilidades afectivas y actitudinales (Khaparde, 2019). Por su parte la importancia del enfoque cuantitativo se centra en el razonamiento cuantitativo como una forma de describir la acción mental en la comprensión de situaciones matemáticas, construyendo cantidades y luego conectando, manipulando y usando esa cantidad para encontrar la vinculación de problemas (Muzaini et al., 2019).

Para este proyecto el enfoque como antes mencionado será de tipo experimental y cuantitativo. En el plano cuantitativo se requiere la medición y la cuantificación de variables que afectan el desempeño del sistema como ser: las revoluciones de giro de la herramienta de taladro, fuerza aplicada para conseguir una perforación óptima en la tierra, ángulo de inclinación del dispensador de semillas, análisis de esfuerzos y valor monetario de materiales y procesos de manufactura. Luego teniendo una idea teórica formulada adecuadamente sobre cada mecanismo se procede a decidir hacia el método más adecuado para la fabricación de los mecanismos incorporando habilidades experimentales para las pruebas que validen el funcionamiento de todo el sistema.

4.2 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación se clasifican en dependientes e independientes. Para obtener un producto funcional como un efector final, se consideran ciertas variables independientes que son controladas y cuya variabilidad en medición, composición etc., repercuten en el resultado final de la variable dependiente estudiada. La dependiente por su parte es el propósito de la investigación o del proyecto, es el resultado final o el cambio en respuesta a la alteración de la independiente. En la **Figura 8** se aprecia las variables dependientes e independientes para este estudio que es la fabricación de un efector final de siembra.



Figura 8-Variables de investigación.

Fuente: Elaboración Propia

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para lograr el objetivo esperado se utilizan técnicas de investigación para la recolección de información sustancial que ofreciera un panorama claro del objetivo de la investigación. Asimismo, se utilizó técnicas de diseño mecánico en softwares como SolidWorks, facilitando el diseño de las partes y su estudio que verifiquen su funcionamiento. Dentro de las pruebas realizadas se utiliza el entorno de programación de Arduino IDE que permite subir al microprocesador la programación, esto para accionar uno de los actuadores utilizados en el proyecto, y ejecutarla para verificar el funcionamiento de los mecanismos.

4.4 MATERIALES

A continuación, se detalla la lista de los componentes a utilizar y sus características, las cuales se estudiaron con el fin de elegir los materiales aptos para el desarrollo de un prototipo eficiente.

4.4.1 EFECTOR FINAL DE SIEMBRA.

- **Pistón de 12V**

Características:

- Capacidad de estiramiento: 5cm máximo.
- Fuerza de empuje: 330lb máximo.
- Material: Aluminio.

Tabla 4- Características de actuador lineal

Concepto	Especificaciones
Voltaje de operación	12V
Corriente de operación	Corriente de inicio: 0.2A Corriente máxima: 3A
Distancia de elongación	5cm máximo.
Fuerza de empuja máxima	300 lbs máximo.

Fuente: Elaboración Propia

- **Taladro de mano**

Características:

- Revoluciones del husillo: 600rpm.
- Motor: DC alimentación 12V, 0.4A.
- Agarre para brocas 3/8 de pulgada.
- Control manual de torque.

Tabla 5- Especificaciones de taladro.

Concepto	Especificaciones
Voltaje de alimentación	12V
Torque	10Nm
Velocidad	600rpm
Fuente de alimentación	Baterías de litio

Fuente: Elaboración Propia.

- **Herramienta de perforación**

Características:

- Broca de jardín con modificaciones mecanizadas: material de Acero.
- Diámetro de perforación: 4cm.

- **Soporte de mecanismo**

Características:

- Abrazaderas y bases de aluminio.

- **Dispensador**

Características:

- Motor paso a paso NEMA17.
- Rodillo de semillas.
- Tolva de semillas.
- Manufactura aditiva.
- Housing de soporte para dispensador.

Tabla 6-Especificaciones motor stepper

Concepto	Especificaciones
Voltaje de operación	12V
Grado de paso seleccionable	1.8 grados
Par	65 Nm

Fuente: Elaboración Propia

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En este capítulo se detalla los pasos de la metodología aplicada para el desarrollo del proyecto de investigación. La metodología de diseño de ingeniería es aplicable a tareas simples de diseño de componentes o a diseño de sistemas complejos, implicando retroalimentaciones e iteraciones cuando implique realizar modificaciones al diseño. Consta de 7 etapas mostradas en la **Figura 9**. Implica un procedimiento lógico y sistematizado que sirve como guía para el diseñador.

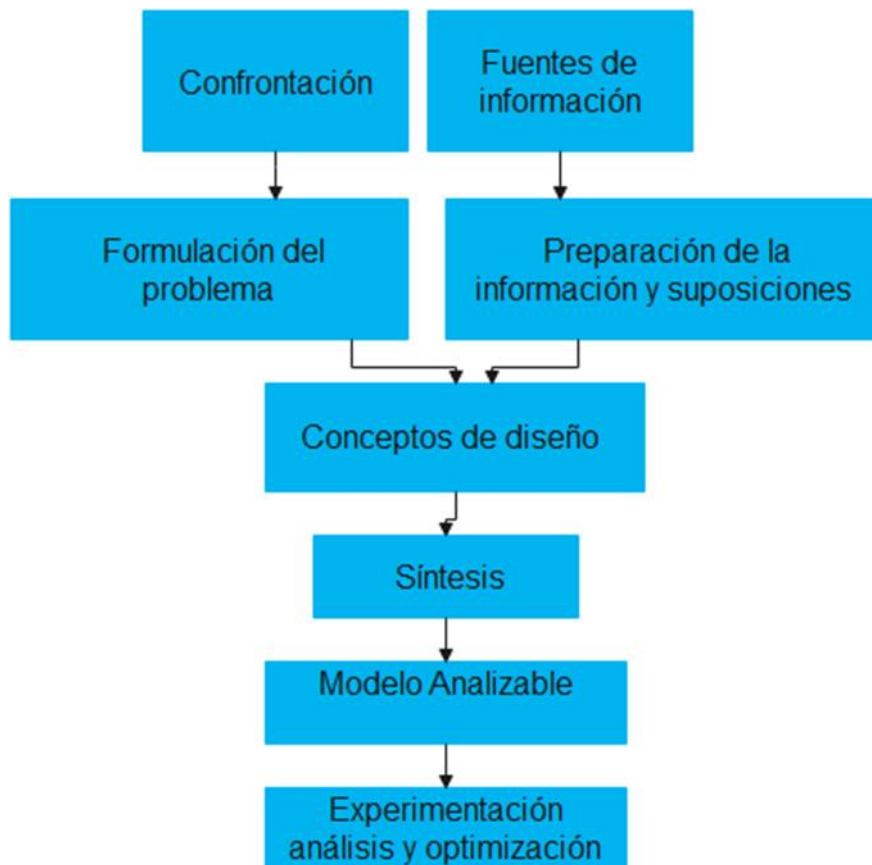


Figura 9-Pasos de la metodología de ingeniería de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

Para la realización del proyecto de manera sistemática y controlado se decidió utilizar la metodología de diseño en ingeniería para el diseño, fabricación y elaboración del proyecto, esta metodología mantiene una relación entre sus etapas y permite iteraciones entre si hasta lograr el objetivo final. Usualmente esta metodología es utilizada en el diseño de mecanismos o diseño mecánico, involucrando factores de requerimientos de diseño y fabricación para evitar en la medida posible errores en el proceso.

4.5.1 CONFRONTACIÓN

En esta etapa se enfrenta el diseñador con la necesidad de actuar ante la problemática presentada. Se consulta fuentes de información que ofrezcan un panorama claro del problema y posibles soluciones.

En la agricultura, la plantación inicia con el proceso de arado y dispersión de semilla. La automatización de esta industria demanda nuevas tecnologías y herramientas que faciliten el proceso y que involucren cada vez la intervención del ser humano en menor grado desplazando las formas tradicionales de siembra., los robots agricultores son una emergencia

tecnológica y su tarea final depende del efector final que se utilice: siembra o cosecha. Se realizará un estudio teórico de los factores involucrados en el desarrollo de un efector final de siembra, haciendo énfasis a los requerimientos del dispositivo al que será adaptado el efector final y considerando los factores involucrados en el proceso de siembra para que el desarrollo del efector final sea de acuerdo con la aplicación a la que se someta en el campo.

4.5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los elementos importantes de las máquinas y dispositivos automatizados en la agricultura son las herramientas que actúan como efectores finales para tareas específicas dentro de estos procesos. El problema radica en que en la agricultura son muchas las pasadas por las que se somete la tierra, llevándola a su deterioro; el uso de rovers para tareas específicas y precisas son parte de los mecanismos de siembra utilizados, pero su función no podría estar completa sin los efectores finales dedicados a tareas específicas.

4.5.2.1 ¿Cómo se resolverá el problema?

La solución modelada en la investigación se basa en un mecanismo adaptable a un rover que cumpla la función de perforar la tierra y depositar semillas de manera precisa e individualizada. Para el desarrollo del efector final se toma en cuenta un factor importante en el diseño y es la adaptabilidad que tenga el efector a otros mecanismos móviles como robots y que el dispensador de semillas y el mecanismo abre hoyos se mantengan en una estructura compacta. Es un requisito que el efector pueda ser desmontado y adaptado a otro tipo de sistemas, en este caso lo hace por medio de tornillos.

4.5.2.2 ¿Para qué se necesita?

El mecanismo de siembra surge ante la necesidad de efectores finales para un robot agricultor que permita realizar plantaciones en zonas agrícolas de manera rápida y precisa, adaptable a otros robots de siembra y eficientes en su función principal de perforar la tierra y depositar la semilla. Su fabricación es una vía para minorizar los arduos labores físicos del agricultor en el proceso de siembra y agilizar los tiempos en el que las operaciones se dan en esta tarea. El desarrollo de mecanismos es una manera de implementar tecnología en el sector agrícola que facilite y optimice cada vez más las técnicas de siembra y a su vez reduzca costos de operación y ahorro de recursos.

4.5.2.3 ¿Como se desea el efector final?

El efector final debe cumplir con especificaciones de adaptabilidad a un rover agricultor y a otros modelos de rovers, además debe coincidir con la estética previa del rover, haciendo contraste entre colores y materiales variando entre aluminio, Platino y PLA. El mecanismo de perforación de la tierra se basa en un concepto de taladro, es decir que perfora la tierra por medio de una herramienta tipo broca que mantiene un movimiento rotativo para remover la tierra, abriendo un agujero de tamaño variable dependiendo del diámetro de la herramienta de perforación que se instale. Además, la herramienta debe de ser capaz de alcanzar una profundidad optima por debajo de la superficie de la tierra, se optó por una profundidad de 4cm, la profundidad adecuada para el desarrollo óptimo de los granos de mayor consumo como el maíz y frijol en el sector agrícola de Honduras. Como es un mecanismo adaptable es indispensable pensar en los elementos de soporte sobre los que irán montados sus partes, los mismos serán diseñados para soportar las cargas a las que estarán sometidos y sus dimensiones deben ajustarse a las del rover, sus acoples estructurales se hacen mediante pernos y abrazaderas. Se considera las magnitudes adecuadas para todos los elementos del efector final para evitar desproporciones con respecto a las del rover. El diseño y fabricación debe de permitir taladrar un agujero en la superficie de la tierra a una profundidad de 4cm con la ayuda de actuadores que impulsen los movimientos de la herramienta y del mecanismo de siembra con el fin de lograr sembrar semillas de manera más precisa e individualizada.

A continuación, se presenta una tabla de matriz de especificaciones del efector final de siembra que detalla las condiciones para su diseño, restricciones y formas de validar que realmente se cumple con los requisitos de fabricación.

