



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PROTOTIPO
AUTÓNOMO DE CARGA PARA TRANSPORTE DE PRODUCTO
AGRÍCOLA DE LA FINCA CIELO ABIERTO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

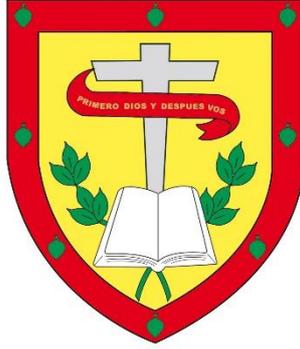
AUTOR: JONNATHAN BYRON CAJAS CHUQUI

DIRECTOR: ING. MARCO VINICIO GUANUQUIZA LEÓN, MENG.

CUENCA – ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PROTOTIPO
AUTÓNOMO DE CARGA PARA TRANSPORTE DE PRODUCTO
AGRÍCOLA DE LA FINCA CIELO ABIERTO

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: JONNATHAN BYRON CAJAS CHUQUI

DIRECTOR: ING. MARCO VINICIO GUANUQUIZA LEÓN, MENG.

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLL

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Jonnathan Byron Cajas Chuqui portador de la cédula de ciudadanía N° 0302897616. Declaro ser el autor de la obra: “Diseño y construcción de un robot prototipo autónomo de carga para transporte de producto agrícola de la Finca Cielo Abierto”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 09 de febrero de 2024



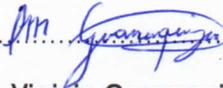
F:

Jonnathan Byron Cajas Chuqui

0302897616

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jonnathan Byron Cajas Chuqui,
bajo mi supervisión.

..........

Ing. Marco Vinicio Guanquiza León, MEng.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por ayudarme a cumplir con mis metas a lo largo de toda mi formación académica.

Agradezco a la Finca Cielo Abierto por abrirme las puertas para que logre cumplir con todo mi proceso de investigación.

Agradeciendo también a toda mi familia por apoyarme y ayudarme siempre que lo necesitaba, en especial agradezco a mi hermano el Ing. Juan Cajas por su apoyo incondicional brindándome su conocimiento durante todo el trayecto de mi formación profesional.

Agradezco de igual manera a todos los docentes de la carrera por todas sus enseñanzas que me han ayudado a fortalecer mis conocimientos, en especial agradezco a mi tutor al Ing. Marco Guanquiza quien me ha guiado y aconsejado correctamente durante todo el proyecto de investigación.

Jonnathan Byron Cajas Chuqui

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a mis padres y hermanos por todo el apoyo y confianza que me han dado durante toda mi vida. En cada situación difícil siempre me han animado a seguir adelante guiándome cada vez más a ser una mejor persona.

Jonnathan Byron Cajas Chuqui

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema.....	3
1.1.1 Formulación del problema.....	3
1.1.2 Delimitación del problema.....	4
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1 Los robots.....	6
2.1.1 Los robots móviles.....	6
2.1.1.1 Tipos de robots móviles.....	6
2.1.1.2 Navegación de los robots móviles.....	8
2.1.1.3 Tracción de los robots móviles.....	9
2.1.2 Los robots de carga.....	11
2.1.2.1 Robots móviles de carga.....	12
2.1.3 Cálculo del torque del motor para vehículos eléctricos.....	12
2.2 Trabajadores del sector agrícola y enfermedad ocupacional.....	15
2.2.1 Agricultores.....	15
2.2.2 Enfermedad ocupacional.....	15
2.2.2.1 Goniometría en el contexto de salud ocupacional.....	15
2.2.2.2 Riesgos de salud a los agricultores.....	17
2.2.2.3 Factores de riesgos ergonómicos.....	17
2.3 Reglamento para la manipulación manual de carga.....	19
2.3.1 Masa de la carga.....	19
2.3.2 Distancia de transporte.....	20

2.3.3	Tamaño de carga.	20
2.4	Técnicas para mejorar la manipulación manual de cargas.....	21
2.5	Componentes del robot móvil de carga.....	22
2.5.1	Placa Arduino.	22
2.5.2	Microcontrolador PIC.	23
2.5.3	Sensores de distancia.	24
2.5.4	Módulo GPS.	25
2.5.5	Módulo Giroscopio.....	25
2.5.6	Motores.	26
3.	METODOLOGÍA.....	27
3.1	Requerimiento del usuario.....	27
3.1.1	Descripción de la empresa.	27
3.1.2	Descripción del proceso de actividades.....	27
3.1.3	Identificación del problema.	28
3.2	Zonificación del lugar de estudio.....	29
3.2.1	Ubicación.....	29
3.2.2	Características del lugar.	29
3.3	Enfoque de la investigación.....	31
3.3.1	Variables.	32
3.3.1.1	Identificación de variables.	32
3.3.1.2	Proceso de medición.....	33
3.3.2	Selección de instrumentos y equipos.....	39
3.4	Diseño conceptual.....	40
3.4.1	Movilidad.	40
3.4.2	Orientación.	41
3.4.3	Detección de objetos.	41
3.4.4	Descarga.	41
3.5	Programas para el diseño y automatización.....	41
3.5.1	Software para el diseño.	41
3.5.2	Software para la programación.....	42
3.6	Desarrollo de la propuesta.....	42
4.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT PROTOTIPO.....	47
4.1	Diseño mecánico.....	47
4.1.1	Cálculo del torque de los motores.....	47
4.1.2	Mecanismo de tracción.....	49
4.1.3	Mecanismo de la dirección.	51
4.1.4	Mecanismo diferencial.	52

4.1.5	Eje de unión	53
4.1.6	Mecanismo de descarga (bobinador).....	54
4.1.7	Diseño de la carrocería.....	55
4.1.8	Construcción y pruebas de funcionamiento de los mecanismos.	55
4.1.8.1	Pruebas del mecanismo de tracción.....	55
4.1.8.2	Carrocería del robot.	58
4.2	Diseño del sistema de control y distribución de sensores	58
4.2.1	Placa de encendido (PE).	59
4.2.2	Placa de comunicación serial (PCS).....	62
4.2.3	Placa de control de motores (PCM).	64
4.2.4	Control remoto.....	69
4.2.5	Arduino MEGA y sensores.....	72
4.3	Capacidad y autonomía de las baterías.....	83
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87
5.1	Análisis de trabajo	87
5.1.1	Análisis individual.	87
5.1.2	Análisis de las condiciones de trabajo.	88
5.1.3	Análisis de efectos del trabajo.	90
5.1.3.1	Evaluación de posturas y riesgos a diario.	92
5.1.3.2	Evaluación de posturas y riesgos del transporte para la venta.	96
5.1.4	Análisis de efectos de trabajo con el prototipo.	100
5.1.4.1	Proceso de transporte del prototipo.....	100
5.1.4.2	Evaluación de posturas y riesgos con el prototipo.....	102
5.2	Discusión.....	106
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
6.1	Conclusiones	109
6.2	Recomendaciones.....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Geometría de desplazamiento Ackerman.....	7
Figura 2. Robot móvil con locomoción por patas.....	7
Figura 3. Fitorobot: Robot móvil con sistema de locomoción mediante orugas de goma.	8
Figura 4. Sistema de transmisión compuesta (2 reductores).....	11
Figura 5. Robot Móvil para transporte de carga en superficies irregulares. (a) Sistema plataforma ascendente/descendente. (b) Posición de los motores. (c) distribución de ultrasonidos para la detección.	12
Figura 6. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo eléctrico subiendo una pendiente.....	14
Figura 7. Tamaño máximo de carga.....	21
Figura 8. Placa de Arduino MEGA.	23
Figura 9. Microcontrolador PC16F877A.	23
Figura 10. Sensor ultrasonido HC-SR04.....	24
Figura 11. Sensor de distancia SHARP 2Y0A21.	24
Figura 12. Módulo GPS NEO-M8M.	25
Figura 13. Giroscopio GY-521 con signos de ejes x, y, z.....	25
Figura 14. Estructura interna del motor limpiaparabrisas.....	26
Figura 15. Pequeño servomotor.	26
Figura 16. Proceso para la extracción de alfalfa.....	28
Figura 17. Ubicación de la Finca Cielo Abierto.....	29
Figura 18. Áreas de cultivo de la Finca.....	30
Figura 19. Partes del análisis del trabajo.....	33
Figura 20. Fases para la construcción del prototipo.....	43
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de la metodología de investigación.....	46
Figura 22. Diagrama de cuerpo libre del robot móvil con carga.....	48
Figura 23. Mecanismo de transmisión compuesta. (a) Diseño 3D en Sketchup del mecanismo compuesto de 2 reductores. (b) Número de dientes de la rueda motriz y conducida.	49
Figura 24. Mecanismo para la dirección. (a) Diseño 3D en Sketchup del mecanismo reductor. (b) Número de dientes de la rueda motriz y conducida.	51
Figura 25. Diseño 3D en Sketchup del mecanismo diferencial.	52
Figura 26. Diseño 3D en Sketchup del eje de unión. (a) eje para la unión de las piezas de tracción y dirección. (b) Adaptación de la estructura frente a un objeto del suelo.	53
Figura 27. Diseño 3D en Sketchup del mecanismo para la descarga.....	54
Figura 28. Diseño 3D de la carrocería del robot. (a) Partes de la carrocería. (b) Ubicación de la carrocería sobre la estructura de movilidad.....	55

Figura 29.	Pruebas de tracción del chasis de robot en suelo plano. (a) Prueba en concreto con carga de 25kg, la llanta sube un ladrillo. (b) Prueba en suelo de tierra con carga de 25kg, la llanta sube una grada de concreto.	56
Figura 30.	Pruebas de tracción del chasis del robot en llano. (a) Carga de 25kg. (b) Giros de las dos estructuras del chasis para adaptarse a las condiciones del espacio. (c) Pruebas en de movilidad en llano.	56
Figura 31.	Pruebas de tracción del chasis en pendientes. (a) Prueba con carga (25kg) en pendiente de 15°. (b) Prueba sin carga en pendiente de 25°.	57
Figura 32.	Prueba de tracción del chasis en suelo húmedo.	57
Figura 33.	Carrocería del robot móvil para transporte de carga y distribución de sus componentes.	58
Figura 34.	Diagrama de conexión y comunicación de la electrónico interna del robot y control remoto.	59
Figura 35.	Placa de encendido. (a) Diseño en Proteus. (b) PCB del circuito de PE.60	
Figura 36.	Diagrama de flujo para la placa de encendido (PE). (a) Algoritmo de encendido y apagado manual. (b) Algoritmo de control de servomotores. (c) Algoritmo de control del ventilador.	61
Figura 37.	Esquema de conexión de la placa de comunicación en Proteus.	62
Figura 38.	Diagrama de flujo para la placa de comunicación serial (PCS).	63
Figura 39.	Esquema de conexión de la placa de control de motores (PCM) en Proteus.	64
Figura 40.	Puente H con 2 relés. (a) Diseño del esquema en Proteus. (b) PCB de puente H.	65
Figura 41.	Puente H con 3 relés. (a) Diseño del esquema en Proteus, (b) PCB del puente H.	65
Figura 42.	Diagramas de flujo para la placa PCM. (a) Algoritmo para el control de motores y luces. (b) Algoritmo de dirección. (c) Algoritmo de descarga. (d) Algoritmo de comprobación de carga.	68
Figura 43.	Esquema de conexión del control remoto en Proteus.	69
Figura 44.	Control remoto. (a) Sistema control a distancia. (b) modos de uso.	70
Figura 45.	Rutas de acceso del prototipo y puntos de conexión.	71
Figura 46.	Diagrama de flujo para el control remoto.	72
Figura 47.	Esquema de conexión del Arduino Mega en Proteus.	73
Figura 48.	Diagrama de flujo del sistema de menú (Arduino MEGA).	74
Figura 49.	Ubicación de los sensores de distancia. (a) Vista superior. (b) Vista lateral.	75
Figura 50.	Robot se detiene en la ruta 1 y evasión de obstáculos en espacio libre.	76
Figura 51.	Diagrama de flujo de los sensores de distancia. (a) Sensores de ultrasonido. (b) Sensores infrarrojos Sharp.	77
Figura 52.	Exactitud y precisión. (a) Baja exactitud y precisión. (b) Baja exactitud y alta precisión. (c) Alta exactitud y baja precisión. (d) Alta exactitud y precisión.	77
Figura 53.	Ángulo Azimut con referencia al Norte magnético.	78

Figura 54.	Cuadrantes de los puntos cardinales.....	79
Figura 55.	(a) Desplazamiento del robot por ángulo Azimut. (b) Ejes del módulo giroscopio.....	80
Figura 56.	(a) Recorrido del robot desde el punto inicial al final. (b) Recorrido del robot fuera del punto inicial hasta en punto final.	81
Figura 57.	Diagrama de flujo de conducción por trayectoria mediante el uso del módulo GPS y giroscopio (Arduino MEGA).....	82
Figura 58.	Baterías del prototipo. (a) Batería de plomo ácido de 12V/9Ah. (b) Batería de litio de 3.82V/3450mAh.....	83
Figura 59.	Etapa de potencia para motores.....	85
Figura 60.	Etapa de potencia del sistema de control.	86
Figura 61.	Mediciones de la carga. (a) Medias del tamaño de la carga. (b) Masa de la carga.....	89
Figura 62.	Frecuencia relativa de posturas del trabajador de 64 años. (a) Posición de espalda. (b) Posición de brazos. (c) Posición de piernas. (d) Ángulo de la espalda mayor a 20°-código 2, parte de los brazos están por encima del nivel de hombros-código 3, se encuentra caminado-código 7.....	93
Figura 63.	Frecuencia relativa de posturas de la trabajadora de 56 años. (a) Posición de espalda. (b) Posición de brazos. (c) Posición de piernas. (d) Ángulo de la espalda menor a 20°-código 1, parte de los brazos están por encima del nivel de los hombros-código 3, encuentra de pie, código 2.....	94
Figura 64.	Frecuencia relativa de posturas del trabajador de 24 años. (a) Posición de espalda. (b) Posición de brazos. (c) Posición de piernas. (d) Ángulo de la espalda menor a 20°-código 1, un brazo elevado y el otro hacia abajo-código 2, se encuentra caminado-código 7.	95
Figura 65.	Frecuencia relativa de las posturas de espalda para los tres trabajadores de la FCA.....	97
Figura 66.	Frecuencia relativa de las posturas de brazos para los tres trabajadores de la FCA.....	98
Figura 67.	Frecuencia relativa de las posturas de piernas para los tres trabajadores de la FCA.....	98
Figura 68.	Extracción del producto. (a) Corte y recolección. (b) Transporte manual.....	100
Figura 69.	Transporte autónomo. (a) Detección frontal a 2 metros. (b) Evasión rodeando al obstáculo y seguimiento de ruta.....	101
Figura 70.	Transporte de carga. (a) Ubicación correcta para transportar 2 cargas. (b) Transporte de carga y máquina de corte.....	101
Figura 71.	Descarga del robot. (a) Dirección de empuje de la cuerda. (b) Descarga completa del robot, cuerda enrollada.....	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Sistemas de transmisión simple, engranajes unidos por cadena.....	10
Tabla 2.	Valores del coeficiente de resistencia a la rodadura según el tipo de superficie.....	13
Tabla 3.	Goniometría del raquis cervical.	16
Tabla 4.	Enfermedades por movimientos repetitivos.....	18
Tabla 5.	Peso máximo que puede cargar una persona por género y edad.	20
Tabla 6.	Límite de carga según la distancia.	20
Tabla 7.	Características de las 8 zonas del cultivo de alfalfa.	31
Tabla 8.	Características de los 2 caminos de la Finca.	31
Tabla 9.	Factores de medición en las variables de transporte de carga y movimiento repetitivo.....	32
Tabla 10.	Factores para el análisis individual.....	34
Tabla 11.	Factores de análisis para la condición de trabajo.	34
Tabla 12.	Código según la posición de la espalda, brazos y piernas.	35
Tabla 13.	Código para la carga soportada por el trabajador.....	37
Tabla 14.	Categorías de riesgo por códigos de postura.	38
Tabla 15.	Categorías de riesgo, efectos y acciones correctivas.....	38
Tabla 16.	Categoría de riesgo de las posiciones del cuerpo humano de acuerdo con su frecuencia relativa.	39
Tabla 17.	Instrumentos y equipos de la metodología de Investigación.....	40
Tabla 18.	Características del motor DC.	47
Tabla 19.	Parámetros necesarios para el cálculo del torque.	47
Tabla 20.	Características del motor de ruedas eléctricas para carros pequeños.....	54
Tabla 21.	Relación de cuadrantes con ángulos Azimut.....	79
Tabla 22.	Características de las baterías.	83
Tabla 23.	Registros del análisis individual para cada trabajador.	87
Tabla 24.	Información de las condiciones de trabajo del proceso de extracción del producto agrícola.	89
Tabla 25.	Matriz de riesgos para el transporte de carga.	91
Tabla 26.	Rangos en horas para la probabilidad.....	91
Tabla 27.	Rangos para masa máxima, posturas y cantidad de cargas.....	91
Tabla 28.	Código de colores para el riesgo en el transporte de carga.....	92
Tabla 29.	Riesgo del transporte de carga a diario de los tres trabajadores de la finca.....	96
Tabla 30.	Riesgos de los trabajadores en el transporte de 46 cargas para la venta..	99
Tabla 31.	Comparación de la evaluación del método OWAS con y sin el prototipo.	103
Tabla 32.	Evaluación de riesgos a diario con el prototipo.....	103

Tabla 33. Comparación del método OWAS con y sin el prototipo para las cargas de venta.....	104
Tabla 34. Evaluación de riesgos en el transporte de carga para la venta con el prototipo.....	105
Tabla 35. Comparación de resultados con y sin el prototipo considerando la zona más lejana de la finca Cielo Abierto.....	106

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Análisis de trabajo.	117
ANEXO 2. Desarrollo del prototipo.....	118
ANEXO 3. Pruebas de campo del prototipo.	120
ANEXO 4. Códigos de posturas aplicando el método de evaluación ergonómica OWAS (Transporte de carga diario - Caso inicial).	121
ANEXO 5. Códigos de posturas aplicando el método de evaluación ergonómica OWAS (Transporte de carga diario - Caso con prototipo).....	122
ANEXO 6. Presupuesto del prototipo.	124
ANEXO 7. Planos de la estructura del prototipo.....	125

RESUMEN

El proyecto de investigación tiene como objetivo realizar el diseño y construcción de un robot prototipo móvil de carga con la finalidad de reducir riesgos de enfermedades ocupacionales a los trabajadores de la Finca Cielo Abierto en la actividad de transporte manual de carga, el método utilizado es un modelo observacional – experimental que consta de análisis de trabajo y desarrollo de un prototipo. Las variables de estudio son el transporte de carga y los movimientos repetitivos, la población está constituida por los 3 trabajadores de la finca. Dentro del proceso de análisis se implementa el método de evaluación ergonómica OWAS como instrumento para analizar las posturas de trabajo de la población de estudio y posteriormente aplicar una matriz de riesgos basado en normativa de manipulación manual de carga para determinar el riesgo final de toda la actividad. En la evaluación de riesgos se considera un caso inicial en el que se desarrolla la actividad únicamente por los 3 trabajadores y un segundo caso en la que se incluye al prototipo con navegación autónoma para el transporte de cargas, dando como resultado un menor riesgo en el segundo caso que en el caso inicial.

Palabras clave: robot móvil de carga, vehículo Ackerman, navegación autónoma, ángulo azimut, riesgos ergonómicos.

ABSTRACT

This research project aims to design and build a prototype mobile load robot to reduce the risk of occupational diseases to workers at the “Cielo Abierto” farm during manual load transportation activities. The method used is an observational-experimental model that includes work analysis and prototype development. The study variables are load transportation and repeated movements; the population consisted of the three workers of the farm. Within the analysis process, the Ovako Working Analysis System (OWAS) ergonomic assessment method is implemented as an instrument to analyze the study population’s working postures and subsequently apply a risk matrix based on manual load handling regulations to determine the overall risk for the entire process. The risk assessment considers an initial case in which the activity is carried out only by the three workers and a second case in which the prototype is included with autonomous navigation for transporting loads, resulting in a lower risk in the second case than in the initial one.

Keywords: mobile cargo robot, Ackerman vehicle, autonomous navigation, azimuth angle, ergonomic risks.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se presenta el diseño y construcción de un robot prototipo que es destinado para el transporte de carga, reduciendo en cierta medida los riesgos presentes por la manipulación manual de carga a los trabajadores de la Finca Cielo Abierto (FCA) y de esa manera evitar la aparición de enfermedades de salud ocupacional durante la jornada laboral, para el cumplimiento del objetivo se aplican métodos de evaluación de riesgos que servirán para un análisis comparativo de la situación inicial y la situación en el que se implemente el prototipo.

Los capítulos de esta investigación inician detallando la problemática, justificación y objetivos del proyecto, luego se presentan las referencias teóricas de robótica, riesgos de salud en la manipulación de carga y componentes necesarios para el prototipo. Posteriormente se indican los métodos aplicados para el desarrollo del prototipo y la evaluación de riesgos, incluyendo los diseños electrónicos y cálculos de la parte mecánica. Al final se describen los resultados del análisis de trabajo y las categorías de riesgo detectadas para dar respuesta a los objetivos de investigación.

Los robots desde sus inicios y hasta ahora son utilizados para facilitar actividades humanas que son riesgosas para la salud o también se los implementa para acelerar procesos, lo que genera una mejor producción y eficiencia. Con el avance de las investigaciones los robots se integran en ambientes cambiantes, es decir, escenas con presencia de objetos móviles o estáticos en el que el ser humano forma parte de los elementos de esos escenarios (Pérez Vidal, 2017). Es por ese motivo que los robots son diseñados a diferentes entornos mediante la incorporación de sensores que generen un comportamiento adaptable al lugar de trabajo y a la actividad humana. Entonces, este proyecto tiene gran valor puesto que la actividad principal de corte de hierba destinada a la comercialización y consumo de sus animales implica el transporte manual y repetitivo de carga, pero con un robot que desempeña la misma actividad mejora las condiciones de trabajo y fortalece la productividad de los trabajadores.

El transporte manual de carga provoca afectaciones a la salud de los trabajadores y para reducir riesgos de enfermedades ocupacionales para esta población de estudio, se introduce en la variable de estudio que es el transporte manual un prototipo que ejecute la misma función y de esa manera conseguir cambios favorables relacionados con la reducción del tiempo de exposición a los distintos riesgos laborales.

La finalidad de este proyecto es reducir riesgos de enfermedades de salud ocupacional, siguiendo un proceso que empieza desde la detección de movimientos inadecuados de los trabajadores para definir las actividades que puede ejecutar el robot, luego corresponde a la selección de los componentes para elaborar diseños de estructura y electrónica. Con el Hardware correctamente ensamblado es posible desarrollar y cargar al prototipo los distintos códigos de programación. Al final en las pruebas de campo se verifica si existe reducción de riesgos para comprobar el alcance de este proyecto.

Los principales inconvenientes que presentó este proyecto son las pendientes del terreno y la baja de precisión de los sensores del robot. La solución más adecuada a este inconveniente es iniciar con resolver la parte mecánica especialmente en la tracción del robot para que sea capaz de subir determinado grado de pendiente y para la imprecisión es importante que todos los sensores y actuadores trabajen en conjunto y se complementen realizando determinadas tareas para reducir los errores de movilidad y ubicación.

El modelo metodológico que se aplica a esta investigación es 'observacional experimental' donde la parte observacional se basa en un análisis de trabajo a los empleados de la FCA y la parte experimental es la construcción de un prototipo. Dentro de la metodología planteada se sigue un proceso que va desde del análisis de trabajo que consta de 3 tipos de análisis, la primera de manera individual a cada empleado de la finca para conocer como ejecutan sus actividades, la segunda es sobre las condiciones de trabajo y la tercera trata de los efectos del trabajo que se evalúan a través del método OWAS con el acrónimo Ovako Working Analysis System (Sistema de análisis de trabajo Ovako) referente a las distintas posturas y finalmente se aplica una matriz de riesgos para determinar la categoría de riesgo a la que se exponen los trabajadores durante el desarrollo de la actividad. Una vez realizado todo el análisis se prosigue con la parte experimental que corresponde a la elaboración del prototipo de acuerdo con los requerimientos del trabajo, iniciando desde el diseño mecánico, luego el eléctrico y electrónico; y durante todo el proceso de construcción se realizan diferentes pruebas de movilidad y control. Una vez finalizado el prototipo se prosigue con las pruebas de campo, en la que nuevamente se aplican el método OWAS y la matriz de riesgos para conocer el nivel de riesgo que disminuyo en cada trabajador.

1.1 Problema

1.1.1 Formulación del problema.

Los robots han tenido un gran crecimiento en los últimos años, destacando su importancia en actividades repetitivas y de transporte de carga pesada. Existen varios robots diseñados para determinadas condiciones y actividades. En el sector agrícola se los utiliza con el objetivo de realizar tareas que pueden generar enfermedades de salud ocupacional, además aumentan la eficiencia y rentabilidad económica. El desarrollo de este tipo de robots permite realizar actividades en menor tiempo en funciones como la poda, cosecha, clasificación, etc. Esto genera que el trabajador tome el papel de supervisor del robot o como colaborador para llevar a cabo la actividad sin que realice esfuerzos prolongados que afecten su salud (Renojo Ccora, 2022).

Los robots móviles encargados del transporte de objetos se encuentran automatizados siguiendo direcciones pregrabadas del espacio de trabajo con la capacidad de adaptarse a las condiciones del lugar (Montalvo et al., 2020), esto implica la capacidad de evitar obstáculos tanto estáticos y dinámicos del área de trabajo. Estas funciones generan un mejor rendimiento y efectividad en las tareas y actividades humanas.

En los diferentes sectores económicos del mundo, el levantamiento y desplazamiento de carga pesada es algo muy común a pesar de existir un avance tecnológico, esta actividad se mantiene todavía con un porcentaje representativo. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) indica que los peligros ergonómicos que involucran manipulación de carga pesada y movimientos repetitivos generan trastornos musculoesqueléticos (TME) como dolor de espalda, tendinitis, hernias discales y síndrome de túnel carpiano (Organización Internacional del Trabajo, 2018). En nuestro país, los problemas que genera las actividades de carga pesada y movimiento repetitivo siguen siendo TME, de acuerdo con una encuesta realizada por el Ministerio de Salud Pública (MSP) en los años 2021-2022 a trabajadores de diferentes sectores económicos, se reporta en el sector agrícola síntomas osteomusculares en la columna lumbar (55.99%), dolor de cuello (40.45%), dolor de rodillas (31.84%), cadera/piernas (29.59%) y dolor de tobillos/pie (21.54) (Ministerio de Salud Pública, 2022). Por último, en el lugar de estudio que es la finca Cielo Abierto existen problemas relacionados con el transporte de carga pesada, siendo la alfalfa el principal producto de cultivo que se trasladada a diario de forma manual por parte de sus trabajadores, en consecuencia genera malestares relacionados con el dolor de espalda, seguido de las extremidades y cuello.

Comúnmente el transporte de producto agrícola es de forma manual, pero existen técnicas de traslado que es el cable vía que se compone de una red de cables en función de canales de drenaje (soportes) que permiten el traslado desde un punto de partida hacia distintos puntos de recolección y empaquetado, su utilidad es para mejorar la productividad en actividades de transporte de insumos, racimo, equipos, etc. (Bowen Alcívar et al., 2022). Generalmente en grandes extensiones de terreno con buenas condiciones geográficas del suelo como lugares planos se utilizan tractores para el corte masivo de hierba y para el transporte del producto se utilizan remolques, pero la robótica aplicada para el transporte de carga es escasa en el sector agrícola. En nuestro país los robots son fijos y en su mayoría son destinados a la carga y manipulación de objetos, es decir, brazos articulados que se encuentra en una sola posición, y se ha visto que hace falta de robots móviles que se dirijan a varios lugares siendo de ayuda a las personas.

1.1.2 Delimitación del problema.

El problema que se ha identificado es la posibilidad de aparición de riesgos de salud ocupacional a los trabajadores de la FCA, por ende, se hace un análisis de trabajo de todas las actividades agrícolas que se realizan en el lugar de estudio y de esa manera identificar las tareas de mayor riesgo. Para mejorar su situación laboral se pretende implementar en la finca un robot móvil que consta de una plataforma para cargar el producto agrícola (alfalfa). A este robot se le equipa con la función autónoma, refiriéndose a la ruta que va a tener grabada mediante la utilización de un módulo GPS para determinar coordenadas de posicionamiento, además se incluye la función de evasión de obstáculos integrando sensores de distancia y de esa manera reducir el transporte manual de carga, que normalmente realiza el agricultor.

1.2 Justificación

La producción agrícola de la FCA es principalmente de alfalfa que es destinada al consumo propio del lugar y para la comercialización. El terreno de la finca está conformado por pendientes, en donde la carretera principal y criadero se encuentra en la parte superior; en cambio, las áreas de cultivo se encuentran ubicadas en una posición inferior. Estas condiciones dificultan el ingreso de vehículos hasta la zona de corte, por ese motivo cada trabajador debe desplazar carga sobre su hombro o espalda desde el punto de corte hasta el punto de descarga (criadero) distancias que varían entre 100 a 250 metros.

Cada fin de semana se preparan entre 40 y 60 cargas de alfalfa para la venta; en cambio, para el consumo diario del criadero se requiere 6 cargas del mismo producto. Esta situación

puede generar TME como inflamación de tendones, dolor muscular, compresión de nervios y principalmente trastornos degenerativos de la columna vertebral.

La situación que se presenta en la finca motiva a implementar una nueva forma de realizar las actividades de gran esfuerzo físico, de modo que realizar el diseño y construcción de un robot adaptado a las condiciones del lugar con el propósito de reducir los esfuerzos innecesarios, aportaría en la mitigación de enfermedades ocupacionales, significando una mayor productividad de sus empleados que implica eficiencia en la jornada laboral y mayores oportunidades de negocio, por otra parte, se incentivaría a nuevas investigaciones de la robótica aplicada en el sector agrícola.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar y construir un robot prototipo de campo para reducir riesgos relacionados a enfermedades ocupacionales a los trabajadores de la Finca Cielo Abierto que realizan la actividad de traslado de carga pesada.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar los movimientos inadecuados de los agricultores al realizar el transporte manual de carga, mediante el análisis del trabajo para caracterizar las tareas que podrá ejecutar el robot
- Determinar los componentes adecuados en base a programas y necesidades para un correcto ensamblaje del robot.
- Diseñar la estructura del robot mediante el uso del programa 3D SketchUp para definir tamaños y posición de cada componente.
- Generar la automatización del robot mediante los programas Proton IDE y Arduino IDE para los microcontroladores y placa de desarrollo de Arduino.
- Realizar pruebas de funcionamiento en la zona agrícola, mediante seguimiento de trayectorias en los lugares de trabajo, para determinar si cumple con la tarea de traslado de carga y movilidad del robot.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Los robots

En la disciplina e historia de los robots existen términos habituales que los definen. El término automática aparece en el año 1901 por el ingeniero español Leonardo Torres Quevedo, luego, en 1921 el escritor checo Karel Capek acuñó el término Robot a partir de la palabra checa robota que significa servidumbre y el término robótica es mencionado por Isaac Asimov, definiendo como una disciplina que estudia a los robots. Según la funcionalidad y capacidad, la robótica se clasifica en 4 generaciones, la primera los manipuladores, la segunda los de aprendizaje, la tercera los sensorizados y por último la cuarta generación son los robots inteligentes (Pérez Vidal, 2017).

La creación de los robots es con la finalidad de ayudar o incluso sustituir a las personas en actividades repetitivas, complejas o de riesgo, debido a que estos poseen una serie de complejos movimientos que requieren de velocidad, fuerza y precisión que se logra a través de la integración de sistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos y computacionales, dependiendo de las necesidades del lugar de trabajo (Montaleza et al., 2022). La integración de los robots el ámbito empresarial fortalece la producción, eficiencia y rentabilidad, además, aportan mejores condiciones laborales a sus empleados.

2.1.1 Los robots móviles.

Un robot móvil hace referencia a una máquina con la capacidad de desplazarse a diferentes entornos de forma autónoma. Sus aplicaciones se establecen en diferentes áreas de trabajo como son las de exploración, entrega de objetos, transporte, entre otros. Al mencionar que se trata de un robot móvil, este debe poseer un mecanismo que desempeñe la función de movilidad y estas se encuentra clasificadas por patas, ruedas u orugas (Miranda Chiquito et al., 2022).

2.1.1.1 Tipos de robots móviles.

La robótica móvil se basa en robots con capacidad de operar en condiciones ambientales cambiantes y terrenos irregulares, entre estos se encuentran, los robots planetarios, robots en agricultura, robots de búsqueda, robots militares, etc. Pero para que el robot se mueva de forma eficiente, precisa y segura en un determinado espacio de trabajo se debe considerar

como primer aspecto el sistema de locomoción (González et al., 2015). La clasificación de este tipo de robots es la siguiente:

Movilidad con ruedas.

Las ruedas son las más utilizadas por su simplicidad mecánica, son la solución para el desplazamiento en terrenos duros, en cambio, en terrenos blandos este tipo de locomoción es menos eficiente (Valencia, 2016). El sistema más común es el Ackerman, este robot tiene una estructura rígida, conformado por dos ruedas posteriores tractoras y dos ruedas delanteras para el direccionamiento.

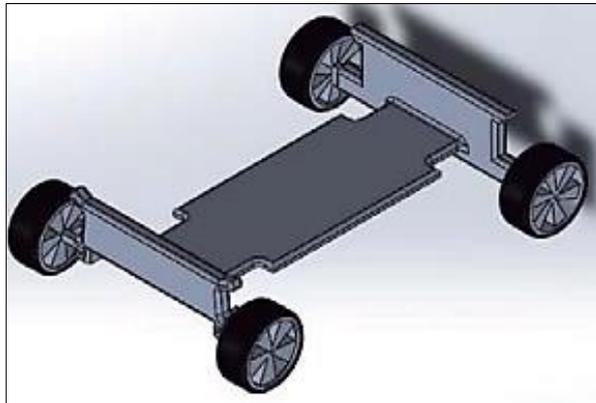


Figura 1. Geometría de desplazamiento Ackerman.

Fuente: Imagen tomada de (Guachamín & Elizabeth, 2019).

Movilidad con patas.

La implementación de patas al sistema de movilidad de un robot es mucho más compleja por los grados de libertad que se necesita. La ventaja de estos robots es que pueden movilizarse espacios irregulares sin dificultad y son capaces de escalar pendientes, subir escaleras y saltar, esto lo convierte en el robot más adaptable a diferentes terrenos (Sánchez Molina, 2020).



Figura 2. Robot móvil con locomoción por patas.

Fuente: Imagen tomada de (Sánchez Molina, 2020).

Movilidad con orugas.

La movilidad por orugas es implementada en terrenos poco compactos, las orugas ocupan mayor área de contacto con el terreno en comparación con los otros dos sistemas de locomoción, pero tiene mayor tracción que las ruedas y menor complejidad mecánica que las patas(González et al., 2015).



Figura 3. Fitorobot: Robot móvil con sistema de locomoción mediante orugas de goma.

Fuente: Imagen tomada de (González et al., 2015).

Entonces, con lo que se indica en los tres sistemas de locomoción de un robot móvil, para tomar la decisión del sistema de movilidad que mejor se adapte a determinado trabajo, se debe considerar el terreno, misión del robot y sus propias características.

2.1.1.2 Navegación de los robots móviles.

Los robots móviles deben tener un grado de autonomía esto para evitar impactos no deseados con objetos del entorno, por lo cual la navegación debe asociarse con diferentes sensores que recopilen información de alrededor a través de medición de distancia o imágenes visuales del lugar. Los sensores sirven para detectar obstáculos que se atraviesen en la trayectoria del robot y una vez detectados este podrá evadirlos de manera que rodee el obstáculo y se posicione nuevamente para continuar con su trayectoria (Arroyave et al., 2018).

La navegación de los robots móviles posee una arquitectura que incorpora tres funcionalidades básicas relacionados con la percepción, planificación y actuación (Acosta et al., 2016).

- Percepción: Es para recopilar y procesar información recibida por los sensores y la entrega para otras funciones del sistema.

- Planificación: Utiliza la información procesada para generar las tareas que el robot debe ejecutar.
- Actuación: Acciones que realiza el robot.

2.1.1.3 Tracción de los robots móviles.

Las ruedas de los robots móviles se ven afectadas al desplazarse por superficies con un bajo coeficiente de fricción o suelos poco compactos (lodo, arena, nieve), por consiguiente, los robots sufren pérdidas de tracción que provoca el deslizamiento por toda la superficie o incluso pueden quedar atrapados.

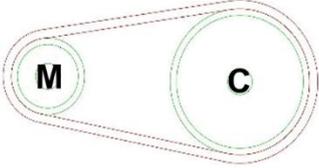
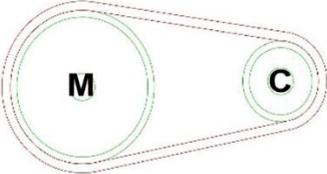
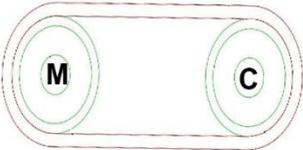
Para mejorar la tracción se implementa una técnica de la industria automotriz que es el sistema de antibloqueo, mediante información del desplazamiento de cada rueda se corrige la velocidad, pero tiene la desventaja de errores de posicionamiento debido a que la corrección de la velocidad se realiza luego del deslizamiento. Otra solución para mejorar la tracción es mediante una configuración en la que todas las ruedas se accionen de manera independiente y algoritmos de distribución de la fuerza, mejorando la posición y velocidad del robot (Fernández et al., 2012).

Un robot móvil se desplaza fácilmente en superficies planas, pero si las superficies son irregulares o son inclinadas se requiere de mayor fuerza que se puede resolver mediante una rueda motriz. Esta rueda motriz se conecta al motor y se encarga de que el vehículo avance o retroceda y por medio de un mecanismo de transmisión cambia la velocidad y fuerza, la rueda motriz impulsa a una rueda conducida.

Sistemas de transmisión simple.

Estos sistemas son mecanismos conformados por 2 ruedas dentadas iguales o una de mayor tamaño (corona) y otra de menor tamaño (piñón) acopladas diente a diente o conectadas por una cadena. El sistema de transmisión puede ser reductor, multiplicador o de transmisión motriz, en cualquier caso, la primera rueda que inicia el movimiento por lo general unido a un motor se la conoce como rueda motriz o conductora y la segunda rueda es la conducida porque es impulsada por la rueda motriz.

Tabla 1. Sistemas de transmisión simple, engranajes unidos por cadena.

Sistema de Transmisión	Mecanismo	Descripción
Reductor		Rueda motriz (M) de menor tamaño y la conducida (C) de mayor tamaño. (Aumenta la fuerza).
Multiplificador		Rueda motriz (M) de mayor tamaño y la conducida (C) de menor tamaño. (Aumenta la velocidad).
Transmisor Motriz		Rueda motriz (M) y conducida (C) de igual tamaño.

Fuente: Tabla adaptada de (Flores García, 2012).

La relación de transmisión de cada sistema indicado en la tabla 1, se expresa de la siguiente manera:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (1)$$

En donde:

i = Relación de transmisión.

n_1 = Velocidad rueda conductora (RPM).

n_2 = Velocidad rueda conducida (RPM).

d_1 = Diámetro de la polea conductora (mm).

d_2 = Diámetro de la polea conducida (mm).

z_1 = Número de dientes de la rueda conductora.

z_2 = Número de dientes de la rueda conducida.

Sistema Reductor: La velocidad de la polea conductora es mayor que el de la polea conducida ($i < 1$). Reduce velocidad.

$$n_1 > n_2, d_1 < d_2, z_1 < z_2 \quad (2)$$

Sistema multiplicador: La velocidad de la polea conductora es menor que el de la polea conducida ($i > 1$). Multiplica velocidad.

$$n_1 < n_2, d_1 > d_2, z_1 > z_2 \quad (3)$$

Sistema Transmisor Motriz: La velocidad de la polea conductora es igual que el de la polea conducida ($i = 1$). Misma velocidad.

$$n_1 = n_2, d_1 = d_2, z_1 = z_2 \quad (4)$$

Sistemas de transmisión compuesta.

En este sistema se instalan varios sistemas de transmisión simple en forma de cadena como se indica en la figura 4. A este sistema también se puede aplicar las mismas fórmulas de relación de transmisión (i) del sistema simple, solo que para este caso no se lo realiza de manera directa, sino que se aplica por partes, es decir, por cada sistema simple (una rueda motriz y una conducida).

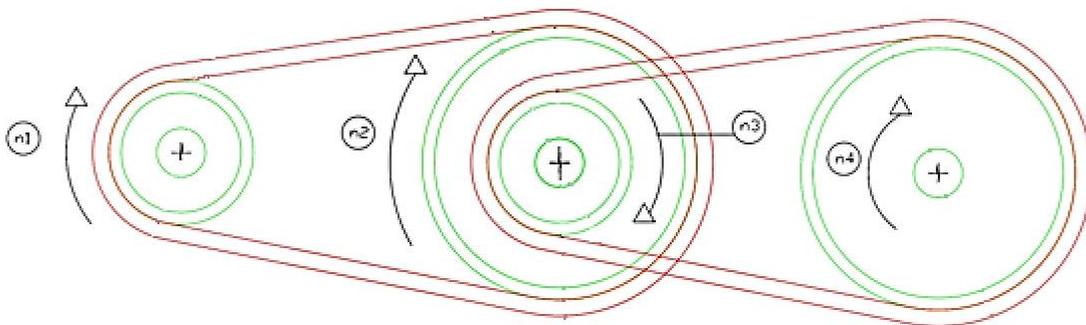


Figura 4. Sistema de transmisión compuesta (2 reductores).

Fuente: Imagen adaptada de (Flores García, 2012).

2.1.2 Los robots de carga.

Según la Federación Internacional de Robótica (IFR), los robots tienen dos clasificaciones, en primer lugar, se encuentran los robots industriales que principalmente está conformado por brazos manipuladores que se encarga de tareas repetitivas de gran esfuerzo y son capaces de mover carga o materiales, luego como segundo lugar se presentan los robots de servicio, estos pueden ser robots acuáticos, aéreos, humanoides, de asistencia a hogar y los móviles (Carvajal Rojas et al., 2010).

Los robots móviles de la segunda categoría son terrestres y estos pueden tener entre sus características los mecanismos con la capacidad de ejecutar actividades de carga, transporte y descarga de objetos o materiales.

2.1.2.1 Robots móviles de carga.

Los robots de carga en su mayoría poseen sistemas de detección y evasión de obstáculos y diseñados con una plataforma de ascenso y descenso para realizar sus labores en espacios planos de industriales y bodegas, en la que se requiere del transporte de equipos, herramientas, cajas, entre otros.

Otro tipo de robots para transporte carga son los que poseen remolque, estos modelos posibilitan un eficiente seguimiento de trayectoria tales como: control no lineal, control adaptativo del efecto de deslizamiento de ruedas y control predictivo robusto basado en desplazamientos en terrenos irregulares (García et al., 2023).

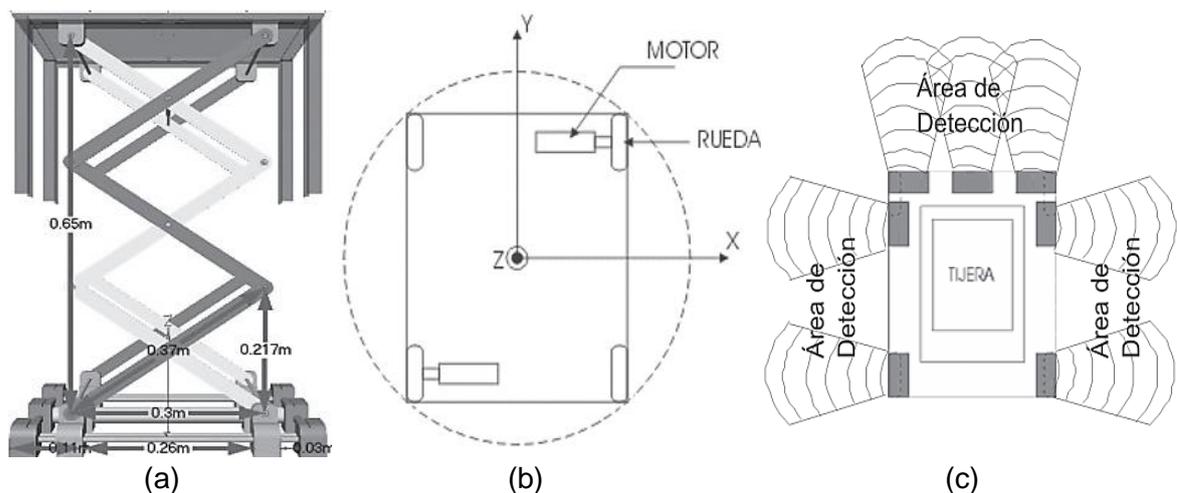


Figura 5. Robot Móvil para transporte de carga en superficies irregulares. (a) Sistema plataforma ascendente/descendente. (b) Posición de los motores. (c) distribución de ultrasonidos para la detección.

Fuente: Imagen tomada de (Carvajal Rojas et al., 2010).

2.1.3 Cálculo del torque del motor para vehículos eléctricos.

En el cálculo del torque se debe considerar 3 factores importantes, el primero es la resistencia a la rodadura, luego la resistencia al grado de inclinación y por último la fuerza de aceleración (Canseco Velasco et al., 2022).

