



**Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico autónomo para la recolección de frutos de palma por medio de cables vía**

*Wilfredo Torres Ramírez*

*Luis Bladimir Torres Ramírez*

*Código*

11481719282

11481713042

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2022

**Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico autónomo para la recolección de frutos de palma por medio de cables vía**

**Nombres y apellidos completos del autor o autores**

Wilfredo Torres Ramírez

Luis Bladimir Torres Ramírez

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

**Ingeniero Mecatrónico**

Director (a):

Ing. Diego Calero

Ing. Adriana López Vargas (ad hoc)

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

## Contenido

RESUMEN .....	10
i) Introducción .....	12
1. Antecedentes.....	14
1.1 Planteamiento del problema .....	15
2. Objetivos .....	17
2.1 Objetivo general .....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. Justificación.....	18
4. Marco teorico.....	19
4.1 Transporte de productos agrícolas.....	19
4.1.1 Tracción humana .....	19
4.1.2 Tracción animal.....	20
4.1.3 Tracción mecánica.....	21
4.2 Usos principales del cable vía .....	21
4.2.1 Transporte público.....	21
4.2.2 Transporte agrícola.....	22
4.3 Partes principales del cable vía .....	22
4.3.1 Ruedas motrices .....	24
4.3.2 Patín garrucha.....	25
4.3.2.1 Rueda morroca .....	26
4.3.3 Estructuras y bases .....	27
4.3.3.1 Cable vía.....	28
4.3.3.2 Marco estructural.....	30
4.3.3.4 Bases estructurales .....	31
4.3.3.5 Garruchas .....	32
4.3.4 Transmisión de potencia.....	33
4.3.4.1 Transmisión mecánica.....	33
4.3.4.2 Transmisión hidráulica .....	35
4.3.5 cambios de vía.....	35
4.3.5.1 Mecanismo manual cambio de vía .....	36
4.4 Vehículos autónomos .....	37
4.4.1 Vehículos autónomos en la agricultura .....	37
4.5 Motores eléctricos .....	38
4.6 Arduino .....	41

4.6.1 Sensores.....	42
4.6.1.2 Sensores de proximidad .....	42
4.6.1.3 Sensores de contacto físico.....	43
4.6.1.4 Sensores sin contacto físico.....	43
<b>5. Metodología.....</b>	<b>44</b>
Fase 1 .....	44
5.1 Caracterización del sistema funcional del cable vía.....	45
5.2 Variable físicas.....	47
5.3 Desarrollo del modelo de cable vía automatizado.....	48
5.4 Canastas o bolsas de transporte .....	49
<b>Fase 2 .....</b>	<b>50</b>
5.5 Diseño vehículo eléctrico .....	51
5.5.1 Simulación diseño del vehículo eléctrico .....	51
5.5.2 Motor eléctrico Matlab.....	51
5.6 Motor eléctrico .....	52
5.7 Transmisión de potencia del vehículo eléctrico .....	52
5.8 Diseño del cambio de vía automatizado.....	53
5.8.1 Simulación diseño cambio de vía automatizado .....	53
<b>Fase 3 .....</b>	<b>54</b>
5.9 Sensores y actuadores.....	55
5.10 Controladores .....	55
<b>5.11 Construcción del sistema estructural del prototipo .....</b>	<b>56</b>
5.12 Construcción prototipo de vehículo eléctrico.....	56
5.13 Construcción prototipo de cambio de vía.....	57
<b>Fase 4 .....</b>	<b>57</b>
5.14 Simulación del sistema transporte por cable de vía .....	58
5.15 Implementación del sistema de transporte por cable vía.....	58
<b>6. Análisis de resultados .....</b>	<b>59</b>
6.1 Distribución de peso y fuerzas del vehículo eléctrico .....	59
6.2 Velocidad, torque y potencia del vehículo eléctrico .....	60
6.3 Selección del sistema de cable vía automatizado .....	61
6.4 Selección del motor eléctrico .....	66
6.5 Vehículo eléctrico .....	68
6.4.1 Modelo del vehículo eléctrico Matlab y simulink.....	71
6.6 Análisis y construcción de cambio de vía .....	76

6.6.1 Actuador lineal .....	81
6.7 Sensores.....	83
6.8 Controladores .....	88
6.9 Implementación y construcción del prototipo de vehículo eléctrico para recolección de fruto de palma. ....	100
7. CONCLUSIONES.....	110
Referencias Bibliográficas .....	113
ANEXOS .....	117
Anexo.1 Plano base lateral vehículo eléctrico.....	117
Anexo.2 Plano cable guía del mecanismo de cambio de vía.....	118
Anexo.3 Plano estructura del vehículo eléctrico .....	119
Anexo.4 Plano gancho para cable vía .....	120
Anexo.5 Plano garrucha para cable vía.....	121
Anexo.6 Plano marco estructural del cambio de vía.....	122
Anexo.7 Plano patín para cable vía .....	123
Anexo.8 Plano piñón de translación.....	124
Anexo.9 Plano piñón de motor.....	125
Anexo.10 Plano del separador para cable vía.....	126
Anexo.11 Plano marco estructural del cable vía .....	127
Anexo.12 Plano soporte en X para marco estructural .....	128
Anexo.13 Ficha técnica tubería metálica .....	129
Anexo.14 Ficha técnica varilla de acero lisa .....	131
Anexo.15 Ficha técnica motor eléctrico.....	133
Anexo.16 Plano general del motor eléctrico .....	134
Anexo.17 Ficha técnica del actuador línea LA40 .....	135
Anexo.18 Plano general del actuador lineal LA40.....	137
Anexo.19 Graficas de carga del actuador lineal LA40 .....	138
Anexo.20 Datasheet ArduinoMEGA2560 .....	139
Anexo.21 Datasheet ESP8266.....	140
Anexo.22 Código ArduinoMEGA2560 .....	141
Anexo.23 Código ESP8266 Central.....	146
Anexo.24 Código ESP8266 Vehículo eléctrico .....	148
Anexo.25 Datasheet Sensor ultrasónico Hc-Sr04 .....	151
Anexo.26 Datasheet sensor infrarrojo fc-31.....	152
Anexo.27 Datasheet final de carrera YL-99.....	154
Anexo.28 Hoja de cálculos.....	155

## TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 0-1 Mecanismo de cambio de vía.....</i>	13
<i>Figura 1-1 Transporte de fruto de palma de aceite por medio de un motor de combustión interna. ....</i>	14
<i>Figura 4-1 Descarga del fruto en el punto de recolección.....</i>	19
<i>Figura 4-2 Carga de una mula con frutos de palma de aceite .....</i>	20
<i>Figura 4- 3 Joven agricultor transportándose por cable vía. ....</i>	22
<i>Figura 4- 4 Estructura principal del sistema de tracción con motor diésel en un cable vía. ....</i>	23
<i>Figura 4- 5 Rueda de caucho para cable vía.....</i>	24
<i>Figura 4- 6 Patín garrucha para cable vía. ....</i>	25
<i>Figura 4- 7 Rueda Morroca. ....</i>	26
<i>Figura 4- 8 Soporte cable vía simple. ....</i>	27
<i>Figura 4- 9 Soporte cable vía doble. ....</i>	27
<i>Figura 4-10 Cable vía apoyado en el marco estructural.....</i>	28
<i>Figura 4-11 Estructura interna cable de acero. ....</i>	29
<i>Figura 4-12. Deformación del cable vía apoyado. ....</i>	30
<i>Figura 4-13 Deformación del cable vía apoyado. ....</i>	31
<i>Figura 4-14 Garrucha para transportar carga .....</i>	32
<i>Figura 4-15 Garrucha como soporte del cable vía.....</i>	32
<i>Figura 4-16. Ruedas dentadas acopladas. ....</i>	34
<i>Figura 4-17. Cadena con ruedas dentadas acopladas. ....</i>	34
<i>Figura 4-18. Bomba hidráulica. ....</i>	35
<i>Figura 4-19. Resorte para automatismo cambio vía. ....</i>	36
<i>Figura 4-20. Ley de Hooke.....</i>	36
<i>Figura 4-21. Tractor automatizado CNH industrial. ....</i>	38
<i>Figura 4-22. Modelo armadura de un motor .....</i>	39
<i>Figura 4-23. Sensor infrarrojo de proximidad.....</i>	42
<i>Figura 5-1. Diagrama de flujo fase 1. ....</i>	44
<i>Figura 5-2 Estructura general del sistema de transporte por cable vía .....</i>	45
<i>Figura 5-3. Diagrama de bloques del sistema de transporte por cable vía. ....</i>	49
<i>Figura 5-4 Diagrama de flujo fase 2. ....</i>	50
<i>Figura 5-5 Diagrama de flujo fase 3. ....</i>	54
<i>Figura 5-6. Diagrama de flujo fase 4. ....</i>	57
<i>Figura 6-1 Distribución de cargas en el cable vía. ....</i>	59
<i>Figura 6-2 Esquema general del marco estructural para cable vía. ....</i>	62
<i>Figura 6-3 Estructura de soporte del marco estructural. ....</i>	62
<i>Figura 6-4 Diagrama de fuerzas del marco estructural del cable vía. ....</i>	63
<i>Figura 6-5 Motor eléctrico DC zd2637. ....</i>	66
<i>Figura 6-6. Convertidor AC/DC. ....</i>	67
<i>Figura 6-7 Dimensiones generales de la base del vehículo eléctrico. ....</i>	68

<i>Figura 6-8 Vista preliminar de SolidWorks del vehículo.</i>	70
<i>Figura 6-9 Vista superior del prototipo de vehículo eléctrico.</i>	71
<i>Figura 6-10 Modelo armadura de un motor.</i>	71
<i>Figura 6-11 Sistema de tensión de engranajes y cadenas</i>	72
<i>Figura 6-12 Respuesta step al modelo del motor del sistema de transporte.</i>	73
<i>Figura 6-13 Diagrama de bloques del modelo de motor en simulink.</i>	74
<i>Figura 6-15 Respuesta inestable del modelo simulink.</i>	75
<i>Figura 6-16 Respuesta estable del modelo en simulink.</i>	76
<i>Figura 6-17 Esquema del cambio de vía.</i>	77
<i>Figura 6-18 Simulación estática marco estructural.</i>	78
<i>Figura 6-19 Dimensiones cable guía para el cambio de vía.</i>	79
<i>Figura 6-20 Diseño del cable guía para cambio de vía.</i>	79
<i>Figura 6-21. Pestaña cable guía de cambio.</i>	80
<i>Figura 6-22. Cambio de vía.</i>	81
<i>Figura 6-23. Actuador lineal LA40.</i>	82
<i>Figura 6-24. Fuente SW 24V CI-150-24.</i>	82
<i>Figura 6-25 Ubicación de los sensores en el sistema de transporte por cable vía.</i>	86
<i>Figura 6-26 Ubicación de los sensores en el vehículo eléctrico.</i>	87
<i>Figura 6-27 Diagrama de flujo funciones Inicio, Arranqué</i>	91
<i>Figura 6-28 Señal de entrada puerto serial ESP8266 del Atmega</i>	92
<i>Figura 6-29. Diagrama de flujo función sensores.</i>	93
<i>Figura 6-30 Diagrama de flujo de las funciones cambio de vía, curva y final</i>	95
<i>Figura 6-31 Plano de conexión electrónica para el Arduino MEGA 2560.</i>	96
<i>Figura 6-32 Diagrama de bloques Arduino MEGA 2560.</i>	97
<i>Figura 6-33 Plano de conexión electrónica del ESP8266 del vehículo eléctrico.</i>	98
<i>Figura 6-34 Diagrama de bloques ESP8266 del vehículo eléctrico</i>	99
<i>Figura 6-35 Simulación completa del sistema de transporte por cable vía en Solidworks.</i>	100
<i>Figura 6-36 Construcción completa del sistema de transporte por cable vía.</i>	101
<i>Figura 6-37 Medida de corriente del circuito Atmega2560 sin actuador lineal</i>	102
<i>Figura 6-38 Medida de corriente del circuito Atmega2560 con actuador lineal</i>	102
<i>Figura 6-39 Medida de voltaje del circuito Atmega2560</i>	102
<i>Figura 6-40 Vista superior del cambio de vía.</i>	103
<i>Figura 6-41 Vista lateral del cambio de vía automatizado</i>	104
<i>Figura 6-42 Hendiduras cable guía de cambio</i>	104
<i>Figura 6-43 Construcción del prototipo de vehículo eléctrico</i>	105
<i>Figura 6-44 Mensaje de error comunicación Wifi.</i>	106
<i>Figura 6-45 Mensaje de correcto de comunicación Wifi.</i>	106
<i>Figura 6-45 Mensaje de correcto de comunicación Wifi.</i>	106
<i>Figura 6-46 Temperatura de funcionamiento del motor DC.</i>	107
<i>Figura 6-47 Temperatura de funcionamiento del puente H Bts7960 del vehículo ..</i>	107
<i>Figura 6-48 Corriente de funcionamiento circuito del vehículo eléctrico</i>	108
<i>Figura 6-49 Corriente de funcionamiento del motor DC sin carga</i>	108
<i>Figura 6-50 Corriente de funcionamiento del motor DC con carga</i>	108

## LISTA DE TABLAS

Tabla 5-1. Componentes sistema de transporte por cable vía. ....	46
Tabla 6-1. Parámetros de diferentes motores en relación a sus RPM. ....	61
Tabla 6-2. Propiedades generales tubería de acero.....	64
Tabla 6-3. Especificaciones técnicas tubería cuadrada de acero .....	65
Tabla 6-4. Propiedades mecánicas varilla de acero AG. ....	66
Tabla 6-5. Propiedades motor eléctrico zd2637. ....	67
Tabla 6-6. Características cadena de rodillos. ....	70
Tabla 6-7 Sensores ultrasónicos. ....	83
Tabla 6-8 Características Sensor Ultrasónico hc-sr04: .....	84
Tabla 6-9 Características Sensor encoder de velocidad herradura Lm393 .....	84
Tabla 6-10 Especificaciones Modulo Puente H Bts7960: .....	85
Tabla 6-11. Listado de los sensores utilizados en el sistema de transporte por cable vía. .....	86
Tabla 6-12 Listado de los sensores utilizados en el vehículo eléctrico. ....	87
Tabla 6-13 Módulos Wi-Fi.....	88
Tabla 6-14 Características y especificaciones Módulo programable ESP8266 .....	89
Tabla 6-15 Microcontroladores .....	90
Tabla 6-16 Características del Atmega2560.....	90
Tabla 6-17. Combinaciones vehículo eléctrico. ....	94

## RESUMEN

La actividad de traslado del fruto de la palma de aceite, con los años ha generado enfermedades en los colaboradores a causa de la repetitividad, el riesgo de manipulación de los diferentes equipos utilizados hasta la fecha para tratar de mejorar los tiempos, además de su poca productividad, ocasionando más demanda de productos y continuidad en la actividad de traslado de los racimos, a diferentes distancias dentro de las grandes áreas de cultivo, con el tiempo la ciencia y nuevas técnicas han querido intervenir, para disminuir y controlar estas afectaciones, las cuales pueden dejar grandes secuelas en los colaboradores y personas que realizan esta práctica.