Tabla 7- Matriz de Especificaciones

Requerimiento	Especificaciones	Validación	Restricciones	Comentarios
Dimensiones	47cm*20cm*12cm	Medición por cinta métrica		Medidas del efector con estructura de soporte
Materiales	Aluminio para soportes y herramienta de taladro y PLA para el dispensador de semillas	Resistencia y soporte a cargas	Desmontable	El peso del mecanismo

Color	Verde y Blanco	Estética	---	---
Motriz	Determinar los actuadores para su funcionamiento y control	Giro de la herramienta de taladro, giro del rodillo dispensador	---	El mecanismo no cuenta con electrónica ya que el proyecto se enfoca en la parte mecánica, pero se especifican los componentes para el control de sus actuadores.
Alimentación eléctrica	12V para los tres actuadores	Medición con multímetro	---	
	0.4A (Taladro)			
	Amperios (Stepper)			

Requerimiento	Especificaciones	Validación	Restricción	Comentario
Manipulación	El efector final debe de ser desmontable	Acople por medio de tornillo	----	El mecanismo no cuenta con electrónica ya que el proyecto se enfoca en la parte mecánica, pero se especifican los componentes para el control de sus actuadores.
Control de torque de herramienta de perforación	El torque debe de ajustarse de manera manual	Variación del torque		

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3 CONCEPTOS DE DISEÑO

En este apartado se presenta la conceptualización del diseño del efector final, las distintas opciones presentadas a continuación se fueron modificando hasta lograr un diseño final apropiado en funcionamiento y estética para la aplicación, que cumplieran con los requerimientos de diseño previo a la fabricación del dispositivo: un efector final adaptable, que perfore la tierra y deposite la semilla. Se trabajará en base a la solución más óptima alcanzada en el diseño llevado a cabo a través de la herramienta de diseño CAD SolidWorks. El cual permitió el desarrollo y modificaciones del producto en base a simulaciones. Para proseguir

con el proceso de diseño se detalla el desarrollo de los mecanismos necesarios para el efector final.

4.5.4 MECANISMO DE TALADRO

Opción #1

Para el mecanismo de perforación de agujeros se determinan los elementos principales para su funcionamiento en base a la tarea que debe realizar. Debido a que se opta por un mecanismo con concepto de taladro, se utilizará un actuador que permita el movimiento rotacional de la herramienta de perforación, por lo que se adquirirá del mercado un taladro inalámbrico con el fin de aprovechar sus funciones de torque y regulaciones de velocidad propias del husillo motorizado, para lograr un mayor desempeño de la herramienta de taladro. La herramienta como antes se menciona debe profundizar a la hora de hacer el agujero, por consiguiente, se utilizará un actuador lineal con capacidad de estiramiento de 5cm para lograr el avance lineal de la herramienta. En cuanto a la posición correspondiente que dispondría el efector final sobre la estructura del rover se decide por colocarla en la parte frontal del rover.

Opción#2

Como segunda opción se diseña un brazo con abrazadera que funcionara como soporte para el mecanismo y se colocó anclado a un costado paralelo al pistón para que siempre cumpliera con la función de proporcionar al mecanismo de taladro un movimiento lineal, sin embargo, por motivos estéticos no se utilizara este diseño ya que da una vista muy cargada del rover.

Opción#3

Como última opción y la más adecuada se diseña un soporte tipo brazo que saliera de la parte baja móvil del pistón y se elevará a una altura del mecanismo de taladro así se logra un diseño estético y ergonómico además se dará altura al mecanismo para acoplar la herramienta de taladro.

4.5.5 ÁRBOL DE PRODUCTO

El árbol de producto detalla los materiales adquiridos y fabricados para la elaboración, dividiéndolo en tres subsistemas, mecanismo de taladro, dispensador de semillas y estructuras de soporte, que forman parte del producto final.

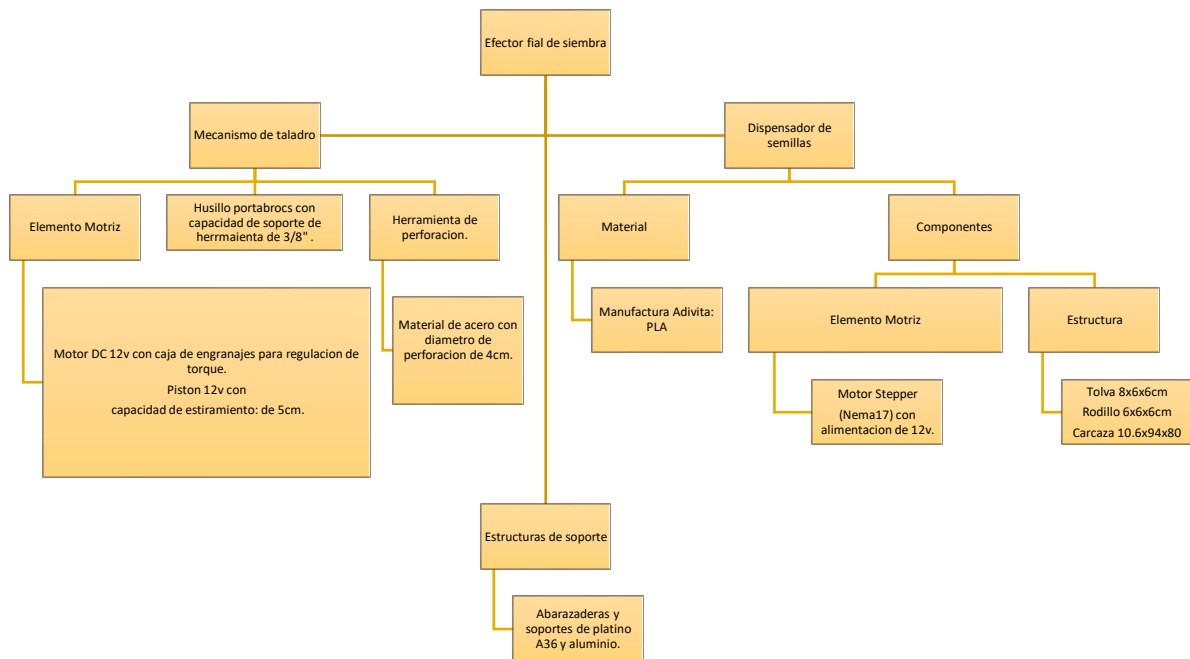


Figura 10-Árbol de producto de efector final de siembra.

Fuente: Elaboración Propia

4.5.6 SÍNTESIS O INGENIERÍA DE DETALLE

Existen ciertas herramientas que ayudan a documentar y definir los parámetros concretos de funcionalidad es decir todos los componentes, materiales, controles y funcionalidades para cumplir con el diseño, para esto hacemos uso de ciertas herramientas de diseño de ingeniería descritas a continuación para la justificación del diseño de prototipo.

4.5.6.1 Tiempos y movimientos

Esta técnica permite establecer un tiempo admisible para la ejecución de las operaciones dentro de la asignación de una tarea, de esta manera se registran los tiempos de las diversas actividades involucrando las condiciones y actividades dentro del método de su ejecución para calcular un tiempo que cumpla con estándares de rendimientos adecuados

4.5.7 MODELO ANALIZABLE

Recomendaciones de diseño para el efector final de siembra.

- **Funcionabilidad:** el efector final debe cumplir con su función de perforar un agujero en tierra a una profundidad máxima de 4cm y con un diámetro de 4cm, así mismo una vez terminada esta operación, el dispensador debe de depositar la semilla en el agujero sin problemas

- Seguridad y ergonomía: los elementos están diseñados para ser controlados de manera remota, por lo que la intervención el operador solo se da al momento de abastecer el dispensador y de ajustar el torque del taladro.
- Manufactura: debido a que la mayoría de los elementos son piezas comerciales o mecanizadas el mecanismo puede elaborarse sin dificultad.
- Ensamble y mantenimiento: el ensamble se realiza para el armado del dispensador y para acoples en los soportes.
- Manipulación y traslado: el mecanismo es fácil de trasladar y de acoplar a otras estructuras, por medio de pernos.

4.5.8 EXPERIMENTACIÓN, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN

Parte del proceso de optimización del efector final es la ubicación que tendrá en el rover y la viabilidad de poner los dos elementos (el mecanismo de taladro y el dispensador) como parte de un solo elemento de manera que ambos mecanismos sean adaptados a otros rovers como parte de una sola estructura, aunque su funcionamiento sea independiente. Es por esa razón que se optara por colocar el dispensador a una altura por encima del mecanismo de taladro sobre un mismo soporte para ambos mecanismos en la parte frontal del rover, favoreciendo que la estructura pueda ser acoplada y desmontada fácilmente por medio de pernos y que su diseño sea más ergonómico.

4.5.9 PRESENTACIÓN

En este apartado se presenta el modelo diseñado para el efector final de siembra, su objetivo es servir como herramienta de perforación para un rover de agricultura y disponer de un dispensador de semillas en su misma estructura.

4.6 CRONOGRAMA

En este apartado se presenta el cronograma de actividades, como método de organización de tiempos para realizar todas las actividades necesarias del proyecto en un plazo de 10 semanas.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Presentación de propuesta de Investigación	1 día	mar 19/01/21	mar 19/01/21	
2	Elaboración de Documento	11,8 sem.	lun 18/01/21	jue 08/04/21	
3	Elaboración de los Capítulos I, II y III	2,8 sem.	lun 18/01/21	jue 04/02/21	
4	Presentación del primer avance	1 día	mié 03/02/21	mié 03/02/21	
5	Elaboración del Capítulo IV	2 sem.	lun 08/02/21	vie 19/02/21	3
6	Presentación del Segundo Avance	1 día	vie 12/02/21	vie 12/02/21	
7	Elaboración de los Capítulos V, VI y VII	2 sem.	lun 22/02/21	vie 05/03/21	5
8	Presentación del tercer avance	1 día	lun 18/01/21	lun 18/01/21	
9	Elaboración del Documento Final	3 sem.	vie 19/03/21	jue 08/04/21	
10	Modificaciones del documento final	1 sem.	vie 19/03/21	jue 25/03/21	
11	Presentación del Documento Final	1 día	vie 26/03/21	vie 26/03/21	
12	Presentación Paper Científico	1 día	vie 26/03/21	vie 26/03/21	
13	Diseño de Prototipo	10 sem.	lun 18/01/21	vie 26/03/21	
14	Diseño de Prototipo en SolidWorks	1 sem.	lun 18/01/21	vie 22/01/21	
15	Selección de los materiales	4 días	lun 25/01/21	jue 28/01/21	14
16	Compra de materiales	5 días	vie 29/01/21	jue 04/02/21	15
17	Impresión del prototipo	1 sem.	vie 05/02/21	jue 11/02/21	16
18	Pruebas de los componentes	5 días	vie 12/02/21	jue 18/02/21	17
19	Montaje del prototipo final	1 sem.	vie 19/02/21	jue 25/02/21	18
20	Pruebas de Prototipo	11 días	vie 26/02/21	vie 12/03/21	19
21	Modificación del prototipo	1 sem.	lun 15/03/21	vie 19/03/21	20
22	Pruebas finales	1 sem.	lun 22/03/21	vie 26/03/21	21

Figura 11-Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración propia

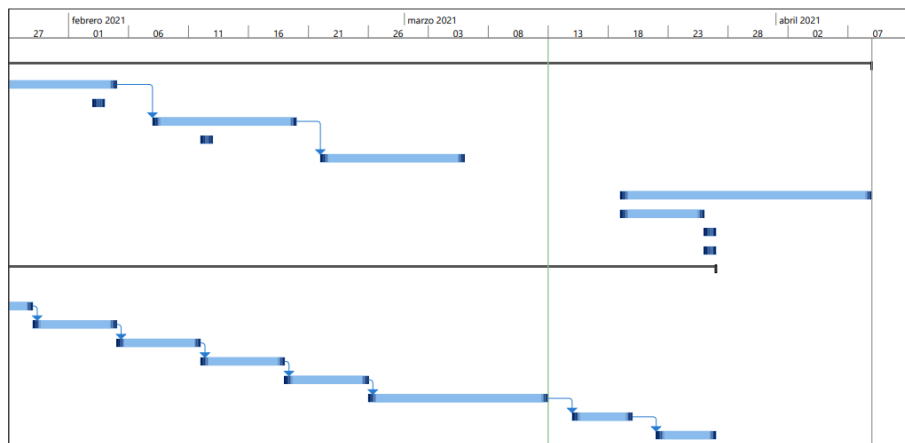


Figura 12-Diagrama de Gantt

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos siguiendo los pasos de la metodología aplicada. Haciendo una comparación de información con los resultados de la práctica se formularon conclusiones y se determinaron debilidades y recomendaciones para el proyecto. El objetivo del proyecto es la fabricación de un efector final de siembra que permita perforar un agujero debajo de la tierra logrando un diámetro de perforación y una profundidad de 4cm y un sistema dispensador de semillas que permita colocar una cantidad de semillas por agujero.

5.1 ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO

En el análisis del marco teórico se presentó un diseño de efector final para mecanizado, el cual se utilizó como referencia para el efector final de taladro para siembra. El diseño mostrado en la **figura 11** muestra un montaje no coaxial con respecto a la línea central del componente al que se acopla. Para el efector final de siembra tomamos como referencia este concepto, su estructura se ubica paralelo a la línea central del pistón eléctrico para proporcionar mayor altura a la herramienta de taladro. Los materiales escogidos para su elaboración fue el aluminio, en los soportes de taladro los cuales presentan características de rigidez y cumplen con esfuerzos permisibles para su aplicación según los resultados de estrés y tensión realizadas en SolidWorks. Para la herramienta de perforación se utilizó acero como material resistente, capaz de sobrellevar la resistencia a la compresión de los suelos puestos a prueba.