Resistencia a la rodadura: Fuerza de oposición para que el vehículo empiece a moverse debido a la rodadura entre la superficie de movimiento y la rueda. La ecuación 5 se utiliza para calcular la resistencia a la rodadura.

$$RR = GVW * C_{rr} \quad (5)$$

$$GVW = m * g \quad (6)$$

Donde:

RR = Resistencia a la rodadura (N).

GVW = Peso del vehículo (N).

m = Masa del vehículo (kg).

g = Aceleración de la gravedad ($9.81m/s^2$).

C_{rr} = Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Existen valores constantes del coeficiente de rodadura para algunas superficies.

Tabla 2. Valores del coeficiente de resistencia a la rodadura según el tipo de superficie.

Superficie	C_{rr}
Concreto (bueno/regular/malo)	0.010/0.015/0.020
Asfalto (bueno/regular/malo)	0.012/0.017/0.022
Macadán (bueno/regular/malo)	0.015/0.022/0.037
Nieve (2 pulgadas/4 pulgadas)	0.025/0.037
Suciedad (lisa/arenosa)	0.025/0.037
Barro (firme/medio/suave)	0.037/0.090/0.150
Hierba(firme/suave)	0.055/0.075
Arena(firme/suave/duna)	0.060/0.150/0.300

Fuente: Tabla adaptada de (Chauhan, 2015).

Resistencia al grado de inclinación: Es la fuerza que tiende a tirar hacia atrás al vehículo cuando este sube por una superficie en pendiente.

$$GR = GVW * \sin\theta \quad (7)$$

Donde:

GR = Resistencia al grado de inclinación (N).

θ = Grado de inclinación ($^{\circ}$).

Fuerza de aceleración: Fuerza necesaria para que el vehículo alcance una velocidad predefinida en un periodo de tiempo definido. Esta fuerza se puede calcular con la ecuación número 8.

$$FA = m * a \quad (8)$$

Donde:

FA = Fuerza de aceleración (N).

m = Masa del vehículo (kg).

a = aceleración requerida (m/s^2).

Fuerza de tracción total (TTE): Fuerza total necesaria para mover un vehículo de acuerdo con las diferentes características establecidas.

$$TTE = RR + GR + FA \quad (9)$$

Finalmente, el torque requerido en la rueda motriz para obtener las características de tracción deseada se calcula con la ecuación 10.

$$\tau = (TTE * r_{wheel})/n \quad (10)$$

Donde:

τ = Torque (Nm)

r_{wheel} = Radio de la rueda (m).

n = número de ruedas motrices.

Si el motor que se escoge para un vehículo de acuerdo con sus características no tiene el suficiente torque, se puede solucionar utilizando una caja de cambios o transmisión por cadena para aumentar el valor del torque.

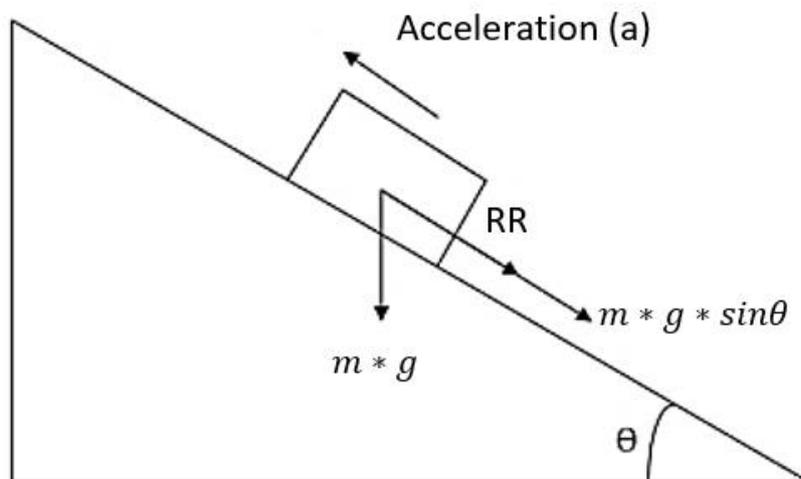


Figura 6. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo eléctrico subiendo una pendiente.

Fuente: Imagen tomada de (Chauhan, 2015).

2.2 Trabajadores del sector agrícola y enfermedad ocupacional

2.2.1 Agricultores.

El trabajo de los agricultores se encuentra establecido en huertos, invernaderos, ganadería e instalaciones de procesamiento para producción de alimentos y fibras del mundo. El lugar de trabajo de estos agricultores se encuentra en fincas de grande, mediano o pequeño tamaño, como también en extensas plantaciones. Los horarios de trabajos suelen ser prolongados dependiendo de la actividad ya sea siembra, cosecha, recolección, entre otros (Hurst et al., 2007). Durante el cumplimiento de sus actividades la postura que toman los trabajadores es normalmente mantenerse inclinados, agachados y de pie por largo tiempo, además, esto significa realizar levantamiento de carga pesada y movimientos repetitivos en las diferentes condiciones del lugar de trabajo en consecuencia se generan problemas a la salud por la acumulación de fatiga y lesiones por el gran esfuerzo que realizan.

2.2.2 Enfermedad ocupacional.

Una enfermedad ocupacional es la afectación o alteración a la salud de un trabajador, ocasionadas por la exposición de distintos factores de riesgo de manera directa al ejercer su profesión u ocupación en el lugar de trabajo, lo cual produce o no incapacidad laboral (Castillo, 2022).

2.2.2.1 Goniometría en el contexto de salud ocupacional.

La Goniometría del griego gonion (ángulo) y metron (medición), es una técnica de medición de los ángulos de la intersección de los ejes longitudinales de los huesos a las articulaciones (Taboadela, 2007). La medición goniométrica es útil para realizar exámenes médicos de ingreso, en especial se obtiene criterios técnicos para valorar la capacidad biomecánica del individuo, también un diagnóstico precoz de problemas músculo esqueléticos y extralimitaciones. Este tipo de evaluación tiene como finalidad identificar oportunamente incompatibilidades biomecánicas entre el individuo y el puesto de trabajo para la prevención de eventos de salud no deseados (Torrealba, 2017).

En cuanto a la Manipulación y Transporte manual de cargas, la evaluación goniométrica constituye un prerrequisito de estudio biomecánico en temas de ergonomía y salud ocupacional. Algunas posturas para tomar en cuenta en este estudio referente al transporte manual de carga son las siguientes:

Tabla 3. Goniometría del raquis cervical.

Posición	Representación	Descripción
Neutra		<p>Individuo de pie, mirada al frente, brazos colgando al costado del cuerpo y miembro inferiores uno al lado de otro.</p>
Inclinación lateral del raquis		<p>Inclinación derecha e izquierda en el plano frontal respecto a la línea media del cuerpo.</p>
Flexión y extensión (cervical)		<p>Inclinación abajo y arriba de la cervical en el plano lateral respecto a la posición 0.</p>
Inclinación lateral (cervical)		<p>Inclinación derecha e izquierda de la cervical en el plano posterior respecto a la posición 0.</p>
Flexión y extensión (dorsolumbar)		<p>Inclinación abajo y arriba de la parte dorsolumbar en el plano lateral respecto a la posición 0.</p>

Fuente: Tabla adaptada de (Taboadela, 2007).

En la Tabla 3, se muestra algunos valores normativos descritos por la Asociación para el estudio de la Osteosíntesis (AO) y Academia Americana de Cirujanos Ortopédicos (AAOS).

2.2.2.2 Riesgos de salud a los agricultores.

En nuestro país y en cualquier otro, la agricultura es uno de los ejes principales que aporta en el crecimiento económico y generación de empleo, pero las actividades en este sector se enfrentan a problemas de salud. La OIT señala que la mayor parte de agricultores viven en situaciones primitivas es decir zonas dispersas y de difícil acceso; encontrándose expuestos a manipulación manual de carga, contaminantes químicos, mala nutrición, posturas inadecuadas y variedad de agentes biológicos (Recalde Zambrano, 2019). En un reporte del seguro general de riesgos de trabajo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), indica que el mayor porcentaje de riesgos a los que se encuentra expuestos los trabajadores son factores ergonómicos con un 79.8% (IESS, 2018).

2.2.2.3 Factores de riesgos ergonómicos.

En el sector agrícola existen diversos riesgos para la salud de los trabajadores, por esa razón esta investigación se enfoca en los riesgos ergonómicos que se presentan en la manipulación de carga y movimientos repetitivos, incluyendo además las posturas en estas dos actividades.

Riesgos por movimientos repetitivos.

Los movimientos y posturas repetitivas exponen a una persona al riesgo de contraer enfermedades como tendinitis, bursitis y atrapamiento nervioso. La tendinitis es una inflamación de tendón a causa de sobrecarga repetida de un músculo que produce micro desgarros al tendón que comúnmente se desarrollan en el codo, rodillas y bíceps. En cambio, la bursitis es causada por presión repetida sobre una articulación provocando la inflamación de una bolsa sinovial (bolsa con líquido que durante el movimiento permiten que los tendones y músculos se deslicen sobre el hueso), habitualmente afecta el codo, rodilla, hombro y articulación de la cadera. Finalmente, el atrapamiento nervioso es la compresión del nervio haciendo que este funcione incorrectamente y por lo general ocurre en el codo y muñeca (Greenberg & Vearrier, 2022).

En la tabla 4 se presentan algunas enfermedades relacionadas con los movimientos repetitivos.

Tabla 4. Enfermedades por movimientos repetitivos

ENFERMEDADES		
Tendinitis		
Sitio afectado	Movimiento	Sitio de dolor
Bíceps	Flexión de codo con antebrazo en supinación.	Cara anterior del hombro.
Bursitis		
Sitio afectado	Ubicación	Movimiento repetitivo causal
Prepaletar	Anterior (superficial) a la rótula.	Movimiento de Rodillas.
Subacromial	Parte lateral del tendón supraespinoso y el acromión	Movimiento de brazo sobre la cabeza.
Atrapamiento nervioso		
Síndrome y Ubicación (nervio)	Área de entumecimiento	Movimiento repetitivo causal
S: túnel Carpiano. U: Mediana (muñeca)	Pulgar, índice, dedo de medio y mitad lateral del dedo anular.	Extensión, vibración y flexión de muñeca.
S: Túnel cubital. U: Cúbito (codo)	Dedo meñique, cara interna de la mano, cara medial del dedo anular	Apoyo sobre el codo y flexión del codo.

Fuente: Tabla adaptada de (Greenberg & Vearrier, 2022).

Riesgos por transporte manual de carga.

El transporte manual es cualquier acción de desplazamiento desde un punto inicial hasta un punto final de una carga elevada a la altura del brazo, hombros u otra parte superior del cuerpo, este proceso consta de empuje, tracción y traslado; en esta acción solo interviene el esfuerzo humano ya sea por una o varias personas (Barreiro Laguna, 2020).

En la manipulación de cargas se necesita de gran esfuerzo en la zona superior del cuerpo y columna vertebral, donde se ve involucrado los movimientos que aumenta la tensión muscular al flexionar el tronco que incluso llegan a ser mayores a 60°, generando presión intradiscal en la zona lumbar, además, las posiciones irregulares generan tensión en la zona cervical y lumbar. Toda esta situación dependerá de la frecuencia de trabajo, tipo de carga, peso, agarre y desplazamiento horizontal y vertical (Marulanda et al., 2021).

En esta actividad se presentan los trastornos musculoesqueléticos que se asocian a factores ergonómicos (movimiento, fuerza y postura), generando condiciones inflamatorias y degenerativas que afectan huesos, músculos, nervios, tendones, ligamentos, articulaciones y columna; tal situación causa incapacidad temporal e incluso permanente.

2.3 Reglamento para la manipulación manual de carga

La manipulación manual de carga es una actividad común en los diferentes trabajos como industrias y servicios, siendo responsable de fatiga y lesiones (Ministerio del Trabajo, 2013). Algunos factores para tomar en cuenta en esta actividad son los siguientes:

2.3.1 Masa de la carga.

Se considera 'carga' cuando la masa del objeto es mayor a 3kg. El límite de carga adecuado se divide según condición ideal, condición especial y posición sentada (Reinoso Hidalgo, 2013).

- Masa máxima: Condición ideal.
 - 25 kg en general.
 - 15 kg para población expuesta, mujeres, jóvenes y mayores.
- Masa máxima: Condición especial
 - 40 kg trabajadores entrenados y sanos.
- Masa máxima: posición sentada.
 - 5 kg lo recomendable.

El peso máximo que puede una persona manipular carga según la edad y género es la siguiente:

Tabla 5. Peso máximo que puede cargar una persona por género y edad.

Peso máximo (lb)	Género	Edad (años)
20	Femenino	Hasta 18
25	Femenino	18 a 21
50	Femenino	>= 21
35	Masculino	Hasta 16
50	Masculino	16 a 18
Hasta 175	Masculino	> 18

Fuente: Tabla adaptada de (IESS, 2016).

Con los valores de peso según el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento de Medio Ambiente de Trabajo del Decreto Ejecutivo 2393, no se debe exigir a una persona a transportar cargas cuyo peso comprometan su salud y seguridad (IESS, 2016).

2.3.2 Distancia de transporte.

La carga acumulada en un turno de 8 horas, en función de la distancia deben mantenerse entre 6000 kg para distancias largas y 10000 kg para distancias que no superen los 10 m (INSHT, 2011). En la tabla 6 se indica los límites de carga en función a la distancia.

Tabla 6. Límite de carga según la distancia.

Distancia de transporte (metros)	Kg/día transportados (máximo)
Hasta 10 m	10000 kg
Más de 10 m	6000 kg

Fuente: Tabla tomada de (INSHT, 2011).

En las trayectorias que superan los 10 metros se tendrá que reducir proporcionalmente la masa total a transportar en la jornada diaria ya que recorrer distancias largas generan al trabajador demandas físicas que provoca cansancio y un gasto metabólico.

2.3.3 Tamaño de carga.

Una carga ancha obliga mantener postura forzada de los brazos y mal agarre, en cambio, una carga muy profunda aumenta la distancia horizontal e incrementa la fuerza compresiva a la columna vertebral y por último una carga demasiado alta reduce la visibilidad. Por lo anterior mencionado, es conveniente que el ancho y alto de la carga no supere la anchura de los hombros (aproximadamente 60 cm) y de profundo no supere los 50 cm (INSHT, 2011).

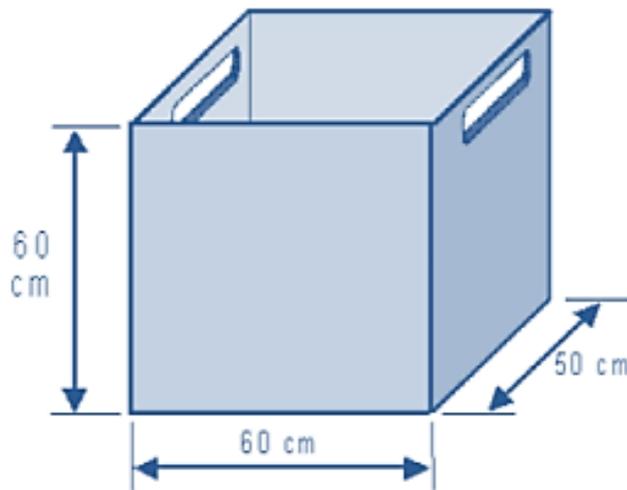


Figura 7. Tamaño máximo de carga.

Fuente: Imagen tomada de (INSHT, 2011).

2.4 Técnicas para mejorar la manipulación manual de cargas

Existen algunas formas para mejorar y facilitar las actividades que involucra manipulación de carga, pero estas soluciones dependerán del tipo de empresa, lugar de trabajo y necesidades. Algunas de estas se presentan a continuación:

Sector industrial.

Los autores Moreno, S y Ceballos, N; realizaron una revisión de literatura acerca de los vehículos de guiado autónomo (AGV) para aplicaciones industriales con el objetivo de orientar al lector con criterios para la implementación de AGVs. Durante su revisión destacan diferentes métodos de control del AVGs, ejemplo de ello son la visión por computadora, carril, mapas, entre otros. De la revisión que realizaron concluyeron que la tecnología AGV se debe profundizar más y ofrece una eficiente solución para el transporte de mercancía, materia prima, objetos, etc (Moreno & Ceballos, 2019).

Plantaciones grandes.

El autor Adel A. Kader, en su libro titulado Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas, menciona sistemas de Manejo Postcosecha e indica que el traslado del producto agrícola en grandes plantaciones se utiliza el sistema de cable-vía, este sistema es más utilizado en plantaciones de plátano donde se sujeta al racimo a un gancho y se lo separa mediante una barra para evitar golpes durante el recorrido, desde el punto de recolección se dirigen hasta el lugar de empaquetado (Kader, 2011). El sistema de cable vía es una solución importante para evitar que un trabajador realice grandes esfuerzos para trasladar el producto.

Terrenos de gran pendiente.

El autor Andrés Mejía, realizó el diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables con el objetivo de realizar un sistema tipo teleférico para el transporte de carga en lugares de difícil acceso y de gran pendiente, aplicando el método de ensayo y error para el cálculo del cable motriz, el proyecto fue realizado en la finca cafetera 'La Camelia' en Colombia, concluyendo que un sistema tradicional representa un proceso lento y con un sistema de transporte por cable es más eficiente y seguro el transporte porque se adapta a todo tipo de terrenos (Mejía Vargas, 2011).

Ayuda y Asistencia.

Los autores Miranda Ramírez et al, realizaron un prototipo de robot móvil autónomo para la asistencia de adultos mayores con el objetivo de aliviar la carga y mejorar calidad de vida, en lo que pudieron destacar que el diseño realizado considera las limitaciones físicas de los usuarios cumpliendo con la función de asistencia para transporte de sus pertenencias, lo que indica que la robótica no solo es aplicada a tareas industriales, sino que genera inclusión, priorizando su diseño para ser amigable con determinado usuario o población en común y adaptándose a sus necesidades (Ramírez Cruz et al., 2023).

2.5 Componentes del robot móvil de carga

En este apartado se presentan los componentes principales para la navegación autónoma, detección de obstáculos y movilidad del robot prototipo.

2.5.1 Placa Arduino.

Es una placa de hardware libre, posee una serie de entradas y salidas. La programación en esta placa se hace a través de un ordenador (Se realiza, compila y graba el programa en la placa, además el ordenador funciona como fuente de alimentación de este) y para ejecutar cualquier proyecto elaborado no es necesario que se mantenga conectado al ordenador, sino que se puede conectar a una fuente externa (Baeza, 2009).



Figura 8. Placa de Arduino MEGA.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2 Microcontrolador PIC.

Es un circuito integrado que posee en su interior la arquitectura de un computador como CPU, memorias EEPROM, RAM y circuitos para las entradas y salidas. Un microcontrolador inicialmente salido de fábrica no puede ejecutar ninguna tarea porque este debe ser programado, su aplicación empieza desde un simple encendido y apagado de Led hasta un control sofisticado de un robot (Reyes, 2006).



Figura 9. Microcontrolador PC16F877A.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3 Sensores de distancia.

Sensor Ultrasonido.

Es un pequeño radar que permite la medición de distancias y detección de obstáculos, este sensor emite un pulso de sonido a alta frecuencia no audible por el ser humano y después de un tiempo regresa al sensor luego de haber rebotado en un obstáculo. El tiempo necesario en ir y regresar el sonido se mide en milisegundos y se lo convierte en un valor de distancia (Huerta et al., 2010).



Figura 10. Sensor ultrasonido HC-SR04.

Fuente: Elaboración propia.

Sensor Sharp.

Es un sensor óptico con capacidad de medir la distancia a la que se encuentra un objeto, para la medición utiliza un método por triangulación que se basa en medir ángulos del triángulo formado por el emisor, objeto y receptor (Martínez Rodríguez, 2023). El ángulo de visión de este sensor es reducido pero la luz infrarroja intermitente que utiliza no es sensible a la luz ambiental porque el receptor del sensor elimina cualquier fuente de luz con diferente frecuencia que envía el emisor.

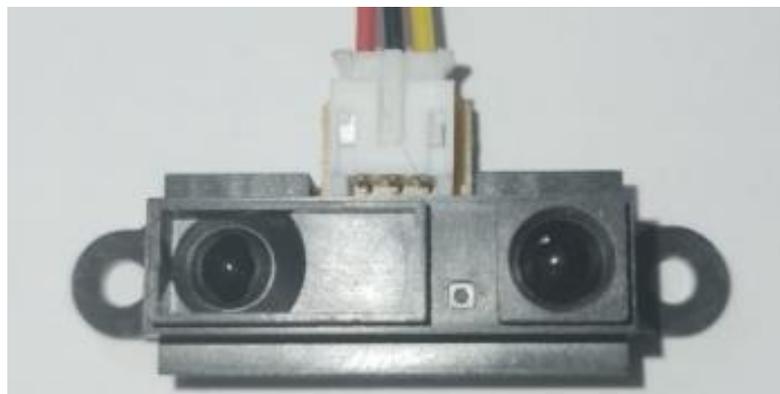


Figura 11. Sensor de distancia SHARP 2Y0A21.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.4 Módulo GPS.

Se lo utiliza para recibir datos de geolocalización, es decir, recibe información la latitud, longitud, altitud, hora, entre otros. Utiliza el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), utilizando señales enviadas de estaciones espaciales y terrestres para determinar la posición en cualquier condición climática (Romero Mosquera et al., 2022). El módulo NEO-M8M tiene una antena cerámica que se debe orientar correctamente (vista directa al cielo) de tal manera que se conecte sin interrupción a los satélites cercanos.

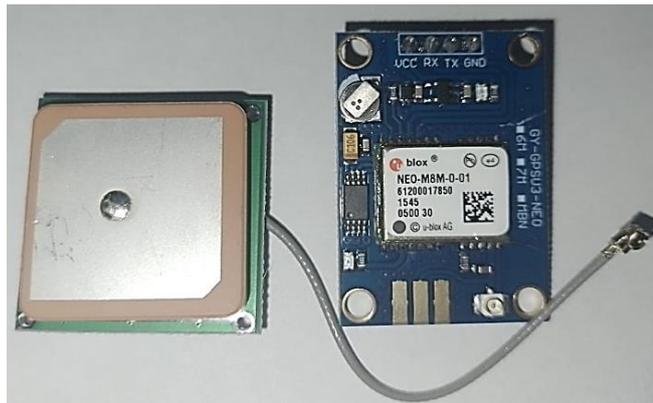


Figura 12. Módulo GPS NEO-M8M.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.5 Módulo Giroscopio

El giroscopio GY-521 es una unidad IMU (Inertial Measurement Units) con 6 grados de libertad, combinados por acelerómetro y giroscopio con 3 ejes cada uno. El módulo es preciso porque posee un convertidor analógico a digital de 16 bits para cada canal (Hernández-Rosales & Jiménez-Manríquez, 2022). Su mayor aplicación es para navegación y estabilización.

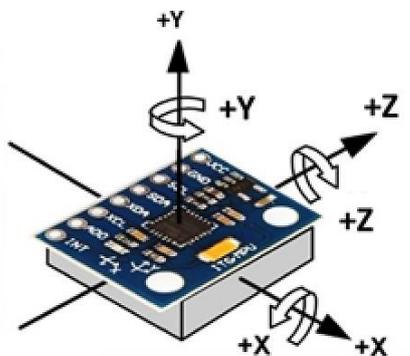


Figura 13. Giroscopio GY-521 con signos de ejes x, y, z.

Fuente: Imagen tomada de (Hernández-Rosales & Jiménez-Manríquez, 2022).

2.5.6 Motores.

Motor DC.

Es un motor de corriente continua que utiliza un mecanismo de tornillo sin fin y engranaje (reduce velocidad y aumenta la fuerza), cuando el motor se enciende hace que gire el eje en forma de tornillo (la forma de tornillo hace que gire indefinidamente) y este a su vez a la rueda dentada que tiene acoplado un eje. Este motor es utilizado para la pluma de los vehículos encargados de la limpieza del parabrisas para una mejor visibilidad del conductor.

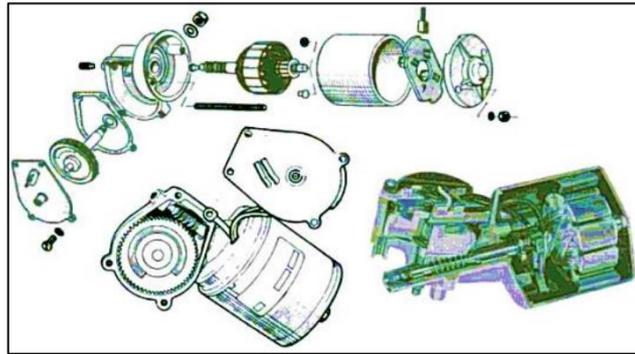


Figura 14. Estructura interna del motor limpiaparabrisas.

Fuente: Imagen tomada de (Albarez, 2017).

Servomotor.

El servomotor está compuesto por un motor de corriente continua, una caja de reducción y circuitería electrónica interna de control y potencia. En este componente es posible posicionar el eje móvil a diferentes ángulos mediante una señal eléctrica de control, su eje usualmente va desde -90° a $+90^\circ$, es decir, 180° de libertad. Posee 3 cables, 2 cables de alimentación (pequeños servomotores entre 4.8V y 6V) y 1 cable para el control.



Figura 15. Pequeño servomotor.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1 Requerimiento del usuario

3.1.1 Descripción de la empresa.

La empresa se dedica a la crianza cuyes y venta de hierba, siendo el principal producto de comercialización la alfalfa. La distribución es de la siguiente manera:

- Criadero: El galpón posee dimensiones de 25 m de largo y 5 m de ancho, dando un área de 125 m² que se encuentran subdivididos por jaulas con capacidad de albergar entre 300 a 350 cuyes.
- Sembríos: Los sembríos de alfalfa cubren cerca del 60% del área de la finca, es decir, 1.5 hectáreas, el pasto cubre un 32% y el restante 8% se encuentra en sembríos de maíz, verduras, caminos, criadero y vivienda.

La finca lleva más de 5 años dedicada a la venta de alfalfa y crianza de cuyes que son destinadas a la venta en el mercado mayorista de la ciudad de Azogues, provincia de Cañar.

3.1.2 Descripción del proceso de actividades.

Las actividades que normalmente se realiza a diario en la finca es el corte y transporte manual de cargas de alfalfa, esta sirve de alimento para el criadero, la cual requiere entre 6 cargas para su abastecimiento diario, en cambio, para la comercialización se extraen entre 40 y en ocasiones llega hasta 60 cargas.

La extracción para la venta se realiza cada viernes desarrollándose la actividad desde la tarde hasta la noche por motivos de evitar que se descomponga el producto ya que una vez que se lo corta este tiende a descomponerse y se agrava con la presencia del sol, luego los sábados todo este producto extraído es vendido en el Mercado.

La actividad del corte de alfalfa mantiene una rutina que es la extracción del producto por zonas y no en su totalidad, garantizando que no falte el alimento a su criadero y se mantenga constante la venta semanal de este producto. Las demás áreas de sembríos como maíz y verduras se realizan en diferentes épocas del año.

3.1.3 Identificación del problema.

La Finca posee una cantidad de 3 empleados que se reparten tareas de cuidado de animales, siembra, fumiga, etc., En la actividad de corte de alfalfa todos los empleados participan en la extracción y traslado de carga, en este proceso se identifica la problemática en la actividad de transporte manual de carga. En la figura 16 se muestra el proceso de la actividad de extracción de alfalfa.



Figura 16. Proceso para la extracción de alfalfa.

Fuente: Elaboración propia.

- Corte: Se realiza manualmente (uso de una hoz de hierro) y con maquina (moto guadaña).
- Recolección: Una vez realizado el corte de la alfalfa los trabajadores recogen la hierba y lo colocan en sogas o cabos y a una cierta cantidad se realiza la atadura de este producto.
- Levantamiento: Los trabajadores no tienen conocimiento acerca de las posturas adecuadas para el levantamiento de carga.
- Transporte: No existe ningún mecanismo para transportar la carga, los empleados lo realizan de forma manual siguiendo trayectorias cerca de 100 a 250 metros dependiendo de la zona de corte en la que se encuentre.
- Descarga: Por lo general al no ser un objeto frágil, el trabajador deja caer la carga desde la altura de su espalda u hombro.

Como se indica en la cuarta posición del proceso de extracción de alfalfa, en el transporte las distancias son grandes que deben caminar los trabajadores con la carga, lo cual produce fatiga que aumenta con la presencia de diferentes factores climáticos como un día caluroso, lluvioso, etc. Ante esta situación, para obtener la información completa de la actividad, se registra por medio de tablas la información de cada empleado de la Finca y se aplica un método para evaluar las posturas.

3.2 Zonificación del lugar de estudio

3.2.1 Ubicación.

La Finca Cielo Abierto se encuentra ubicado en la provincia de Cañar, perteneciente al cantón Biblián y a la comunidad de San Javier la Esperanza y posee las siguientes coordenadas: -2.735428, -78.878544.

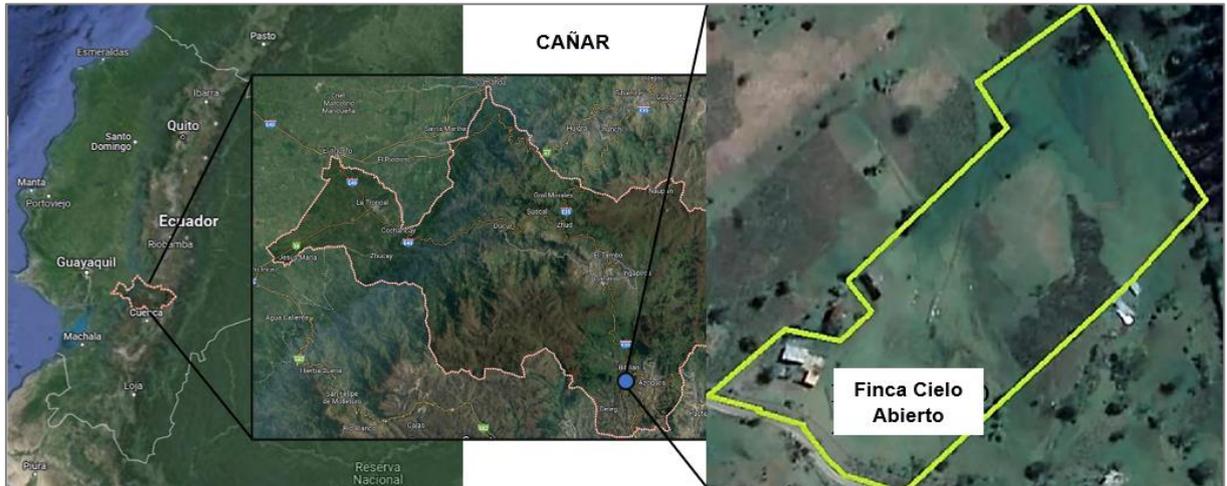


Figura 17. Ubicación de la Finca Cielo Abierto.

Fuente: Tomado de (Google Earth, 2023).

3.2.2 Características del lugar.

La FCA posee una extensión de terreno alrededor de 2.5 hectáreas, todo el terreno está formado por pendientes irregulares, en la parte superior se encuentra la carretera principal y en la parte inferior se encuentran ubicados la mayor parte de los cultivos. La finca se divide de la siguiente manera:

- Caminos: Existen 2 caminos principales, el más pequeño tiene una longitud de 91 m y ancho de vía de 1 y 2.3 m, en cambio el más largo tiene una distancia aproximada de 200 m con ancho de vía que varía en 1 y 2 m.
- Zonas de corte: Existen 8 zonas para el corte semanal de alfalfa y se ubica la mayoría en la parte inferior del terreno.
- Cultivos de verduras: Corresponde una pequeña área de terreno.

En la figura 18 se indica la división de zonas de cultivos, caminos, delimitación de la finca y trayectorias de los trabajadores y el prototipo.

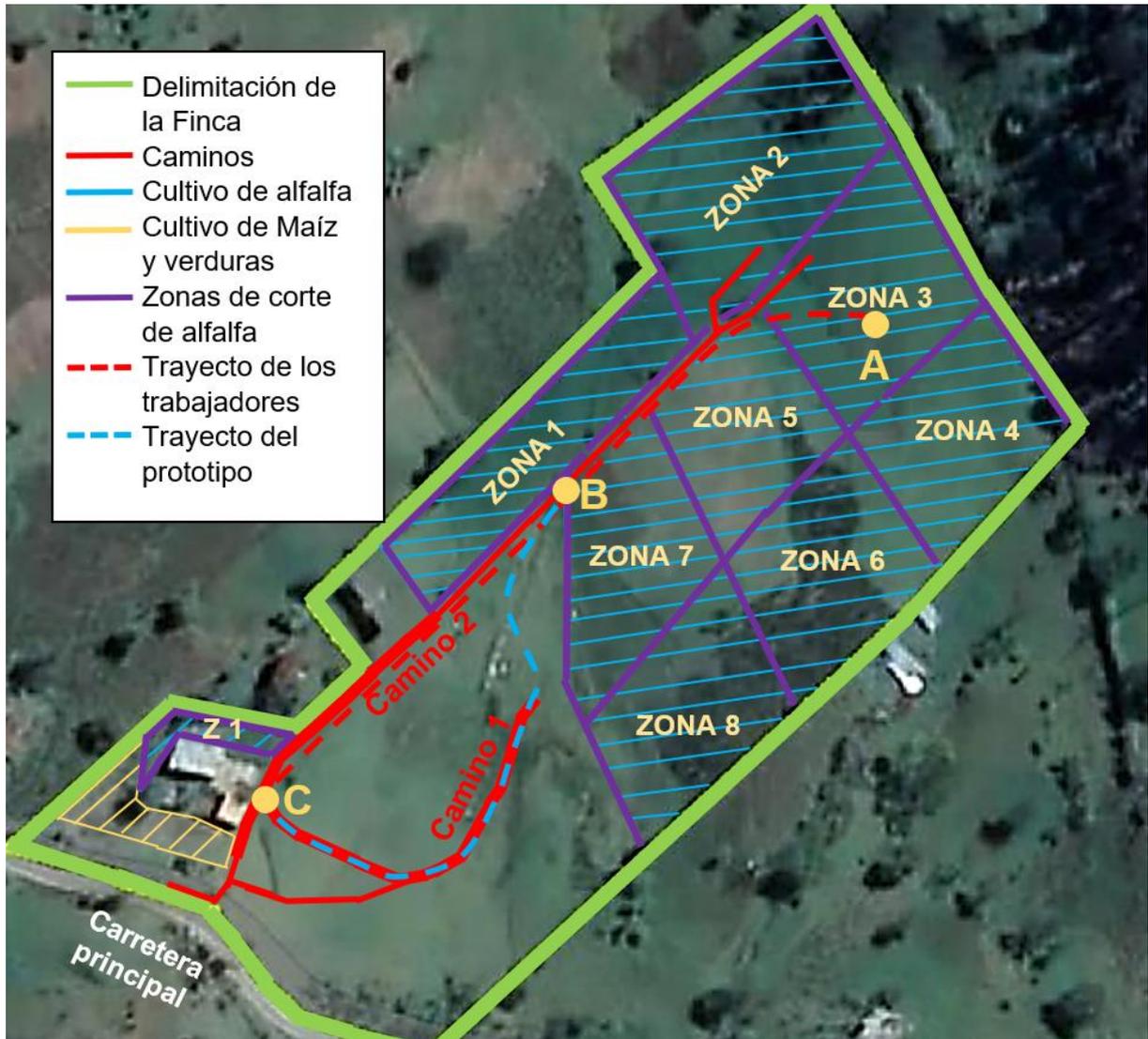


Figura 18. Áreas de cultivo de la Finca.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 18, la mayor parte de los cultivos es de alfalfa que se subdivide en 8 zonas para evitar consumir el total del cultivo en un periodo corto, es por ese motivo que el corte de alfalfa en cada zona dura un periodo de una semana, esto incluye extracción de cargas para el consumo de sus animales y comercialización. El corte de alfalfa comienza desde la zona 1 hasta la zona 8, lo que corresponde una cantidad de 8 semanas, es decir 2 meses, siendo el tiempo necesario para que la alfalfa crezca nuevamente y mantener un ciclo constante de extracción de este producto.

En este estudio se va a tomar a la zona de corte más alejada (zona 3) para realizar todas las pruebas de campo y la evaluación de riesgos. Por lo tanto, el traslado de carga va a ser desde el punto A hasta en punto C que únicamente lo completan los trabajadores de la finca mientras que el prototipo tiene como trayectoria desde el punto B hasta el punto C.

Condiciones de cada zona.

En la tabla 7 se muestra las características del terreno de cultivo de alfalfa correspondiente a cada zona de corte. La obtención de los ángulos del terreno es mediante el uso del instrumento de medición de gran precisión 'teodolito'.

Tabla 7. Características de las 8 zonas del cultivo de alfalfa.

Zona	Pendiente (Ángulo promedio)	Área (m²)	Tipo de suelo
1	22°	1895.5	Arcilloso
2	33°	2525.3	Arcilloso
3	11°	1825.7	Arcilloso
4	10°	1848.5	Arcilloso
5	28°	1675.8	Arcilloso
6	25°	1835.9	Arcilloso
7	16°	1734.6	Arcilloso
8	17°	1814.5	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia.

Condiciones de los caminos.

En la tabla 8 se indican las características de los caminos de la Finca y por el ángulo de pendiente mayor se eligió al primer camino como la mejor opción para la ruta de este prototipo.

Tabla 8. Características de los 2 caminos de la Finca.

Camino	Pendiente (Ángulo mayor)	Longitud (m)	Tipo de suelo
1	17°	91.20	Arcilloso sin llano
2	22°	200.81	Arcilloso con llano

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Enfoque de la investigación

El presente estudio se basa en el modelo 'observacional experimental' y para ello se sigue un proceso en la que se conoce la situación actual de los trabajadores de la FCA mediante la aplicación de una tabla para el registro de datos (Análisis de trabajo), identificando de esa manera las dificultades que presentan en las actividades de transporte de carga pesada y movimiento repetitivo. Luego se realiza un comparativo con la implementación del robot de

carga y de esa manera evaluar la reducción de tareas de los trabajadores. Esto permitirá validar si el robot cumple con el objetivo de investigación.

3.3.1 Variables.

En este apartado se indica las variables de investigación que se obtiene en base a las actividades de los trabajadores de la FCA, lo que servirá para recopilar información que se pueda cuantificar y de esa manera conseguir resultados que demuestren los cambios con la implementación del robot móvil.

3.3.1.1 Identificación de variables.

Las variables que se identifican en función a la problemática de enfermedades ocupacionales son el transporte de carga pesada y movimientos repetitivos. Mediante un análisis de trabajo se determinan los procesos que se realizan para el cumplimiento de la actividad. En la tabla 9 se indica los factores que se miden con respecto a las dos variables identificadas.

Tabla 9. Factores de medición en las variables de transporte de carga y movimiento repetitivo.

Transporte de carga		
Zona Corporal	Tipo de variable	Factor de Medición
Cuerpo entero	Nominal	- Posición del cuerpo con respecto a la carga
Cuerpo entero	Intervalo	- Distancias horizontales - Masa de la carga
Movimientos repetitivos		
Zona Corporal	Tipo de variable	Factor de Medición
Cuerpo entero	Nominal	- Postura de trabajo - Condición medioambiental
Cuerpo entero	Intervalo	- Tiempo de trabajo sin pausa - Número de veces del movimiento repetitivo semanal

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2 Proceso de medición.

El proceso de medición se divide en dos partes importantes, la primera es la aplicación de un análisis de trabajo para evaluar aspectos individuales de cada trabajador, condiciones de trabajo y los efectos de trabajo se analiza con la aplicación del método del Sistema de Análisis de Trabajo Ovako (OWAS) para evaluar los riesgos derivados de mantener posturas forzadas, todos estos resultados del análisis de trabajo serán de utilidad para elaborar una matriz de riesgos considerando frecuencia en la que realizan la actividad e impactos relacionados con la normativa de manipulación manual de carga. Luego de todo el anterior análisis, como segunda parte se realiza una tabla comparativa de los resultados con la aplicación del robot.

Análisis de trabajo.

Este instrumento se encuentra dentro de la técnica observacional, la información se determina a partir de la observación de los procesos de trabajo en el lugar de estudio. En este punto se evalúan las actividades de la FCA relacionados con el transporte manual de carga, siguiendo el esquema de la figura 19.

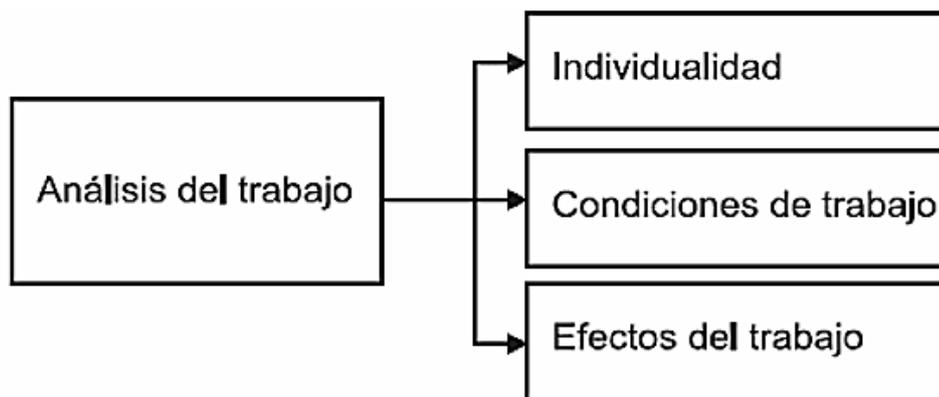


Figura 19. Partes del análisis del trabajo.

Fuente: Imagen tomada de (Borges et al., 2012)

- a) El análisis individual se realiza a cada trabajador de la finca, con el fin de conocer aspectos relacionados con la edad, género, distancias, tiempo y número de veces que realiza la actividad. En la tabla 10 se presenta el cuadro de análisis para registrar la información de género masculino (M), género femenino (F), indicar zona de corte (Z1-8) en la que desarrollan sus actividades, indicar distancias y tiempos en los caminos (C1-2).

Tabla 10. Factores para el análisis individual.

ANÁLISIS INDIVIDUAL																					
# Trabajador	Edad (años)	Género		Transporte de carga																Cantidad de cargas promedio transportadas semanalmente (u)	
		M	F	Distancias horizontales (m)																	
				Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7		Z8			
				C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
# Trabajador	Edad (años)	Género		Movimientos repetitivos																Número de veces que realiza el movimiento (semanal)	
		M	F	Tiempo promedio del recorrido (minutos) por zona de corte																	
				Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7		Z8			
				C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	Ascender camino	Descender camino

Nota. Fuente: Elaboración propia.

- b) Para el análisis de las condiciones de trabajo se analiza el proceso que conlleva realizar la extracción de las cargas de alfalfa, iniciando desde el corte hasta la descarga (lugar de destino).

Tabla 11. Factores de análisis para la condición de trabajo.

Análisis de condiciones de trabajo														
Actividades	Número de participantes	Tamaño promedio de carga (cm)	Masa promedio de la carga (kg)	Método utilizado para el cumplimiento de la actividad		Desempeño de actividades			Condición climática					
				Implementación de maquinaria	Se realiza de forma manual	Mañana	Tarde	Noche	Lluvioso	Nublado	Soleado	Ventoso	Parcialmente Nublado	
Corte														
Recolección														
Levantamiento														
Transporte														
Descarga														

Nota. Fuente: Elaboración propia.

- c) Efecto de trabajo: Método Ovako Working Analysis System (OWAS)

El método OWAS parte de la observación de distintas posturas adoptadas por un trabajador durante la actividad laboral. Las posturas reconocidas son clasificadas en 252 combinaciones según posición de espalda, brazos y piernas, además se considera la magnitud de carga (kg) mientras el trabajador adopta cualquier combinación de posturas (Diego-Mas, 2015). La aplicación de este método seguirá los siguientes pasos:

Paso 1: Determinar si la evaluación es simple o multifase: En la actividad de transporte de carga solo se requiere una evaluación simple.

Paso 2: Establecer tiempo de observación continua: El tiempo necesario para la evaluación del transporte diario es de 25 minutos (transporte de 6 cargas) y en la extracción para la comercialización es de 4 horas con 10 minutos (Tiempo necesario en trasladar 46 cargas a cargo de los trabajadores desde la zona 3).

Paso 3: Frecuencia de registro de la postura: Cada 30 segundos.

Paso 4: Se observa y registra las diferentes posturas del trabajador, en base a las siguientes tablas para espalda, brazos, piernas y magnitud de carga.

Tabla 12. Código según la posición de la espalda, brazos y piernas.

Posición de Espalda			
Posición	Descripción	Representación	Código
Espalda derecha	El eje del tronco de la persona está alineado con el eje caderas-piernas.		1
Espalda doblada	Puede considerarse que ocurre para inclinaciones mayores de 20°.		2
Espalda con giro	Existe torsión del tronco o inclinación lateral superior a 20°.		3
Espalda doblada con giro	Existe flexión del tronco y giro (o inclinación) de forma simultánea.		4
Posición de Brazos			
Posición	Descripción	Representación	Código
Dos brazos bajados	Ambos brazos de la persona están situados bajo el nivel de los hombros.		1

Un brazo bajado y el otro elevado	Un brazo de la persona está situado bajo el nivel de los hombros y el otro, o parte del otro, está situado por encima del nivel de los hombros.		2
-----------------------------------	---	---	---

Los dos brazos elevados	Ambos brazos (o parte de los brazos) de la persona están situados por encima del nivel de los hombros.		3
-------------------------	--	---	---

Posición de las piernas			
Posición	Descripción	Representación	Código
Sentado	La persona permanece sentada.		1
De pie con las dos piernas rectas	Las dos piernas rectas y con el peso equilibrado entre ambas.		2
De pie con una pierna recta y la otra flexionada	De pie con una pierna recta y la otra flexionada con el peso desequilibrado entre ambas.		3
De pie o en cuclillas con las dos piernas flexionadas y el peso equilibrado entre ambas	Puede considerarse que ocurre para ángulos muslo-pantorrilla inferiores o iguales a 150°.		4
De pie o en cuclillas con las dos piernas flexionadas y el peso desequilibrado	Puede considerarse que ocurre para ángulos muslo-pantorrilla inferiores o iguales a 150°.		5
Arrodillado	La persona apoya una o las dos rodillas en el suelo.		6
Andando	La persona se encuentra caminando		7

Fuente: Tabla adaptada de (Diego-Mas, 2015).