Con el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías el método más efectivo para el transporte del fruto de palma de aceite es por medio de cable vía. Mediante el diseño y la programación, se busca crear un mecanismo de giro para el cable vía que funcione de manera automática, dependiendo de las necesidades de la ruta de trabajo, también, se busca diseñar un vehículo para el cable vía que trabaje de manera eléctrica y autónoma, sin la intervención directa de un operario, capaz de halar una carga de 50Kgf, estableciendo una comunicación inalámbrica entre los sistemas, se presenta la realización de un prototipo a escala del sistema estructural, evidenciando que para el correcto funcionamiento del prototipo es necesario un motor eléctrico, con la suficiente potencia para mover la carga y la estructura del vehículo, juntos con una medición constante de los sensores para obtener un control estable del sistema.

Palabras clave: Cable vía, garrucha, motor eléctrico, automatización, palma de aceite, cambio de vía, arduino, módulo wifi, sistema de transporte, potencia.

## **Abstract**

The activity of transferring the fruit of the oil palm, over the years has generated illnesses in the collaborators due to the repetitiveness, the risk of handling the different equipment used to date to try to improve the times, in addition to its little productivity causing more demand for products and continuity in the activity of transferring the bunches at different distances within the large cultivation areas, over time science and new techniques have wanted to intervene, to reduce and control these affectations, which can leave great consequences in the collaborators and people who carry out this practice.

With the development and application of new technologies, the most effective method for transporting the oil palm fruit is by cableway. Through design and programming, it seeks to create a turning mechanism for the cable track that works automatically, depending on the needs of the work route, also, it seeks to design a vehicle for the cable track that works electrically and autonomous, without the direct intervention of an operator, capable of pulling a load of 50Kgf, establishing a wireless communication between the systems, the realization of a scale prototype of the structural system is presented, evidencing that for the correct functioning of the prototype it is necessary an electric motor, with enough power to move the load and the structure of the vehicle, together with a constant measurement of the sensors to obtain a stable control of the system.

Keywords: Cable track, pulley, electric motor, automation, oil palm, track change, arduino, wifi module, transportation system, power.

## **i) Introducción**

El sector agrícola se ha visto envuelto en un crecimiento constante impulsado principalmente por el desarrollo del rubro (cultivo de diferentes productos agrícolas) y el consumo general de la población. Dentro de los cultivos con mayor crecimiento, se encuentra el cultivo de palma de aceite como una de las actividades agrícolas más importantes del país, esto resulto en un crecimiento del 42% frente a lo reportado en registros anteriores, 481.352 más toneladas que las 1.146.203 registradas en el 2016 [1].

Dentro de estas actividades, el proceso de carga y descarga del producto es el que más recursos requiere. Uno de los transportes utilizados tradicionalmente y en la actualidad, consiste de un vehículo de tracción animal operado con una mula, que a su vez es guiado por un cosechero que, al llenar totalmente el vehículo con fruto fresco, se dirige hacia el punto de recolección ubicado a los límites de las parcelas, la descarga del fruto fresco se hace en el suelo y de manera brusca, debido a la incomodidad en el transporte, haciendo que se generen perdidas en la calidad del producto y retrasos en la entrega de la cosecha.[2]

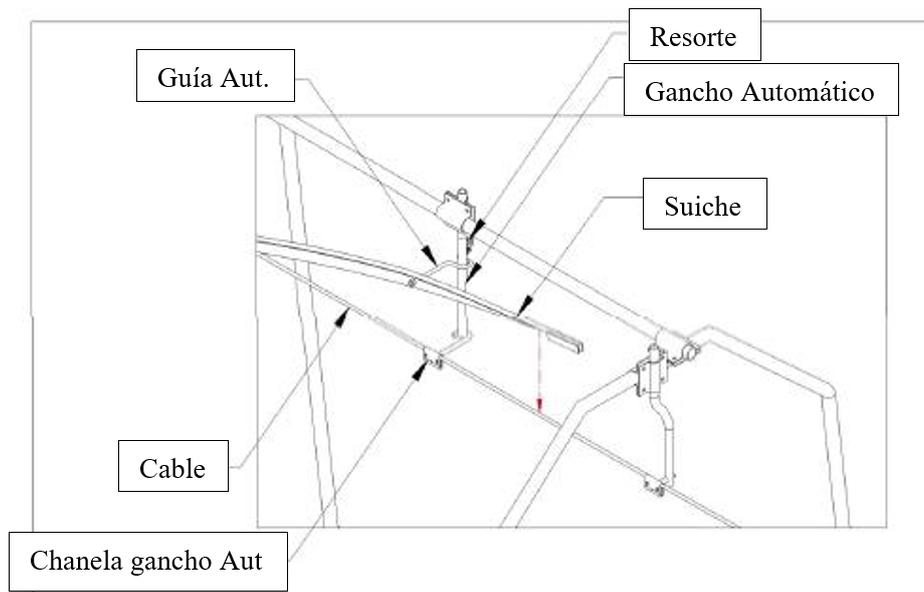
Los métodos usados tradicionalmente para mover el fruto de palma de aceite, conllevan un esfuerzo económico en su utilización, además que su aprovechamiento no es sencillo. La implementación de cable vía en el cultivo de aceite en Colombia, ha reflejado una mejora para la producción y el transporte de mayores cantidades de producto. El sistema de cable vía, aparte de ser utilizado en cultivos de palma de aceite, es utilizado en otros cultivos como lo son las flores, el plátano, etc. A pesar de que los diseños de transporte varían en cuanto a capacidades y configuraciones, el principio de su funcionamiento es el mismo. [3]

El sistema de cable vía consiste en una infraestructura por la que se extiende un cable de acero galvanizado o hierro sostenido por varias torres, que pueden medir más de 2 metros de alto y 2.10 metros de ancho aproximadamente. Sobre el cable de acero se tienen garruchas que están distanciadas por unos separadores, de las cuales cuelgan los extremos de las mallas o las canastas, en las que se deposita el fruto, a modo de tren. [4]

Por lo general este tipo de transporte se usa en plantaciones con diferentes vías, puntos de recolección y centros de acopio, lo que implica que el vehículo necesite cambiar de

dirección constantemente. Este proceso actualmente incluye la superposición de dos cables en tramos ubicados en las intersecciones como se ve en la Figura 0-1. Los cambios se producen por el efecto del peso del vehículo en una polea que tiene que ser activada manualmente, por lo que es necesario que el vehículo cuente con un operario para realizar los cambios de dirección necesarios. [4]

**Figura 0-1 Mecanismo de cambio de vía.**



**Fuente:** *Diseño propuesto hacienda la ilusión.*

## 1. Antecedentes

El manejo de cables vía en el cultivo de la palma de aceite ha demostrado un ahorro económico para las grandes productoras agrícolas, la utilización de este sistema de transporte hace que se puedan llevar grandes cantidades de frutos a los centros de acopio y suministros agrícolas a las zonas de cultivo. Sin embargo, con el tiempo ha presentado inconvenientes con algunas empresas del sector, debido al poco conocimiento sobre su estructura, una capacitación inexistente, y los riesgos que conlleva la manipulación del sistema por el conductor. Las ventajas que refleja el uso de cables vía, es una reducción considerable del tiempo de transporte, la simplicidad de su funcionamiento y el relativo bajo costo de mantenimiento. Se estimó la productividad de la maquinaria obteniéndose un incremento del 60%, por lo que se concluye que el proyecto es rentable. [5]

En el caso del fruto de palma, la carga requiere un vehículo de tracción, por lo que se puede utilizar un tractor aéreo en el cual un motor de 10 HP, está acoplado a el sistema hidráulico que a través del torque generado permite el movimiento del vehículo (Figura 1-1). De esta manera, el vehículo consigue arrastrar un máximo de 5 toneladas hasta los puntos de acopio. [5] [3]

***Figura 1-1 Transporte de fruto de palma de aceite por medio de un motor de combustión interna.***



***Fuente:*** <https://www.analpes.com/productos/cable-vias/>

Para conseguir la potencia requerida en el motor hidráulico de tracción, se utiliza un motor de combustión interna, para ser utilizado en zonas inaccesibles. Además de la capacidad de carga, es importante considerar las distancias recorridas. Un circuito en una plantación de palma puede tener hasta 13 km de cable vía, distancia que puede ser recorrida varias veces al día dependiendo de la disponibilidad en cada sector y la carga que se tenga que hacer en el centro de acopio.

En Colombia se ha venido realizando y fomentando la investigación agrícola a medida que la demanda es más grande, esto hace que los procesos de la agricultura se vuelvan más exigentes con la implementación de nuevas tecnologías para así cumplir con las necesidades en los cultivos y los consumidores. Recientemente se estudia la manera de poder definir la madurez del fruto por medio de una técnica llamada espectroscopia de reflectancia difusa, la cual consiste en disparar rayos de luz alógena a la semilla de la fruta de palma de aceite para luego recolectar la señal reflejada y determinar el estado del fruto.[6] En Colombia se está implementando desde febrero del 2018, un plan aeroespacial para determinar las hectáreas que han sido deterioradas por la cría de ganado y otras actividades agrícolas, que podrían ser utilizadas como terrenos para el cultivo de fruto de palma de aceite, utilizando drones y estaciones áreas para analizar la calidad de los suelos y sus dimensiones.[7]

## **1.1 Planteamiento del problema**

Para obtener un correcto funcionamiento del sistema de transporte por cable vía, se evidencia que el factor humano ha sido esencial, se muestra que los cambios de dirección requieren la coordinación y el conocimiento de las rutas por parte de un operador, lo que impide una autonomía del sistema. Además, el manejo de rutas implica una comunicación constante entre una ubicación en los cultivos y el centro de acopio, lo que no siempre es posible en terrenos donde el acceso es limitado o prácticamente inexistente.

En la actualidad las afectaciones de riesgo biomecánico en la población aumentan, y están asociadas a factores de riesgo que se presentan al momento del manejo de maquinaria. Según publicaciones de la revista de ciencias de la salud, el desorden músculo esquelético asociado al trabajo representa el 82% de las enfermedades laborales en Colombia, la cual actúa como agente desencadenante después de largas jornadas de un trabajo repetitivo, manipulación de cargas pesadas y trabajo estático. [8] En este aspecto, la operación del

cable vía se da en condiciones climáticas extremas (calor y humedad, además de trabajo en alturas) haciendo que las condiciones de trabajo sean peligrosas.

La comunicación es necesaria para que los trabajadores accionen el mecanismo de cambio de vía, mecanismo similar al utilizado en los cambios de vía de un tren. La utilización de este mecanismo representa un riesgo al ser accionado manualmente momentos antes de que pase el vehículo con la carga. [9] Además, se evidencia que para conseguir cumplir con las capacidades de carga se han usado motores de combustión interna, que generan gases nocivos para los operadores y el medio ambiente, así como contaminación auditiva durante la operación. [10] Este tipo de motores transportan un máximo de 30 mallas de carga cada una con una capacidad de hasta 200 Kg, los consumos de combustible rondan los 1,8 galones por cada 8 toneladas del fruto, también se deben realizar cambios de aceite y filtros del motor cada 70 horas. [11]. Teniendo en cuenta la dependencia de un operador para el transporte del fruto, esto implica un alto riesgo en la salud del conductor del vehículo debido a la operación en alturas, la exposición a gases nocivos y el ruido producido por el motor de combustión interna.

