



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL SEMBRADOR DE  
PAPAS COLABORATIVO CON EL AGRICULTOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTOR: FRANKLIN LEONARDO CAISAGUANO TOAQUIZA**

**TUTOR: CARMEN JOHANNA CELI SÁNCHEZ**

Quito-Ecuador

2024

**I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza con documento de identificación No: 1753067220, manifiesto que:

Soy el autor responsable del presente trabajo, por lo que autorizo a que, sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 1 de Agosto del 2024

Atentamente



---

Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza  
1753067220

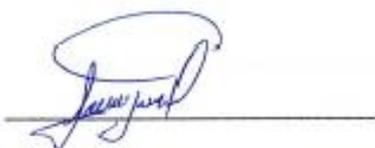
## II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza, con documento de identificación No: 1753067220, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor para el desarrollo de un Dispositivo tecnológico: "Diseño e implementación de un robot móvil sembrador de papas colaborativo con el agricultor", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 1 de Agosto del 2024

Atentamente,



Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza

1753067220

### III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carmen Johanna Celi Sánchez con documento de identificación N° 1717437808, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL SEMBRADOR DE PAPAS COLABORATIVO CON EL AGRICULTOR”, realizado por Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza con documento de identificación N° 1753067220, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 1 de Agosto del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carmen Johanna Celi Sánchez', is written over a horizontal line.

Ing. Carmen Johanna Celi Sánchez, Mgtr

1717437808

#### **IV. DEDICATORIA**

A mis padres Carlos Caisaguano y Águeda Toaquiza, a quienes les debo toda mi vida, les agradezco de todo corazón por su amor, comprensión, dedicación y esfuerzo constante en busca de mi bienestar, quienes han sido influidos en mi crecimiento, inculcándome buenos valores, me brindaron su apoyo incondicional en todo momento, por guiarme, por impulsar, por todos los consejos, por confiar siempre en mí, por ser los mejores padres del mundo. Me encuentro agradecido con Dios por permitir compartir mi vida junto a ustedes, mi familia.

A mis hermanos Edwin, Jonny, Paulina y Evelyn, quienes formaron parte fundamental con su amor incondicional y apoyo inquebrantable, por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos, por motivarme a ser mejor persona, por dejar solito en el trayecto de mi estudio, son mis seres más queridos que mi Dios me ha regalado, los amo mucho.

Especialmente a mi abuelita Zoila Ugsha, quien me motivó a ser un profesional. Gracias por su consejo, por su palabra de aliento. A pesar de que ya no se encuentra en este mundo, siempre me guía desde el cielo.

Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza

## V. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme disfrutar de mi familia, por guiar, por bendecir en cada etapa de mi vida, por darme salud y mucha fortaleza para afrontar cada adversidad que se ha presentado.

A mis padres y mi familia por el apoyo incondicional, quienes fueron motor fundamental que me motivaron con sus palabras de aliento y consejos a culminar el ciclo universitario.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, en especial a la carrera de Ingeniería Mecatrónica, por abrirme las puertas y permitirme a formar en esta prestigiosa institución.

A todos los docentes y colaboradores universitarios, quienes marcaron parte de mi vida. Son muchas las personas que han formado parte de mi formación como profesional, a las que deseamos agradecerles por su paciencia, su amistad, sus consejos, por brindar sus conocimientos, su dedicación, su esfuerzo con ética y moral. Finalmente, a todas las personas que han formado parte de mi vida y que me han permitido ser parte de la suya, a todos ustedes gracias.

Franklin Leonardo Caisaguano Toaquiza

## VI. ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
II.	CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	II
III.	CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
IV.	DEDICATORIA.....	IV
V.	AGRADECIMIENTOS.....	V
VI.	ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
	ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
	RESUMEN.....	XVIII
	ABSTRACT.....	XIX
	PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....	20
	PROBLEMA DE ESTUDIO.....	20
	JUSTIFICACIÓN.....	21
	OBJETIVOS.....	23
	OBJETIVO GENERAL .....	23
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
	CAPÍTULO I.....	25
	MARCO TEÓRICO .....	25
1.1	Antecedentes y estado del arte .....	25
1.1.1	Fendt Xaver.....	25
1.1.2	AGSEM.....	26
1.1.3	Robot sembrador autónomo.....	26

1.2	Importancia de la papa en el Ecuador.....	27
1.3	El proceso de siembra.....	28
1.4	Elección del terreno .....	28
1.5	Características del suelo .....	29
1.5.1	Elaboración del suelo.....	29
1.5.2	Surco .....	29
1.5.3	Siembra .....	29
1.6	Características del productor .....	30
1.7	Agricultura de precisión .....	30
1.8	Robot agrícola .....	30
1.9	Robot móvil.....	31
1.10	Robots móviles con ruedas .....	31
1.11	Sistema de locomoción robots móviles con ruedas.....	31
1.11.1	Configuración triciclo .....	32
1.11.2	Configuración Ackerman .....	32
1.11.3	Ventanas y desventajas del sistema de locomoción .....	32
1.12	Sembradora automática .....	33
1.13	Tipo de suelo .....	34
1.14	Tipos de materiales.....	34
1.14.1	Acero carbono.....	34
1.14.2	Acero inoxidable.....	35
1.15	Tipos de transmisión de movimiento.....	35
1.15.1	Banda .....	35
1.15.2	Engrane .....	35

1.15.3	Cadena.....	35
<b>CAPÍTULO II .....</b>		<b>36</b>
<b>ESTUDIO Y ELECCION DE OPCIONES DE DISEÑO .....</b>		<b>36</b>
2.1	Elección del mecanismo de abrir y cerrar surco.....	36
2.1.1	Elección de chasis .....	38
2.1.2	Requerimientos del chasis.....	39
2.2	Elección del sistema de microcontrolador.....	40
2.3	Elección de neumáticos .....	42
2.4	Selección de motorreductor .....	44
2.5	Tipo de material.....	45
2.5.1	Acero A36 .....	45
2.5.2	Características técnicas del Acero.....	45
2.6	Rodamientos .....	46
2.7	Soldadura .....	46
2.8	Tipo de soldadura .....	47
2.8.1	MIG arco metálico con gas .....	47
2.8.2	Selección del alambre .....	47
2.9	Materiales seleccionados para la implementación.....	48
2.10	Motorreductores .....	48
2.10.1	Motor de elevación Megamat MCZ.....	48
2.10.2	Motor de coche eléctrico.....	48
2.11	Tarjetas microcontroladores .....	49
2.11.1	Esp32.....	49
2.11.2	Puente-H BTS7960 .....	49
2.11.3	Regulador de voltaje LM2596 .....	49

2.12	Batería.....	50
2.12.1	Batería Lipo .....	50
2.12.2	Batería Tian Neng .....	51
2.13	Rodamientos .....	51
2.14	Conductor eléctrico.....	52
2.15	Ecuaciones del análisis .....	52
2.15.1	Cálculo del peso total de la estructura .....	52
2.15.2	Cálculo de soldadura.....	52
2.15.3	Cálculo de eje por esfuerzo a torsión.....	53
2.15.4	Cálculo de eje por esfuerzo de flexión.....	53
2.15.5	Cálculo de factor de seguridad.....	54
2.15.6	Capacidad de la tolva del dosificador .....	54
2.15.7	dimensión de la papa.....	54
2.15.8	Distancia de la siembra .....	55
2.15.9	Fuerza requerida de arrastre del sembrador .....	55
2.15.10	Cálculo de la masa total del robot.....	56
2.15.11	Soporte de peso fuerza normal.....	56
2.15.12	fuerza de corte.....	56
2.15.13	Cálculo de resistencia del suelo a la cuchilla.....	57
2.15.14	Estimación de la fuerza necesaria .....	58
2.16	Calculo electrónico y potencia .....	58
2.16.1	Cálculo de la velocidad.....	58
2.16.2	Estimación de la potencia de resistencia.....	58
2.16.3	Velocidad angular.....	59
2.16.4	Cálculo del torque .....	59
2.16.5	transmisión.....	59
2.16.6	Relación de transmisión por cadena .....	59

2.16.7	Estimación del cálculo por el sistema de dirección .....	60
2.17	formula del cálculo den consumo de corriente .....	60
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>61</b>
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT MÓVIL SEMBRADOR.....</b>		<b>61</b>
3.1	Diseño mecánico.....	61
3.2	Mecanismo ensamblado .....	62
3.3	Estudio de la estructura del dosificador.....	64
3.4	Cálculo de la soldadura de la estructura a cortante simple.....	64
3.5	Estudio del eje central de transmisión .....	64
3.6	Resultados de la simulación .....	66
3.7	Selección de rodamientos .....	67
3.8	Análisis estructural del chasis.....	68
3.8.1	Análisis de tensión axial y de flexión .....	68
3.8.2	Selección del perfil .....	68
3.8.3	Análisis de cargas y diseño .....	69
3.8.4	Resultados .....	69
3.8.5	Análisis de desplazamiento.....	71
3.8.6	Factor de seguridad del chasis .....	72
3.9	Simulación de los amortiguadores.....	72
3.9.1	Modelado .....	73
3.9.2	Análisis de esfuerzos.....	74
3.10	Selección del sistema de transmisión por cadena.....	75
3.11	Comprobación mediante simulación de las barras de dirección.....	75
3.11.1	Modelado .....	75

3.12	Sistema de almacenamiento de semillas.....	77
3.13	Dimensión de tolva.....	78
3.14	Cálculo del volumen tolva.....	78
3.15	Dimensión de la papa .....	78
3.16	Cálculo del volumen de la papa tolva.....	79
3.17	Requerimiento .....	79
3.18	Cálculo del peso normal .....	80
3.19	Cálculo de la fuerza de corte de tierra .....	80
3.20	Cálculo de resistencia del suelo a la cuchilla .....	81
3.21	Estimación de la fuerza del diagrama de cuerpo libre.....	81
3.22	Cálculo de la velocidad.....	81
3.23	Cálculo de potencia requerida .....	82
3.24	Velocidad angular.....	82
3.25	Cálculo del torque en las ruedas .....	82
3.26	Torque para cada rueda.....	83
3.27	Transmisión de movimiento .....	83
3.27.1	Cálculo de relación de transmisión por cadena.....	83
3.28	Cálculo del sistema de dirección .....	84
3.29	Cálculo de consumo corriente del motor y controlador .....	84
3.30	Diseño final del robot en SolidWorks .....	84
3.31	Diseño electrónico en PBC.....	85
3.32	Diagrama de flujo .....	86

<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>87</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADO.....</b>	<b>87</b>
4.1 Resultado de funcionamiento .....	87
4.1.1 Prueba de control app Inventor .....	87
4.2 Ejecución de la prueba del robot móvil agricultor implementado.....	88
4.2.1 Prueba de distancia recorrida .....	88
4.2.2 Prueba de la profundidad .....	89
4.2.3 Prueba de la semilla .....	91
4.3 Costos del robot agricultor .....	92
4.3.1 Costos de insumos mecánicos.....	92
4.3.2 Costo de insumos electrónicos.....	93
4.3.3 Mano de obra para construcción .....	94
4.3.4 Costo total del robot agricultor .....	94
4.4 Periodo de recuperación de la inversión del robot agricultor .....	95
4.4.1 Proceso de siembra .....	95
4.4.2 Proceso de cosecha .....	95
4.4.3 Ganancia total de la producción de tubérculos .....	96
4.4.4 Flujo efectivo generado en la cosecha .....	97
4.4.5 Flujo de caja final acumulado .....	97
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Robot Fendt Xaver [7].....	25
<b>Figura 2.</b> Robot sembrador de papa [8] .....	26
<b>Figura 3.</b> Creación de un prototipo de un robot [9] .....	27
<b>Figura 4.</b> Proceso de la siembra [1] .....	28
<b>Figura 5.</b> Preparación del suelo [16].....	29
<b>Figura 6.</b> Distancia entre surco y la planta [19].....	30
<b>Figura 7.</b> Robots agrícolas [23].....	31
<b>Figura 8.</b> Robot móvil triciclo [29].....	32
<b>Figura 9.</b> Robot móvil Ackerman [31].....	32
<b>Figura 10.</b> Máquina sembradora automática [32].....	34
<b>Figura 11.</b> Especificaciones dimensionales de rodamientos [55] .....	46
<b>Figura 12.</b> Motor Megamat MCZ [59].....	48
<b>Figura 13.</b> Motor eléctrico 12v [60].....	48
<b>Figura 14.</b> Esp32 Devkit [61] .....	49
<b>Figura 15.</b> Puente H BTS7960 [62] .....	49
<b>Figura 16.</b> Regulador de voltaje LM2596 [63].....	50
<b>Figura 17.</b> Batería Lipo Turnigy [65].....	50
<b>Figura 18.</b> Batería tiang neng [67] .....	51
<b>Figura 19.</b> Rodamiento seleccionado [68] .....	51
<b>Figura 20.</b> Tipos de cable [69] .....	52
<b>Figura 21.</b> Diagrama del cordón de soldadura [70]. .....	53
<b>Figura 22.</b> Dimensión de la papa [70].....	55
<b>Figura 23.</b> Diagrama de cuerpo libre .....	56
<b>Figura 24.</b> Características técnicas del suelo [45].....	57
<b>Figura 25.</b> Fuerzas aplicadas en la cuchilla del surcador.....	57
<b>Figura 26.</b> Diagrama de cuerpo libre del torque .....	59
<b>Figura 27.</b> Vista explosiva del robot .....	61
<b>Figura 28.</b> Modelo del robot agricultor ensamblado.....	63
<b>Figura 29.</b> Simulación del eje en Inventor .....	65
<b>Figura 30.</b> Análisis del eje.....	65
<b>Figura 31.</b> Torque del eje en simulación .....	66

<b>Figura 32.</b> Simulación del desplazamiento del eje .....	66
<b>Figura 33.</b> Factor de seguridad del eje .....	66
<b>Figura 34.</b> Página Web de SKF .....	67
<b>Figura 35.</b> Configuración de carga para el rodamiento .....	67
<b>Figura 36.</b> Resultados de cálculo para el rodamiento rígido.....	67
<b>Figura 37.</b> Proceso de diseño mediante análisis de cargas y esfuerzos .....	68
<b>Figura 38.</b> Elemento de carga .....	68
<b>Figura 39.</b> Diagrama de elementos críticos por flexión.....	69
<b>Figura 40.</b> Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....	69
<b>Figura 41.</b> Análisis de la estructura del chasis en tensión.....	71
<b>Figura 42.</b> Análisis de desplazamiento del chasis.....	71
<b>Figura 43.</b> Factor de seguridad del chasis.....	72
<b>Figura 44.</b> Software en el Inventor .....	73
<b>Figura 45.</b> Realización de cargas en el software.....	73
<b>Figura 46.</b> Diseño en el software Inventor el amortiguador .....	74
<b>Figura 47.</b> Simulación en el Inventor el amortiguador .....	74
<b>Figura 48.</b> Deformación máxima del resorte .....	74
<b>Figura 49.</b> Software libre para la selección de cadena.....	75
<b>Figura 50.</b> Diseño de la barra de dirección .....	76
<b>Figura 51.</b> Realización de carga en la barra de dirección .....	76
<b>Figura 52.</b> Deformación de barra de dirección. ....	77
<b>Figura 53.</b> Diseño de la tolva.....	77
<b>Figura 54.</b> Dimensión de la tolva.....	78
<b>Figura 55.</b> Distancia entre surcos y plantas .....	80
<b>Figura 56.</b> Transmisión mediante cadena .....	83
<b>Figura 57.</b> Diseño final del robot agricultor .....	85
<b>Figura 58.</b> Diagrama de conexión del circuito.....	85
<b>Figura 59.</b> Diagrama de flujo.....	86
<b>Figura 60.</b> Control App Inventor.....	87
<b>Figura 61.</b> Robot móvil agricultor implementado. ....	88
<b>Figura 62.</b> Distancia entre semillas.....	88
<b>Figura 63.</b> Prueba de altura. ....	90
<b>Figura 64.</b> Semillas depositadas en la tolva.....	91
<b>Figura 65.</b> DIPAC. ....	106

<b>Figura 66.</b> Selección de cadena simple.....	106
<b>Figura 67.</b> Anexo 2.....	107
<b>Figura 68.</b> Anexo 3.....	108
<b>Figura 69.</b> Anexo 4.....	109
<b>Figura 70.</b> Anexo 5.....	110
<b>Figura 71.</b> Anexo 6.....	111
<b>Figura 72.</b> Anexo 7.....	112
<b>Figura 73.</b> Anexo 8.....	113
<b>Figura 74.</b> Anexo 9.....	114
<b>Figura 75.</b> Anexo 10.....	115
<b>Figura 76.</b> Anexo 11.....	115
<b>Figura 77.</b> Anexo 12.....	116
<b>Figura 78.</b> Anexo 13.....	116
<b>Figura 79.</b> Anexo 14.....	117
<b>Figura 80.</b> Anexo 15.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de sistema de locomoción en tabla de comparativa .....	33
<b>Tabla 2.</b> Análisis alternativos de sistemas mecánicos de surcado [40] [41] [42].....	36
<b>Tabla 3.</b> Métodos de evaluación de las alternativas de los sistemas de surcado.....	37
<b>Tabla 4.</b> Selección de alternativa de los sistemas mecánicos de surcado.....	37
<b>Tabla 5.</b> Análisis de alternativas del sistema del chasis [43] [44].....	38
<b>Tabla 6.</b> Métodos de evaluación de las alternativas del chasis .....	38
<b>Tabla 7.</b> Selección de alternativa del chasis adecuado .....	39
<b>Tabla 8.</b> Requerimientos a cumplir la estructura de chasis [45] .....	39
<b>Tabla 9.</b> Características principales del cuadrón [45] .....	40
<b>Tabla 10.</b> Análisis alternativo de los microcontroladores [46] [47] [48] .....	40
<b>Tabla 11.</b> Sistema de evaluación para las alternativas de los microcontroladores .....	41
<b>Tabla 12.</b> Selección de alternativa de los sistemas de microcontroladores.....	41
<b>Tabla 13.</b> Análisis alternativos según las propiedades específicas de las ruedas [50] [51] [49] .....	42
<b>Tabla 14.</b> Sistema de evaluación para las alternativas de los neumáticos.....	43
<b>Tabla 15.</b> Selección de alternativa de los sistemas neumáticos .....	43
<b>Tabla 16.</b> Análisis alternativos según las especificaciones del motorreductor [52].....	44
<b>Tabla 17.</b> Sistema de evaluación para las alternativas de los motores .....	44
<b>Tabla 18.</b> Selección de alternativa del motorreductor .....	45
<b>Tabla 19.</b> Característica del acero A36 [54] .....	46
<b>Tabla 20.</b> Tabla de tensión del alambre de soldadura [58].....	47
<b>Tabla 21.</b> Componentes del robot agricultor .....	62
<b>Tabla 22.</b> Se presentan los pesos de los componentes del robot .....	63
<b>Tabla 23.</b> Prueba de distancia recorrida entre semillas .....	89
<b>Tabla 24.</b> Prueba de altura entre la semilla y la superficie del terreno.....	90
<b>Tabla 25.</b> Transporte de tubérculos que contienen semillas .....	91
<b>Tabla 26.</b> Detalle de los costos vinculados a los accesorios para la construcción mecánica ..	92
<b>Tabla 27.</b> Detalle de los costos correspondientes de electrónicos utilizados .....	93
<b>Tabla 28.</b> Análisis de los costos asociados a la mano de obra.....	94
<b>Tabla 29.</b> Costo total del robot móvil sembrador de papa.....	94

<b>Tabla 30.</b> Costo total del proceso de siembra.....	95
<b>Tabla 31.</b> Valor total de la cosecha.....	96
<b>Tabla 32.</b> Flujo efectivo generado por la cosecha y la inversión del proyecto .....	97
<b>Tabla 33.</b> Flujo de caja acumulados al final de cada cosecha .....	97

## RESUMEN

El avance tecnológico ha impulsado el desarrollo de la robótica, lo que genera mejoras en la calidad de vida de las personas, tanto en sus ámbitos laborales como en sus hogares. Estos avances han permitido al humano explorar y acceder a entornos difíciles de alcanzar, esto proporciona nuevas oportunidades.

El objetivo del proyecto es ofrecer apoyo a los pequeños agricultores, que cultivan papas a completar sus labores de siembra utilizando una técnica de diseño de sistemas robóticos. Este proyecto empleará un robot móvil sembrador que se encargará de optimizar el proceso del cultivo, considerando aspectos como el ahorro de mano de obra, el tiempo, y el costo de producción.

Para llevar a cabo el diseño y la implementación del robot, se realizó un estudio exhaustivo de materiales, componentes mecánicos y elementos electrónicos, para encontrar las opciones idóneas en el diseño y la implementación del robot.

Utilizando el software SolidWorks, se diseñaron los componentes mecánicos y se realizó una simulación detallada de cada pieza. El modelo resultante se analizó a fondo lo que permitió seleccionar los materiales óptimos y el método de construcción eficiente.

Se realizará una serie de pruebas rigurosas con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del robot móvil sembrador de papas colaborativo con el agricultor. Estas pruebas se enfocarán en aspectos críticos como la calidad del cultivo y los tiempos de producción. Los resultados obtenidos en estas pruebas serán evaluados y, de ser necesario, se realizarán modificaciones adicionales a futuro para optimizar el rendimiento del robot.

**Palabras claves:** robots móviles, siembra, producción, esp32, simulación algoritmos.

## ABSTRACT

The technological advancement has driven the development of robotics, which generates improvements in the quality of life of people, both in their work environments and in their homes. These advances have allowed humans to explore and access hard-to-reach environments, providing new opportunities.

The objective of the project is to provide support to small farmers who grow potatoes to complete their planting tasks using a robotic system design technique. This project will use a mobile seeding robot that will be responsible for optimizing the cultivation process, considering aspects such as labor savings, time, and production cost.

To carry out the design and implementation of the robot, an exhaustive study of materials, mechanical components and electronic elements was carried out to find the ideal options in the design and implementation of the robot.

Using SolidWorks software, the mechanical components were designed, and a detailed simulation of each part was performed. The resulting model was thoroughly analyzed, allowing the optimal materials and efficient construction method to be selected.

A series of rigorous tests will be carried out in order to guarantee the correct functioning of the mobile potato planting robot collaborative with the farmer. These tests will focus on critical aspects such as crop quality and production times. The results obtained in these tests will be carefully evaluated and, if necessary, additional modifications will be made in the future to optimize the performance of the robot.

**Keywords:** mobile robots, planting, production, esp32, simulation algorithms

## **PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

### **PROBLEMA DE ESTUDIO**

La papa es uno de los cultivos más habituales en el Ecuador, el proceso de labor se lleva a cabo con técnicas tradicionales. La etapa de siembra requiere de mayor tiempo de laboreo y cantidad de peones, inutilizando los parámetros técnicos adecuados durante el ciclo de siembra, produciendo con el aumento coste de inversión y baja rentabilidad en la producción. De esta forma se establecen los problemas vinculados a la siembra de este tubérculo.

El trabajo humano no siempre es exacto dentro del proceso de colocación de tubérculo, debido a que no es precisa la distancia y cantidad de semillas que se fueren a colocar lo que conlleva al desperdicio con poca productividad, invertir mayor tiempo en el laboreo, aumento de mano de obra, por lo tanto, un incremento en el costo de producción y disminución de la rentabilidad.

Según en el Manual del cultivo de papa para la Sierra Sur indican. “Cuando use semilla de dimensión grande y mediano, coloque 1 semilla por golpe, mientas use semilla de tamaño pequeño, ponga 2 semillas por golpe. La distancia de siembra es de 30 a 40 cm (pie de una persona), entre golpe y golpe. Tape con azadón; la semilla debe quedar cubierta a una profundidad de 10 cm bajo tierra”. [1]

Por lo tanto, el problema del estudio del cultivo de papas implica la identificación de los factores que limitan la producción y la calidad del cultivo, así como el desarrollo de estrategias para mitigar los efectos negativos de estos factores y mejorar el rendimiento y la calidad de las papas. Este problema es de gran importancia, ya que la producción de tubérculos es una actividad agrícola esencial en varias partes del mundo y es una fuente significativa de alimento y sustento para muchas comunidades.

El cultivo de papas en el Ecuador es especialmente producido en la provincia del Carchi seguido por Tungurahua y Cotopaxi, de acuerdo con los datos [2], la producción alcanzó 30 toneladas por mercancía, por lo tanto, se convierte en una de las actividades económicas más generadoras de ingresos para las familias a nivel provincial y para el año 2022 se estima un incremento de la producción del tubérculo.

Esta producción se desarrolla empleando técnicas tradicionales con el uso reducido de medios tecnológicos. Según [3], cerca de 7.225 hectáreas del país son destinadas al cultivo del papa, siendo uno de los productos que generan un mayor rendimiento incluyendo otros granos como el plátano y maíz duro seco.

## **JUSTIFICACIÓN**

Debido a la problemática que se presenta en el cultivo tradicional de papas, es importante realizar la búsqueda de soluciones innovadoras que permitan mejorar la eficiencia y la rentabilidad del proceso de siembra. Los agricultores son los principales gestores medioambientales y necesitan un acceso ininterrumpido a la innovación y la investigación para producir alimentos y otros productos de manera sostenible y con mayor rentabilidad, a la vez que protegen el medio ambiente para las generaciones futuras y refuerzan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. [4]

Considerando que en el Ecuador la papa es uno de los tubérculos más consumidos por la población desde tiempos remotos hasta la actualidad, es fundamental implementar herramientas que faciliten su cultivo, debido al esfuerzo físico que demanda esta actividad en los agricultores.

De acuerdo con Katherine and C. Santos [5], la tecnología moderna aplicada en la agricultura admitirá efectuar cambios sobre la marcha del proceso agrónomo que mejoren su asistencia mecánica a través de sensores, actuadores y software que concentren decisiones inteligentes, que siempre superan a los procesos agrónomos convencionales.

Según el INIAP [1], el desarrollo de tecnificación en el sector agrícola está en inmutable crecimiento, esto se debe a que es esencial complementar la idea. Como resultado, se ha logrado asistir a los agricultores a mejorar la calidad y tecnificación de sus productos, al mismo tiempo reducir los costos de inversión al proceso de siembra.

Con la incorporación del robot móvil sembrador de papa colaborativo con el agricultor, se mejorará el proceso del cultivo. El cultivador reducirá su tiempo de exposición en su trabajo, ya que el robot realizará la misma actividad en el menor tiempo posible. Por otro lado, el uso del robot móvil cultivador de papas también mejorará las condiciones de trabajo, al minimizar el contacto con enfermedades transmitidas por las plantas y por los fertilizantes, abonos,

pesticidas y fungicidas. El robot contribuirá a promover la seguridad y el bienestar de los agricultores. Además, fomentará una agricultura más saludable y sostenible.

Por lo tanto, resulta fundamental la implementación de un robot móvil sembrador de papas en colaboración con el agricultor. Esto conlleva numerosos beneficios para los agricultores. Dicho robot no solo contribuirá a la prevención de accidentes, sino que también agilizará el proceso de siembra. Además, reducirá el esfuerzo necesario y evitará accidentes inesperados.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un robot móvil sembrador de papas colaborativo con el agricultor.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el proceso artesanal de siembra de papas para el establecimiento de las variables de entrada y salida del robot a través de la investigación con los expertos en agricultura.
- Diseñar los elementos mecánicos y electrónicos mediante cálculos y/o software de ingeniería para la construcción del robot móvil sembrador.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del robot móvil en campo para la verificación su eficiencia y calidad.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

En este capítulo se puntualiza la importancia y el proceso de la siembra del tubérculo. Asimismo, se aborda el uso del robot móvil y la utilización de diferentes sistemas de locomoción para el cultivo de papas.

### 1.1 Antecedentes y estado del arte

Durante la planificación y diseño del robot sembrador de tubérculo, resulta imprescindible desarrollar detenidamente las mejores características. Es importante estudiar modelos y proyectos similares que han sido desarrollados en distintos países. Con base en la revisión bibliográfica, se seleccionan, diseñan y construyen los componentes del robot móvil y el sistema de navegación autónomo. En consideración de lo expuesto previamente, se evalúan los siguientes modelos.