La tabla número 13 presenta las magnitudes de carga (kg) que servirá para codificar las posturas de los trabajadores.

Tabla 13. Código para la carga soportada por el trabajador.

Carga o fuerza		
Carga (kg)	Representación	Código
Menos de 10		1
Entre 10 y 20		2
Mayor de 20		3

Fuente: Tabla adaptada de (Diego-Mas, 2015).

Paso 5: Se codifica las posturas observadas de los trabajadores de acuerdo con lo indicado en las tablas 12 y 13.

Paso 6: Se identifica la categoría de riesgo a cada postura identificada, siguiendo las tablas 14 y 15. En la tabla 14 las filas representan los códigos de posturas para espalda y brazos, en cambio las columnas representan a las posturas de piernas y carga.

Tabla 14. Categorías de riesgo por códigos de postura.

		Piernas			1			2			3			4			5			6			7		
		Carga																							
Espalda	Brazos	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3		
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	2	3	4		
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1		
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	1		
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1		
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4		
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4		
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4		

Fuente: Tabla obtenida de (Diego-Mas, 2015)

En la Tabla 15 se presenta la escala de color según la categoría de riesgo, siendo la categoría 1 la de menor riesgo y la categoría 4 la que representa el mayor riesgo.

Tabla 15. Categorías de riesgo, efectos y acciones correctivas.

Categoría de riesgo	Efecto de la postura	Acción requerida
1	Postura normal y natural sin efectos dañinos en el sistema musculoesquelético.	No requiere acción.
2	Postura con posibilidad de causar daño al sistema musculoesquelético.	Se requieren acciones correctivas en un futuro cercano.
3	Postura con efectos dañinos sobre el sistema musculoesquelético.	Se requieren acciones correctivas lo antes posible.
4	La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema musculoesquelético.	Se requiere tomar acciones correctivas inmediatamente.

Fuente: Tabla obtenida de (Diego-Mas, 2015).

Paso 7: Se calcula el porcentaje de repeticiones o frecuencia relativa de las posturas de espalda, brazos y piernas. Se utiliza la siguiente tabla para conocer el nivel de riesgo de las posiciones.

Tabla 16. Categoría de riesgo de las posiciones del cuerpo humano de acuerdo con su frecuencia relativa.

Frecuencia Relativa		<=10%	<=20%	<=30%	<=40%	<=50%	<=60%	<=70%	<=80%	<=90%	<=100%
Espalda	E. Derecha	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	E. Doblada	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	E. Con giro	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
	E. Doblada con giro	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Brazos	Dos brazos hacia abajo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Un brazo elevado y el otro abajo	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	Dos brazos elevados	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
Piernas	Sentado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	De pie	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	Sobre una pierna recta	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	Sobre rodillas flexionadas	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
	Sobre una rodilla flexionada	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
	Arrodillado	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
	Caminando	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2

Fuente: Tabla obtenida de (Diego-Mas, 2015).

Paso 8: Finalmente, con la implementación del robot existirá cambios que se deben evaluar nuevamente con el método OWAS, lo que servirá para conocer si efectivamente se redujo el riesgo en la actividad de transporte de carga.

Comprobación de resultados.

Luego de realizar todo el análisis de trabajo, se realiza gráficas y tablas comparativas de los resultados del análisis de trabajo con los cambios obtenidos al implementar el robot prototipo en cuanto a la reducción de riesgos y número de veces que se redujo el transporte manual.

3.3.2 Selección de instrumentos y equipos.

Los instrumentos son para la medición de las 2 variables identificadas y hacen referencia a las hojas con las tablas de análisis de trabajo, el método de evaluación ergonómica OWAS y matriz de riesgos, en cambio, los equipos hacen relación al teodolito (medición ángulos del terreno) y a los componentes necesarios del prototipo (Electrónica). De acuerdo con la metodología planteada los instrumentos y equipos necesarios se reparten por el modelo de la metodología como se indica en la tabla 17.

Tabla 17. Instrumentos y equipos de la metodología de Investigación.

Instrumentos y Equipos	
Modelo	Descripción
Observacional	- Indumentos: Tablas de Análisis de trabajo, Método OWAS y matiz de riesgos.
Experimental	- Equipos: Componentes del prototipo (Electrónica), teodolito (Medición de ángulos zonas de cultivo y caminos). - Instrumento: Graficas y Tabla comparativa de resultados de la medición.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Diseño conceptual

En lo que corresponde a la parte experimental de este modelo metodológico, en este apartado se indica todo lo que involucra la realización de las cuatro funciones del robot (Movilidad, Orientación, evasión de obstáculos y descarga), además se indica los Softwares seleccionados para el diseño y programación del robot.

3.4.1 Movilidad.

El prototipo se basa en un sistema de movilidad de tipo Ackerman que consisten en 2 llantas posteriores tractoras y 2 llantas delanteras para la dirección. El mecanismo se divide en 2 partes, la primera un sistema de engranajes con cadena y la segunda es un mecanismo diferencial.

Tracción.

Se requiere de dos motores de corriente continua de 12 V (motor para pluma de vehículo). Los motores van acoplados al sistema de engranajes reductor, además, por su mecanismo interno de tornillo sin fin (con engranaje) una vez que se detienen no permite que gire a ninguna dirección lo que posibilita a tener la función de frenado. La velocidad del robot se limita a una baja de 38 rpm y una velocidad máxima de 54 rpm.

Direccional.

Se requiere de un motor DC de 12V que se acopla a un mecanismo reductor en posición horizontal y su funcionamiento es similar a la de un servo motor. Por último, para mejorar la

movilidad de la direccional es necesario un diferencial ubicado en el eje de las llantas posteriores, su función es cambiar la velocidad de las llantas posteriores del robot cuando realice giros.

3.4.2 Orientación.

La orientación del robot se realiza por GPS, utilizando el módulo NEO-M8M se obtiene las coordenadas de la trayectoria que va a seguir el robot y además con el módulo MPU6050 se determina los ángulos de Azimut de la trayectoria, toda esta información se la graba a una tarjeta SD.

3.4.3 Detección de objetos.

Para la detención de objetos estáticos o móviles se hace uso de sensores de distancia, infrarrojo y ultrasonido. Los sensores estarán posicionados en la parte delantera-posterior (ultrasonidos), en los laterales (infrarrojo) y en la parte inferior (infrarrojo). La lectura de distancia recibirá el Arduino y para que el robot rodee al obstáculo en la programación se coloca una distancia de seguridad para evadir o detenerse.

3.4.4 Descarga.

Como último paso en la automatización del robot, cuando llegue al punto final de la trayectoria, la movilidad se detendrá y se acciona un motor para el empuje de la carga. El mecanismo que se utiliza se basa un bobinador, es decir, un eje rotatorio acoplado a un motor de 12V de corriente continua y una cuerda sujeta al eje se enrolla para empujar la carga fuera de la plataforma del robot.

3.5 Programas para el diseño y automatización

3.5.1 Software para el diseño.

AutoCAD.

Es un programa para diseñar bocetos, dibujos, planos estructurales y piezas. Con este programa se diseña en 2D la forma del chasis y carrocería del robot móvil, se establecen medidas y se generan planos con las diferentes vistas del robot.

SketchUp.

Es un programa de diseño 3D, con este programa se modela en tres dimensiones la estructura del chasis y la carrocería del robot, además se establece espacios para la ubicación de los diferentes componentes.

Proteus.

Se lo utiliza para el diseño de esquema electrónicos, simulación de componentes electrónicos, depuración de errores y para la construcción de placas (visualización 3D y diseño del circuito impreso).

3.5.2 Software para la programación

Arduino IDE.

El IDE de Arduino o entorno de desarrollo integrado es una herramienta multiplataforma que permite desarrollar, depurar y grabar códigos de manera sencilla desde una computadora a la placa de Arduino (Peña, 2020). El programa o proyecto que contiene el listado de instrucciones (lenguaje C++) se lo conoce como sketch en Arduino.

Proton IDE.

El Software Proton IDE (Entorno de Desarrollo Integrado de Proton), es un compilador que utiliza un lenguaje de programación rápido y sencillo (Basic) para programar distintas familias de microcontroladores PIC. Luego de terminar con la programación, se lo carga a un microcontrolador y el PIC queda listo para conectarse al hardware (Mohammed et al., 2019).

3.6 Desarrollo de la propuesta

El prototipo es un robot con un mecanismo de movilidad conformada por llantas, la cual posibilita a subir y desplazarse por zonas desniveladas y desiguales, las llantas posteriores incorporados con motores para el empuje y tracción, en cambio, las llantas delanteras se encuentran sujetas a un mecanismo para el cambio de dirección. Para el transporte de carga el robot dispone de una plataforma con suficiente espacio para la colocación del producto agrícola y para el proceso de descarga se dispone de un motor incorporado a un sistema que realiza el empuje de carga una vez que el robot allá llegado al final de su trayectoria. La figura 20 indica el esquema de pasos para la elaboración del prototipo.

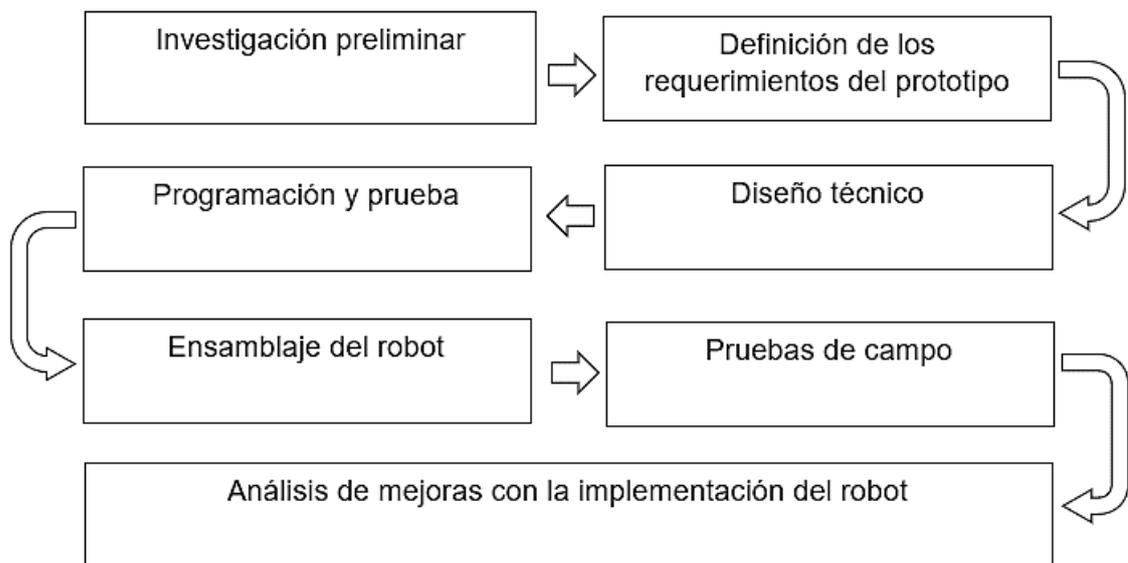


Figura 20. Fases para la construcción del prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

Fase 1, Investigación preliminar: En este apartado se hace uso de diferentes fuentes bibliográficas de la biblioteca virtual de la Universidad Católica de Cuenca, entre otras, para generar un mejor análisis del tema y realización de síntesis de estudios relacionados.

Fase 2, Definición de los requerimientos del prototipo: Determinar los componentes necesarios que va a requerir el robot para su control y automatización, en base a las necesidades de lugar y a los programas de Arduino IDE y Proton IDE.

Componentes.

- Estructura: material resistente para la construcción del chasis y carrocería (metal-madera)
- Movilidad: Motores y mecanismo para mejorar la fuerza del robot (sistema de engranajes).
- Electrónica: Comprendido por sensores de distancia (Detección de objetos), módulo GPS (Ubicación) y giroscopio (Ángulos de giro).

Fase 3, Diseño técnico: Mediante el programa de AutoCAD se genera los planos de dimensiones del robot y con el programa 3D SketchUp se modela toda la estructura del robot con la ubicación de cada uno de sus componentes.

Fase 4, Programación y prueba: Se hace uso de los programas Proton IDE y Arduino IDE para el desarrollo del software de control del robot, en la que se va a establecer todas las

acciones necesarias como el seguimiento de trayectoria, evasión de obstáculos y sistema de control remoto.

Pruebas del robot.

- Espacio de movilidad: Se realiza pruebas de movilidad únicamente del chasis con espacios planos secos, húmedo y en llano. Luego pruebas en pendientes con diferentes ángulos en terreno.
- Movilidad con Carga: Se hace pruebas con carga de 25kg (Máxima carga de manipulación para hombres) en terreno plano y pendientes.
- Detección: Se verifica si el robot evade a un obstáculo estático y en movimiento con la distancia de programación.
- Ubicación y descarga: Se realiza la grabación de rutas para que siga el robot y finalmente en el punto de llegada se verifica si el motor para el empuje de la carga se activa.

Fase 5, Ensamblaje del robot: Armar todas las partes del robot siguiendo los planos de diseño, como esquemas de conexión y haciendo que sea proporcional la distribución de sus componentes sin afectar la estabilidad de este.

Distribución del robot: Se compone de dos partes, chasis y carrocería.

- Chasis: compuesto de una estructura por tubos rectangulares de acero, sistema de tracción con engranajes, sistema de dirección con reductor y encima se encuentra espacios cubiertos para la ubicación de la electrónica, motores, baterías y mecanismo de descarga.
- Carrocería: Es la cubierta principal de toda la estructura y mecanismo del robot, se conforma de varilla soldada para dar la forma y se cubre con madera de menor grosor para reducir la masa total.

Fase 6, Pruebas de campo: Se realiza pruebas de funcionamiento en la finca Cielo Abierto, en la actividad de transporte de producto agrícola (carga de alfalfa) y de esa manera determinar el comportamiento del robot en las condiciones del lugar.

Las pruebas en el lugar de trabajo consisten en:

- Verificar si el robot es capaz de subir en las condiciones del camino seleccionado (camino 1).
- Grabar la trayectoria del camino seleccionado.

- Hacer que el robot siga la ruta grabada y se observa la funcionalidad de los sensores de distancia.
- Hacer que el robot al llegar al final del recorrido accione el motor para la descarga y luego regrese nuevamente al punto inicial.
- Finalmente, hacer que el robot realice todo el proceso de seguimiento de trayectoria con la carga de alfalfa.

Fase 7, Análisis de mejoras: Por último, se analiza el cambio que se llega a tener con la implementación del robot en temas de salud por carga pesada y repetitiva, mediante registros de las actividades de los trabajadores.

El análisis se realiza de la siguiente manera:

- Con los resultados del análisis de trabajo se verifica si el riesgo se redujo a los trabajadores de la finca.
- Mediante tablas y gráfica se compara resultados con y sin el prototipo.

A continuación, en la figura 21 se presenta un diagrama de flujo con el proceso de desarrollo de la metodología de investigación.

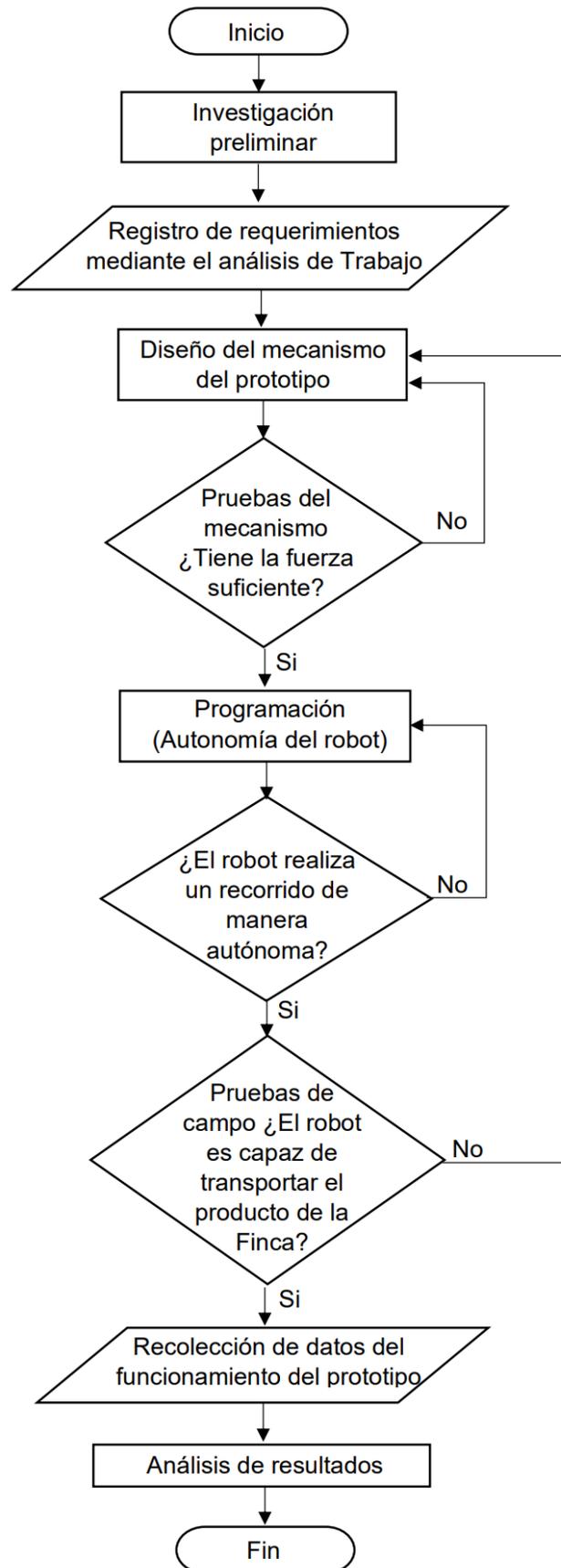


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de la metodología de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT PROTOTIPO

4.1 Diseño mecánico

En este apartado se presenta los diseños de los mecanismos seleccionados para la tracción, direccional y descarga del robot, considerando las especificaciones de los motores que se implementa. En la tabla 18 se presenta la característica del motor DC para la tracción y direccional.

Tabla 18. Características del motor DC.

Características	
Voltaje nominal (V_n)	12V
Corriente nominal (I_n)	1.5 A (Velocidad baja)
Corriente nominal (I_n)	2.5 A (Velocidad rápida)
Velocidad nominal 1	54 RPM
Velocidad nominal 2	38 RPM
Torque máximo (T_{max})	6 Nm (Max), 60kg-cm
Temperatura de operación (T°)	-20°C_60°C
Resistencia (Ω)	4.8 Ω

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Cálculo del torque de los motores.

Lo primero que se debe realizar para este cálculo es definir los parámetros o características en base al lugar de trabajo y a las necesidades para que la movilidad del robot sea el más adecuado y cumpla con su propósito.

Tabla 19. Parámetros necesarios para el cálculo del torque.

Parámetros	
Masa del robot sin carga.	70 kg
Masa de carga.	55 kg
Número de ruedas motrices	2
Aceleración lineal del robot	0.15 m/s ²
Ángulo de pendiente máximo (Primer camino)	17°
C_{rr} (Superficie: Barro medio)	0.090

Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que se va a realizar es calcular la resistencia a la rodadura y para ello es necesario sumar la masa del vehículo (70kg) y la masa de la carga (55kg). Con la suma de las dos masas se podrá obtener el torque necesario cuando el robot esta con carga. La masa de las cargas de alfalfa se encuentra alrededor de 25 kg por ese motivo se realiza el cálculo para que el robot sea capaz de transportar 2 cargas y 5kg más para mayor confianza.

$$GVW = m * g = 125 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 1226.25 \text{ N}$$

$$RR = GVW * C_{rr} = 1226.25 \text{ N} * 0.090 = 110.362 \text{ N}$$

Resistencia al grado de inclinación:

$$GR = GVW * \sin\theta = 1226.25 \text{ N} * \sin(17^\circ) = 358.52 \text{ N}$$

Fuerza de aceleración:

$$FA = m * a = 125 \text{ kg} * 0.15 \text{ m/s}^2 = 18.75 \text{ N}$$

Fuerza de tracción total:

$$TTE = RR + GR + FA = 110.362 \text{ N} + 358.52 \text{ N} + 18.75 \text{ N} = 487.632 \text{ N}$$

Torque:

$$\tau = \frac{TTE * r_{wheel}}{n} = \frac{478.632 \text{ N} * 0.155 \text{ m}}{2} = \frac{75.58 \text{ Nm}}{2} = 37.79 \text{ Nm}$$

El torque necesario del motor para cada rueda motriz es de 37.79 Nm lo que significa un total de 75.58 Nm. Entonces, los motores seleccionados de acuerdo con sus características no tienen el suficiente torque es por ello necesario incluir un sistema reductor para alcanzar o superar el torque requerido para mover el robot con carga.

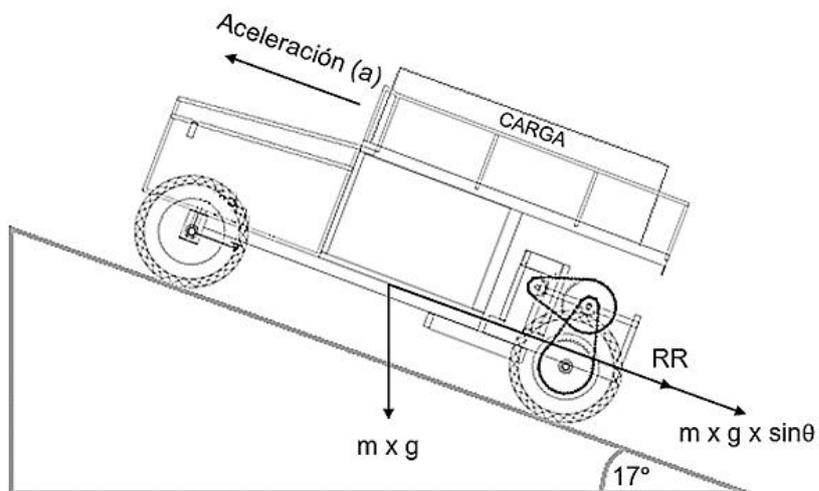


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre del robot móvil con carga.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Mecanismo de tracción.

El mecanismo de tracción está conformado por dos motores DC de 12V y entre estos dos motores hacen girar a un piñón conectado a una corona por medio de una cadena, a esto se le conoce como un mecanismo reductor y este primer reductor se conecta a otro con características similares, formando de esa manera un sistema de transmisión compuesta con la finalidad de aumentar el torque del robot.

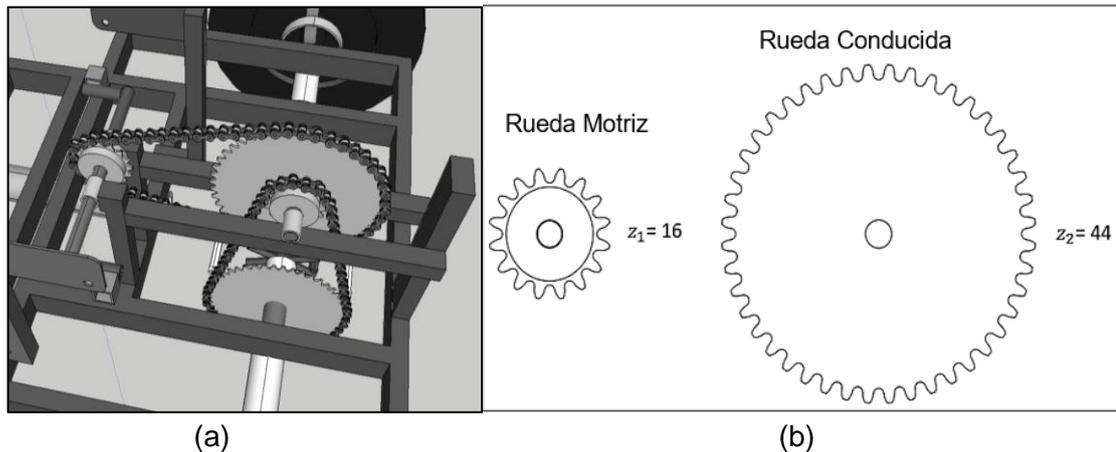


Figura 23. Mecanismo de transmisión compuesta. (a) Diseño 3D en Sketchup del mecanismo compuesto de 2 reductores. (b) Número de dientes de la rueda motriz y conducida.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la Velocidad.

Lo primero que se realiza es el cálculo de la relación de transmisión y para ello es necesario el número de dientes de la rueda motriz (piñón) y de la conducida (corona) de cada sistema reductor. Los 2 reductores tienen la misma cantidad de dientes tanto en la rueda conductora como la rueda motriz, por lo tanto, es igual en cada caso la relación de transmisión.

$$i_1 = i_2 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{16}{44} = 0.3636$$

Luego se obtiene la velocidad de salida, siendo necesario seguir un orden. Primero calcular la velocidad de salida del primer reductor y luego del segundo reductor en base a los resultados del primero. La velocidad inicial de la rueda motriz es de 54rpm (n_1).

- Primer reductor: Se considera la velocidad alta de los motores DC.

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow 0.3636 = \frac{n_2}{54 \text{ rpm}}$$

$$n_2 = 54 \text{ rpm} * 0.3636 = 19.63 \text{ rpm (Velocidad de salida primer reductor)}$$

- Segundo reductor: En este caso el nuevo n_1 es de 19.63 rpm debido a que el piñón se encuentra unido a la rueda conducida del primer reductor.

$$i_2 = 0.3636$$

$$0.3636 = \frac{n_2}{19.63 \text{ rpm}}$$

$$n_2 = 19.63 \text{ rpm} * 0.3636 = 7.14 \text{ rpm}$$

Cálculo del Torque.

Se considera la potencia total entre los 2 motores y las velocidades sin en mecanismo reductor, con un solo reductor y con los 2 reductores. Para el cálculo del torque se aplica la siguiente ecuación (Ünal & Topakci, 2015).

$$T = \frac{P * 9550}{RPM} \quad (11)$$

En donde:

T = Torque (Nm)

P = Potencia eléctrica (kW)

RPM = velocidad (rpm)

La potencia que se considera para los cálculos es de 60 W o 0.06 kW (Velocidad alta), correspondiente a los dos motores para la tracción.

- Torque sin sistema reductor:

$$T = \frac{0.06 * 9550}{54} = 10.611 Nm$$

- Torque con 1 reductor:

$$T = \frac{0.06 * 9550}{19.63} = 29.190 Nm$$

- Torque con 2 reductores:

$$T = \frac{0.06 * 9550}{7.14} = 80.252 Nm$$

Entonces, lo que se puede observar de los resultados del cálculo del sistema de transmisión, se reduce la velocidad inicial de 54 a 7.14 rpm, pero el torque incrementa de 10.611 a 80.252 Nm siendo importante este resultado para que el robot sea capaz de subir con carga las pendientes del primer camino de la finca.

En los cálculos iniciales del torque necesario para cada motor es de 37.79 Nm y en total es de 75.58 Nm, por lo tanto, con el sistema reductor se consigue superar con 4.672 Nm lo cual es favorable para que el robot sea capaz subir la pendiente de mayor ángulo del primer camino, que son 12 m de trayectoria.

4.1.3 Mecanismo de la dirección.

En la dirección se utiliza otro mecanismo reductor, pero en este caso a diferencia del mecanismo de tracción, la posición se encuentra de forma horizontal y la unión entre el piñón y la corona sigue siendo por medio de cadena.

El material utilizado es un engranaje de 18 dientes (piñón), engranaje de 28 dientes (corona) y placas de acero unidas entre sí de forma que realicen un movimiento de izquierda a derecha. En la figura 24 se presenta el diseño del mecanismo para la dirección.

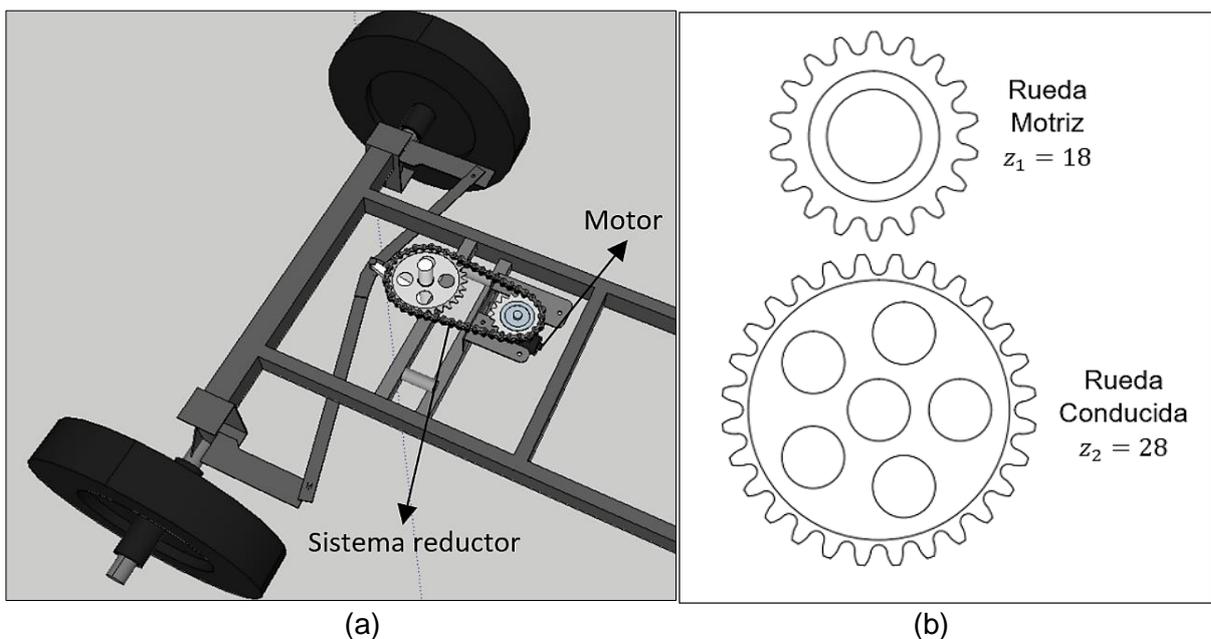


Figura 24. Mecanismo para la dirección. (a) Diseño 3D en Sketchup del mecanismo reductor. (b) Número de dientes de la rueda motriz y conducida.

Fuente: Elaboración propia.

En este mecanismo se hace uso del motor DC de la tabla 18 y se aplica los datos de la velocidad alta. Lo primero es calcular la relación de transmisión.

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{18}{28} = 0.643$$

Luego de conocer la relación de transmisión que es de 0.643, se calcula la velocidad y torque de este sistema.

- Velocidad: Como valor inicial (n_1) se considera los 54 rpm del motor.

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow 0.643 = \frac{n_2}{54 \text{ rpm}} \rightarrow n_2 = 54 \text{ rpm} * 0.643 = 34.72 \text{ rpm}$$

- Torque: La potencia del motor es de 30W que corresponde a 0.03kW.

$$T = \frac{0.03 * 9550}{34.62} = 8.276 \text{ Nm}$$

Este sistema reductor en 1 segundo realiza 0.578 de vuelta que es casi media revolución. El funcionamiento de este mecanismo es el posicionamiento por ángulo que va desde 30° a 150° y se controlado a través de un circuito para la posición por ángulo.

4.1.4 Mecanismo diferencial.

El mecanismo diferencial se encuentra ubicado en el eje de las ruedas posteriores del robot, su función es para que las ruedas izquierda y derecha giren a distintas velocidades cuando el robot tome una curva durante su recorrido. En la figura 25 se presenta el mecanismo diferencial del robot.

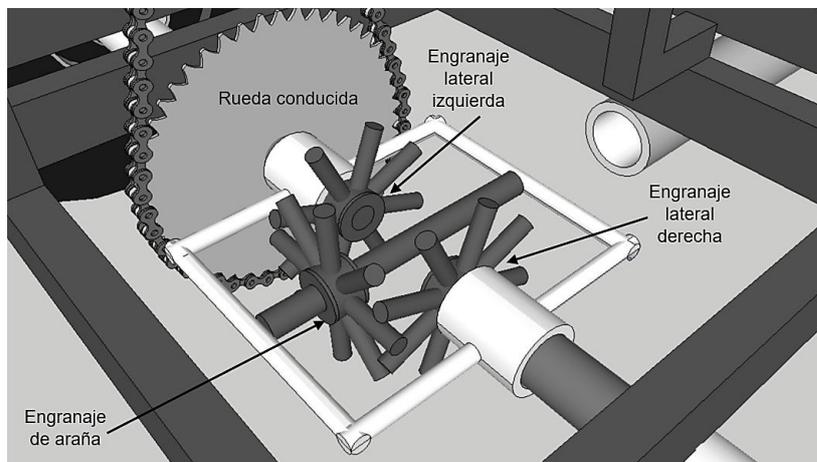


Figura 25. Diseño 3D en Sketchup del mecanismo diferencial.

Fuente: Elaboración propia.

Los engranajes laterales están conectadas directamente a los ejes rotatorios de las llantas, en cambio el engranaje de araña realiza dos movimientos, la primera es girar junto con la rueda conducida del segundo reductor y la segunda es girar sobre su propio eje. Existen 3 casos de funcionamiento de este mecanismo.

- Caso 1: Desplazamiento en línea recta, el engranaje de araña gira junto con la rueda conducida del segundo reductor, pero no gira sobre su propio eje. La velocidad del

engrana lateral izquierdo es igual a la velocidad del engranaje lateral derecho ($n_{Eizquierdo} = n_{Ederecho}$).

- Caso 2: Desplazamiento al frente-izquierdo, el engranaje de araña tiene una rotación combinada junto con la rueda conducida y sobre su propio eje (sentido antihorario). La velocidad del engranaje lateral izquierdo es menor a la velocidad del engranaje lateral derecho ($n_{Eizquierdo} < n_{Ederecho}$).
- Caso 3: Desplazamiento al frente-derecho, el engranaje de araña tiene una rotación combinada junto con la rueda conducida y sobre su propio eje (sentido horario). La velocidad del engranaje lateral izquierdo mayor a la velocidad del engranaje lateral derecho ($n_{Eizquierdo} > n_{Ederecho}$).

La importancia de este diferencial en el robot es para que al momento de tomar una curva en cualquier sentido lo realice suavemente y evitar problemas de tracción ya que sin este mecanismo se genera un arrastramiento de llantas, lo que genera más esfuerzo de los motores.

4.1.5 Eje de unión

El eje de unión junta la estructura del mecanismo de tracción y diferencial con la estructura del mecanismo reductor para la dirección. La función de este eje es para que el robot se adapte mejor a las irregularidades del terreno, por ejemplo, si un objeto se atraviesa en cualquiera de las llantas fuera del límite de detección de los sensores de ultrasonido e infrarrojo, este subirá encima de ella sin afectar la estabilidad de las demás llantas como se observa en la figura 26 (b).

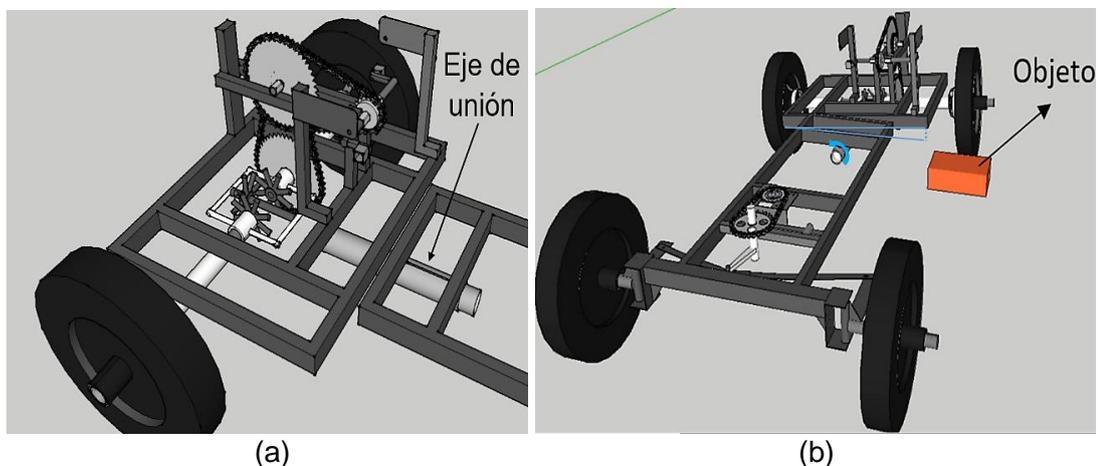


Figura 26. Diseño 3D en Sketchup del eje de unión. (a) eje para la unión de las piezas de tracción y dirección. (b) Adaptación de la estructura frente a un objeto del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Mecanismo de descarga (bobinador).

El mecanismo para la descarga es un bobinador, que consiste en enrollar y desenrollar una cuerda que estará rodeando la plataforma del robot, la función de este mecanismo es para empujar al producto agrícola una vez que el robot ha llegado al final de la trayectoria. Su estructura es desmontable y se ubica en el interior del robot.

El motor que se utiliza para la descarga posee una sola velocidad y un sistema de engranajes en su interior. En la tabla 20 se indican sus características.

Tabla 20. Características del motor de ruedas eléctricas para carros pequeños.

Características	
Voltaje nominal (V_n)	12V
Corriente nominal (I_n)	3.3A
Potencia nominal	40 W
Velocidad inicial	15000 RPM
Velocidad de salida	120 RPM

Fuente: Elaboración propia.

Solo el motor tiene de velocidad inicial 15000 RPM, pero con su caja de engranajes interno la velocidad se reduce a 120 RPM y el torque llega hasta 3.2 Nm.

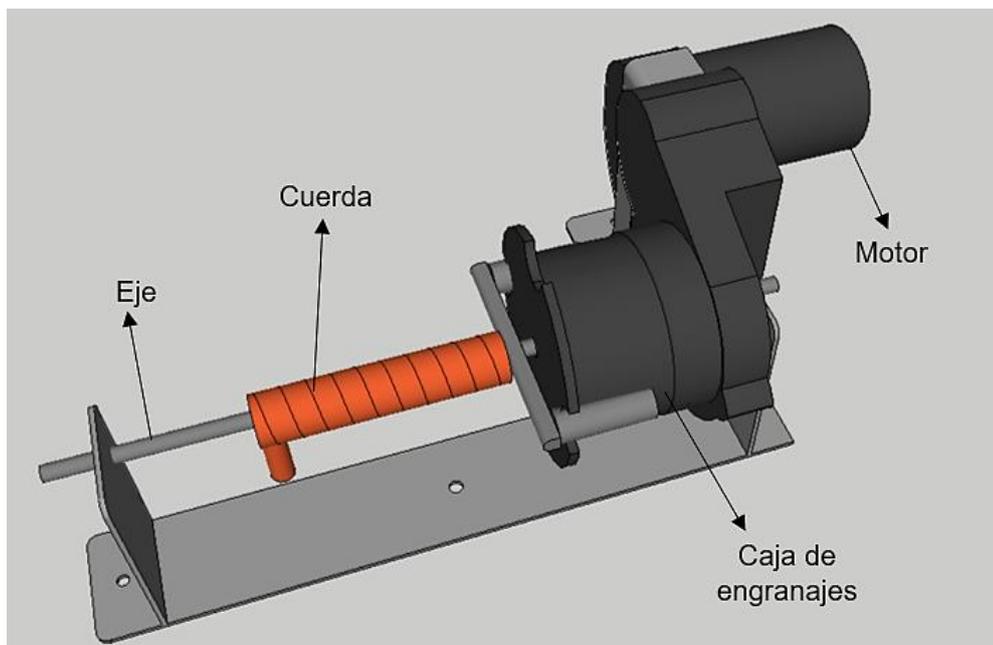


Figura 27. Diseño 3D en Sketchup del mecanismo para la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Diseño de la carrocería.

La estructura formada para la carrocería se divide en dos partes, esto servirá para cubrir las componentes sensibles del robot y un espacio destinado para la colocación de las cargas del producto agrícola.

Primera parte: Es una caja para cubrir el centro del chasis del robot, donde van ubicados todos los componentes eléctricos y encima de la caja se encuentra una plataforma para colocar las cargas de alfalfa. Esta estructura es desmontable, es decir, se lo puede sujetar mediante tornillos en la parte inferior.

Segunda parte: Estructura simple que cubre el mecanismo reductor de la dirección del robot, es desmontable y se conecta directamente con la primera estructura de la carrocería.

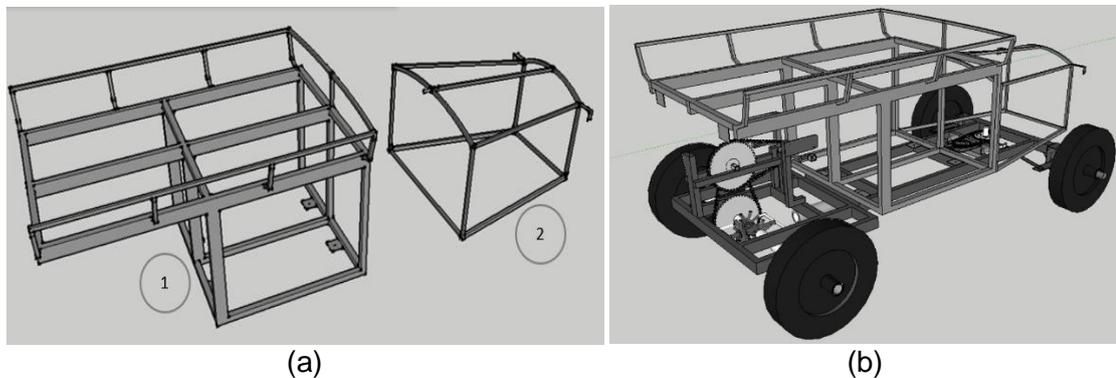


Figura 28. Diseño 3D de la carrocería del robot. (a) Partes de la carrocería. (b) Ubicación de la carrocería sobre la estructura de movilidad.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8 Construcción y pruebas de funcionamiento de los mecanismos.

La construcción de los diferentes mecanismos y estructura del robot se realiza en base a los planos del Anexo 7, el material elegido para la estructura es tubos de acero rectangular por su mayor resistencia y para cubrir la electrónica se utiliza madera delgada.

4.1.8.1 Pruebas del mecanismo de tracción.

El diseño de este mecanismo es con dos reductores para incrementar la fuerza de tracción, las pruebas realizadas para comprobar el torque conseguido por los dos reductores es desplazar al chasis del robot en diferentes espacios con distintas condiciones. Para accionar los motores y realizar las diferentes pruebas se elabora una placa de pruebas (puente H) para cambiar el sentido giro de los motores.

Las pruebas de tracción del robot se realizan con y sin carga, la carga implementada para las diferentes pruebas es de 25kg (Límite máximo de carga que puede transportar una persona).

- Espacio plano: Al chasis se lo coloca en suelos de concreto y de tierra con algunos objetos cerca de las llantas. De estas pruebas como resultado se observó que el chasis es capaz de subir los diferentes objetos sin dificultades.



Figura 29. Pruebas de tracción del chasis de robot en suelo plano. (a) Prueba en concreto con carga de 25kg, la llanta sube un ladrillo. (b) Prueba en suelo de tierra con carga de 25kg, la llanta sube una grada de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

- Espacios con llano: El chasis del robot se desplaza con carga en este espacio, adecuándose a los desniveles del terreno gracias al diseño del eje de unión entre la estructura de tracción y dirección.

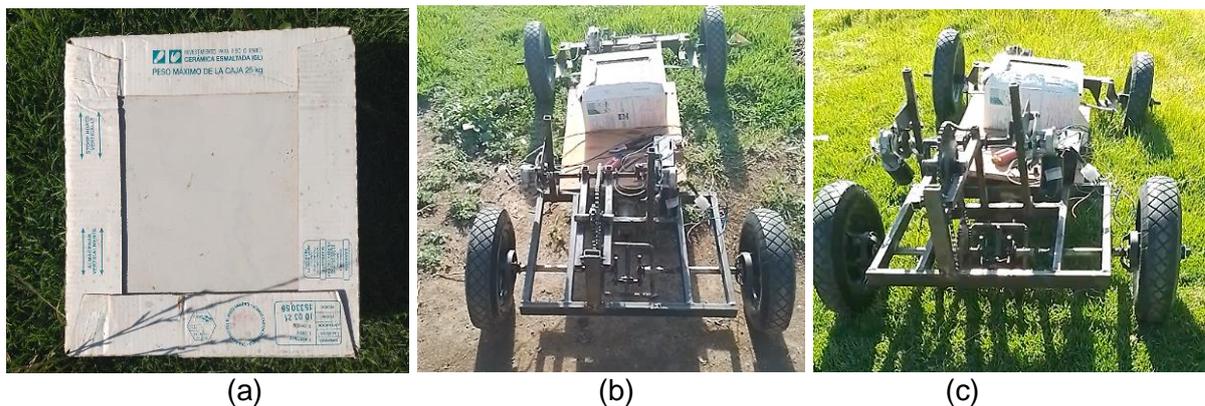


Figura 30. Pruebas de tracción del chasis del robot en llano. (a) Carga de 25kg. (b) Giros de las dos estructuras del chasis para adaptarse a las condiciones del espacio. (c) Pruebas de movilidad en llano.

Fuente: Elaboración propia.