Diseñar un vehículo que funcione de manera automática, basado únicamente en comandos enviados desde un control central, reduciría de manera drástica el riesgo laboral y el tiempo que toma el vehículo en cada viaje, para cargar el fruto desde el cultivo hacia el centro de acopio.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar y construir un prototipo de vehículo eléctrico autónomo para la recolección de frutos de palma por medio de cables vía.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analizar un sistema utilizado en el cable vía para la recolección de frutos de palma determinando cargas y distancias a recorrer.
- Seleccionar un sistema utilizado para la recolección de frutos por medio de cable vía.
- Seleccionar sensores, motores y elementos necesarios para la construcción del vehículo eléctrico.
- Diseñar un vehículo autónomo eléctrico que pueda usar la infraestructura del cable vía y cumpla los requerimientos del sistema de recolección.
- Diseñar un sistema de cambio de vía automático para el vehículo autónomo.
- Simular mediante herramientas CAD y/o herramientas de análisis numérico el diseño de vehículo autónomo y cambio de vía, para verificar su funcionamiento.
- Construir un prototipo a escala del sistema de cable vía, el vehículo autónomo y el sistema de cambio automático, para verificar su funcionamiento.

### 3. Justificación

Las empresas palmicultoras han utilizado diferentes medios de transporte para sus frutos sin obtener un sistema adecuado [12], el transporte por cable vía ha sido utilizado por su adaptabilidad a cualquier tipo de terreno y cultivo.

El uso de nuevas tecnologías en la agroindustria, como la implementación de vehículos autónomos, beneficiaría el sector productivo de todas las regiones, incrementando la demanda en otros sectores de la producción, en donde el riesgo humano es menor y la calidad de trabajo es mejor. [13] Utilizar un sistema eléctrico para el motor de tracción, eliminaría en gran medida los problemas que conlleva utilizar un motor de combustión interna, la autonomía energética solo tiene como limitación el uso de una batería para el continuo funcionamiento del vehículo.

Los cambios de dirección automatizados benefician los campos con la optimización de las rutas a través del sistema de comunicación desde los cultivos hasta el centro de acopio, los cuales se pueden adaptar en cualquier campo. Esta investigación ayuda de manera directa a las empresas cultivadoras de palma de aceite, a obtener una visión más clara de cómo la automatización del transporte por medio de cable vía, podría llegar a mejorar el transporte de sus frutos del campo del cultivo hasta el sistema de acopio.

## 4. Marco teorico

### 4.1 Transporte de productos agrícolas

El transporte de productos y suministros agrícolas representa uno de los ejes principales en el sector agro en Colombia. El traslado de productos se lleva a cabo en varias etapas desde el punto de cultivo hasta el centro de acondicionamiento, en este proceso el fruto fresco puede llegar a sufrir daños por las vibraciones de la carga o contaminarse en el proceso (véase en la figura 4-1), debido a estos riesgos físicos y químicos el tiempo de transporte debe ser el menor posible entre los campos de cultivo y el centro de acopio. [14]

*Figura 4-1 Descarga del fruto en el punto de recolección.*



*Fuente:*

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/download/10506/10496/>

#### 4.1.1 Tracción humana

Para la población agricultora que cuenta con pocos recursos, el transporte de sus productos genera un problema a considerar. Para estos agricultores, su única opción y solución es transportarlos por ellos mismos llevándolos a sus espaldas.

Esta práctica produce riesgos, enfermedades y lesiones físicas, haciendo que el agricultor obtenga problemas de salud a largo y corto plazo. Durante este sistema de transporte, es

el agricultor o trabajador quien se asegura de llevar el fruto en buen estado y a tiempo al centro de acopio, haciéndolo un sistema poco eficiente y lento. [15] [8]

#### 4.1.2 Tracción animal

Una de las formas de transporte más común y mayormente utilizadas por agricultores con siembras medianas, es el uso de mulas o bueyes. Este tipo de tracción animal se utiliza en cultivos de todo tipo, principalmente cuando las distancias entre el punto de descarga y las plantaciones no son muy extensas, o los terrenos son de difícil acceso.

Este sistema, cuenta con una mula a la cual se le posiciona la carga en el lomo mediante estructuras metálicas o lonas equilibrando el peso a cada uno de los costados (figura.4-2), o también se le pueden asegurar cuerdas halando un zorrillo en donde se coloca la carga incluyendo al operario. La tracción en este sistema de transporte depende únicamente del animal con la tierra. [16]

*Figura 4-2 Carga de una mula con frutos de palma de aceite*



**Fuente:** <https://www.analpes.com/productos/cable-vias/>

### **4.1.3 Tracción mecánica**

La tracción mecánica es el sistema de transporte actual más utilizado, debido a que puede ser utilizado para cualquier tipo de cultivo. Su uso se enfoca principalmente en agricultura donde el área de cultivo es extensa, con la ventaja de que puede mover una gran cantidad de peso y recorrer caminos largos sin problemas.

Se caracteriza por hacer uso de motores a gasolina o diésel, motores hidráulicos o motores eléctricos. Este tipo de tracción necesita para su uso un sistema estructural específico. [16]

## **4.2 Usos principales del cable vía**

La utilización del cable vía como método de transporte se ha visto cuestionado por algunas empresas del sector agro, debido al fracaso en una plantación de la zona oriental del país. Aun así, se encontraron evidencias de que la implementación del cable vía como método de transporte principal, reduce considerablemente la cantidad de personal necesario y la maquinaria para realizar el proceso. Adicionalmente, se le suma la versatilidad de la implementación de este método para cualquier tipo de cultivo y terreno, lo cual hace que su aplicación se vea cada vez más aceptada. [17] El uso principal del sistema por cable vía se reduce al transporte de fruto de palma de aceite, banano, flores y café. Aplicando los cambios necesarios y el mantenimiento adecuado, el sistema de transporte por cable vía puede ser utilizado para transportar cualquier producto o suministro dentro de las plantaciones. [17] [3] [12]

### **4.2.1 Transporte público**

El uso del sistema de cable vía como método de desplazamiento de personas es observado en lugares donde no se puede acceder de manera convencional, debido a la falta de vías o caminos directos, haciendo que el sistema de cable vía sea el método principal para facilitar la movilidad hacia sus cultivos y hogares (figura 4-3). Cabe resaltar que la utilización de este sistema en personas o animales representa un riesgo para ellos mismos, así como para la comunidad en general. [18]

**Figura 4- 1 Joven agricultor transportándose por cable vía.**



**Fuente:** <https://masnoticiastol.com/la-garrucha-es-para-el-transporte-de-productos-y-no-de-personas/>

#### **4.2.2 Transporte agrícola**

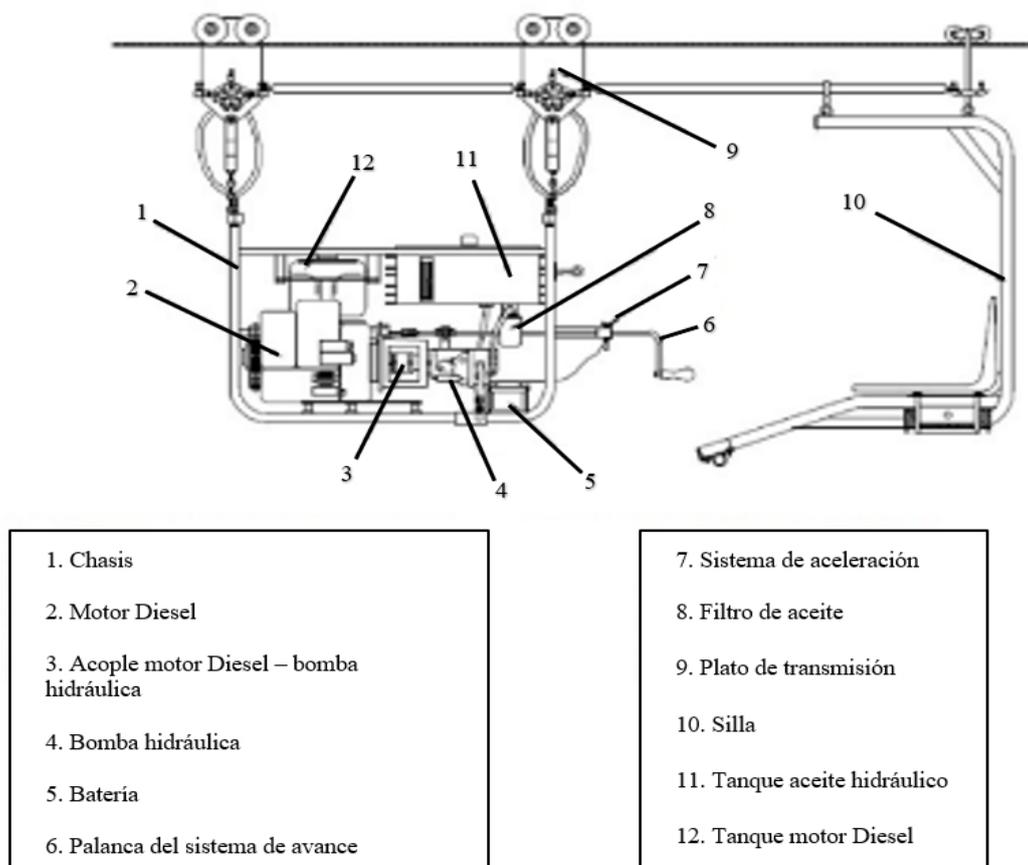
La implementación del cable vía como transporte de producto agrícola es su uso más común gracias a la facilidad y adaptabilidad del sistema. La principal razón se debe a su capacidad de carga y el tiempo para llevarla de un punto a otro, su uso en el sector agrícola está enfocado en plantaciones donde se necesita transportar grandes cantidades de fruto o el peso de los racimos cosechados es alto. El uso del cable vía en el sector agro ve reflejado una mejora sustancial en la calidad del producto y los costos de transporte, generando un margen de ganancias más alto. [18]

#### **4.3 Partes principales del cable vía**

Dentro de las características principales del cable vía, se encuentra que su composición estructural y mecánica varía de acuerdo al peso, volumen, forma del fruto y cuidado del cultivo. Sin embargo, sus partes esenciales se mantienen para su correcto funcionamiento, donde cada una de ellas desempeña un papel indispensable y único. Se tienen a consideración todos los temas estructurales y de soporte, donde se encuentran los marcos, torres, postes terminales, cables, varillas, tornillería, uniones, ejes, ganchos, abrazaderas,

barras metálicas por mencionar algunos. También, se tiene la tracción principal del cable vía donde se posiciona el motor (eléctrico o de combustión interna), transmisión mecánica, chasis, batería o conexión de energía. Las partes del sistema de tracción principal haciendo uso de motores de combustión interna se muestran en la figura 4-4. Para la construcción del cable vía, se utilizan materiales de fundición diseñados exclusivamente para este uso, como son las garruchas, ruedas morrocas, pines, ejes pasantes, acoples, chanelas, entre otros.

**Figura 4- 2 Estructura principal del sistema de tracción con motor diésel en un cable vía.**



**Fuente:** *Diseño hacienda la ilusión.*

### 4.3.1 Ruedas motrices

Se nombra rueda motriz, a aquellas ruedas que están accionadas directamente por el motor del cable vía y contribuyen al movimiento del tren de carga. Para obtener un mejor rendimiento del sistema, las ruedas motrices deben tener la mayor parte de su superficie en contacto con el camino, dichas ruedas motrices están fabricadas de materiales sintéticos como cauchos o siliconas (ver figura 4-5) con el fin de evitar deslizamientos y pérdidas de fricción. Debido al modelo estructural del cable vía, se utilizan no más de dos conjuntos de ruedas motrices. [19]

*Figura 4- 3 Rueda de caucho para cable vía.*



*Fuente:* <https://www.garruchastoro.com/producto/rueda-caucho-tractor/>

### 4.3.2 Patín garrucha

El patín para garrucha es el elemento móvil que se desplaza sobre el cable del sistema, se puede comparar este movimiento al funcionamiento que tienen las vías ferroviarias, relacionando el cable con los rieles y el patín para garrucha con las ruedas que cargan los vagones. El patín para garrucha está fabricado en fundición de hierro gris, el cual consta de dos ruedas morrocas (ver figura 4-7), unidas mediante una platina con perforaciones laterales por las que se colocan dos tornillos pasantes y tuercas de seguridad. [20]

Se tienen tres tipos de patín para garrucha que son implementados en el sistema de cable vía, los cuales son:

- Patín para garrucha morroca con rodamientos con punto de engrase.
- Patín para garrucha libre de mantenimiento con rodamiento sellado de tipo liviano.
- Patín para garrucha de trabajo pesado con rodamiento sellado.