En las dosificadoras de semillas modernas utilizan accionamiento electromecánico, haciendo uso de actuadores como motores stepper o motores de CC con reducción de engranajes, siendo una buena solución para un control regulado de dosificación a medida se va plantando en el terreno. El alcance de este proyecto no abarca la parte de control del efector final, sin embargo, se consideraron e implementaron los dispositivos de accionamiento necesarios para una futura mejora en la parte de control automático. De esta manera se contempla un mayor dominio de la tasa de control de dosificación a diferencia de muchos dosificadores por control meramente mecánico en donde por lo general el dosificador es una rueda que gira haciendo contacto con el suelo, en donde su tasa de dispersión depende y se acciona con el movimiento mecánico del vehículo sobre el cual está montado. De esta manera la tasa de dispersión de semillas se cumple de acuerdo con las exigencias que el usuario proporcione en la parte de control. Para el mecanismo dispensador de semillas se utiliza manufactura aditiva como método de fabricación y material PLA, se decidió por una tolva como contenedor de

almacenamiento, un rodillo con perforaciones donde caerá la semilla y la transportará hasta su salida por medio de un movimiento giratorio. Ambos mecanismos se basan en un concepto de precisión que permite obtener mayor rendimiento a la hora de plantar.

5.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO A LA INGENIERÍA

5.2.1 CONFRONTACIÓN

Ante la necesidad de implementar mecanismos de siembra a un rover agricultor, que realice operaciones dentro del proceso de siembra agrícola como efectuar agujeros y depositar semillas de forma individualizada, se planteó el diseño mecánico de un efector final que involucra mecanismos de movimiento lineal y rotacional y cuyos actuadores cuenten con características de manipulación por medio de control automático para futuras mejoras. El alcance del proyecto abarca el diseño mecánico del prototipo cumpliendo con condiciones de dimensionamiento, acoples y estética del rover donde será adaptado.

5.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En esta etapa se enfrenta el diseñador con la necesidad de actuar ante la problemática presentada. Uno de los factores que condicionaban el diseño del efector final fue que debía ser montado sobre la estructura existente del rover, las dimensiones y pesos debían ir de acuerdo con la estructura y balancear en forma al rover. El efector debía de ser acoplado a un actuador lineal el cual a su vez iba instalado sobre un brazo de soporte fijo. El dosificador de semillas iría montado sobre el mecanismo de perforación, así se realizaba el acople del sistema final incluiría ambos mecanismos sobre una estructura.

5.2.3 CONCEPTOS DE DISEÑO

Opción#1

Se pensó en un diseño como en el de la siguiente imagen el pistón se encuentra acoplado al brazo fijo de la estructura del robot para proporcionar altura a todo el sistema. Asimismo, el mecanismo de taladro con su respectivo husillo motorizado se coloca en la misma línea central del pistón, en una ubicación axial, pero presento el inconveniente que el espacio entre la superficie del suelo y el mecanismo de taladro era muy reducido. La opción presentaba una vista estéticamente agradable, pero la distancia máxima entre la punta del pistón de donde se haría el acople hasta la superficie de la tierra era de 11cm y el mecanismo de taladro cubría una distancia de 17.34 cm sin la herramienta de taladro que medía 10 cm de largo, en

consecuencia, el diseño fue descartado debido a inconvenientes de espacio y por ende funcionalidad.

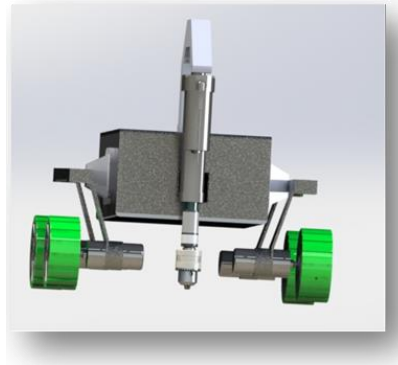


Figura 13-Pistón y mecanismo de taladro en una posición coaxial entre sí.

Fuente: Elaboración Propia

Opción#2

Como segunda opción se diseñó un brazo con abrazadera acoplado paralelo al pistón a un costado, este salía desde la parte baja móvil del pistón, siempre considerando que el pistón ejerce un movimiento lineal sobre el mecanismo; sin embargo, al diseñarse en la parte baja presentaba el mismo inconveniente de espacio que el anterior la abrazadera no podía ajustarse en la parte más baja del taladro debido a que interfería con el control manual del torque y al ubicarlo en una sección más arriba del taladro reduciría aún más el espacio entre la superficie de la tierra y la herramienta de perforación. Por consiguiente, una vez más se descartó el diseño.

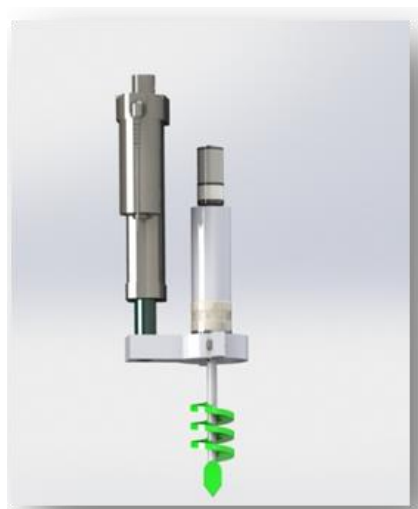


Figura 14-Pistón con acople paralelo a un costado.

Fuente: Elaboración Propia

Opcion#3

Como última opción y la más adecuada se diseña un soporte tipo brazo que saliera de la parte baja móvil del pistón y se elevará a una altura del mecanismo de taladro así se logra un diseño estético y ergonómico además se dará altura al mecanismo para acoplar la herramienta de taladro. El diseño proporciono mayor altura al mecanismo de perforación dejando una distancia de 1cm entre la superficie del suelo y la herramienta de talado (broca) para evitar que la herramienta se arrastre por el suelo mientras el rover está en movimiento.

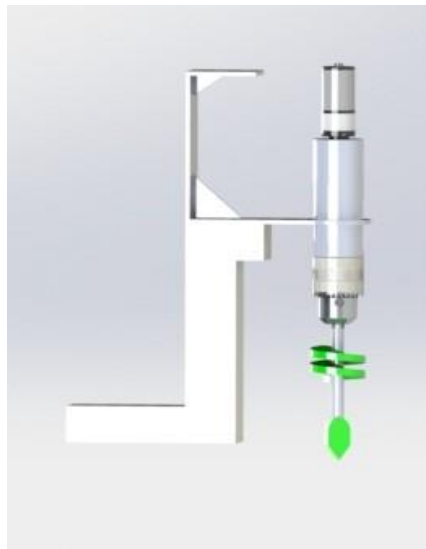


Figura 15-Soporte para mecanismo de taladro

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4 SÍNTESIS O INGENIERÍA DE DETALLE

Existen ciertas herramientas que ayudan a documentar y definir los parámetros concretos de funcionalidad es decir todos los componentes, materiales, controles y funcionalidades para cumplir con el diseño, para esto hacemos uso de ciertas herramientas de diseño de ingeniería descritas a continuación para la justificación del diseño de prototipo.

5.2.4.1 Tiempos y movimientos

El estudio de movimiento o tiempos analiza las diferentes operaciones en una tarea involucrando elementos como herramientas o materiales a utilizar y permite definir un método de operación de esta. En el siguiente diagrama se representan las etapas dentro del estudio de tiempos y movimientos para el mecanismo de efector final de siembra, con el fin de comprender las operaciones que involucra está determinada tarea y los tiempos que demora cada operación. Para cada operación se adquirieron elementos motrices para generar

movimiento en cada una de las operaciones. Uno de estos fue el actuador eléctrico de 12V cuyo tiempo de estiramiento completo de 5 cm fue en 12 segundos. Una vez el mecanismo de taladro se acoplo y se probó su funcionamiento completo, es decir el movimiento lineal del mecanismo de taladro y el husillo motorizado encendido se distinguieron los tiempos presentados a continuación para la realización de cada operación en el proceso de siembra y se clasificaron las operaciones dividiéndolas en la realización de una tarea en específico por cada mecanismo.



Figura 16- Etapas de tiempos y movimientos del efector final de siembra.

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo de pruebas se realizó en suelos arenosos compactos y en suelos blandos, en todas las pruebas el recorrido de perforación es el mismo debido a que depende del tiempo de estiramiento del pistón que es de 12 segundos a una distancia de 5cm, por consiguiente, en la operación de perforación un tiempo total sumaba un tiempo de 24 segundos en toda la carrera de estiramiento y retracción y 7 segundos en la operación de sembrado.

5.2.5 MODELO ANALIZABLE

El efector final cuenta con elementos importante en su estructura necesarios para su funcionamiento óptimo. En la siguiente tabla se mencionan sus componentes estructurales.

Tabla 8- Descripción de componentes

Elemento	Definición
Abre hoyos	Herramienta de perforación de la tierra.

Dispensador	Mecanismo de accionamiento que hará caer semillas en porciones controladas.
Tolva	Contenedor de semillas, elemento de acople al dispensador de semillas.
Ducto dispensador	Tubería a través de la cual la semilla desciende hasta el agujero en la tierra.
Bastidor	Estructura de soporte del mecanismo de metal.

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.1 Diseño del mecanismo de perforación

El diseño de las piezas se realizó en programa CAD, para saber las dimensiones de fabricación que resistan las cargas a las que están expuestas, en este mismo programa se realizaron simulaciones y pruebas de estrés y fatiga en las piezas de soporte de las herramientas.

Existen una serie de requerimientos a cumplir para la operación óptima del efector:

- Portabilidad y adaptabilidad.
- Transmisión de movimiento lineal.
- Transmisión de movimiento rotacional.
- Eficacia y precisión en depósito de semilla.

5.2.5.2 Mecanismo Dispensador de semillas

El mecanismo dispensador de semillas consta de 5 elementos para su funcionamiento y estructuración: actuador, el cual será un motor paso a paso Nema 17 que ejerce un torque de 362mN/m capaz de mover el eje sobre el cual ira dispuesto el rodillo; eje que ira acoplado al motor; rodillo de semillas con 5 perforaciones en donde se deposita la semilla y se traslada a lo largo del movimiento giratorio hasta su salida; tolva encargada de mantener el dosificador abastecido y sirve como depósito de semillas; housing del mecanismo que encierre el rodillo y ducto semillero a través del cual cae la semilla por gravedad desde la tolva hasta el agujero.

5.2.5.3 Rodillo de semillas

Los rodillos de semillas están fabricados por manufactura aditiva, su forma es cilíndrica de manera que se puedan perforar 5 agujeros alrededor de su perímetro en donde la semilla reposa a lo largo del movimiento rotacional hasta caer por gravedad. Las dimensiones del rodillo son 6 cm de largo y 6cm de diámetro; los agujeros tienen una profundidad de 12mm y un diámetro de 13mm. El rodillo es un accesorio reemplazable según el tipo de semilla que se dispone a sembrar, adaptándose a las dimensiones de la semilla en profundidad y diámetro.

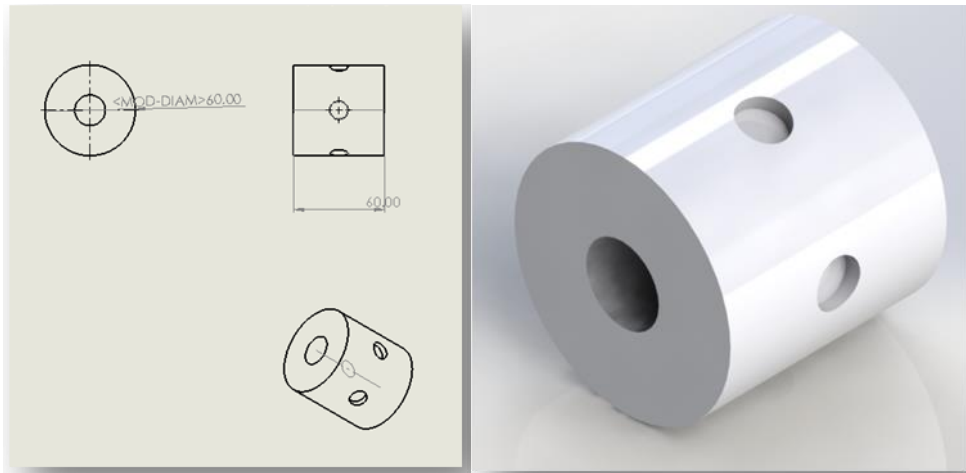


Figura 17-Dimensiones de Rodillo

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5.4 Pruebas de estrés del rodillo

En la siguiente figura se observa la prueba de estrés realizada al rodillo aplicando una fuerza máxima de 5lb fuerza. El estrés máximo que presenta la pieza según el grafico de von Mises es de $2.975e+03\text{N/m}^2$.