#### 1.1.1 Fendt Xaver

AGCO/Fendt, una empresa agrícola reconocida, ha implementado proyectos desde 2017. Entre estos proyectos destaca el robot Fendt Xaver, como se aprecia en la Figura 1, diseñado para tareas de siembra. A lo largo del tiempo, ha experimentado mejoras constantes, adaptándose de manera efectiva al sector agrícola. La versión más reciente del robot ofrece funcionalidades avanzadas, como el sistema de navegación inteligente VarioGuide y la plataforma digital en la nube FendtONE. Con tres ruedas, un peso de 250 kg y una capacidad de 20 litros de semillas, el Fendt Xaver se distingue por su batería de 2.6 kWh, que proporciona un estimado dos horas y media de funcionamiento continuo. [6]



**Figura 1.** Robot Fendt Xaver [7].

### 1.1.2 AGSEM

Los alumnos de la Escuela Politécnica de Chimborazo han desarrollado un prototipo de robot sembrador de papas que se adapta a diferentes tipos de terreno, como se ilustra en la Figura 2. Esta máquina utiliza tecnología de control de velocidad y transmite datos de forma inalámbrica a través de wifi. Durante las pruebas en campo, el prototipo demostró cumplir con los requisitos de trabajo y superar el laboreo manual. Tiene una autonomía de aproximadamente 49 minutos y se basa en la odometría para realizar la siembra de manera autónoma. [8]



**Figura 2.** Robot sembrador de papa [8].

### 1.1.3 Robot sembrador autónomo

La Universidad Agraria del Ecuador, mediante la facultad de Ciencias Agrarias y la Carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación, ha desarrollado un prototipo de robot sembrador de tubérculos como se muestra en la Figura 3. Está diseñado para sembrar en terrenos preparados, con el propósito de reducir el tiempo y esfuerzo requeridos en esta etapa. El prototipo cuenta con dos modos de trabajo: automático, que garantiza una siembra rápida y precisa, y manual, que permite al operario controlar el sembrador en terrenos irregulares. [9]



**Figura 3.** Creación de un prototipo de un robot [9].

### **1.2 Importancia de la papa en el Ecuador**

Debido a sus diversas propiedades nutricionales y su rápido crecimiento, la papa es el cuarto cultivo más importante del mundo. El arroz, el maíz y el trigo se encuentran por encima de la papa. Los tubérculos son consumidos por alrededor de 1.400 millones de personas en todo el planeta, y se producen 300 millones de toneladas al año en todo el mundo. [10]

La papa es uno de los alimentos fundamentales del sistema agrícola de la sierra ecuatoriana. Además, representa una fuente significativa de ingresos para las familias campesinas. Aproximadamente 88130 productores que se dedican al cultivo, se estima que 250000 personas están vinculadas de manera directa e indirecta a la siembra. Además, genera fuentes de empleo, aproximadamente 3.5 millones de jornales que se traduce en ingresos directos cercanos a los USD 70 millones. [11]

En la sierra ecuatoriana, la papa se cultiva entre los 2800 y los 3500 metros sobre el nivel del mar, durante el periodo 2021, el área total de tierra cultivada de tubérculo fue de 19088 ha, mostrando una disminución del 23.3 % en comparación con respecto al año anterior. El cultivo de este producto se encuentra principalmente en la sierra, las provincias con mayor rendimiento son Carchi, Cañar, Pichincha y Chimborazo. [12]

Carchi tiene la mayor superficie sembrada de este tubérculo, obteniendo una productividad de 254653 t y rendimiento de 24.90 t/ha. Posee características edafoclimáticas sobresalientes y superiores al nivel nacional y dispone de un paquete de fertilización de los más elevados. Estas características permitieron a la zona obtener mejores rendimientos. Esto es en comparación con otras provincias. [13]

### 1.3 El proceso de siembra

El proceso de siembra por lo general inicia con la preparación adecuada del terreno, seguido de la selección y colocación estratégica de las semillas. A medida que las plantas germinan, se requiere un cuidado constante, que incluye riego, control de plagas y fertilización. El tiempo desde la siembra hasta la cosecha puede oscilar desde unas pocas semanas hasta varios meses, según la planta específica y las condiciones ambientales. [1]

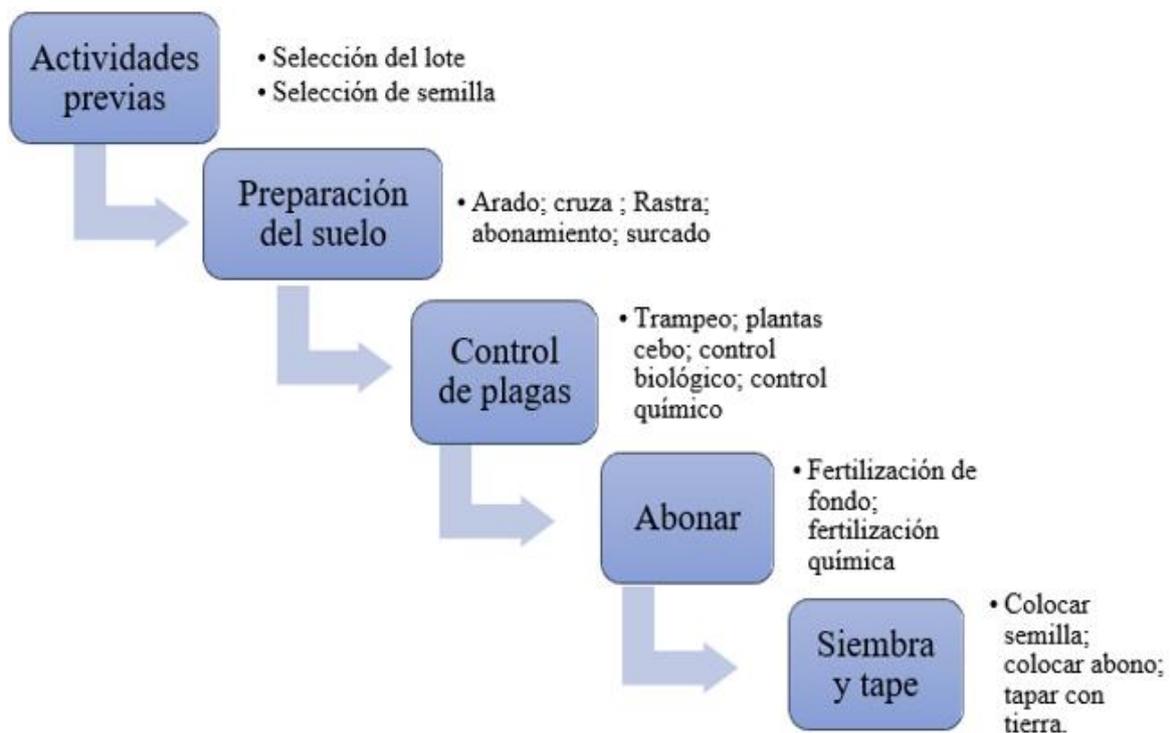


Figura 4. Proceso de la siembra [1].

### 1.4 Elección del terreno

Para la producción de la papa se deben tener en consideración los siguientes criterios: la presencia de enfermedades y plagas, además tomar en cuenta la presencia de agregados de suelo y que tenga una capa arable mayor a 30 cm. De preferencia, elegir terreno nuevo o que haya estado en reposo durante al menos de 3 años. Según los estudios realizados, se recomienda evitar las zonas expuestas a las heladas, eligiendo parcelas con cierto grado de pendiente, por lo tanto, no emplear áreas inundadas con excesos de humedad en la tierra. [14]

## **1.5 Características del suelo**

### **1.5.1 Elaboración del suelo**

La elaboración del suelo es de crucial importancia para el sembrado. La preparación de la tierra se inicia comúnmente 1 o 2 meses antes de la siembra, como se aprecia en la Figura 5, con el uso de un herbicida sistémico, el cual proporciona eliminar aquellas malezas perennes que sostiene órganos reproductivos bajo el suelo. Una cama buena para el tubérculo de semilla, garantiza condiciones propicias en la instauración de colectividad de plantas. [15]



**Figura 5.** Preparación del suelo [16].

### **1.5.2 Surco**

La distancia entre hileras puede ser de 1 a 1,40 m de distancia dependiendo de la variedad. Esta labor se debe realizar un día antes de la siembra para realizar surcos o huachos y de esta forma mantener la humedad en el suelo. Asimismo, se puede hacer de manera mecánica con la ayuda de un tractor o yunta manualmente (azadón). La dirección del surco o huacho debe ser inclinada, hacia abajo para prevenir la acumulación agua. [1]

### **1.5.3 Siembra**

La elección de la época de siembra apropiada desempeña un papel crucial en el cultivo de papas. Se distinguen dos periodos clave: el primero se ubica en los meses de mayo y junio, en tanto que el segundo abarca los meses de noviembre a diciembre. En cuanto a la siembra, se realiza colocando al fondo del surco el tubérculo, desinfectada y brotada. [17]

Además, se deben considerar las distancias sugeridas para implementar un cultivo con una densidad adecuada. Según los estudios realizados, se recomienda sembrar a una distancia de 90 a 1,10 cm entre surcos y de 30 a 40 cm entre plantas, se ilustra en la Figura 6. Es considerable

resaltar que la elección de semillas de papa de buena calidad, con un peso de (60 g), garantiza un óptimo desarrollo y crecimiento [18]. El tape del grano se realiza con el tractor, la yunta o el azadón se utilizan para cubrir la semilla con una capa de tierra de no más de 15 cm.



**Figura 6.** Distancia entre surco y la planta [19].

### **1.6 Características del productor**

De acuerdo con los datos obtenidos en el año 2018, la composición nacional de productores agropecuarios revela una distribución por edades. En promedio, aproximadamente el 8,45% corresponde a personas de 15 a 34 años, el 40,75% se ubica en el rango de 35 a 54 años, el 39,91% pertenece a la franja de 55 a 74 años y un 10,89% corresponde a aquellos de 75 años en adelante. [20]

### **1.7 Agricultura de precisión**

La agricultura de precisión es un método de cultivos basado en la adquisición de datos sobre el cultivo. Se utiliza para aumentar el rendimiento y optimizar los recursos. En lugar de ser manejada como una estrategia de cultivo, se aplica para resolver necesidades específicas y mejorar el rendimiento de la siembra. [21]

### **1.8 Robot agrícola**

La robótica agrícola tiene como objetivo equipar los campos de cultivo con robots pequeños, ligeros y económicos. Estos robots pueden realizar actividades agrícolas, reemplazando las costosas maquinarias actuales. Se busca establecer un modelo donde los robots serían responsables de todas las labores agrícolas, gestionados por un sistema informático y conectados a través de satélites. [22]



**Figura 7.** Robots agrícolas [23].

### **1.9 Robot móvil**

El robot móvil es una valiosa herramienta autónoma que se desplaza de un lugar a otro, sin la intervención de un operador. El hecho de que pueda moverse dentro de un espacio de trabajo predefinido para lograr el objeto deseado lo distingue de los demás. [24]

Están equipados con patas, ruedas u orugas que les permiten moverse según su programación. Los robots procesan la información recibida a través de sus sistemas de sensores. Estos dispositivos son utilizados en instalaciones industriales específicas. Especialmente se emplean en la cadena de producción y los almacenes, donde se encargan del transporte de mercancías. Además, se emplean robots en actividades de investigación en entornos de difícil acceso o en lugares distantes, como en la exploración espacial y las operaciones de rescate submarino. [25]

Además, son capaces de realizar diversas tareas gracias a su alcance para soportar mayores pesos, ayudando a las personas a no poner en riesgo la salud. [26]

#### **1.10 Robots móviles con ruedas**

El sistema de locomoción más común se basa en ruedas, son más simples y fáciles de construir, la carga que pueden transportar es relativamente alta. Los sistemas de cadenas o patas son más difíciles de diseñar y generalmente más pesados porque usan partes. En estos casos de terreno irregular, el control basado en sensores "simples" se vuelve muy complicado debido a la dificultad de medir correctamente el avance; es necesario integrar sistemas fiables como el GPS. [27]

#### **1.11 Sistema de locomoción robots móviles con ruedas**

De acuerdo con su forma de locomoción se clasifican en: triciclos, diferencial, ackerman, mando sincronizado, omnidireccional y deslizante.

### 1.11.1 Configuración triciclo

El robot cuenta con una configuración de tres ruedas, dispuestas de manera similar a un triciclo infantil, de ahí su denominación. En este caso, existen dos ruedas traseras no motorizadas, mientras que la tracción y dirección del robot se encuentran en la delantera. [28]

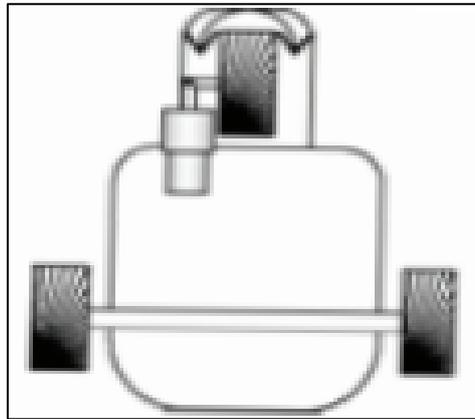


Figura 8. Robot móvil triciclo [29].

### 1.11.2 Configuración Ackerman

Se emplea en la industria automotriz porque se utiliza un diseño que consta de dos ruedas traseras impulsadas y dos ruedas delanteras para la dirección. Esta configuración se ha diseñado específicamente para prevenir que las ruedas patinen. Se asegura que la rueda delantera interior tenga un ángulo ligeramente mayor que la rueda exterior cuando el sistema está girando. [30]

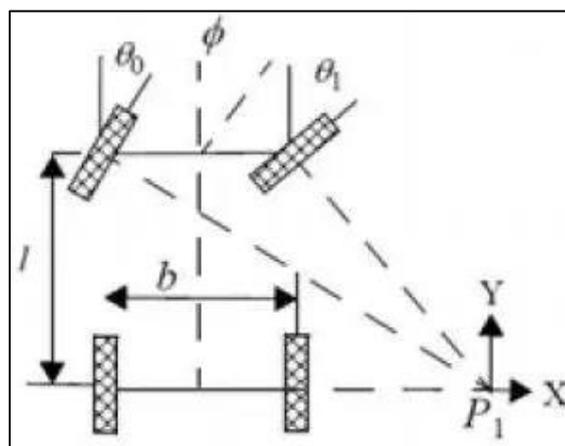


Figura 9. Robot móvil Ackerman [31].

### 1.11.3 Ventanas y desventajas del sistema de locomoción

A continuación, se indica en la Tabla 1, muestra una comparativa entre los mandos de diferentes sistemas de locomoción.

**Tabla 1.** Tipos de sistema de locomoción en tabla de comparativa

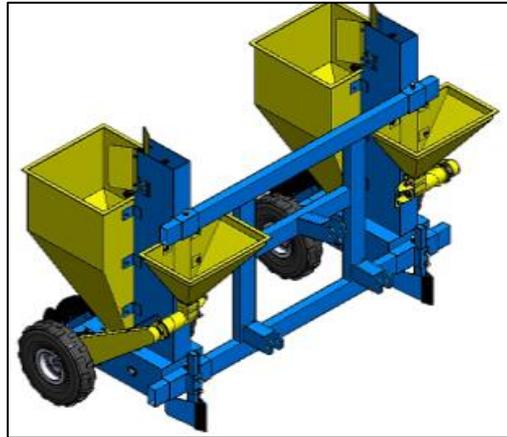
<b>Tipo</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>	<b>Costo</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Otros aspectos</b>
<b>Sincronizado</b>	Simplicidad de Diseño	Limitaciones en terrenos irregulares	Bajo	Relativamente difícil	Adecuado para aplicaciones de bajo costo
<b>Triciclo</b>	Buena estabilidad y maniobrabilidad	Limitado en giros ajustados	Moderado	Requiere cuidadosa alineación de ruedas	Utilizado en vehículo de tres ruedas
<b>Ackerman</b>	Excelente para giros cerrados	Exige dirección precisa	Moderado	Menor complejidad de diseño	Ampliamente utilizado en automóviles
<b>Oruga</b>	Tracción superior en terrenos difíciles	Menos eficiente en superficies lisas	Alto	Variabilidad en la fabricación	Común en vehículos todoterreno
<b>Omni direccional</b>	Movimiento multidireccional completo	Mayor complejidad de control	Alto	Requiere componentes especiales	Común en vehículos todoterreno usado en robótica e industria

En términos generales, al evaluar diversas alternativas de locomoción, se evidencian enfoques especializados que satisfacen necesidades específicas. Los sistemas sincronizados y triciclos son simples y eficaces, el diseño Ackerman permite curvas suaves, las orugas ofrecen tracción en terrenos difíciles y los sistemas omnidireccionales destacan en maniobrabilidad. La diversidad resalta la importancia de elegir el sistema adecuado según las necesidades específicas.

### **1.12 Sembradora automática**

Se caracterizan por realizar de forma automática la alimentación y siembra de semillas, que puede llevarse a cabo por medio de un sistema de cadenas con cangilones o sistema de pinzas. En el sistema de cangilones, se recogen las semillas de la tolva y se depositan en el surco correspondiente, mientras el método de pinzas se toman las papas de un disco giratorio y se

dejan caer al llegar al tubo de descarga. Estas máquinas están equipadas con un mecanismo corrector de errores que entra en acción cuando el cangilón o la pinza se encuentran vacíos. [32]



**Figura 10.** Máquina sembradora automática [32].

### **1.13 Tipo de suelo**

Al analizar el tipo de tierra, se puede seleccionar la mejor opción para el desarrollo adecuado de los tubérculos. Se recomienda optar por suelos profundos, con buen drenaje y preparación, de tipo franco arcilloso-negro andino, que sean fértiles y ricos en materia orgánica. Además, es importante tener en cuenta que el pH ideal del suelo para el cultivo de papa se encuentra entre 6 y 6,5. [33]

### **1.14 Tipos de materiales**

El acero es un material distribuido a nivel mundial y de uso cotidiano. Esto ha generado un aumento en la utilización de diferentes tipos de acero, en función de la necesidad específica. Gracias a la capacidad de manipulación de este componente, el acero, se constituye principalmente de hierro y carbono, se ha convertido en componente esencial en diversos sectores industriales. [34]

#### **1.14.1 Acero carbono**

Su composición física es de color mate y es una de las más resistentes a la corrosión. Este tipo de acero tiene tres subtipos: acero de bajo, medio y alto en carbono, de los cuales el bajo en carbono es del 0,3%, el medio en carbono es del 0,60% y el alto en carbono es del 1,5%. Es particularmente fuerte y se puede emplear para producir algunos de artículos como cables de alto voltaje, cuchillas, piezas de automóviles y otros productos similares.

### **1.14.2 Acero inoxidable**

El acero inoxidable es una familia de aceros resistentes a la corrosión y altas temperaturas. Contienen un 10,5 % de cromo. Existen diferentes tipos que varían en soldabilidad, tenacidad, resistencia mecánica a la corrosión. Estas propiedades se deben a las adiciones controladas de elementos de aleación, que afectan las propiedades mecánicas y la capacidad de resistir en diferentes ambientes corrosivos. [35]

## **1.15 Tipos de transmisión de movimiento**

Las transmisiones de movimiento, por consiguiente, son empleadas en sistemas de precisión, gracias a los servicios que brindan en términos de eficiencia y control. Estas formas de transmisión juegan un papel relevante en la ingeniería mecánica y son fundamentales para el desarrollo y operación de una variedad de dispositivos y maquinarias. [36]

### **1.15.1 Banda**

La transmisión de banda transportadora desempeña un papel crucial al transferir energía entre poleas en movimiento y frenos de banda. La optimización de la eficiencia energética, la gestión del deslizamiento de la cinta, y el diseño preciso de los sistemas de transmisión son aspectos críticos en el ámbito del transporte industrial y áreas afines. [37]

### **1.15.2 Engrane**

Tiene la capacidad de transferir potencia y movimiento de forma altamente eficiente. Además, posibilitan la variación controlada de la velocidad y el torque entre distintos ejes, aspecto crucial en la operación de maquinaria y sistemas mecánicos. Son usados en aplicaciones industriales y automotrices debido a su eficiencia y precisión. Su funcionamiento es fluido y de larga duración. [38]

### **1.15.3 Cadena**

La transmisión de cadena es efectiva para transmitir potencia en sistemas mecánicos, empleándose en mecanismos de sincronización y sistemas de bomba de aceite en vehículos y maquinarias pesadas. Investigaciones experimentales y teóricas han mejorado la estabilidad de la transmisión de cadena y reducir la fricción, lo que es crucial para aplicaciones de alta velocidad en la ingeniería. [39]

## CAPÍTULO II

### ESTUDIO Y ELECCION DE OPCIONES DE DISEÑO

En esta etapa de la investigación, se examinará el proceso que el robot sembrador llevará a cabo. Para ello, se evaluarán diversos componentes clave, estos incluyen el sistema de surcado, el diseño del chasis, las tarjetas de microcontroladores y los materiales mecánicos. Todos estos componentes se ajustan las demandas de los agricultores. Además, se examinarán diferentes opciones para cada uno de los elementos. El propósito es identificar la configuración más apropiada.

#### 2.1 Elección del mecanismo de abrir y cerrar surco

Luego de un análisis exhaustivo de los sistemas mecánicos de surcado utilizados, detallados en la Tabla 2, se procedió a elegir una alternativa. Esta alternativa se ajusta a las necesidades de este proyecto.

**Tabla 2.** Análisis alternativos de sistemas mecánicos de surcado [40] [41] [42]

<b>Características</b>	<b>Tipo Ajustable</b>	<b>Tipo Reja</b>	<b>Tipo Disco</b>
			
<b>Liberación</b>	Parte trasera	Parte interna	Parte cóncava
<b>Montaje</b>	Brazo articulado	Brazo articulado	Brazo articulado
<b>Profundidad</b>	Normal	Regular	Irregular
<b>Adaptación al suelo</b>	Preparado	Preparado	Despedazar

Mediante el análisis alternativo de diversas opciones, las cuales se registrarán por el sistema de calificación indicado en la Tabla 3

**Tabla 3.** Métodos de evaluación de las alternativas de los sistemas de surcado

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de evaluación</b>		
	<b>1-3</b>	<b>4-7</b>	<b>8-10</b>
<b>Construcción</b>	Fácil	Normal	Difícil
<b>Valor fabricación</b>	Barato	Barato	Caro
<b>Disposición de materiales</b>	Abundante	Normal	Normal
<b>Dimensiones</b>	Mediano	Pequeño	Grande

Luego de asignar valores a cada indicador, se llevó a cabo la calificación de cada alternativa, siguiendo las pautas con el propósito de determinar la opción adecuada para este mecanismo.

**Tabla 4.** Selección de alternativa de los sistemas mecánicos de surcado

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de alternativas</b>		
	<b>Tipo Ajustable</b>	<b>Tipo reja</b>	<b>Tipo disco</b>
<b>Construcción</b>	9	4	3
<b>Valor fabricación</b>	8	6	5
<b>Disposición de materiales</b>	10	7	6
<b>Dimensiones</b>	9	8	5
<b>Sumatorio</b>	<b>36</b>	<b>25</b>	<b>23</b>
<b>Índice porcentual</b>	<b>36/40</b>	<b>25/40</b>	<b>23/40</b>
<b>Elección</b>	<b>90%</b>	<b>62.50%</b>	<b>57.50%</b>

Tras el análisis de alternativas y opciones a establecer criterios de evaluación en la Tabla 4, se determinó que el sistema mecánico tipo ajustable cumple con los requisitos necesarios con una calificación de 90%, donde la construcción es fácil y su coste es bajo dentro del mercado. En consecuencia, para lograr una siembra automatizada con la profundidad adecuada.

### 2.1.1 Elección de chasis

En el proceso de selección del chasis para el robot agricultor, se evaluaron disponibilidad en el mercado y una estructura diseñada para siembra manual. Este análisis comparativo en la Tabla 5 busca determinar la opción que mejor cumpla con los requisitos funcionales del robot móvil.

**Tabla 5.** Análisis de alternativas del sistema del chasis [43] [44]

<b>Características</b>	<b>Cuadron 49cc</b>	<b>Siembra manual</b>	<b>Motocicleta</b>
			
<b>Utilidad</b>	Bueno	Normal	Normal
<b>Estabilidad</b>	Bueno	Regular	Regular
<b>Volumen de carga</b>	Bueno	Regular	Normal
<b>Durabilidad</b>	Normal	Normal	Normal
<b>Facilidad de maniobra</b>	Bueno	Normal	Normal

Mediante el análisis de diversas alternativas de chasis, estas serán evaluadas siguiendo el sistema de calificación detallado en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Métodos de evaluación de las alternativas del chasis

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de evaluación</b>		
	<b>1-3</b>	<b>4-7</b>	<b>8-10</b>
<b>Construcción</b>	Fácil	Normal	Difícil
<b>Costo</b>	Barato	Barato	Caro
<b>Durabilidad</b>	Normal	Normal	Normal
<b>Peso</b>	Mediano	Pequeño	Grande
<b>Tamaño</b>	Adecuado	Pequeño	Normal

Según las directrices establecidas en la Tabla 6, con el fin de determinar la alternativa más apropiada para este sistema.

**Tabla 7.** Selección de alternativa del chasis adecuado

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de alternativas</b>		
	<b>Cuadrón</b>	<b>Siembra manual</b>	<b>Motocicleta</b>
<b>Construcción</b>	7	5	8
<b>Costo</b>	9	7	5
<b>Durabilidad</b>	8	7	7
<b>Peso</b>	9	8	6
<b>Tamaño</b>	8	6	6
<b>Sumatorio</b>	<b>41</b>	<b>33</b>	<b>32</b>
<b>Índice porcentual</b>	<b>41/50</b>	<b>33/50</b>	<b>32/50</b>
<b>Elección</b>	<b>82%</b>	<b>66%</b>	<b>64%</b>

Mediante el análisis alternativo en la Tabla 7, se llevó a cabo una selección del chasis apropiado para el robot, es decir, salió favorecido el cuadrón de 49 cc con el fin de obtener una puntuación de 82%.

### 2.1.2 Requerimientos del chasis

Mediante la selección del chasis como punto de partida, se optó por su implantación y análisis de carga detallado, con el objetivo de determinar su capacidad para soportar el peso. Los datos obtenidos se compararon con los valores de referencia proporcionados en la siguiente Tabla 8 y Tabla 9.

**Tabla 8.** Requerimientos a cumplir la estructura de chasis [45]

<b>Requerimiento a cumplir</b>	<b>Tipos de estructuras metálicas o chasis</b>	
	<b>Cuadrón 49 cc</b>	<b>Cuadrón 200 cc</b>
<b>Altura de surco 10 cm</b>	Despeje del suelo 10 cm	Distancia entre ejes 67 cm
<b>Ancho entre surcos 65 cm</b>	Distancia entre ejes 67 cm	Distancia entre ejes 109 cm

Tabla 9. Características principales del cuadrón [45]

Características	Cuadrón 49 cc	Cuadrón 200 cc
Tamaño de la rueda	Delantero: 4.10-6; Trasero: 13*5-6	Delantero: 10"; Trasero: 10"
Max. Carga	95 kg	136.36 kg
Tamaño del producto	1180x679x710 mm	1850x1070x1210 mm
Altura del asiento	500 mm	900 mm

Sistema del chasis del cuadrón de 49 cc, cumple con el diseño y satisface la apreciación de altura mínima con relación al suelo, su distancia entre eje de 67 cm garantiza la manipulación, permite la implementación adecuada de surcos en una región establecida.

## 2.2 Elección del sistema de microcontrolador

Se han evaluado varios modelos de microcontroladores más vendidos en el mercado hoy en día. En este análisis se han tenido en cuenta todos los requerimientos detallados en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis alternativo de los microcontroladores [46] [47] [48]

Características	Arduino Mega	Raspberry PI	Esp32
			
Microcontrolador	ATmega2560	Raspberry PI 3B	Nodemcu-32
Voltaje	3.3V	3.3V/5V	5V
Corriente continua por pines	40mA	60mA	40mA
Voltaje de entrada	7-12V	5V	3.3V
Pines de E/S digitales	54	40	38
RAM	8KB	512MB	520KB
Consumo de energía	20mA	2,5A	80mA
Dimensión de la placa	101,52x 53,3 mm	85 x 56 x 17mm	55.3 x 28 mm

Empleando la evaluación de diferentes posibilidades, las cuales se guiarán por el método de puntuación descrito en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Sistema de evaluación para las alternativas de los microcontroladores

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de evaluación</b>		
	<b>1-3</b>	<b>4-7</b>	<b>8-10</b>
<b>Costo</b>	Caro	Barato	Barato
<b>Disponibilidad</b>	Regular	Normal	Abundante
<b>Soporte</b>	Normal	Normal	Pequeño
<b>Tamaño</b>	Normal	Pequeño	Adecuado

Después de atribuir valores a cada marcador, se procedió a evaluar todas las opciones, siguiendo las directrices en la Tabla 12. Esto se hizo con el fin de determinar la elección adecuada para este procedimiento.