- Espacios con pendientes: Las pruebas realizadas en este espacio se realiza con ángulos de 15° y 25°, en ambientes con y sin llano. De estas pruebas, en el ambiente con menor ángulo de inclinación el chasis del robot se despasó sin complicaciones, mientras que en segundo ambiente con mayor ángulo de inclinación el chasis robot tardo mucho más en subir.

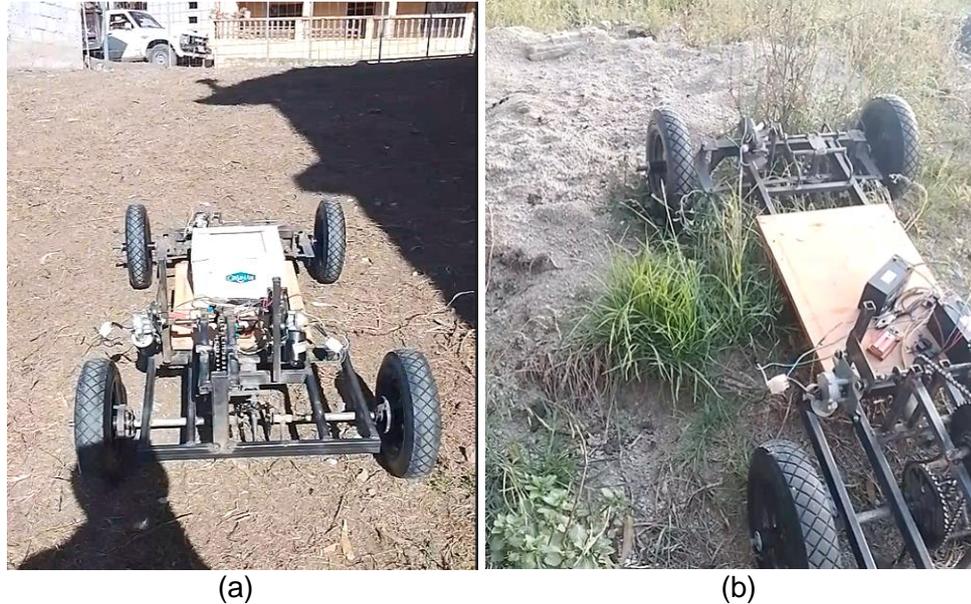


Figura 31. Pruebas de tracción del chasis en pendientes. (a) Prueba con carga (25kg) en pendiente de 15°. (b) Prueba sin carga en pendiente de 25°.

Fuente: Elaboración propia.

- Espacios húmedos: En esta prueba, las llantas se cubrieron de barro dificultando subir en espacios con pendientes debido a menor fricción que representa el suelo húmedo, pero en suelo plano se desplaza con normalidad.



Figura 32. Prueba de tracción del chasis en suelo húmedo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8.2 Carrocería del robot.

La carrocería cubre los espacios donde se ubican las baterías, electrónica y mecanismo reductor correspondiente a la dirección. El mecanismo para la tracción no se lo cubre para evitar que toda la estructura quede rígida, es decir, si la carrocería uniera en una sola pieza a todo el chasis la función del eje de unión para adaptarse a los terrenos quedaría inhabilitada.



Figura 33. Carrocería del robot móvil para transporte de carga y distribución de sus componentes.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diseño del sistema de control y distribución de sensores

En este apartado se presentan los distintos esquemas de control realizados en el software Proteus. En la figura 34 se indica el diagrama general de toda la distribución de la electrónica interna del robot y del control remoto.

Descripción de la electrónica interna del robot: Se compone de 3 placas de control y un módulo Bluetooth HC-05 para la conexión inalámbrica con el control remoto.

- Placa de comunicación serial (PCS): Transferencia de datos entre placas de control.
- Módulo Bluetooth: Conexión inalámbrica bidireccional con el control remoto.
- Placa de encendido (PE): Encender y apagar de forma secuencial.
- Placa de control de motores (PCM): Control de luces y motores.

- Arduino MEGA: Navegación autónoma del robot.

Descripción del control remoto: Dispone de dos modos de uso, el primero es el control remoto y el segundo es la configuración y activación del modo autónomo.

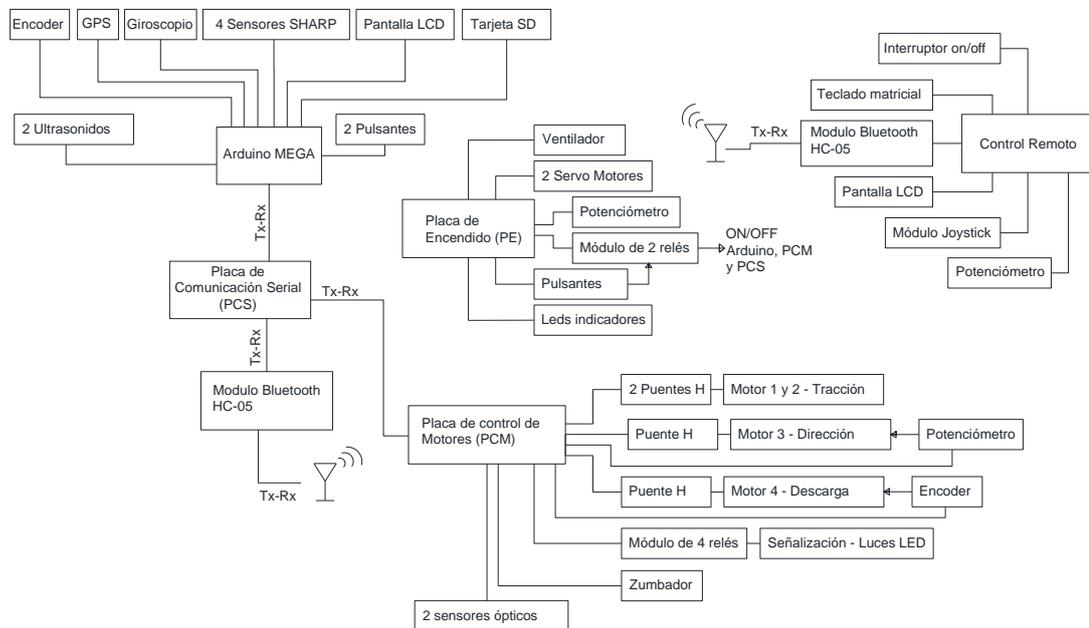


Figura 34. Diagrama de conexión y comunicación de la electrónica interna del robot y control remoto.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Placa de encendido (PE).

Su función es el encendido secuencial ON/OFF del Arduino, la placas PCM y PCS, además posee el sistema de calibración mediante 2 servo motores, el primero como indicador y el segundo para el posicionamiento del sistema giroscópico con ángulos de giro (0 a 180°). Cada parte de esta placa se presenta a continuación:

- Ventilador: Se lo utiliza para evitar el sobrecalentamiento de los reguladores de voltaje, se activa por 15 segundos y se desactiva por 8 segundos para reducir el consumo de la batería.
- Pulsantes: Se compone de dos pulsadores para encender y apagar las distintas placas de control; al primero le corresponde PCM y PCS y al segundo el Arduino.
- Servomotores: Sobre el primer servomotor se encuentra el giroscopio y el segundo servomotor sigue los movimientos del primero; la función de los servomotores es para guiar al giroscopio a un punto de referencia (NORTE).
- Potenciometro: es para ir cambiando la posición de los servomotores.

- Luces de señalización: Luces led para indicar la activación y desactivación de las diferentes placas de control

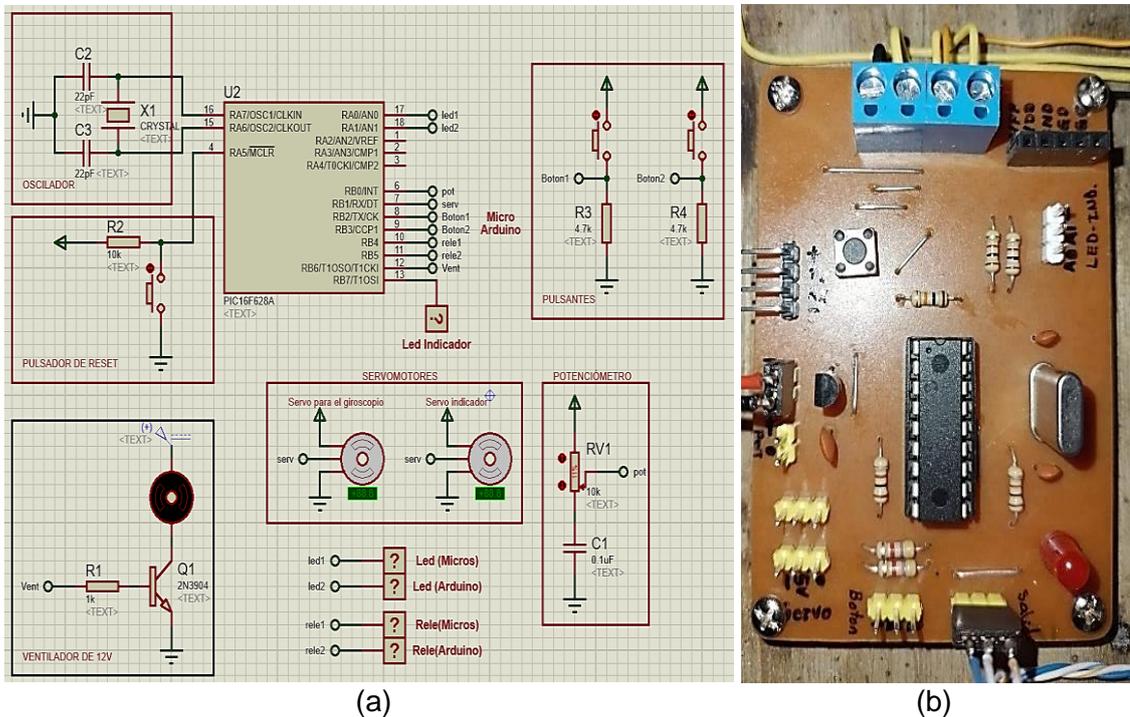


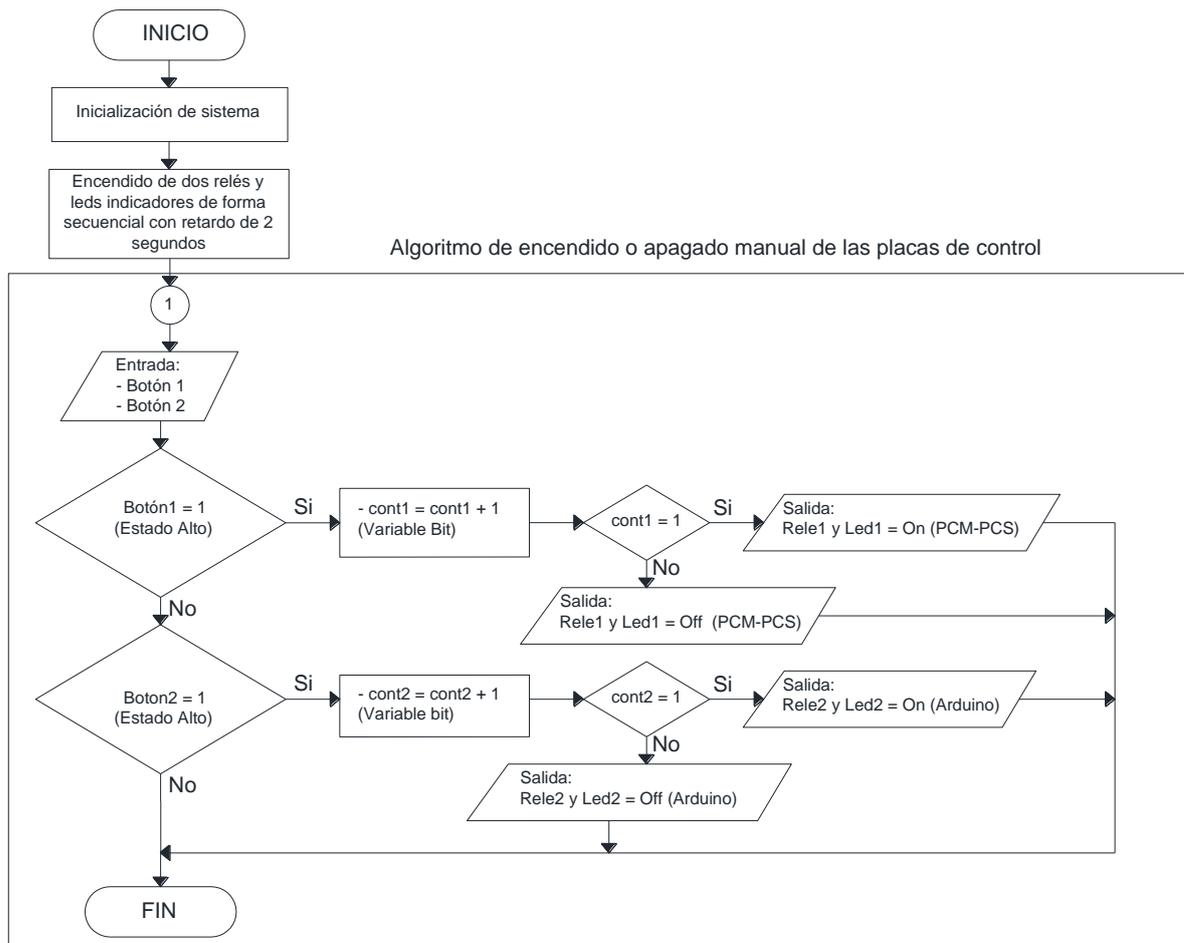
Figura 35. Placa de encendido. (a) Diseño en Proteus. (b) PCB del circuito de PE.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 36 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo para la secuencia de encendido, sistema de calibración por servos para el posicionamiento del giroscopio y el sistema de ventilación para los reguladores del circuito.

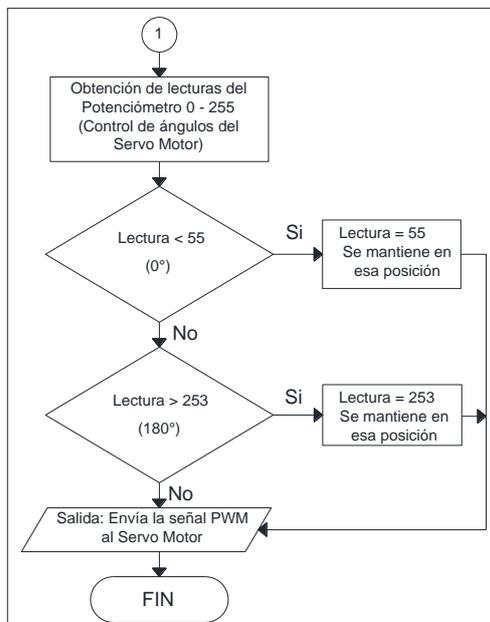
Al momento de presionar el switch de encendido la primera placa en encenderse va a ser la placa PE (figura 36 a), la cual va a cumplir la tarea de encender secuencialmente los demás componentes como placa de control de motores, placa de comunicación y al Arduino con una secuencia de retardo de 2 segundos. Además, existe en el panel de control 2 pulsantes, el primero es para las placas de PCM y PCS, mientras que el segundo es para el Arduino las cuales permite apagar y encender según se requiera.

También consta de las instrucciones para el control de 2 servomotores (figura 36 b) que es comandado por un potenciómetro, permitiendo los giros de los dos servomotores al mismo tiempo, la cual es utilizado para girar el giroscopio y posicionarlo en dirección norte magnético de la tierra. Este posicionamiento es importante en la navegación autónoma del robot para el guido del ángulo Azimut. Por último, consta del algoritmo para el encendido y apagado de un ventilador (figura 36 c) con una secuencia programada de 15 segundos de encendido y 8 segundos de apagado, evitando un sobrecalentamiento al sistema de regulación.



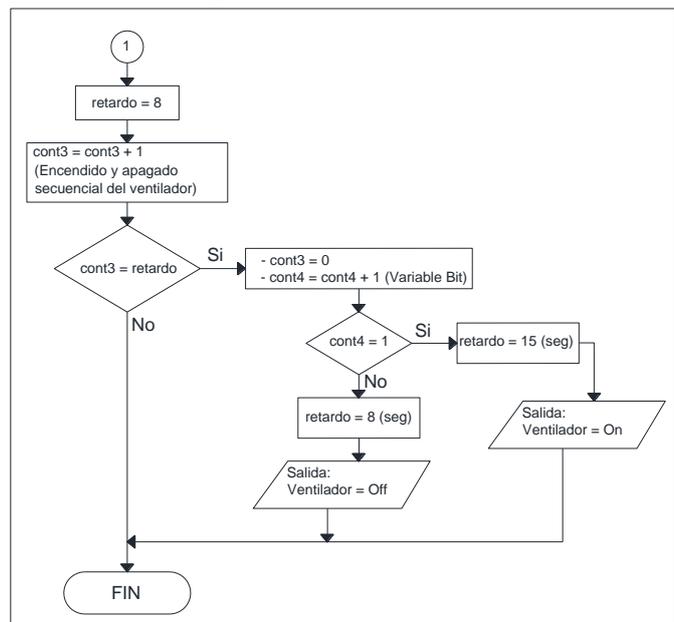
(a)

Algoritmo de control de giro (servomotores)



(b)

Algoritmo del control del ventilador



(c)

Figura 36. Diagrama de flujo para la placa de encendido (PE). (a) Algoritmo de encendido y apagado manual. (b) Algoritmo de control de servomotores. (c) Algoritmo de control del ventilador.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Placa de comunicación serial (PCS).

Es una placa centralizada que sirve de unión o transferencia de datos a las placas de control de motores, modulo Arduino y control remoto. La función de esta placa es similar a la de un switch de red porque este va a recibir y transmitir las instrucciones u ordenes en código ASCII y las interpreta para enviar al puerto o salida indicado mediante un código de identificación para cada uno, cabe mencionar que las placas de control de motores (PCM) y el Arduino mantienen una comunicación bidireccional.

El protocolo de comunicación es UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) que se basa en el intercambio de datos en serie y utiliza únicamente 2 hilos que es para el transmisor y receptor con la posibilidad de enviar y recibir información en ambas direcciones. En la figura 37 se presenta la distribución y conexión de la placa de comunicación.

- Puertos: Dispone de un puerto de entrada (módulo bluetooth) y puertos de conexión para transferencia de datos interno entre las placas PCM, PCS y Arduino.
- Diodos led: Sirven para indicar si existe flujo de datos en los diferentes puertos de comunicación.

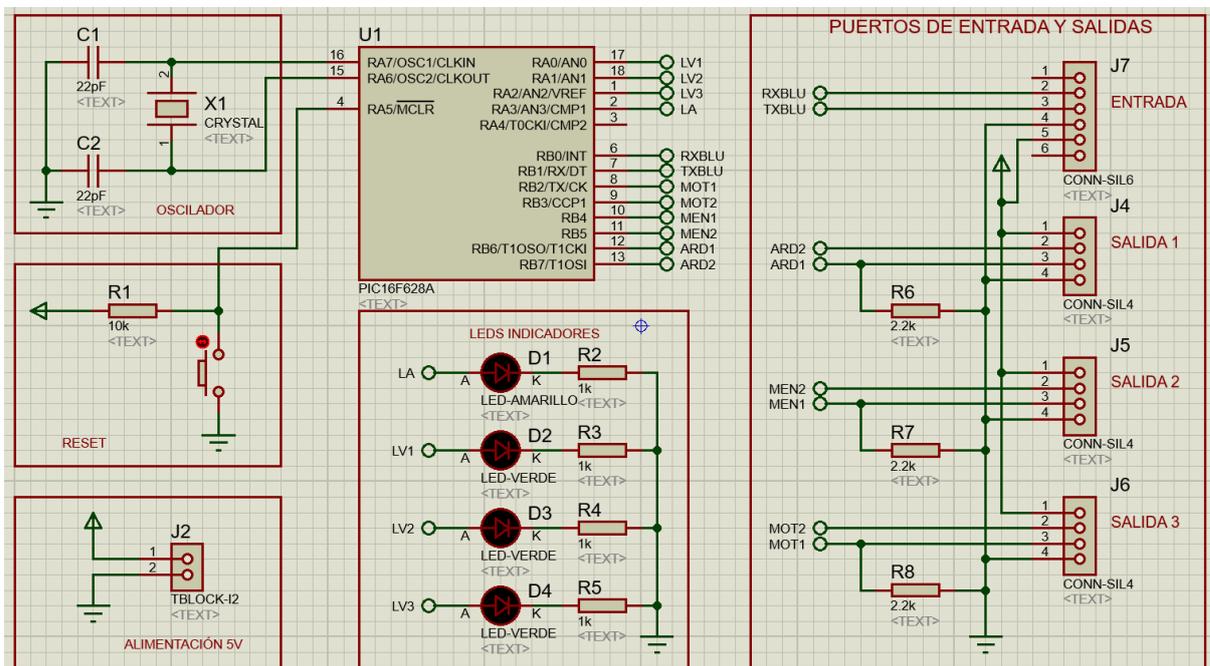


Figura 37. Esquema de conexión de la placa de comunicación en Proteus.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 38 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo utilizado para la transferencia de datos, comunicación bidireccional entre los módulos de control para la configuración y el

mando de los diferentes sistemas conectados a ella. Sirve como un punto de acceso para varios dispositivos que requieren comunicarse entre sí en tiempo real.

Los códigos de dirección permiten enviar los datos a los puertos de comunicación según se solicita, MO (Módulo de motores - PCM), AR (Módulo Arduino) y CR (Control Remoto).

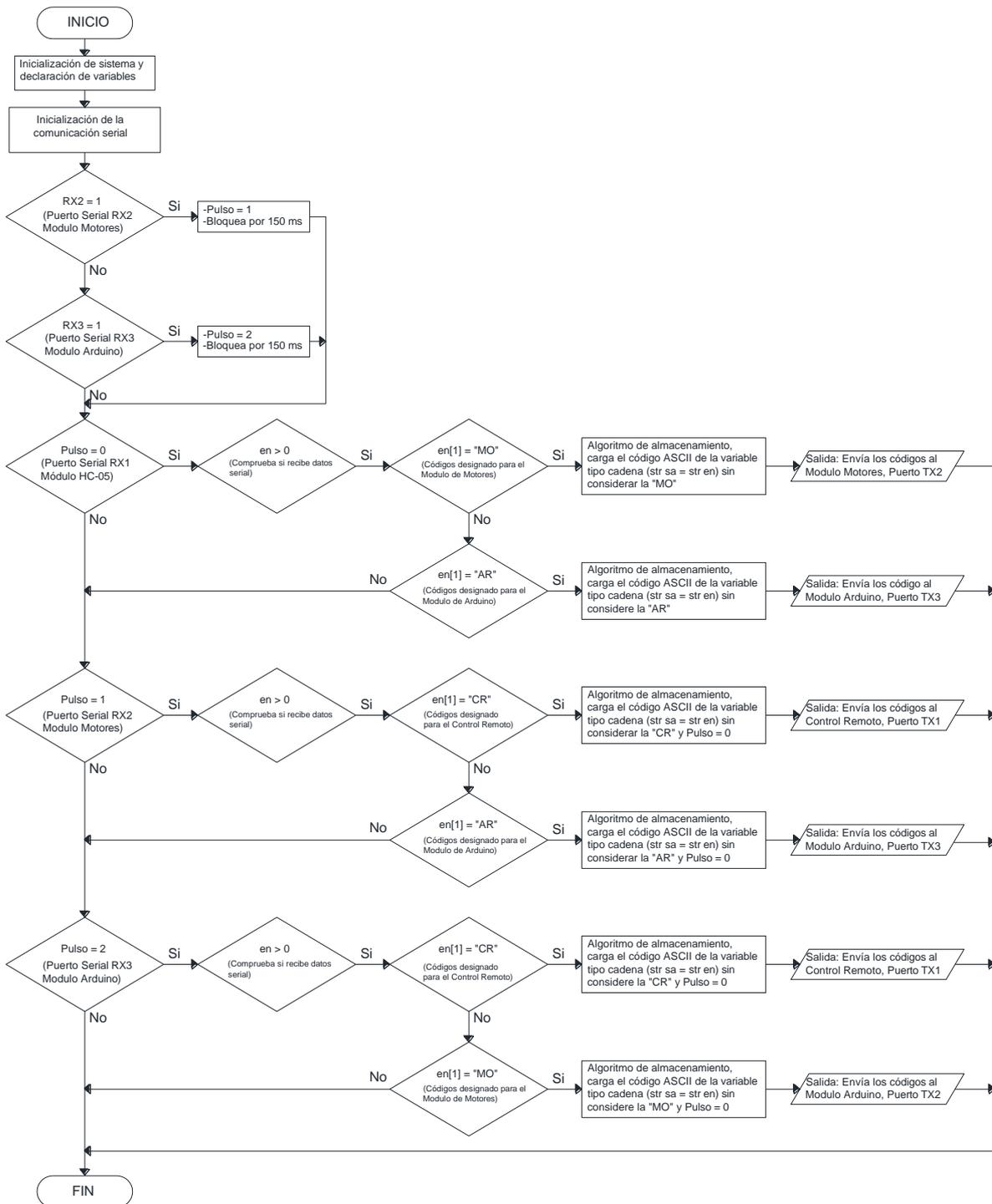


Figura 38. Diagrama de flujo para la placa de comunicación serial (PCS).

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Placa de control de motores (PCM).

Su función es el control de los motores de tracción, dirección y descarga. Encender y apagar las luces indicadoras y la sirena de retroceso. Las partes de esta placa son las siguientes:

- **Comunicación serial:** Se utiliza para recibir una serie de instrucciones en código ASCII para el control de motores y luces. Envía códigos de notificación de la tarea realizada en el proceso de descarga al sistema que envió dichas instrucciones (Arduino o Control remoto). Se utiliza los pines 25 y 26 (TX/RX) del microcontrolador PIC 16F877A; la comunicación de esta placa es bidireccional.
- **Puente H:** Desde esta placa se controla el sentido de giro de los motores.
- **Sensores de ópticos:** La función de estos sensores es para verificar si existe algún objeto sobre la plataforma de carga.
- **Señalización:** Esta compuesta por lámparas, diodos led y un zumbador para iluminación y dar aviso al usuario de forma visual y auditiva de las diferentes situaciones que pueden presentarse.
- **Potenciómetro de dirección:** Es utilizado para el control de la dirección por ángulos en un rango de 30° a 150° de libertad.
- **Encoder M4:** El encoder es para el mecanismo de descarga del robot, su función es la de contar el número de giros del eje del bobinador.

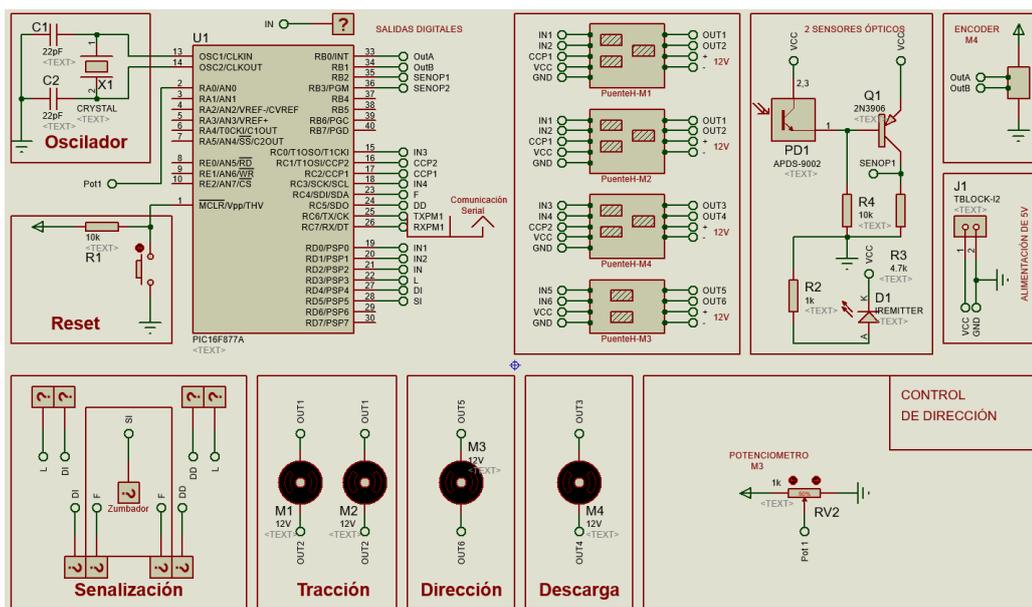
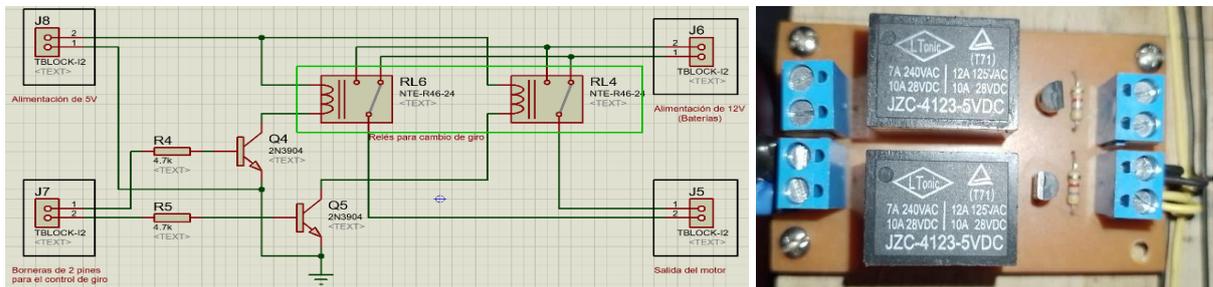


Figura 39. Esquema de conexión de la placa de control de motores (PCM) en Proteus.

Fuente: Elaboración propia.

El puente H que hace uso de 2 relés se lo utiliza para cambiar el sentido de giro del motor de dirección y es controlado desde la placa PCM.



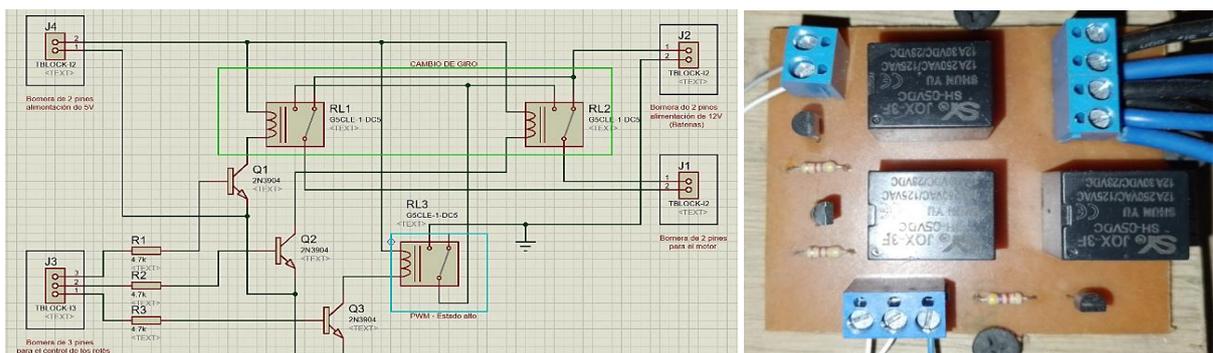
(a)

(b)

Figura 40. Puente H con 2 relés. (a) Diseño del esquema en Proteus. (b) PCB de puente H.

Fuente: Elaboración propia

El esquema de la figura 41 es el diseño de un puente H con 3 relés, el tercer relé agregado es para la modulación de ancho de pulso (PWM) y su función es cambiar la velocidad del motor, pero en este caso solo se utiliza el estado alto (velocidad alta) debido a que los motores mantienen una velocidad constante.



(a)

(b)

Figura 41. Puente H con 3 relés. (a) Diseño del esquema en Proteus, (b) PCB del puente H.

Fuente: Elaboración propia.

Algoritmos de la placa PCM.

Para la manipulación de motores y luces (figura 42 a) del vehículo se va a comandar mediante códigos que recibe del control remoto o el módulo Arduino, la cual consta de todas las instrucciones de encendido y apagado de motores y luces. Dirección; Código 1; Código 2; Código 3; Código 4; Código 5; Código 6.

- Dirección: Es la dirección de envío de datos la cual va a ser procesado en la placa PCS y luego enviada a otra placa de control. La identificación es de la siguiente manera MO (Motor - Dirigida a la placa PCM), AR (Arduino) y CR (Control remoto).
- Código 1: Es para el control de los motores de tracción adelante (Adel), atrás (Atra) y parar (Mstop).

- Código 2: Control de giro del motor de dirección mediante ángulos (Se ingresa el valor desde de 30° hasta 150° de giro).
- Código 3: Es para encender (L-on) o apagar (L-off) luces delanteras.
- Código 4: Encender (Dion) o apagar (Dioff) luces de direccional izquierda.
- Código 5: Encender (Ddon) o apagar (Ddoff) luces de direccional derecha.
- Código 6: Se controla el motor de descarga (Bobinador) para detener (Bstop), enrollar (Benro) o desenrollar (Bdes) la cuerda del mecanismo.

Por ejemplo, se recibe la instrucción de la siguiente manera: MO; Adel; 120; L-on; Dion; Ddon; Bdes.

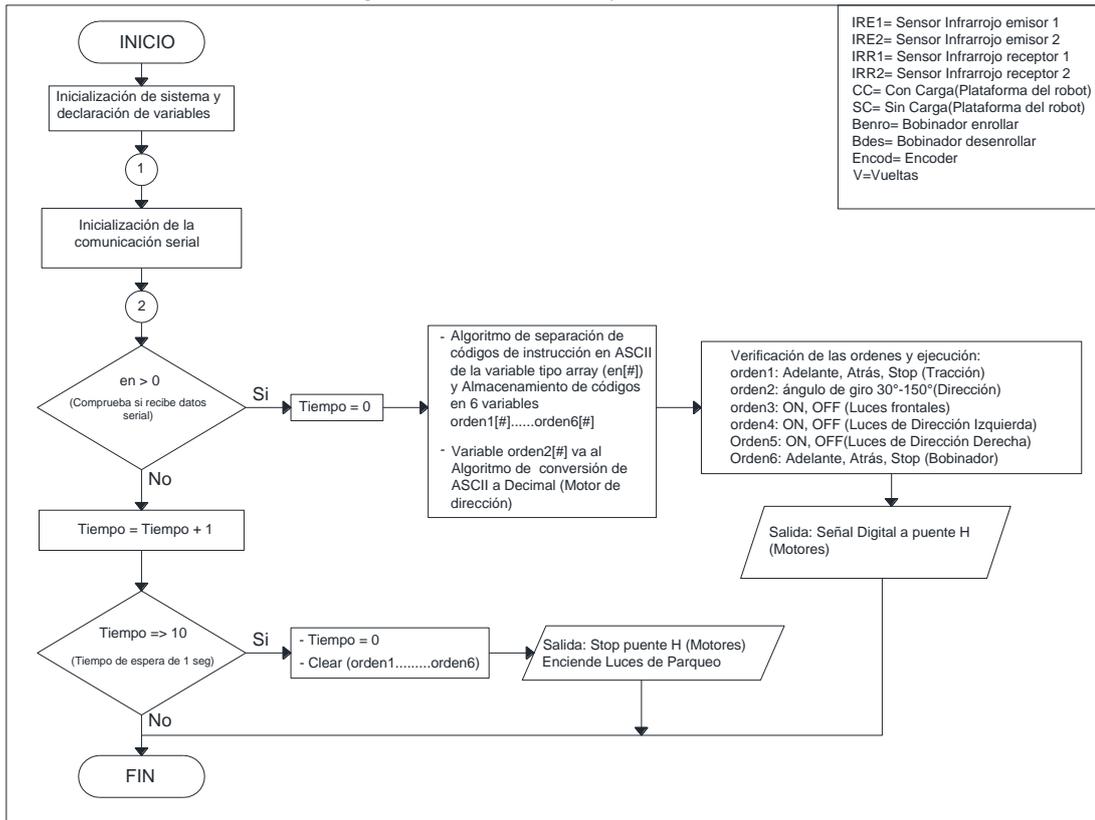
Como modo de seguridad se apagan todos los motores y luces cuando deja de recibir los códigos de instrucciones en un tiempo de espera de 1 segundo ya que los datos son enviados cada 150 milisegundos.

En algoritmo de dirección (figura 42 b), está compuesto de un potenciómetro que se encuentra montado en el eje rotatorio del mecanismo de dirección la cual se van comparando los valores del código de orden 2 con los valores del potenciómetro, permitiendo que esos valores se igualen constantemente y así de esa manera obtener el ángulo deseado.

El algoritmo del sistema de descarga (figura 42 c) consta de un encoder rotatorio KY-040 que se encuentra montado en el eje rotatorio del mecanismo bobinador la cual permite contar el número de vueltas requeridas para enrollar y desenrollar la cuerda del mecanismo de descarga. El encoder da un conteo de 20 que equivale a una vuelta completa y para enrollar o desenrollar se requiere de 50 vueltas. Además, dispone de un comparador la cual permite verificar si el bobinador se encuentra enrollado o desenrollado, permitiendo de esa manera ejecutar o no la orden recibida. El conteo de vueltas es grabado constantemente en la memoria EEPROM del microcontrolador ya que es importante ante alguna corte de energía conocer el estado en la que se encuentra el bobinador.

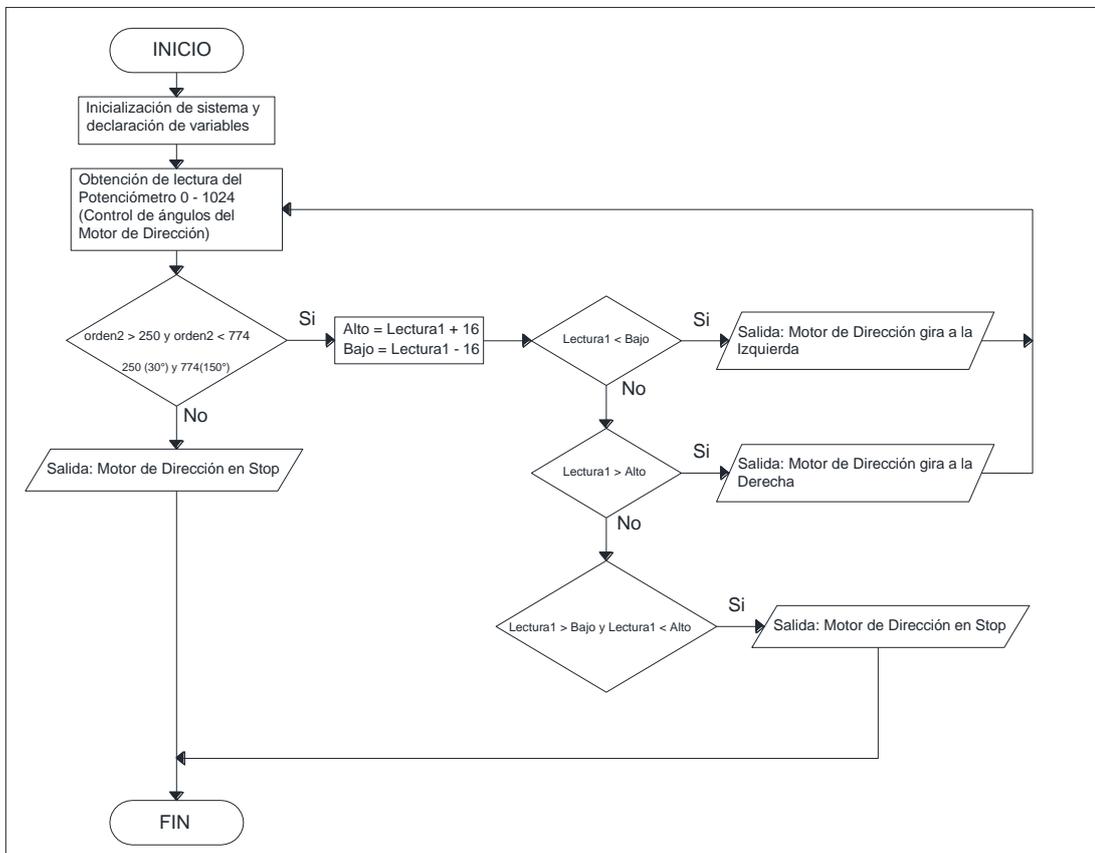
En la plataforma de carga se encuentra montado dos sensores infrarrojos de proximidad la cual permite por medio de un algoritmo (figura 42 d) identificar el día y la noche mediante procedimientos de comprobación. La variable estado = 0 equivale a noche y estado = 1 es día. Si es de noche los sensores funcionan por rebote de luz infrarroja (Se encuentra cargado) y si no hay rebote de luz infrarroja (Sin carga la plataforma), por el contrario, en el día funciona por interrupción de luz del sol, si hay luz (Sin carga) y si no recibe luz (Con carga), la cual es notificado al control remoto o al Arduino el estado actual de la plataforma por los códigos CC (Con carga) y SC (Sin carga).

Algoritmo de control de motores y luces



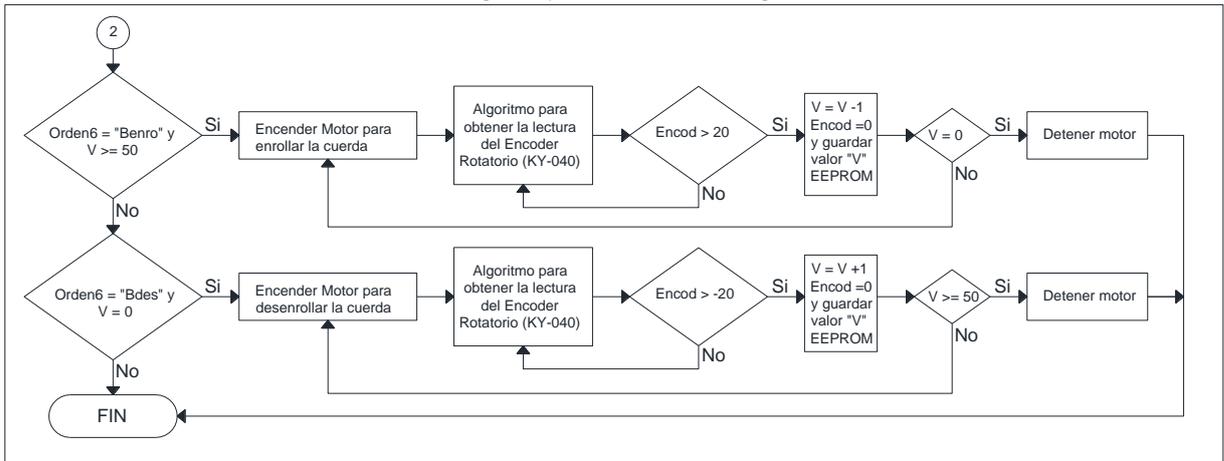
(a)

Algoritmo de control de dirección



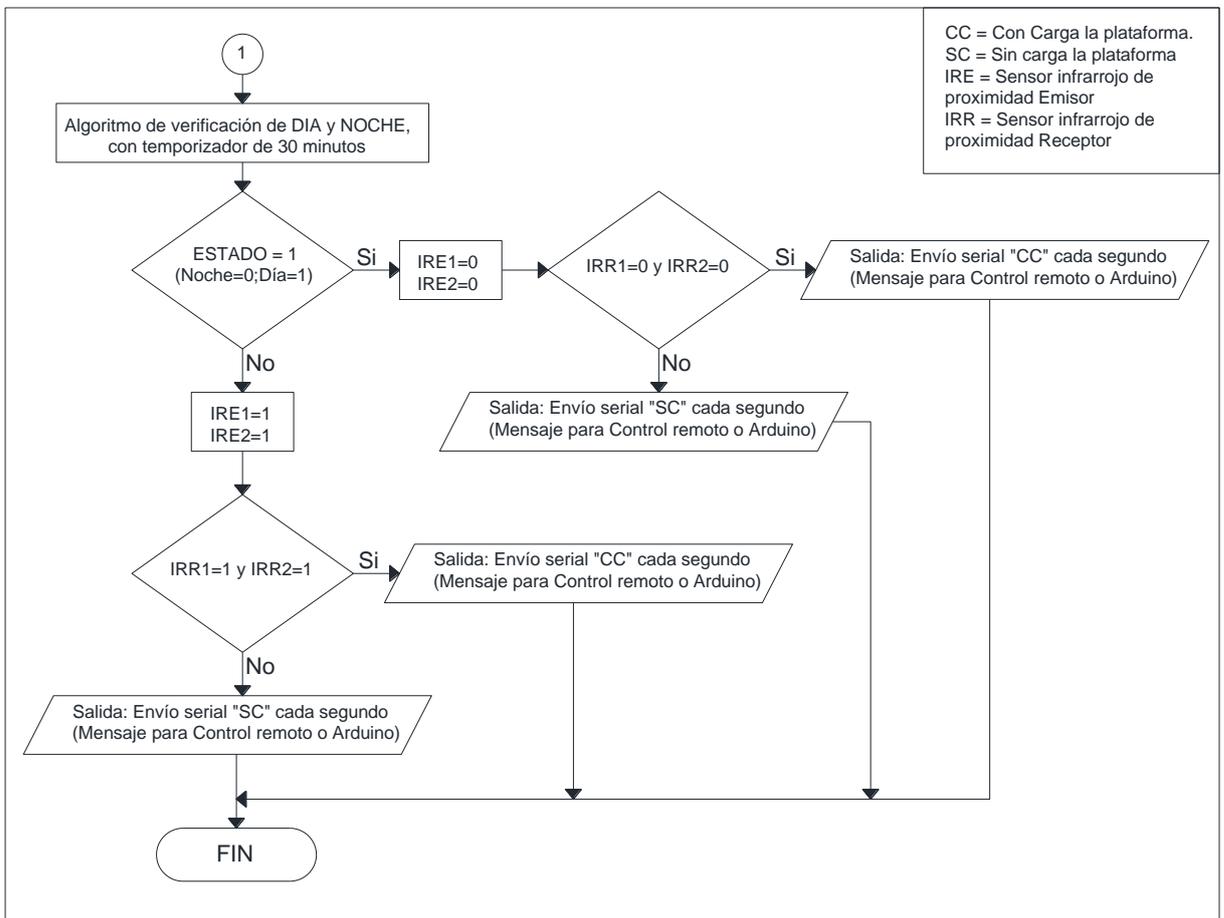
(b)

Algoritmo para el sistema de descarga



(c)

Algoritmo de verificación de carga sobre la plataforma del robot



(d)

Figura 42. Diagramas de flujo para la placa PCM. (a) Algoritmo para el control de motores y luces. (b) Algoritmo de dirección. (c) Algoritmo de descarga. (d) Algoritmo de comprobación de carga.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Control remoto.