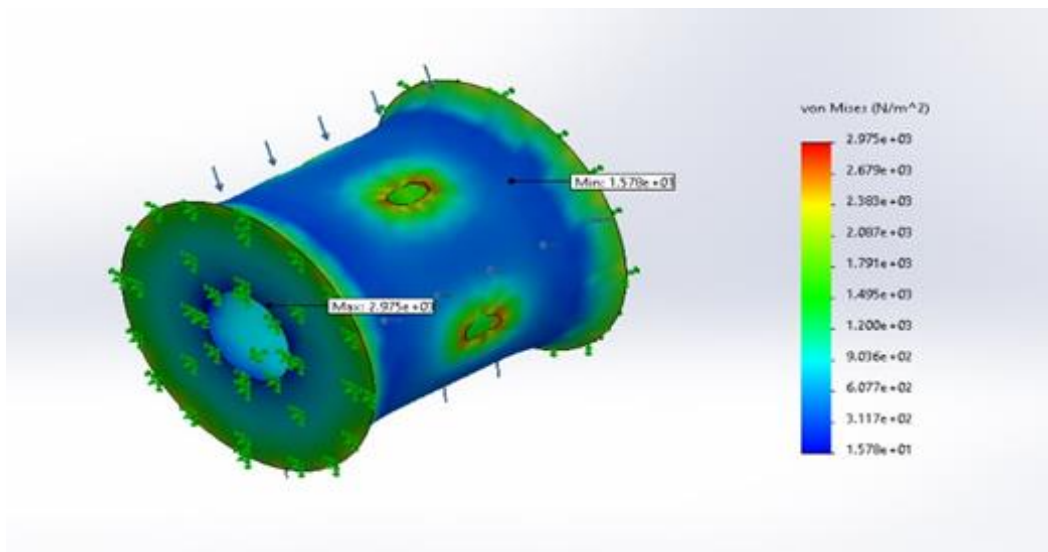


Figura 18-Pruebas de estrés del rodillo

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** lla deformación se ve en la parte de en medio del rodillo donde soportara la fuerza de las semillas, sin embargo, la simulación exagera el grado de deformación ya que la pieza experimenta un desplazamiento máximo de $1.185e-05\text{mm}$ y una escala de deformación de 522,11. Por lo que procedió a la fabricación de la pieza.

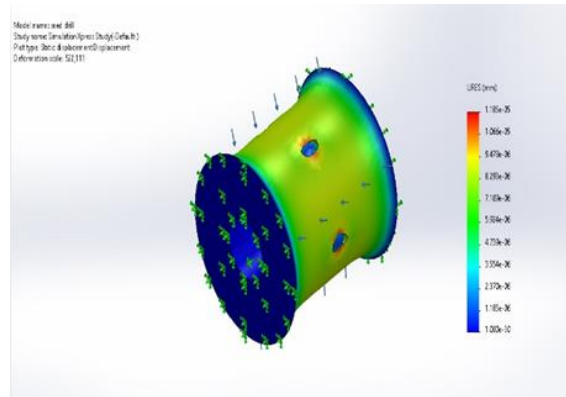


Figura 19-Deformación y desplazamiento del rodillo

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.5 Tolva

La tolva sirve de depósito para las semillas ubicada en la parte superior de la estructura, tiene dimensiones de: 6cm de ancho y una profundidad de 6cm. Fabricada de PLA, su forma en la parte inferior es la de un arco de 6cm de diámetro para lograr que encaje justo sobre el rodillo, dejando un margen de diferencia de 2mm para que las piezas encajen correctamente y que no afecte la movilidad del rodillo.

En la **Figura 20** se muestra la tolva a usar para el sembrado de frijoles, el volumen de semillas que contendrá se calcula mediante la **Ecuación 1**.

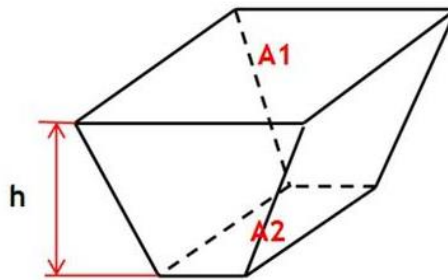


Figura 20- Capacidad de Tolva en función de sus dimensiones

Fuente: (Guerra, 2017)

$$V = \frac{h}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1A2}) + A1H$$

$$V = \frac{6cm}{3} ((6cm * 5.4cm) + (7.4cm * 5.4cm) + \sqrt{32.4 * 39.96}) + 32.4 * 5.4cm$$

Ecuación 1- Capacidad de tolva en función a sus dimensiones

Fuente: (Guerra, 2017)

$$V = 391.64\text{cm}^3$$

En promedio una semilla de frijol tiene un volumen de 342 mm^2 y su peso es de 0.225g (Ospina-Bayona et al., 2019), se realizó el debido análisis y cálculo para lo cual se necesitó reconocer cada una de las dimensiones de la tova realizada, como se muestra en la **Figura 21. Dimensiones de la tova**. Como resultado se obtuvo una capacidad de aproximadamente 1145 semillas es decir 257.62 gramos .

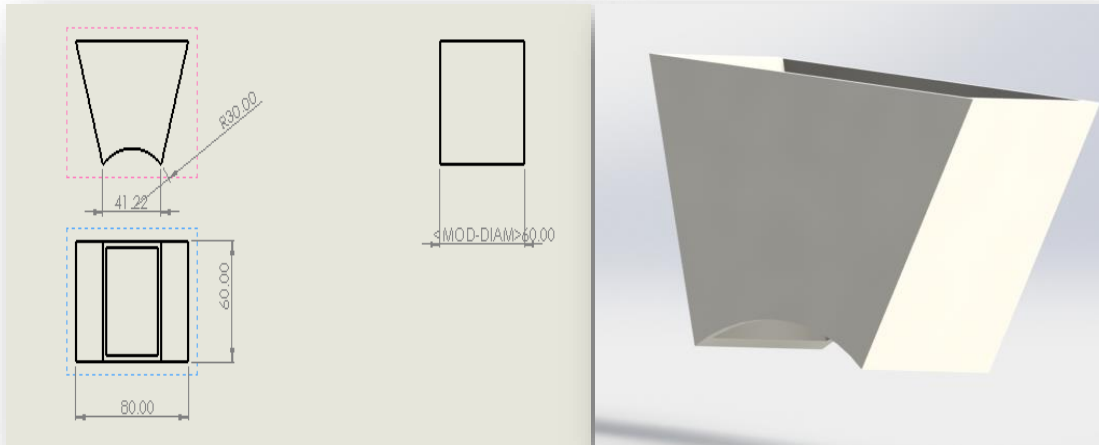


Figura 21. Dimensiones de la tova

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5.6 Housing

El housing se diseñó para presentar un diseño más estético y compacto, además que la semilla tuviera una trayectoria más dirigida cayendo primero por el housing. Fabricada de PLA tiene 8cm de largo y 94cm de altura. Una de sus paredes será atravesada por el eje del motor sobre el cual se dispondrá el rodillo. Su diseño encaja con la tova y la curvatura en sus paredes permiten que la semilla se deslice hasta el agujero de salida sin dificultad alguna.

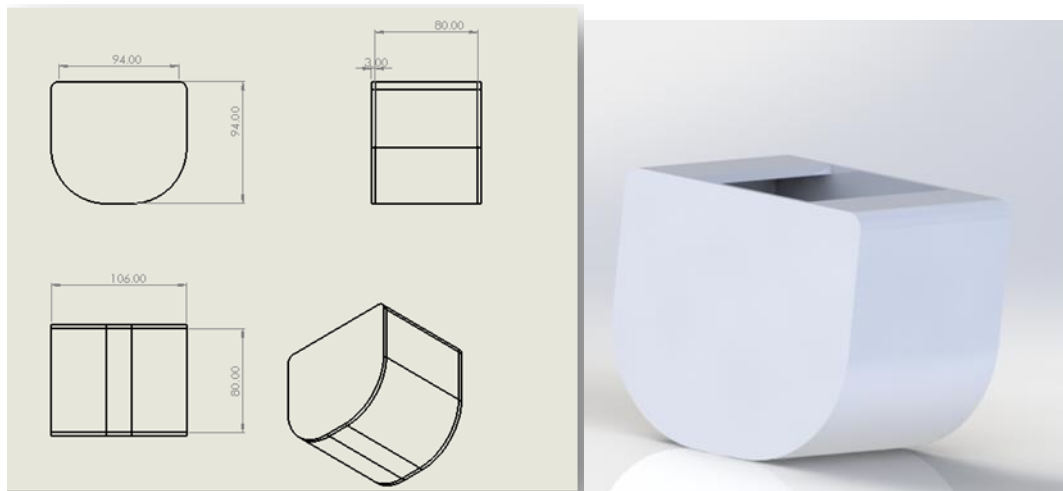


Figura 22-Dimensiones de Housing

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.7 Ensamble de dispensador de semillas

La siguiente figura muestra el ensamble del dispensador, donde se visualiza el rodillo montado sobre el eje que ira acoplada al motor, la tolva ensamblada sobre el rodillo y el housing que cubre el rodillo y se ajusta en la tolva. Para efectos visuales y entendimiento del mecanismo no se muestra en la imagen la tapadera de la estructura.



Figura 23-Sistema dispensador de semillas

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.8 El sistema de excavación de agujero por taladro

Un aspecto importante para tomar en cuenta en la siembra es la profundidad a la que se deposita la semilla para que la semilla aproveche todos sus nutrientes, en el caso de las semillas de maíz y frijol se investigó que su profundidad de sembrado varía entre 2cm a 4cm (Ospina-Bayona et al., 2019) es por eso que se tomó en cuenta estas especificaciones en el diseño del efector. La profundidad de taladro se logró con la ayuda de un pistón eléctrico de 12V con

capacidad de estiramiento de 5cm, el pistón suspende la herramienta de taladro 1cm sobre la superficie de la tierra, por lo tanto, la profundidad máxima de taladro es de 4cm cumpliendo con la profundidad estándar para este tipo de semillas.

El sistema consistió en otros elementos importantes los cuales fueron adquiridos en el comercio y adaptados para el funcionamiento requerido. El husillo portabrocas motorizado, gira a 600rpm y su torque se ajusta manualmente a un máximo de 10Nm, tiene una capacidad de ajuste de broca de 0.8-10mm. El taladro funciona como elemento motriz para la herramienta e hizo que la perforación de agujeros se realizara más fácil con la ayuda del pistón. Así se logró perforar un agujero completamente redondo de 4cm de diámetro. El diseño de las aspas permitió que la tierra se removiera del agujero cuando el pistón se movía en su carrera de retorno. Por último, para lograr mayor eficacia y resistencia en la broca de taladro se mecanizó esta pieza para optimizar el proceso de perforación y aprovechar las cualidades de la herramienta, las modificaciones serán descritas en una sección más adelante.

5.2.5.9 Herramienta de perforación

Para definir la herramienta que se utilizó se procedió a calcular la fuerza mínima de empuje necesaria del pistón para perforar el suelo y para esto es necesario conocer la resistencia que el suelo opone a la herramienta a partir de parámetros de resistencia a compresión de los distintos suelos a los que estaría sometida la herramienta. A continuación, se muestra una tabla con los factores de resistencia a la compresión de los tipos de suelo.

Tabla 9. Valores orientativos de resistencia a la compresión

Tipo de suelo	qu(kN/m ²)
Suelos muy flojos o blandos	0-80
Suelos flojos o blandos	80-150
Suelos medios	150-300
Suelos compactos o duros	300-500

Fuente:(Juiña,Arellano,Llumipanta, 2015)

Se realizó un cálculo matemático a través de la ecuación mostrada a continuación para determinar la carga o fuerza de empuje mínima necesaria para producir que la herramienta penetre la tierra.