**Tabla 12.** Selección de alternativa de los sistemas de microcontroladores

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de alternativas</b>		
	<b>Arduino Mega</b>	<b>Raspberry PI</b>	<b>Esp 32</b>
<b>Costo</b>	5	4	9
<b>Disponibilidad</b>	5	7	8
<b>Soporte</b>	7	8	9
<b>Tamaño</b>	6	7	8
<b>Sumatorio</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>34</b>
<b>Índice porcentual</b>	<b>23/40</b>	<b>26/40</b>	<b>34/40</b>
<b>Elección</b>	<b>57.5%</b>	<b>60%</b>	<b>85%</b>

Luego del análisis exhaustivo y evaluación de diversas alternativas, se determinó que el microcontrolador Esp32 es la opción óptima con un 85% de preferencia. Entre sus ventajas

principales, está la mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento. También destaca por la cantidad de pines de E/S y la compatibilidad con la comunidad activa.

### 2.3 Elección de neumáticos

Después de llevar a cabo un análisis previo de los neumáticos en términos de los esfuerzos longitudinales, transversales y verticales que experimentan durante su desplazamiento en el área de trabajo, se procede a seleccionar la alternativa idónea. Esta elección se basará en la capacidad de los neumáticos para cumplir con los requisitos específicos del robot móvil, como se detalla en la Tabla 13 que expone a continuación. [49]

**Tabla 13.** Análisis alternativos según las propiedades específicas de las ruedas [50] [51] [49]

<b>Características</b>	<b>Ruedas en sentido circunferencial</b>	<b>Ruedas en sentido transversal</b>	<b>Ruedas de rodaduras agrícolas</b>
			
<b>Tipología de ruedas</b>	Circunferencial	Transversal	Agrícolas
<b>Sentido</b>	Transversal	Longitudinal	Longitudinal y transversal
<b>Tracción</b>	Poca capacidad	Buen agarre	Alta sujeción
<b>Uso</b>	Terreno fangoso	Terreno rugoso	Varios tipos de terreno
<b>Resistencia</b>	Menor	Menor	Mayor

A través del análisis de alternativas, de los componentes de neumáticos se evaluaron siguiendo el método de aceptación del sistema adecuado que se describen a continuación en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Sistema de evaluación para las alternativas de los neumáticos

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de evaluación</b>		
	<b>1-3</b>	<b>4-7</b>	<b>8-10</b>
<b>Elección de diseño</b>	Difícil	Normal	Adecuado
<b>Costo de adquisición</b>	Caro	Normal	Normal
<b>Disponibilidad</b>	Normal	Normal	Abundante
<b>Soporte</b>	Regular	Regular	Excelente

Se realizó las evaluaciones de los valores de cada ítem, siguiendo las pautas necesarias en la Tabla 15, con el propósito de identificar la elección apropiada del neumático.

**Tabla 15.** Selección de alternativa de los sistemas neumáticos

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de alternativas</b>		
	<b>Circunferencial</b>	<b>Transversal</b>	<b>Agrícolas</b>
<b>Costo de adquisición</b>	5	4	9
<b>Uso</b>	5	7	8
<b>Disponibilidad</b>	7	8	9
<b>Soporte en terreno</b>	6	7	8
<b>Sumatorio</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>34</b>
<b>Índice porcentual</b>	<b>23/40</b>	<b>26/40</b>	<b>34/40</b>
<b>Elección</b>	<b>57.5%</b>	<b>60%</b>	<b>85%</b>

Los neumáticos confieren características específicas. Estas deben ser consideradas para asegurar con el rendimiento requerido para su aplicación. En la Tabla 13 se muestran tres tipos diferentes de llantas. La tercera alternativa cumple su capacidad con un 85% de eficiencia, como la más adecuada para el campo de cultivo.

## 2.4 Selección de motorreductor

Los motores son esenciales, funcionan como dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica rotativa. Su finalidad es impulsar las ruedas del robot para generar su desplazamiento. Las características clave de estos motores incluyen la potencia mecánica, el voltaje, la corriente nominal, la relación de transmisión de la caja reductora, la velocidad máxima y el torque que genera, como se evidencia en la Tabla 16. [52]

**Tabla 16.** Análisis alternativos según las especificaciones del motorreductor [52]

Características	CSD2-030ABB	80ZY163-24	YL005
			
<b>Voltaje</b>	24 V	24/36V	24V
<b>Amperaje</b>	13A	2.5A	25A
<b>Potencia</b>	250W	250W	276W
<b>Velocidad</b>	135 RPM	160 RPM	120 RPM
<b>Torque</b>	17 N.m	3 N.m	22 N.m

Mediante el análisis alternativo del motorreductor, estas serán evaluadas siguiendo el sistema de calificación detallado en la Tabla 16.

**Tabla 17.** Sistema de evaluación para las alternativas de los motores

Criterios	Procesamiento de evaluación		
	1-3	4-7	8-10
<b>Costo</b>	Caro	Normal	Regular
<b>Disponibilidad</b>	Caro	Normal	Normal
<b>Velocidad rpm</b>	Adecuado	Normal	Abundante
<b>Soporte del peso</b>	Excelente	Regular	Normal

Después de asignar puntuaciones a cada indicador, se procedió a evaluar la opción según las directrices establecidas en la Tabla 17, con el fin de determinar la alternativa más apropiada.

**Tabla 18.** Selección de alternativa del motorreductor

<b>Criterios</b>	<b>Procesamiento de alternativas</b>		
	<b>CSD2-030ABB</b>	<b>80ZY163-24</b>	<b>YL005</b>
<b>Costo</b>	7	8	6
<b>Torque</b>	9	8	5
<b>Disponibilidad</b>	8	5	4
<b>Soporte de peso</b>	8	6	7
<b>Sumatorio</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>22</b>
<b>Índice porcentual</b>	<b>32/40</b>	<b>27/40</b>	<b>22/40</b>
<b>Elección</b>	<b>57.5%</b>	<b>67.5%</b>	<b>55%</b>

El motor seleccionado es los de la serie SCD2-030 ABB, puesto que dispone de un buen torque y potencia, lo que permite movilizar la carga total del robot, considerando la evaluación alternativa en la Tabla 18, se determinó el valor deseado.

## **2.5 Tipo de material**

### **2.5.1 Acero A36**

Es un material que por sus características y propiedades es fundamental para la industria ecuatoriana, se compone de hierro con una pequeña presencia de carbono (no más del 1,2%). El bajo contenido de carbono facilita su moldeo y al estar aleado, mejora su resistencia y durabilidad, como se muestra en la Tabla 19. Esto lo convierte en un material clave para construcciones de alto rendimiento en Ecuador. [53]

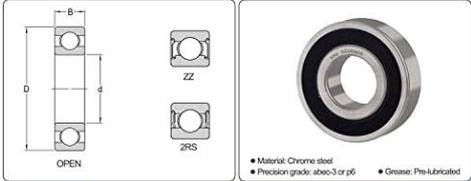
### **2.5.2 Características técnicas del Acero**

**Tabla 19.** Característica del acero A36 [54]

Propiedades mecánicas		Notas
<b>Resistencia a la tracción, MPa (ksi)</b>	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
<b>Límite elástico (Esfuerzo de fluencia, MPa (ksi), ≥</b>	250 (36) 220 (32)	Espesor ≤ 200mm (8 in) Espesor de placas de acero > 200mm (8 in)
<b>Elongación, %, ≥</b>	20 23	Placas y barras en 200 mm (8 in) Placas y barras en 50 mm (2 in)

## 2.6 Rodamientos

Los rodamientos son elementos esenciales en maquinaria. Permiten movimientos giratorios, facilitando las operaciones y reduciendo la fricción entre componentes móviles. Estos dispositivos desempeñan funciones clave, como la transferencia de movimiento entre componentes rotativos y la transmisión de fuerza. En la selección de rodamientos, es crucial considerar sus dimensiones y tipo, como se expone en la Figura 11. [55]



↑ ↓	XIKE MODEL	Main Dimensions			Reference Data				
		d	D	B	Dynamic Loads	Static Loads	Grease Speed	Oil Speed	Weight
		MM			KN	KN	RPM	RPM	KG
	6200-2RS	10	30	9	4.8	2.17	20000	24000	0.032
	6201-2RS	12	32	10	6.5	2.77	18000	22000	0.037
	6202-2RS	15	35	11	7.3	3.41	15000	20000	0.045
▶	6203-2RS	17	40	12	9.2	4.36	14000	17000	0.067
	6204-2RS	20	47	14	12	6.11	12000	14000	0.107
	6205-2RS	25	52	15	14	7.13	10000	13000	0.129
	6206-2RS	30	62	16	19	10.1	8400	11000	0.199
	6207-2RS	35	72	17	24	13.1	7700	9100	0.284
	6208-2RS	40	80	18	28	16.3	6600	8400	0.366
	6209-2RS	45	85	19	30	18.5	6300	7700	0.421

**Figura 11.** Especificaciones dimensionales de rodamientos [56].

## 2.7 Soldadura

Es un proceso utilizado para unir dos o más piezas metálicas. Mediante calor y/o presión se funde parte de dichas piezas o se puede agregar un material adicional de aporte, se unen y al enfriarse quedan fijos. [57]

## 2.8 Tipo de soldadura

### 2.8.1 MIG arco metálico con gas

Es un proceso de soldadura por un arco voltaico mediante un hilo continuo, se enfoca en el uso de gas inerte, mientras que la soldadura de arco metálico con gas (GMAW) es un término más general que incluye tanto el uso de gas inerte como de gas activo. De esta manera se logra obtener soldaduras más rápidas y eficientes y en posiciones difíciles. [57]

### 2.8.2 Selección del alambre

El alambre de soldadura ER70S-6 es esencial para asegurar la alta calidad y resistencia a la corrosión en el contexto de robots agrícolas sometidos a condiciones severas y cargas variables. Su fluidez controlada, baja impureza y alta resistencia juegan un papel crítico en la durabilidad de las uniones, como se muestra en

Tabla 20, técnicas que confirman su idoneidad para aplicaciones exigentes en entornos agrícolas.

**Tabla 20.** Tabla de tensión del alambre de soldadura [58]

Clasificación	Shielding Gas	Polarity	Yield Strength @ 0.2% Offset MPa(ksi)	Tensile Strength MPa(ksi)	Elongation %	Charpy V-Notch J(ft*lbs) @-30°C(-20°F)	Charpy V-Notch J(ft*lbs) @-40°C(-40°F)
<b>ER70S-6 Requirement</b>	100% CO2	DC+	400(58) min.	480(70) min.	22 min	27(20) min	
<b>Typical Result, As-welded</b>	100% CO2	DC+	420(61)	530-570(77-82)	25	43-121(32-89)	
<b>Typical Result, As-welded</b>	75% Ar,25% CO2	DC+	430(62)	530-600(77-86)	23	62-182(46-135)	42-156(31-115)
<b>Typical Result, As-welded</b>	90% Ar,10% CO2	DC+	490(71)	600(87)	24		87-109(64-80)

## 2.9 Materiales seleccionados para la implementación

### 2.10 Motorreductores

#### 2.10.1 Motor de elevación Megamat MCZ

El Megamat se distingue por su diseño compacto y estable, con una capacidad de compresión de 3.000 newton y tracción de 1.500 newton. Ofrece una velocidad de ajuste de alrededor de 8 mm/s y una longitud de carrera máxima de 425 mm. Su atractivo radica no solo en su buen rendimiento en relación con su precio, sino también en su variedad de opciones de equipamiento. Estas incluyen cabezas de horquilla y una cabeza adaptadora de engranaje de fundición inyectada de zinc. Además, cuenta con características de seguridad como interruptores finales y un sensor Hall. [59]



Figura 12. Motor Megamat MCZ [60].

#### 2.10.2 Motor de coche eléctrico

Los motores de 12 V pueden variar según el modelo, con diferencias en la velocidad de rotación o la potencia en vatios. Por lo general, los modelos menos potentes tienen motores de 25 W, mientras que los más comunes oscilan entre 30 W y 35 W. Para vehículos más grandes, suelen utilizar motores de 45 W. Debido a que cumple con las características que se pueden usar para el dosificador. [61]



Figura 13. Motor eléctrico 12v [61].

## 2.11 Tarjetas microcontroladores

### 2.11.1 Esp32

El NodeMCU-32 es una placa de desarrollo para IoT que incorpora el módulo ESP-WROOM-32 basado en ESP32, ofreciendo potencia de procesamiento mejorada y amplias opciones de conectividad como wifi y bluetooth y BLE. Es ideal para una variedad de aplicaciones de servidores web hasta domótica. Se puede alimentar desde USB o una fuente externa y requiere conversores de nivel para dispositivos de 5 V. [62]

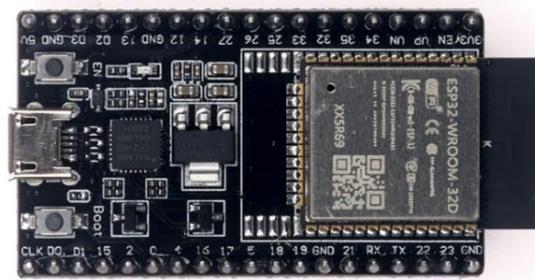


Figura 14. Esp32 Devkit [62].

### 2.11.2 Puente-H BTS7960

El módulo Puente H, destinado a la gestión y control de motores DC de alta potencia en diversas aplicaciones como robótica y vehículos controlados por radio, es ideal para situaciones que requieran corriente continua de alta potencia. Con la capacidad de suministrar hasta 43 A de corriente y operar en un rango de tensión de 6 a 27 V, este componente se destaca. Su lógica de control, compatible con voltajes de 3.3 V a 5 V, facilita la integración con la mayoría de los microprocesadores, como se expone en la Figura 15 para el control de motores. [63]



Figura 15. Puente H BTS7960 [63].

### 2.11.3 Regulador de voltaje LM2596

El módulo de conversión de voltaje regulable LM2596 constituye una fuente de alimentación versátil que posibilita la obtención de un voltaje continuo regulable a partir de una entrada de

voltaje más elevada. Este dispositivo utiliza un convertidor DC-DC de tipo buck, el cual reduce la tensión de entrada. Con la capacidad de generar una salida de voltaje ajustable en un rango de 1,25 a 35V y una corriente máxima de 3A, se destaca como un módulo de alta potencia y su eficiencia con mínimas pérdidas de energía. Este componente resulta ideal para aplicaciones de alta potencia, como la alimentación de motores y otras cargas que requieran una fuente de alimentación estable y precisa. [64]



**Figura 16.** Regulador de voltaje LM2596 [64].

## 2.12 Batería

En este caso, es importante considerar que el consumo del motor de la rueda es de 24V. por lo tanto se debe seleccionar una batería que sea adecuada para este consumo de energía con una corriente de 13A.

### 2.12.1 Batería Lipo

Es recomendable utilizar la batería Lipo, conforme a lo que se presenta en la Figura 17, están diseñadas con cables de descarga de alta resistencia para reducir al mínimo la resistencia y mantener cargas de corriente elevadas. Por lo tanto, son baterías recargables de gran duración. Debido a que todas estas características hacen una mejor opción para este proyecto. [65]



**Figura 17.** Batería Lipo Turnigy [66].

### 2.12.2 Batería Tian Neng

Baterías Tianneng 12v 20ah, ofrece una alta capacidad gracias a su diseño patentado que maximiza la utilización del material activo y del espacio interno de la batería. Además de su rendimiento mejorado, son seguras y funcionan bien en diversas condiciones climáticas. Fabricadas con tecnologías avanzadas, están disponibles en diferentes variantes para adaptarse a distintos usos. Son livianas, tienen terminales de cobre y ofrecen garantías extendidas para mayor tranquilidad al usuario. [67]



Figura 18. Batería tiang neng [68].

### 2.13 Rodamientos

Para la selección del rodamiento se basó en la Figura 19, que nos proporciona los datos técnicos deseados para los neumáticos, donde se puede visibilizar el diámetro, capacidad de carga, velocidad y auxiliares.

Dimensiones (mm)					Índices Básicos de Carga (Simple) (kgf)				Factor	Velocidades Límite (°) (rpm)		Centros Efectivos de Carga (mm)	Dimensiones de Tope y Chafalón (mm)			Masa (kg)
d	D	B	r min.	r <sub>1</sub> min.	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	f <sub>0</sub>	Grasa	Aceite	a	d <sub>0</sub> min.	D <sub>0</sub> máx.	r <sub>0</sub> máx.	aprox.
10	22	6	0,3	0,15	2 880	1 450	294	148	—	40 000	56 000	6,7	12,5	19,5	0,3	0,009
	22	6	0,3	0,15	3 000	1 520	305	155	14,1	48 000	63 000	5,1	12,5	19,5	0,3	0,009
	26	8	0,3	0,15	5 350	2 600	550	266	—	32 000	43 000	9,2	12,5	23,5	0,3	0,019
	26	8	0,3	0,15	5 300	2 490	540	254	12,6	45 000	63 000	6,4	12,5	23,5	0,3	0,021
	30	9	0,6	0,3	5 400	2 710	555	276	—	28 000	38 000	10,3	15	25	0,6	0,032
	30	9	0,6	0,3	5 000	2 500	510	255	—	20 000	28 000	12,9	15	25	0,6	0,032
12	30	9	0,6	0,3	5 400	2 610	550	266	13,2	40 000	56 000	7,2	15	25	0,6	0,036
	35	11	0,6	0,3	9 300	4 300	950	440	—	20 000	26 000	12,0	15	30	0,6	0,053
	35	11	0,6	0,3	8 750	4 050	890	410	—	18 000	24 000	14,9	15	30	0,6	0,054
	24	6	0,3	0,15	3 200	1 770	325	181	—	38 000	53 000	7,2	14,5	21,5	0,3	0,011
	24	6	0,3	0,15	3 350	1 860	340	189	14,7	45 000	63 000	5,4	14,5	21,5	0,3	0,011
	28	8	0,3	0,15	5 800	2 980	590	305	—	28 000	38 000	9,8	14,5	25,5	0,3	0,021
15	28	8	0,3	0,15	5 800	2 900	590	296	13,2	40 000	56 000	6,7	14,5	25,5	0,3	0,024
	32	10	0,6	0,3	8 000	4 050	815	410	—	26 000	34 000	11,4	17	27	0,6	0,037
	32	10	0,6	0,3	7 450	3 750	760	380	—	18 000	26 000	14,2	17	27	0,6	0,038
	32	10	0,6	0,3	8 150	3 750	830	380	—	20 000	30 000	14,2	17	27	0,6	0,036
	32	10	0,6	0,3	7 900	3 850	805	395	12,5	36 000	50 000	7,9	17	27	0,6	0,041
	37	12	1	0,6	9 450	4 500	965	460	—	18 000	24 000	13,1	18	31	1	0,060
15	37	12	1	0,6	8 850	4 200	900	425	—	16 000	22 000	16,3	18	31	1	0,062
	37	12	1	0,6	11 100	4 950	1 130	505	—	18 000	26 000	16,3	18	31	1	0,061
	28	7	0,3	0,15	4 550	2 530	465	258	—	32 000	43 000	8,5	17,5	25,5	0,3	0,015
	28	7	0,3	0,15	4 750	2 640	485	270	14,5	38 000	53 000	6,4	17,5	25,5	0,3	0,015
	32	9	0,3	0,15	6 100	3 450	625	350	—	24 000	32 000	11,3	17,5	29,5	0,3	0,030
	32	9	0,3	0,15	6 250	3 400	635	345	14,1	34 000	48 000	7,6	17,5	29,5	0,3	0,034
	35	11	0,6	0,3	8 650	4 650	880	475	—	22 000	30 000	12,7	20	30	0,6	0,045
	35	11	0,6	0,3	7 950	4 300	810	440	—	16 000	22 000	16,0	20	30	0,6	0,046
	35	11	0,6	0,3	9 800	4 800	995	490	—	18 000	26 000	16,0	20	30	0,6	0,044
	35	11	0,6	0,3	8 650	4 550	885	460	13,2	32 000	45 000	8,8	20	30	0,6	0,052
	42	13	1	0,6	13 400	7 100	1 370	720	—	16 000	22 000	14,7	21	36	1	0,084
	42	13	1	0,6	12 500	6 600	1 270	670	—	14 000	19 000	18,5	21	36	1	0,086
42	13	1	0,6	14 300	6 900	1 460	705	—	16 000	22 000	18,5	21	36	1	0,084	

Figura 19. Rodamiento seleccionado [69].

## 2.14 Conductor eléctrico

De acuerdo con los cálculos realizados de cada uno de los motores y los componentes eléctricos, se llevó a cabo la selección de acuerdo con el amperaje y el voltaje, como se expone en la siguiente Figura 20.

AMPERAJE QUE SOPORTAN LOS CABLES ELECTRICOS DE COBRE					
Temperatura (°c)	60°	75°	90°	60°	
Aislante	TW	RHW-THW-THWN	THHN-XHHW-2-THWN-2	SPT	
Calibre del cable	Amperaje soportado			Calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	18 AWG	10 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	16 AWG	13 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A	14 AWG	18 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A	12 AWG	25 A

Figura 20. Tipos de cable [70].

## 2.15 Ecuaciones del análisis

### 2.15.1 Cálculo del peso total de la estructura

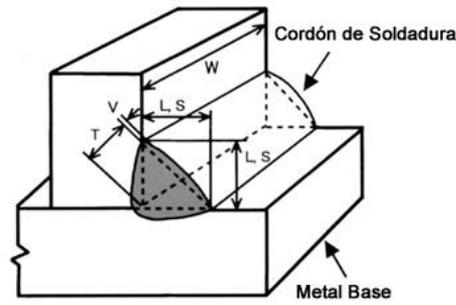
$$P = (P_e)(G) \quad (1)$$

Donde:

- P = Carga fuerza medida en [N]
- P<sub>e</sub> = Peso de elementos [kg]
- G = Constante de la gravedad

### 2.15.2 Cálculo de soldadura

En el cálculo de las conexiones, incluso si la estructura está hecha del mismo material, se decide tomar en cuenta un único cordón de soldadura para calcular el área se recurre mediante la Figura 21, utilizando el filete según la Ecuación (1) para determinar el esfuerzo normal.



**Figura 21.** Diagrama del cordón de soldadura [71].

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Donde:

- $\sigma$  = Esfuerzo normal [MPa]
- F = Fuerza nominal [KN]
- A = Área [m<sup>2</sup>]

### 2.15.3 Cálculo de eje por esfuerzo a torsión

$$\tau = \frac{(T)(r)}{J} \quad (3)$$

Donde:

- $\tau$  = Esfuerzo en el eje
- T= Momento torsional
- r= radio del eje
- J= Momento de inercia polar

### 2.15.4 Cálculo de eje por esfuerzo de flexión

$$\sigma_b = \frac{(M)(c)}{I} \quad (4)$$

Donde:

- $\sigma_b$  = Esfuerzo de flexión
- M = Momento flector aplicado
- C = Distancia centroide
- I = Momento de inercia

### 2.15.5 Cálculo de factor de seguridad

$$F_s = \frac{\sigma_{resis}}{\sigma_{aplicada}} \quad (5)$$

Donde:

- $F_s$  = Factor de seguridad
- $\sigma_{resis}$  = Resistencia del material [MPa]
- $\sigma_{aplicada}$  = Esfuerzo real aplicada al componente [MPa]

### 2.15.6 Capacidad de la tolva del dosificador

Se realiza la siguiente Ecuación (6), para el diseño de la tolva donde se deposita la semilla; con estas fórmulas se conocerá el volumen de la tolva del robot sembrador.

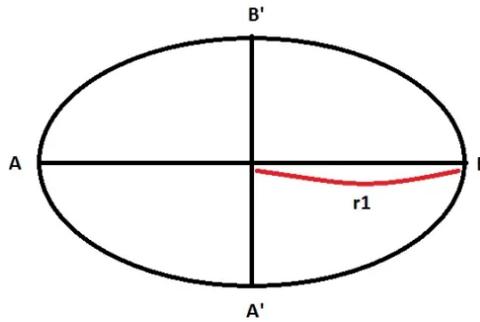
$$VT = (L_1)(L_2) \left(\frac{1}{3}\right) (h) \quad (6)$$

Donde:

- VT = Volumen total [cm<sup>2</sup>]
- $L_1$  = Lado A [cm<sup>2</sup>]
- $L_2$  = Lado B [cm<sup>2</sup>]
- h = altura [cm]

### 2.15.7 dimensión de la papa.

Se plantea el área de la papa con el propósito de determinar cuántos granos se encuentran en los 10 kg propuestos y cuál es su superficie mediante la Ecuación (7).



**Figura 22.** Dimensión de la papa [72].

$$A_p = (r_1)(r_2)(\pi) \quad (7)$$

- $A_p$  = área de la papa [ $\text{cm}^2$ ]
- $r_1$  = radio1 [ $\text{cm}^2$ ]
- $r_2$  = radio2 [ $\text{cm}^2$ ]

$$V_p = \left(\frac{4}{3}\right) (\pi)(r_1)(r_2)(r_3) \quad (8)$$

Donde:

- $V_p$  = volumen de la papa [ $\text{cm}^3$ ]
- $r_3$  = la mitad de  $r_2$  [ $\text{cm}^2$ ]

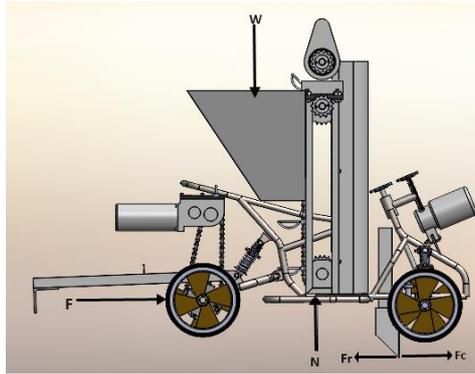
### 2.15.8 Distancia de la siembra

$$D_s = \frac{A_t}{(D_s)(D_p)} \quad (9)$$

Donde:

- $D_s$  = Densidad de la siembra [m]
- $A_t$  = Área total [ $\text{m}^2$ ]
- $D_s$  = Distancia entre surco [m]
- $D_p$  = Distancia entre planta [m]

### 2.15.9 Fuerza requerida de arrastre del sembrador



**Figura 23.** Diagrama de cuerpo libre.

### 2.15.10 Cálculo de la masa total del robot

$$m_t = m_r + m_e \quad (10)$$

Donde:

- $m_t$  = masa total [kg]
- $m_r$  = masa del robot + adicionales motores + baterías electrónicas [kg]
- $m_e$  = masa extra (semillas) [kg]

### 2.15.11 Soporte de peso fuerza normal

El peso que soportara el chasis del cuadrón es de 10 libras, mediante las ecuaciones se realizarán los cálculos necesarios.

$$N = (m_t)(g) \quad (11)$$

Donde:

- $N$  = fuerza normal que soporta la masa [N]
- $m$  = masa total [kg]
- $g$  = gravedad [ $m/s^2$ ]

### 2.15.12 fuerza de corte

La selección de la cuchilla de surcado, es necesario calcular la fuerza de corte requerida durante su uso. El consumo de energía de la cuchilla depende de la resistencia específica de la tierra. De acuerdo con la representación Figura 24, presenta distintos tipos del suelo. Para la elección de la cuchilla se optó por el suelo franco limoso. [45]

Arcilla – limoso	$\mu = 7 + 0.049 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )
Franco – arcilloso	$\mu = 6 + 0.053 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )
Franco – arcilloso – limoso	$\mu = 4.8 + 0.024 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )
Franco	$\mu = 3 + 0.020 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )
Limo – arenoso	$\mu = 3 + 0.032 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )
Franco - arenoso	$\mu = 2.8 + 0.013 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )
Arenoso	$\mu = 2 + 0.013 \cdot v^2$ (N/cm <sup>2</sup> )

**Figura 24.** Características técnicas del suelo [45].

$$\mu = 7 + (0.049)(v^2 \text{ N/cm}^2)$$

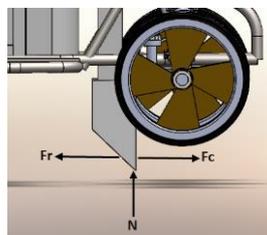
$$\mu = 7.0323 \text{ N/cm}^2$$

$$F_c = (\mu)(S) \tag{12}$$

Donde:

- $F_c$  = Fuerza de corte de la tierra [N]
- $\mu$  = Factor característico del suelo
- $S$  = Dimensión del elemento de corte [m]

### 2.15.13 Cálculo de resistencia del suelo a la cuchilla



**Figura 25.** Fuerzas aplicadas en la cuchilla del surcador.

$$F_r = (\mu)(N)$$

Donde:

- $F_r$  = Fuerza de fricción entre surcador y tierra [N]
- $\mu$  = Coeficiente de fricción
- $N$  = Fuerza normal que soporta la masa [N]

$$R_s = (F_c)(F_r) \tag{13}$$

Donde:

- $R_s$ = Resistencia del suelo a la cuchilla [N]
- $F_c$  = Fuerza de corte de la tierra [N]
- $F_r$ = Fuerza de fricción entre surcador y tierra [N]

#### 2.15.14 Estimación de la fuerza necesaria

En este paso, se llevan a cabo los cálculos necesarios mediante el diagrama de cuerpo libre para verificar las fuerzas.

$$\begin{aligned}
 \uparrow + \sum F_y &= 0 \\
 N - W &= 0 \\
 N &= W \\
 \uparrow + \sum F_y &= 0 \\
 F - R_s - F_r &= 0 \\
 F &= R_s + F_r
 \end{aligned} \tag{14}$$

Donde:

- $F$  = Fuerza total del robot [N]
- $R_s$ = Resistencia del suelo a la cuchilla [N]
- $F_r$ = Fuerza de fricción entre surcador y tierra [N]

### 2.16 Cálculo electrónico y potencia

#### 2.16.1 Cálculo de la velocidad

$$v = \frac{d}{t} \tag{15}$$

Donde:

- $v$  = Velocidad en [cm/s]
- $d$ = Distancia [cm]
- $t$ = tiempo [s]

#### 2.16.2 Estimación de la potencia de resistencia

$$P = (F)(v) \tag{16}$$

Donde:

- $P$  = potencia total requerida [HP]

- F = Fuerza total del robot [N]
- v= velocidad [cm/s]

### 2.16.3 Velocidad angular

$$\omega = \frac{2\pi v}{t} \quad (17)$$

Donde:

- $\omega$  = velocidad angular [rad/s]
- t = tiempo [s]

### 2.16.4 Cálculo del torque

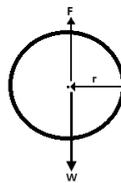


Figura 26. Diagrama de cuerpo libre del torque.

$$T = (F)(r) \quad (18)$$

Donde:

- T = Torque total del motor [Nm]
- r = Radio de la rueda [m]
- F = Fuerza aplicada a la rueda [N]

### 2.16.5 transmisión

Para la implementación del sistema de motor eléctrico, se utilizó un tipo de transmisión de engranaje por cadena.