Es un control de mando a distancia destinada a realizar funciones de control y configuración del robot. El funcionamiento de cada una de sus partes es la siguiente:

- **Módulo Bluetooth:** Es para la comunicación inalámbrica con el robot, con este módulo se envía las instrucciones de control y configuración.
- **Módulo KY-023 (Joystick):** Es una palanca de mando que se lo utiliza para conducir al robot. La palanca de mando solo se puede utilizar cuando el robot se encuentre en el primer modo de uso.
- **Potenciómetro:** Su función es similar a la de un volante para manipular la dirección de las llantas delanteras con mayor precisión y se activa cuando se encuentra en el primer modo de uso.
- **Pantalla LCD:** Muestra de forma visual las opciones del robot, conexión y desconexión del módulo bluetooth, etc.
- **Teclado matricial:** Se utiliza para el ingreso de datos, seleccionar y aceptar las opciones que se presentan en la pantalla LCD.

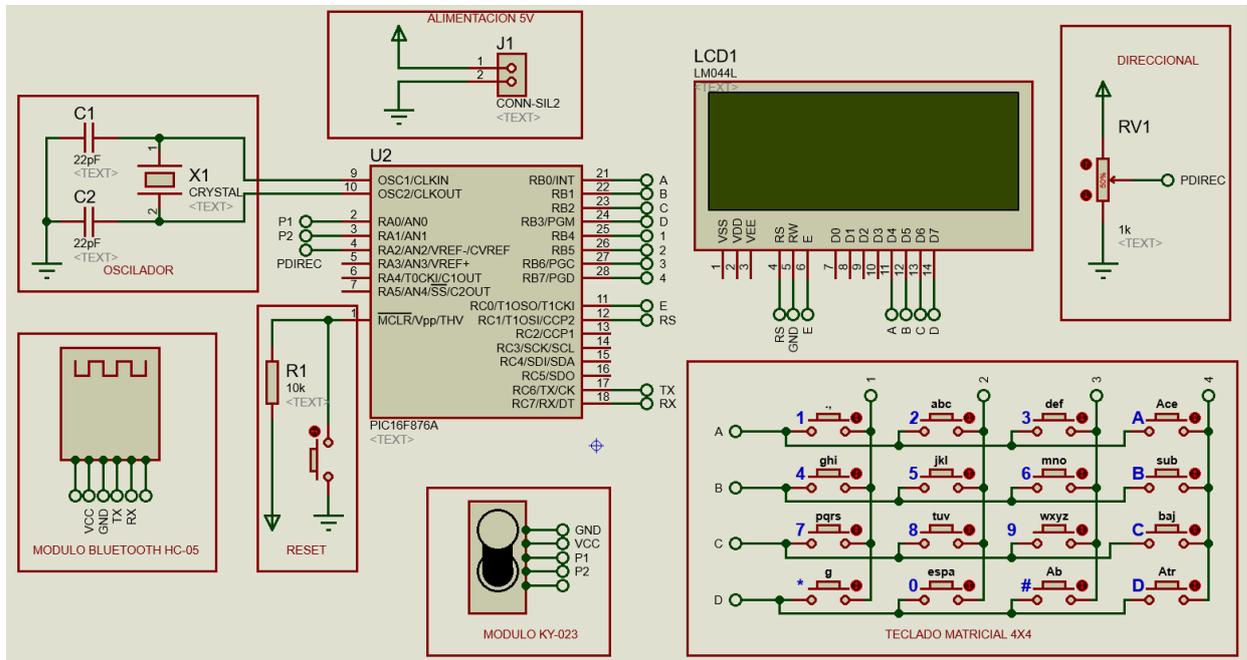


Figura 43. Esquema de conexión del control remoto en Proteus.

Fuente: Elaboración propia.

Desde la pantalla LCD, es posible verificar el modo de uso seleccionado.



Figura 44. Control remoto. (a) Sistema control a distancia. (b) modos de uso.

Fuente: Elaboración propia.

EL sistema de control a distancia está compuesto por dos modos de uso, el modo 1 (control remoto) utilizado para la conducción del vehículo, la cual es controlada por una serie de códigos de instrucción las cuales son:

Dirección; Código 1; Código 2; Código 3; Código 4; Código 5; Código 6.

El significado de las instrucciones que se envía es la siguiente:

- Dirección: Es la dirección de envío. La identificación es de la siguiente manera MO (motor - Placa PCM), AR (Arduino) y CR (Control remoto).
- Código 1: Control de los motores de tracción, parar (Mstop), adelante (Adel) y atrás (Atra).
- Código 2: Control de giro del motor de dirección mediante ángulos (Se ingresa el valor desde de 30° hasta 150° de giro).
- Código 3: Es para encender (L-on) o apagar (L-off) luces delanteras.
- Código 4: Encender (Dion) o apagar (Dioff) luces de direccional izquierda.
- Código 5: Encender (Ddon) o apagar (Ddoff) luces de direccional derecha.
- Código 6: Se controla el motor del Bobinador para parar (Bstop), enrollar (Benro) o desenrollar (Bdes) la cuerda del mecanismo.

Por ejemplo, se envía las instrucciones de la siguiente manera: MO; Atra; 110; L-off; Dioff; Ddoff; Benro.

El modo 2 (Sistema autónomo) es parecida a un terminal de puerto serie ya que dispone de un algoritmo de escritura alfanumérico, la cual va a ser utilizada para enviar códigos de

configuración y activación del robot. El sistema envía mensajes para designar rutas, tipo de viaje e iniciar recorrido.

- Mensaje 1 (Designación de rutas): Dirección; Código 1.

La primera significa la dirección de envío, en este caso es AR (Arduino), el código 1 corresponde a los diferentes puntos de trayectoria a los que el robot debe dirigirse. Por ejemplo: AR; Punto A, B, C. Las rutas se presentan en la figura 45.

- Mensaje 2 (Indicar tipo de viaje): Dirección; Código 2.

Se mantiene la dirección AR y el código 2 representa el tipo de viaje que va a realizar el robot, es decir, ir al punto destino y regresar al punto de inicio o solamente ir al punto destino con la siguiente denominación VC (Viaje completo) y VM (Medio viaje). Por ejemplo: AR; VC.

- Mensaje 3 (Iniciar, continuar y parar): Dirección; Código 3.

Continúa la designación AR y para el código 3 se ingresa start para empezar el recorrido, stop para detener o cont para continuar con el recorrido anterior. Por ejemplo: AR; start.

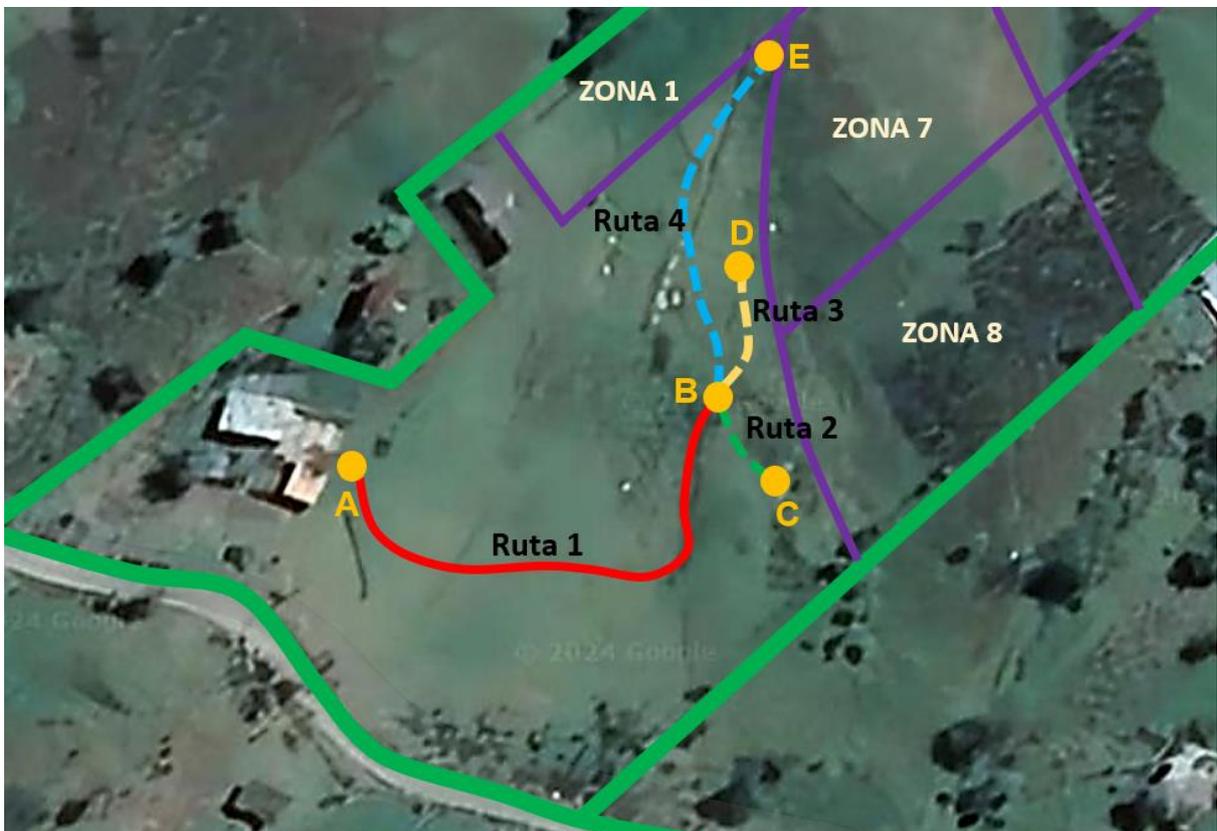


Figura 45. Rutas de acceso del prototipo y puntos de conexión.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 46 se muestra el algoritmo del sistema de mando a distancia.

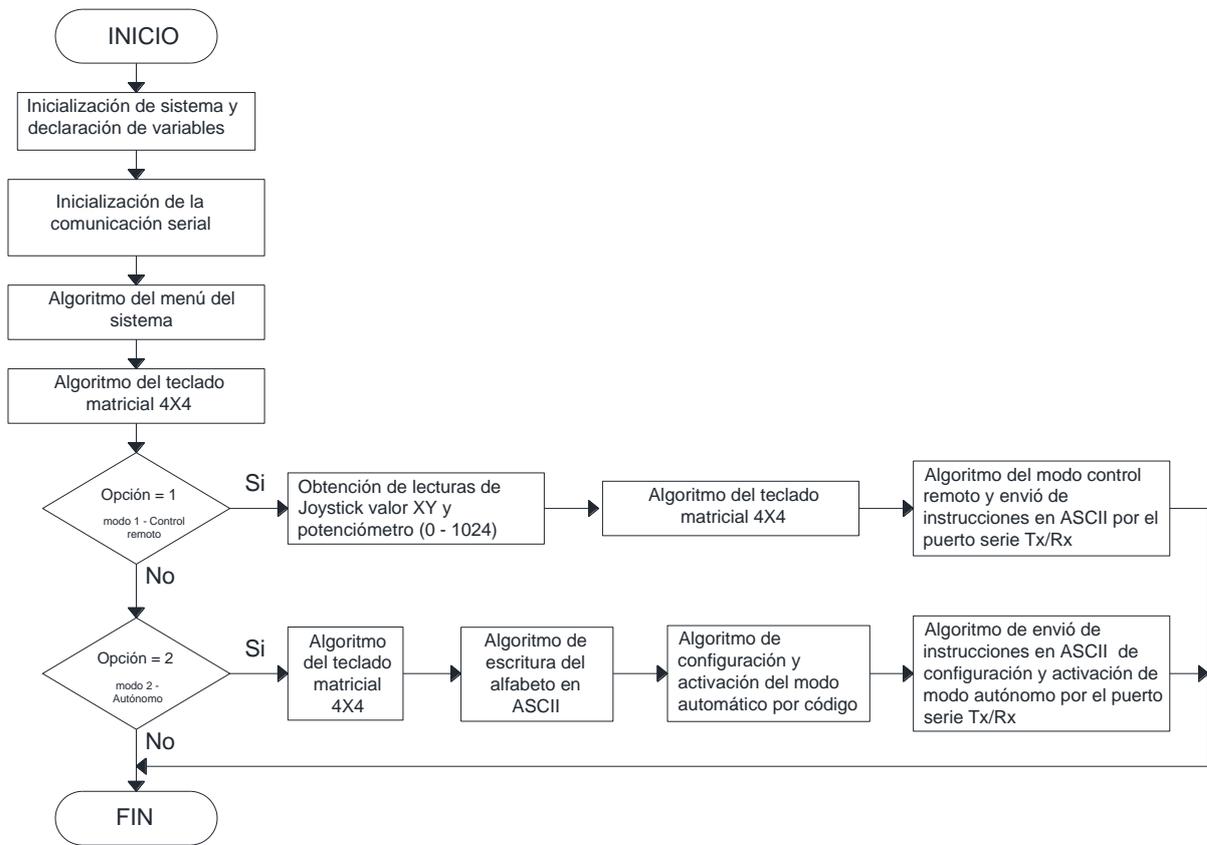


Figura 46. Diagrama de flujo para el control remoto.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Arduino MEGA y sensores.

En esta placa se encuentran los sensores y módulos para el seguimiento de trayectoria, la navegación autónoma se ejecuta en base a la información de las rutas previamente grabadas en la tarjeta SD. La función de cada componente conectado al Arduino MEGA es la siguiente:

- Sensor de ultrasonido: Se encuentra ubicados en la parte frontal y posterior del robot para la detección de obstáculos.
- Sensor Sharp: Dos de estos sensores son para la detección de objetos en el lateral izquierdo y derecho. Los otros dos sensores se ubican en la parte inferior frontal y posterior para evitar que el robot quede atrapado en zanjas o aberturas del suelo. Se utiliza este tipo de sensor en estas posiciones por su mayor precisión y corto alcance.
- Módulo GPS: Se lo utiliza para determinar puntos de trayectoria para la navegación del robot.

- Módulo giroscopio: Este módulo dispone de tres ejes que son balanceo (ROLL), cabeceo (PITCH) y giro sobre su propio eje (YAW). ROLL y PITCH se utilizan para obtener los ángulos de inclinación mientras que YAW es determinar los ángulos Azimut con respecto al norte magnético para la navegación del robot.
- Módulo SD: Es utilizado para el almacenamiento de los diferentes puntos de trayectoria obtenido del módulo GPS y también lleva almacenado los datos de configuración de los sensores para la evasión de obstáculos (ultrasonido), seguimiento de pared y rastreo del suelo (Sensores Sharp). Además, se guardan datos de inclinación referente al cabeceo y balanceo del robot (giroscopio).
- Encoder rotatoria: Utilizado para la selección de las opciones del menú del sistema.

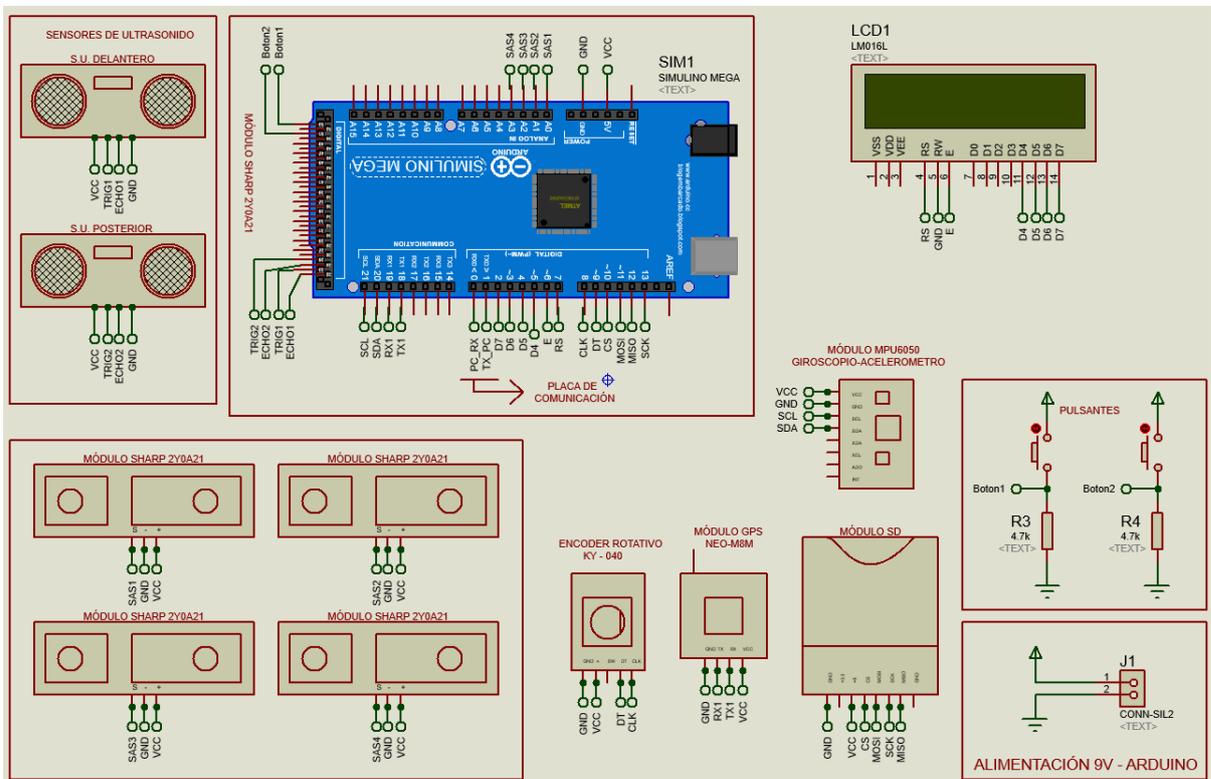


Figura 47. Esquema de conexión del Arduino Mega en Proteus.

Fuente: Elaboración propia.

Menú de opciones y configuración del robot.

El robot dispone de un tablero que permite la configuración manual mediante el uso de un menú, la cual se puede seleccionar dos opciones disponibles (configuración y empezar recorrido) desde el encoder rotatorio y dos pulsantes (aceptar/atrás). En la figura 48 la opción 1 corresponde al algoritmo de configuración que consiste en seleccionar los puntos de rutas, el tipo de viaje (completo o medio) y ejecutar la descarga autónoma. La segunda opción

permite iniciar el viaje autónomo con respecto a todas las configuraciones realizadas anteriormente, al seleccionar empezar recorrido inicia el conteo de 20 segundos de espera y dentro de ese periodo de tiempo el operador puede detener el proceso desde el tablero de control, pero una vez empezado el recorrido se puede detener a partir del control remoto.

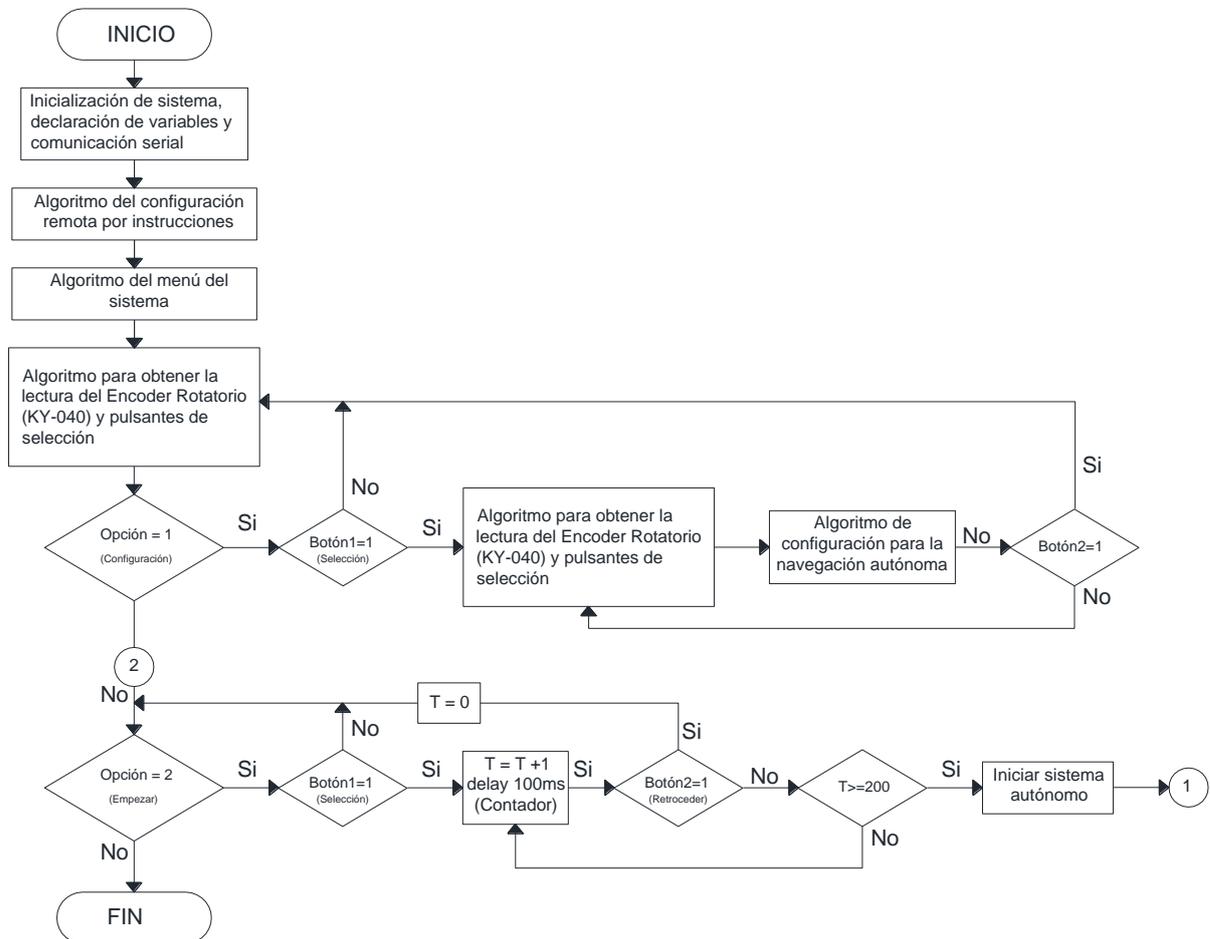


Figura 48. Diagrama de flujo del sistema de menú (Arduino MEGA).

Fuente: Elaboración propia.

Sensores de ultrasonido e infrarrojos del prototipo.

El robot dispone de sensores de distancia, la cual son utilizados para la detección de objetos y pared con el propósito de asegurar una conducción autónoma y descarga segura, evitando accidentes durante su funcionamiento. Además, en la ruta 1 son utilizados los sensores de distancia Sharp lateral izquierdo (SS1) y derecho (SS2) para el seguimiento de pared con el rango de detección de 30 a 45 cm como complemento de conducción autónoma, debido que la ruta 1 es un sendero estrecho la cual presenta riesgo de volcamiento.

Sensor de ultrasonido: La ubicación de estos sensores se encuentra en la parte frontal (SU1) y posterior (SU2) del robot. En la parte frontal se lo utiliza para la detección de obstáculos en el rango $\leq 2m$ de distancia, en lugares de espacio abierto evade al obstáculo

y en espacios estrechos el robot se detiene. En cambio, el sensor de ultrasonido posterior tiene un rango de detección $\leq 2\text{m}$ y si el obstáculo se encuentra dentro de ese rango, el robot se detiene hasta que se retire dicho obstáculo.

Los sensores Sharp ubicados en la parte inferior frontal (SS3) y posterior (SS4) del robot son utilizados para detectar zanjas u objetos que pueden afectar la movilidad del robot dentro de los rangos de $< 8\text{cm}$ para detectar objetos de gran tamaño que obstaculice el avance del robot y $> 23\text{cm}$ corresponde a partes profundas del terreno en las que pueda quedar atrapado.

La distribución de los sensores de distancia como ultrasonido (SU1-SU2), Sharp (SS1-SS4) y sensores de proximidad (IR1-IR2) en el robot se muestra en la figura 49.

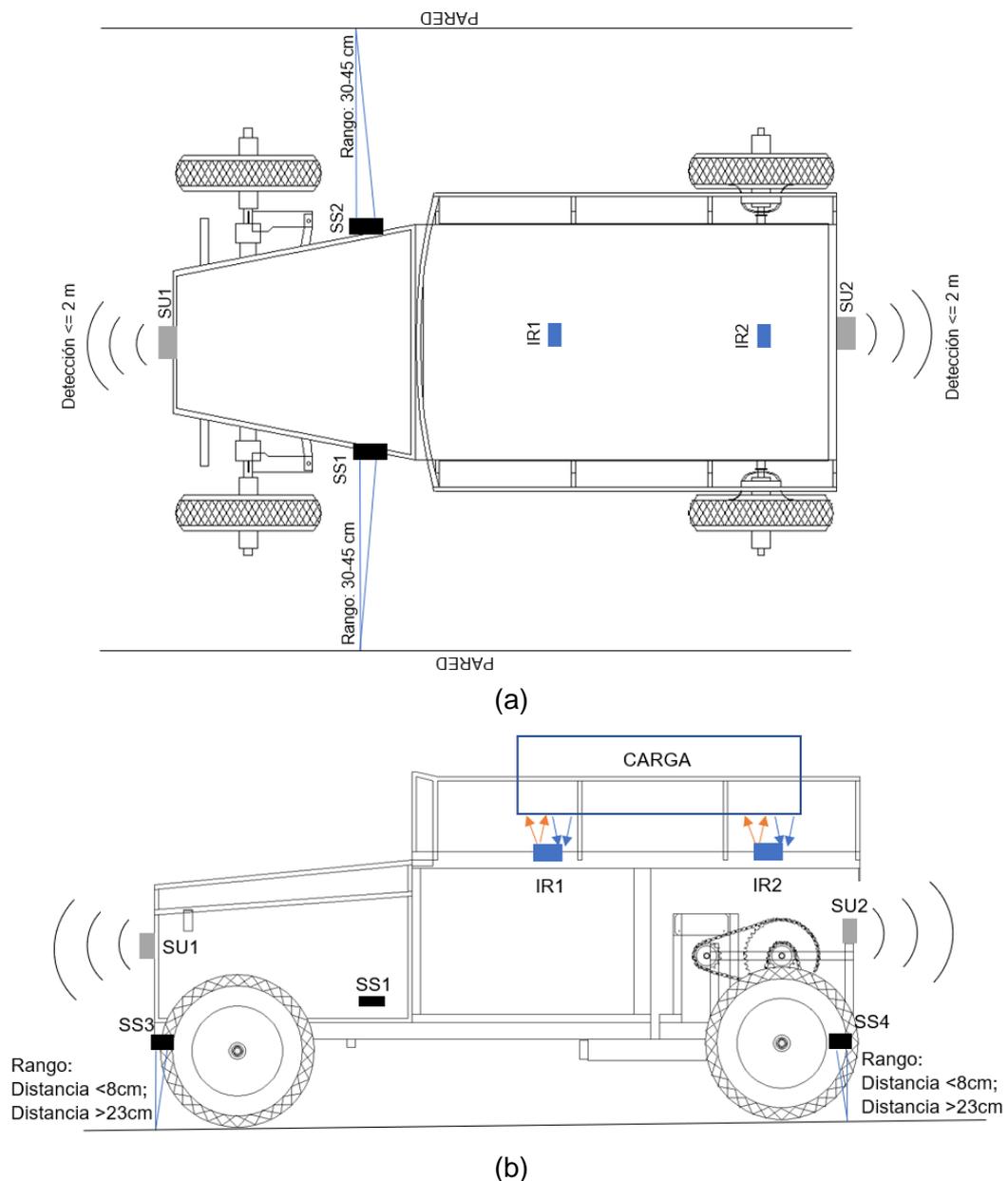


Figura 49. Ubicación de los sensores de distancia. (a) Vista superior. (b) Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

La evasión de obstáculos es activada cuando el robot detecta presencia de una persona u objeto al frente. Se presentan 2 situaciones, la primera en la ruta 1 (camino estrecho) el robot se detiene hasta que el objeto se retire y la segunda corresponde a evadir dicho objeto en las rutas 2, 3 y 4 como se muestra en la figura 50.

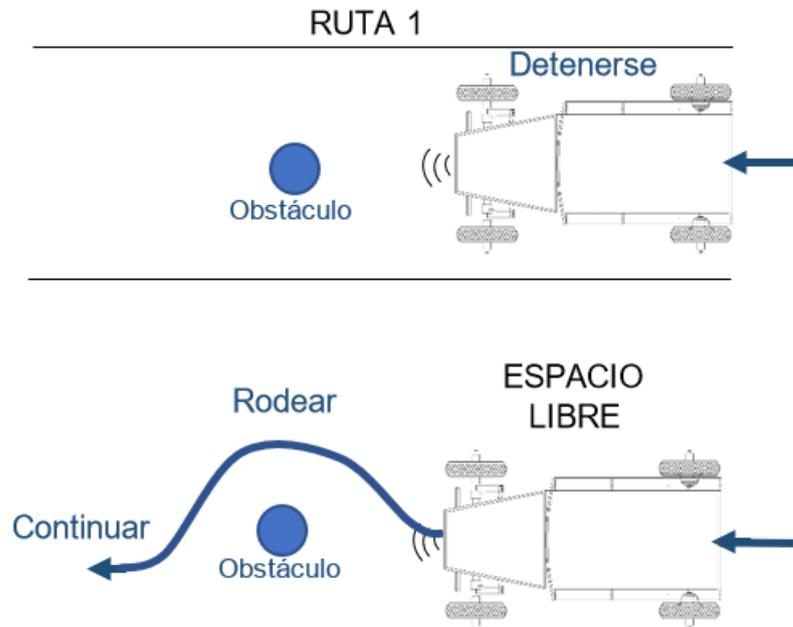
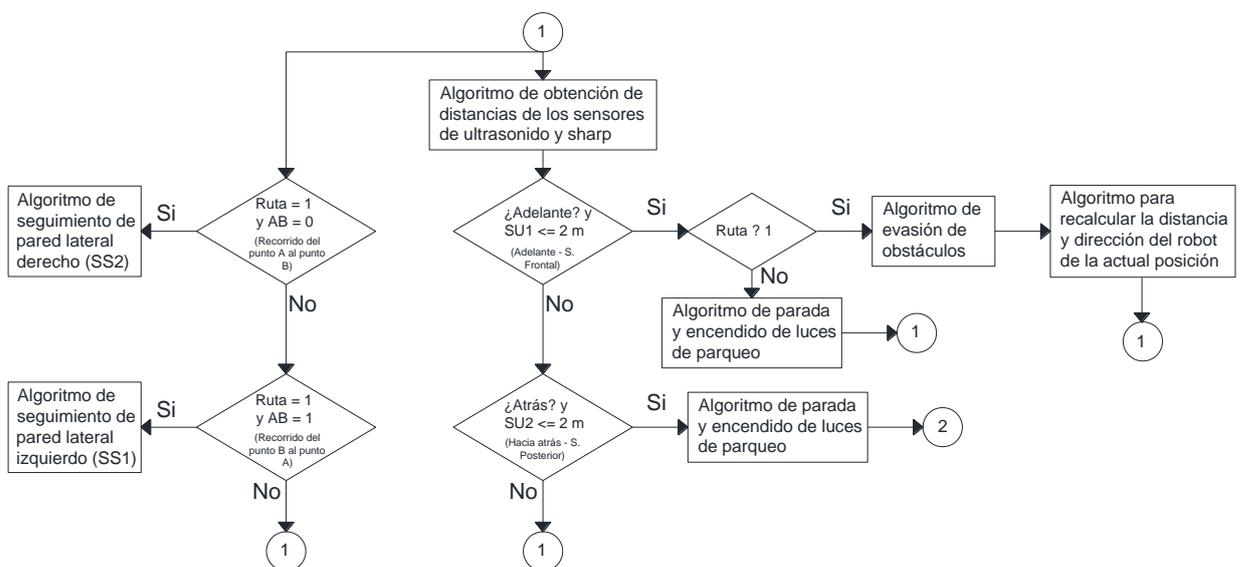


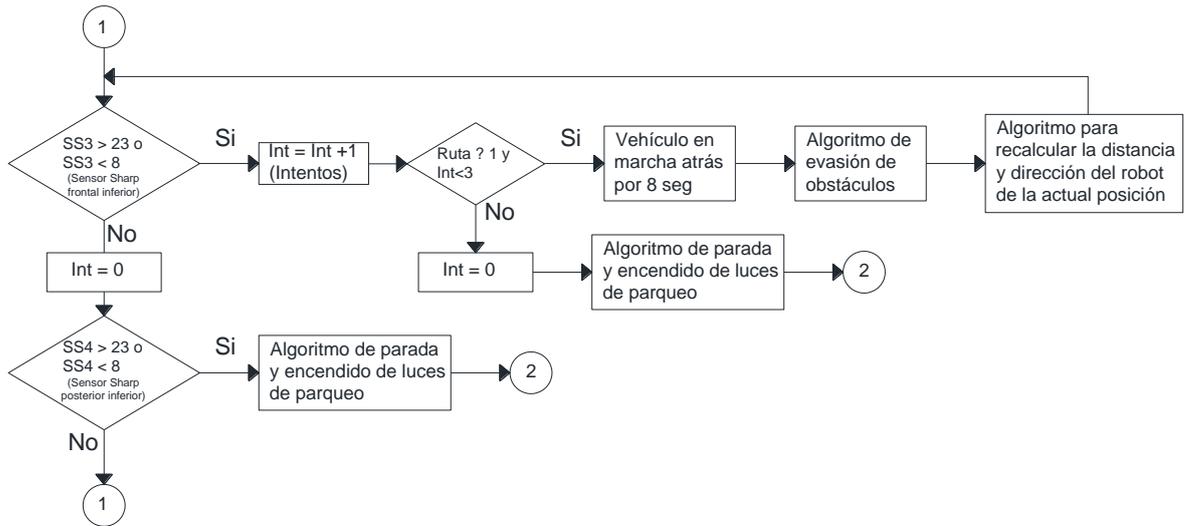
Figura 50. Robot se detiene en la ruta 1 y evasión de obstáculos en espacio libre.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 51 se presenta el diagrama de flujo del algoritmo del control de los sensores de distancia.



(a)



(b)

Figura 51. Diagrama de flujo de los sensores de distancia. (a) Sensores de ultrasonido. (b) Sensores infrarrojos Sharp.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de navegación por trayectoria hace uso de los módulos GPS (NEO-M8M) y el acelerómetro – giroscopio (MPU6050), las cuales utilizan las librerías TinyGPS.h y MPU6050_6Axis_MotionApps20.h de Arduino para obtener los valores necesarios para la navegación del robot. Los datos del módulo GPS presentan alta exactitud y baja precisión, por lo que se requiere estabilizar la señal debido al ruido presente de las lecturas recibidas por el GPS de latitud y longitud haciendo uso de la ecuación número 12.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (12)$$

El filtrado se va a realizar con n número de coordenadas de latitud y longitud para obtener un valor promedio (\bar{x}) y estabilizar las señales.

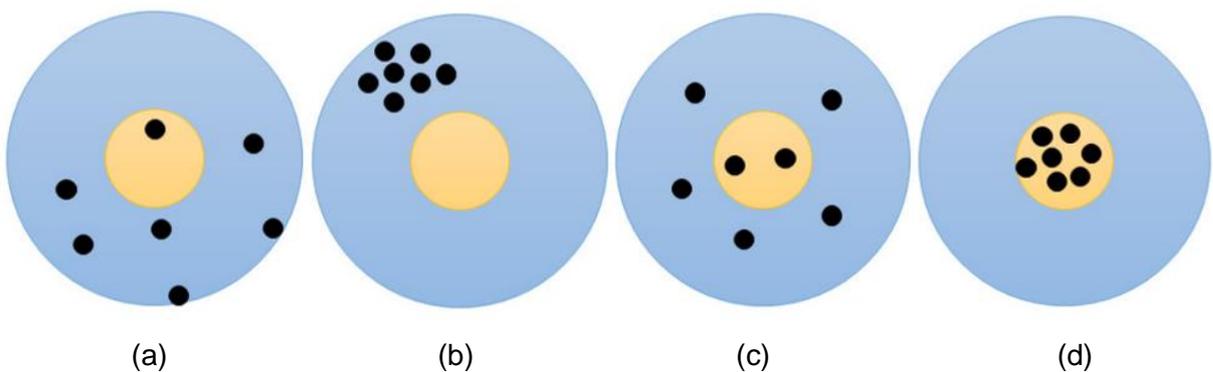


Figura 52. Exactitud y precisión. (a) Baja exactitud y precisión. (b) Baja exactitud y alta precisión. (c) Alta exactitud y baja precisión. (d) Alta exactitud y precisión.

Fuente: Imagen tomada de (Torrice, 2019).

De acuerdo con la hoja de datos del módulo GPS NEO-M8M la precisión de los valores tomados en un periodo de tiempo es de 2.5 metros, pero al estabilizar la señal de los datos recibidos con la ecuación 12, se obtiene unos valores que varían entre 85 cm a 1.6 m para posicionarse sobre el punto de referencia. En la navegación de espacios abiertos no resulta un problema esta baja precisión, por el contrario, para el sendero estrecho si resulta un problema ya que se requiere una conducción con mayor precisión, pero en este recorrido será respaldado con los sensores de distancias infrarrojo (SS1-SS2) para el seguimiento de pared apoyado con el sistema GPS que identifique el número de ruta en la que se encuentra actualmente.

Cálculo de Azimut para la navegación.

Es el ángulo de orientación sobre la superficie de una esfera real, se mide en grados desde el punto cardinal norte en sentido a las manecillas del reloj como se muestra en la figura 53.

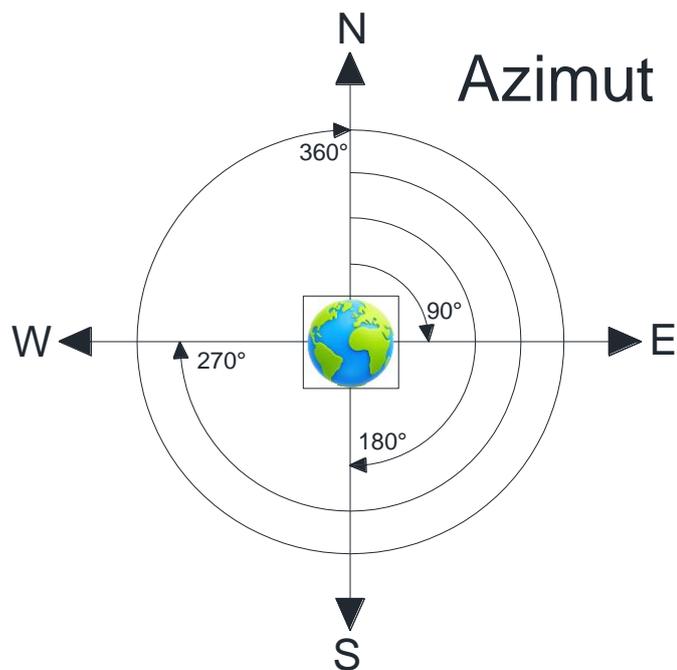


Figura 53. Ángulo Azimut con referencia al Norte magnético.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el ángulo del plano se utiliza la ecuación número 13, en donde (X_1, Y_1) es el punto actual del robot y (X_2, Y_2) es el punto de referencia.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{E}{N} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{(X_2 - X_1)}{(Y_2 - Y_1)} \quad (13)$$

En donde:

θ = Ángulo del plano.

E = Coordenada Este, pertenece al eje de las abscisas.

N = Coordenada Norte, pertenece al eje de las ordenadas.

X = Longitud de la coordenada GPS.

Y = Latitud de la coordenada GPS.

La latitud se expresa como Y que es la localización de un lugar en dirección Norte y Sur, mientras la longitud se expresa como X que es localizada de un lugar en dirección Este y Oeste. En el siguiente paso hay que determinar el cuadrante de acuerdo con los puntos cardinales como se muestra en la figura 54.

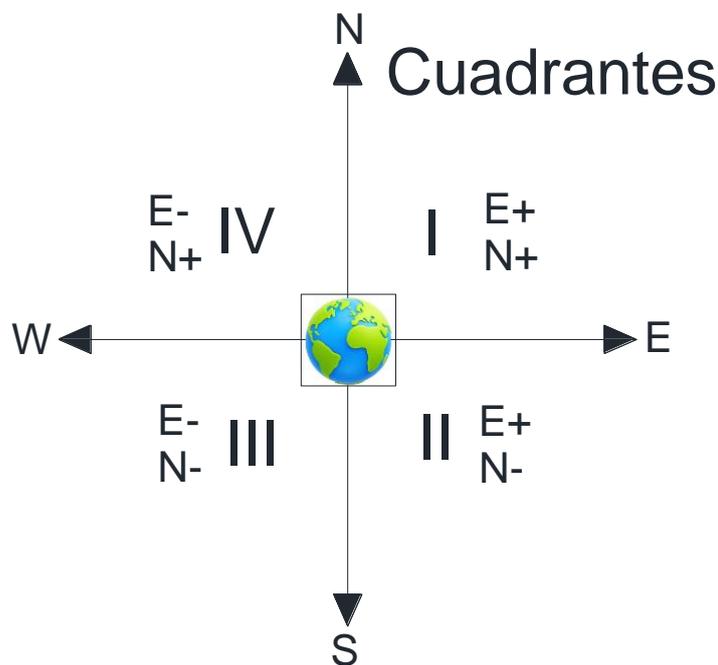


Figura 54. Cuadrantes de los puntos cardinales.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el ángulo del plano se procede a calcular el ángulo Azimut aplicando las fórmulas de la tabla 21.

Tabla 21. Relación de cuadrantes con ángulos Azimut.

Cuadrante	Signo	Azimut
I	$+\theta$	Azimut = θ
II	$-\theta$	Azimut = $180 + (-\theta)$
III	$+\theta$	Azimut = $180 + (+\theta)$
IV	$-\theta$	Azimut = $360 + (-\theta)$

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se obtiene el ángulo Azimut, ese resultado será interpretado por el giroscopio que permitirá girar con el ángulo Azimut al robot en dirección al punto objetivo con ángulos de 0° a 360°. Este proceso se realizará con dos puntos a la vez hasta llegar al punto destino. El PITCH y el ROLL son utilizados para mantener al robot en un ángulo de seguridad para el cabeceo (>17° y <-17°) y para el balanceo (>15° y <-15°), permitiendo de esa manera mantener un rango de seguridad para el desplazamiento por el terreno, pero si esos valores son excedidos el robot se detiene hasta que un operador lo ponga en funcionamiento nuevamente.

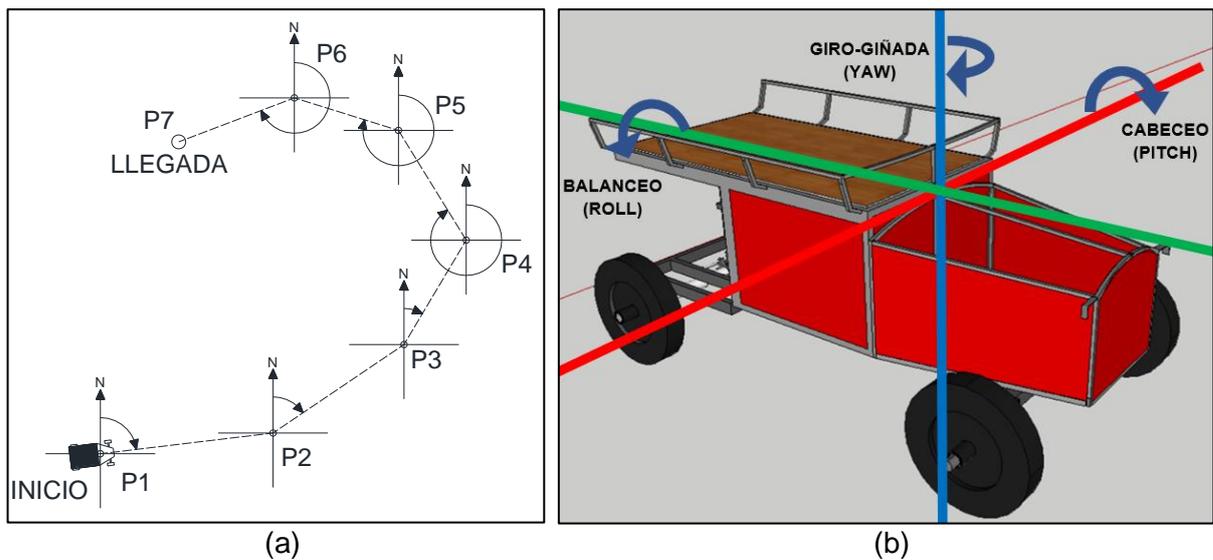


Figura 55. (a) Desplazamiento del robot por ángulo Azimut. (b) Ejes del módulo giroscopio.

Fuente: Elaboración propia.