Ecuación 2. Fuerza mínima de empuje

$$F_{\text{mínima}} = 28.5 * R_c * \emptyset(lb)$$

$$F_{\text{mínima}} = 28.5 * 0.30MPa * (4cm * \frac{0.394}{1cm} pulg)$$

$$F_{\text{mínima}} = 13.47lbF = 59.91N$$

Fuente:(Juiña,Arellano,Llumipanta, 2015)

Donde: F mínima: Fuerza mínima de compresión(lb).

R_c : Resistencia de compresión del suelo (MPa).

\varnothing : diámetro de la herramienta de perforación (Pulg).

Aplicando esta fórmula se concluyó que el pistón tendría que ejercer una fuerza de 59.19N para penetrar en un suelo medio con un factor de resistencia a la compresión de 300 (kN/m²). De esta manera se realizó un análisis de estrés para la pieza con una fuerza aplicada de 60N y un torque de 10Nm dando el siguiente resultado en el gráfico de von Mises: una tensión elástica de 2.87e+08 y presento leves deformaciones en la punta de la broca con desplazamientos máximos de 4.002e-05.

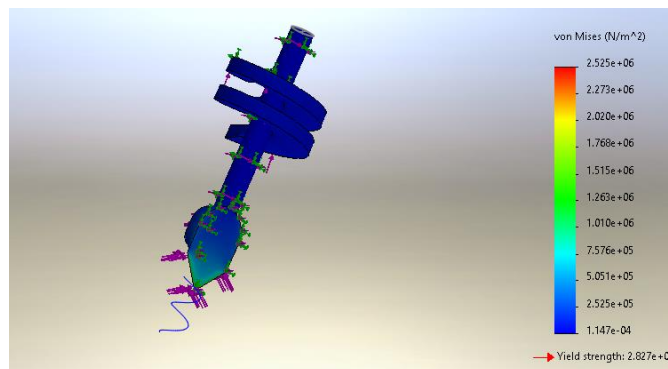


Figura 24. Analisis de elemento finito para la herramienta de taladro

5.2.5.10 Soporte de mecanismo de taladro

Esta pieza se diseñó con el fin de soportar el mecanismo de taladro y su diseño hacia arriba permitió darle mayor altura al mecanismo y posicionarlo paralelo, de frente y a la misma altura del pistón dando una vista más estética desde el frente. Este acople se ubicó anclado a la parte móvil del pistón para poder bajar la herramienta de perforación hasta la superficie de la tierra, el diseño se acomodó al diseño previo del brazo fijo que solía sostener la antigua herramienta de siembra. Por lo tanto, se optó por utilizar el brazo de la estructura e incorporar este nuevo elemento, el cual es desmontable de la pieza del pistón. Este elemento debe ser capaz de soportar 2.5kg peso derivado del mecanismo de taladro y el mecanismo dosificador.



Figura 25-Soporte de Base

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de estrés se veía que la pieza tendría deformación en la parte superior donde se dispuso el motor stepper para el mecanismo de siembra sin embargo el motor solo tiene un peso de 0.7kg por lo que se dedujo que la simulación exageraba la deformación así que se procedió a fabricar la pieza de soporte el desplazamiento máximo de esa cara de la pieza era de $3.85 \cdot 10^{-7}$ mm un valor muy bajo como para cambiar las dimensiones de la pieza.

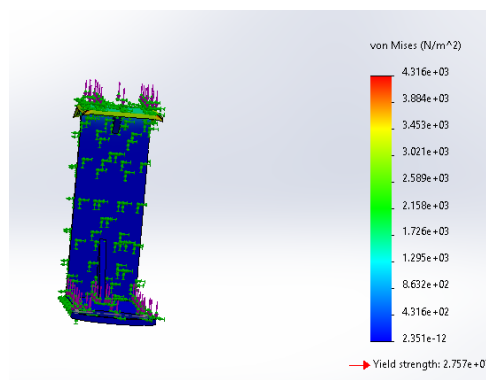


Figura 26.Análisis finito del soporte de base

El ensamble final del efector de siembra consta de 5 componentes para su funcionamiento: el brazo de soporte fijo que venía con el agrobot, el soporte que une al pistón con el taladro, los actuadores siendo estos dos: pistón para un movimiento lineal y motor DC para un movimiento rotacional de la herramienta de taladro y por último la herramienta de taladro que es la cual con ayuda de todo el mecanismo quien perfora la tierra.

En la siguiente figura se muestra una comparacion entre un diseno de efector final para procesos de mecanizados en fresadora, el cual es la base para el diseno del efector final de siembra, haciendo uso de elementos similares, como por ejemplo un husillo motorizado, una herramienta que en este caso es para perforacion de tierra y la estructura de soporte.

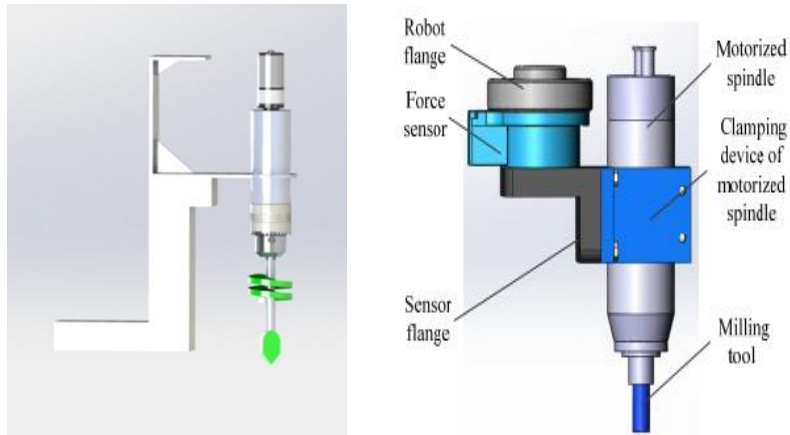


Figura 27-Contraste entre efector final de mecanizado y de siembra

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.10.1 SIMULACIONES DE MOVIMIENTO

La figura muestra el desplazamiento en el eje "y" del actuador lineal en su recorrido de estiramiento de -40 mm desde su posición de referencia en un tiempo transcurrido de 12 segundos.

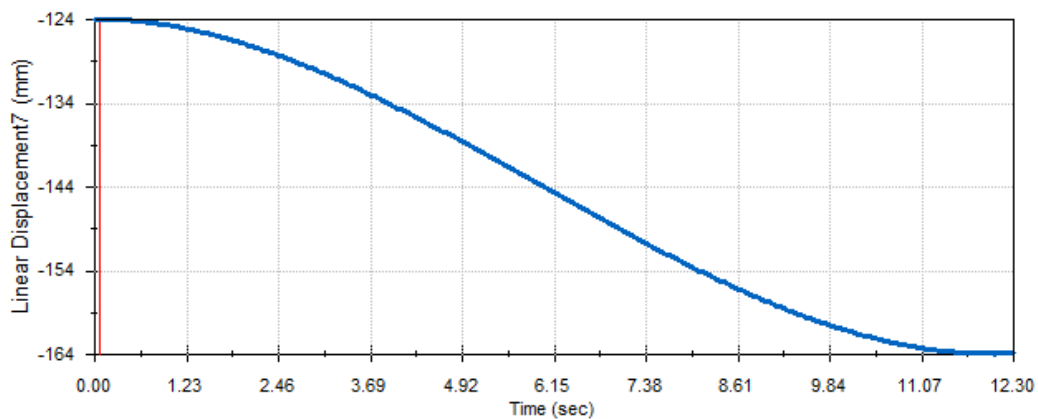


Figura 28.Grafico de desplazamiento lineal del pistón

Al momento del arranque se muestra un pico de 60N/m y se estabiliza en un rango de 10N/m a lo largo de todo el movimiento de perforación que dura 12 segundos.

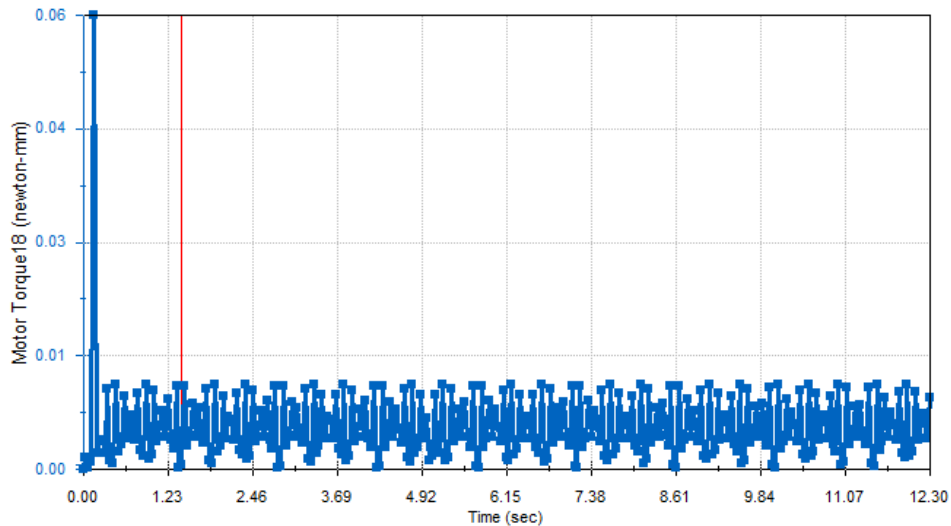


Figura 29. Grafica de torque del taladro

En la gráfica se observa el cambio en velocidad a lo largo del trayecto de estiramiento del pistón el cual dura 12 segundos. En el segundo 6.15 alcanza una velocidad máxima de 5mm/s siendo igual a la velocidad de penetración de la herramienta en el suelo. El movimiento como se observa en la gráfica es lento, pero ayuda a la herramienta de taladro perforar considerando que las revoluciones del taladro son solo 600 rpm y que en terrenos arcillosos se puede adherir la arcilla a la herramienta atascándola.

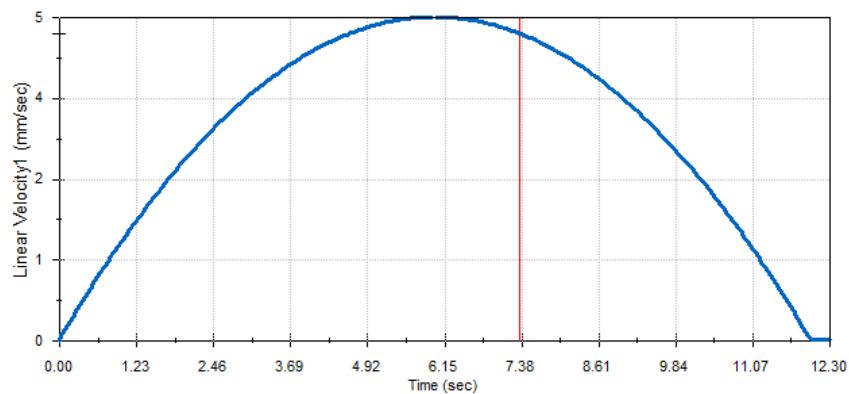


Figura 30. Grafica de velocidad del actuador lineal

Las simulaciones de movimiento del mecanismo dispensador permitieron conocer la trayectoria que tomaría la semilla desde el rodillo hasta su salida, así mismo se pudo calcular el ángulo de rotación del rodillo necesario para que la semilla caiga por gravedad sin traslapar con la caída de otra semilla, En las gráficas se observa el desplazamiento angular del rodillo con la semilla hasta su caída libre por gravedad.

En esta primera grafica el comportamiento de la semilla se da de la siguiente forma: la semilla cae desde una altura dentro de la tolva en el orificio del rodillo que transporta la semilla, ese movimiento de caída se refleja en las fluctuaciones irregulares en los primeros 0.30 segundos. Una vez el rodillo empieza a girar, se observa un cambio en el desplazamiento angular de 75 grados hasta el momento en que la semilla cae del orificio depósito del rodillo en el segundo 3.60 donde sale de la estructura del mecanismo hasta caer a tierra.