### 2.16.6 Relación de transmisión por cadena

$$R_t = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (19)$$

Donde:

- $R_t$  = Relación de transmisión
- n = Velocidad angular [rpm]
- Z = Número de dientes

### 2.16.7 Estimación del cálculo por el sistema de dirección

$$T = dF_r \cos \psi - bF_r \quad (20)$$

Donde:

- $T$ = torque [Nm]
- $F_r$ = Fuerza de fricción entre surcador y tierra [N]
- $d$ = Distancia del centro hacia el eje delantero [m]
- $\psi$ = Ángulo total de giros de la dirección [°]
- $b$ = Distancia del centro hacia el eje posterior [m]

### 2.17 formula del cálculo den consumo de corriente

La batería del control abarca tanto, los sensores como la tarjeta de Arduino y consumo de cargas independientes de cada componente.

$$I_{tm1} = I_{mc} + I_d + I_{sd} \quad (21)$$

Donde:

- $I_{tm1}$  = Corriente total del motor [A]
- $I_{mc}$  = Corriente del motor central [A]
- $I_d$  = Corriente del dosificador [A]
- $I_{sd}$  = Corriente del sistema de dirección [A]

$$I_{tm2} = I_A + I_{pH} + I_{rv} \quad (22)$$

Donde:

- $I_{tm2}$  = Corriente total de microcontroladores [A]
- $I_A$  = Arduino [A]
- $I_{pH}$  = Puente H [A]
- $I_{rev}$  = Reductor de voltaje [A]

$$I_t = I_{tm1} + I_{tm2} \quad (23)$$

Donde:

- $I_t$  = Corriente total [A]
- $I_{tm1}$  = Corriente total de microcontroladores [A]
- $I_{tm2}$  = Corriente total de microcontroladores [A]

## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT MÓVIL SEMBRADOR

En este capítulo, se especifica la aplicación de un robot móvil sembrador que tiene como finalidad automatizar el proceso de siembra de semillas en terrenos agrícolas. Este robot ha sido diseñado, de modo que no interfieran con su tarea principal con el fin de desplazarse sin dificultar en el área del cultivo. Además, se consideran los cálculos dinámicos y el mecanismo utilizado para realizar el surco durante el proceso de distribución.

#### 3.1 Diseño mecánico

Luego de evaluar diversas opciones para el diseño y desarrollo del robot agrícola, se seleccionó la alternativa más adecuada para su elaboración. El proceso de creación del robot se llevará a cabo utilizando un software de diseño SolidWorks.

Este software desempeña un papel fundamental. Nos permite realizar detalladamente las diferentes piezas del robot, brindándonos una visualización precisa de cada componente. Además, facilita la proyección de sus dimensiones de manera eficiente. Sumando a eso, se ha diseñado una representación vista explosiva del robot, la cual se presenta en la siguiente Figura 27.

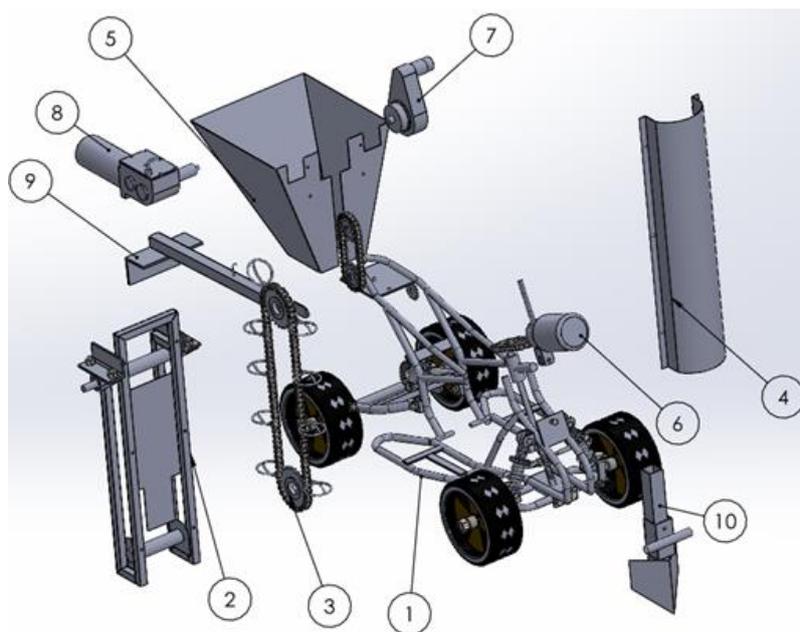


Figura 27. Vista explosiva del robot.

En la Tabla 21 se encuentran detallados los componentes que se ajustan al dosificador a través de la tolva, la cual se emplea para la siembra del tubérculo.

**Tabla 21.** Componentes del robot agricultor

<b>Cantidad</b>	<b>Componentes</b>	<b>Características</b>
1	Chasis	Conforma la estructura del dosificador y otros componentes asociados.
2	Base estructura	Es el soporte sobre cual están montados la tolva, el dosificador y motor.
3	Eslabón del dosificador	Eslabón encargado de llevar la semilla hacia el surco.
4	Protector	La finalidad de asegurar que la semilla no desvíe.
5	Tolva	Deposito destinado de semillas
6	Motorreductor 1	Realiza el accionamiento de la dirección
7	Motorreductor 2	Accionamiento del dosificador
8	Motorreductor 3	Realiza el movimiento de las ruedas
9	Pala de surcado	Realiza la operación de tapar el surco
10	Surcador	Realiza el surco para la semilla

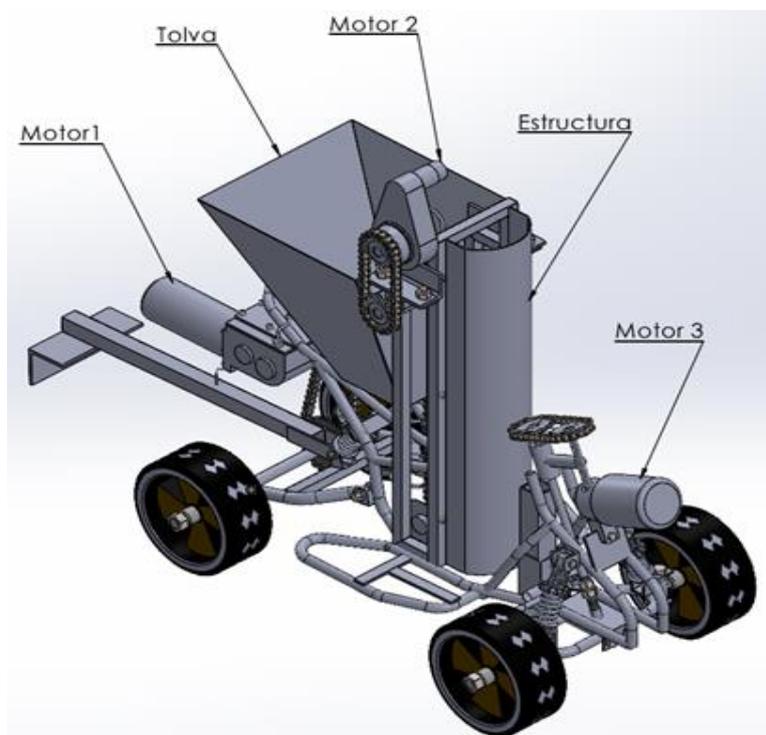
### 3.2 Mecanismo ensamblado

Después de diseñar los componentes del robot, se inicia la elaboración del ensamble en el software SolidWorks y los pesos de los elementos del robot, como se puede visualizar en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Se presentan los pesos de los componentes del robot

<b>Material</b>	<b>Peso [Kg]</b>
<b>Estructura</b>	11
<b>Motor 1</b>	6.5
<b>Motor 2</b>	1
<b>Motor 3</b>	1
<b>Tolva</b>	3.1
<b>Semilla</b>	4.5
<b>Batería</b>	12.4
<b>Total</b>	<b>39,5</b>

En la Figura 28 se observa el modelo en 3D ensamblado con todos los componentes del robot agricultor automatizado.



**Figura 28.** Modelo del robot agricultor ensamblado.

### 3.3 Estudio de la estructura del dosificador

La Ecuación (1) y (10) que relaciona la masa y la fuerza totales con el área de contacto, se utiliza para calcular la carga total en Newtons aplicada al dosificador, la estructura, los motores y el peso extra que se adicionó.

$$m_t = m_r + m_e$$

$$m_t = 39,1\text{kg} + 1\text{kg}$$

$$m_t = 40,1 \text{ kg}$$

$$P = P_e * G$$

$$P = (40,1\text{kg})(9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$P = 392,98 \text{ N}$$

### 3.4 Cálculo de la soldadura de la estructura a cortante simple

Al emplear la Tabla 20, se muestra el esfuerzo del alambre de soldadura ER70S-6, es de  $\sigma = 400$  [MPa] los cual lleva a determinar el esfuerzo normal.

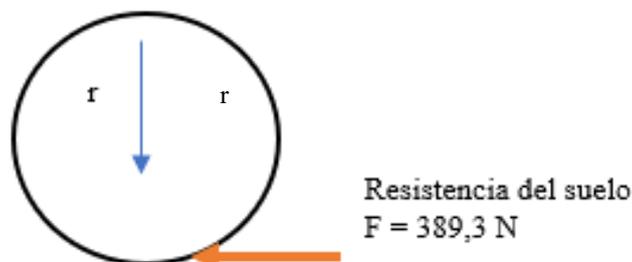
A continuación, se calcula la capacidad de carga real y la capacidad de carga máxima del cordón de soldadura utilizando la Ecuación (5), para obtener el factor de seguridad del chasis.

$$F_s = \frac{\tau_{\text{resis}}}{\tau_{\text{aplicada}}}$$

$$F_s = \frac{(0,3)(400 \text{ MPa})}{14,035[\text{MPa}]} = 8.5$$

### 3.5 Estudio del eje central de transmisión

Para el diseño del eje, lo realizamos primero calculando el torque necesario para mover la rueda, la misma que tiene como diámetro  $13'' = 0,33 \text{ m}$  (rin 13).



$$T = (389,19 \text{ N})(0,33 \text{ m}) = 128,5 \text{ N.m}$$

Seleccionando un acero de transmisión con un límite elástico ( $S_y$ ) = 300 MPa. A continuación, procedemos a modelar y simular el eje con el software Inventor 2024, asegurándonos de que se cumpla con los requisitos de diseño y resistencia.

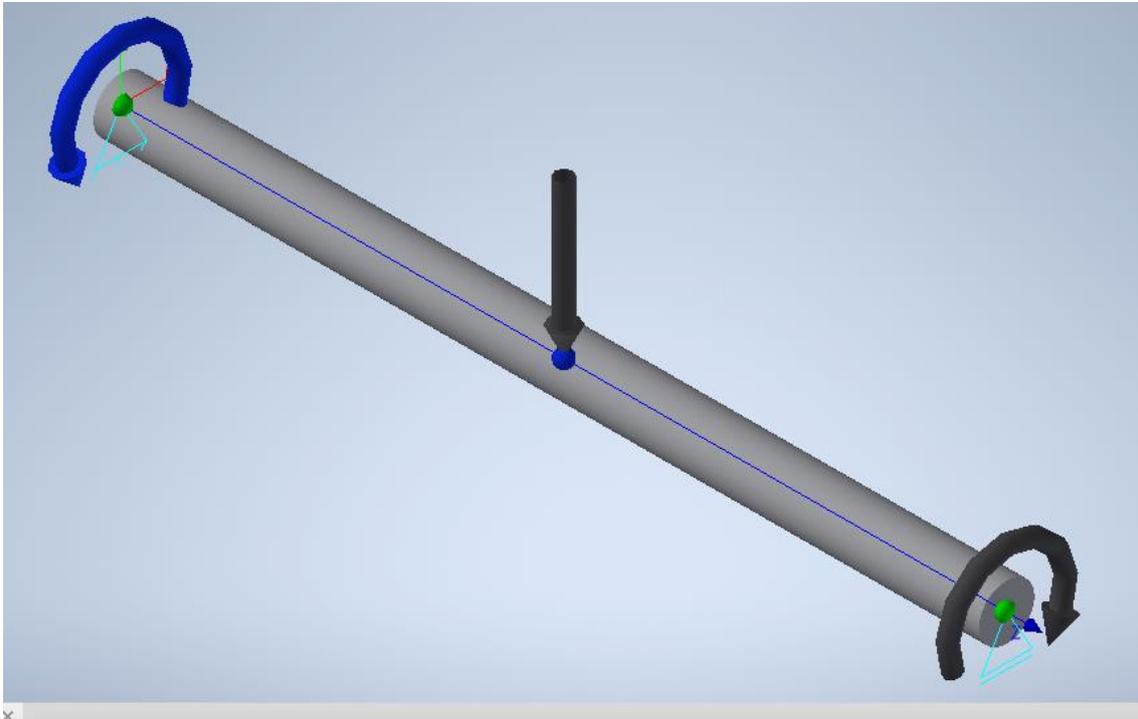


Figura 29. Simulación del eje en Inventor.

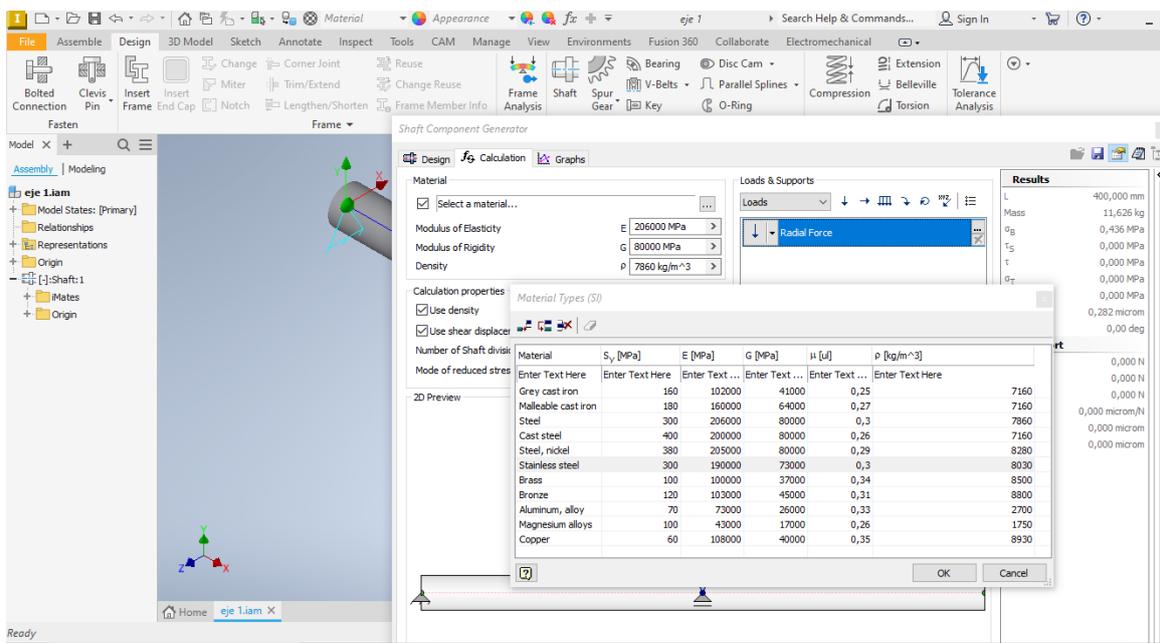


Figura 30. Análisis del eje.

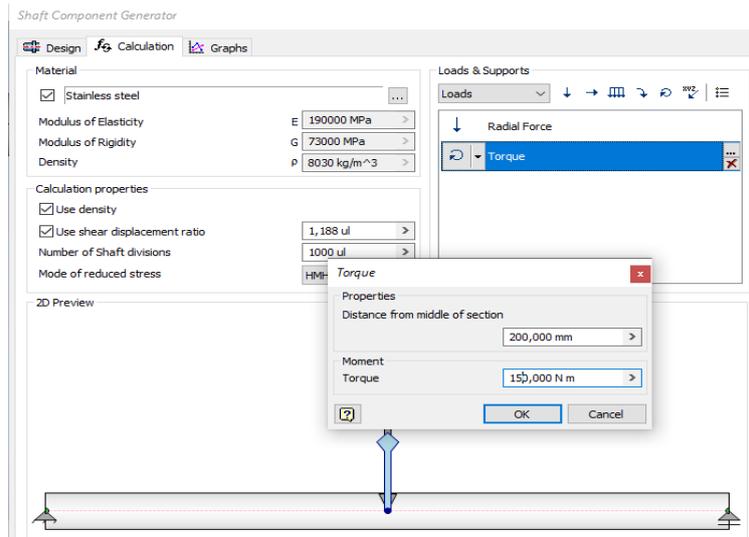


Figura 31. Torque del eje en simulación.

### 3.6 Resultados de la simulación

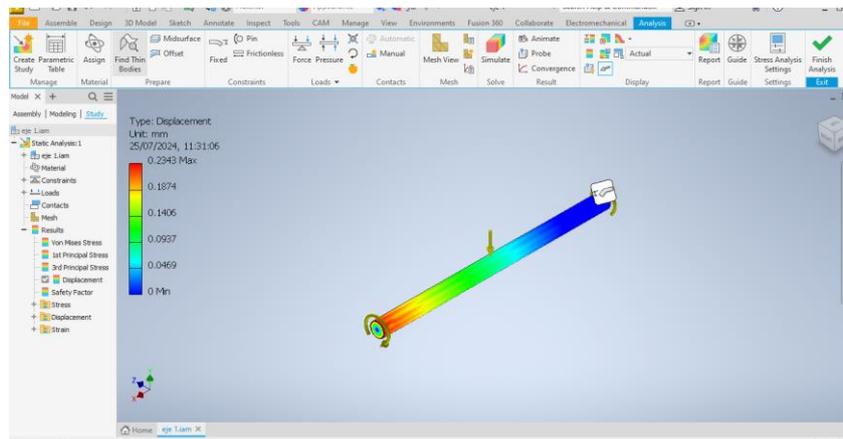


Figura 32. Simulación del desplazamiento del eje.

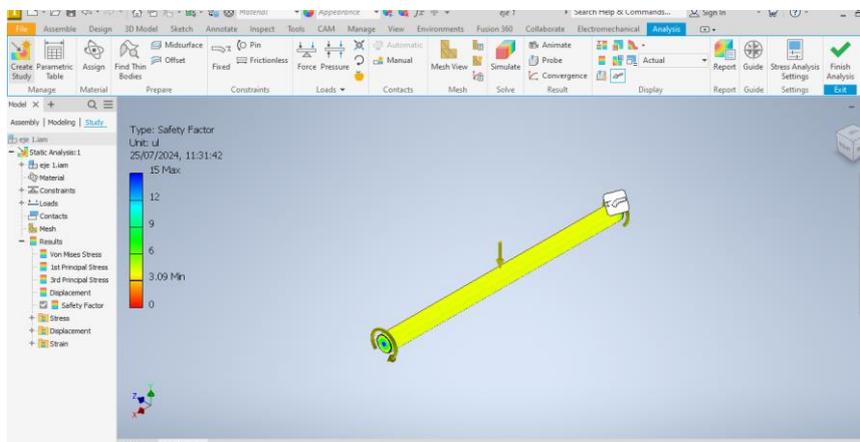


Figura 33. Factor de seguridad del eje.

Como podemos observar, los resultados de la simulación nos indican que el eje presenta una deformación de 0,2 mm, por lo que podemos considerar despreciable y obtenemos un factor de seguridad de 3 en todo el eje, concluyendo que el eje es seguro y cumple con los requerimientos de entrada.

### 3.7 Selección de rodamientos

Para la selección de rodamientos usamos la página web de la SKF con el módulo SKF Product select. Por lo tanto, el eje presenta apoyos simples, por lo que la primera selección es un rodamiento que soporte carga radial.



Figura 34. Página Web de SKF.

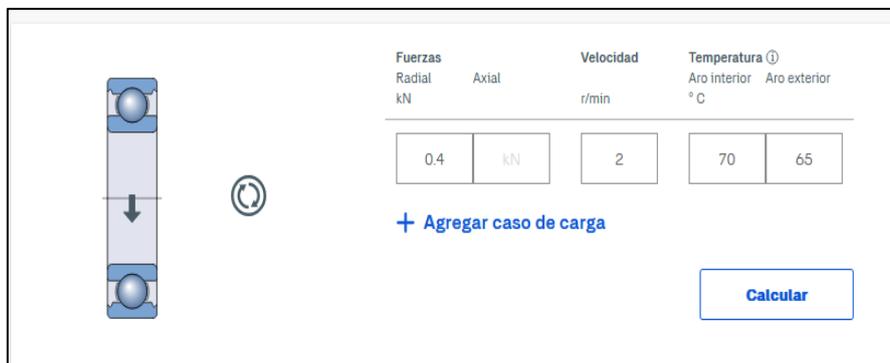


Figura 35. Configuración de carga para el rodamiento.

Resultados de cálculo

Desplegar todo

Propiedades del rodamiento 16004

■ SKF Explorer - Mayores niveles de carga y vida útil más prolongada con beneficios asociados

Designación	Tipo de rodamiento	Dimensiones principales			Capacidad de carga básica			Clasificaciones de velocidad		
		Díametro interior d (mm)	Díametro exterior D (mm)	Ancho B (mm)	Dinámica C (kN)	Estática C <sub>0</sub> (kN)	Carga límite de fatiga P <sub>e</sub> (kN)	Referencia n <sub>ref</sub> (r/min)	Limitante n <sub>lim</sub> (r/min)	Catalogue
16004	Rodamiento rígido de bolas	20	42	8	7.28	4.05	0.173	38000	24000	<a href="#">Open in catalogue</a>

Figura 36. Resultados de cálculo para el rodamiento rígido.

Por lo que se selecciona una pareja de rodamientos SKF 16004, rígidos de bolas

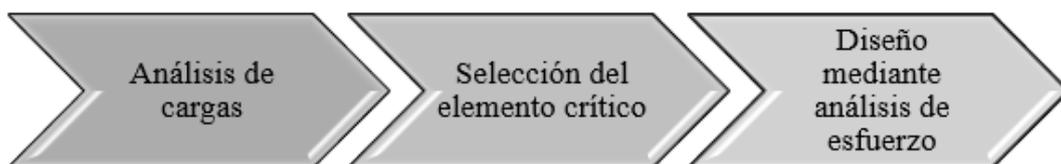
### 3.8 Análisis estructural del chasis

#### 3.8.1 Análisis de tensión axial y de flexión

Mediante el análisis como se expone en la Figura 41, se propone una fuerza de 471 N que es peso total componentes como motores, tolva, electrónicos y baterías. Lo cual es un peso real de todos los componentes.

#### 3.8.2 Selección del perfil

Para seleccionar el perfil requerido para la estructura del robot, se lo realiza mediante el siguiente proceso:



**Figura 37.** Proceso de diseño mediante análisis de cargas y esfuerzos.

El análisis de cargas se lo detalló anteriormente teniendo una carga total de 40 kg, por motivos de seguridad e imprevistos se aumenta un 20 % adicional, por lo que se trabajaría con una carga de 48 kg (471 N).



**Figura 38.** Elemento de carga.

### 3.8.3 Análisis de cargas y diseño

Con el apoyo del software libre MDSolids 4.0, procedemos al diseño del elemento crítico por flexión.

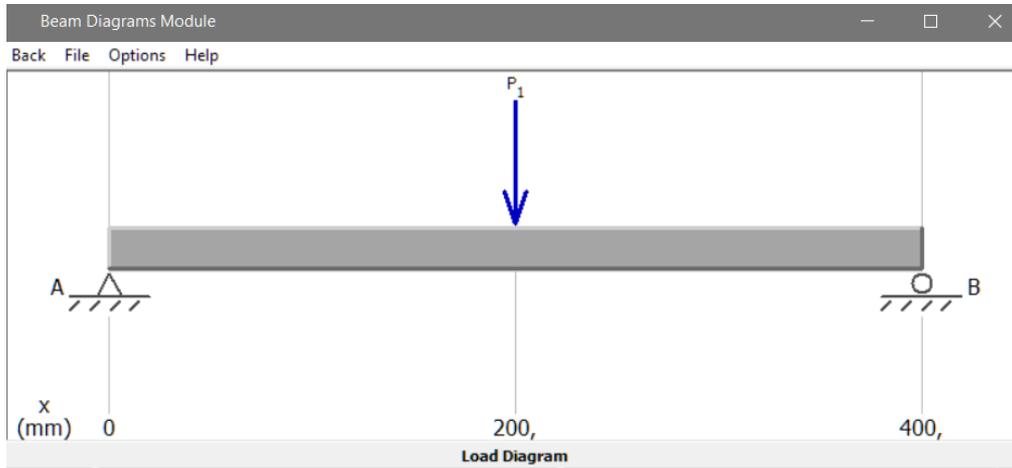


Figura 39. Diagrama de elementos críticos por flexión.

### 3.8.4 Resultados

Obtenemos los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

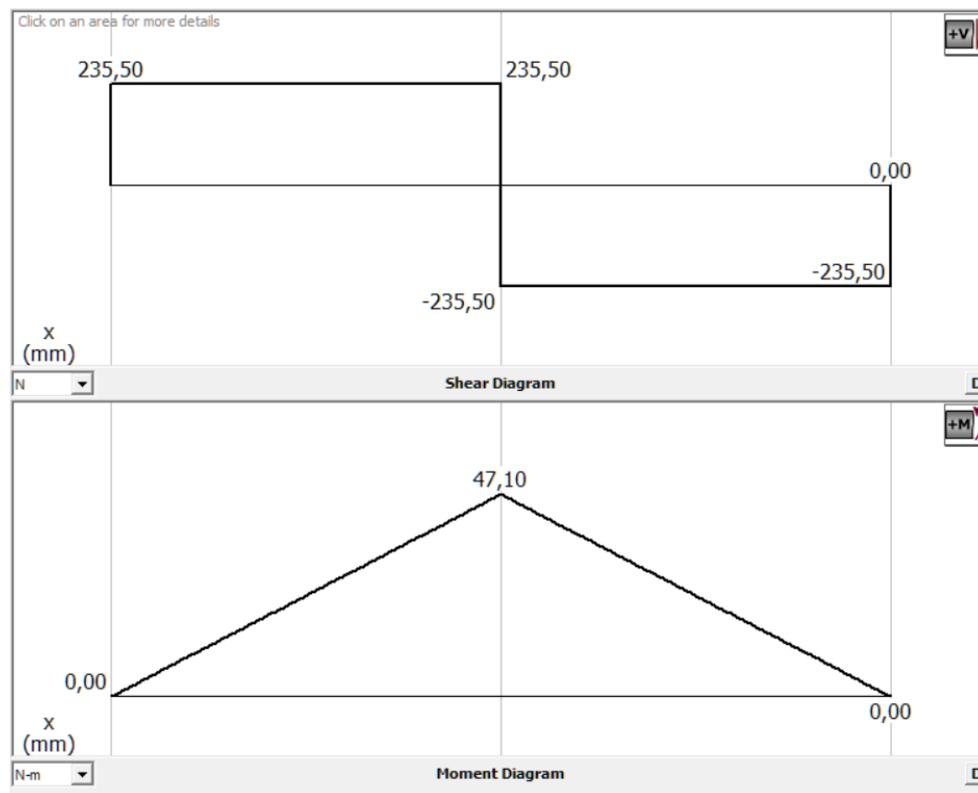


Figura 40. Diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Obteniendo un momento flector máximo de 47,1 N.m. Procedemos al análisis a flexión, usando un acero ASTM A 36, con un esfuerzo a la fluencia de 248 MPa.