***Figura 4- 4 Patín garrucha para cable vía.***

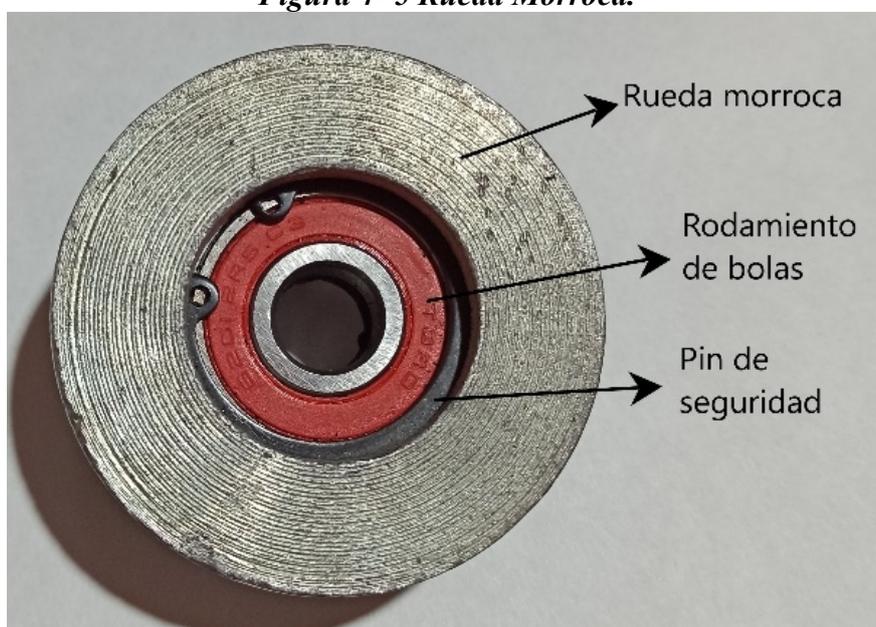


***Fuente:*** <https://www.garruchastoro.com/producto/patin-para-garrucha-trabajo-pesado/>

### 4.3.2.1 Rueda morroca

Dentro de las partes más importantes del cable vía encontramos la rueda morroca. Esta rueda es utilizada para el movimiento de las garruchas con la carga y para el ensamblaje del patín para garrucha (figura 4-6). Este se compone de tres partes: el cuerpo de la rueda que es fabricado en hierro gris mediante el proceso de fundición, un rodamiento de bolas que permite el libre movimiento de la rueda, se utilizan rodamientos de bolas al ser rodamientos rígidos y versátiles ya que soportan tanto cargas axiales como radiales, tienen una baja fricción y están optimizados para que su nivel de ruido sea bajo, y por último tenemos dos pines de seguridad i-32 (ver figura 4-7) instalados para mantener el rodamiento en su lugar. [20]

*Figura 4- 5 Rueda Morroca.*

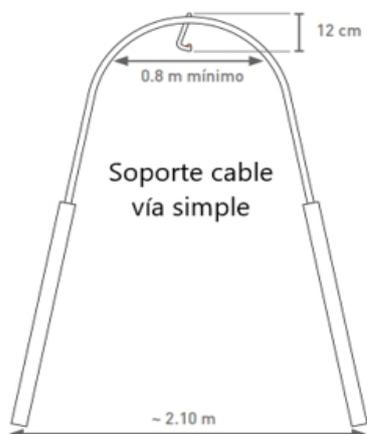


*Fuente: Diseño propio.*

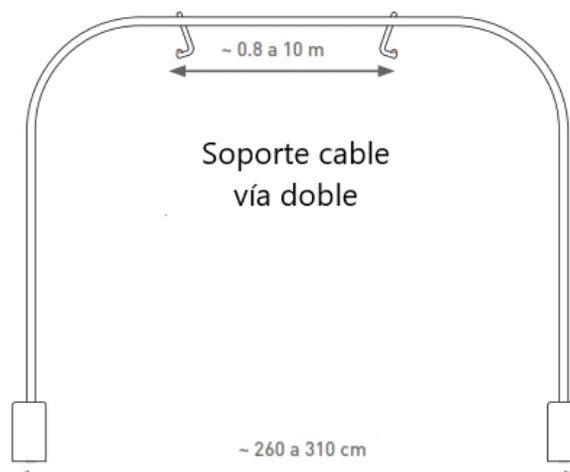
### 4.3.3 Estructuras y bases

Los soportes estructurales se encargan de mantener el peso del cable y la carga a lo largo del cable vía hasta el punto de acopio. Estos pueden cambiar según la necesidad del productor, pueden ser de uno o dos sentidos y sus medidas varían dependiendo del terreno. Se emplean dos tipos estructurales: los de un solo sentido también denominados cables singulares o simples(ver figura 4-8), se caracterizan por tener arcos de diferentes formas, por lo cual es importante considerar el arco con menor anchura, lo que asegura un transporte estable de la carga; y los soportes estructurales de dos sentidos o denominados cables vía dobles(ver figura 4-9), los cuales sostienen dos cables uno al lado de otro y se utilizan para comunicar dos extremos de la plantación como un camino directo de dos sentidos. Los cables vía dobles se usan como rama central de comunicación de la plantación, mientras que los cables vía singulares se unen a esta rama principal. [16]

**Figura 4- 6 Soporte cable vía simple.**



**Figura 4- 7 Soporte cable vía doble.**

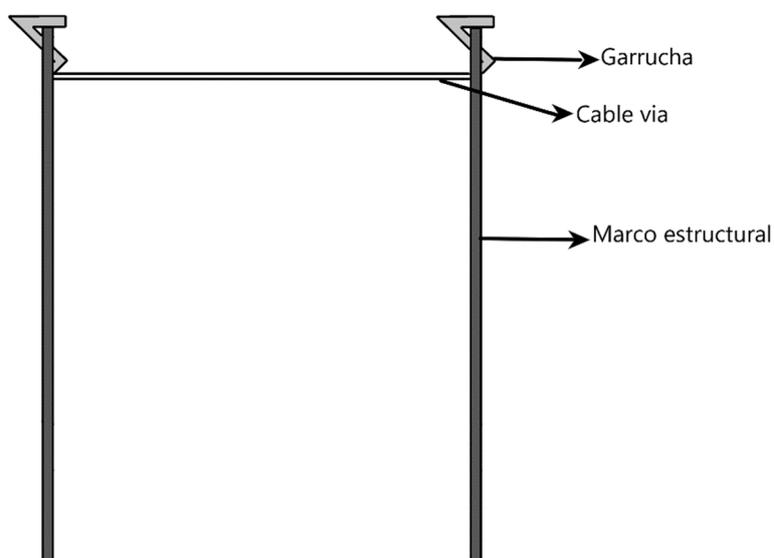


**Fuente:** [2]

### 4.3.3.1 Cable vía

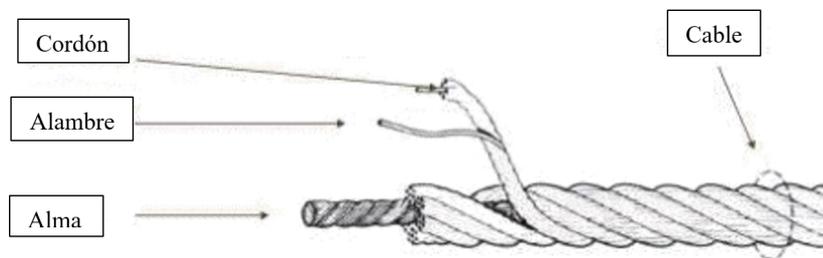
La función principal del cable vía es servir como guía para el sistema de tracción, en cambio el tren de carga y el tipo de cable utilizado depende netamente de la necesidad de trabajo y el diseño del sistema. El cable vía se apoya entre dos soportes estructurales haciendo uso de la garrucha, y sujetando el cable entre ellos (ver figura 4-10). Como material principal para el cable se tiene la varilla de hierro lisa o corrugada, esta varilla es utilizada en líneas de transporte rectas entre plantaciones y donde no se tienen grandes distancias entre los marcos de apoyo, la utilización de este tipo de material brinda estabilidad y dureza al cable guía. Si se tienen grandes distancias entre soportes estructurales o un terreno inestable, se hace uso de cable de acero de varios hilos (guaya) como se muestra en figura 4-11., generalmente estos cables se encuentran trenzados en hélice formando diferentes hilos que se denominan cordones, los cuales posteriormente son colocados sobre un centro de acero o fibra. [21].

*Figura 4-10 Cable vía apoyado en el marco estructural.*



*Fuente: Diseño propio.*

**Figura 4-11 Estructura interna cable de acero.**



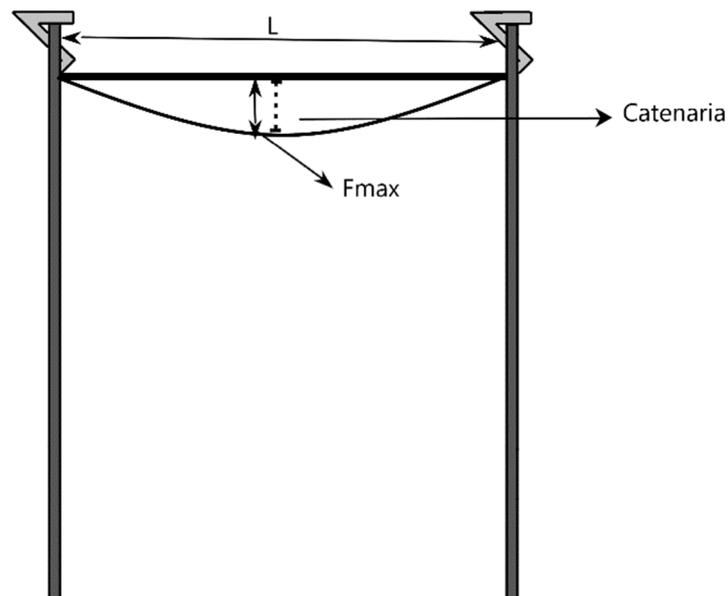
**Fuente:** <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos/Doc 4 Accesorios-Cables & Cadenas.pdf>

Para determinar el mejor material para el cable, se hace uso de la ecuación de peso (4-4), con el fin de determinar las fuerzas aplicadas al cable y los marcos estructurales. Esta ecuación, se aplica en todo momento durante el trayecto del cable vía incluso cuando el sistema no está en movimiento.

$$W = m \cdot g \text{ Ecuación.4-4}$$

El cable vía al ser un elemento delgado y flexible, cuando se extiende por grandes distancias o al aplicarse una fuerza suspendida, genera una deformación llamada catenaria como se muestra en la figura 12, que necesita un cálculo complejo para determinarlo. Por esta razón, para facilitar su cálculo se toma la curvatura como una parábola (4-5), cuyo error por medio de esta solución se considera despreciable.

**Figura 4-12. Deformación del cable vía apoyado.**



*Fuente: Diseño propio.*

La característica principal de esta deformación, es que su punto máximo  $F_{max}$  se encuentra en el medio de la distancia entre los dos apoyos. [21]

$$\frac{L}{2} \leq F_m \leq \frac{L}{3}$$

$$F_m = \frac{L}{2} \quad \text{Ecuación.4-5}$$

#### **4.3.3.2 Marco estructural**

Representa la estructura principal del cable vía, su dimensión y forma depende directamente de las necesidades de uso. Al ser el eje principal el que soporta el peso de todo el sistema, es necesaria la utilización de tubería de alto calibre y alta resistencia, dicha tubería puede ser de acero o hierro, la utilización de tubería circular o cuadrada está sujeta a la decisión la empresa o el encargado del montaje del sistema. Es necesario determinar las fuerzas axiales y radiales a las que será sometida la estructura, para ello asumimos el marco como una armadura, a la cual se le aplicará el método de nodos para obtener la fuerza aplicada en cada barra y si está sometido a tensión o compresión.

A partir del diagrama de cuerpo libre de cada uno de los nodos, se aplican las ecuaciones de equilibrio (4-1) para determinar cada una de las fuerzas, reacciones y momentos (4-2) en la armadura. [22]

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0 \quad \text{Ecuación.4-1}$$

$$M_0 = F \cdot d \quad \text{Ecuación.4-2}$$

Para todo proceso de diseño mecánico, existen diferentes factores que afectan la implementación y generan incertidumbres. Se debe tener conocimiento sobre las propiedades de los materiales con el fin de evitar un fallo del sistema. Para definir la resistencia del diseño con el esfuerzo que será aplicado, se usa el termino factor de seguridad (4-3). [32]

$$N = \frac{c}{c} \frac{q}{m} \frac{p}{a} \frac{f}{a} \quad \text{Ecuación.4-3}$$

#### 4.3.3.4 Bases estructurales

Las bases estructurales están ubicadas en las puntas de cada torre y el marco estructural que conforma el cable vía, como se ve en la figura.4-13. Cada una de estas lozas lleva un hueco en el centro que permite el paso del marco estructural, cada una de las bases se funden en concreto  $F'c=175 \text{ Kg/cm}^2$  de aproximadamente  $30 \times 30 \times 5 \text{ cm}$ . Entre la loza y el suelo se inserta una cuña de hierro que no permite que la loza se mueva hacia abajo junto con la carga. [23]

**Figura 4-13 Deformación del cable vía apoyado.**



**Fuente:** [https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/manual\\_cable\\_via.pdf](https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/manual_cable_via.pdf)

### 4.3.3.5 Garruchas

Se utilizan para el transporte de carga y suministros dentro de las plantaciones. Se compone de un conjunto de elementos ensamblados, donde en la parte superior un patín garrucha se usa como medio para el desplazamiento por el cable vía, a este patín se le asegura un soporte en forma de S que se ensambla en la parte central de la platina del patín, al final del soporte se incluye un soporte más en forma de U que actúan como gancho permitiendo la unión de varias garruchas (ver Figura 4-14). También, se utiliza la garrucha como soporte estructural del cable, esta garrucha consta de un soporte en forma de S con una canaleta al final donde se asegura el cable vía usando chanelas o abrazaderas figura.4-15. [23]

**Figura 4-14**  
**Garrucha para**  
**transportar carga**



**Fuente:** *Diseño propio.*

**Figura 4-15 Garrucha como**  
**soporte del cable vía.**



**Fuente:** *Diseño propio.*

### 4.3.4 Transmisión de potencia

La transmisión de potencia es un sistema que tiene como fin conducir energía de un mecanismo a otro, llegando a reducir, incrementar o mantener la velocidad y el torque (4-6). En la actualidad existen dos tipos principales la mecánica y la eléctrica. El cable vía hace uso de la transmisión mecánica e hidráulica como fuentes esenciales de transmisión, dado que son sistemas muy estables y usados en el desarrollo de la ingeniería y la industria, la rapidez con la que un sistema mecánico hace su trabajo de denomina potencia mecánica (4-7). [24]

$$T = F \cdot R \text{ Ecuación.4-6}$$

$$P = \frac{T}{t} \text{ Ecuación.4-7}$$

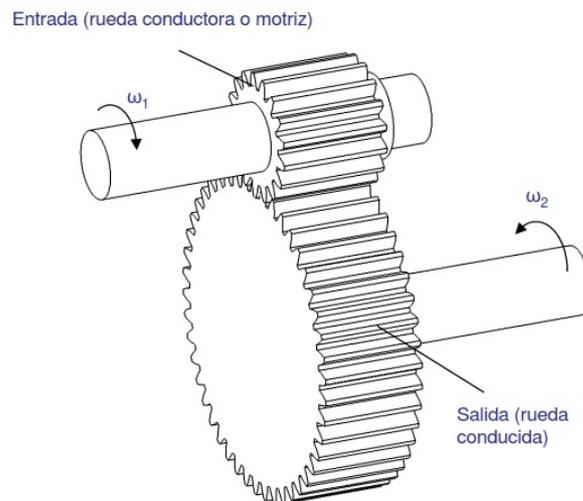
#### 4.3.4.1 Transmisión mecánica

En el sistema de transmisión mecánica, existen varias configuraciones que pueden funcionar como potencia de algún mecanismo que requiera movimiento, cada una de ellas requiere componentes engranados para llevar energía, existen dos configuraciones principales usadas en el cable vía. [24]

La transmisión de potencia por engranajes (Figura 4-16), funciona con el acoplamiento de dos o más ruedas dentadas, una motriz y otras conducidas, cuando se coloca la motriz junto a la conducida la empuja diente por diente, podemos obtener una relación del número de dientes, el diámetro y la velocidad angular (4-8).