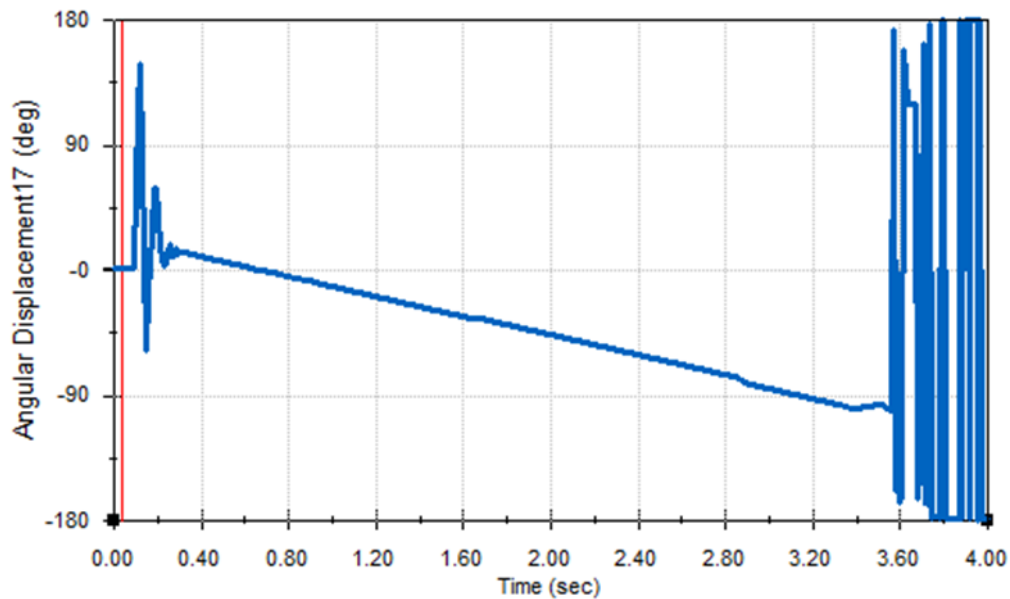


Figura 31-Desplazamiento angular de la semilla hasta su salida del dispensador.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente grafica se aprecia la magnitud de la velocidad de la semilla, el primer pico se presenta en el momento que la semilla cae a la tolva, en el segundo 0.8 la semilla experimenta un movimiento dentro del orificio deposito por lo que se presenta una velocidad y el resto del tiempo permanece constante hasta su salida del dispensador.

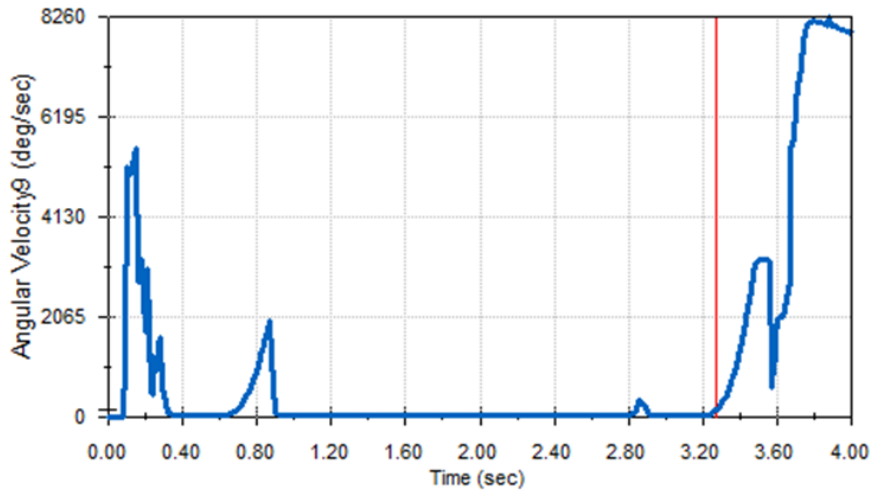


Figura 32-Magnitud de velocidad angular de la semilla

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 33** se aprecia la velocidad angular descompuesta en el eje x los primeros 0.30 segundos simulan la caída de la semilla a la tolva, luego se observa que por 2.80 segundos las semilla no experimenta muchos cambios en su componente x, permaneciendo constante debido a que se encuentra en el orificio hasta el momento en que cae por la estructura mostrando un pico y por último muestra variaciones al caer a la tierra.

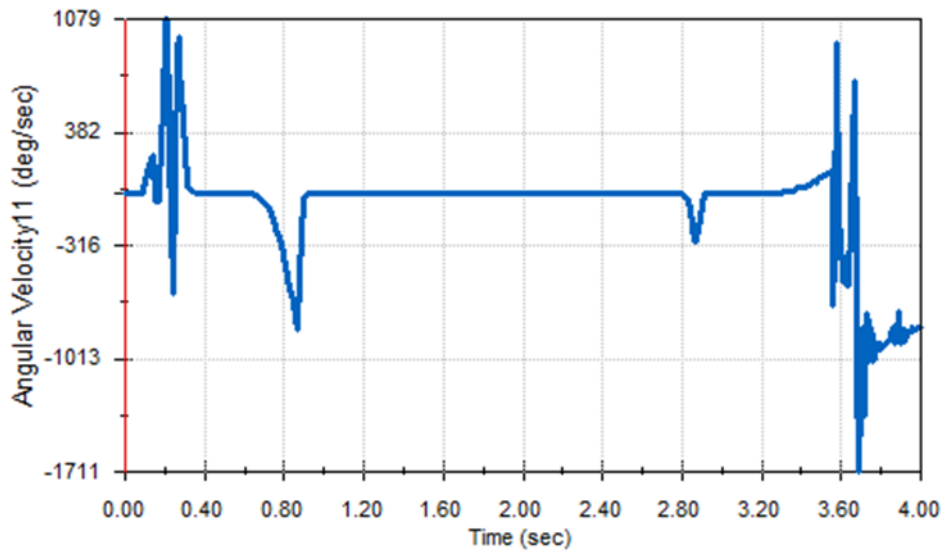


Figura 33-Velocidad angular en el eje x.

Fuente: Elaboración propia

5.2.5.10.2 SIMULACIONES DEL MOVIMIENTO DE LA SEMILLA DENTRO DEL DISPENSADOR.

La simulación arranca con la semilla predispuesta desde una altura dentro de la tolva, comportándose de la manera previamente descrita en la gráfica. Los extremos circulares de la estructura ayudan a que la semilla ruede hasta el orificio de salida de la estructura.

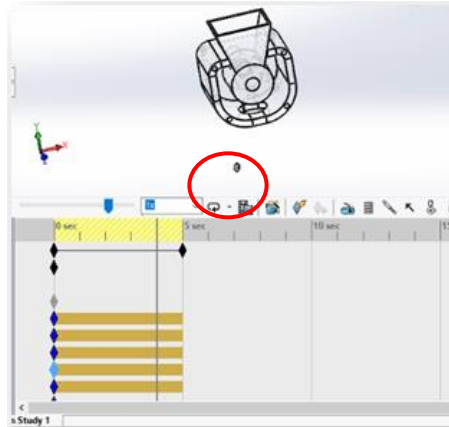


Figura 34-Semilla cayendo del sistema

Fuente: Elaboración propia

Mediante las simulaciones y el análisis de las gráficas se concluye que el motor debe de dar un desplazamiento de 75 grados tomando como referencia un ángulo de inicio de 5 grados del rodillo para que se logre un ángulo de caída por gravedad de la semilla sin afectar el siguiente derramo de semilla.

5.2.6 PRUEBAS Y VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En este apartado se especifican las pruebas experimentales de validación realizadas al prototipo para garantizar su funcionalidad al aire libre. Las pruebas fueron realizadas en dos espacios exteriores diferentes, terrenos planos con mínimas irregularidades debidos al diseño del rover sobre el cual se montaría la herramienta. Las tierras mostraban diferencias en su densidad, una era más compacta y la otra más suelta.

5.2.7 MUESTREO DE SEMILLAS PARA DISEÑO DE RODILLO

Para el diseño del modelo de rodillo se tomaron muestras de semillas de frijol para crear un patrón de dimensiones de este que pudieran proveer un tamaño adecuado para las dimensiones de las perforaciones de almacenamiento de semilla en el rodillo. Se utilizó un instrumento de medición de magnitudes frecuentado y fácil de utilizar; el vernier o calibrador aprovechando la escala vernier "nonio" para disminuir el margen de error en las mediciones.

Por lo tanto, se concluyó los siguientes promedios y errores estándar para las dimensiones de esta semilla; longitud: 1.112 ± 0.0458 cm, ancho: 0.579 ± 0.033 ; grosor: 0.459 ± 0.024 .

- **Prueba#1 en suelos cohesivos sin acople al pistón del rover**

Para verificar que la broca perforaba la tierra se hicieron pruebas solo con el efector final sobre tierra cohesiva, es decir que presentadas partículas pequeñas, humedad y se adhería, asimismo; esto se realizó sin el acople al pistón sosteniéndolo manualmente desde sus soportes. Como era de esperarse si perforo hasta cierta profundidad 1cm a 1.5cm máximo con el peso propio del mecanismo en la estructura de soporte, por lo que es necesario la fuerza externa del pistón para impulsar la perforación en la tierra. La punta de la broca llega al suelo primero para estabilizar al cavar sobre suelos, sin embargo, se realizó una modificación a la punta para que el ángulo de penetración.

- **Prueba#2 en tierra cohesiva mecanismo acoplado al pistón y al rover**

Al realizar la primera prueba se observa que el perforado en la tierra se dio sin dificultad debido a que la fuerza del actuador lineal y el giro de la broca facilitaban la perforación en la tierra presentando mayor esfuerzo por la herramienta de taladro al momento en que la profundidad aumentaba, sin embargo, se validó que el torque del motor funcionaba y facilitaba la perforación de la broca en tierra. En cuanto al rover presentaba desbalance debido a la desproporción en peso ya que en su almacenamiento no había nada para equilibrar el peso. El peso del mecanismo hacía que el rover se inclinara hacia enfrente y la vibración generaba mucho movimiento en el rover, esto intervenía en el funcionamiento del efector final. La herramienta de perforación está prevista a que baje una profundidad de 4cm y así mismo una vez terminada la operación suba la misma distancia quedando en la superficie del agujero para evitar rebotes entre la semilla y las aspas de la broca, pero al inclinarse el rover, la herramienta sube, sin embargo, no queda a la distancia original al momento en que inicio la operación, queda dentro del agujero por lo que la semilla al caer rebotaba en la herramienta y caía fuera del agujero. además de esto se determinó que el diámetro de 4cm del ducto dispensador de semillas era considerablemente grande para la semilla en estudio (frijol), en consecuencia, la semilla tenía más espacio para salir en distintas direcciones dentro y fuera del agujero por lo que se optó por mejorar el diámetro y la inclinación de la boquilla del ducto dispensador para corregir el ángulo de caída de la semilla hacia el agujero. En un principio se logró sostener el rover con un poco de peso en la parte trasera, pero siempre se generaba un poco de

inclinación, debido a esto se optó por otra solución para estabilizar el rover y evitar que influyera en las pruebas de validación del efector final.



Figura 35-Ducto de semillas con diámetro de 4cm

Fuente: Elaboración propia

Se mantuvo siempre el ducto principal con diámetro de 4m para evitar que las semillas no se desplazaran libremente a través del ducto debido al espacio reducido, La modificación que se realizó fue a la boquilla de salida del ducto, reduciéndola a un diámetro de 2cm.



Figura 36-Ducto de semillas

Fuente: Elaboración propia

En la figura inferior se observa que la profundidad máxima de la perforación es de 4cm. Todos los agujeros perforados mantuvieron la misma profundidad sobre terrenos planos puesto que el diseño está previsto en superficies perpendiculares a la herramienta, en teoría no debería de haber ninguna diferencia en la profundidad de los agujeros si se realizan sobre terrenos sin irregularidades, de lo contrario la inclinación del rover afectaría la eficiencia del efector final para perforar agujeros.



Figura 37-Profundidad de agujero de 4cm.

Fuente: Elaboración propia

- **Prueba#3 suelo granular húmedo, mecanismo acoplado al pistón y al rover**

En la tierra granular se procedió a realizar el mismo procedimiento de prueba realizada en la sección anterior con leves diferencias en los resultados al ser la tierra más suelta el taladro removía con mayor facilidad. En cuanto a la semilla se produjo el mismo problema, en su caída rebotaba con el aspa de la broca y por consiguiente no caía en el agujero.

5.2.7.1 Dispensador de semilla

El mecanismo dispensador de semillas consta del rodillo motorizado el cual transporta las semillas en sus orificios hasta su salida, esta prueba tuvo éxito cayendo un máximo de tres semillas de frijol por orificio y movilizadas hasta su salida del dispensador por el ducto de semillas. El problema presentado en su diseño fue que la boquilla reductora del ducto tenía un diámetro de salida demasiado grande para el tipo de semilla dejando un margen de espacio de 3.8 cm lo que direccionaba la semilla a caer fuera del agujero o a rebotar en las aspás de la broca, luego se redimensiono la boquilla a un ángulo de inclinación de 28 grados de manera que el eje central de la boquilla direccionara hacia la punta de la broca y un diámetro de 2cm en la boquilla reductora, sin embargo se observó que el diámetro aún era muy grande con un margen de 0.8mm de espacio. Además de esto, otro problema externo al dispensador fue, la inclinación del Rover debido al peso del efector final; el ángulo de inclinación de la boquilla se calculó midiendo distancias y alturas con la punta de la broca sobre la superficie una vez el agujero estuviese perforado pero la inclinación hacia el frente del Rover provocaba que la

broca no se elevaba completamente hacia la superficie por lo que siempre rebotaban las semillas en las aspas.