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Donde:

- S = esfuerzo normal en flexión
- M = momento flector máximo
- S = módulo de sección

Se usa también un esfuerzo admisible a la flexión de 0,6 Sy. De la formula planteada, igualamos el esfuerzo de trabajo al esfuerzo admisible y despejamos el módulo de sección.

$$S = \frac{M}{0,6 S_y} = \frac{47,1 \text{ N.m}}{0,6(248 \times 10^6 \text{ N/m}^2)}$$

$$S = 3,17 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 0,31 \text{ cm}^3$$

Con el módulo de sección mínimo calculado, seleccionamos un tubo redondo del catálogo de DIPAC como se ilustra en la Figura 65. Seleccionamos un tubo estructural redondo de 1", con un módulo de sección 0,64 cm<sup>3</sup>. Por lo que calculamos el factor de seguridad.

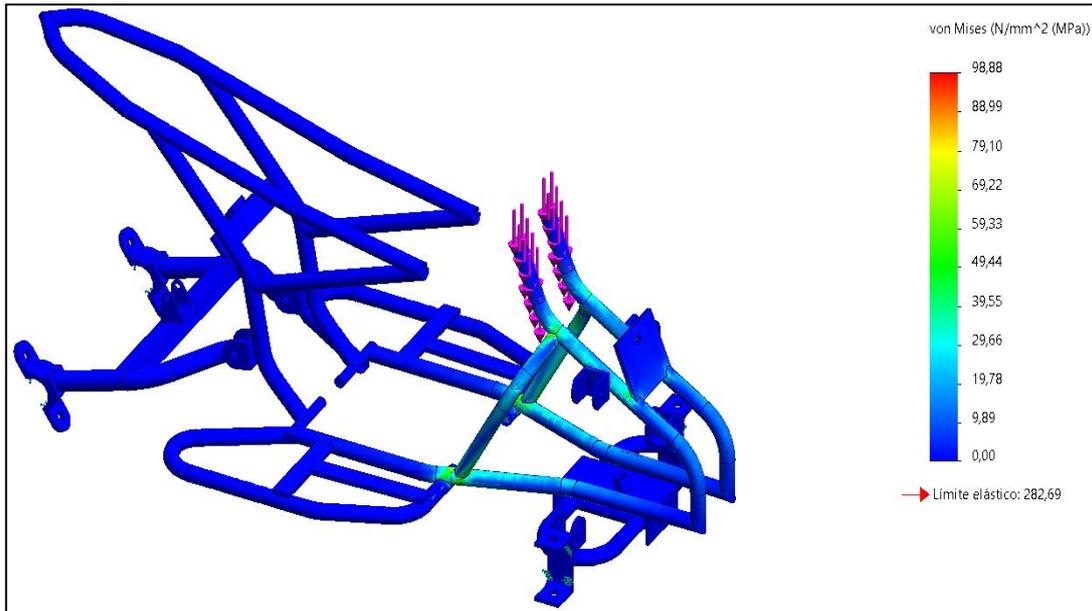
$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{47,1 \text{ N.m}}{6,4 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma = 73,59 \text{ MPa}$$

$$F_s = \frac{0,6 * 248 \text{ MPa}}{73,59 \text{ MPa}} = 20,2$$

Por lo que concluimos que el perfil seleccionado es seguro.

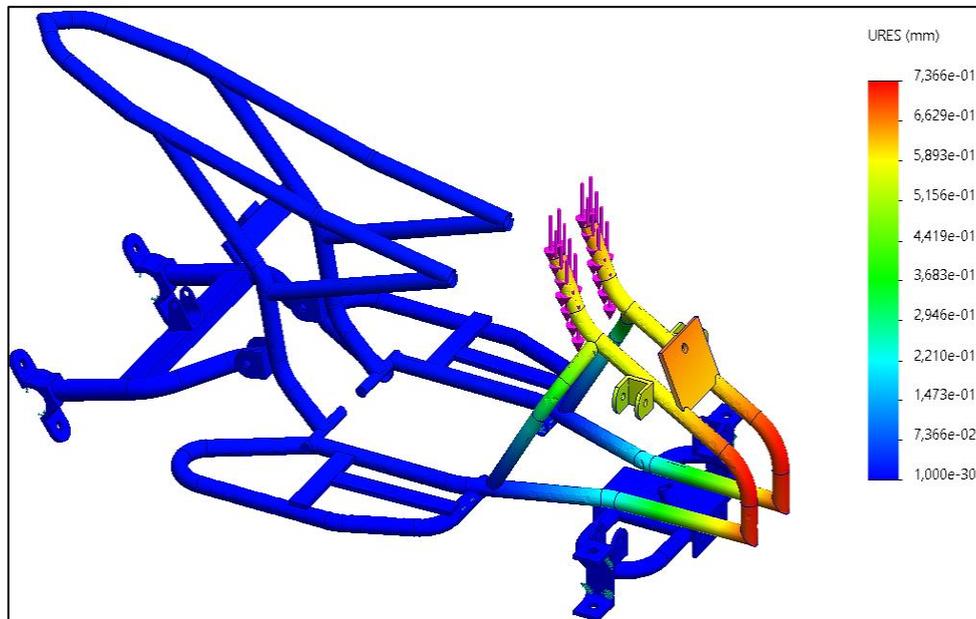
Con el perfil seleccionado procedemos a modelar toda la estructura del chasis.



**Figura 41.** Análisis de la estructura del chasis en tensión.

### 3.8.5 Análisis de desplazamiento

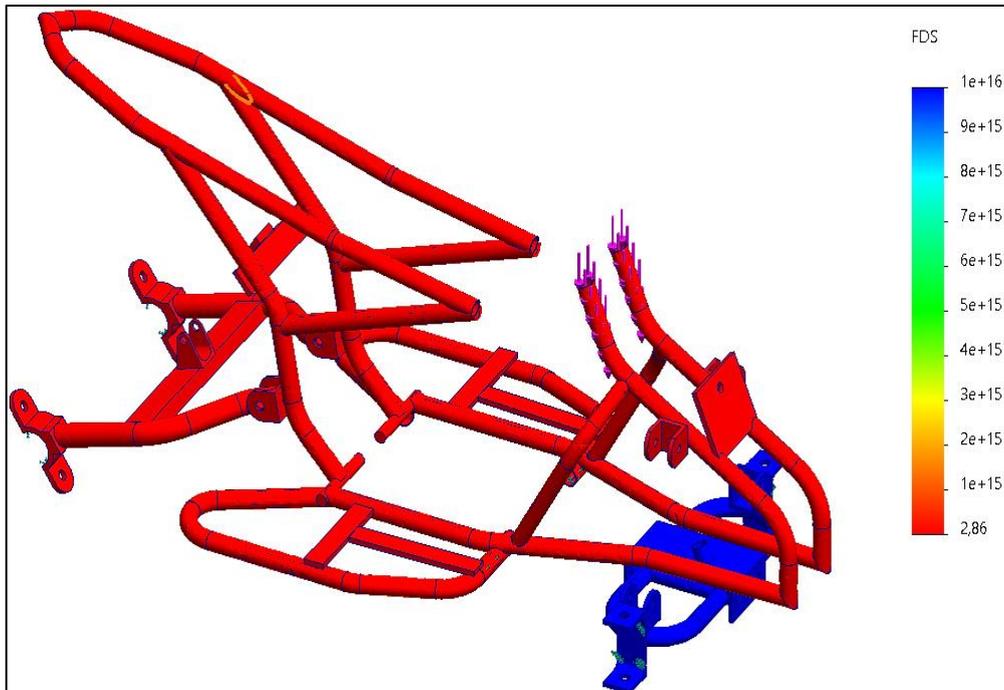
En la Figura 42 se muestra la simulación en función a los desplazamientos de la estructura del chasis, tolva, motor, etc. Se observa en la parte derecha la escala de deformación máxima de con un valor de  $7,366e-01$  y con un valor mínimo de  $1,0003e-30$ , lo cual se observa donde tendrá mayor desplazamiento.



**Figura 42.** Análisis de desplazamiento del chasis.

### 3.8.6 Factor de seguridad del chasis

El cálculo empleado del factor de seguridad de la máquina se realiza a través de un análisis en el software SolidWorks, donde la carga puntual es de 387,1 [N] sobre la estructura, según como se evidencia en la Figura 43, como resultado final se obtiene un FDS= 2,86.



**Figura 43.** Factor de seguridad del chasis.

### 3.9 Simulación de los amortiguadores

Simularemos cada amortiguador utilizando el software inventor, representándolo como un resorte de compresión sometido a una carga de 400 N. Esta simulación nos permitirá analizar el comportamiento y la respuesta del amortiguador bajo dicha carga.

### 3.9.1 Modelado

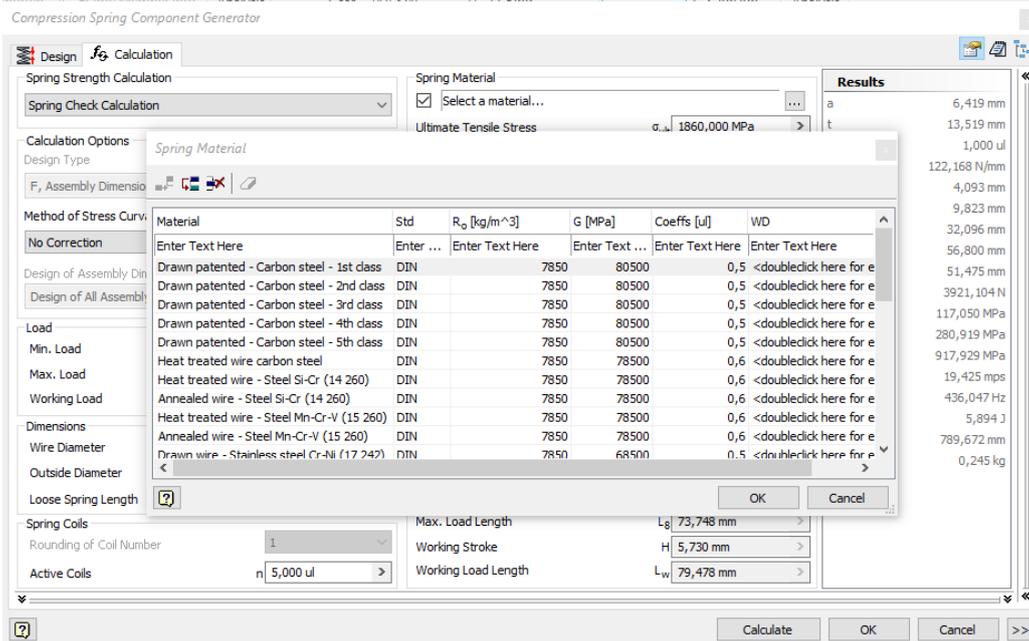


Figura 44. Software en el Inventor.

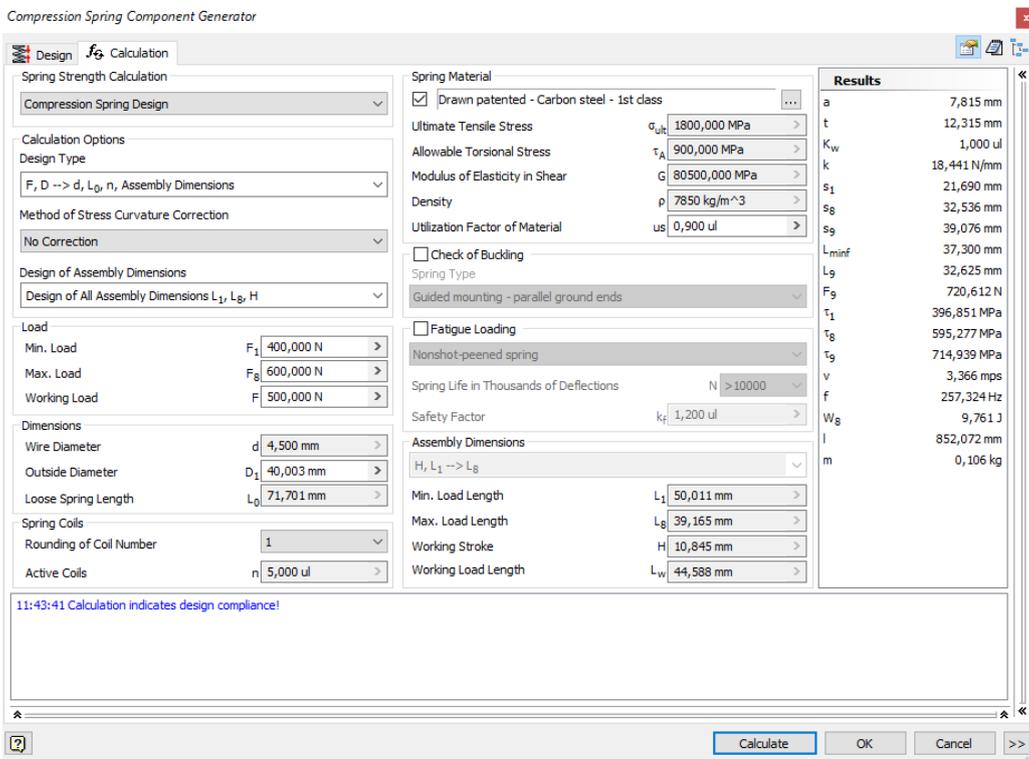


Figura 45. Realización de cargas en el software.

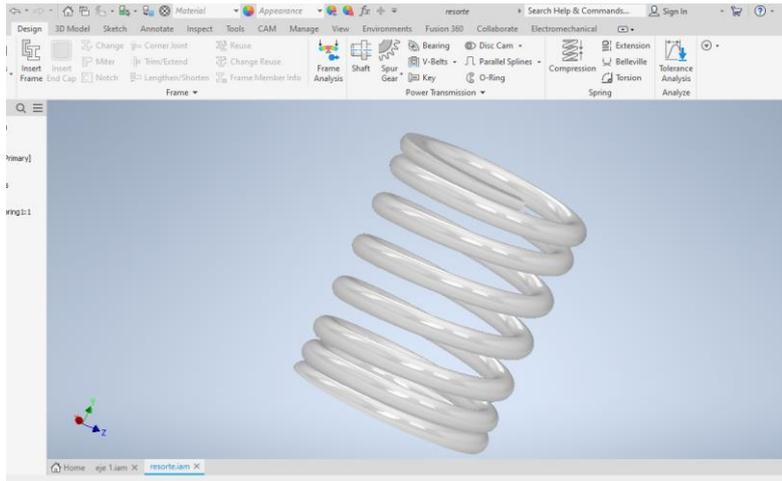


Figura 46. Diseño en el software Inventor el amortiguador.

### 3.9.2 Análisis de esfuerzos

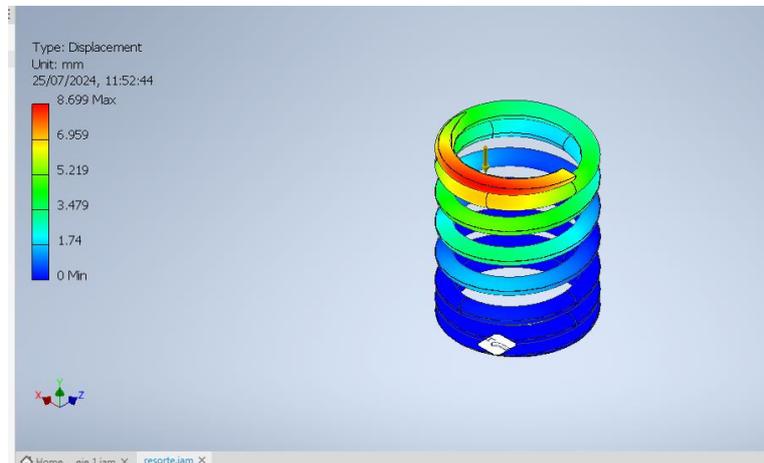


Figura 47. Simulación en el Inventor el amortiguador.

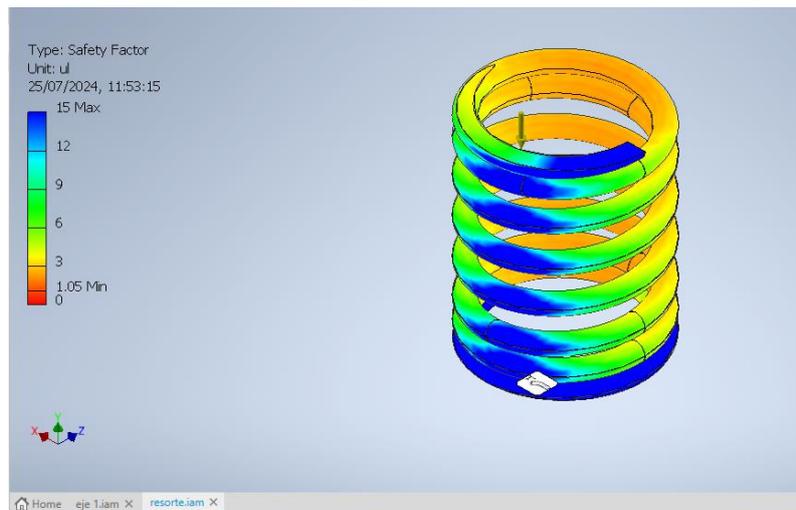


Figura 48. Deformación máxima del resorte.

De la simulación presentada, observamos que la deformación máxima que tiene el resorte es de 8 mm, se lo diseñó así ya que por el trabajo la rigidez del resorte no debe ser alta, al contrario, debe haber deformación para que este elemento asuma las malformaciones del terreno aclarando que el trabajo del robot se lo realiza en un terreno para siembra. El factor de seguridad mostrado va desde 3 hasta 9, por lo que concluimos también que el amortiguador es seguro.

### 3.10 Selección del sistema de transmisión por cadena

Para la selección del sistema de transmisión por cadena, usamos el software libre Renold Chain Selector:

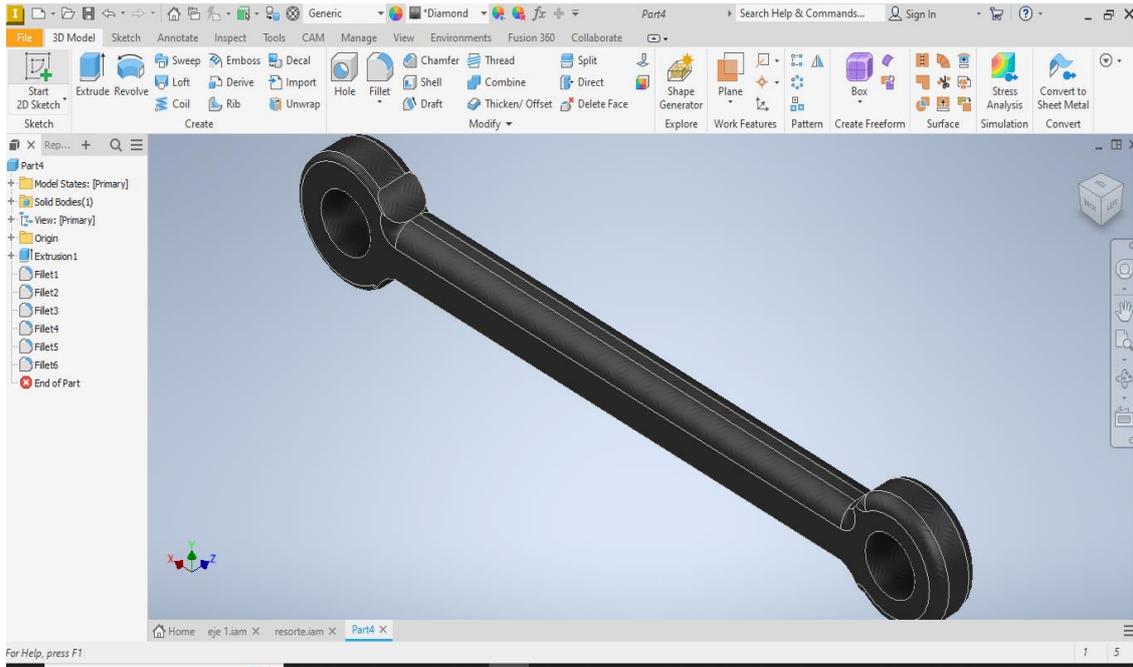
Figura 49. Software libre para la selección de cadena.

En conclusión, mediante el análisis en el software, se selecciona una cadena ANSI 40 simple como se muestra en el anexo mediante la Figura 66.

### 3.11 Comprobación mediante simulación de las barras de dirección

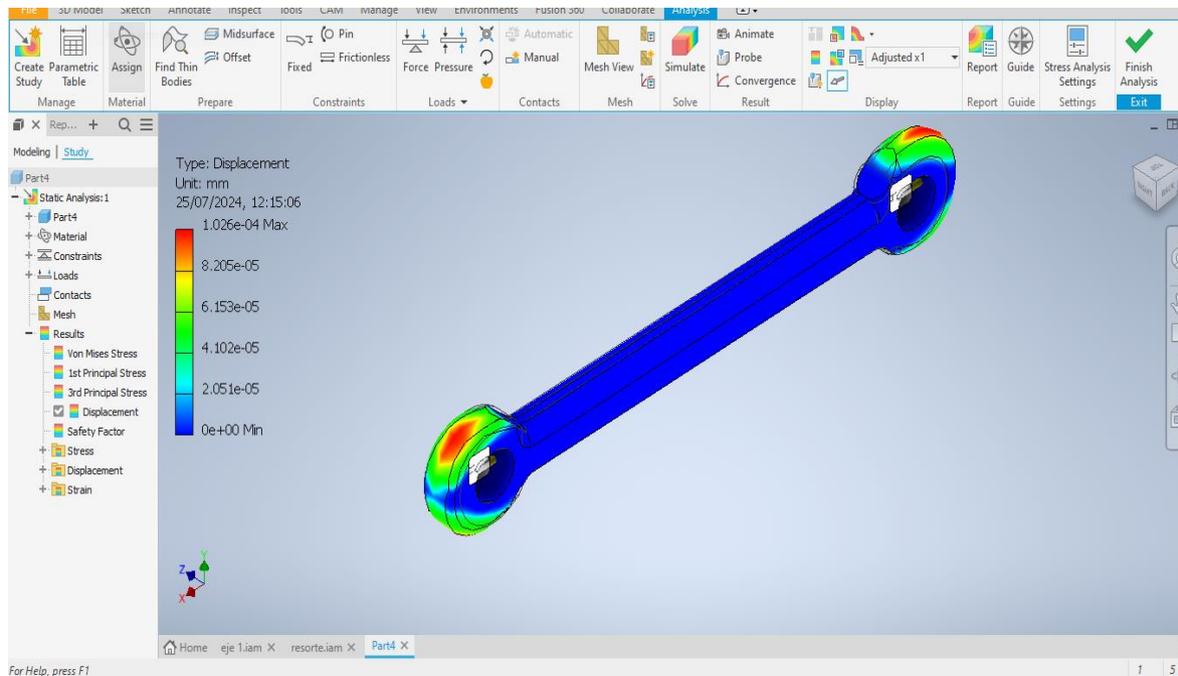
#### 3.11.1 Modelado

Cada barra de dirección se la modeló con el software inventor. Este proceso de modelado permitió crear una representación detallada y precisa de cada barra.

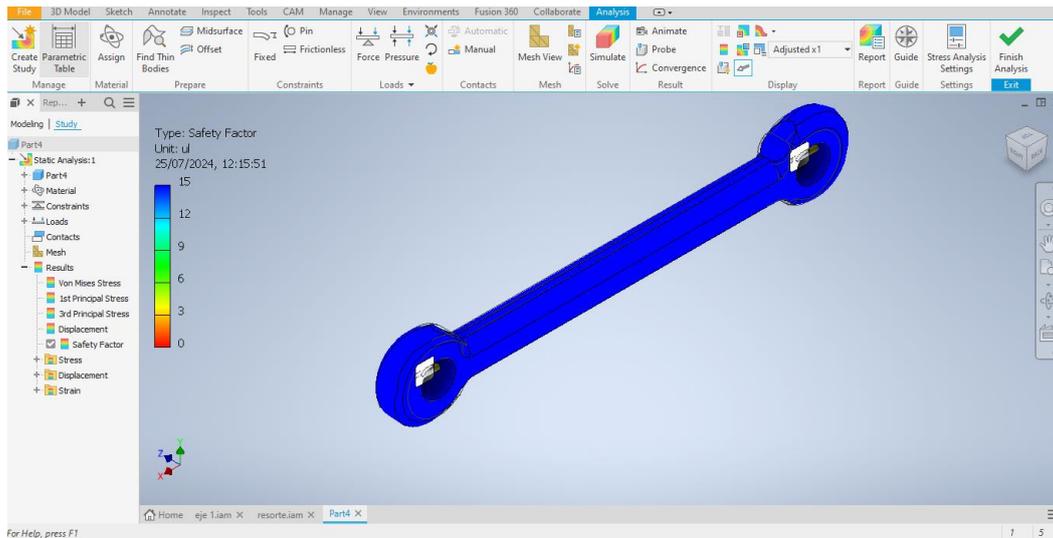


**Figura 50.** Diseño de la barra de dirección.

Se realizó un análisis de esfuerzos aplicando una carga de 500 N, en cada elemento del sistema. Este análisis nos permite evaluar la resistencia y el comportamiento estructural de la barra de dirección.



**Figura 51.** Realización de carga en la barra de dirección.

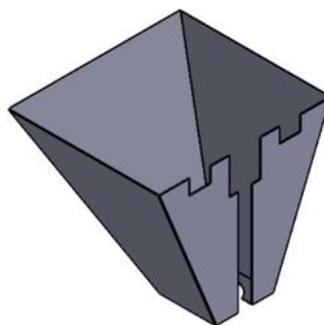


**Figura 52.** Deformación de barra de dirección.

Por lo que se puede observar el resultado de la simulación, se tiene una deformación de  $1,02 \times 10^{-4}$  mm, siendo un valor de deformación despreciable comparado con la longitud de la barra (200 mm). También observamos un valor de factor de seguridad de 15 en todo el elemento por lo que concluimos que las barras de dirección son seguras y tendrán una vida útil larga.

### 3.12 Sistema de almacenamiento de semillas

En el diseño del sistema de almacenamiento, se decidió utilizar una tolva con forma de pirámide truncada. Esta elección se basó en este modelo tiene una superficie de carga más grande que la capacidad de descarga, lo que permite un flujo más eficiente y una mejor distribución del material, optimizando así el rendimiento del sistema. Por lo tanto, se utilizó acero inoxidable 430, un material muy utilizado en aplicaciones alimentarias por su eficacia y durabilidad, es valorado por su bajo costo, atractivo acabado y notable resistencia a la corrosión y al calor.



**Figura 53.** Diseño de la tolva.

### 3.13 Dimensión de tolva

Al diseñar el sistema de almacenamiento, se consideraron las dimensiones del cuadrón y su capacidad máxima de carga en comparación con el espacio de la tolva. Esta estrategia garantiza un flujo continuo de material sin obstrucciones y mantiene la eficiencia operativa del proceso.

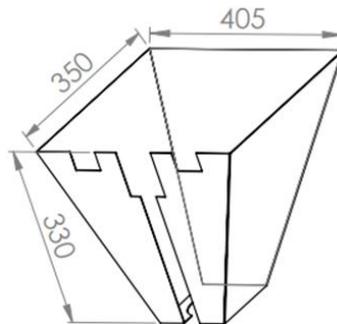


Figura 54. Dimensión de la tolva.