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \text{ Ecuación.4-8}$$

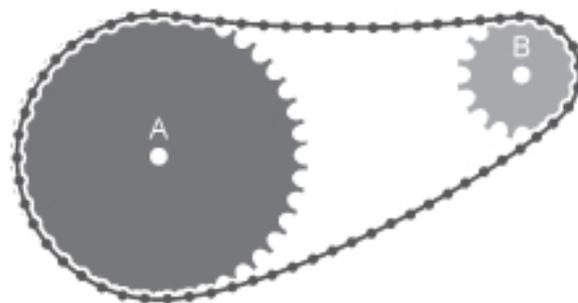
**Figura 4-16. Ruedas dentadas acopladas.**



**Fuente:** <https://eet1conesa.neocities.org/Contingencia/SISTEMAS TECNOLÓGICOS - 3er a%C3%B1o - Actividad n%C2%BA 5 .pdf>

La transmisión de potencia por cadena, se usa para llevar la energía entre dos ejes con poleas dentadas que se encuentran alejadas entre sí, los eslabones de la cadena encajan dentro de los dientes de las ruedas, de tal manera que al girar una de ellas arrastra la otra (ver figura 4-17), al ser conectadas existe una tasa de deformación por tracción en la cadena definida en la ecuación 4-9.

**Figura 4-17. Cadena con ruedas dentadas acopladas.**



**Fuente:** <https://www.mathworks.com/help/sdl/ref/chaindrive.html>

$$\dot{x} = \dot{\theta}_2 \cdot R_2 - \dot{\theta}_1 \cdot R_1 \text{ Ecuación.4-9}$$

#### 4.3.4.2 Transmisión hidráulica

La transmisión hidráulica en el cable vía se caracteriza por la utilización de una bomba de alta presión (Figura 4-18). Estas máquinas hidráulicas buscan transformar la energía mecánica en el accionamiento de un mecanismo utilizando como medio el movimiento de un fluido al intentar comprimirlo. El fluido puede ser una mezcla de líquidos y sólidos que al incrementar la energía del fluido aumenta su presión, velocidad y altura. En términos generales, la bomba se utiliza en sistemas hidráulicos para aumentar la presión de un líquido y así transportar la energía en el sistema al mover un fluido de un área de menor presión a un área de mayor presión. [25]

*Figura 4-18. Bomba hidráulica.*



*Fuente:* <https://www.eurasia-con.com/es/accesorios-y-repuestos/>

#### 4.3.5 cambios de vía

Los mecanismos de cambio de vía se conforman por una estructura y varios componentes, su finalidad es cambiar el camino de la carga hacia una rama secundaria en el cultivo o regresar al camino principal de la plantación, dicho cambio es accionado de manera manual por un operario.

### 4.3.5.1 Mecanismo manual cambio de vía

El mecanismo manual se compone de un resorte o muelle al cual se sujeta un eje pasante que servirá como apoyo para sostener el cambio de vía dentro del sistema figura.4-19. Este mecanismo se acciona de manera manual por un operario halando el eje y venciendo la resistencia del muelle. Dicha resistencia puede ser calculada mediante la ley de Hooke (ver figura 4-20). Conociendo la tasa del resorte y su recorrido se utiliza la ecuación 4-10; sino se conoce la tasa del resorte, se aplicará la ecuación 4-11.

$$F = -R \cdot s \quad \text{Ecuación .4-10}$$

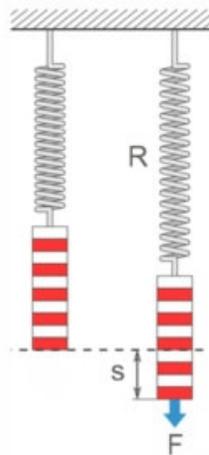
$$F = \frac{Gd^4s}{8D^3n} \quad \text{Ecuación.4-11}$$

**Figura 4-19. Resorte para automatismo cambio vía.**



*Fuente: Diseño propio.*

**Figura 4-20. Ley de Hooke.**



**Fuente:** <https://blog.federnshop.com/es/calcular-la-fuerza-de-muelles/>

## **4.4 Vehículos autónomos**

Los vehículos autónomos en esencia, son aquellos que pueden transportar pasajeros o cargas sin la intervención humana. Se tienen diferentes niveles en la automatización de vehículos que va desde ninguna función (nivel 0) hasta funciones complejas de automatización que no requiere la interacción humana (nivel 4), los niveles 1 y 2 incluyen unas pocas actividades automáticas, mientras que el nivel 3 logra una automatización limitada. La automatización completa sin controles de conductor son el nivel 5. La mayoría de la producción de estos vehículos se centra en una automatización parcial (nivel 1,2 y 3) mientras que algunos fabricantes ofrecen un concepto de vehículos automatizados completos (nivel 5) como tesla y Google. Estos vehículos normalmente se implementan usando motores eléctricos con el fin de reducir la contaminación y los ruidos. [26] [27]

### **4.4.1 Vehículos autónomos en la agricultura**

El constante cambio del entorno agrícola combinado con la producción intensiva, requiere que se desarrollen nuevas tecnologías más robustas, con un desarrollo de bajo tiempo a bajo costo. Para la mayoría de las funciones agrícolas, se requiere que un operador realice dos funciones primarias al mismo tiempo: conducir el equipo y operar la maquinaria. La necesidad de aliviar al operador de ajustar continuamente el trayecto, es la razón principal para el desarrollo de sistemas de guiado automático. [27]

Los primeros vehículos autónomos en la agricultura, también llamados driverless, ya se están implementando en la actualidad. La compañía CNH industrial, creó uno de los primeros tractores automatizados (ver figura 4-21), el cual puede ser utilizado mediante una Tablet o trazando una ruta definida mediante GPS. Este equipo usa de un motor eléctrico que genera 419 HP, que alcanza una velocidad de 50 km/h, implementa un sistema de detección de personas y animales, así como la prevención de colisiones. [28]

**Figura 4-21. Tractor automatizado CNH industrial.**



**Fuente:** <https://supercampo.perfil.com/2018/09/las-maquinas-autonomas-revolucionan-la-agricultura/>

#### **4.5 Motores eléctricos**

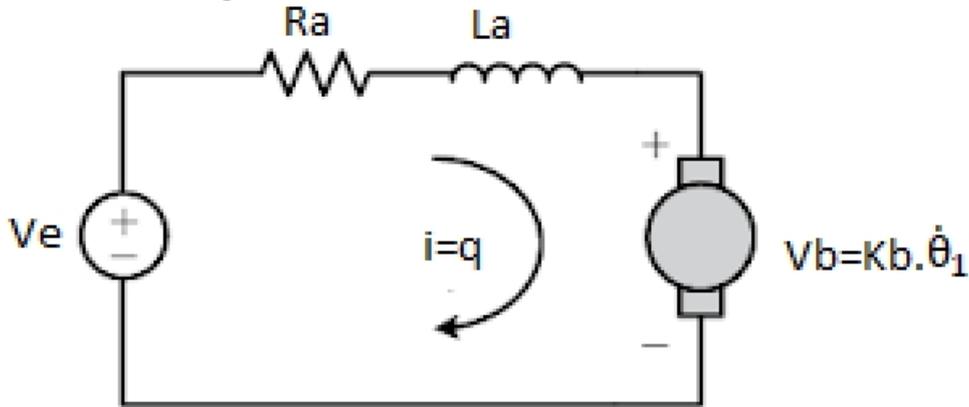
En esencia un motor eléctrico es un maquina rotatoria que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos, pueden clasificarse en DC y AC. Los motores DC, hacen uso de corriente directa para su funcionamiento, se clasifican según la forma de conexión de las bobinas inductoras e inducidas. Los motores DC son usados en trenes de laminación, en la industria del papel, cizallas, grúas que requieren precisión en el movimiento, entre otros. En los motores DC se puede encontrar el servo motor, el cual es un motor que tiene la característica de poderse ubicar en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable. [29]

Los motores AC hacen uso de corriente alterna para su funcionamiento, debido al fácil manejo de la transmisión, transformación y distribución de corriente, es uno de los motores eléctricos más utilizados en la industria. Existen motores AC síncronos o asíncronos. Los motores síncronos son motores en donde la rotación del eje está en sincronía con la frecuencia de la corriente de alimentación. Los motores asíncronos, son

motores en donde la rotación del eje es menor a la frecuencia de la corriente de alimentación. [29]

Podemos representar la funcionalidad de un motor eléctrico mediante su armadura, la cual se encuentra conectada a una resistencia y una inductancia en serie, teniendo en cuenta que, al accionar el motor, en la armadura se va a crear un campo magnético, que va a inducir un voltaje ( $V_b$ ) proporcional a la velocidad del motor. En la figura.4-22, se define el modelo utilizable para su estudio.

**Figura 4-22. Modelo armadura de un motor**



*Fuente: Diseño propio.*

Se define la relación entre las variables del modelo mediante las ecuaciones 4-12 y 4-13.

$$N_1 * W_1 = N_2 * W_2 \quad \text{Ecuación.4-12} \quad [W_1 = \dot{\theta}_1, W_2 = \dot{\theta}_2] \quad \text{Ecuación.4-13}$$

$$\dot{\theta}_1 = \frac{N_2}{N_1} * \dot{\theta}_2, \quad \dot{\theta}_2 = \frac{N_1}{N_2} * \dot{\theta}_1 \quad \text{Ecuación.4-14}$$

Se calcula el torque del modelo, en función de  $\theta_2$  teniendo como resultado la siguiente ecuación

$$T = \frac{1}{2} * I_m \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} * m c \dot{x}^2$$

$$T = \frac{1}{2} * I_m \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} * m c [\dot{\theta}_2 R_2 - \dot{\theta}_1 R_1]^2$$

$$T = \frac{1}{2} * \text{Im} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} * mc [\dot{\theta}_2 R_2^2 - 2 \left[ \dot{\theta}_2 R_2 * \frac{N_2}{N_1} * \dot{\theta}_2 R_1 \right] + \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \dot{\theta}_2^2 R_1^2]$$

$$T = \frac{1}{2} * \text{Im} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} * mc \dot{\theta}_2^2 R_2^2 - 2m_2 * \frac{N_2}{N_1} * R_2 * R_1 * \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} * mc \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \dot{\theta}_2^2 R_1^2$$

*Ecuación.4-15*

Su equivalente

$$T = \frac{1}{2} * \left[ \text{Im} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + mc R_2^2 - 2m_2 * \frac{N_2}{N_1} * R_1 * R_2 + mc \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_1^2 \right] \dot{\theta}_2^2$$

$$T = \frac{1}{2} * I_e * \dot{\theta}_2^2 \quad \text{Ecuación.4-16}$$

se calculan el voltaje del modelo, en función de  $\theta_2$  teniendo como resultado la siguiente ecuación

$$V = \frac{1}{2} * K_m \theta_1^2 + \frac{1}{2} * k_c x^2$$

$$V = \frac{1}{2} * k_m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \theta_2^2 + \frac{1}{2} * k_c [\theta_2 R_2 - \theta_1 R_1]^2$$

$$V = \frac{1}{2} * k_m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \theta_2^2 + \frac{1}{2} * k_c R_2^2 \theta_2^2 - k_c \frac{N_2}{N_1} R_1 R_2 \theta_2^2 + \frac{1}{2} * k_c \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_1^2 \theta_2^2$$

$$V = \frac{1}{2} \left[ k_m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + k_c R_2^2 - 2 k_c \frac{N_2}{N_1} R_1 R_2 + \frac{1}{2} k_c \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_1^2 \right] \theta_2^2 \quad \text{Ecuación.4-17}$$

su equivalente

$$V = \frac{1}{2} \left[ k_m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + k_c R_2^2 - 2 k_c \frac{N_2}{N_1} R_1 R_2 + \frac{1}{2} k_c \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_1^2 \right] \theta_2^2$$

$$V = \frac{1}{2} * V_e * \dot{\theta}_2^2 \quad \text{Ecuación.4-18}$$

se calcula la disipación del modelo, en función de  $\theta_2$  y  $\dot{q}$  teniendo como resultado la siguiente ecuación

$$D = \frac{1}{2} * C \dot{x}^2 + \frac{1}{2} * C_m \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} R_q \dot{q}^2$$

$$D = \frac{1}{2} \left[ C R_2^2 - 2 R_1 * R_2 \frac{N_2}{N_1} + C \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + C_m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \right] \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} R_a \dot{q}^2 \quad \text{Ecuación.4-19}$$