Como último cambio se realizó una boquilla de 1.4cm de diámetro, mejorando la trayectoria de las semillas.

Se realizaron 40 pruebas con el efector final sobre terreno llano de las cuales el porcentaje de precisión en la cantidad de semillas depositadas dentro del agujero se muestra en el siguiente gráfico.

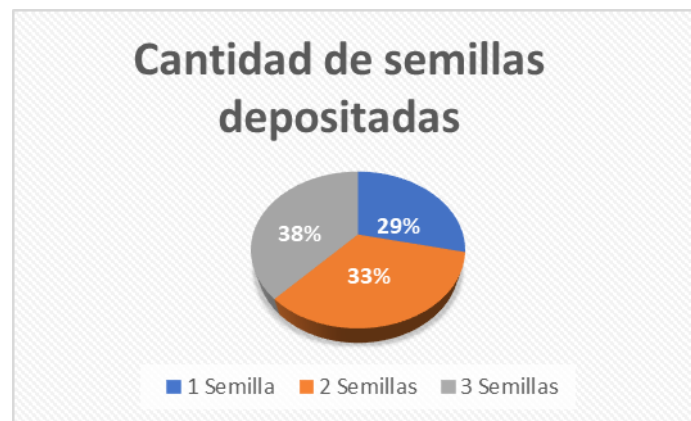


Figura 38- Porcentaje de precisión del dispensador de semillas.

Fuente: Elaboración propia

Las fallas en la precisión del dispensador se concluyeron que se daban debido a que al perforar la tierra se acumulaba la tierra removida en las orillas del agujero dando menos espacio para que las semillas pudieran caer, es así como se procedió amarrar a la broca abrazaderas de plástico ya que son firmes y servían para barrer la tierra de las orillas. Así se procuró adecuarlo de manera que el desperdicio de semillas fuera mínimo o nada, dando el siguiente resultado para 15 pruebas (figura 49): el 87% de las veces equivalente a 13 dosis de semillas, todas las semillas cayeron dentro del agujero presentando diferencia en la cantidad ya sea de 1, 2 o 3 debido al tamaño de la semilla. Solo en dos dosis cayeron 2/3 y 1/2 respectivamente fuera del agujero. Aumentando la precisión en el dispensador.

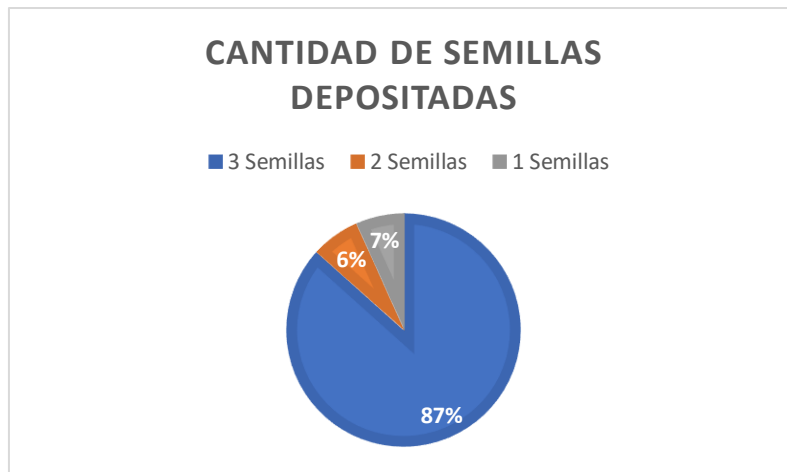


Figura 49 -Porcentaje de precisión del dispensador de semillas.

Así se realizó un total de 55 pruebas para verificar la precisión del dispensador de semillas.

5.2.1 EXPERIMENTACIÓN, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN

En este apartado se determinan las mejoras en el desempeño del diseño propuesto a través de los resultados obtenidos en la experimentación física del modelo representativo llevando a la optimización de un componente o de todo el sistema.

5.2.1.1 Modificaciones del prototipo

Las pruebas de campo involucran factores externos que influyen negativa o positivamente en el diseño del prototipo, es así como se verifica el verdadero funcionamiento del equipo, sus fallas y mejoras en diseño que impulsen la optimización del producto hasta lograr un resultado eficiente y práctico. El primer cambio realizado en el efector final fue el mecanizado de la herramienta de perforación. La herramienta original era muy larga y las aspas comenzaban a una altura de la broca que no permitía aprovechar al máximo su utilidad para penetrar la tierra, además la forma de la punta de la herramienta no favorecía en gran medida en el momento de perforación. Los cambios se dieron en el largo de la herramienta, las aspas se ajustaron a una distancia bastante cerca de la punta de la herramienta y se reemplazó la punta triangular por una broca con mayor ángulo de penetración de 118 grados para penetra sobre tierra más dura.

Así mismo se realizaron otros cambios sustanciales para el funcionamiento del dispensador de semillas. La boquilla del ducto se inclinó un ángulo de 20.72 grados respecto a su diseño original, logrando apuntar la caída de la semilla directo al agujero.

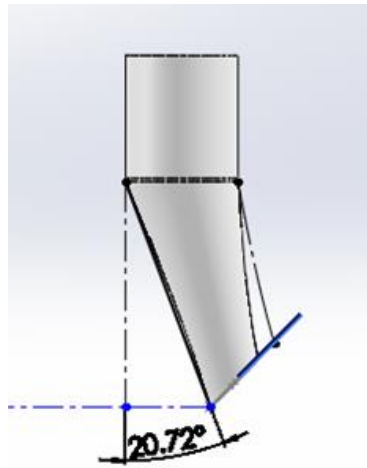


Figura 39-Modificación de boquilla

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 PRESENTACIÓN

Se presenta una vista frontal del diseño final en un renderizado realizado en SolidWorks con los elementos que componen el efector final y su ensamble sobre el rover agricultor. El ensamble de los componentes se realizó por medio de tornillos usando herramientas como taladros o atornilladores para su ensamble. Así también hay piezas fijas que van adheridas entre si con pegamento resistente.

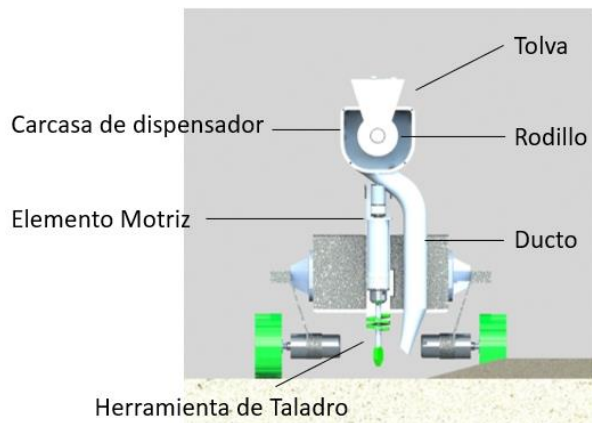


Figura 40-Ensamble de efector final sobre rover

Fuente: Elaboración propia

En esta siguiente imagen se pueden apreciar los soportes de acoples del efector final con el rover, si bien la estructura se ve robusta en la parte frontal del rover y este mismo necesita elementos de peso que equilibren la inestabilidad de peso causada por el efector final. Se cumplió con las exigencias de un efector final desmontable y adaptable a otros modelos de rovers y con el requerimiento de entregar un prototipo diseñado para disponerse en la parte

frontal del rover. El efector hace uso de 3 actuadores para generar movimientos mecánicos en las piezas.

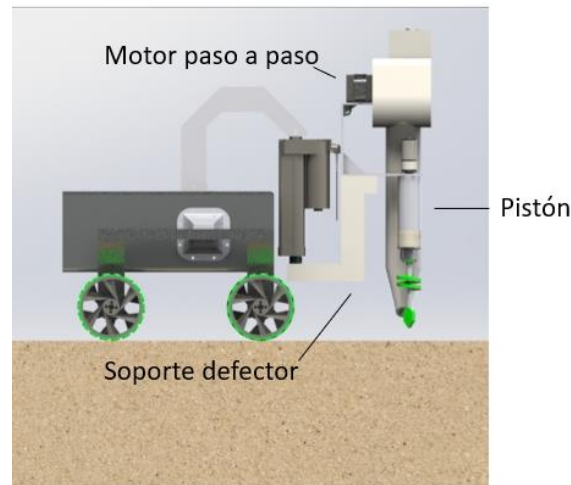


Figura 41- Ensamble de efector final vista lateral.

Fuente: Elaboración propia

Según las pruebas pasadas realizadas del rover se estimó que su tiempo de movimiento en distancias de 25cm es de 20 segundos a una velocidad de 3.33 cm/s y la operación de perforación y plantación es de 24 segundos y 7 segundos respectivamente, dando un tiempo de operación de tarea total de 31 segundos.

El prototipo final tiene el siguiente funcionamiento, el efector final baja una distancia de 4cm a través de un actuador lineal que transmite un movimiento lineal en la herramienta de taladro, a su vez el taladro gira a 600rpm y con un torque de 10Nm. Ambos mecanismos se activan simultáneamente, por si solo el giro del taladro no podría penetrar la tierra es por eso que el pistón además de desplazar la herramienta ejerce una fuerza promedio de 60N o 13.5 lbf(fuerza determinada anteriormente para suelos medios) dependiendo del suelo con el que se enfrente. La operación de perforación termina una vez el pistón haya llegado a su máximo estiramiento y tenga que retornar para elevar la herramienta. Terminado esto se procede a accionar el motor del mecanismo dispensador, el cual se encuentra con la tolva abastecida. El motor impulsa el giro del rodillo, a través del cual las semillas se movilizan hacia el compartimento externo de la tolva y caen por gravedad a la carcasa del dispensador a través de un agujero que conduce hacia un ducto reductor por donde la semilla desliza cayendo hasta el agujero.



Figura 42-Prototipo final

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se evidencia una comparación del dispositivo efector final de siembra con diseños y funcionalidades de otros diseños existentes, generando discusión en cuanto a aplicación y conceptos de diseño.

5.2.3.1 Efector final de siembra

El mecanismo de siembra a diferencia de otros sistemas existentes es funcional gracias al elemento motriz utilizado para controlar su movimiento de rotación. El motor paso a paso provee al dispositivo de mayor exactitud de posición del giro y un control de la tasa de dispersión de semilla adaptable a los requerimientos de la aplicación de siembra, por medio de la programación de sus posiciones. Lo que permite un sistema de tasa variable que se acomode a las variabilidades del campo. Estos sistemas mecánicos de dispersión por actuadores, son utilizados en varios modelos de dispositivos de siembra (Sunitha et al., 2017) además de utilizar motores para activar el funcionamiento del mecanismo hace uso de rueda dentadas de engranajes como método de dispersión de semillas. Para la herramienta que estaría en contacto con la tierra con el fin de perforarla se coincide con diseños de puntas de cortes y capacidad de remover la tierra penetrada asimilándose en el concepto de funcionalidad propuesto por(Ospina-Bayona et al., 2019), el cual hace referencia a una herramienta de corte de cincel; el modelo propuesto en esta investigación se centra en herramienta de taladro que perfora agujero de manera más precisa e individualizada, sus aspas permiten remover la tierra penetrada para depositar la semilla en un agujero delimitado. Tal como (Xie et al., 2018) describe un diseño de efector final de husillo motorizado, se concluyó

que para penetrar la tierra y formar un agujero con diámetro delimitado sería factible y favorecedor un efector basado en este concepto en donde la herramienta de perforado penetre impulsado por un giro rotacional y una fuerza aplicada a la misma, asimismo que permita intercambiar entre herramientas adaptándose al tipo de semillas y su requerimiento necesario en diámetro de perforación para que germine en un espacio adecuado. Para los soportes, la estructura se adecuo con la permisibilidad de desmontaje y adaptación a otros dispositivos (robots).