### 3.14 Cálculo del volumen tolva

En esta sección se procede a efectuar los cálculos necesarios para concluir el volumen total de la tolva. Tal como se expone la Figura 54 para obtener los datos necesarios, además de ver la capacidad que se requiere, donde se ocupa la Ecuación (6).

$$VT = (L_1)(L_2) \left(\frac{1}{3}\right) (h)$$
$$VT = (40,5)(35) \left(\frac{1}{3}\right) (33)$$
$$VT = 15592,5\text{cm}^3$$

### 3.15 Dimensión de la papa

La fórmula representada por la Ecuación (7) es empleada con el propósito de determinar el área de la papa.

$$A_{\text{papa}} = (r_1)(r_2)(\pi)$$
$$A_{\text{papa}} = (2,63)(2,47)(\pi)$$
$$A_{\text{papa}} = 20.41\text{cm}^2$$

Se empleará la Ecuación (8) para conocer el volumen total de la papa.

$$V_{\text{papa}} = \left(\frac{4}{3}\right) (\pi)(r_1)(r_2)(r_3)$$

$$V_{\text{papa}} = \left(\frac{4}{3}\right) (\pi)(2,63)(2,47)(1,24)$$

$$V_{\text{papa}} = 33,74 \text{ cm}^3$$

En 10 libras de papa se utiliza el resultado de la ecuación (7), y se hará una relación para conocer cuántas semillas existen, lo cual significa que cada papa pesa un aproximado de 0.15 libras.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ libra} \qquad 6,7 \text{ papas} \\ 10 \text{ libra} \qquad \qquad x \\ x = 67 \end{array}$$

En 10 libras, existen aproximadamente 67 semillas.

En conclusión, se necesita una tolva con capacidad de 10 libras. Teniendo en cuenta se realiza la ecuación (7) y (8).

### 3.16 Cálculo del volumen de la papa tolva

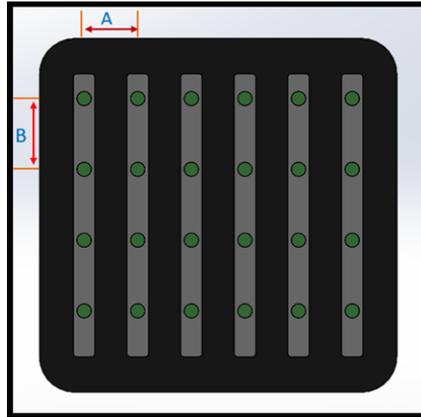
$$\begin{array}{r} 33,74 \text{ cm}^3 \qquad 1 \text{ semilla} \\ x \qquad \qquad 67 \text{ semillas} \\ x = 2361,8 \text{ cm}^3 \end{array}$$

En conclusión, se puede afirmar que la tolva tiene una capacidad de 15592,5 cm<sup>3</sup>, lo cual es más que suficiente para albergar 10 libras de papa. Este exceso se justifica de sobredimensionamiento debido a que no siempre todas las semillas son del mismo tamaño.

### 3.17 Requerimiento

Requerimiento sobre el cultivo de la papa. Como se aprecia en la Figura 55, las dimensiones del cultivo adecuado son:

- a) Distancia entre surcos: 100 cm.
- b) Distancia entre plantas: 40 cm.



**Figura 55.** Distancia entre surcos y plantas.

Basándose en la Figura 55, se procede a calcular utilizando la Ecuación (9), en un terreno de una dimensión de  $100 \text{ m}^2$ , cuántas semillas se necesitan para cultivar el tubérculo.

$$DS = \frac{At}{Ds * Dp}$$

$$DS = \frac{100 \text{ m}^2}{(1\text{m})(0,4 \text{ m})}$$

$$DS = 250 \text{ semillas}$$

En conclusión, para un terreno de 100 metros cuadrados, se necesitan 250 semillas en total. Dado que la tolva tiene capacidad para 67 semillas, será necesario llenarla la tolva aproximadamente 4 veces.

### 3.18 Cálculo del peso normal

Mediante la utilización Ecuación (11), que sigue a continuación, se calcula el valor del peso estándar del robot.

$$N = (m_r)(g)$$

$$N = (40,1\text{kg}) (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$N = \frac{392,98 \text{ N}}{4}$$

$$N = 98,26\text{N}$$

### 3.19 Cálculo de la fuerza de corte de tierra

Mediante la Ecuación (12), se llevan a cabo los cálculos correspondientes de la cuchilla de corte del suelo, lo cual me permite elaborar la fuerza que está sometida en el momento de realizar el trabajo.

$$F_c = (\mu)(S)$$

$$F_c = (7,0323)(45,6)$$

$$F_c = 320,67 \text{ N}$$

### 3.20 Cálculo de resistencia del suelo a la cuchilla

Para determinar la resistencia de la cuchilla del corte, se emplea la Ecuación (13).

$$F_r = (\mu)(N)$$

$$R_s = F_c + F_r$$

$$R_s = 320,67 + (0,6 * 116,38)$$

$$R_s = 389,83 \text{ N}$$

### 3.21 Estimación de la fuerza del diagrama de cuerpo libre

En esta etapa se lleva a cabo el cálculo correspondiente del diagrama del cuerpo libre utilizando la Ecuación (14).

$$F = R_s + F_r$$

$$F = 389,83\text{N} + (0,6 * 98,26\text{N})$$

$$F = 448,79 \text{ N}$$

### 3.22 Cálculo de la velocidad

Se prevé que el robot agricultor se desplace una distancia de 40 cm en un lapso de 20 segundos que llega al surco designado, por lo tanto, se procede a calcular la velocidad necesaria mediante la Ecuación (15).

$$v = \frac{d}{t}$$

$$v = \frac{40 \text{ cm}}{20\text{s}}$$

$$v = 2 \text{ cm/s}$$

### 3.23 Cálculo de potencia requerida

El sistema de tracción motriz está diseñado para movilizarse a una distancia de 40 centímetros en un tiempo estimado de 20 segundos. La potencia requerida por el motor está determinada por la carga que soporta el robot y el peso de la semilla. Mediante la Ecuación (16), se realiza el cálculo necesario.

$$\begin{aligned}P &= (F)(v) \\P &= (448,79 \text{ N}) \left(0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \\P &= 89,76 \text{ W} \\P &= 0,12\text{HP}\end{aligned}$$

### 3.24 Velocidad angular

Se determina la velocidad angular se emplea la siguiente Ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** permitiendo así obtener los rpm necesarios, teniendo en cuenta que 1 rad/s equivale a 60/2pi en rpm.

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi}{t} \\ \omega &= \frac{2\pi}{4\text{s}} \\ \omega &= \frac{\pi}{2} \text{ (rad/s)} \\ \omega_{\text{rpm}} &= (\omega) \left(\frac{60}{2\pi}\right) \\ \omega_{\text{rpm}} &= \frac{\pi}{2} \times \frac{60}{2\pi} = 15 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Camina 15 revoluciones por minuto requerido.

### 3.25 Cálculo del torque en las ruedas

En esta fase se lleva a cabo el cálculo del torque requerido para seleccionar el motor apropiado. Según los datos, el diámetro del neumático es de 13 pulgadas utilizando la Ecuación (18).

$$\begin{aligned}T &= (F)(r) \\T &= (448,79 \text{ N})(0,1651\text{m})\end{aligned}$$

$$T = 74,1\text{Nm}$$

### 3.26 Torque para cada rueda

$$T = \frac{(F)(R)}{4}$$

$$T = \frac{(448,79\text{N})(0,1651\text{ m})}{4}$$

$$T = 18,52\text{ Nm}$$

### 3.27 Transmisión de movimiento

Para efectuar la transmisión de movimiento desde el motor hacia las ruedas traseras, se implementa la Ecuación (19) a través del sistema que involucra engranajes y cadena, tal cual se presenta en la Figura 56.

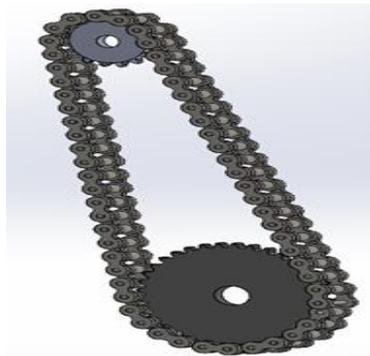


Figura 56. Transmisión mediante cadena.

#### 3.27.1 Cálculo de relación de transmisión por cadena

Para la selección del piñón del motor central, se procede a realizar el cálculo utilizando la Ecuación (19). Según los datos obtenidos, la revolución del motor es 135 rpm.

$$Z_1 = \frac{(n_2)(Z_2)}{n_1}$$

$$Z_1 = \frac{(15\text{ rpm})(54)}{135\text{ rpm}}$$

$$Z_1 = 6\text{ dientes}$$

En conclusión, para lograr la movilización del robot, es indispensable contar con un piñón motriz de 6 dientes que conecte el eje del motor con el eje de las ruedas traseras.

### 3.28 Cálculo del sistema de dirección

Para la selección del motorreductor del volante se optó por la Ecuación (20), para poder obtener datos del torque necesario.

$$T = (d)(F_r) \cos(\psi) - (b)(F_r)$$

$$T = (0,35)(0,6 * 116,38) \cos 45 - (0,35)(0,6 * 116,38)$$

$$T = 7,16 \text{ Nm}$$

De esta manera se llega a la conclusión que el torque seleccionado puede mover el sistema de dirección del robot agricultor.

### 3.29 Cálculo de consumo corriente del motor y controlador

Para elegir la batería adecuada, se requiere efectuar el cálculo mediante la Ecuación (21), (22) y (23) de cada componente electrónico y de los motores asignados.

$$I_{tm1} = 13A + 3A + 3,50A$$

$$I_{tm1} = 19,5A$$

$$I_{tm2} = 20mA + 36mA + 5mA$$

$$I_{tm2} = 61mA$$

$$I_t = 19,5A + 0,061A$$

$$I_t = 19,561 \text{ A}$$

El robot agricultor tendrá una autonomía de 2h de utilización prevista, por ende, se realizó el cálculo total del consumo de corriente de 19,6A aproximado que se necesita.

### 3.30 Diseño final del robot en SolidWorks

Mediante el uso de SolidWorks, se procede a crear el diseño de la estructura de acuerdo con las dimensiones previamente calculadas para su aplicación en el cultivo de papas. La utilización de este software como herramienta de diseño garantiza la precisión. Además, asegura la coherencia con las especificaciones establecidas para la estructura. La vista isométrica proporciona una representación visual detallada del diseño, permitiendo una mejor comprensión de cómo se llevará a cabo la implementación en el campo cultivo. En la siguiente Figura 57, se presenta una vista isométrica que muestra el resultado del diseño elaborado.

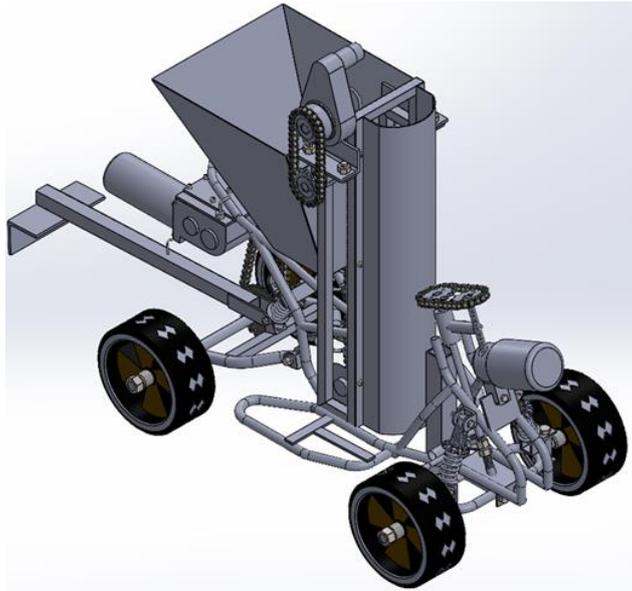


Figura 57. Diseño final del robot agricultor.

### 3.31 Diseño electrónico en PBC

En la creación del diseño electrónico en placas de circuito, se integran elementos seleccionados para formar el sistema de control de las máquinas electromecánicas. Se utiliza el software IDE Arduino, que posibilita la simulación del circuito mencionado, evitando así posibles errores antes de la fase de construcción. Los esquemáticos del sistema simulado se presentan en la Figura 58.

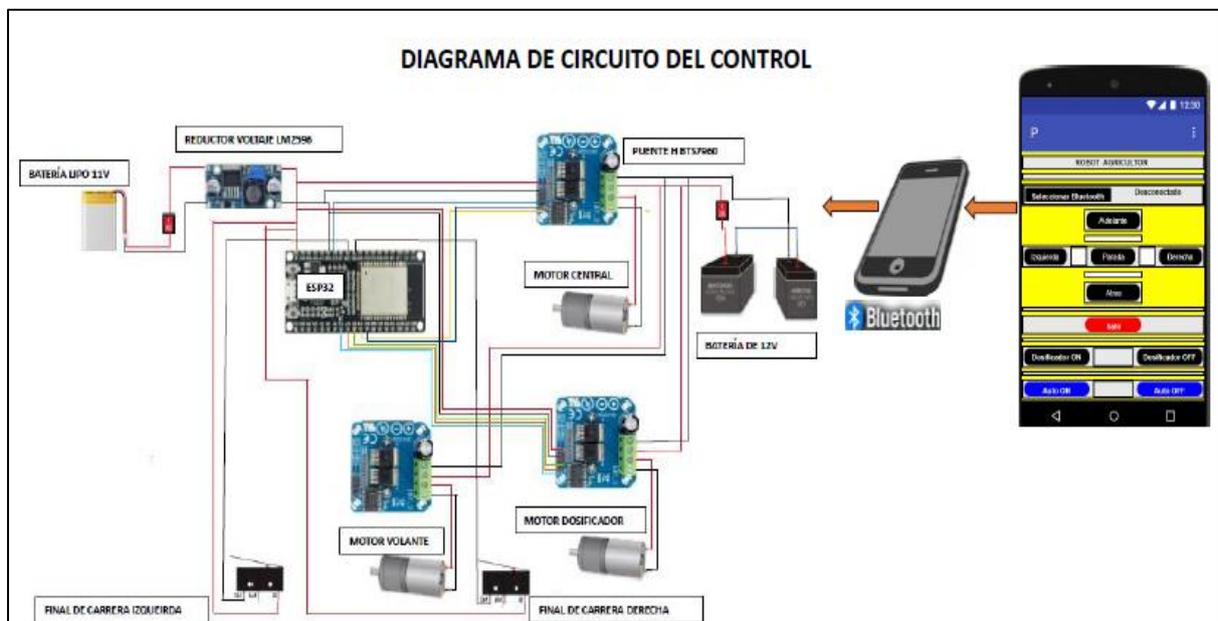


Figura 58. Diagrama de conexión del circuito.

### 3.32 Diagrama de flujo

Para el control basándose en esp32 se realiza el algoritmo que se representa con el diagrama de flujo como se visualiza en la Figura 59.

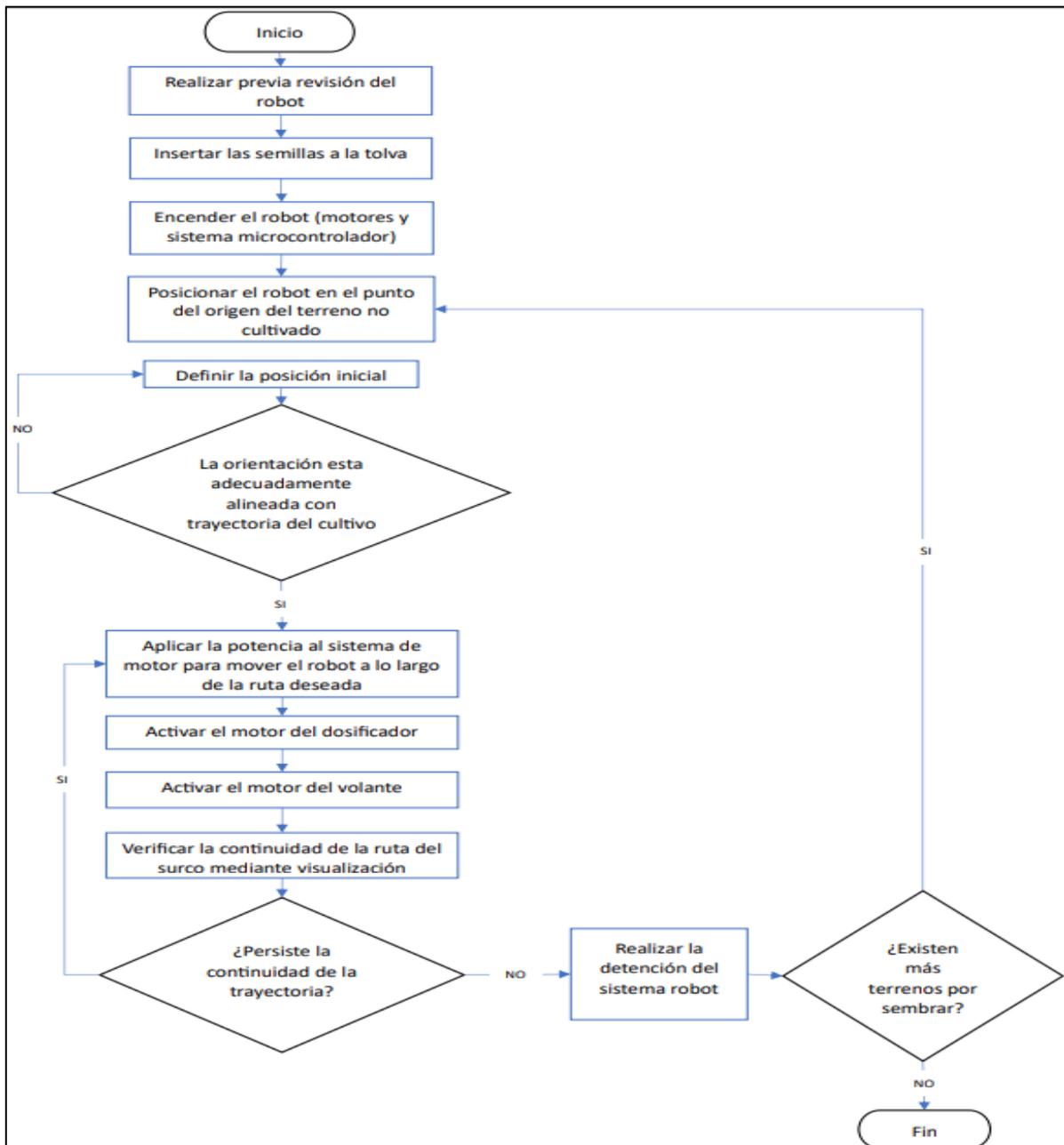


Figura 59. Diagrama de flujo.

# CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS Y RESULTADO

En este capítulo, se presenta un análisis exhaustivo del robot agricultor mediante la realización de diversas pruebas de funcionamiento. Se evalúan parámetros técnicos, los resultados se documentan para ofrecer una visión integral de su desempeño y eficiencia en tareas agrícolas específicas.

### 4.1 Resultado de funcionamiento

#### 4.1.1 Prueba de control app Inventor

La prueba se realiza utilizando el microcontrolador ESP32 con el entorno de desarrollo Arduino IDE, lo que permite el control a través de la aplicación desarrollada en App Inventor. En la Figura 60 correspondiente, se detalla el diseño y funcionamiento de cada control, facilitando una evaluación precisa y una interacción eficiente con el sistema desarrollado.



Figura 60. Control App Inventor.

## 4.2 Ejecución de la prueba del robot móvil agricultor implementado

Se muestra en la Figura 61 el robot móvil agricultor en el terreno preparado. Aquí se realizará una prueba de funcionamiento para demostrar su eficiencia y precisión en tareas agrícolas específicas. Este terreno está ubicado en el Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.



**Figura 61.** Robot móvil agricultor implementado.

### 4.2.1 Prueba de distancia recorrida

En esta prueba se determinó la separación óptima entre semillas, utilizando un flexómetro a una distancia de 40 cm, como se muestra en la Figura 62, para verificar la distancia adecuada y maximizar el rendimiento de la eficiencia del robot móvil sembrador de papas colaborativo con el agricultor.



**Figura 62.** Distancia entre semillas.

La Tabla 23 detalla los errores recolectados durante la prueba de distancia entre semillas, comparando las distancias teóricas con las reales. Esta información permite evaluar el desempeño del sistema, identificar áreas de mejora y ajustar los parámetros de control para optimizar la precisión y eficiencia del proceso de siembra.

**Tabla 23.** Prueba de distancia recorrida entre semillas

<b>N° Pruebas</b>	<b>Distancia ideal [cm]</b>	<b>Distancia recorrida [cm]</b>	<b>PWM [rpm]</b>	<b>Error [cm]</b>
<b>1</b>	40	255	20	20
<b>2</b>	40	245	25	15
<b>3</b>	40	230	28	12
<b>4</b>	40	215	30	10
<b>5</b>	40	210	31	9
<b>6</b>	40	203	33	7
<b>7</b>	40	200	34	6
<b>8</b>	40	197	36	4
<b>9</b>	40	195	39	1
<b>10</b>	40	187	40	0

Mediante los resultados obtenidos, se determinó la distancia ideal para la siembra de tubérculos es de 40 cm. Esta conclusión, basada en los datos proporcionados del INIAP, indica que esta distancia es óptima para cada semilla que se depositará.

#### **4.2.2 Prueba de la profundidad**

En esta prueba se determina la profundidad ideal del surco para la siembra, utilizando un sistema de control basado en el microcontrolador ESP32. Se ajustan y registran diferentes profundidades, analizando los resultados en la Figura 63 para optimizar las condiciones de siembra y mejorar el rendimiento del cultivo.



**Figura 63.** Prueba de altura.

En la Tabla 24 presenta las profundidades registradas durante diversas pruebas de cultivo de tubérculos. Estos datos son cruciales para evaluar la efectividad de las configuraciones de siembra y determinar la profundidad óptima para maximizar el desarrollo y rendimiento de los tubérculos.

**Tabla 24.** Prueba de altura entre la semilla y la superficie del terreno

<b>N° Pruebas</b>	<b>Altura ideal [cm]</b>	<b>Altura aproximada [cm]</b>	<b>Error [cm]</b>
<b>1</b>	10	7	3
<b>2</b>	10	7.52	2.48
<b>3</b>	10	8	2
<b>4</b>	10	8.5	1.5
<b>5</b>	10	8.9	1.1
<b>6</b>	10	9.2	0.8
<b>7</b>	10	9.5	0.5
<b>8</b>	10	9.8	0.2
<b>9</b>	10	10	0
<b>10</b>	10	10	0

Según los resultados de las pruebas y los datos proporcionados por el INIAP, la profundidad ideal para la siembra de tubérculos es de 10 cm. Esta profundidad asegura un desarrollo óptimo de las plantas y maximiza su rendimiento.

### 4.2.3 Prueba de la semilla

En esta prueba se determinan las medidas en centímetros de las semillas depositadas en la tolva del robot móvil sembrador de papa, como se visualiza en la Figura 64.



Figura 64. Semillas depositadas en la tolva.

En la Tabla 25, se muestran los datos recopilados del transporte de los tubérculos, considerando la máxima abertura del dosificador de 8 cm enviado desde su tolva hacia su punto de descarga en un tiempo determinado.

Tabla 25. Transporte de tubérculos que contienen semillas

N° Pruebas	Medida real [cm]	Medida aproxima [cm]	Error [cm]
1	8	3	5
2	8	3.2	4.8
3	8	4	4
4	8	4.3	3.7
5	8	4.7	3.3
6	8	5	3
7	8	5.3	2.7
8	8	6.1	1.9
9	8	7	1
10	8	8	0

La semilla de 8 cm cumple con la dimensión máxima del dosificador de la tolva, cumpliendo así con las especificaciones del robot móvil sembrador. Estas semillas tienen la capacidad de distribuirse en la tolva y continuar su proceso con normalidad.

### 4.3 Costos del robot agricultor

#### 4.3.1 Costos de insumos mecánicos.

Como se muestra en la Tabla 26, se detallan los costos generales asociados a la adquisición de materiales mecánicos.

**Tabla 26.** Detalle de los costos vinculados a los accesorios para la construcción mecánica

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
2	Chumaceras	8	16
1	Eje de transmisión 2mx12mm	40	40
1	Tubo cuadrado galvanizado 6 m	10	10
1	Tool media plancha	40	40
1	Chasis de cuadrón	335	335
2	Cadena simple ANSI	9	18
4	Pernos M	1.10	4.40
4	Tuercas M	1.10	4.40
4	Arandelas mixtas	0.70	2.80
4	Discos de corte metal norton	4	16
1	Pintura esmalte negro 1 lt	8	8
4	Llantas pantera century 13"	9	36
6	Rodamientos 6202 2rs 12	4.20	25.20
12	Autoperforantes 1"x12	0.20	2.40
4	Piñones universales	4	16
<b>Costo total</b>			<b>574.20</b>

### 4.3.2 Costo de insumos electrónicos.

Conforme como se evidencia en la Tabla 27 mencionada, se especifican los costos completos de los materiales electrónicos requeridos para la implementación del robot.

**Tabla 27.** Detalle de los costos correspondientes de electrónicos utilizados

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
3	Puente h BTS7960	18	54
1	Reductor voltaje LM2596	2	2
1	Motorreductor	380	380
1	Motorreductor MX	80	80
1	Motorreductor12v	40	40
1	Esp32	12	12
3	Convertor analógico	1.70	5.10
2	Batería tiang neng	110	220
1	Batería lipo turnigy	70	70
2	Borneras	1	2
2	Sensor final de carrera	2	4
1	Cable calibre 16wsg 4m	3	3
1	Caja de protección eléctrico	25	25
2	Termo encogible 4m	0.70	1.40
1	Cable calibre 16 AWG 3m	0.80	0.80
1	Cable calibre 14 AWG 3m	1.10	1.10
1	Cable calibre 12 AWG 3m	1.15	1.15
1	Cable timbre 3m	1.50	1.50
<b>Costo total</b>			<b>903.05</b>

### 4.3.3 Mano de obra para construcción

La Tabla 28 que se presenta a continuación proporciona un análisis minucioso de las horas laborales empleadas en el diseño, la construcción y los servicios secundarios. Este desglose detallado abarca los diferentes aspectos relacionados con la mano de obra involucrada en cada una de estas áreas.

**Tabla 28.** Análisis de los costos asociados a la mano de obra

<b>Horas</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>Valor por hora</b>	<b>total</b>
<b>135</b>	Diseño de la estructura	1.88	253.8
<b>250</b>	Construcción	1.88	470
<b>190</b>	Servicios secundarios	0.67	127.30
<b>Total</b>			<b>851.1</b>

### 4.3.4 Costo total del robot agricultor

En la Tabla 29 se exhibe el costo total requerido para la implementación del proyecto del robot agricultor, en conformidad con todos los componentes empleados.

**Tabla 29.** Costo total del robot móvil sembrador de papa

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. Total</b>
<b>1</b>	Costo de insumos mecánicos	574.20
<b>1</b>	Costos de insumos electrónicos	903.05
<b>1</b>	Mano de obra para construcción	851.1
<b>Costo total de robot agricultor</b>		<b>2328.35</b>

#### 4.4 Periodo de recuperación de la inversión del robot agricultor

##### 4.4.1 Proceso de siembra

En un terreno de aproximadamente 500 metros cuadrados se ha llevado a cabo la siembra de tubérculos después de realizar un análisis previo de los costes, como se detalla en la Tabla 30 adjunta. Este proceso tiene una duración aproximada de 6 a 7 meses, dependiendo del tipo de semillas utilizadas.

Tabla 30. Costo total del proceso de siembra

Cantidad	Descripción	Costo unitario \$	Costo total \$
1	Arado del terreno	20	20
1	Rastre del terreno	15	15
5	Semilla por quintal	15	75
5	Abono químico	43	215
4	Insecticida y fungicida 100lt	30	120
6	Peones	12	72
6	Alimentación	5	30
<b>Total</b>			<b>547</b>

Como se puede observar en la Tabla 30, se detalla el proceso y la cantidad de siembra, durante el cual se realizó una inversión total de \$547. Este análisis abarca varios aspectos, como el costo de insumos, mano de obra y otros gastos asociados al proceso de producción de tubérculos. La evaluación detallada de estos costos es crucial para comprender la viabilidad económica del proyecto agrícola.

##### 4.4.2 Proceso de cosecha

En este apartado se realiza el proceso de la cosecha. Por consiguiente, se analiza el valor total aproximado de la producción de tubérculos, como se muestra en la siguiente Tabla 31.

**Tabla 31.** Valor total de la cosecha

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario \$</b>	<b>Valor total \$</b>
45	Primera	15	675
22	Segunda	12	264
18	Tercera	10	180
5	Cuarta	8	40
<b>Total</b>			<b>1159</b>

Como se ilustra en la Tabla 31, se realiza un cálculo aproximado del costo total de la producción, que asciende a \$ 1159.