Para modelar de manera correcta el sistema, se calculan las ecuaciones que representan el trabajo no conservativo, y se despejan utilizando la transformada de Laplace, lo que da como resultado las siguientes ecuaciones

$$\delta = (V - V) \delta + T \theta_1 + T \theta_2$$

$$\delta = (V - K \frac{N_2}{N_1} * \dot{\theta}_2) * \delta + K_T \dot{q} \frac{N_2}{N_1} \delta \theta_2 + T \theta_2 \quad \text{Ecuación.4-20}$$

$$\theta_2 = Ie\ddot{\theta}_2 + Ce\dot{\theta}_2 + veq\theta_2 = K_T \dot{q} \frac{N_2}{N_1} + T$$

$$q = L \ddot{q} + Ra \dot{q} = Ve - Kb \frac{N_2}{N_1} \dot{\theta}_2$$

$$\theta_2 = Ie\ddot{\theta}_2 + Ce\dot{\theta}_2 + veq\theta_2 - K_T i \frac{N_2}{N_1} = T \quad \text{Ecuación.4-21}$$

$$q = L \frac{d}{dt} + Ra i + Kb \frac{N_2}{N_1} \dot{\theta}_2 = V \quad \text{Ecuación.4-22}$$

Se utiliza el lagrangiano y la transformada de Laplace, se despejan las ecuaciones que se utilizan para formar la matriz H(s), se calcula la inversa de la matriz H(s) y se obtiene la función de transferencia del modelo, se tienen como entradas de  $\theta_2$  y  $\dot{q}$ , y como resultado el comportamiento del modelo en función de Te y Ve.

$$\begin{bmatrix} I_1 S^2 + C + v & -K_T \frac{N_2}{N_1} \\ K \frac{N_2}{N_1} S & L S + R \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \theta_2(s) \\ I(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T(s) \\ V(s) \end{bmatrix} \quad \text{Ec.23}$$

H(S)

$$Ie\ddot{\theta}_2 = T - C \dot{\theta}_2 - v \theta_2 + K_T i \frac{N_2}{N_1} \quad \text{Ec.24}$$

$$L \frac{d}{dt} = Ve - Ra i - Kb \frac{N_2}{N_1} \dot{\theta}_2 \quad \text{Ec.25}$$

## 4.6 Arduino

Arduino es una plataforma de creación de código abierto desarrollado por el equipo visionario, Massimo Banzi, David Cuartilles, Tom Igoe, Gianluca Martino, y David Mellis en ivera, Italia. Está basado en la utilización de hardware y software libre, esta plataforma permite crear diferentes microordenadores a los que se le puede asignar diferentes tipos de uso mediante programación, cuyo código es abierto. Arduino

implementa sensores para recolectar información y procesarla mediante su software, haciéndolo una de las plataformas libres más versátiles del mercado. [30]

### 4.6.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo que convierte una variable física (velocidad, peso, densidad, temperatura, etc) en otra diferente, la cual puede ser evaluada de manera práctica y rápida, normalmente esta variable suele ser una señal eléctrica, pero puede ser de cualquier tipo. [31]

#### 4.6.1.2 Sensores de proximidad

Pueden determinar la presencia o ausencia de un obstáculo, funcionan mediante la implementación de una salida digital de encendido y apagado. También pueden suministrar la posición de un objeto a lo largo del tiempo de manera continua, relacionando una señal eléctrica con la posición figura.4-23.

*Figura 4-23. Sensor infrarrojo de proximidad.*



**Fuente:** <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/opticos-infrarojos/sensor-infrarrojo-de-obst%C3%A1culo-sensores-detectores-detecci%C3%B3n-evasi%C3%B3n-de-obst%C3%A1culos-infrarrojos-infra-rojos-ir-detail>

#### **4.6.1.3 Sensores de contacto físico**

Este tipo de sensores necesitan el accionamiento de un contacto para determinar lo cerca o lejos que se encuentra un objeto. Este método de funcionamiento, limita el sensor de manera drástica debido a que cuando se produce el contacto, el tiempo transcurrido puede ser demasiado alto para la reacción de la señal. Esto lo hace especialmente bueno para detectar objetos con precisión a una distancia muy corta, aunque la precisión del sensor dependerá del modelo usado. [31]

#### **4.6.1.4 Sensores sin contacto físico**

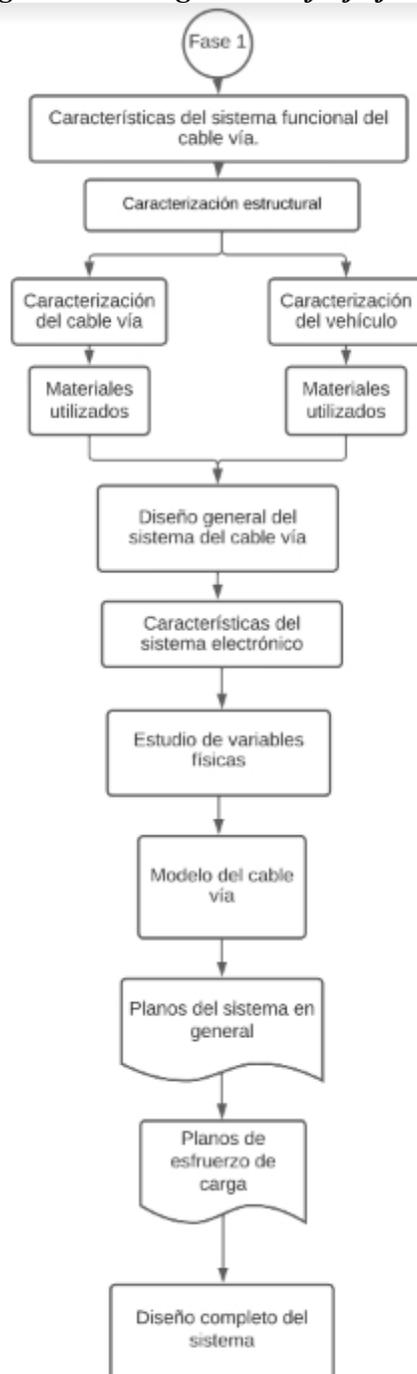
Los sensores sin contacto físico son los sensores más utilizados en la industria en general. Estos sensores permiten determinar la presencia de un objeto a diferentes distancias, dependiendo de la tecnología del sensor la distancia de uso puede ser mayor o menor. Muchos de estos sensores se pueden programar para que tengan un funcionamiento binario, otros permiten obtener una salida digital o analógica con la información de la distancia del objeto. [31]

## 5. Metodología

### Fase 1

La metodología de la primera fase se muestra de manera gráfica en la figura 5-1.

*Figura 5-1. Diagrama de flujo fase 1.*

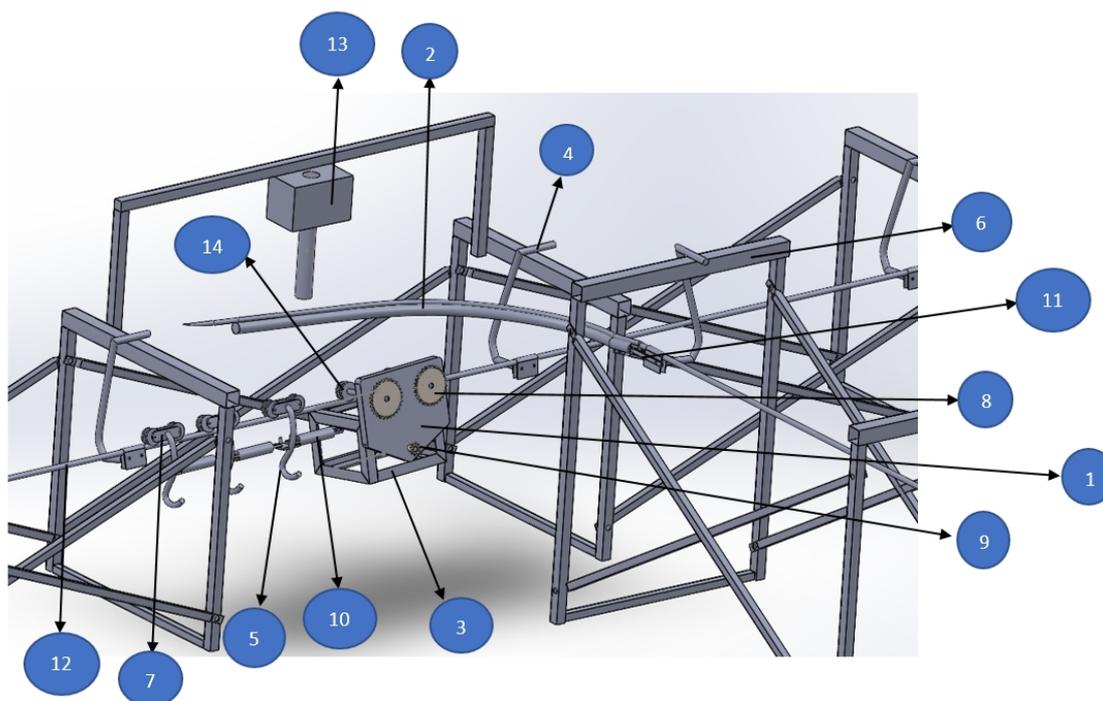


*Fuente: Diseño propio.*

## 5.1 Caracterización del sistema funcional del cable vía.

Las partes generales para el sistema, se muestran en la figura 5-1. Estos componentes son la base esencial para el funcionamiento del sistema de transporte por cable vía, para la recolección de frutos de palma de aceite. El diseño puede variar dependiendo de las especificaciones del cliente y su uso, puede tener cambios en las dimensiones y los parámetros según la funcionalidad y la carga a la que será sometido, es decir, el sistema de transporte de cable vía puede ser usado para la recolección de frutos de palma, cualquier otro fruto o producto, así como para diferentes sistemas.

*Figura 5-2 Estructura general del sistema de transporte por cable vía*



*Fuente: Diseño propio.*

El sistema estructural, es la base para transportar los frutos y soportar el peso de todo el cable vía en general, éste consta de marcos metálicos unidos entre sí mediante cruces de apoyo. Los marcos pueden ser enterrados si el terreno lo permite, donde la cantidad de marcos está sujeta a la distancia que se desea recorrer. En dichos marcos se ajustan las garruchas, la varilla guía, los patines y todo lo necesario para transportar las canastas y guiarlas de un punto a otro.

En la tabla.5-1 se nombran y describen los componentes principales para el diseño y la fabricación del sistema de cable vía, los componentes que forman parte del sistema, serán fabricados en su mayoría con tubería de acero, además, algunos elementos son fabricados mediante fundición de hierro gris.

**Tabla 5-1. Componentes sistema de transporte por cable vía.**

<b>ITEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTO</b>
1	1	Base para mecanismo de traslación
2	1	Mecanismo cambio de vía
3	1	Estructura de tractor aéreo
4	7	Gancho torre
5	7	Garrucha
6	7	Marco
7	4	Patín
8	2	Piñón de translación
9	1	Piñón de motor
10	1	Separador
11	1	Articulación
12	2	Cable vía
13	1	Actuador lineal
14	2	Rueda de traslación

**Fuente:** *Elaboración propia.*

El sistema de cambio de vía es el mecanismo usado para cambiar el camino del vehículo y la carga, con el fin llegar a diferentes lugares dentro del terreno. Consta de un resorte metálico al que está ajustado el cable guía de cambio, cable guía al que se le suelda un tubo circular, doblado con un ángulo de incidencia de 90 grados para no generar una curvatura demasiado cerrada en el cable guía. También, usa una pestaña de forma semicircular en la punta, para superponerse en el cable guía principal, y se cambia de vía cuando el actuador lineal vence la fuerza del resorte en el momento deseado.

El sistema de vehículo eléctrico consta de una estructura metálica en la que se ajustan los componentes de transmisión de potencia, hace uso de engranajes para transmitir el torque a las ruedas y generar el movimiento de la carga. La forma, el material y la relación para la transmisión de potencia, están sujetos a cambios que dependen del trabajo y la carga establecidos.

Para un correcto diseño del sistema autónomo de transporte por medio de cable vía, es necesario usar sensores de movimiento, se deben posicionar de tal manera que su lectura no sea interrumpida para poder tener una señal estable. Las señales son enviadas a un sistema de control central para su procesamiento, donde se obtiene una respuesta específica para su funcionamiento.

Del diseño del sistema de control y la programación en Arduino, las señales del sistema de transporte son enviadas a un Arduino MEGA, es el encargado de observar las señales de entrada y enviar una respuesta al vehículo. La comunicación entre el Arduino MEGA y el vehículo es por medio de wifi, con la utilización del módulo ESP8266 se establece una comunicación serial para enviar información entre ellos y controlar todo el sistema de transporte.