El desarrollo de mecanismos de efectores finales en el sector agrícola da una oportunidad para que estas tareas puedan ser automatizadas y monitoreadas con mayor precisión, para obtener los beneficios asociados a la implementación de esta tecnología se determina el grado de inteligencia aplicados a las maquinas en general y los efectores finales son una fracción esencial en todo este sistema. La demanda de trabajo menos arduo y la escasez en personal dispuesto a realizar estas tareas obliga al desarrollo e invención de prototipos electromecánicos que reduzcan los costos laborales de este sector y proyecten al ser humano como supervisor en estas tareas y ya no como un labrador, reduciendo cargas de trabajo y aumentando productividad. La robótica y los subsistemas encerrados en esta disciplina como los efectores finales son todos partes indispensables para el desarrollo, automatización, intensificación sostenible y mejora tecnológica para presentes y futuras emergencias tecnológicas.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

- Se fabricó un efector final de siembra individualizada, basado en un mecanismo de taladro con una herramienta de acero al manganeso resistente a una fuerza a la compresión de 60N, así mismo se diseñó un dispensador de semillas con control electrónico mediante el uso de un motor paso a paso determinando un desplazamiento de 80 grados del motor para lograr que la semilla caiga por gravedad sin afectar el siguiente derramo de semilla del rodillo. Mediante pruebas se logró comprobar que el ángulo de inclinación del ducto dispensador de semillas para lograr una óptima trayectoria de la semilla debía inclinarse a 20.72 grados y el diámetro de la boquilla de 1.4cm, logrando que la trayectoria de las semillas direccionara hacia el agujero.
- Se utilizaron un total de tres actuadores eléctricos, lineales y rotatorios correspondientes a un pistón eléctrico, un motor DC 12V y un motor paso a paso Nema17 para el mecanismo de perforación y el dispensador de semillas.
- Mediante el mecanismo de taladro se verificó a través de 55 pruebas en superficies llanas de suelos cohesivos y granulares, un proceso de perforación más individualizado cuya profundidad se controla en un promedio de 4cm mediante un pistón eléctrico.
- En las últimas 15 pruebas realizadas se concluyó que se dispensaban un máximo de tres semillas de frijol con una precisión del 87% depositando 3/3 semillas en 13 pruebas realizadas, un 7% depositando 1/2 semillas en una dosis y un 6% logrando 2/3 semillas en una dosis.

CAPITULO VII. RECOMENDACIONES

- Una vez el efector final es acoplado al rover se debe asegurar de que, al momento de accionar el mecanismo de perforación, el pistón opere simultáneamente con el taladro para evitar que la estructura del rover sufra doblez en su carcasa debido a la fuerza del pistón. Por si solo el pistón no hará que la herramienta de taladro perfore la tierra.
- En caso de utilizar otro tipo de semilla distinto al frijol el cambio se realizaría en el rodillo y la boquilla del ducto de semillas adaptándose a tamaños adecuados para cada tipo de semilla.
- Adicionar a la estructura del rover un elemento que cubra el surco una vez la semilla se ha depositado.

BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga, O., Amores, K., Terán, H., Cangui, RicharS., Ramírez, A., Hurtado C, S., Inlago, D., & Chuquimarca, B. R. (2020). Automation of a seed on tray seeder machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872, 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012003>
- Azeta, J., Bolu, C. A., Alele, F., Daranijo, E. O., Onyeubani, P., & Abioye, A. A. (2019). Application of Mechatronics in Agriculture: A review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378, 032006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/3/032006>
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014>
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2017). Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering*, 153, 110-128. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.11.004>
- Benos, L., Bechar, A., & Bochtis, D. (2020). Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations. *Biosystems Engineering*, 200, 55-72. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.009>
- Borisenko, I., Gangur, M., Kobylko, A., Romanov, D., & Smirnova, O. (2019). Information support system for management decisions in the agricultural sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 403, 012083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012083>

- Charania, I., & Li, X. (2020). Smart farming: Agriculture's shift from a labor intensive to technology native industry. *Internet of Things*, 9, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100142>
- Devaraj, T., Raja, S. R. S., & Janarthanan, M. (2020). RF Controlled Solar Seed Sowing Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 955, 012105. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012105>
- Dokin, B. D., Aletdinova, A. A., & Kravchenko, M. S. (2017). Prospects and features of robotics in russian crop farming. *Journal of Physics: Conference Series*, 803, 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/803/1/012032>
- Dutta, S., Shanker, U., Katiyar, S., Singh, V., Zafar, M. N., & Mohanta, J. C. (2019). Development and Fabrication of an Autonomous Seed Sowing Robot. *Materials Science and Engineering*, 9.
- Galchenko, S. A., Antropov, D. V., Komarov, S. I., Zhdanova, R. V., & Kirillov, R. A. (2020). Innovative approaches to the formation of an intellectual system of support of decision making during the solution of tasks of management of land resources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 579, 012149. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012149>
- Gao, Y., Zhao, D., Yu, L., & Yang, H. (2020). Influence of a new agricultural technology extension mode on farmers' technology adoption behavior in China. *Journal of Rural Studies*, 76, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.04.016>
- Gras, C., & Cáceres, D. M. (2020). Technology, nature's appropriation and capital accumulation in modern agriculture. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.04.001>

- Guerra, A. J. P. (2017, abril 30). MECANOTECNIA: DISEÑO MECÁNICO DE TOLVAS INDUSTRIALES (TERCERA PARTE). *MECANOTECNIA*.
<http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/04/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>
- He, X., Ding, Y., Zhang, D., Yang, L., Cui, T., & Zhong, X. (2019). Development of a variable-rate seeding control system for corn planters Part II: Field performance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.010>
- Iacomì, C., & Popescu, O. (2015). A New Concept for Seed Precision Planting. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.035>
- Igamberdiyev, A., Alikulov, S., Berdimuratov, P., Artiqbaev, B., Berdimurodov, U., & Usarov, O. (2020). Modern direction for agricultural development in the Republic of Uzbekistan. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 883, 012054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012054>
- Jeyakumar, R., Ramachandran, N., Ajay Aravind, J., Ajithkumar, M., Arun Kumar, K., & Dhivakar, M. (2020). Development and conception of versatile agricultural machine. *Materials Today: Proceedings*, S2214785320363847. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.502>
- Juiña, Arellano, Llumipanta, L., Roberto, Paul. (2015). *Diseño y construcción de una máquina perforadora de suelo para anclajes de diámetro 32 x 12 000 mm de largo para la estabilización de taludes*. DOI: 10.17163/ings.n13.2015.03
- Khaparde, R. (2019). Experimental problem solving: A plausible approach for conventional laboratory courses. *Journal of Physics: Conference Series*, 1286, 012031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1286/1/012031>

- Kirkegaard Nielsen, S., Munkholm, L. J., Lamandé, M., Nørreremark, M., Edwards, G. T. C., & Green, O. (2018). Seed drill depth control system for precision seeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, *144*, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.008>
- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, *24*, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>
- Kokieva, G. E., Voinash, S. A., Sokolova, V. A., Gorbachev, V. A., Fedyaev, A. A., & Fedyaev, A. A. (2020). *The study of soil mechanics and intensification of agriculture*. 7.
- Li, Y. (2020). Research on Precision Planting Management System Based on Agricultural Big Data. *Journal of Physics: Conference Series*, *1544*, 012174. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1544/1/012174>
- Lundström, C., & Lindblom, J. (2018). Considering farmers' situated knowledge of using agricultural decision support systems (AgriDSS) to Foster farming practices: The case of CropSAT. *Agricultural Systems*, *159*, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.10.004>
- Magomedov, A., Khaliev, M. S.-U., & Ibragimova, L. V. (2020a). The need for introducing new technology in agriculture to ensure a sustainable future. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *548*, 032026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/3/032026>
- Magomedov, A., Khaliev, M. S.-U., & Ibragimova, L. V. (2020b). The need for introducing new technology in agriculture to ensure a sustainable future. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *548*, 032026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/3/032026>

- Masarei, M., Guzzomi, A. L., Merritt, D. J., & Erickson, T. E. (2019). Factoring restoration practitioner perceptions into future design of mechanical direct seeders for native seeds. *Restoration Ecology*, 27(6), 1251-1262. <https://doi.org/10.1111/rec.13001>
- Mentsiev, A. U., Mentsiev, A. U., & Amirova, E. F. (2020). IoT and mechanization in agriculture: Problems, solutions, and prospects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548, 032035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/3/032035>
- Mirzaev, B., MaMatov, F., Chuyanov, D., Ravshanov, H., Shodmonov, G., Tavashov, R., & Fayzullayev, X. (2019). Combined machine for preparing soil for cropping of melons and gourds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 403, 012158. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012158>
- Morar, C. A., Doroftei, I. A., Doroftei, I., & Hagan, M. G. (2020). Robotic applications on agricultural industry. A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 997, 012081. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/997/1/012081>
- Muzaini, M., Juniati, D., & Siswono, T. Y. E. (2019). Exploration of student's quantitative reasoning in solving mathematical problem: Case study of field-dependent cognitive style. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157, 032093. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032093>
- Ospina-Bayona, H. E., Sánchez-Torres, C. C., García-León, R. A., Ballesteros-Ruiz, H. A., & Pérez-Lozano, B. C. (2019). Design of a mechanical seeder. *Journal of Physics: Conference Series*, 1388, 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1388/1/012004>
- Petunina, I. A., & Rudnev, S. G. (2020). Multilayered destruction of a soil layer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 488, 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012038>

- Ravshanov, K., Fayzullaev, K., Ismoilov, I., Irgashev, D., Mamatov, S., & Mardonov, S. (2020). The machine for the preparation of the soil in sowing of plow crops under film. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 883, 012138. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012138>
- Sharda, A., Franzen, A., Clay, D. E., & Luck, J. D. (2018). Precision Variable Equipment. En D. Kent Shannon, D. E. Clay, & N. R. Kitchen (Eds.), *ASA, CSSA, and SSSA Books* (pp. 155-168). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/precisionagbasics.2016.0094>
- Shindelov, A. V., Ivanov, N. M., Nemtsev, A. E., Vakhrushev, B. B., & Nikolaev, A. D. (2020). Stress-strain modelling state and fatigue of the working body of the tillage unit for weed removal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 941, 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/941/1/012047>
- Solodun, V. I., & Zaitsev, A. M. (2019). Opportunities and prospects of minimum soil tillage in Eastern Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315, 052042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052042>
- Souza, D. C. de, & Engel, V. L. (2018). Direct seeding reduces costs, but it is not promising for restoring tropical seasonal forests. *Ecological Engineering*, 116, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.019>
- Sunitha, K. A., Suraj, G. S. G. S., Sowrya, C. P. N., Sriram, G. A., Shreyas, D., & Srinivas, T. (2017). Agricultural robot designed for seeding mechanism. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 197, 012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/197/1/012043>

- Swanepoel, P. A., Roux, P. J. G. le, Agenbag, G. A., Strauss, J. A., & MacLaren, C. (2019). Seed-Drill Opener Type and Crop Residue Load Affect Canola Establishment, but Only Residue Load Affects Yield. *Agronomy Journal*, 111(4), 1658-1665. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0695>
- T Putra, I. D. G. A., Suarta, I. M., Sugiarta, N., Sugina, I. M., & Suirya, W. (2020). Integration tillage mechanism on design of seed planter for small farming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450, 012090. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012090>
- Titovskaya, N. V., Titovskaya, T. S., & Titovskii, S. N. (2019). The prospects of microcontroller application in the agriculture digitalization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315, 032011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/3/032011>
- Vasconez, J. P., Kantor, G. A., & Auat Cheein, F. A. (2019). Human–robot interaction in agriculture: A survey and current challenges. *Biosystems Engineering*, 179, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.12.005>
- Xi, X., Gu, C., Shi, Y., Zhao, Y., Zhang, Y., Zhang, Q., Jin, Y., & Zhang, R. (2020). Design and experiment of no-tube seeder for wheat sowing. *Soil and Tillage Research*, 204, 104724. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104724>
- Xie, Y., Zou, W., Yang, Y., & Lia, J. (2018). Design of robotic end-effector for milling force control. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 423, 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/423/1/012032>
- Xiong, L., Sun, S., & Xiao, M. (2018). Agricultural Machinery Automation and Intelligent Research and Application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 452, 042077. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/452/4/042077>

- Yang, X., & Sun, M. (2019). Intelligent Crop Planting Management and Quality Traceability System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 490, 042019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/4/042019>
- Yu, L., Qin, H., & Xiang, P. (2020). Incentive mechanism of different agricultural models to agricultural technology information management system. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 28, 100423. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2020.100423>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zubrilina, E., Markvo, I., Novikov, V., Beskopylny, A., Vysochkina, L., Rudoy, D., & Butovchenko, A. (2019). Precise seeding planter with automated monitoring and control system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 403, 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012063>

ANEXOS

Anexo 1- Plano del Prototipo