#### **4.4.3 Ganancia total de la producción de tubérculos**

En este proceso se lleva a cabo un cálculo preliminar entre el costo total de la inversión y el valor total de la producción de cosecha. Esto implica realizar una evaluación detallada. El objetivo es determinar la rentabilidad. A continuación, se presenta la ecuación (24) utilizada para este cálculo.

$$GT = CI - CP$$

$$GT = 547 - 1159 \quad (24)$$

$$GT = 612$$

Donde:

- GT = Ganancia total
- CI = Coto de inversión
- CP = Costo de producción

Como se puede visualizar en la ecuación (22), la ganancia total ascendió a 612 dólares americanos, que considera el rendimiento de la cosecha, los costos operativos y otros gastos relacionados con la producción de tubérculos. Esto es esencial para evaluar la rentabilidad del proyecto agrícola y tomar decisiones estratégicas para su gestión y expansión en el futuro.

#### 4.4.4 Flujo efectivo generado en la cosecha

Tabla 32. Flujo efectivo generado por la cosecha y la inversión del proyecto

Descripción	Valores \$
<b>Inversión inicial</b>	2328.35
<b>Flujo de caja en 7 meses</b>	612
<b>Flujo de caja en 14 meses</b>	630
<b>Flujo de caja en 20 meses</b>	680
<b>Flujo de caja en 27 meses</b>	700

En la Tabla 32 de este apartado se presenta la ganancia obtenida durante el proceso de siembra, la cual varía según las condiciones climáticas y el tiempo.

#### 4.4.5 Flujo de caja final acumulado

En la Tabla 33 se efectúa un cálculo preliminar del valor de producción durante la cosecha de papas, con el fin de determinar el tiempo necesario para recuperar la inversión realizada en el proyecto del robot móvil sembrador que colabora con el agricultor.

Tabla 33. Flujo de caja acumulados al final de cada cosecha

Concepto	Valores \$	Flujo de caja acumulado
<b>Inversión inicial</b>	2328.35	
<b>Flujo de caja en 7 meses</b>	612	612
<b>Flujo de caja en 14 meses</b>	630	1242
<b>Flujo de caja en 20 meses</b>	680	1922
<b>Flujo de caja en 27 meses</b>	700	2622

Como se puede observar en la Tabla 33, los cálculos indican que la inversión total en el proyecto fue de 2328.35 dólares americanos. Según estos cálculos, la inversión se recupera en un período de 2 años y 3 meses valor aproximado de \$ 2622.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este apartado se llevaron a cabo las recomendaciones y conclusiones derivadas de los procesos respectivos durante la construcción paulatina del proyecto de titulación. Este proyecto se focaliza en el desarrollo de un robot móvil colaborativo con el agricultor, diseñado para realizar el sembrío del tubérculo.

### CONCLUSIONES

- El presente proyecto se realizó utilizando técnicas de diseño y simulación con software de ingeniería, logrando la correcta implementación un de robot móvil sembrador colaborativo con el agricultor para el sembrío del tubérculo, dirigido a los pequeños agricultores con una capacidad en la tolva de 5kg según los parámetros establecidos, para la provincia de Cotopaxi, cantón Pujilí.
- Todos los elementos mecánicos y electrónicos fueron meticulosamente seleccionados y desarrollados utilizando materiales disponibles dentro del país. Este enfoque garantiza una total dependencia en la producción local y contribuye significativamente al fortalecimiento de los pequeños y medianos agricultores alcanzando un costo total de \$2328,35 dólares americanos y su inversión se recupera en 2 años y 3 meses.
- Los elementos más cruciales fueron sometidos a un análisis estáticos y dinámicos utilizando el software especializado SolidWorks. Los resultados de estos análisis muestran que los componentes examinados cumplen con los parámetros establecidos, con un factor de seguridad de 2.7. Este valor sugiere que la integridad estructural se encuentra en un rango óptimo, lo que significa que no hay fallas mecánicas y asegura un diseño estable para soportar las cargas requeridas durante su funcionamiento oportuno.
- La implementación de la tarjeta Esp32, ha permitido la obtención de un control óptimo, debido a que este controlador exhibe una respuesta altamente eficiente al ser empleado en el diseño electrónico del robot. La selección de esta tecnología específica se basa en su reconocimiento de desempeño y confiabilidad, lo que aumenta la posibilidad y funcionalidad del proyecto en su conjunto.

- Las pruebas realizadas sobre el robot final determinaron un error de 0% para distancia de siembra colocando una semilla cada 40cm, y un error del 0% en la distancia de profundidad de la semilla correspondiente a 10 cm.
- El robot puede garantizar un excelente trabajo de dosificación con semillas de aproximadamente 8cm de diámetro  $\pm$  1cm, ya que si las semillas son demasiado pequeñas podrían depositarse más de 1 a la vez, por el contrario, si las semillas son demasiado grandes producirían un atascamiento en el mecanismo de dosificación.

### **RECOMENDACIONES**

- Previo a la activación en marcha, es esencial que el operador realice una revisión exhaustiva es fundamental por parte del operario que tenga conocimiento necesario que conozca cada paso detallado en el manual de uso y mantenimiento del robot. Esto garantizara el correcto funcionamiento del equipo durante su proceso de siembra.
- Tener en cuenta durante la ruta del robot, que no haya ninguna obstrucción en su trayecto y supervisar que el equipo esté funcione adecuadamente, sin producir ruidos inusuales en los motores o impactos, ya que esto podría provocar daños o accidentes no deseados.
- En perspectiva de investigación futura, se propone continuar avanzando mediante la estandarización de los sistemas mecánicos y electrónicos del robot destinado a la agricultura, con el objetivo de fomentar su adopción tanto entre agricultores de pequeña como de gran escala. Este enfoque busca facilitar un proceso de siembra más eficiente y óptimo de manera simplificada.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Araujo, Y. Cartagena, C. Castillo, X. Cuesta, C. Monteros, N. Paula, M. Racines, J. Rivadeneira y J. Velásquez, Manual del cultivo de papa para pequeños productores. 3ra. Edición, Quito, EC: INIAP-EESC, 2021, 2021.
- [2] INEC, «Boletín Técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf).
- [3] PDOT, «Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.cotopaxi.gob.ec/images/Documentos/PDYOT-COTOPAXI-11julio\\_2018.pdf](https://www.cotopaxi.gob.ec/images/Documentos/PDYOT-COTOPAXI-11julio_2018.pdf).
- [4] Parlamento Europeo, «Soluciones tecnológicas para una agricultura sostenible en la UE,» 2016. [En línea]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.C\\_.2018.086.01.0051.01.SPA](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2018.086.01.0051.01.SPA).
- [5] L. Carpio, «El uso de la tecnología en la agricultura,» *PRO-SCIENCES*, vol. 2, n° 14, pp. 25-32, 2018.
- [6] FENDT, «La última generación de robots de siembra: El Fendt Xaver se hace adulto,» 2020. [En línea]. Available: [https://msc.fendt.com/modules/create\\_pdf/pdf2/17203\\_web\\_es-ES\\_2023-05-09\\_2019-11.pdf](https://msc.fendt.com/modules/create_pdf/pdf2/17203_web_es-ES_2023-05-09_2019-11.pdf).
- [7] Fendt, «La última generación de robots de siembra,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fendt.com/es/2-fendt-xaver>.
- [8] H. Gónzales y M. Carrillo, Artists, *Implementación de un prototipo de robot sembrador de papa en terrenos sin inclinación para pequeños productores [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. [Art]. Dspace ESPOCH, 2019.
- [9] P. X. Tenelema Morales, Artist, *Creación de un prototipo para el sembrío de papas en terreno preparados [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador Facultad de Ciencias Agrarias]*. [Art]. Repositorio Institucional, 2023.
- [10] G. Arteaga, R. Ortiz y Y. Cartagena, «Dinámica de la absorción de nutrientes en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola, para la producción de semilla prebásica,» *Siembra*, vol. 9, n° 2, p. 4, 2022.
- [11] H. Cuesta, J. Monteros, J. Racines y J. Rivadeneira, «Catálogo de variedades de papa del Ecuador 2da Edición,» 2022. [En línea]. Available: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5850>.

- [12] D. Orbe y M. Cuichán, «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC),» 2022. [En línea]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2021/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico.pdf).
- [13] J. Ortega y H. Andrade, «Estado de arte del cultivo de papa para procesamiento de bastones prefritos congelados en el Ecuador,» *Latinoamericana de la Papa*, vol. 25, n° 2, pp. 42-56, 2021.
- [14] F. Cobos, E. Hasang, R. Medina y E. Orellana, «El cultivo de papa, recursos genéticos y retos para el futuro,» *CININGE*, vol. 7, n° 2, p. 3, 2022.
- [15] P. Sandaña, «Elección y Preparación de Suelos,» 2015. [En línea]. Available: <https://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=59>.
- [16] C. Barrientos, «Manual interactivo de la papa INIA,» 2015. [En línea]. Available: <https://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=59>.
- [17] B. Córdor , Artist, *Identificación de papas producidas y cultivadas en la provincia de Tungurahua: sus características y sugerencia de usos en la cocina diaria [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]*. [Art]. usfq, 2018.
- [18] E. Basantes, «Manejo de cultivos andinos del Ecuador,» 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>.
- [19] Campogalego, «Consejos para el cultivo de la patata,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.campogalego.es/consejos-para-el-cultivo-de-la-patata/>.
- [20] Ministerio de Agricultura y Ganadería, «Resumen Ejecutivo de los Diagnósticos Territoriales del Sector Agrario,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Resumen-Ejecutivo-Diagn%C3%B3sticos-Territoriales-del-Sector-Agrario\\_14-08-2020-1\\_compressed.pdf](https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Resumen-Ejecutivo-Diagn%C3%B3sticos-Territoriales-del-Sector-Agrario_14-08-2020-1_compressed.pdf).
- [21] A. Manchado, Artist, *Desarrollo de un robot para la caracterización y el tratamiento de las plantas en la agricultura de precisión [Tesis de pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid]*. [Art]. 2019.
- [22] J. V. Rebaza, «La robótica agrícola,» 2009. [En línea]. Available: <http://jc-info.blogspot.com/2009/12/robotica-agricola.html>.
- [23] cimmyt, «Robots agrícolas, una vía para consolidar un campo sustentable,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/robots-agricolas-una-via-para-consolidar-un-campo-sustentable/>.

- [24] M. Mendieta y P. Quichimbo, Artists, *Diseño, construcción y programación de un prototipo de robot móvil para aplicaciones de telepresencia [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]*. [Art]. UPS, 2022.
- [25] M. Tapia y J. López, «Robótica móvil,» *Divulgación científica*, vol. 3, nº 2, p. 2, 2017.
- [26] K. Muñoz y B. Bacca, «Una herramienta software interactiva para un robot móvil guía,» *Ciencia e ingeniería neogranadina*, vol. 30, nº 1, pp. 59-74, 2020.
- [27] J. Muñoz, Artist, *Robótica móvil estudio y caracterización del robot móvil kjunior desarrollo de aplicación de robot laberinto [ Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena]*. [Art]. upct, 2011.
- [28] P. Islas, Artist, *Sistema de control para el desplazamiento omnidireccional de un robot móvil [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]*. [Art]. inp, 2012.
- [29] V. Barrientos, J. García y R. Silva , «Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte,» nº 35, pp. 12-17, 2007.
- [30] J. Jiménez, Artist, *Simulación de vehículos eléctricos ligeros [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]*. [Art]. riunet, 2012.
- [31] cscazorla, «Robots móviles,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.xatakaciencia.com/robotica/robots-moviles-i>.
- [32] G. Porras y R. Gavilanes, Artists, *Diseño y construcción de una sembradora de papas de dos hileras con un sistema de dosificación de fertilizante [ Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. [Art]. 2018.
- [33] Congope, «Manejo integrado del cultivo de papa,» 2015. [En línea]. Available: [http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo\\_de\\_papa\\_manual.pdf](http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo_de_papa_manual.pdf).
- [34] N. Campo y C. IpiALES, Artists, *Diseño y construcción de una máquina automática trituradora de la mazorca de maíz [Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de pregrado]*. [Art]. UPS, 2022.
- [35] Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech, *Manual de Diseño para Acero Inoxidable Estructural, Cuarta edición ed.*, 2017.
- [36] K. Liang, D. Zhu y J. Liu, «"Topology optimization of a spatial compliant parallel mechanism based on constant motion transmission characteristic matrix",» *Mechanism and Machine Theory*, vol. 180, nº 230, p. 105125, 2023.
- [37] M. Dakel, L. Jézéquel y J.-L. Sortais, «"Stationary and transient analyses of a pulley-belt system based on an Eulerian approach",» *Mechanism and Machine Theory*, vol. 128, nº 36, pp. 682-707, 2018.

- [38] J. Liu, X. Li, R. Pang y M. Xia, «"Dynamic modeling and vibration analysis of a flexible gear transmission system",» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 197, p. 110367, 2023.
- [39] Y. Wang, D. Ji y K. Zhan, «"Modified sprocket tooth profile of roller chain drives",» *Mechanism and Machine Theory*, vol. 70, pp. 380-393, 2013.
- [40] Leroymerlin , «Aporcador Ajustable UNIVERSAL Arado doble ajustable,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.leroymerlin.es/productos/aporcador-ajustable-universal-arado-doble-ajustable-30-47cm-82464302.html>.
- [41] Agrodosmil ganadera, «Reja aporcadora,» [En línea]. Available: <https://www.agrodosmil.com/movimiento-de-tierra/329-reja-aporcadora-pequena.html>.
- [42] Orbesa gricola, «Arado de 3 discos – Reversible hidráulico,» 2018. [En línea]. Available: <https://orbesagricolasac.com/tienda/maquinaria-agricola/arado-de-disco-reversible/>.
- [43] Talleres hijos de Jose Luis Ruiz, «Sembradora manuela Agroruiz vibro,» 2018. [En línea]. Available: <https://tiendatractoresburgos.com/2018/04/09/sembradora-manual-agroruiz-vibro/>.
- [44] Publimotos, «Tipos de marcos para motocicleta,» 2023. [En línea]. Available: <https://publimotos.com/moto/tipos-de-marcos-para-motocicleta/>.
- [45] B. Alanuca y . A. Jaque, Artists, *Implementación de una máquina electromecánica automatizada para el sembrío de semillas para la empresa agrónoma patricia pinto, ubicada en la parroquia de Izamba del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de C].* [Art]. 2021.
- [46] Electropeak, «Arduino Mega 2560,» 2022. [En línea]. Available: <https://electropeak.com/mega-2560-r3-arduino>.
- [47] Naylampmechatronics, «RASPBerry PI 3B+,» 2023. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/raspberry-pi/541-raspberry-pi-3-b-plus.html>.
- [48] Naylampmechatronics, «NODEMCU-32 38-PIN ESP32 WIFI,» 2023. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/1011-nodemcu-32-38-pin-esp32-wifi.html>.
- [49] GANAGRO.ec, «Rueda Carretilla Pantanera Neumática,» 2023. [En línea]. Available: <https://ganagro.ec/producto/rueda-carretilla-pantanera-neumatica/>.
- [50] Mantallanta, «MAXXIS® C864 - AT 18X7-7 2PR,» 2024. [En línea]. Available: <https://mantallanta.com/collections/llantas-atv-utv-polaris>.
- [51] Mantallanta, «MAXXIS® RAMPAGE ML5 - 30X10.00R15,» 2024. [En línea]. Available: <https://mantallanta.com/collections/llantas-atv-utv-polaris>.

- [52] . P. H. Taboada Flores y J. A. Veintimilla Villarroel, Artists, *Diseño y construcción de una silla de ruedas inteligente con reconocimiento de voz para contribuir en la autonomía móvil de una persona tetrapléjica [Tesis de pregrado, Univerisidad de las Fuerzas Armadas]*. [Art]. Repositorio Espe, 2023.
- [53] Grados material mundial, «ASTM A36 Acero Propiedades & Ficha Tecnica: Fy, Dureza, Densidad,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>.
- [54] panel, «La importancia del Acero A 36: Encuentra sus propiedades y usos,» 2024. [En línea]. Available: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>.
- [55] NSK, «¿Qué es un Rodamiento?,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.nskamericas.com/es/services/what-s-a-bearing.html>.
- [56] Laarcourier, «Sellos de goma dobles y prelubricación, rodamientos de bolas de ranura profunda,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.yaesta.com/b071dz3r17-xike-10-rodamientos-6203-2rs-de-0669-x-1575-x-0472in-sellos-de-goma-dobles-y-prelubricacin-rodamientos-de-bolas-de-ranura-profunda/p>.
- [57] Hierros Molina, « Definición y tipos de soldadura,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.hierrosmolina.com/blog/que-es-la-soldadura-definicion-tipos-de-electrodos-y-consejos/>.
- [58] Xiang Welding Industrial Co Ltd, «AWS: ER70S-6,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.xiangind.com/er70s-6\\_spain](https://www.xiangind.com/er70s-6_spain).
- [59] Ortoprecios, «Motor de elevación Megamat MCZ para cama "Movita" de linet,» 2020. [En línea]. Available: <https://ortoprecios.com/es/dewert-okin/191-motor-de-elevacion-megamat-mcz-para-duo-quad-7-care.html>.
- [60] gbmedicali, «Attuatore MEGAMAT MCZ,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.gbmedicali.it/prodotto/attuatore-megamat-mcz-52881-dewert/>.
- [61] Pekecars, «Motor para coches eléctricos 12v,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.pekecars.com/repuestos/motor-12v-recambio>.
- [62] Naylampmechatronics, «NODEMCU-32 38-PIN ESP32 WIFI,» 2023. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/expressif-esp/1011-nodemcu-32-38-pin-esp32-wifi.html>.
- [63] bilbao electronics, «Puente H BTS7960 43A máximo,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.bilbaoelectronics.com/166/puente-h-bts7960>.
- [64] Ardobot, «Modulo LM2596 Regulador de Voltaje DC-DC Buck 1.25V-35V,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.ardobot.co/modulo-lm2596-regulador-de-voltaje-dc-dc-buck-1-25v-35v.html>.

- [65] hobbyking.com, «Turnigy Pesados 5000mAh 4S 60C Lipo pacote,» 2024. [En línea]. Available: [https://hobbyking.com/pt\\_pt/turnigy-heavy-duty-5000mah-4s-60c-lipo-pack.html?\\_\\_store=pt\\_pt](https://hobbyking.com/pt_pt/turnigy-heavy-duty-5000mah-4s-60c-lipo-pack.html?__store=pt_pt).
- [66] hobbyking, «Paquete Lipo Turnigy 2200mAh 4S 40C,» 2023. [En línea]. Available: [https://hobbyking.com/en\\_us/turnigy-2200mah-4s-40c-lipo-pack.html](https://hobbyking.com/en_us/turnigy-2200mah-4s-40c-lipo-pack.html).
- [67] SIEMENS, «Tianneng elige Siemens Xcelerator para la fabricación inteligente de baterías,» 2023. [En línea]. Available: <https://newsroom.sw.siemens.com/es-ES/tianneng-battery-siemens-xcelerator/>.
- [68] Lozada, «Ebike batería 20ah12v plomo ácido, 20AH 12V CHILWEE, 20AH 12V TIANNENG,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.lazada.com.ph/products/factory-direct-sales-ebike-battery-20ah12v-lead-acid-20ah-12v-chilwee-20ah-12v-tianneng-i3461770785.html>.
- [69] NSK EUROPE LTD, «Rodamientos,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.nskeurope.es/es/news-media/downloads/bearings.html>.
- [70] Codido de colores, «Las medidas y amperajes de los cables eléctricos,» 2024. [En línea]. Available: <https://codigodecolor.com/electricidad/calibres-amperajes/>.
- [71] KOBELCO, «El ABC de la soldadura por arco,» 2024. [En línea]. Available: [https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC\\_2000-01.html](https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC_2000-01.html)2024.
- [72] M. Martínez, «Cómo determinar el área de un óvalo,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-determinar-el-area-de-un-ovalito-1440.html>.
- [73] COMPRACO, «Propiedades del acero SAE AISI 1020, límite elástico del acero al carbono C1020,» 2024. [En línea]. Available: <https://compraco.com.br/es/blogs/especificacoes-do-aco/propriedades-do-aco-sae-aisi-1020-resistencia-ao-escoamento-do-aco-carbono-c1020-equivalente>.

## ANEXOS

Productos ▾
Sucursales
Catálogos

(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	I
Pulgadas	mm	Kg/m	cm2	cm4	cm3	cm3
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	2.99	3.88	18.20	5.76	2.19

Figura 65. DIPAC.

RECOMMENDATIONS

ANSI 40 (ISO 606) Simplex

ANSI 35 (ISO 606) Duplex

ANSI 35 (ISO 606) Triplex

**Chain Details**

Input Power:	P = 0.25 kW	Pitch:	p = 12.7 mm
Input Speed:	n = 60 rpm	ISO Breaking Load:	Fb = 13900 N
Chain Linear Velocity:	v = 0.3 m/s	Bearing Pressure:	pr = 28.643 N/mm <sup>2</sup>
Torque:	T = 39.792 Nm	Bearing Area:	f = 0.44 cm <sup>2</sup>
Static Force:	F = 894.8 N	Weight:	q = 0.6 kg/m
Dynamic Force:	Fd = 1260.2 N	Chain Length:	l = 1041.4 mm
Centrifugal Force:	Ff = 0.05 N	Centre Distance:	a = 381 mm
Total Force:	Fg = 1260.3 N	Number of Links:	X = 82
Chain Safety Factors:	static = 15.5 dynamic = 11		

**Chain Drive**

Sprocket	Driving (Z1)	Driven (Z2)	
Number of Teeth:	22	22	Ratio: i = 1
Pitch Circle Diameter:	89.239 mm	89.239 mm	
Loading Classification:	Smooth Running	Moderate Shocks	

**Environment Conditions**

Environment Conditions:	Indoor, Normal
Service Conditions:	Inadequate lubrication (relative to lubrication)
Recommended Lubrication:	Manual Lubrication

ANSI 40 (ISO 606) Simplex

Serial Number: GY40A1

The working life of the chain is greater than 30000 hours.

After this time:  
The chain will reach 3% elongation.

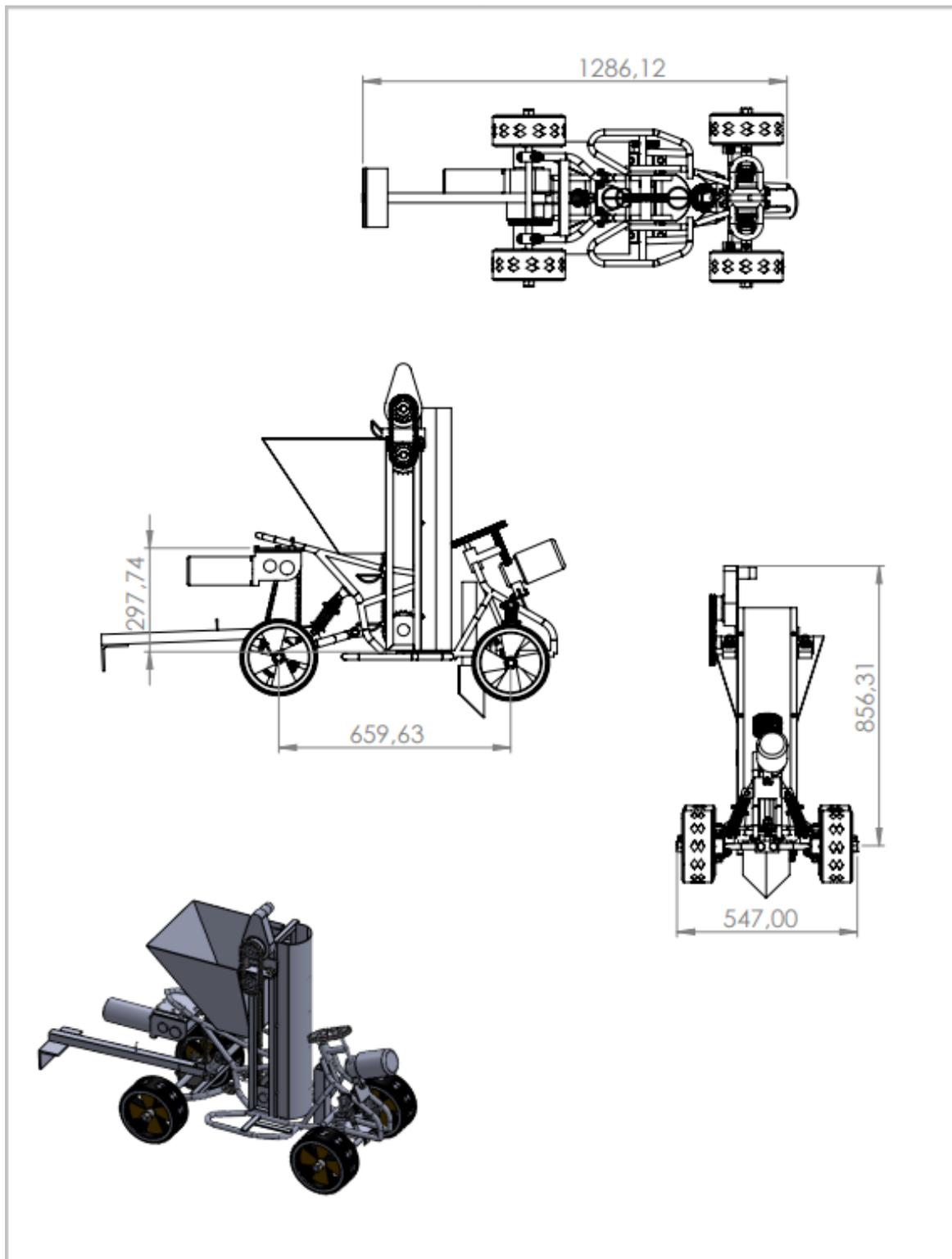
Download result as PDF

↓

Download

Figura 66. Selección de cadena simple.

106



Espesor:	N.A	Material:	Acero A36	Dm. brutas
Recubrimiento:	N.A			N.A
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29
ROBOT AGRICULTOR	Escala: 1:2	Nº dibujo:	1	Formato: A4

Figura 67. Anexo 2.