Para el uso de la conducción autónoma como primer paso en la configuración para la designación de las rutas se debe seleccionar entre los puntos de inicio y fin, luego el algoritmo calculará el total de puntos de referencia GPS a seguir correspondiente a cada ruta de la figura 45 y ese total de puntos el robot deberá completar hasta llegar al final del recorrido. Se utiliza la ecuación número 14 para obtener el total de puntos.

$$P_t = P_{Ri} + P_{Rf} \quad (14)$$

En donde:

P_t = Número total de puntos GPS que debe seguir el robot.

P_{Ri} = Número total de puntos GPS de la ruta inicial.

P_{Rf} = Número total de puntos GPS de la ruta final.

Considerando que el robot se puede encontrar en una posición diferente a los puntos iniciales (A, B, C, D, E) de las rutas, se realizará una comparación a los puntos GPS cercanos a esa posición para determinar el punto de referencia en la que se encuentra, permitiendo de esa manera realizar una diferencia a la cantidad de puntos totales y continuar con los puntos faltantes del recorrido.

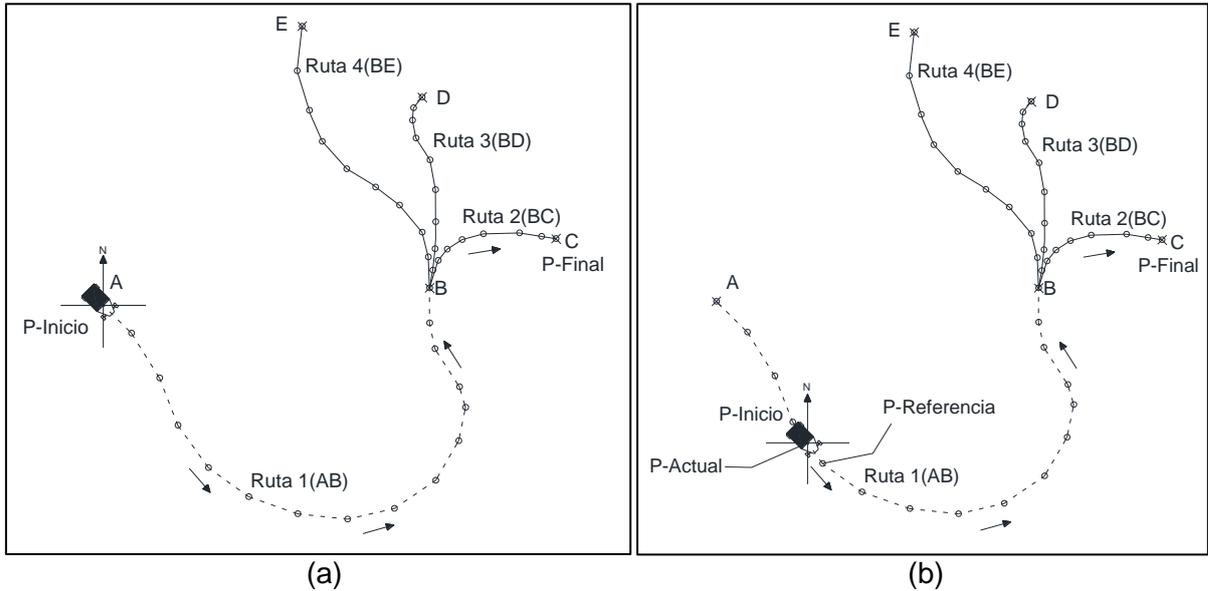


Figura 56. (a) Recorrido del robot desde el punto inicial al final. (b) Recorrido del robot fuera del punto inicial hasta en punto final.

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente paso de la configuración se debe seleccionar si el viaje es completo (ida y vuelta) o si es medio viaje (ida). En el viaje solo de ida el robot contará los puntos de manera ascendente hasta alcanzar el número total de puntos del recorrido y al alcanzar el objetivo el robot se detendrá hasta que le designe una nueva ruta. En un viaje de ida y vuelta el robot realizará un conteo ascendente (ida) y descendente (de regreso), este tipo de recorrido se lo utiliza cuando sea necesario realizar la descarga autónoma y una vez cumplido con la ruta designada se puede designar una nueva ruta o continuar con el mismo recorrido nuevamente.

En la figura 57 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de navegación del GPS y del giroscopio.

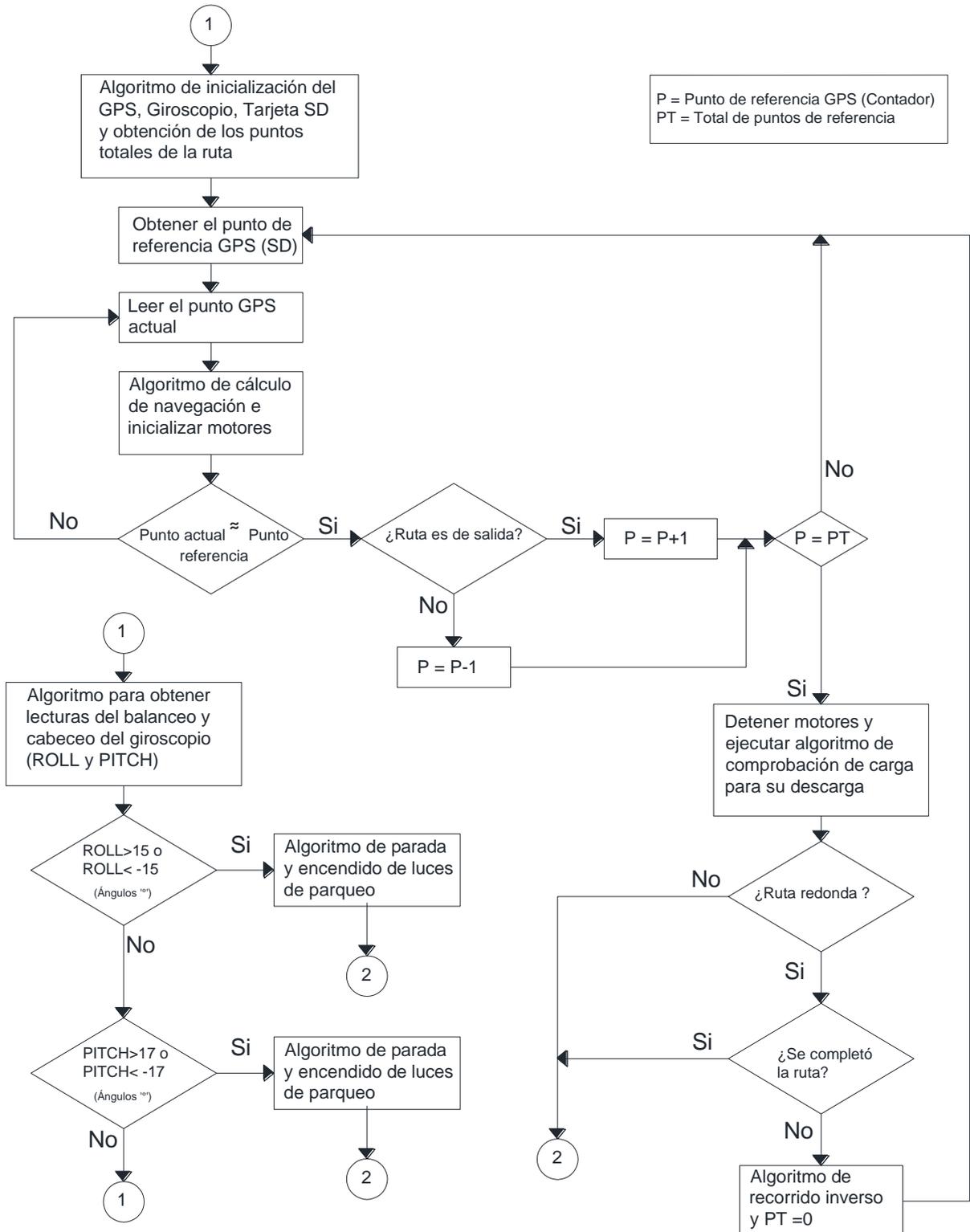


Figura 57. Diagrama de flujo de conducción por trayectoria mediante el uso del módulo GPS y giroscopio (Arduino MEGA).

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Capacidad y autonomía de las baterías

En este apartado se presentan los cálculos de la capacidad necesaria para alimentar al robot durante 4 horas y también se calcula la autonomía de la batería para el control remoto. La batería seleccionada para el robot es de plomo ácido mientras que la batería para el control remoto es de litio.



Figura 58. Baterías del prototipo. (a) Batería de plomo ácido de 12V/9Ah. (b) Batería de litio de 3.82V/3450mAh.

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario para los cálculos las características de las baterías de plomo ácido y de litio, en la siguiente tabla se presenta el resumen de estas características.

Tabla 22. Características de las baterías.

Batería de plomo ácido	
Voltaje de la batería	12V
Corriente de la batería	9Ah
Horas (H)	20
Carga de voltaje constante:	
Modo espera	13.7~13.9V (25°C)
Uso cíclico	14.6~14.8V (25°C)
Corriente máxima inicial	2.7A
Batería de litio	
Capacidad nominal	3450 mAh
Tensión nominal	3.82 V
Energía de la batería	13.18Wh
Límite de voltaje de carga	4.4V

Fuente: Elaboración propia

Entonces, para calcular la capacidad que requiere el robot se utiliza la ley de Peukert porque principalmente se aplica al plomo ácido. La fórmula es la siguiente:

$$t = H\left(\frac{C}{I*H}\right)^K \quad (15)$$

En donde:

t = Tiempo de la batería (h)

H = Tiempo de duración indicado por el fabricante (h)

I = Corriente de consumo (A)

C = Capacidad de la batería (Ah)

k = Coeficiente de Peukert

La ley de Peukert describe como la capacidad de una batería disminuye al descargarse más rápido que su ritmo normal. Cuando el coeficiente de Peukert tiene valor de 1 representa una situación ideal con un buen rendimiento, pero un valor mayor a 1 refleja una menor eficiencia de la batería. El coeficiente de Peukert para la batería de plomo ácido tiene un valor entre 1.1 y 1.3, en este caso se utilizará 1.2 para los cálculos (Martínez Bertran, 2017). Las baterías del robot se van a dividir en dos grupos, el primero es para la etapa de potencia de motores y el segundo es para la etapa de control; por motivo de ruidos eléctricos producidos por las fluctuaciones o parpadeos al momento de encender y apagar los motores en sus diferentes etapas de control.

Capacidad necesaria para los motores.

Los datos necesarios son la corriente que van a consumir los motores, las horas de duración de la batería y el coeficiente de Peukert. El cálculo de la capacidad de las baterías se divide en tres partes por el motivo de que no todos los motores funcionaran al mismo tiempo durante el transporte de carga, la división de este cálculo es de la siguiente manera:

- Motor de descarga: Como máximo se considera un funcionamiento total de 30 minutos que representa 0.5 horas, entonces se obtiene el valor de la capacidad necesaria para alimentar al motor de descarga. Los datos iniciales son: $t = 0.5$ h, $I = 3.3$ A.

$$t = H\left(\frac{C}{I*H}\right)^K \rightarrow C = \left(\frac{t}{H} * (I * H)^k\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$C_{descarga} = \left(\frac{0.5}{20} * (3.3 * 20)^{1.2}\right)^{\frac{1}{1.2}} = 3.051Ah$$

- Motor de dirección: A este motor no se lo utiliza por largo tiempo y como máximo se considera 2 horas de funcionamiento. Los datos iniciales para este caso son: $t = 2$ h, $I = 2.5$ A.

$$C_{dirección} = \left(\frac{2}{20} * (2.5 * 20)^{1.2}\right)^{\frac{1}{1.2}} = 7.339Ah$$

- Motores de tracción: Estos motores van a tener un funcionamiento continuo durante el transporte de carga. Los datos para este caso son: $t = 4$ h e $I = 5$ A por los dos motores.

$$C_{tracción} = \left(\frac{4}{20} * (5 * 20)^{1.2}\right)^{\frac{1}{1.2}} = 26.153Ah$$

Luego se calcula la capacidad total necesaria para el banco de baterías, que viene a ser la suma de las capacidades requeridas por los motores de descarga, dirección y de tracción.

$$C_{banco} = C_{descarga} + C_{dirección} + C_{tracción}$$

$$C_{banco} = 3.051 + 7.339 + 26.153 = 36.543Ah$$

Se requiere de 4 baterías conectadas en paralelo para obtener 12V/36Ah que es casi cercano al valor calculado. En la figura 59 se presenta el esquema de conexión de las baterías para alimentar a los motores.



Figura 59. Etapa de potencia para motores.

Fuente: Elaboración propia.

Capacidad necesaria para el sistema de control.

En este caso para la electrónica son 4 horas de funcionamiento y corriente de consumo total es de 1.57 amperios. Aplicando la ecuación 15 se obtiene la siguiente capacidad.

$$C_{electrónica} = \left(\frac{4}{20} * (1.57 * 20)^{1.2}\right)^{\frac{1}{1.2}} = 8.21Ah$$

Por lo tanto, se requiere de una sola batería de 12V/9Ah para alimentar el sistema de control de este prototipo.

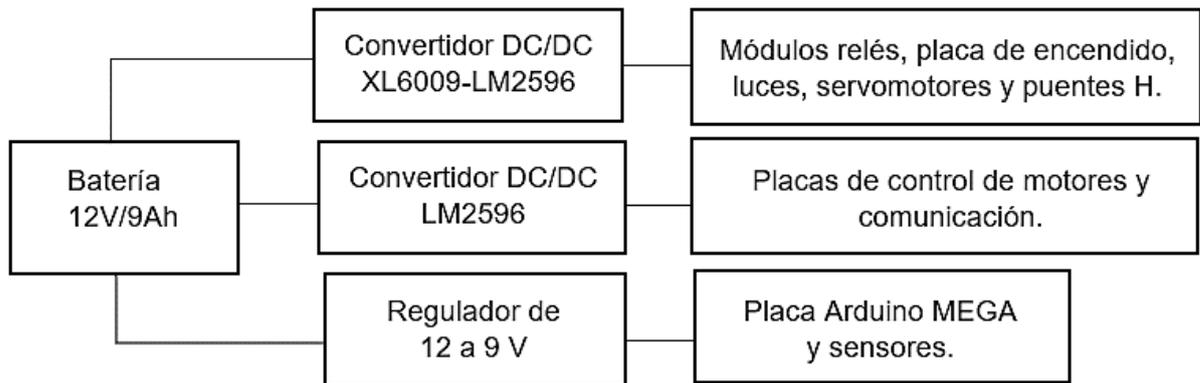


Figura 60. Etapa de potencia del sistema de control.

Fuente: Elaboración propia.

Autonomía de la batería del control remoto.

En el control remoto se implementa una batería de Litio de 3.82V/3450mAh y para subir el nivel de voltaje a 5V se utiliza el convertidor DC/DC Mt3608. La corriente de consumo del control remoto es de 0.3 A. Se aplica la ecuación 16 para calcular la autonomía de esta batería.

$$T = \frac{W_b}{W_c} \quad (16)$$

En donde:

T = tiempo (h)

W_b = Energía de la batería (Wh)

W_c = Potencia de consumo (W)

$$T = \frac{13.18Wh}{5V * 0.3A} = \frac{13.18Wh}{1.5W} = 8.78h$$

La duración de la batería del control remoto es de 8 horas con 47 minutos.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de trabajo

El análisis de trabajo sirve principalmente para la adquisición de información de las diferentes actividades que ejecutan los trabajadores y de esa manera determinar los requerimientos en las tres partes de análisis, la individual, las condiciones de trabajo y los efectos del trabajo. Para realizar este análisis se elaboró tablas relacionadas directamente con la actividad extracción del producto (alfalfa) y además se hizo mediciones y cronometrización de tiempos.

Los resultados de estos 3 análisis en la finca Cielo Abierto son los siguientes:

5.1.1 Análisis individual.

Para la elaboración de la tabla del análisis individual fue necesario conocer la edad, género, distancias de recorrido desde el punto central de las zonas de corte hasta lugar de descarga (parte superior de la finca - cerca del criadero) y cantidad de cargas transportadas en promedio por cada trabajador a la semana.

Tabla 23. Registros del análisis individual para cada trabajador.

ANÁLISIS INDIVIDUAL																					
# Trabajador	Edad (años)	Género		Transporte de carga																Cantidad de cargas promedio transportadas semanalmente (u)	
		M	F	Distancias horizontales (m)																	
				Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7		Z8			
				C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
1	64	X																		30	
2	56		X	150	103	220	172	234	184	247	200	187	140	134	165	130	122	127	145	31	
3	24	X																		34	
# Trabajador	Edad (años)	Género		Movimientos repetitivos																Número de veces que realiza el movimiento (semanal)	
		M	F	Tiempo promedio del recorrido (minutos) por zona de corte																	
				Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7		Z8			
				C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	Ascender camino	Descender camino

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 se indican las distancias que deben recorrer los trabajadores por cada zona de corte, las distancias se midieron haciendo uso de una cinta métrica para el primer camino (C1) y para el segundo camino (C2) y la cronometrización del tiempo también se realizó para los dos caminos existentes.

En la finca hay 2 trabajadores de género masculino uno de 65 años y otro de 24 años y una trabajadora de género femenino con una edad de 56 años, la cantidad de cargas en promedio que deben transportar es de 30, 34 y 31 unidades respectivamente.

- Transporte de carga:

De los resultados obtenidos se observa que las distancias que deben recorrer los trabajadores desde el punto central de las zonas por cualquiera de los dos caminos, el primer camino representa una distancia mayor que el segundo camino en la zona 1 (Z1) hasta la zona 5 (Z5) y la zona 7 (Z7), en cambio, para la zona 6 (Z6) y zona 8 (Z8) el segundo camino representa una distancia mayor por recorrer que el primer camino.

- Movimientos repetitivos:

En la actividad de transporte de carga deben subir y descender los caminos de la finca una y otra vez dependiendo de la cantidad de cargas extraídas. Los resultados de la cronometrización del tiempo indica que el primer trabajador de 65 años tarda más que los demás trabajadores en completar el recorrido y el trabajador de 24 años tarda menos en completar el recorrido siendo la diferencia entre 1 y 2 minutos. De manera general la opción del primer camino representa un tiempo mayor para recorrer que el segundo camino, pero el ángulo de pendiente del segundo camino es mayor que el primero representando un mayor esfuerzo al subir.

5.1.2 Análisis de las condiciones de trabajo.

En este análisis se verificaron las condiciones de trabajo en la que se ejecuta las actividades que conforman el proceso de extracción de la alfalfa. Se recolecta información del tamaño de las cargas, la masa total de la carga, método que implementan para cumplir con la actividad, condición climática y periodo del día en el que se ejecuta la actividad. En la tabla 24 se presenta los resultados de las condiciones en las que desempeñan las actividades los trabajadores de la finca.

Tabla 24. Información de las condiciones de trabajo del proceso de extracción del producto agrícola.

Análisis de condiciones de trabajo													
Actividades	Número de participantes	Tamaño promedio de carga (cm)	Masa promedio de la carga (kg)	Método utilizado para el cumplimiento de la actividad		Desempeño de actividades			Condición climática				
				Implementación de maquina	Se realiza de forma manual	Mañana	Tarde	Noche	Lluvioso	Nublado	Soleado	Ventoso	Parcialmente Nublado
Corte	3	Alto: 81 Largo: 55 Ancho: 40	25	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Recolección					X	X	X		X		X	X	
Levantamiento					X		X		X	X	X	X	
Transporte					X	X	X		X	X	X	X	
Descarga					X	X	X		X	X	X	X	

Fuente: Elaboración propia.

En las 5 actividades del proceso para la extracción del producto participan los 3 trabajadores de la finca, las cargas que elaboran con respecto al tamaño se encuentran fuera del límite máximo en altura de acuerdo con el reglamento (figura 7), pero en largo y ancho si se encuentra dentro del límite como se observa en la figura 61 (a). La masa de carga se encuentra entre 25kg siendo el límite máximo que pueden transportar las personas de género masculino, pero esta fuera del rango máximo para las mujeres.



Figura 61. Mediciones de la carga. (a) Mediadadas del tamaño de la carga. (b) Masa de la carga.

Fuente: Elaboración propia.

En cada proceso para la extracción del producto se ha verificado que se realiza todo de forma manual desde el corte hasta la descarga, únicamente el proceso de corte además de realizarlo de forma manual (corte manual se realiza en espacios de difícil acceso para la máquina) se hace uso de una máquina manual (motoguadaña) para el corte de hierba.

- Partes del día en la que desempeñan las actividades: Los trabajadores realizan el corte y recolección en la mañana, tarde y noche, en cambio, los procesos de levantamiento, transporte y descarga lo realizan solo en las mañanas y en las noches por el motivo de que las radiaciones de sol son menos intensas.
- Condición climática: Cuando el clima es lluvioso en ocasiones se realiza el corte, pero si la lluvia se extiende por horas se detiene el proceso, por otra parte, en un clima nublado, parcialmente nublado y ventoso se puede ejecutar todo el proceso sin dificultades, por último, en un clima soleado únicamente se desarrollan las actividades desde el levantamiento hasta la descargar y el corte y recolección no se lo realiza para evitar calentamiento y deterioro del producto.

5.1.3 Análisis de efectos del trabajo.

En este apartado se aplica el método OWAS para la evaluación de las diferentes posturas que mantienen los trabajadores durante el transporte de carga, se codificaron las distintas posturas cada 30 segundos siguiendo las tablas de posiciones de espalda, brazos y piernas, e incluso se toma en cuenta la carga que manipulan.

En la evaluación de posturas se considera el caso del lugar más lejano de la finca (zona 3) hasta la parte superior (criadero), la codificación se hace por separado a cada uno de los trabajadores en 2 casos, el primer caso es para transportar las 6 cargas con un tiempo requerido de 25 minutos y el segundo caso es para transportar 46 cargas para la venta semanal con un tiempo requerido de 4 horas con 10 minutos.

En esta evaluación, además de las posturas se considera el reglamento de masa máxima de carga y cantidad de cargas acumulada para elaborar una matriz de riesgos que permitirá conocer la escala de riesgo en el que se encuentran los trabajadores de la finca. En la tabla 25 se presenta una matriz de riesgos, la probabilidad corresponde a la frecuencia en la que desarrollan la actividad de transporte en una jornada laboral completa (8 horas) y el impacto se considera de acuerdo con el riesgo promedio de postura del método OWAS, cantidad de cargas y masa máxima de carga para hombres y mujeres.

Tabla 25. Matriz de riesgos para el transporte de carga.

		MATRIZ DE RIESGOS			
		Impacto			
		Bajo	Mediano	Alto	Muy alto
Probabilidad		1	2	3	4
Continuo	4	4	8	12	16
Frecuente	3	3	6	9	12
Ocasional	2	2	4	6	8
Inusual	1	1	2	3	4

Fuente: Elaboración propia.

El tipo de matriz de riesgo es cuantitativa y la escala numérica es del 1 al 4 para la probabilidad e impacto. En la tabla 26 se presenta los rangos establecidos para la probabilidad.

Tabla 26. Rangos en horas para la probabilidad.

PROBABILIDAD	
Condiciones (horas laborales)	
> 0 horas y <= 2 horas	Inusual
> 2 horas y <= 4 horas	Ocasional
> 4 horas y <= 6 horas	Frecuente
> 6 horas	Continuo

Fuente: Elaboración propia.

En los rangos para la escala de impactos se considera reglamento y posturas, el primero es relacionado con la masa máxima que se diferencia entre hombres y mujeres, el siguiente es la cantidad de cargas que está directamente relacionada con la carga acumulada de 6000kg que corresponde a distancias mayores a 10 metros y por último se mantiene la escala de las posturas.

Tabla 27. Rangos para masa máxima, posturas y cantidad de cargas.

IMPACTO	
Condiciones para la masa de carga (Hombres)	
>=3 kg y <=15kg	Bajo
>15kg y <=22kg	Mediano
>22kg y <=25kg	Alto
>25kg	Muy alto
Condiciones para la masa de carga (Mujeres)	
>=3 kg y <=9kg	Bajo
>9kg y <=11kg	Mediano
>11kg y <=22kg	Alto
>22kg	Muy alto
Posturas de la actividad (promedio)	
1	Bajo
2	Mediano

3	Alto
4	Muy alto
Cantidad de cargas	
>=1 carga y <=80 cargas	Bajo
>=80 cargas y <=160 cargas	Mediano
>=160 cargas y <=240 cargas	Alto
>240 cargas	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

Una aclaración con respecto a los rangos de cantidad de cargas de la tabla 27, para establecer los valores indicados se considera una masa de 25kg por cada carga desde el rango más bajo hasta el muy alto de 240 cargas representando los 6000 kg de carga acumulada que se encuentra establecido en la normativa para distancias mayores a 10 metros. Las calificaciones de nivel de riesgo ubicado en el centro de la matriz se calculan multiplicando la probabilidad por el Impacto. En la tabla 28 se presenta el código de colores del nivel de riesgo.

Tabla 28. Código de colores para el riesgo en el transporte de carga.

Nivel de riesgo	Color	Descripción
Riesgo aceptable		No representa un inconveniente mayor para desarrollar la actividad.
Riesgo tolerable		Parámetro equilibrado que debe tomarse en consideración en menor medida.
Riesgo alto		Necesita la actividad considerable atención y acciones correctivas lo antes posible.
Riesgo extremo		Se requiere de una corrección inmediata en la actividad.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.1 Evaluación de posturas y riesgos a diario.

Se codificó las diferentes posturas que realizan los trabajadores en un periodo de 25 minutos, la recopilación de datos es cada 30 segundos, lo que representa una cantidad de 50 registros para cada trabajador. Después de registrar todas las posturas se determina el nivel de riesgo en cada zona del cuerpo (espalda, brazos y piernas) mediante el uso de la tabla 16 del nivel de riesgo de las posturas según la frecuencia relativa.

Evaluación de posturas: Para los datos de codificación de las posturas se toma en consideración desde el levantamiento, transporte, descarga y descenso. En el anexo 4, se encuentran los códigos de posturas registrados de los 3 trabajadores.

- Trabajador de 64 años: El riesgo promedio de este trabajador con la aplicación del método OWAS es de nivel 3, lo que significa que tiene posturas con efecto dañino al sistema musculoesquelético y se requiere acciones correctivas lo antes posible. Los resultados de frecuencia relativa en las 3 zonas del cuerpo son las siguientes.

Espalda: En un periodo de 25 minutos el 28% mantiene la espalda derecha (riesgo 1), un 60% la posición de la espalda se encuentra doblada mayor a 20° (riesgo 2), un 4% la espalda con giro (riesgo 1) y un 8% espalda doblada con giro (riesgo 1). El riesgo más alto se encuentra en la espalda doblada.

Brazos: El 76% mantiene los 2 brazos elevados (riesgo 3) cuando está transportando, un 22% los dos brazos hacia abajo (riesgo 1) cuando está descendiendo y en un menor porcentaje con un 2% un brazo hacia abajo y el otro elevado (riesgo 1). Los brazos elevados con un riesgo 3 requieren de acciones correctivas lo antes posible.

Piernas: Un 84% se mantienen caminando (riesgo 2), un 8 % se mantiene de pie (riesgo 1) y un 8% de rodillas flexionadas (riesgo 1). El movimiento de caminar produce un riesgo con posibilidad de causar daño al sistema musculoesquelético.

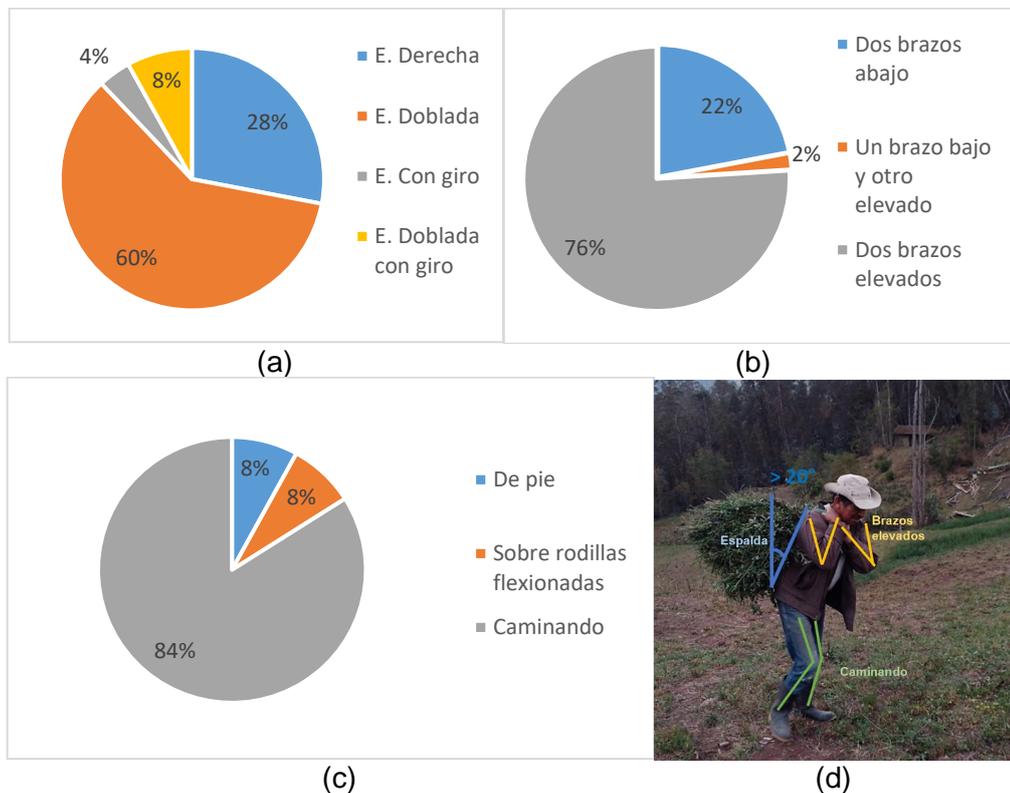


Figura 62. Frecuencia relativa de posturas del trabajador de 64 años. (a) Posición de espalda. (b) Posición de brazos. (c) Posición de piernas. (d) Ángulo de la espalda mayor a 20°-código 2, parte de los brazos están por encima del nivel de hombros-código 3, se encuentra caminando-código 7.

Fuente: Elaboración propia.

- Trabajadora de 56 años: El riesgo promedio de posturas es de un riesgo 2, lo que significa que tienen posturas con posibilidad de afectar al sistema músculo esquelético y se requiere acciones correctivas en un futuro cercano. Los resultados del porcentaje de frecuencia relativa en las 3 zonas del cuerpo son las siguientes.

Espalda: El 58% mantiene la espalda derecha menor a 20° (riesgo 1), un 32% la posición de la espalda se encuentra doblada (riesgo 2), un 6% la espalda girada (riesgo 1) y un 4% espalda doblada con giro (riesgo 1). El riesgo más alto se encuentra en la espalda doblada, pero la frecuencia relativa en la que mantiene esta postura es menor que el primer trabajador.

Brazos: Con un 78% mantiene parte de los brazos elevados (riesgo 3) cuando está transportando y un 22% los dos brazos hacia abajo (riesgo 1) cuando está descendiendo. El riesgo 3 de los dos brazos elevados requieren de acciones correctivas lo antes posible.

Piernas: El 4% se encuentra sentada (riesgo 1), el 8 % de pie (riesgo 1), el 6% sobre rodillas flexionadas (riesgo 1) y el 82% se mantiene caminando (riesgo 2). El riesgo mayor es cuando la persona camina al igual que el primer trabajador.

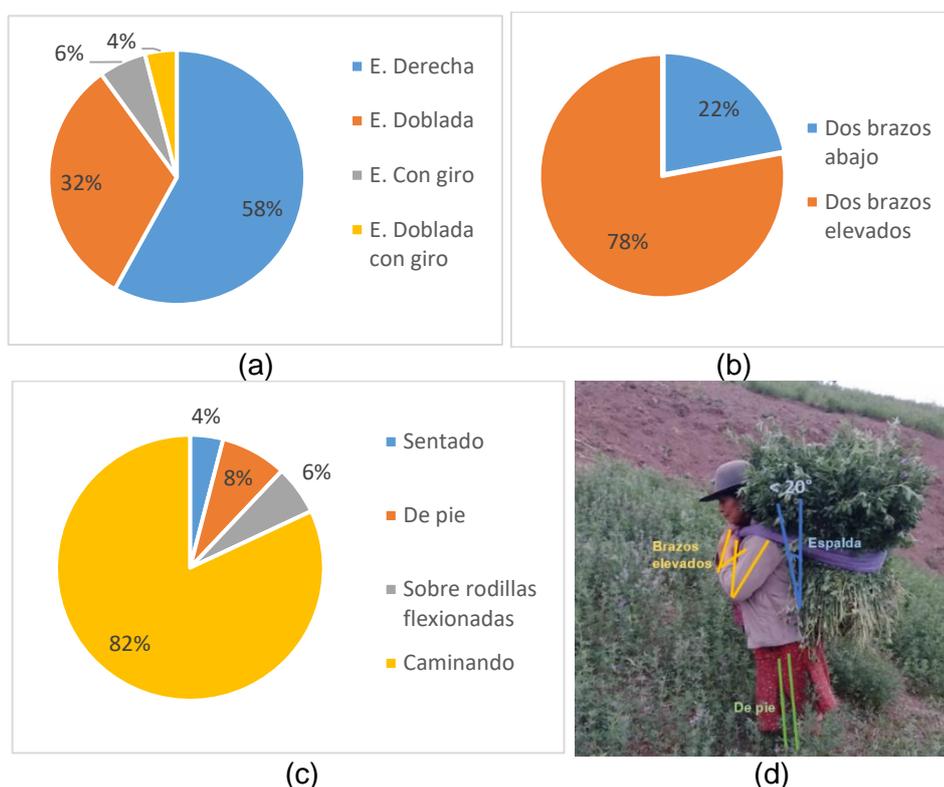


Figura 63. Frecuencia relativa de posturas de la trabajadora de 56 años. (a) Posición de espalda. (b) Posición de brazos. (c) Posición de piernas. (d) Ángulo de la espalda menor a 20°-código 1, parte de los brazos están por encima del nivel de los hombros-código 3, encuentra de pie, código 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Trabajador de 24 años: El promedio de riesgo en posturas de este trabajador es de 3, por lo que es necesario tomar acciones correctivas lo antes posible ya que esta categoría de riesgo representa efectos dañinos al sistema músculo esquelético. Los resultados de frecuencia relativa en las 3 partes del cuerpo son las siguientes.

Espalda: El 34% mantiene la espalda derecha (riesgo 1), un 58% la posición de la espalda se encuentra doblada mayor a 20° (riesgo 2) y un 8% la espalda doblada con giro (riesgo 1). El riesgo más alto sigue siendo la espalda doblada como los anteriores casos.

Brazos: Los brazos, con un 32% los mantiene hacia abajo (riesgo 1) cuando está descendiendo, un 44% un brazo abajo y el otro elevado (riesgo 2) va intercambiando durante el recorrido y un 24% corresponde a los dos brazos se elevados (riesgo 2). La posición de los brazos de este trabajador tiene como máximo el riesgo de categoría 2.

Piernas: La posición de menor frecuencia es sobre una pierna recta y sobre una rodilla flexionada con un 2%, luego le sigue con un 6% sobre las rodillas flexionadas y sentado, después de pie un 14% y por último con el 70% se encuentra caminando. Todos esto porcentajes representa un riesgo de categoría 1.

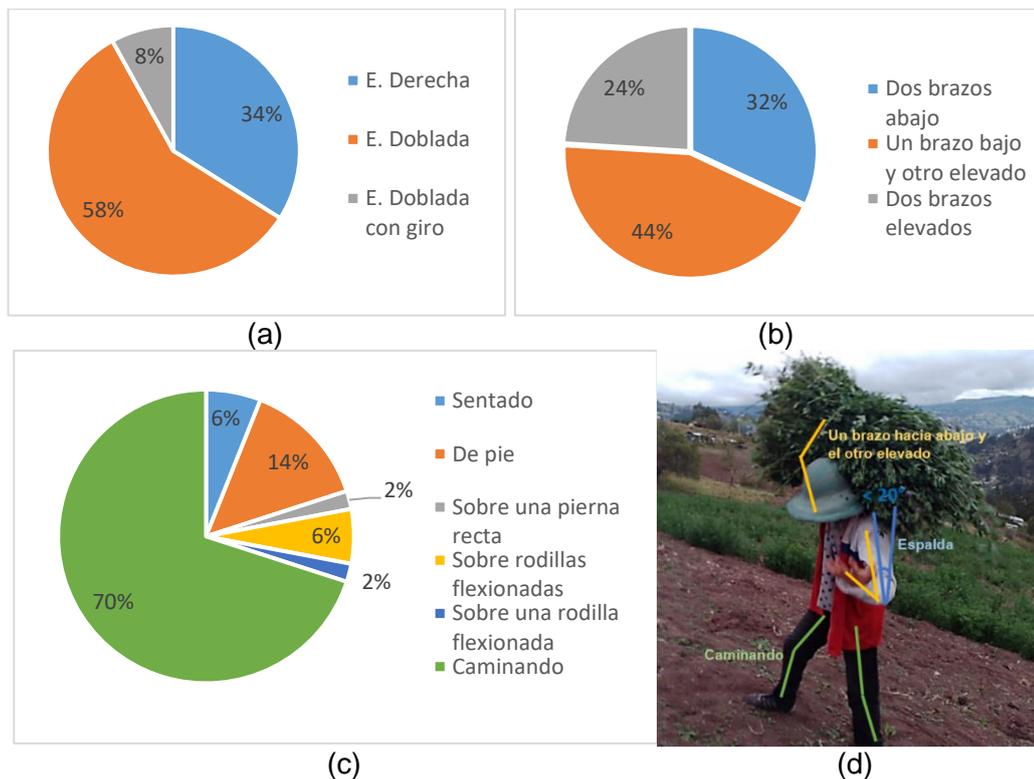


Figura 64. Frecuencia relativa de posturas del trabajador de 24 años. (a) Posición de espalda. (b) Posición de brazos. (c) Posición de piernas. (d) Ángulo de la espalda menor a 20°-código 1, un brazo elevado y el otro hacia abajo-código 2, se encuentra caminado-código 7.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de las posturas de los trabajadores, se observa una mayor coincidencia en espalda inclinado hacia delante, los brazos elevados y posición de piernas caminando.

Evaluación de riesgos de la actividad:

Después de evaluar todas las posturas se determina el riesgo final que conlleva la actividad de transporte de carga a cada trabajador de la finca en base a las tablas 25, 26, 27 y 28.

- Resultados del trabajador de 64 años: En este trabajador se observa que a diario la postura y masa de carga que transporte es de riesgo tolerable y en cantidad de cargas se sitúa en un riesgo aceptable. Lo que significa que no es tan perjudicial para su salud realizar esta actividad a diario por cortos periodos de tiempo.
- Resultados de la trabajadora de 56 años: En este caso se determinó que la postura se encuentra en aceptable debido a que mayormente mantiene una espalda recta lo cual no es tan perjudicial, en cuanto a la masa de carga se considera los valores máximos para las mujeres y para este caso es muy alto por ser una carga mayor a 22kg, pero el riesgo tiende a ser tolerable porque la frecuencia en la que realiza la actividad es un periodo corto y finalmente en cantidad de cargas es un riesgo aceptable.
- Resultados del trabajador de 24 años: Los resultados en su evaluación es similar al trabajador de 64 años, siendo tolerable el riesgo en postura y masa que transporta por estar dentro del límite máximo y un riesgo aceptable a la cantidad de cargas que desplaza.

Tabla 29. Riesgo del transporte de carga a diario de los tres trabajadores de la finca.

Trabajador	Evento	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Calificación
64 años	Postura	Inusual	Alto	Riesgo tolerable	3
	Masa de la carga	Inusual	Alto	Riesgo tolerable	3
	Cantidad de cargas	Inusual	Bajo	Riesgo aceptable	1
56 años	Postura	Inusual	Mediano	Riesgo aceptable	2
	Masa de la carga	Inusual	Muy Alto	Riesgo tolerable	4
	Cantidad de cargas	Inusual	Bajo	Riesgo aceptable	1
24 años	Postura	Inusual	Alto	Riesgo tolerable	3
	Masa de la carga	Inusual	Alto	Riesgo tolerable	3
	Cantidad de cargas	Inusual	Bajo	Riesgo aceptable	1

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del riesgo a diario en los 3 eventos indican que se encuentran con mayor riesgo los trabajadores de género masculino y la trabajadora en menor riesgo, siendo el motivo de esta diferencia la postura que mantienen durante la actividad.

5.1.3.2 Evaluación de posturas y riesgos del transporte para la venta.

El periodo de evaluación en este caso es de 4 horas y 10 minutos (tiempo necesario para transportar 46 cargas) y el tiempo de registro de las posturas es cada 30 segundos en el que

se incluye el levantamiento, transporte, descarga y descenso, lo que significa una cantidad de 490 datos de posturas de los trabajadores. El tiempo de muestreo es mucho mayor porque la cantidad de cargas es superior a lo que se extrae diariamente para alimentar a los animales de su criadero.

Evaluación de posturas: El trabajador de 64 años y el de 24 años siguen manteniendo el riesgo 3, en cambio, la trabajadora de 56 años en promedio continua con el riesgo 2. Con la cantidad de datos en este caso se puede comprobar que desde un periodo corto hasta un periodo más prolongado los trabajadores consideran adecuado sus posturas de trabajo para desplazar carga, independientemente de la cantidad que deban transportar.

- Espalda: En las cuatro variaciones de posturas de los trabajadores, la posición de espalda derecha, con giro y doblada con giro representan un riesgo 1 y solamente la espalda doblada significa un riesgo 2 para todos los trabajadores.

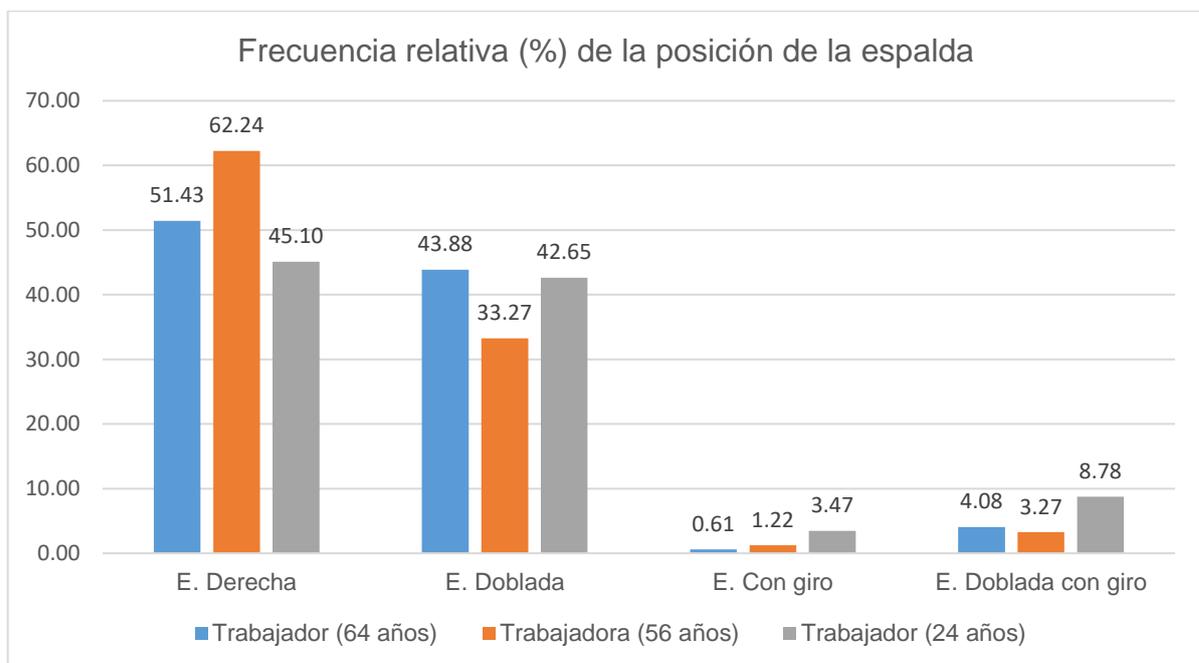


Figura 65. Frecuencia relativa de las posturas de espalda para los tres trabajadores de la FCA.

Fuente: Elaboración propia.

- Brazos: El resultado para trabajador de mayor edad y la trabajadora es que en mayor frecuencia relativa mantienen los 2 brazos elevados, lo que representa un riesgo de nivel 2 a cada uno. En cambio, el riesgo 2 para el trabajador más joven se encuentra en la posición un brazo elevado (38.16%) y dos brazos elevados (23.27%).