## **5.2 Variable físicas**

Uno de los parámetros físicos iniciales, más importantes a tener en cuenta para el diseño del sistema de transporte, es el peso que debe halar el motor, este peso es seleccionado previamente por el cliente o el encargado del diseño. Para el prototipo se establece un peso de 50 Kgf para realizar una relación de pesos con el uso del cable vía en la industria, además, se define la velocidad línea del vehículo eléctrico para el prototipo, la cual es de aproximadamente 0.29 m/seg sin carga, con el peso seleccionado y la velocidad lineal, se encuentran las variables necesarias para determinar el motor eléctrico con las características y especificaciones ideales para el trabajo.

Una vez seleccionado el peso, se analizan las fuerzas principales que actúan en el sistema de transporte como son las reacciones en la estructura, potencia, fuerza, torque, velocidad lineal y velocidad angular. Se observa que, para poder mover la carga y el vehículo, el motor debe aplicar un torque lo suficientemente grande para vencer la fuerza de arrastre, que se asume es el 50% del torque y así generar el movimiento. Dicho torque, normalmente es potenciado mediante relaciones de engranajes.

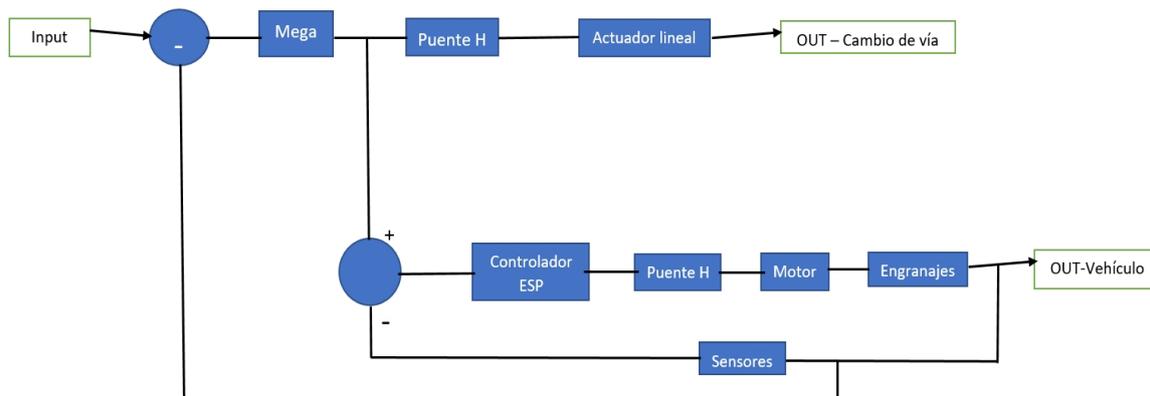
La relación entre engranajes, es definida por dos variables establecidas previamente, una de ellas es la velocidad lineal a la que el vehículo se mueve, y la segunda es la fuerza requerida para vencer la fuerza de arrastre. Es necesario obtener la potencia y torque requeridos en el motor para su funcionamiento, las cuales se obtienen mediante una relación de engranajes rectos conectados entre sí utilizando una cadena de rodillos.

### **5.3 Desarrollo del modelo de cable vía automatizado**

Se analiza como idea principal, el modelo de transporte por cable vía más común para automatizar el sistema, donde se consideran diferentes variaciones estructurales. El modelo clásico de transporte por cable vía, hace uso de marcos metálicos ubicados a una distancia específica, donde se ubican todos los elementos del sistema. Para el prototipo, la estructura principal se establece que debe ser desmontable y utilizable en diferentes terrenos, para estabilizar los marcos sin la necesidad de enterrarlos en el suelo. Para esto, se usa un soporte metálico en forma de "x", ajustado en las esquinas superior e inferior de los marcos, el cual brinda soporte y estabilidad a toda la estructura. Para el mecanismo de cambio de vía, se ajusta la posición del actuador lineal, se adapta un eje transversal a los marcos de soporte, todo con el fin de ajustar el actuador lineal en la posición deseada y alinear, el cable vía de cambio.

La conexión entre los controladores, sensores y actuadores, es establecida por el diagrama de bloques de la figura 5-3. Se tiene la señal de entrada para el Arduino MEGA, donde este controlador es el eje central del funcionamiento automático y es el responsable de leer las señales de entrada y establecer una respuesta para el sistema. Dicho Arduino alimenta dos lazos, uno que usa el actuador lineal, el cual es un lazo abierto, y otro, para el motor del vehículo el cual es de lazo cerrado, el Arduino MEGA el cual tiene una conexión inalámbrica con el ESP8266. Este módulo wifi es el responsable de manejar el movimiento del vehículo dentro de la estructura y enviar datos relevantes de vuelta al Arduino MEGA.

**Figura 5-3. Diagrama de bloques del sistema de transporte por cable vía.**



*Fuente: Diseño propio.*

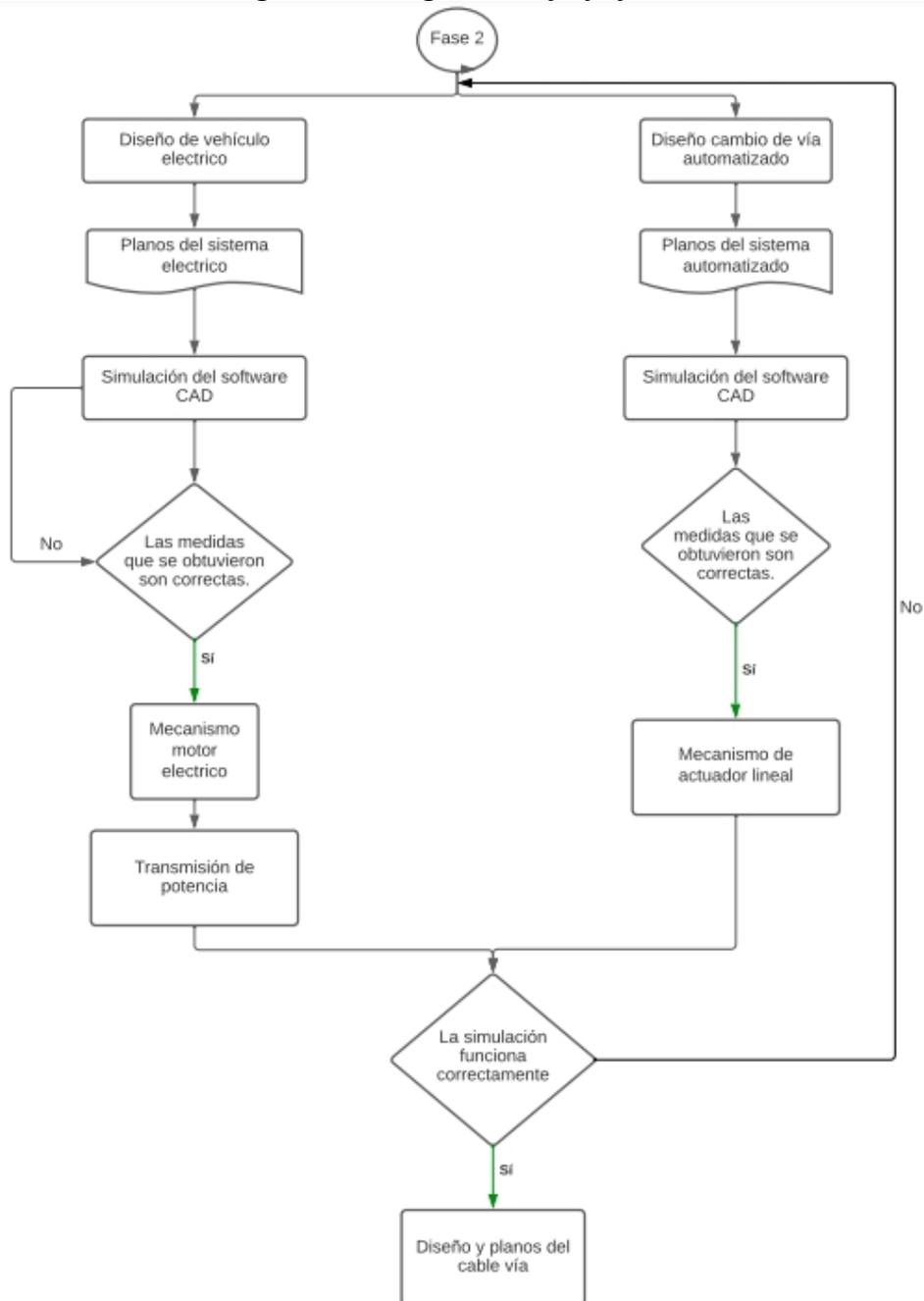
## 5.4 Canastas o bolsas de transporte

El sistema de cable vía lleva como carga, bolsas y canastas llenas de fruto u otros productos. El diseño de las canastas varía dependiendo del tipo de carga y el trabajo al que será sometido. Para los frutos de palma de aceite se utilizan mallas con una capacidad de aproximadamente 200 Kgf por malla, según los datos recolectados en “Cable vía en la cosecha de palma de aceite, Calos Andrés Fontanilla” [3]. Para el prototipo, se establece una relación 4:1 con el peso de las mallas, repartiendo la carga de manera equitativa en mallas más pequeñas, a las cuales se les llena de material. Se ajustan tomando las 4 puntas de la malla y anclándolas a un punto en común, formando una especie de bolsa, la utilización de canastas cuadradas o rectangulares es menos común y requiere un producto en específico para su utilización.

## Fase 2

La metodología de la segunda fase se muestra de manera gráfica en la figura 5-4.

**Figura 5-4 Diagrama de flujo fase 2.**



**Fuente:** Diseño propio.

## **5.5 Diseño vehículo eléctrico**

El diseño del vehículo eléctrico consta de varios elementos funcionando entre sí, se tiene en cuenta que cada uno de los componentes, debe tener una función crucial e indispensable, con el fin de no agregar más peso del necesario.

La estructural principal del vehículo eléctrico, consta de una base metálica rectangular y una platina metálica que se suelda a los ejes laterales. Para determinar el ancho de la estructura metálica, se consideran las medidas del motor eléctrico (Anexo.16), se ajusta éste a la platina con la ayuda de tornillos pasantes, y se atornilla la base lateral para el mecanismo de transmisión a la estructura, donde se ajusta la relación de engranajes del vehículo conectados con una cadena de rodillos. La base lateral para el mecanismo de transmisión se realiza en madera, con el fin de disminuir el peso general del vehículo. Se sueldan ejes a los engranajes de salida, para alinear las ruedas que se mueven sobre el cable vía, se ajusta el nivel de las ruedas para eliminar movimientos no deseados, se colocan rodamientos de bolas para suavizar el movimiento y se aseguran los ejes de las ruedas.

### **5.5.1 Simulación diseño del vehículo eléctrico**

Para definir de una manera más precisa la integración de todos los elementos del vehículo eléctrico, se hizo uso del software CAD para modelado mecánico solidworks, con el fin de simular el montaje del vehículo, como se ve en la figura 28. Mediante el software, se busca establecer las dimensiones adecuadas para su construcción, teniendo en cuenta que todo el montaje debe poder moverse sobre el cable guía sin problemas y sin chocar con ningún otro elemento.

### **5.5.2 Motor eléctrico Matlab**

Para obtener una visión más clara del comportamiento del motor, se hace uso de un sistema de modelado numérico llamado Matlab y un entorno de programación visual llamado simulink, se estudia el modelo del sistema de transmisión de potencia del motor, calculando la función de transferencia mediante las ecuaciones 4-12,4-13,4-14,4-15, 4-16,4-17,4-18,4-19,4-20 y se definen las características principales del motor para calcular el modelo para su estudio.

Se establecen las variables dependientes e independientes del modelo y su relación entre ellas. Se modela el sistema en función de la variable de salida, se establece un capacitor equivalente si se necesita y la energía electromagnética del modelo, mediante el uso del método lagrangiano, se obtiene la carga del modelo con la ecuación 4-21 y la ecuación 4-22, se define el trabajo no conservativo, se relaciona la carga y el voltaje con la variable de salida y se obtiene la función de transferencia de modelo con la que se observa el comportamiento de las señales de entrada establecidas.

## **5.6 Motor eléctrico**

El motor eléctrico, es uno de los componentes más importantes de todo el sistema de transporte, existen muchos tipos de motores utilizables, el diseñador o encargado del sistema debe seleccionar el que se adapte más al trabajo deseado, teniendo en cuenta la potencia y el torque necesarios para mover la carga.

Se debe conocer de antemano, la potencia mínima necesaria, los rpm de trabajo y el consumo energético (Anexo.15). Para este proyecto en específico, se busca un motor eléctrico DC, dado que las condiciones específicas a las que está sometido el prototipo limitan el uso de otros tipos de motores como es el AC. Al tener una amplia gama de opciones en el mercado, se debe ajustar la selección teniendo en cuenta el presupuesto económico, los tiempos de entrega del vendedor y la aplicación de cada motor. Se selecciona un motor de trabajo industrial y por ser nuestra única fuente de potencia en el vehículo, se selecciona un motor con una eficiencia mecánica alta con un consumo energético razonable y que pueda ser adaptable a diferentes situaciones de trabajo.

Se selecciona el motor eléctrico DC para generar un movimiento en el vehículo, se calcula el torque (4-6) y la potencia requerida (4-7) para la halar la carga, utilizando la relación de la fuerza de arrastre, el radio de los engranajes y el torque de la salida del vehículo, el motor debe de ser capaz de generar un torque suficiente para halar los 50 kg de carga.