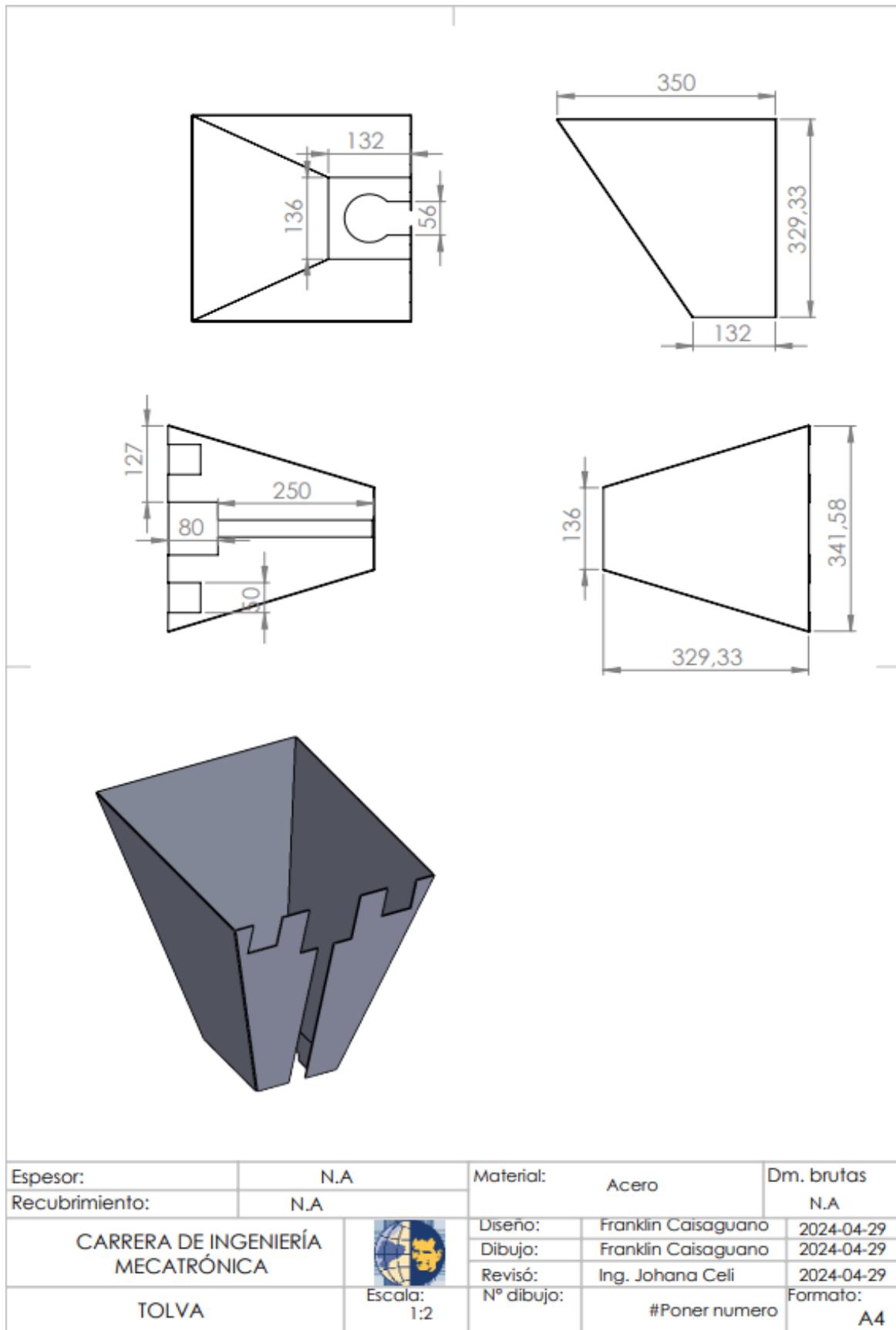
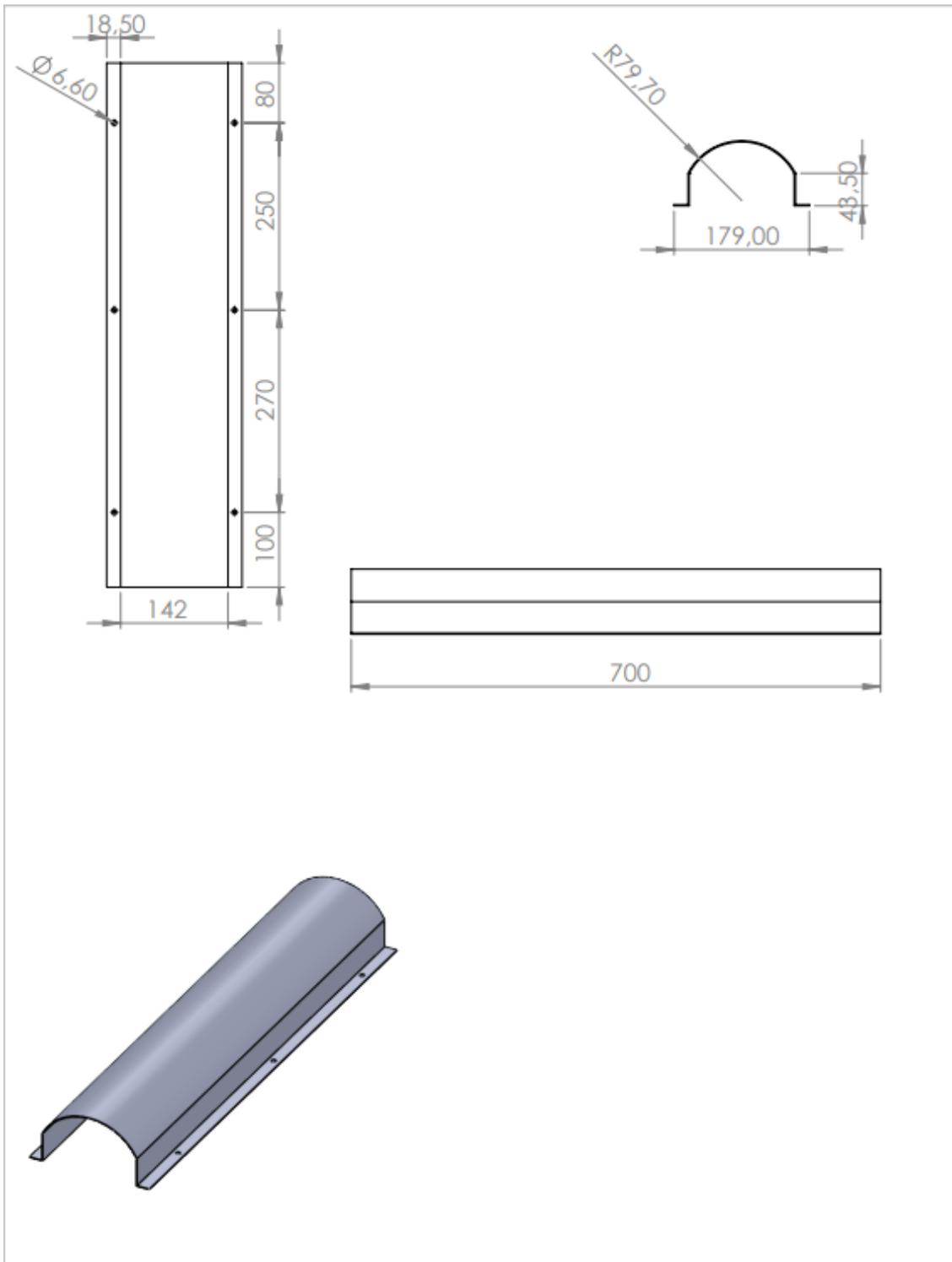
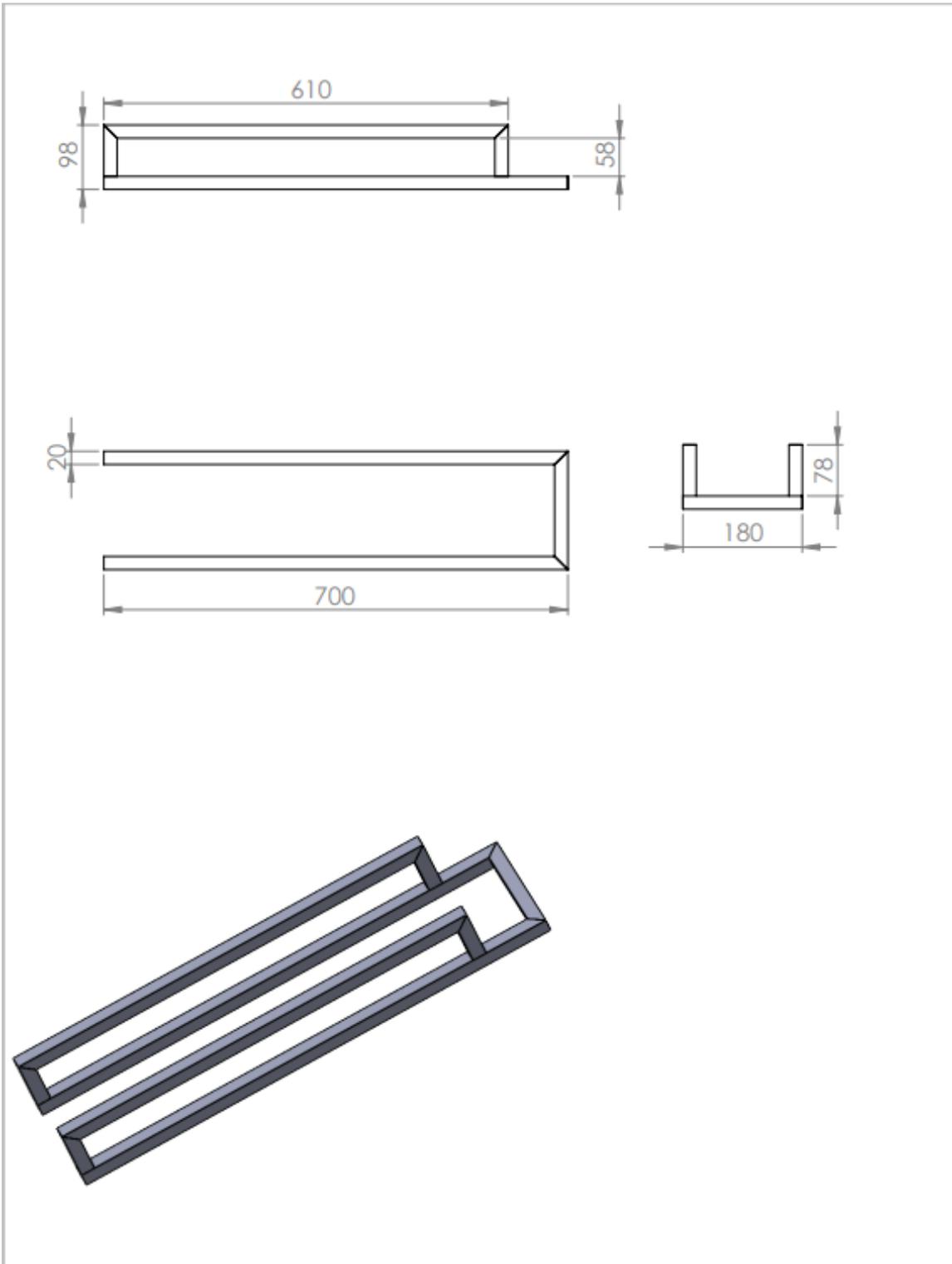


Figura 68. Anexo 3.



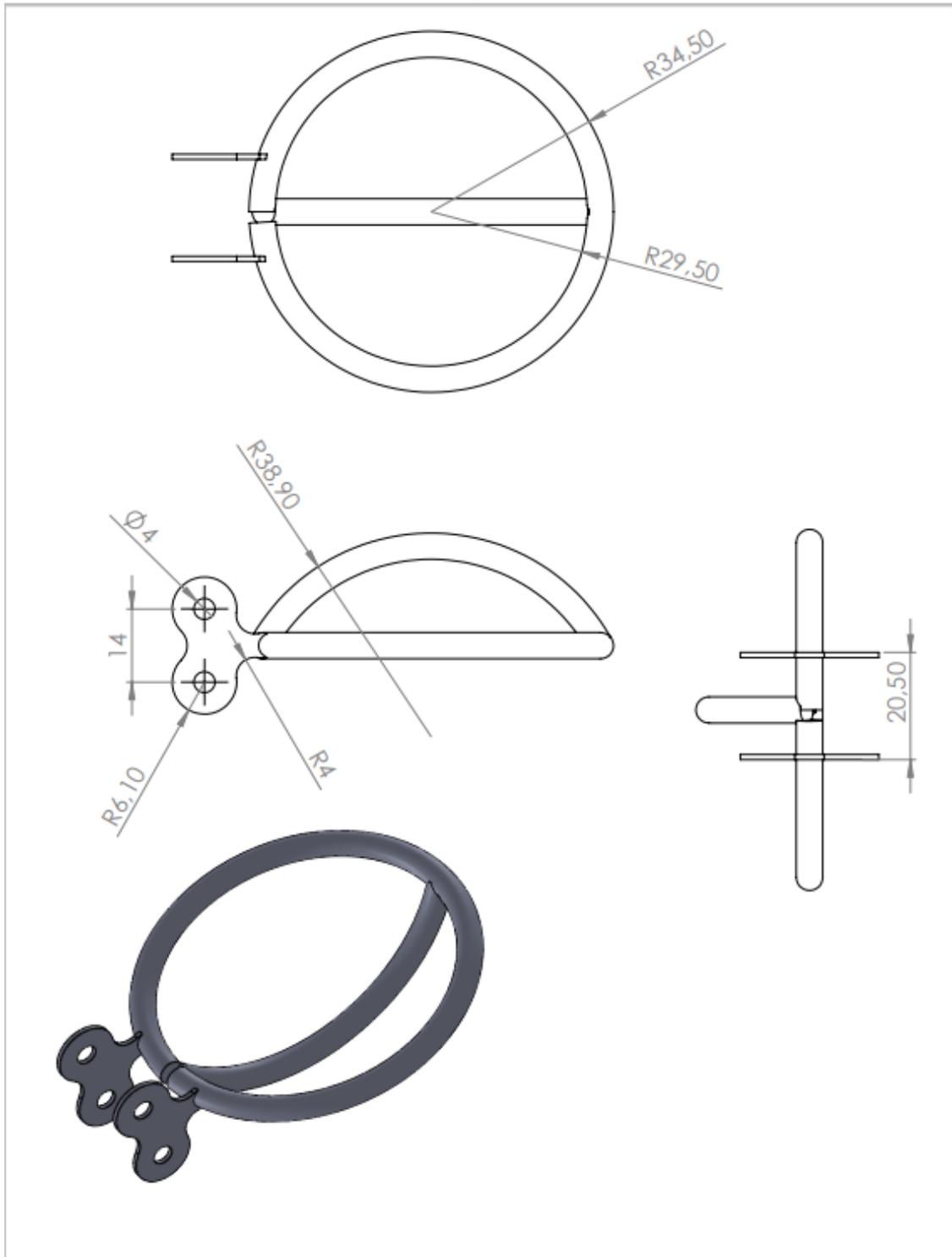
Espeor:	N.A	Material:	Acero	Dm. brutas
Recubrimiento:	N.A			N.A
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29
TAPA DEL DOSIFICADOR	Escala: 1:2	Nº dibujo:	3	Formato: A4

Figura 69. Anexo 4.



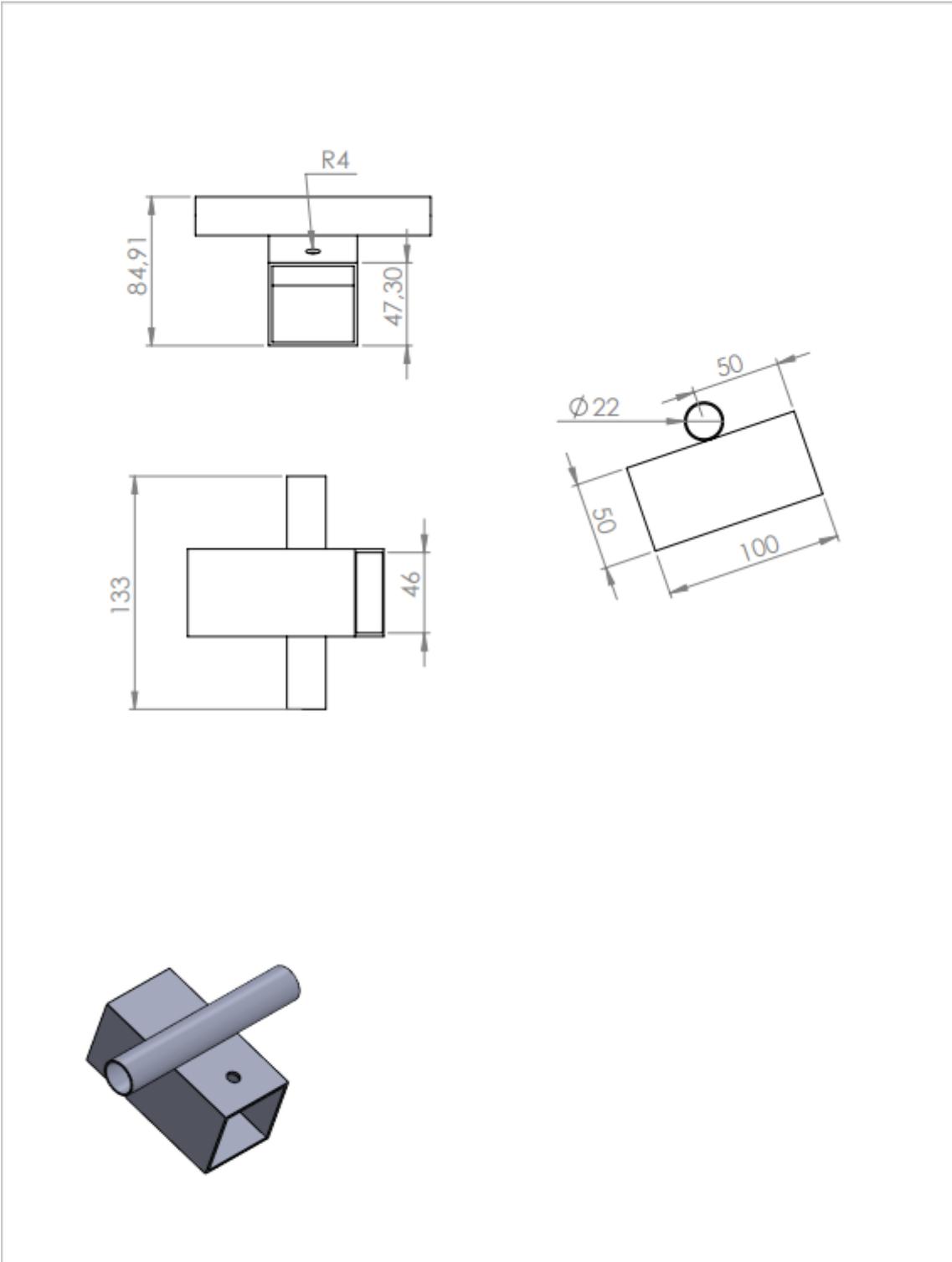
Espeor:	N.A	Material:	Acero	Dm. brutas
Recubrimiento:	N.A			N.A
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29
ESTRUCTURA DEL DOSIFICADOR	Escala: 1:8	Nº dibujo:	4	Formato: A4

Figura 70. Anexo 5.



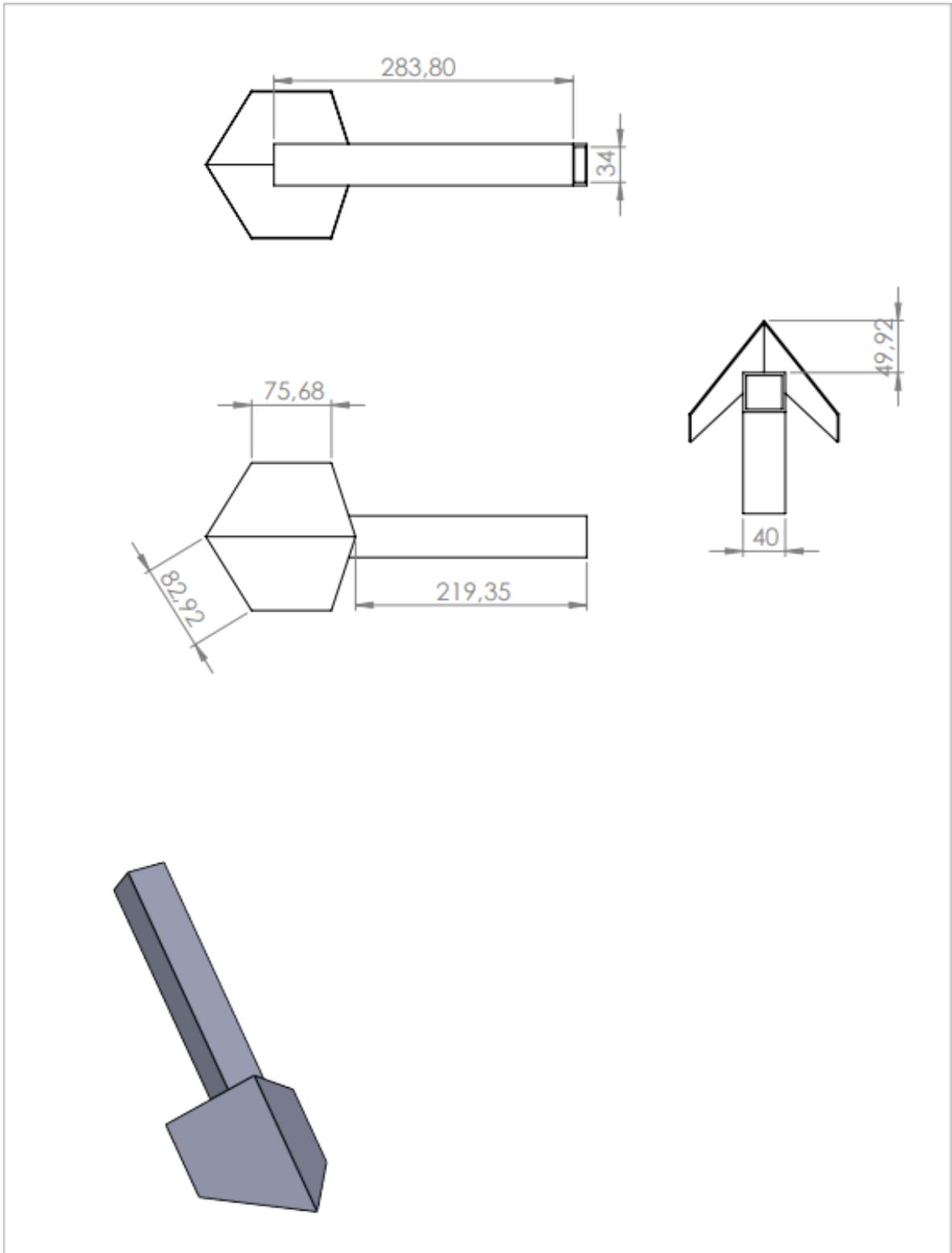
Espeor:	N.A	Material:	Acero A36	Dm. brutas	N.A
Recubrimiento:	N.A				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29	
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29	
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29	
BASE DE LA SEMILLA	Escala: 1:2	Nº dibujo:	5	Formato:	A4

Figura 71. Anexo 6.



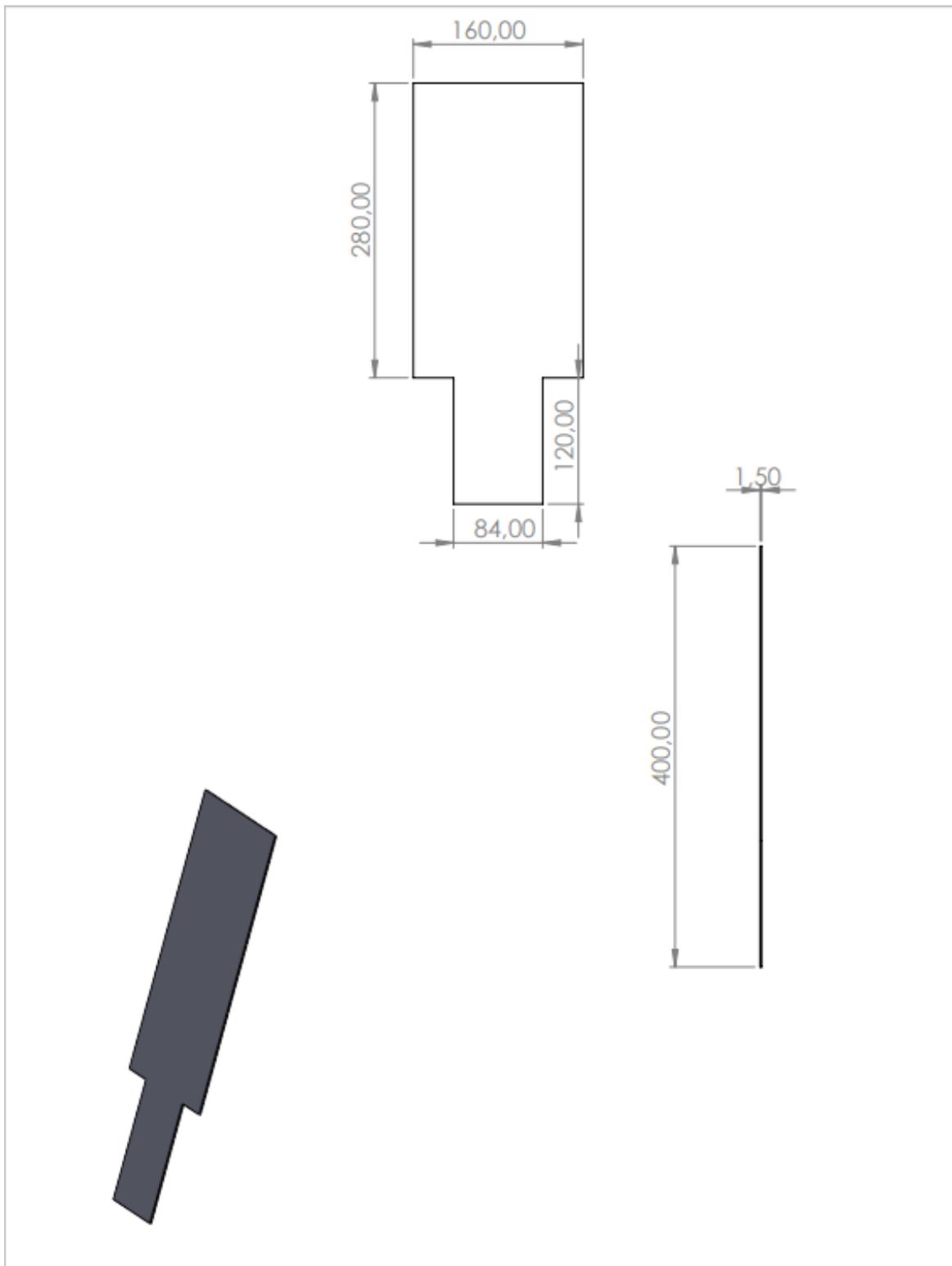
Espeor:	N.A	Material:	Acero	Dm. brutas
Recubrimiento:	N.A			N.A
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29
BASE SURCADOR	Escala: 1:2	Nº dibujo:	6	Formato: A4

Figura 72. Anexo 7.



Espeor:	N.A	Material:	Acero	Dm. brutas
Recubrimiento:	N.A			N.A
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29
SURCADOR	Escala: 1:2	N° dibujo:	7	Formato: A4

Figura 73. Anexo 8.

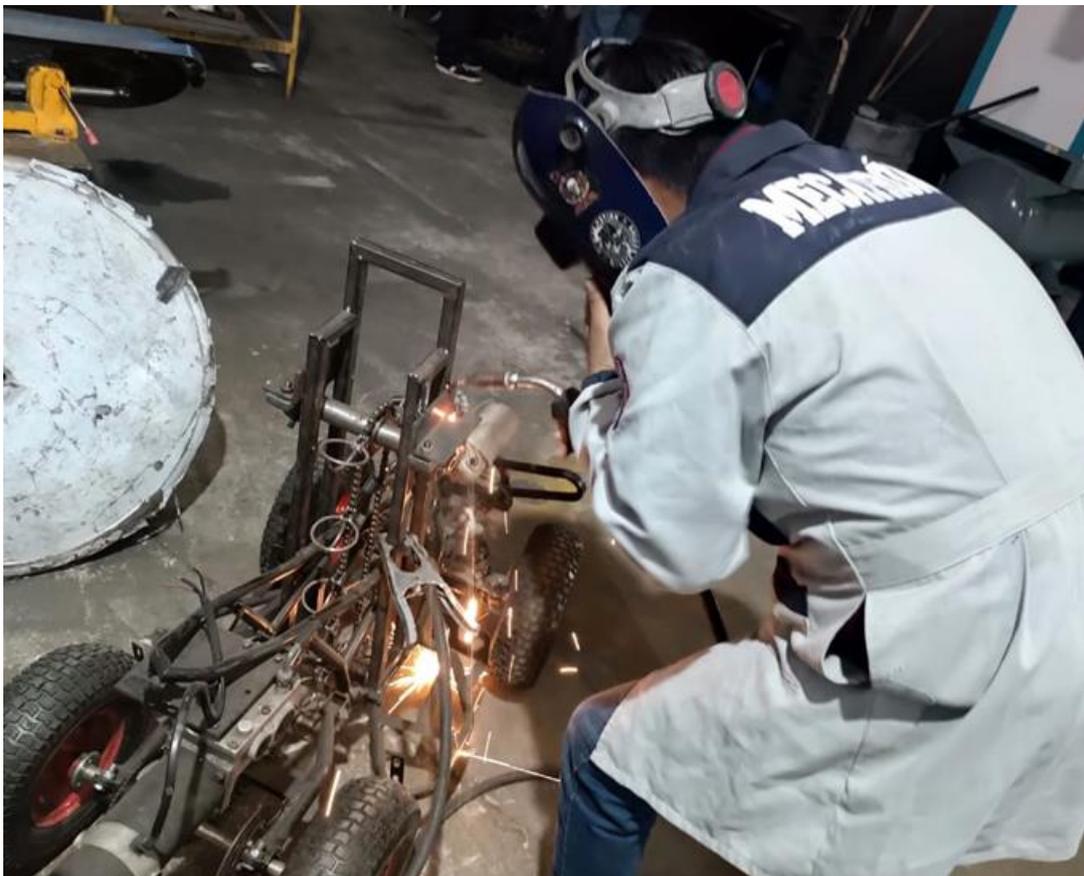


Espeor:	N.A	Material:	Acero A36	Dm. brutas
Recubrimiento:	N.A			N.A
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Dibujo:	Franklin Caisaguano	2024-04-29
		Revisó:	Ing. Johana Celi	2024-04-29
PROTECTOR DE ESLABÓN	Escala: 1:2	Nº dibujo:	8	Formato: A4

Figura 74. Anexo 9.



**Figura 75.** Anexo 10.



**Figura 76.** Anexo 11.



**Figura 77.** Anexo 12.



**Figura 78.** Anexo 13.



**Figura 79.** Anexo 14.



**Figura 80.** Anexo 15.