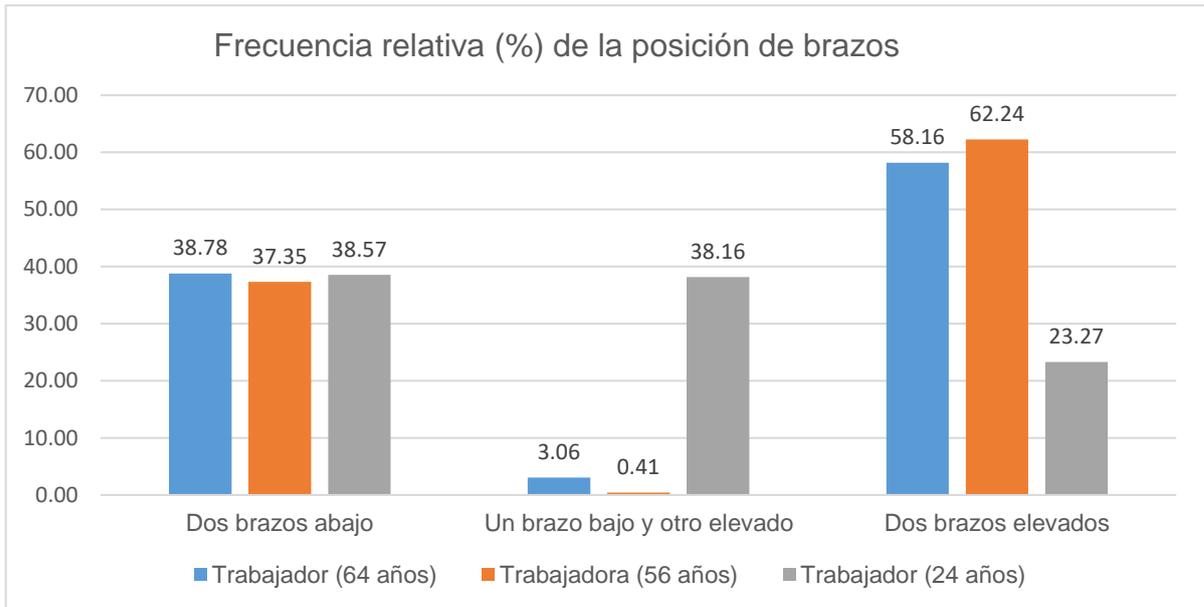


Figura 66. Frecuencia relativa de las posturas de brazos para los tres trabajadores de la FCA.

Fuente: Elaboración propia.

- Piernas: En los 3 casos los trabajadores durante toda la actividad se encuentran mayormente caminado, para los trabajadores de género masculino representa un riesgo 2 (Frecuencia relativa > 80%) y para la trabajadora un riesgo 1 (Frecuencia relativa <80%).

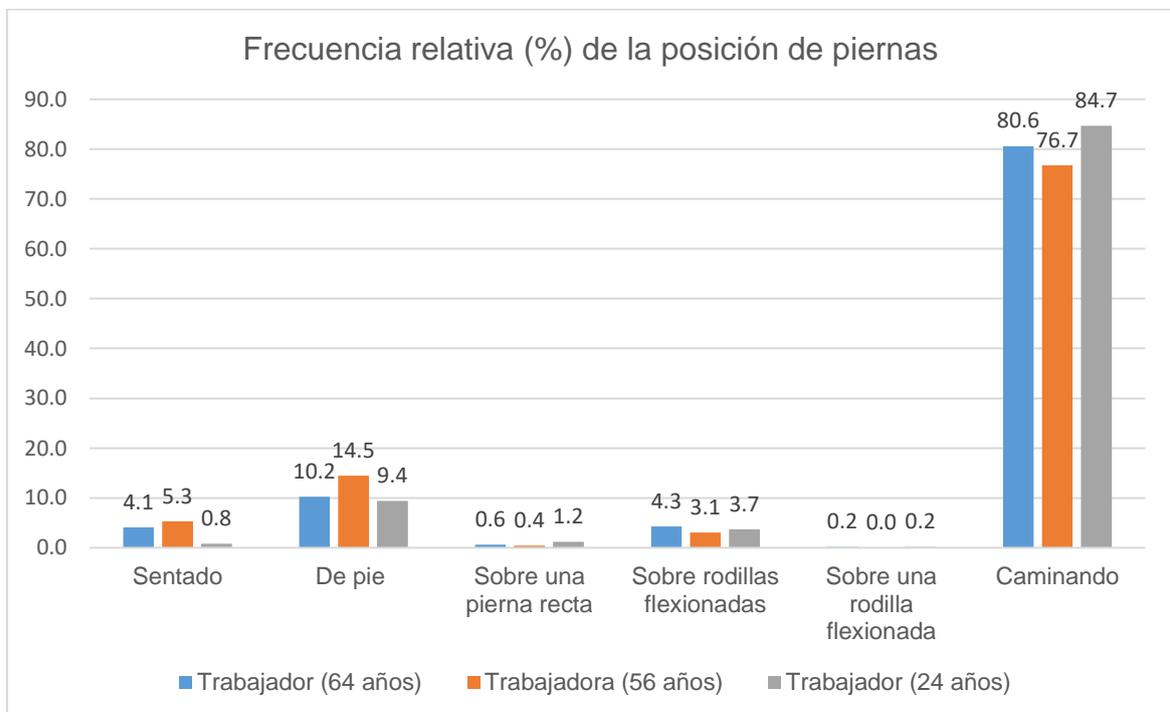


Figura 67. Frecuencia relativa de las posturas de piernas para los tres trabajadores de la FCA.

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de riesgos de la actividad:

Luego de evaluar el método OWAS se implementa la matriz de riesgos considerando probabilidad e impacto para obtener los resultados del nivel riesgo en postura, masa de carga y cantidad de cargas.

Trabajador de 64 años: En comparación con los resultados de la actividad a diario el riesgo incrementa, en postura llega a riesgo alto, en masa de carga igualmente se establece en riesgo alto y en cantidad de cargas (14 unidades) sube a riesgo tolerable. El motivo en el incremento del nivel de riesgo es que la probabilidad aumenta con respecto a la actividad diaria ya que realizar una actividad por más de 4 horas significa que es frecuente (>4h y <=6h), por consiguiente, se encuentra expuesto por mayor tiempo a los tres impactos.

Trabajadora de 56 años: En este caso también incrementa el riesgo como el primer trabajador, siendo similar los riesgos de postura y cantidad de cargas (15 unidades), pero en cuanto a la masa de carga presenta un riesgo extremo por el motivo de que la trabajadora transporta la misma carga con masa de 25kg que los trabajadores de sexo masculino, lo que significa un impacto muy alto por que se encuentra fuera del rango de los 22kg máximos que puede transportar una mujer considerando también la edad.

Trabajador de 24 años: Para el trabajador más joven los resultados de riesgo son similares al trabajador de 64 años, la única diferencia es que la cantidad de carga (17 unidades) que transporta es mayor que los dos trabajadores.

Tabla 30. Riesgos de los trabajadores en el transporte de 46 cargas para la venta.

Trabajador	Evento	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Calificación
64 años	Postura	Frecuente	Alto	Riesgo alto	9
	Masa de la carga	Frecuente	Alto	Riesgo alto	9
	Cantidad de cargas	Frecuente	Bajo	Riesgo tolerable	3
56 años	Postura	Frecuente	Mediano	Riesgo alto	6
	Masa de la carga	Frecuente	Muy alto	Riesgo extremo	12
	Cantidad de cargas	Frecuente	Bajo	Riesgo tolerable	3
24 años	Postura	Frecuente	Alto	Riesgo alto	9
	Masa de la carga	Frecuente	Alto	Riesgo alto	9
	Cantidad de cargas	Frecuente	Bajo	Riesgo tolerable	3

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados a diario por los cortos periodos de tiempo representan un riesgo tolerable y aceptable, pero en lo que corresponde al transporte de cargas para la venta este riesgo incrementa mucho más debido a que el tiempo que dedican los trabajadores para transportar

la carga es mucho mayor y los horarios de trabajo son de 6 pm hasta 10 pm solo para el transporte manual de carga, alcanzando el nivel de riesgo alto y tolerable para los hombres; en cambio, para la mujer representa un riesgo tolerable, alto y extremo.

Los riesgos altos y extremo en el que se encuentran expuestos los trabajadores es una situación preocupante debido a que puede provocar enfermedades ocupacionales que afecten la salud de manera parcial o permanente. El principal efecto son los trastornos musculoesqueléticos en la espalda.

5.1.4 Análisis de efectos de trabajo con el prototipo.

El prototipo desarrollado entro en funcionamiento en los dos casos de transporte, que corresponde a cargas extraídas a diario y para la venta, nuevamente se aplicó el método OWAS para la evaluación de postura y la matriz de riesgo de toda la actividad.

En la evaluación se tomó como referencia al punto más lejano de la finca que corresponde a la zona 3 hasta la parte superior que es el criadero. La limitación presente en este prototipo es el acceso a todas las zonas de corte, como máximo puede acceder hasta cierta parte las zonas 1, 7 y 8 pero los demás es de difícil acceso por falta de camino (espació para una sola persona) y el ángulo de pendiente.

5.1.4.1 Proceso de transporte del prototipo.

En este caso como se toma el lugar más lejano de la finca (zona 3 de corte), hay un margen de distancia cerca de 70 metros en el que las personas deben transportar manualmente desde el punto de corte hasta el lugar de carga del robot que se ubica entre la zona 1 y 7 (espacio plano con llano bajo).



Figura 68. Extracción del producto. (a) Corte y recolección. (b) Transporte manual.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de que los trabajadores han llegado al punto de carga donde se ubica el robot, sobre su plataforma se coloca 2 cargas y se inicia la configuración del robot que corresponde al modo de uso 2 “función autónoma”. El modo de uso autónomo hace que se enciendan los sensores de distancia (detección de obstáculos) y los módulos para la ubicación (seguimiento de trayectoria).

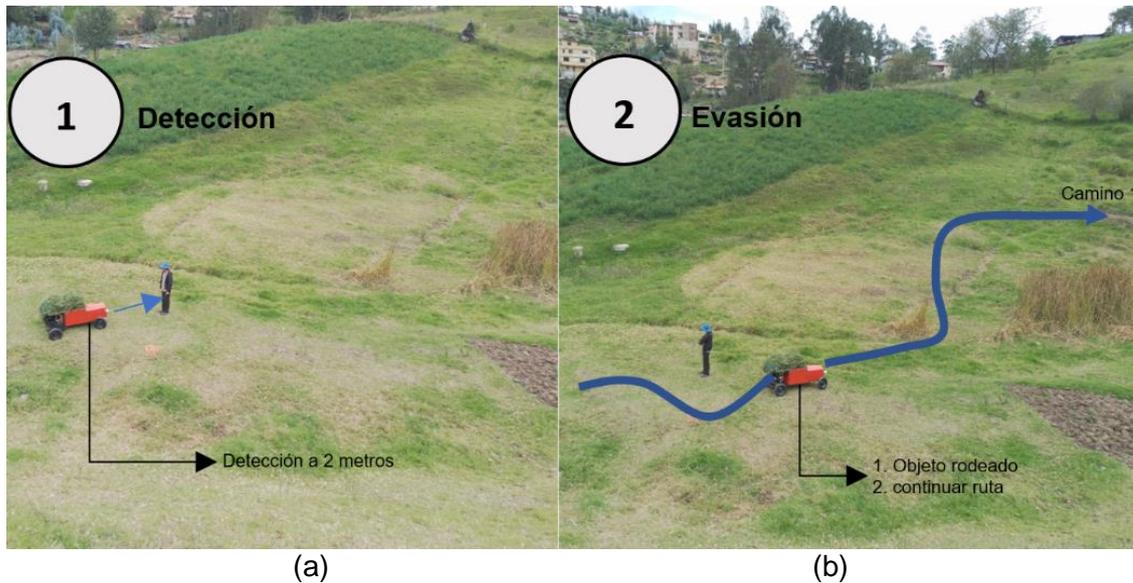


Figura 69. Transporte autónomo. (a) Detección frontal a 2 metros. (b) Evasión rodeando al obstáculo y seguimiento de ruta.

Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de las cargas sobre la plataforma tiene que ser una adelantada cruzada en dirección al ancho de la plataforma y la segunda carga ubicada atrás en dirección al largo de la plataforma, para evitar la caída de las cargas durante el recorrido de toda la trayectoria. Además, de transportar las cargas de alfalfa se puede trasladar otros objetos.

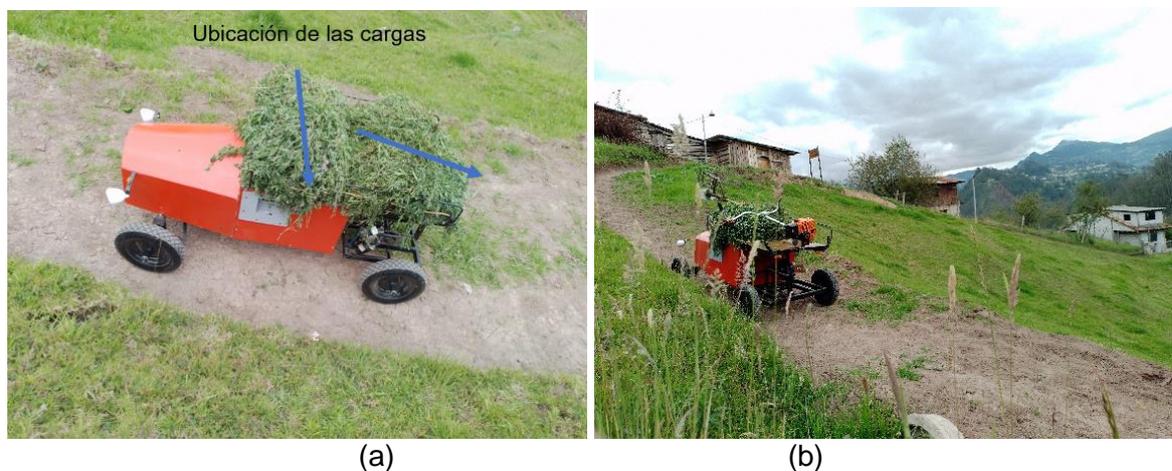


Figura 70. Transporte de carga. (a) Ubicación correcta para transportar 2 cargas. (b) Transporte de carga y máquina de corte.

Fuente: Elaboración propia.

Al final de la trayectoria que corresponde a la entrada del criadero, el robot se ubica correctamente, luego se detiene y comienza la descarga encargada por un motor que enrolla la cuerda que pasa alrededor de las cargas.



Figura 71. Descarga del robot. (a) Dirección de empuje de la cuerda. (b) Descarga completa del robot, cuerda enrollada.

Fuente: Elaboración propia.

Los sensores y módulos activados permiten la navegación por toda la trayectoria grabada y en la plataforma posee sensores infrarrojos de proximidad para determinar si se completó correctamente con la descarga.

5.1.4.2 Evaluación de posturas y riesgos con el prototipo.

En lo que corresponde a la parte experimental se introduce al robot prototipo a la actividad de transporte de carga, por lo tanto, los resultados de postura, cantidad de carga y tiempo de la actividad cambian en comparación con la situación inicial.

Evaluación de posturas y riesgos a diario.

Al realizar nuevamente la evaluación aplicando el método OWAS se observa una reducción de 1 nivel al total de riesgos en posturas para los trabajadores de género masculino. En el anexo 5, se indican los resultados de la evaluación.

En los tres casos se observa un porcentaje de reducción en las posturas de mayor riesgo correspondiente a espalda doblada, los dos brazos elevados y el movimiento de caminar, lo cual son perjudiciales para la salud si se realiza por mucho tiempo. La reducción anterior hizo que incremente el porcentaje espalda derecha, los dos brazos hacia abajo y posición de pie, lo cual no genera afectaciones a la salud; por el contrario, ayudan a que las posturas de mayor riesgo se reduzcan.

Tabla 31. Comparación de la evaluación del método OWAS con y sin el prototipo.

Edad		TRABAJADORES											
		64 años				56 años				24 años			
		Sin prototipo		Con Prototipo		Sin prototipo		Con Prototipo		Sin prototipo		Con Prototipo	
Frecuencia relativa y riesgos		F.R (%)	Riesgo										
Posición de "ESPALDA"	E. Derecha	28	1	48	1	58	1	62	1	34	1	60	1
	E. Doblada	60	2	38	2	32	2	22	1	58	2	30	1
	E. Con giro	4	1	8	1	6	1	12	1	0	1	0	1
	E. Doblada con giro	8	1	6	1	4	1	4	1	8	1	10	1
Posición de "BRAZOS"	Dos brazos abajo	22	1	42	1	22	1	44	1	32	1	56	1
	Un brazo bajo y otro elevado	2	1	8	1	0	1	0	1	44	2	22	1
	Dos brazos elevados	76	3	50	2	78	3	56	2	24	2	22	2
Posición de "PIERNAS"	Sentado	0	1	0	1	4	1	0	1	6	1	0	1
	De pie	8	1	24	1	8	1	22	1	14	1	28	1
	Sobre una pierna recta	0	1	4	1	0	1	0	1	2	1	2	1
	Sobre rodillas flexionadas	8	1	4	1	6	1	12	1	6	1	6	1
	Sobre una rodilla flexionada	0	1	0	1	0	1	0	1	2	1	2	1
	Arrodillado	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Caminando	84	2	68	1	82	2	66	1	70	1	62	1
Riesgo total posturas con carga		3.06		2.34		2.42		2.06		2.92		2.18	

Fuente: Elaboración propia.

Luego de evaluar el método OWAS, se determina el riesgo de la actividad diaria a través de la matriz de riesgos. Se obtiene para todos los casos un riesgo aceptable en postura y cantidad de cargas, en cambio, la masa de carga sigue siendo tolerable debido a que en esta variable no es posible hacer ningún cambio a la masa de carga. Con la implementación de este prototipo se redujo cerca de 8 minutos la actividad de transporte por el motivo de que al encontrarse las cargas en una zona alejada y de difícil acceso, parte de la trayectoria total deben desplazar de forma manual los trabajadores de la finca.

Tabla 32. Evaluación de riesgos a diario con el prototipo.

Trabajador	Evento	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Calificación
64 años	Postura	Inusual	Mediano	Riesgo aceptable	2
	Masa de la carga	Inusual	Alto	Riesgo tolerable	3
	Cantidad de cargas	Inusual	Bajo	Riesgo aceptable	1
56 años	Postura	Inusual	Mediano	Riesgo aceptable	2
	Masa de la carga	Inusual	Muy Alto	Riesgo tolerable	4
	Cantidad de cargas	Inusual	Bajo	Riesgo aceptable	1
24 años	Postura	Inusual	Mediano	Riesgo aceptable	2
	Masa de la carga	Inusual	Alto	Riesgo tolerable	3
	Cantidad de cargas	Inusual	Bajo	Riesgo aceptable	1

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de posturas y riesgos en el transporte de cargas para la venta.

En la actividad de transporte de carga para la venta se realiza una comparativa con y sin el prototipo, y manteniendo las mismas condiciones de trabajo referido a la cantidad de cargas (46) del caso inicial sin el prototipo y misma zona de corte (zona 3, punto más lejano de la finca).

Iniciando esta evaluación desde el método OWAS, se consiguió que el riesgo de posturas para los 3 trabajadores se establezca en categoría 2, lo que significa que tiene posibilidad de causar daño al sistema musculoesquelético, pero no es un efecto dañino y se requiere de acciones correctivas a futuro cercano. Además, en la postura de mayor riesgo que corresponde a “espalda doblada” se redujo la frecuencia relativa en todos los casos e incluso el riesgo para la trabajadora paso de nivel 2 a nivel 1, por otra parte, en la posición de “los dos brazos elevados” existe una reducción considerable y para el trabajador más joven se ve reflejado una reducción del riesgo de nivel 2 a 1. Por último, en la posición de piernas “caminado” el riesgo se establece en 1 para todos los casos.

Tabla 33. Comparación del método OWAS con y sin el prototipo para las cargas de venta.

Edad		TRABAJADORES											
		64 años				56 años				24 años			
		Sin Prototipo		Con Prototipo		Sin prototipo		Con prototipo		Sin prototipo		Con prototipo	
Frecuencia relativa y riesgos		F.R (%)	Riesgo										
Posición de "ESPALDA"	E. Derecha	51.4	1	60.4	1	62.2	1	69.2	1	45.1	1	53.7	1
	E. Doblada	43.9	2	35.5	2	33.3	2	26.7	1	42.7	2	36.1	2
	E. Con giro	0.6	1	0.2	1	1.2	1	1.0	1	3.5	1	2.4	1
	E. Doblada con giro	4.1	1	3.9	1	3.3	1	3.1	1	8.8	1	7.8	1
Posición de "BRAZOS"	Dos brazos abajo	38.8	1	49.4	1	37.3	1	48.0	1	38.6	1	47.1	1
	Un brazo bajo y otro elevado	3.1	1	3.5	1	0.4	1	0.8	1	38.2	2	33.3	2
	Dos brazos elevados	58.2	2	47.1	2	62.2	2	51.2	2	23.3	2	19.6	1
Posición de "PIERNAS"	Sentado	4.1	1	4.5	1	5.3	1	6.5	1	0.8	1	1.2	1
	De pie	10.2	1	14.9	1	14.5	1	17.8	1	9.4	1	15.9	1
	Sobre una pierna recta	0.6	1	1.0	1	0.4	1	0.2	1	1.2	1	2.0	1
	Sobre rodillas flexionadas	4.3	1	4.9	1	3.1	1	3.1	1	3.7	1	2.9	1
	Sobre una rodilla flexionada	0.2	1	0.4	1	0.0	1	0.0	1	0.2	1	0.2	1
	Arrodillado	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1
	Caminando	80.6	2	74.3	1	76.7	1	72.4	1	84.7	2	77.8	1
Riesgo total posturas con carga		2.514		2.237		2.249		2.012		2.547		2.302	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la evaluación de la matriz de riesgo, existe un cambio positivo para los 3 trabajadores debido a que el nivel de riesgo se redujo en comparación con el caso inicial, por el hecho de que el promedio de posturas para todos llegó a riesgo de categoría 2 y el tiempo de las 4 horas con 10 minutos del caso inicial se redujo a 3 horas con 7 minutos.

Tabla 34. Evaluación de riesgos en el transporte de carga para la venta con el prototipo.

Trabajador	Evento	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Calificación
64 años	Postura	Ocasional	Mediano	Riesgo tolerable	4
	Masa de la carga	Ocasional	Alto	Riesgo alto	6
	Cantidad de cargas	Ocasional	Bajo	Riesgo aceptable	2
56 años	Postura	Ocasional	Mediano	Riesgo tolerable	4
	Masa de la carga	Ocasional	Muy alto	Riesgo alto	8
	Cantidad de cargas	Ocasional	Bajo	Riesgo aceptable	2
24 años	Postura	Ocasional	Mediano	Riesgo tolerable	4
	Masa de la carga	Ocasional	Alto	Riesgo alto	6
	Cantidad de cargas	Ocasional	Bajo	Riesgo aceptable	2

Fuente: Elaboración propia.

En las pruebas de campo el prototipo se mantuvo en funcionamiento cerca de 3 horas con 20 minutos, ayudando a transportar 12 cargas de los 46 totales por lo que cada recorrido completo duró 30 minutos aproximadamente haciendo un total de 2 horas con 45 minutos solo en transporte, es decir, 5.5 recorridos completos y el resto de tiempo corresponde a la recalibración y carga del producto sobre la plataforma de robot.

La aportación del prototipo en el transporte de carga para la venta es la reducción del tiempo de la actividad, reducción de cantidad de cargas y movimientos repetitivos.

- Riesgos en postura: Del nivel de riesgo alto se redujo para todos los casos al nivel tolerable que representa un parámetro equilibrado, con menor posibilidad de tener un trastorno musculoesquelético.
- Riesgo de masa de carga: Lo que se consiguió es reducir la calificación de 9 a 6 para los hombres haciéndolo más cercano al riesgo tolerable y para la mujer la calificación cambió de 12 a 8, logrando cambiar el riesgo extremo inicial a riesgo alto. El motivo de que este riesgo sigue siendo el más alto es porque no es posible modificar la masa de las cargas ya que eso afectaría su precio para la venta.
- Riesgo en cantidad de cargas: El resultado de este riesgo es el más positivo, lo cual no representa una amenaza para la salud de los trabajadores.

Se logró una reducción de tiempo en la actividad de transporte de carga en los dos casos, considerando el escenario más desfavorable (zona 3 - punto lejano) y se redujo en un nivel los riesgos de los trabajadores en cuanto a posturas y actividad.

Tabla 35. Comparación de resultados con y sin el prototipo considerando la zona más lejana de la finca Cielo Abierto.

Trabajador		Comparación (caso inicial - prototipo)						
		64 años		56 años		24 años		
		Sin prototipo	Con prototipo	Sin prototipo	Con prototipo	Sin prototipo	Con prototipo	
CARGAS A DIARIO	Cantidad de cargas (Transportadas por completo)		2	1	2	1	2	1
	# De movimientos repetitivos	Ascender	2	1.4	2	1.4	2	1.4
		Descender	1	1	1	1	1	1
	Tiempo de la actividad		25 minutos	18 minutos	24.5 minutos	18 minutos	23.5 minutos	16.5 minutos
	Riesgo promedio de postura		3	2	2	2	3	2
	Riesgo de la actividad	Postura	Tolerable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Aceptable
		Masa	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Tolerable
Cantidad		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	
CARGAS PARA LA VENTA	Cantidad de cargas (Transportadas por completo)		14	10	15	11	17	13
	# De movimientos repetitivos	Ascender	14	12.4	15	13.4	17	15.4
		Descender	13	11.4	14	12.4	16	14.4
	Tiempo de la actividad		4h 10min	3h 7 min	4h 10min	3h 7 min	4h 10min	3h 7 min
	Riesgo promedio de postura		3	2	2	2	3	2
	Riesgo de la actividad	Postura	Alto	Tolerable	Alto	Tolerable	Alto	Tolerable
		Masa	Alto	Alto	Extremo	Alto	Alto	Alto
Cantidad		Tolerable	Aceptable	Tolerable	Aceptable	Tolerable	Aceptable	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados conseguidos con la implementación del prototipo hacen que la actividad de transporte de carga sea un poco más segura para la salud de los trabajadores, especialmente en riesgos ergonómicos. Lo más destacable de estos resultados es la disminución de carga acumulada y tiempo que significa una reducción del nivel de riesgo de toda actividad.

5.2 Discusión

Realizar la actividad de transporte manual de carga representa a un trabajador grandes esfuerzos físicos que varía dependiendo el ambiente laboral. Este estudio es enfocado a analizar los riesgos que presenta este tipo de actividad para los trabajadores de la finca Cielo Abierto, iniciando desde el análisis de trabajo individual, condiciones, y de efectos relacionados a factores ergonómicos que fueron evaluados con el método OWAS a dos casos que son el transporte para el consumo interno diario y venta del producto agrícola. Con la información recopilada se desarrolló un prototipo de robot móvil de carga que realiza las tareas de transporte y descarga, luego a este prototipo se lo ingresó en la actividad para participar como ayudante, en la que nuevamente se evaluó los riesgos de esta actividad manteniendo las mismas condiciones de trabajo del caso inicial, en la que se evidenció una reducción del riesgo debido a que las tareas para cada trabajador se reducen en cantidad de cargas a transportar y el tiempo para cumplir dicha tarea. El riesgo de posturas forzadas en el cuerpo

disminuyó en promedio para todos los trabajadores de una categoría 3 con efectos dañinos a una categoría 2 con menor posibilidad de causar daño al sistema musculoesquelético.

Los resultados que se consiguieron con el prototipo son favorables para la salud de los trabajadores, es decir, que al reducir el porcentaje de frecuencia relativa a las posturas de mayor riesgo (espalda doblada, brazos levantados y caminar) que realizan diariamente los trabajadores, se logra establecer un riesgo tolerable que para esta situación representa un parámetro más equilibrado, es decir, al trabajador se reduce la probabilidad de tener alguna enfermedad ocupacional relacionada directamente con el trastorno musculoesquelético en un futuro cercano especialmente en la columna vertebral, brazos y piernas.

Existe varias situaciones en las que se debe transportar carga y la más complicada es en lugares de difícil acceso que comúnmente aplican el sistema de transporte por cable, esta solución se puede establecer en lugares de gran pendiente en la que recorrer por todo el trayecto toma más tiempo y pasar por ese lugar resulta más peligroso, convirtiendo a este sistema en un método eficiente que se adapta a cualquier tipo de terreno. Este sistema de transporte hace mucho más fácil el traslado de carga, pero el costo de inversión es elevado, el autor Andrés Mejía implementó este mismo tipo de sistema en una finca logrando grandes beneficios para el lugar con una inversión cercana a los 10000 dólares (Mejía Vargas, 2011).

Un vehículo con movilidad por llantas representa una gran limitación para acceder en lugares de gran pendiente y difícil acceso, pero si se presenta una situación en el que el ángulo de pendiente no es tan elevado y las condiciones de terreno son adecuadas es más accesible el vehículo para transportar carga. El prototipo desarrollado es más rentable por su inversión cercano a los 1000 dólares que un sistema similar a un teleférico y además se evita afectar los cultivos y la estética del lugar al colocar diferentes estructuras por todo el terreno.

Los autores Moreno, S y Ceballos, N; realizaron una revisión acerca de vehículos de guiado autónomo (Moreno & Ceballos, 2019). Mencionando que, con la aplicación de visión artificial, seguimiento de carril y generación de mapas es ideal para la navegación correcta del vehículo, lo que lo hace una eficiente solución para el transporte de mercancía, objetos, herramientas, etc. El prototipo desarrollado en este estudio posee limitaciones en cuanto a una navegación precisa por motivo de que los módulos GPS y giroscopio poseen un margen de error debido a que no son equipos de precisión, pero la ventaja es que en lugares de espacio abierto no es necesario alta precisión para cumplir con el objetivo. En lo que corresponde a lugares estrechos fue necesario complementar al sistema de seguimiento de trayectoria por GPS con sensores de distancia infrarroja para el seguimiento de pared presente en el sendero estrecho, la cual es una solución para su movilidad con mayor precisión.

Mayormente los estudios en el que desarrollan prototipos principalmente se destacan por profundizar temas de funcionalidad, mecánica, navegación, facilitar actividades, reducir gastos y costos de mano de obra, es decir, existe poca literatura relacionada a la reducción de riesgos laborales aplicando robots. Por lo tanto, esta investigación se destaca por su iniciativa en mejorar la calidad de vida de los trabajadores del sector agrícola.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Después de la evaluación del método OWAS y la matriz de riesgos a los trabajadores de la finca, en el caso inicial para el transporte manual de carga dirigido al consumo interno diario el riesgo es tolerable y para la extracción del producto destinada a la venta el riesgo incrementa a nivel alto, pero con la ayuda del prototipo se determinó que es posible reducir ese nivel de riesgo, pasando de tolerable a aceptable para el transporte de carga a diario y para el transporte de carga destinada a la venta pasó de riesgo alto a aceptable, siendo un resultado positivo para evitar que los trabajadores presenten alguna enfermedad ocupacional relacionada a trastornos musculoesqueléticos.

Durante toda la evaluación de posturas de los trabajadores en la actividad de transporte manual de carga se evidenció una mayor coincidencia en las posturas de espalda doblada hacia delante, los dos brazos elevados y caminar hacia delante, representando un mayor riesgo ergonómico en la que se debía intervenir. Entonces, para reducir el porcentaje de estas posturas al robot se lo caracterizó con las funciones de transporte y descarga autónoma.

Durante el desarrollo del prototipo fue necesario acondicionarlo al lugar de trabajo, implementando a la parte mecánica del robot un mecanismo diferencial para el modelo Ackerman, un mecanismo bobinador para la descarga y sistemas reductores en la tracción y dirección. La parte electrónica se construyó de forma modular debido a que fue necesario separar la parte de control y potencia. Los módulos GPS, giroscopio y sensores de distancia infrarrojos seleccionados fueron los más adecuados para desarrollar el sistema de navegación por ser un espacio abierto.

En el diseño elaborado en Sketchup de la estructura del prototipo se consideró materiales resistentes y de menor peso como tubos de acero rectangulares y madera de menor grosor que alcanzó una masa total de 70 kg incluyendo todos los componentes del robot y sus dimensiones son de 1 m de ancho, 1.67 m de largo y 85 cm de alto. Logrando una estructura capaz de albergar la electrónica en su interior y carga sobre su plataforma, sin afectar su movilidad y la capacidad máxima de carga.

Protón IDE fue implementado para el desarrollo de algoritmos a los microcontroladores de las placas de motores, encendido, comunicación y control remoto. En cambio, el Arduino contiene todo el proceso de cálculo para el sistema de navegación que constantemente se comunica con las otras placas de control ya que todos trabajan en conjunto para poder

controlar al vehículo de manera autónoma mediante seguimiento de trayectoria por puntos de coordenadas GPS, comparando puntos de rutas previamente grabados en la tarjeta SD. La repartición de tareas a cada placa de control presentó resultados aceptables, evitando sobrecargar todas las funciones del sistema de navegación al Arduino.

En las pruebas de campo del prototipo se evaluó parámetros como carga, tiempo de recorrido y el correcto funcionamiento de navegación sobre el camino y espacio plano. Con referente a la carga fue capaz de transportar 50 kg es decir 2 cargas de alfalfa, por otra parte, el tiempo de recorrido en ida y vuelta fue cercano a 30 minutos repartidos en 17 minutos para la subida y 13 minutos para el descenso, y por último en la navegación autónoma por GPS se realizaron pruebas de un punto a otro, en la que se presentó oscilaciones entre los 85 cm a 1.6 m de error.

De los tres factores analizados con la matriz de riesgos se observa mejores resultados en posturas y cantidad de cargas, pero en la masa de carga no hay mucha diferencia que el caso inicial por el motivo de que la masa del producto agrícola tiene un valor casi fijo aproximadamente 25kg que no se pueden modificar porque afectaría considerablemente el precio y el tiempo requerido para transportarlos.

6.2 Recomendaciones

Reemplazar los motores de tracción con características de velocidad alta, mayor torque y potencia, para que cuando se aplique un sistema de transmisión destinada a mejorar el torque de las ruedas motrices no resulte afectado en gran medida la velocidad del robot y de esa manera cumplir con determinada actividad en el menor tiempo posible.

Mejorar la técnica de navegación, implementando visión artificial que ayude al seguimiento de trayectoria y reconocimiento de objetos dentro del rango de visión de la cámara. Esta técnica es mucho más precisa si se entrena correctamente a la cámara para reconocer varios objetos y para determinar distancias.

En la actividad de traslado de carga existen 3 procesos que son levantamiento, transporte y descarga, el prototipo desarrollado únicamente se limita al transporte y descarga. Por lo que implementar un sistema para el levantamiento de carga lo hace mucho más independiente y de esa manera evitar el incorrecto levantamiento de carga por parte de las personas, además se reduce el tiempo requerido para cumplir con determinada tarea.

El control remoto de este proyecto utiliza un módulo bluetooth para la conexión inalámbrica con un límite máximo de alcance hasta 10 metros de distancia, pero si se implementan

módulos de radio frecuencia aumenta el alcance de la conexión inalámbrica, posibilitando el control del robot desde puntos más lejanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, G., Gallardo, J., & Pérez, R. (2016). Reactive control architecture for autonomous mobile robot navigation. *Ingeniare*, 24(1), 173-181. Scopus.
<https://doi.org/10.4067/s0718-33052016000100016>
- Albarez, J. R. (2017). *Diseño e implementación de un sistema automatizado de limpiaparabrisas con un módulo DRL incorporado para el control total de reflectores*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Arroyave, L. F. O., Carvajal, M. V., & Ceballos, N. D. M. (2018). Navegación De Robots Mviles En Entornos Con Discontinuidades: Una Revisión. *Revista Politécnica*, 14(27), 103-115.
- Baeza, J. P. (2009). *Manual de programación de Arduino*. Universidad de Alicante.
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11833/1/arduino.pdf>
- Barreiro Laguna, L. (2020). Plan de intervención para la reducción de patologías asociados a la manipulación manual de carga en la empresa Dispapeles s.a.s. [Thesis, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. En *Reponame: Colecciones Digitales Uniminuto*.
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/10319>
- Borges, A., Almirall, P., Escalona, E., Vidal, G., Núñez, R., Bracho, I., Romero, A., & Torrealba, F. (2012). Una experiencia de capacitación sobre el análisis del trabajo. *Salud de los Trabajadores*, 20(1), 23-32.
- Bowen Alcívar, D. S., Alvarado Mendoza, A. A., & Agila, W. (2022). *Rediseño estructural y control de un transporte de cable vía de uso en la agricultura*. [Thesis, ESPOL. FIMCP]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57161>
- Canseco Velasco, H., Guerrero Escamilla, F., & Peña García, D. (2022). *Prototipo de un robot móvil para transportar objetos*.
<http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/30854>
- Carvajal Rojas, J. H., Vega Arévalo, C. M., & Téllez Garay, J. P. (2010). Diseño mecatrónico de robot móvil para transporte de carga en superficies irregulares. *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, 7(1), 19-33.
- Castillo, D. K. (2022). *Programa de Investigación de incidentes, accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales*. Universidad Nacional de Educación (UNAE).
<https://unae.edu.ec/wp-content/uploads/2022/04/PRG-Investigaci%C3%B3n-de-Accidentes-de-Trabajo-y-Enfermedades-Ocupacionales-signed-signed.pdf>

- Chauhan, S. (2015). *Motor Torque Calculations For Electric Vehicle*. 4(08).
- Diego-Mas, J. A. (2015). *Evaluación Postural mediante el Método OWAS*. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia.
<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>
- Fernández, R., Aracil, R., & Armada, M. (2012). Traction control for wheeled mobile robots. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 9(4), 393-405. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2012.09.008>
- Flores García, J. C. (2012). *Sistemas de transmision mecanica* [Thesis].
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/15454>
- García, J. M., Yáñez, P., & Martínez, J. E. (2023). Evaluación de la navegabilidad en robots móviles skid-steer con remolques pasivos moviéndose sobre terrenos inclinados. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 20(1), Article 1.
<https://doi.org/10.4995/riai.2022.17161>
- González, R., Rodríguez, F., & Guzmán, J. L. (2015). Autonomous tracked robots. History, modelling, localization, and motion control. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 12(1), 3-12. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.11.001>
- Greenberg, M. I., & Vearrier, D. (2022). *Lesiones relacionadas con el trabajo por movimientos repetitivos*. Merck Sharp & Dohme (MSD).
<https://www.msdmanuals.com/es-ec/professional/temas-especiales/medicina-ambiental-y-laboral/lesiones-relacionadas-con-el-trabajo-por-movimientos-repetitivos>
- Guachamín, S., & Elizabeth, X. (2019). *Modelado y simulación de un robot móvil tipo Ackerman en un entorno virtual* [bachelorThesis, CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS FACULTAD:INGENIERÍA MECATRÓNICA].
<http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20569>
- Hernández-Rosales, C., & Jiménez-Manríquez, J. R. (2022). Diseño y construcción de un robot de ruedas con autoequilibrio para la enseñanza de control automático. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(Especial4), Article Especial4. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial4.9280>
- Huerta, H. V., Vásquez, A. C., Solís, R. M., Maquera, W., & Arakaki, T. (2010). *Sistema Inteligente para Medir Volumen de Líquidos utilizando Sensores de Ultrasonido*. 7.
- Hurst, P., Termine, P., & Karl, M. (2007). *Trabajadores agrícolas y su contribución a la agricultura y el desarrollo rural sostenibles*. Organización Internacional del Trabajo

- (OIT), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Unión Internacional de los Trabajadores de la Alimentación, Agrícolas, Hoteles, Restaurantes, Tabaco y Afines (UITA).
- IESS. (2016). *Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. Quito.
- IESS. (2018). *Boletín Estadístico de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Ocupacionales*. SEGURO GENERAL DE RIESGOS DEL TRABAJO.
- INSHT. (2011). *Manipulación manual de cargas: Manipulación manual de cargas*:. Ministerio del Trabajo e Inmigración, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (ESPAÑA).
- Kader, A. A. (2011). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. UCANR Publications.
- Martínez Bertran, J. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/104855>
- Martínez Rodríguez, A. J. (2023). *Sistema barra-esfera para prácticas de sistemas de control* [bachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15041>
- Marulanda, A. G., Ordoñez, C. C. O., Morales, M. H., Villada, L. F. L., & Ruiz, N. A. R. (2021). Peligro biomecánico en la manipulación manual de carga en trabajadores de un ingenio azucarero. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.18041/2322-634X/rcso.2.2021.6361>
- Mejía Vargas, A. F. (2011). *Diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables para topografía de gran pendiente* [bachelorThesis, Universidad EAFIT]. <http://repositorio.eafit.edu.co/handle/10784/4442>
- Ministerio de Salud Pública. (2022). *Panorama Nacional de Salud de los Trabajadores, Encuesta de condiciones de Trabajo y Salud 2021-2022*. Ministerio de Salud Pública (MSP). <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/Panorama-Nacional-de-Salud-de-los-Trabajadores-Encuesta-de-Condiciones-de-Trabajo-y-Salud-2021-2022.pdf>
- Ministerio del Trabajo. (2013). *Lavamiento manual de cargas*. Ministerio de Relaciones Laborales. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NT-13-Levantamiento-Manual-de-Cargas.pdf>

- Miranda Chiquito, P. J., Anrrango Tibanquiza, A. X., & Silva, C. (2022). *Diseño de un robot móvil autónomo para entregas de alimentos en un campus universitario*. [Thesis, ESPOL. FIMCP]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56143>
- Mohammed, S. L., Al-Naji, A., Farjo, M. M., & Chahl, J. (2019). Highly Accurate Water Level Measurement System Using a Microcontroller and an Ultrasonic Sensor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518(4), 042025. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/4/042025>
- Montaleza, C., Mayorga, X., Gallegos, J., & León, R. (2022). Diseño de un prototipo de robot con geometría Rocker-Bogie. *Enfoque UTE*, 13(1), 82-96.
- Montalvo, W., Garcia, C., Naranjo, J. E., Ortiz, A., & Garcia, M. (2020). Sistema de Teleoperación para Robots Móviles en la industria del Petróleo y Gas. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*.
- Moreno, S. A. M., & Ceballos, N. D. M. (2019). Vehículos De Guiado Autónomo (agv) En Aplicaciones Industriales: Una Revisión. *Revista Politécnica*, 15(28), 117-137.
- Organización Internacional del Trabajo. (2018). *Mejorar la Seguridad y la Salud de los Trabajadores Jóvenes*. Departamento de Gobernanza y Tripartismo. https://www.ilo.org/static/spanish/argentina/100voces/recursos/5_empleadores/3.pdf
- Peña, C. (2020). *Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa*. RedUsers.
- Pérez Vidal, C. (2017). *Control Sensorial de Sistemas Robóticos*. Universidad Miguel Hernández. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ucacue/detail.action?docID=30293470>
- Ramírez Cruz, M. N., Silva Aguiar, S. R., & Zermeño Escobedo, L. (2023). *Desarrollo de un prototipo de robot móvil autónomo con navegación basada en visión por computadora para la asistencia de adultos mayores dentro de entornos controlados*. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5702>
- Recalde Zambrano, V. W. (2019). *Postura forzada que enfrentan los agricultores en la cosecha de papa*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3613>
- Reinoso Hidalgo, M. C. (2013). Prevalencia de lesiones en columna lumbar por sobreesfuerzo en trabajadores de la construcción en tareas de soldadura y albañilería en la constructora Arq Concept mediante la aplicación de la ecuación Niosh en el período noviembre 2012 [bachelorThesis, QUITO / PUCE / 2013]. En *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/6006>

- Renojo Ccora, Y. Y. (2022). *Diseño y construcción de un robot con cabeza intercambiable para mejorar las actividades en la agricultura*.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8639>
- Reyes, C. A. (2006). *Microcontroladores PIC Programación en BASIC*. RISPGRAF.
https://xxbenjiux.files.wordpress.com/2011/10/microcontroladores_pic.pdf
- Romero Mosquera, R. A., Torres Ramos, J. F., & Vargas López, G. (2022). *Desarrollo e implementación de un sistema de seguridad para camiones transportistas basado en un botón de pánico y alarma usando un módulo GPS*. [Thesis, ESPOL. FIEC.].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57108>
- Sánchez Molina, R. (2020, octubre). *Modelización de la marcha dinámica de robot hexápodo con patas CLeg* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S.I. Industriales (UPM).
<https://oa.upm.es/64796/>
- Taboadela, C. H. (2007). *Goniometría, Una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales*. Buenos Aires: Asociart ART. <https://aaot.org.ar/wp-content/uploads/2019/12/Taboadela-Claudio-H-Goniometria-Eval-Incap-Laborales-2007.pdf>
- Torrealba, F. (2017). EDITORIAL. Goniometría y antropometría en el contexto de la salud ocupacional en Venezuela. *Salud de los Trabajadores*, 25(1), 3-7.
- Torrico, R. A. (2019, junio 1). GPS Guides Robotic Car. *Circuit Cellar*.
<https://circuitcellar.com/research-design-hub/gps-guides-robotic-car-2/>
- Únal, I., & Topakci, M. (2015). Design of a Remote-Controlled and GPS-Guided Autonomous Robot for Precision Farming. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12(12), 194. <https://doi.org/10.5772/62059>
- Valencia, H. J. (2016). *Diseño y desarrollo de robots con locomoción esférica para seguir trayectorias preestablecidas*. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/82>

ANEXOS

ANEXO 1. Análisis de trabajo.

- Medición de ángulos y distancias del lugar de trabajo.



- Revisión de las condiciones de trabajo y distancias de recorrido.



- Posturas de trabajo.



ANEXO 2. Desarrollo del prototipo.

- Elaboración de placas de control.



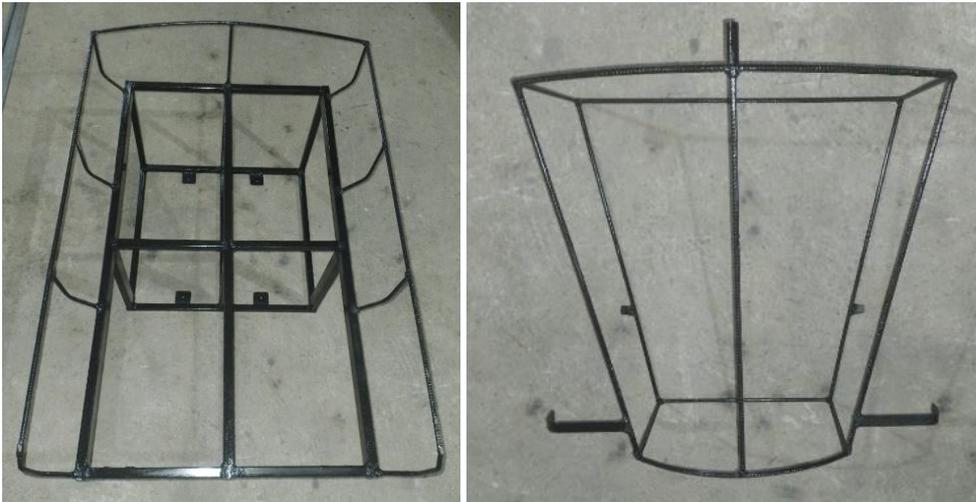
- Mecanismos de tracción y diferencial.



- Mecanismo reductor para de la dirección y bobinador de descarga.



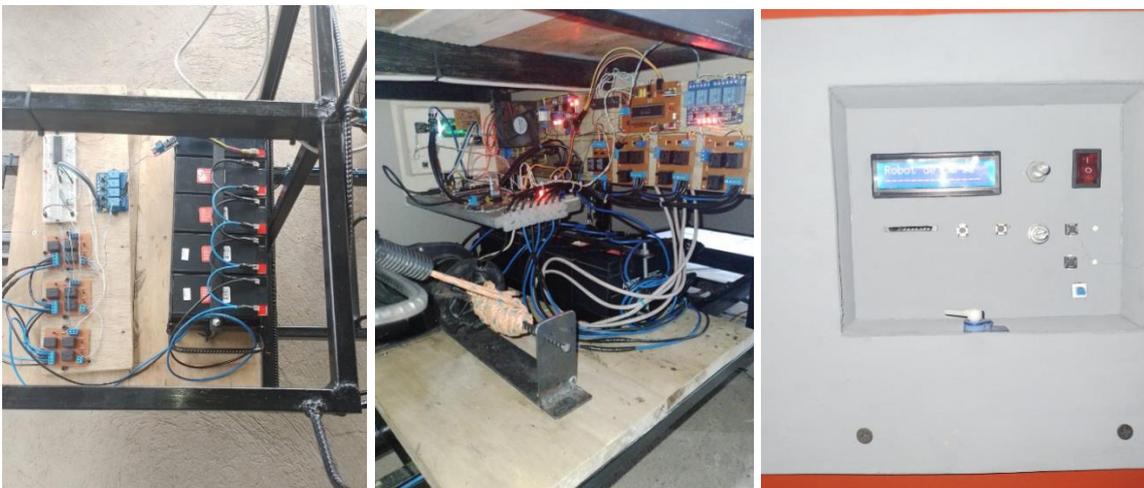
- Carrocería del robot prototipo.



- Ensamblaje del robot prototipo.



- Banco de baterías, electrónica interna y panel de control.



ANEXO 3. Pruebas de campo del prototipo.

- Calibración o posicionamiento del giroscopio en dirección al Norte.



- Movilidad sin carga y con carga por el primer camino.



- Movilidad en espacios planos.



- Encendido de luces y trabajo de noche.



ANEXO 4. Códigos de posturas aplicando el método de evaluación ergonómica OWAS (Transporte de carga diario - Caso inicial).

Proceso de extracción: LE = Levantamiento; TR = Transporte; DE = Descarga; DS = Descenso; DC = Descanso.

Posturas: Obs = Número de observaciones; E = Espalda; B = Brazos; P = Piernas; C = Carga; R = Categoría de riesgo.

Trabajador 64 años							Trabajadora de 56 años							Trabajador 24 años						
Análisis Diario							Análisis Diario							Análisis Diario						
	Obs	E	B	P	C	R		Obs	E	B	P	C	R		Obs	E	B	P	C	R
LE	1	4	3	4	3	4	LE	1	4	3	4	3	4	LE	1	4	3	5	3	4
	2	2	3	7	3	4		2	2	3	7	3	4		2	2	2	7	3	4
	3	2	3	7	3	4		3	1	3	7	3	2		3	2	2	7	3	4
	4	2	3	7	3	4		4	1	3	7	3	2		4	2	2	7	3	4
	5	2	3	7	3	4		5	1	3	7	3	2		5	2	3	7	3	4
	6	2	3	7	3	4		6	2	3	7	3	4		6	2	2	7	3	4
	7	1	3	2	3	1		7	2	3	7	3	4		7	2	3	7	3	4
	8	1	3	7	3	2		8	1	3	7	3	2		8	1	1	7	3	1
TR	9	2	3	7	3	4	TR	9	1	3	2	3	1	TR	9	1	3	2	3	1
	10	2	3	7	3	4		10	2	3	7	3	4		10	2	2	7	3	4
	11	2	3	7	3	4		11	1	3	7	3	2		11	2	2	7	3	4
	12	2	3	7	3	4		12	1	3	7	3	2		12	1	2	7	3	1
	13	2	3	7	3	4		13	1	3	7	3	2		13	1	3	7	3	2
	14	2	3	7	3	4		14	2	3	7	3	4		14	2	2	7	3	4
	15	2	3	7	3	4		15	1	3	7	3	2		15	2	2	7	3	4
	16	2	3	7	3	4		16	2	3	7	3	4		16	2	3	7	3	4
	17	2	3	7	3	4		17	2	3	7	3	4		17	2	2	7	3	4
	18	3	3	7	3	1		18	3	3	7	3	1	DE	18	2	1	3	3	3
DE	19	4	1	4	3	4	DE	19	3	1	4	3	3	DE	19	1	1	1	1	1
	20	1	1	2	1	1		20	1	1	2	1	1		20	1	1	2	1	1
	21	1	1	7	1	1		21	1	1	7	1	1		21	1	1	7	1	1
	22	1	1	7	1	1		22	1	1	7	1	1		22	1	1	7	1	1
DS	23	1	1	7	1	1	DS	23	1	1	7	1	1	DS	23	1	1	7	1	1
	24	1	1	7	1	1		24	1	1	7	1	1		24	1	1	7	1	1
	25	1	1	7	1	1		25	1	1	7	1	1		25	1	1	7	1	1
	26	1	1	7	1	1		26	1	1	7	1	1		26	1	1	7	1	1
	27	1	1	7	1	1		27	1	1	7	1	1		27	1	1	7	1	1
	28	1	1	7	1	1		28	1	1	7	1	1	LE	28	4	2	4	3	4
LE	29	4	3	4	3	4	LE	29	1	3	1	3	1		29	1	3	2	3	1
	30	1	2	7	3	1		30	1	3	7	3	2		30	2	2	7	3	4
	31	2	3	7	3	4		31	2	3	7	3	4		31	2	3	7	3	4
	32	2	3	7	3	4		32	2	3	7	3	4		32	2	3	7	3	4
	33	2	3	7	3	4		33	1	3	7	3	2		33	2	2	7	3	4

TR	34	3	3	7	3	1	TR	34	1	3	7	3	2	TR	34	2	2	7	3	4
	35	2	3	7	3	4		35	3	3	7	3	1		35	2	2	7	3	4
	36	2	3	7	3	4		36	1	3	7	3	2		36	2	2	7	3	4
	37	2	3	7	3	4		37	2	3	7	3	4		37	2	3	7	3	4
	38	2	3	7	3	4		38	2	3	7	3	4		38	2	3	7	3	4
	39	1	3	2	3	1		39	1	3	2	3	1		39	2	2	2	3	3
	40	2	3	7	3	4		40	2	3	7	3	4		40	2	2	7	3	4
	41	2	3	7	3	4		41	2	3	7	3	4		41	2	1	2	3	3
	42	2	3	7	3	4		42	1	3	7	3	2		42	4	2	4	3	4
	43	2	3	7	3	4		43	1	3	7	3	2		43	2	2	7	3	4
	44	2	3	7	3	4		44	2	3	7	3	4		44	2	3	7	3	4
	45	1	3	2	3	1		45	1	3	2	3	1		45	2	2	2	3	3
	46	2	3	7	3	4		46	2	3	7	3	4		46	2	2	7	3	4
	47	2	3	7	3	4		47	2	3	7	3	4		DE	47	4	1	4	3
48	2	3	7	3	4	48	1	3	7	3	2	DC	48	1	1	2	1	1		
49	2	3	7	3	4	DS	49	4	3	4	3	4	DC	49	1	1	1	1	1	
DS	50	4	1	4	3	4	DC	50	1	1	1	1	1	DC	50	1	1	1	1	1
		Riesgo promedio de la actividad a diario		3.06				Riesgo promedio de la actividad a diario		2.420				Riesgo promedio de la actividad a diario		2.920				

ANEXO 5. Códigos de posturas aplicando el método de evaluación ergonómica OWAS (Transporte de carga diario - Caso con prototipo).

Proceso de extracción: LE = Levantamiento; TR = Transporte; DE = Descarga; DS = Descenso; PROT = Prototipo.

Posturas: Obs = Número de observaciones; E = Espalda; B = Brazos; P = Piernas; C = Carga; R = Categoría de riesgo.

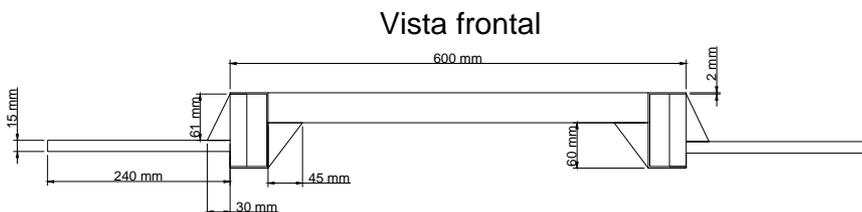
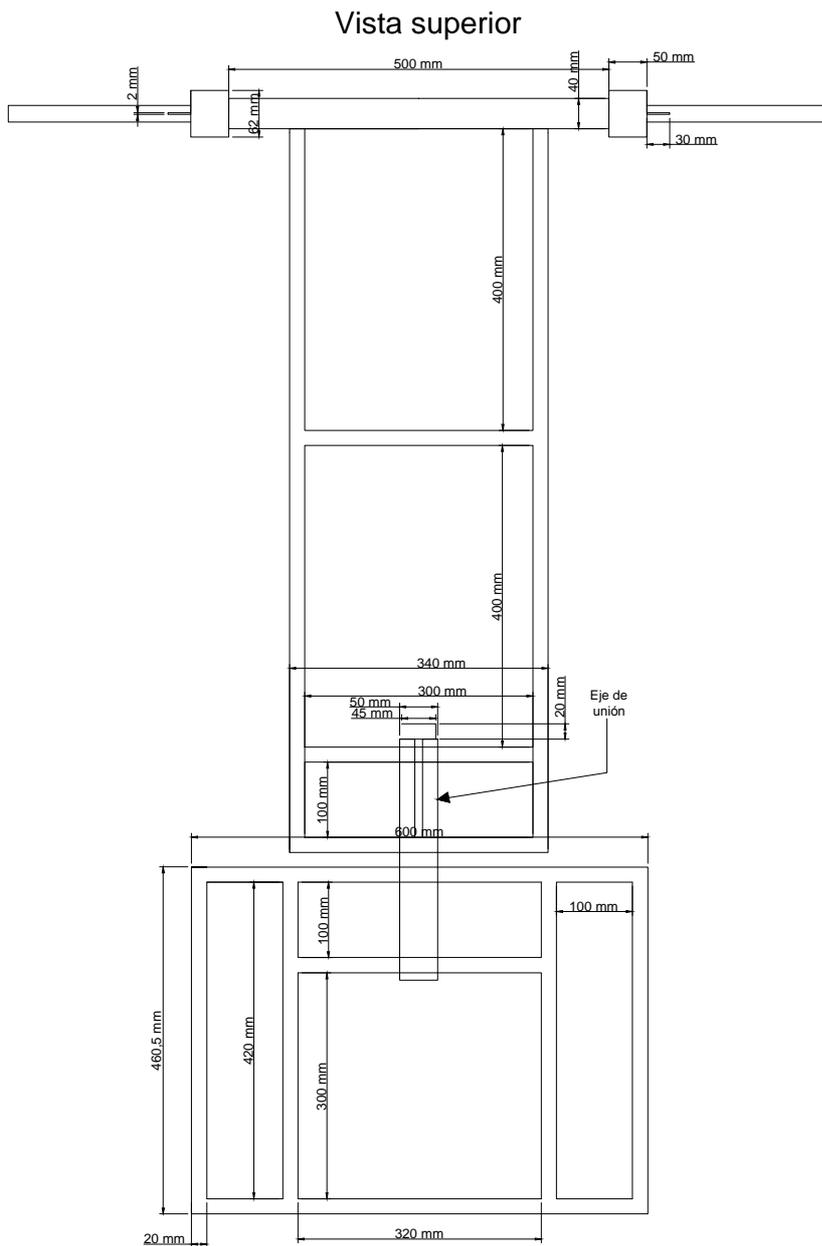
		Trabajador 64 años						Trabajadora de 56 años						Trabajador 24 años					
		Análisis Diario						Análisis Diario						Análisis Diario					
		Obs	E	B	P	C	R	Obs	E	B	P	C	R	Obs	E	B	P	C	R
LE		1	2	3	3	3	3	1	4	3	4	3	4	1	4	3	5	3	4
		2	1	3	2	3	1	2	2	3	7	3	4	2	2	1	7	3	3
TR		3	2	3	7	3	4	3	1	3	7	3	2	3	2	2	7	3	4
		4	1	3	7	3	2	4	3	3	7	3	1	4	2	2	7	3	4
	CARGA 1	5	3	3	7	3	1	5	1	3	7	3	2	5	2	3	7	3	4
	(Mitad del recorrido)	6	2	3	7	3	4	6	2	3	7	3	4	6	2	2	7	3	4
		7	1	3	7	3	2	7	3	3	7	3	1	7	2	3	7	3	4
		8	2	3	7	3	4	8	2	3	7	3	4	8	1	3	7	3	2
		9	2	3	7	3	4	9	3	3	7	3	1	9	1	2	2	3	1
		10	2	3	7	3	4	10	1	1	2	3	1	10	2	1	7	3	3
DE		11	4	2	2	3	4	11	3	1	4	3	3	11	4	1	3	3	3
		12	1	1	7	1	1	12	1	1	7	1	1	12	1	1	7	1	1

DS	13	1	1	7	1	1	DS	13	1	1	7	1	1	DS	13	1	1	7	1	1
	14	1	1	7	1	1		14	1	1	7	1	1		14	1	1	7	1	1
	15	1	1	7	1	1		15	1	1	7	1	1		15	1	1	7	1	1
	16	1	1	7	1	1		16	1	1	7	1	1		16	1	1	7	1	1
	17	1	1	7	1	1		17	1	1	7	1	1		17	1	1	7	1	1
LE	18	4	3	3	3	4	L	18	2	3	4	3	4	LE	18	4	3	4	3	4
TR CARGA 2 (Recorrido completo)	19	2	2	7	3	4	TR CARGA 2 (Recorrido completo)	19	3	3	4	3	4	TR CARGA 2 (Recorrido completo)	19	1	1	2	3	1
	20	2	3	7	3	4		20	1	3	2	3	1		20	1	1	7	3	1
	21	3	3	7	3	1		21	1	3	7	3	2		21	1	3	7	3	2
	22	2	3	7	3	4		22	1	3	7	3	2		22	2	3	7	3	4
	23	3	3	7	3	1		23	1	3	7	3	2		23	2	2	7	3	4
	24	2	3	2	3	3		24	2	3	7	3	4		24	2	2	7	3	4
	25	2	3	7	3	4		25	2	3	7	3	4		25	1	3	7	3	2
	26	2	3	7	3	4		26	2	3	7	3	4		26	1	2	7	3	1
	27	2	2	7	3	4		27	2	3	7	3	4		27	2	2	7	3	4
	28	2	3	7	3	4		28	1	3	7	3	2		28	2	2	7	3	4
	29	2	3	7	3	4		29	1	3	2	3	1		29	2	3	2	3	3
	30	2	3	7	3	4		30	1	3	7	3	2		30	2	3	7	3	4
	31	2	3	2	3	3		31	2	3	7	3	4		31	2	3	2	3	3
	32	3	2	7	3	1		32	2	3	7	3	4		32	4	2	4	3	4
	33	2	3	7	3	4		33	2	3	7	3	4		33	4	2	2	3	4
34	1	3	7	3	2	34	1	3	7	3	2	34	1	1	2	1	1			
35	2	3	7	3	4	35	3	3	7	3	1	35	1	1	7	1	1			
DE	36	4	1	2	3	3	DE	36	4	3	4	3	4	DE	36	1	1	7	1	1
PROT	37	1	1	2	1	1	PROT	37	1	1	2	1	1	PROT	37	1	1	2	1	1
	38	1	1	2	1	1		38	1	1	2	1	1		38	1	1	2	1	1
	39	1	1	4	1	2		39	1	1	4	1	2		39	1	1	7	1	1
	40	1	1	7	1	1		40	1	1	7	1	1		40	1	1	7	1	1
	41	1	1	2	1	1		41	1	1	2	1	1		41	1	1	7	1	1
	42	1	1	7	1	1		42	1	1	2	1	1		42	1	1	2	1	1
	43	1	1	2	1	1		43	1	1	7	1	1		43	1	1	2	1	1
	44	1	1	7	1	1		44	1	1	7	1	1		44	1	1	7	1	1
	45	1	1	4	1	2		45	1	1	2	1	1		45	1	1	4	1	2
	46	1	1	2	1	1		46	1	1	2	1	1		46	1	1	2	1	1
	47	1	1	2	1	1		47	1	1	2	1	1		47	1	1	2	1	1
	48	1	1	7	1	1		48	1	1	2	1	1		48	1	1	7	1	1
	49	1	1	2	1	1		49	1	1	7	1	1		49	1	1	2	1	1
	50	1	1	7	1	1		50	1	1	7	1	1		50	1	1	2	1	1
		Riesgo promedio de la actividad a diario con prototipo						2.340		Riesgo promedio de la actividad a diario con prototipo					2.060		Riesgo promedio de la actividad a diario con prototipo			

ANEXO 6. Presupuesto del prototipo.

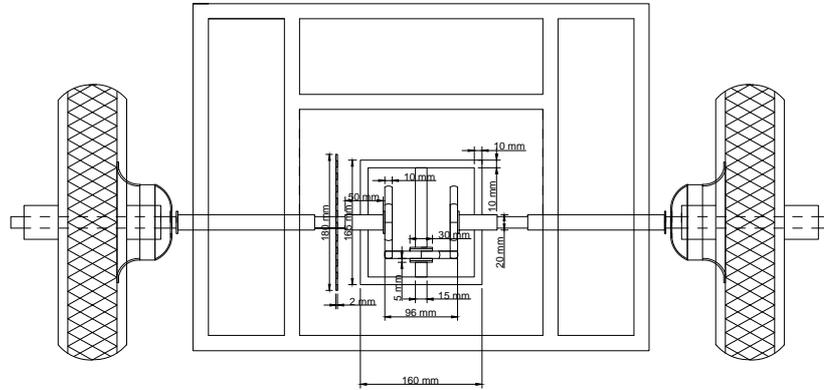
N°	Descripción	Cantidad	Precio (\$)	Saldo
1	Módulo GPS NEO-M8M	1	16.5	16.5
2	Giroscopio MPU 6050	1	5	5
3	Servomotores	2	5	10
4	Microcontrolador 16F877A	1	10.5	10.5
5	Microcontrolador 16F876A	1	8.6	8.6
6	Microcontrolador 16F628A	2	6.35	12.7
7	Pantalla LCD 16x2	1	10.75	10.75
8	Pantalla LCD 20x4	1	15.8	15.8
9	Teclado matricial 4x4	1	10.5	10.5
10	Módulo Joystick KY-023	1	3.85	3.85
11	Módulo KY-040 Encoder	2	5.35	10.7
12	Módulo lector Tarjeta SD	1	4.5	4.5
13	Sensor de Ultrasonido SR-04	2	8.4	16.8
14	Sensor de Distancia SHARP 2Y0A21	4	16	64
15	Motores Eléctricos DC	4	30	120
16	Baterías	5	23.5	117.5
17	Montaje de PCBs	1	50	50
18	Cableado y Piezas Eléctricas	1	50	50
19	Chasis, Carrocería del Robot	1	450	450
			Total:	987.7

ANEXO 7. Planos de la estructura del prototipo.

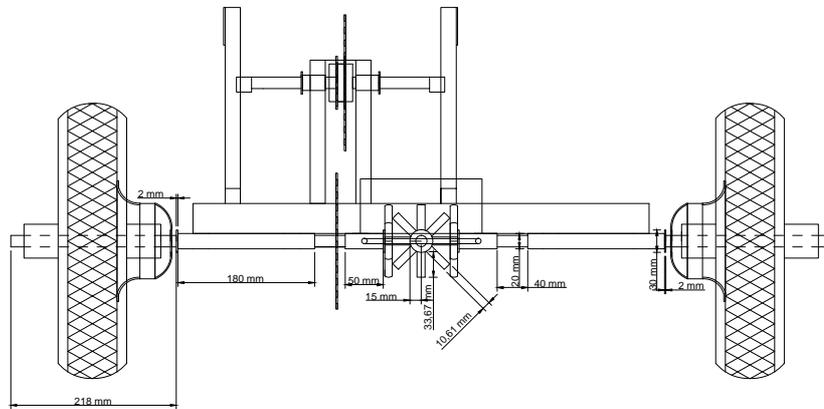


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA			
Descripción: -Dimensiones (mm) -Vistas de la estructura	Plano:	Estructura del Chasis	
	Autor:	Jonnathan Byron Cajas Chuqui	
	Carrera:	Ingeniería Eléctrica	Nro:
		Escala:	
		1:10	

Vista superior



Vista posterior



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Descripción:

-Dimensiones (mm)
-Vistas de la estructura

Plano:

Mecanismo Diferencial de llantas de Tracción

Autor:

Jonnathan Byron Cajas Chuqui

Carrera:

Ingeniería Eléctrica

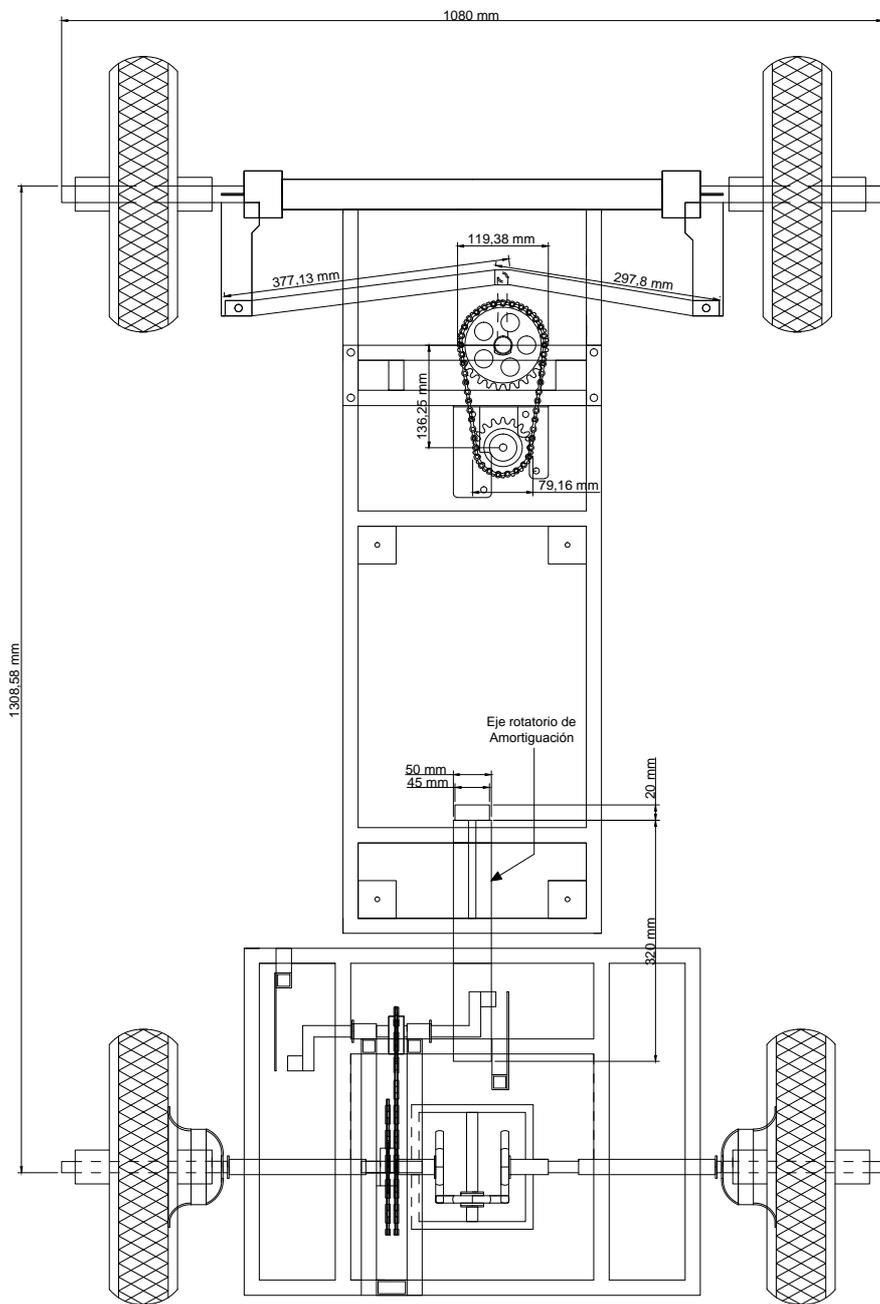
Nro:

2/8

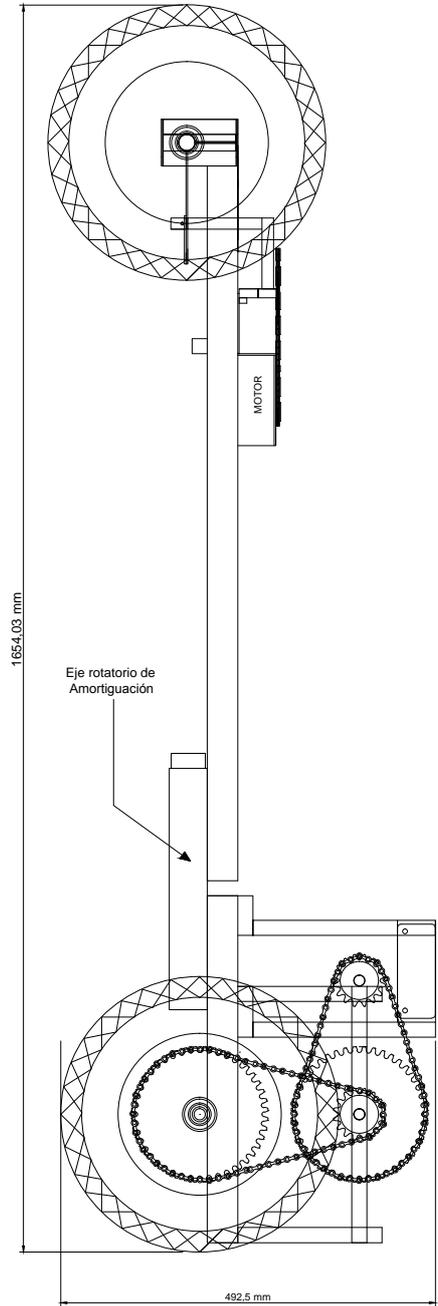
Escala:

1:10

Vista superior



Vista lateral



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Descripción:
-Dimensiones (mm)
-Vistas de la estructura

Plano: Mecanismo de Dirección y Amortiguación

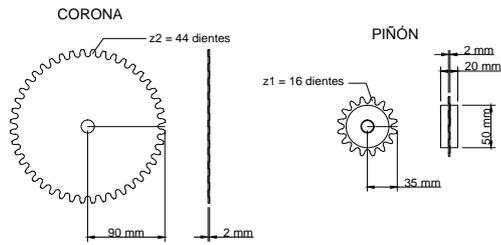
Autor: Jonnathan Byron Cajas Chuqui

Carrera: Ingeniería Eléctrica

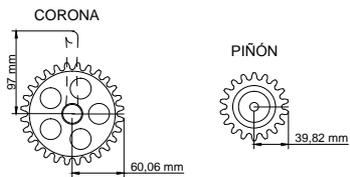
Nro: 4/8

Escala: 1:10

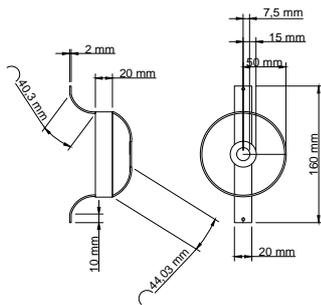
Engranajes del mecanismo de tracción



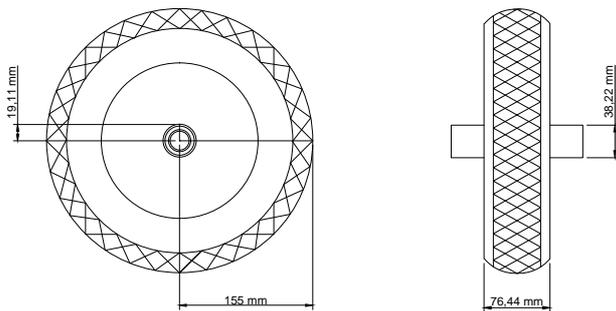
Engranajes del mecanismo de Dirección



Soporte de llanta

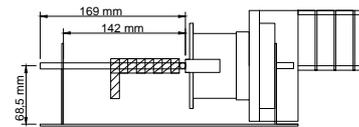


Llanta del robot

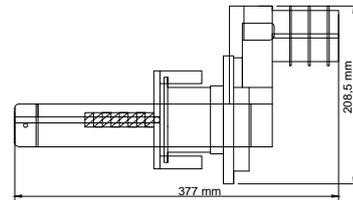


Mecanismo del Bobinador

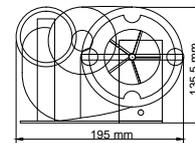
Vista lateral



Vista superior



Vista frontal



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Descripción:
-Dimensiones (mm)

Plano:
Piezas, Engranajes y Bobinador de Descarga

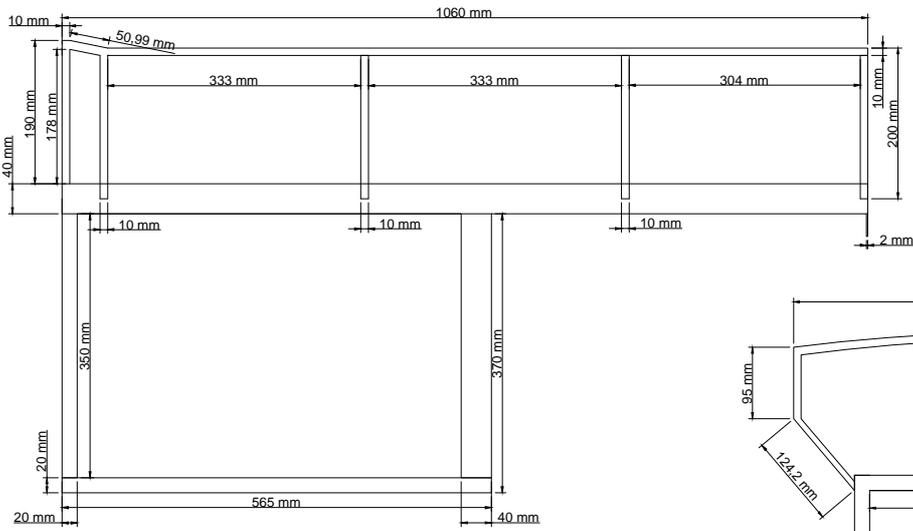
Autor:
Jonnathan Byron Cajas Chuqui

Carrera:
Ingeniería Eléctrica

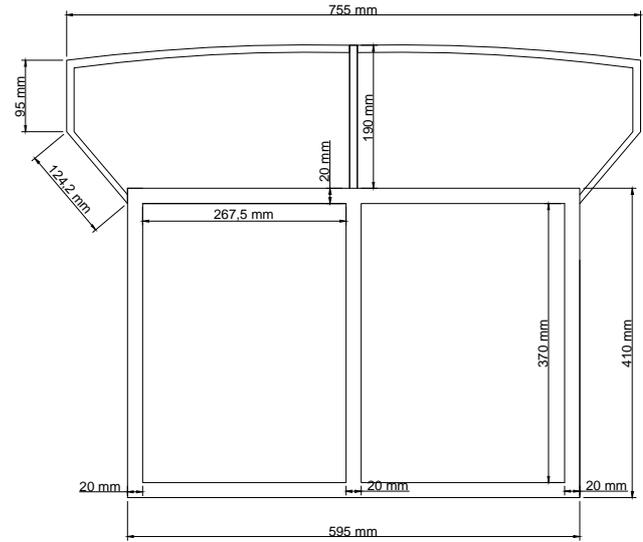
Nro:
5/8

Escala:
1:10

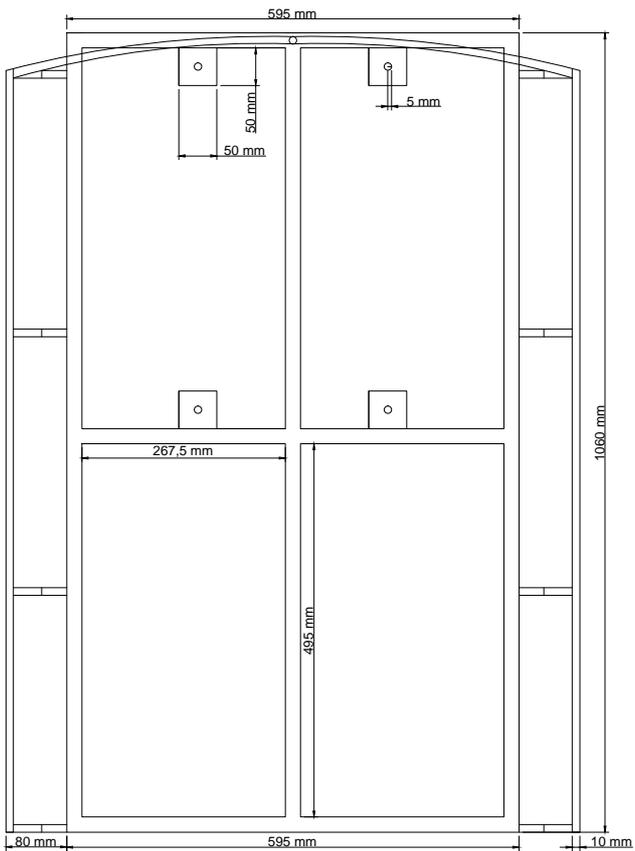
Vista lateral



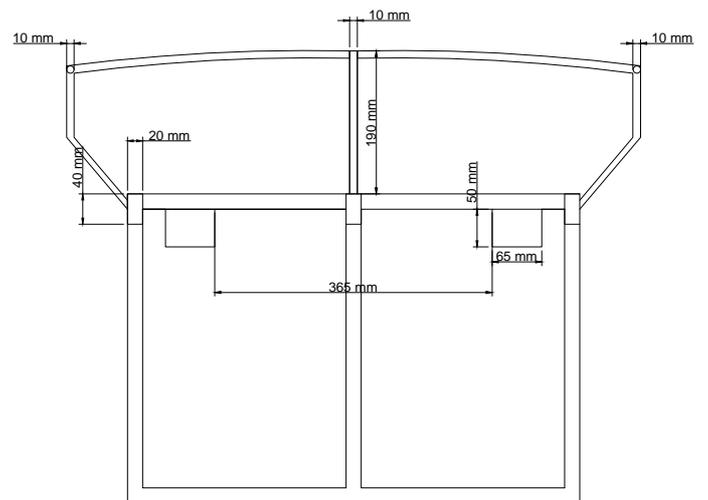
Vista frontal



Vista superior



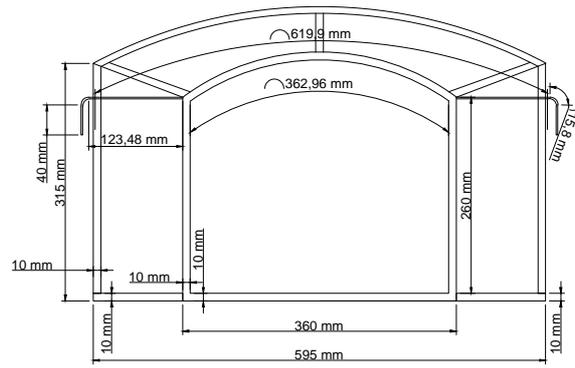
Vista posterior



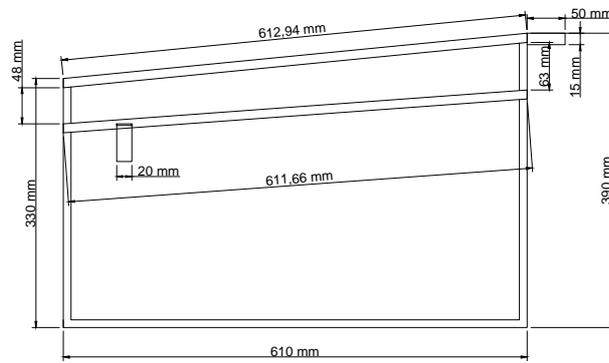
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Descripción: -Dimensiones (mm) -Vistas de la estructura	Plano: Carrocería (Estructura de Carga)
	Autor: Jonnathan Byron Cajas Chuqui
	Carrera: Ingeniería Eléctrica
	Nro: 6/8
	Escala: 1:10

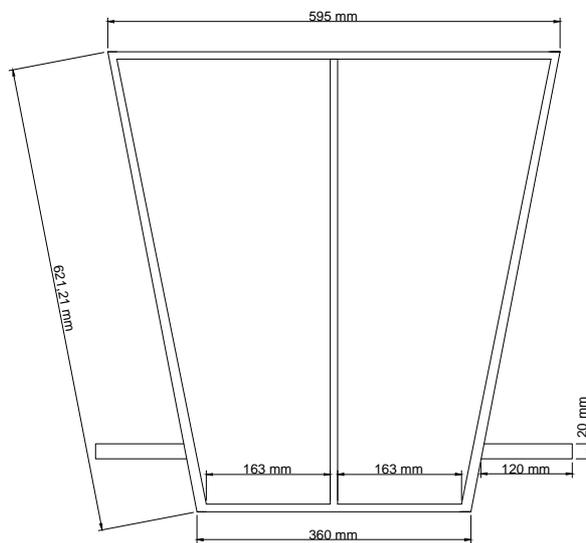
Vista frontal



Vista lateral



Vista superior



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Descripción:

- Dimensiones (mm)
- Vistas de la estructura

Plano:

Carrocería (Estructura Frontal)

Autor:

Jonnathan Byron Cajas Chuqui

Carrera:

Ingeniería Eléctrica

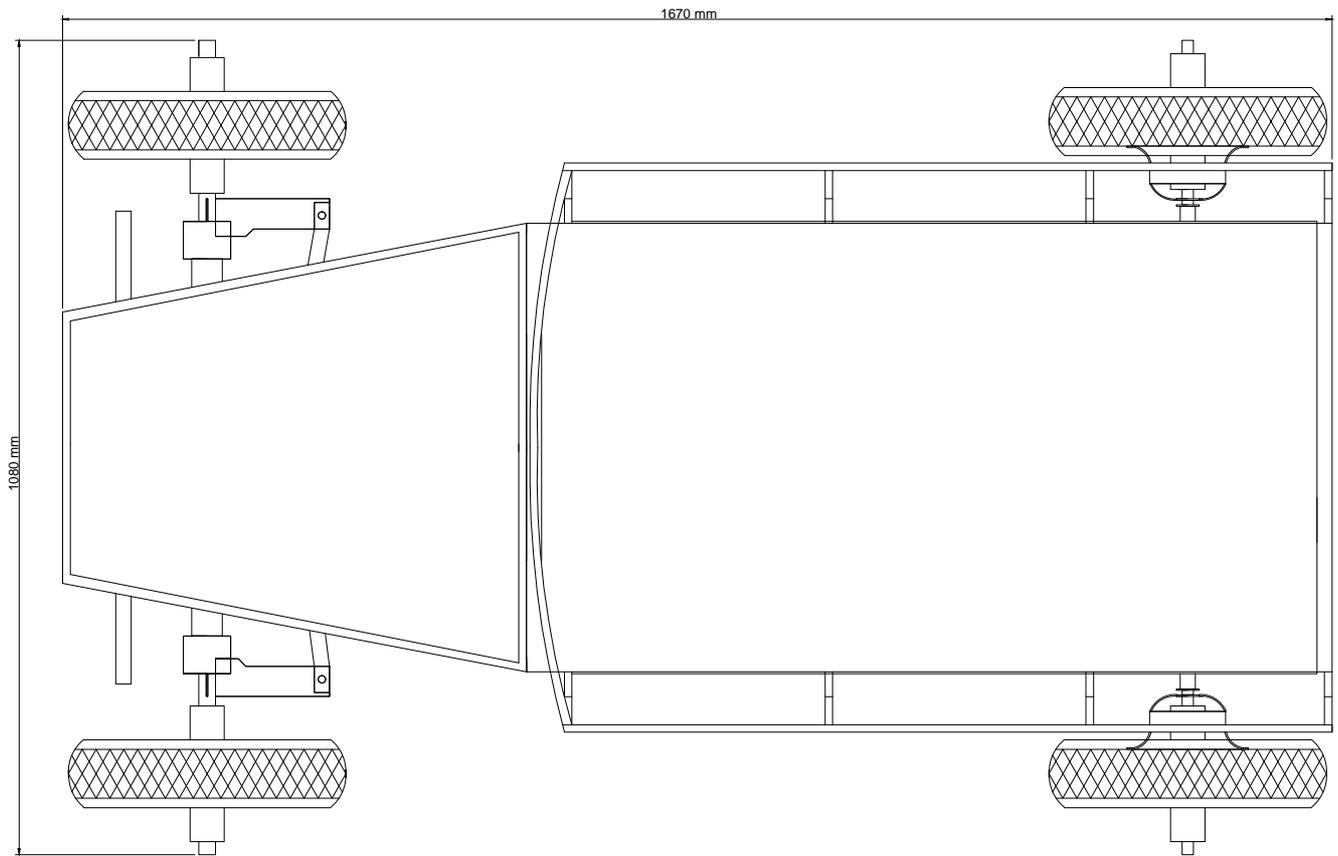
Nro:

7/8

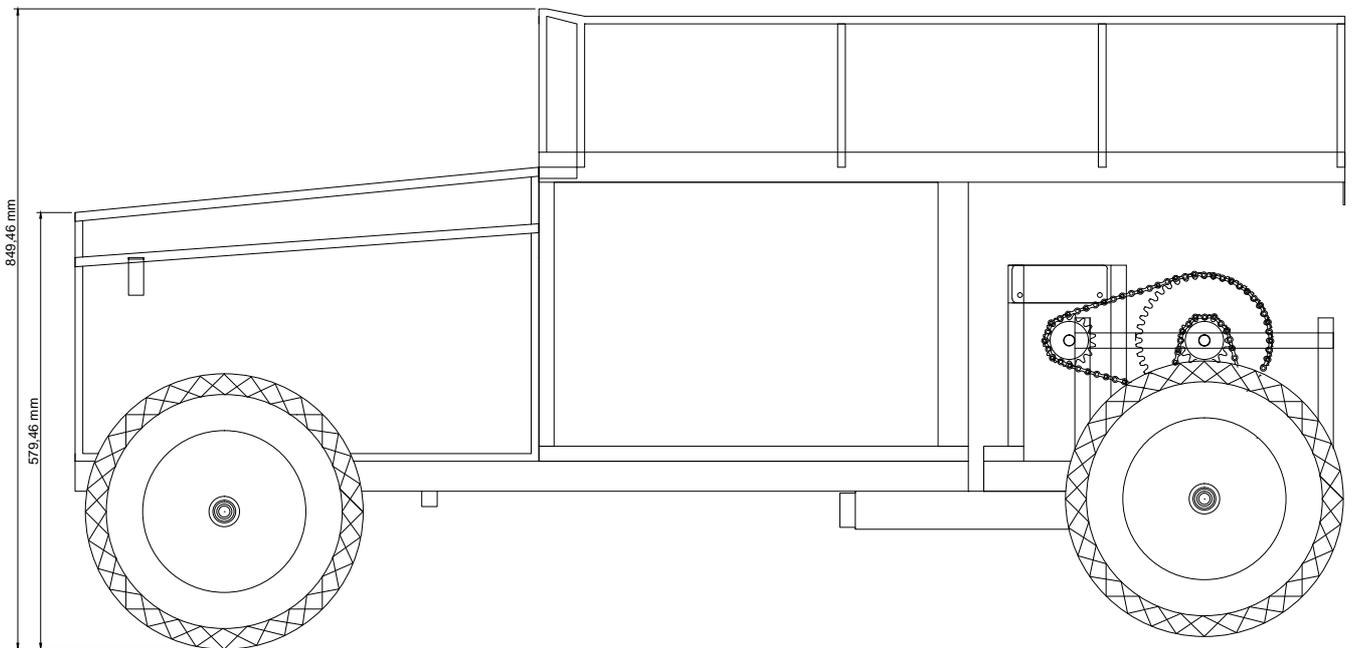
Escala:

1:10

Vista superior



Vista lateral



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Descripción:

- Dimensiones (mm)
- Vistas de la estructura

Plano:

Estructura Completa del Robot de Carga

Autor:

Jonnathan Byron Cajas Chuqui

Carrera:

Ingeniería Eléctrica

Nro:

8/8

Escala:

1:10

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Jonnathan Byron Cajas Chuqui portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302897616. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Diseño y construcción de un robot prototipo autónomo de carga para transporte de producto agrícola de la Finca Cielo Abierto” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de marzo de 2024



F:
Jonnathan Byron Cajas Chuqui
0302897616