## **5.7 Transmisión de potencia del vehículo eléctrico**

Para la transmisión de potencia, se establece la relación entre los engranajes de entrada y salida, al establecer esta relación se define la velocidad de salida, el aumento o la disminución de potencia y el incremento del torque en el sistema. La relación entre engranajes puede ser dada por el número de dientes, los radios o el diámetro, esta relación varía para cada sistema y es establecida por el diseñador o el encargado del sistema. El

tipo de engranaje más común para el transporte, son engranajes rectos, estos son de fácil comercialización y su uso en la industria es más recurrente.

La conexión entre los engranajes se hará mediante una cadena de rodillos, debido a que proporciona la capacidad transmitir grandes cargas con una eficiencia muy alta, esta tiene una larga vida útil y su mantenimiento se reduce a la lubricación. Se selecciona la cadena de rodillos observando el paso de los dientes, para este proyecto en específico, no es necesaria la utilización de un tensor para la cadena, dependiendo del proceso de carga y movimiento, puede que sea necesaria la implementación de un tensor en la transmisión de potencia.

## **5.8 Diseño del cambio de vía automatizado**

El funcionamiento del cambio de vía en el sistema de transporte es simple, se usa un cable guía de cambio y se superpone en el cable guía principal. El cable guía de cambio se sujeta por un resorte a la estructura principal del sistema, este cable guía tiene un tubo circular soldado justo debajo (ver figura 6-20), con el fin de darle mayor firmeza y evitar que el cable guía ceda. El ángulo de giro del cambio de vía es definido por el diseñador o el encargado del sistema para automatizar el movimiento del cable guía. Se utiliza un actuador lineal alineado con el cable para empujarlo de manera perpendicular y superponer el nuevo camino, la fuerza aplicada por el actuador lineal debe ser lo suficiente grande para vencer la constante de elasticidad del resorte.

### **5.8.1 Simulación diseño cambio de vía automatizado**

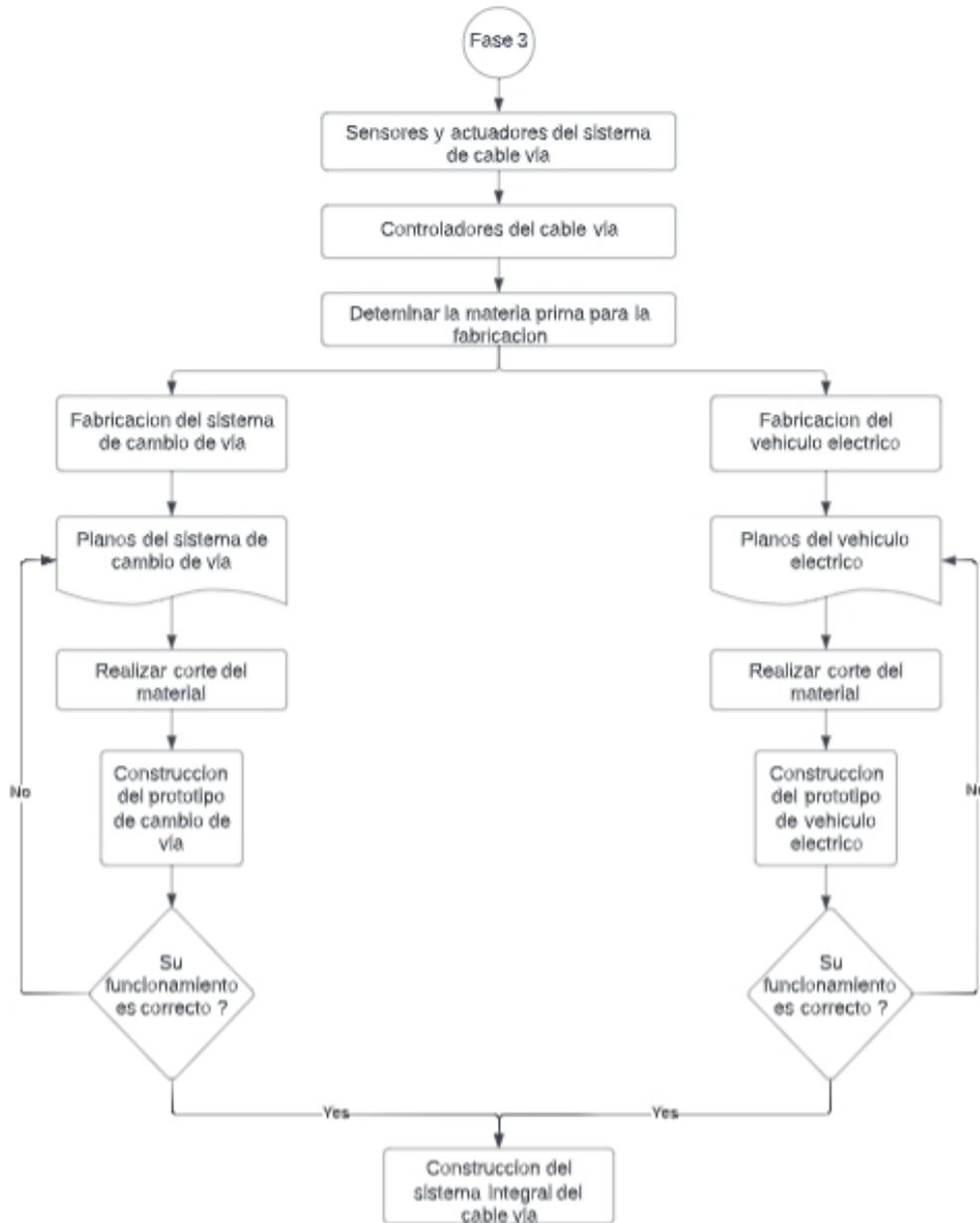
Con el fin de observar un funcionamiento general del cambio de vía, se hace uso del software CAD para modelado mecánico SolidWorks, además de proporcionar una idea más clara del funcionamiento, usando esta herramienta para dimensionar el cambio de vía e integrarlo al resto de sistema de transporte, se tiene en cuenta que el ángulo de giro y de inclinación no deben ser demasiado pequeños.

Como se observa en la figura 6-20, el cambio de vía debe ser ajustado de manera precisa dentro de la estructura, además, se alinea de tal manera que al superponer el nuevo cable guía, quede justo encima del cable guía principal, de tal manera que al ejercer presión se mantenga en su posición y no haya descarrilamientos.

### Fase 3

La metodología de la tercera fase se muestra de manera gráfica en la figura 5-5.

*Figura 5-5 Diagrama de flujo fase 3.*



*Fuente: Diseño propio.*

## 5.9 Sensores y actuadores

Se obtiene información del sistema de transporte por cable vía durante su funcionamiento mediante sensores de movimiento, sensores infrarrojos y ópticos. Los sensores deben ser al menos cuatro veces más rápidos que el sistema, asegurando la lectura de la señal. Para el prototipo se usan sensores ultrasónicos (Anexo.25), posicionados en los extremos del sistema de transporte. Se usa un sensor infrarrojo (Anexo.26), situado en la base del cambio de vía, con el fin, de interactuar con la posición del vehículo antes del cambio. Se hace uso de un encoder (Anexo.) y un final de carrera (Anexo.27), para monitorear de manera directa el estado del vehículo eléctrico.

Se controlan elementos específicos del sistema de transporte, utilizando actuadores que son accionados por microcontroladores, se seleccionan los actuadores teniendo en cuenta su consumo, para el prototipo se utilizan actuadores que trabajen con corriente directa y se establecen las líneas de alimentación de manera individual para cada elemento, normalmente los sensores consumen mucha menos energía que los actuadores, lo cual podría traer problemas eléctricos en el sistema y dañar componentes, si se conectan a las mismas líneas de alimentación.

## 5.10 Controladores

La selección de los controladores es más flexible que los demás componentes, se pueden encontrar muchos microcontroladores y tarjetas de control en el mercado, estas utilizan diferentes lenguajes y métodos de uso. Para el prototipo, se usa el microcontrolador Arduino MEGA 2560 como tarjeta de control central, por la gran cantidad de entradas y salidas digitales que posee, mientras que para enviar información de manera inalámbrica se hace uso del módulo wifi ESP8266.

Los controladores son capaces de trabajar de manera continua por un largo tiempo, sin obtener un sobrecalentamiento o errores de trabajo. Si se busca utilizar, herramientas de alta potencia, como son motores AC (monofásicos o trifásicos), es posible generar un mal funcionamiento de ciertos controladores, para evitar esto se sugiere, la utilización de tarjetas de uso industrial y microcontroladores potentes, se pueden utilizar tarjetas de control de gama media para realizar pruebas o diseñar proyectos pequeños.

Para el prototipo, el actuador lineal, el motor DC, los sensores y todos los elementos eléctricos, son de media o baja potencia, por esta razón están conectados entre sí al

Arduino MEGA 2560, el cual mediante señales activa los actuadores, para controlar de manera eficiente el sistema, el cambio de vía solo actuará si el usuario lo desea, así como el vehículo.

### **5.11 Construcción del sistema estructural del prototipo**

Se compone de una serie de marcos estructurales, situados uno delante del otro donde se ajustan los componentes necesarios para el sistema de transporte por cable vía. Se hace un bosquejo general del sistema de transporte y sus dimensiones lineales, se define la distancia entre marcos estructurales y el sitio de cambio de vía.

Una vez se tienen definidos los parámetros del sistema, se realiza un análisis estático de los puntos críticos de la estructura mediante la ecuación 4-1. Se calculan las fuerzas aplicadas en los puntos críticos del sistema, se selecciona el material y el calibre de la tubería, ya que es indispensable el cálculo de dichas fuerzas para el diseño estructural.

Para unir los marcos estructurales, los ejes transversales y el cambio de vía, se utiliza soldadura de rutilo aplicada por arco en la tubería de acero, algunos de los componentes que se usan en la construcción del sistema están hechos de fundición de hierro gris, para soldar estos elementos se utiliza soldadura de níquel 100, se aseguran los soportes, los marcos, el cambio de vía y el vehículo con tornillos, tuercas y arandelas metálicos donde sea necesario.

### **5.12 Construcción prototipo de vehículo eléctrico**

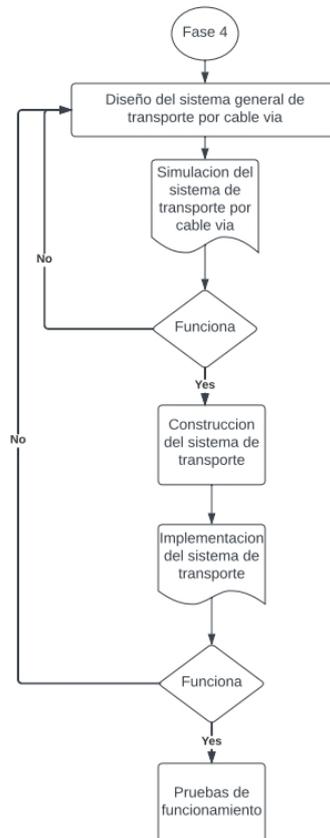
Para la construcción del prototipo de vehículo eléctrico, se utiliza el diseño simulado mediante SolidWorks, donde se procura mantener el diseño inicial y se realizan pruebas para verificar su correcto funcionamiento. En la figura.6-8, se observa una versión preliminar del vehículo eléctrico, las dimensiones del vehículo son ajustadas al ancho definido por el marco estructural, se utiliza madera como material ligero para las bases laterales de vehículo, se realizan pruebas del prototipo de vehículo eléctrico y se realizan los cambios necesarios para mejorar su funcionamiento.

### 5.13 Construcción prototipo de cambio de vía

Para el cambio de vía, se realiza un diseño inicial en el punto establecido previamente del sistema de transporte por cable vía, la distancia lineal entre el cable guía principal y el marco estructural del nuevo camino, la cual está definida acorde a los espacios de prueba disponibles en la construcción del prototipo. El cable guía de cambio y el tubo circular de soporte es doblado en un ángulo de 90 grados, con el fin de que la curvatura de cambio no sea demasiado cerrada y pueda causar descarrilamiento del vehículo eléctrico. También, se pesa el cable guía de cambio para calcular la fuerza que debe soportar el resorte sobre el eje utilizando la ecuación 4-4 y ecuación 4-10. Se utiliza un eje transversal entre dos marcos estructurales, para soportar los componentes del cambio de vía, se mide la distancia entre ejes, para posicionar el actuador lineal, con el fin de alinear el cable guía de cambio, con el cable guía principal.

#### Fase 4

*Figura 5-6. Diagrama de flujo fase 4.*



*Fuente: Diseño propio.*

La metodología de la cuarta fase se muestra de manera gráfica en la figura 5-6.

#### **5.14 Simulación del sistema transporte por cable de vía**

Haciendo uso del software CAD de modelado mecánico SolidWorks, se realiza integración de todos los componentes del cable vía, para observar el correcto funcionamiento de cada uno y ajustar las dimensiones de los componentes, con el fin de evitar colisiones o rozamientos, no deseados. La figura 6-3, define la estructura principal como soporte para el actuador lineal y los componentes del cambio de vía, como también la altura del eje transversal, que permite al vehículo cruzar sin restricciones.

Se realiza un análisis de esfuerzo estático y en los marcos estructurales agregando una fuerza vertical, equivalente al peso definido para la carga del prototipo, en el centro del eje superior del marco estructural, con el fin de provocar el fallo simulado del marco. Se analizan los resultados, para concluir la resistencia general del sistema.

#### **5.15 Implementación del sistema de transporte por cable vía**

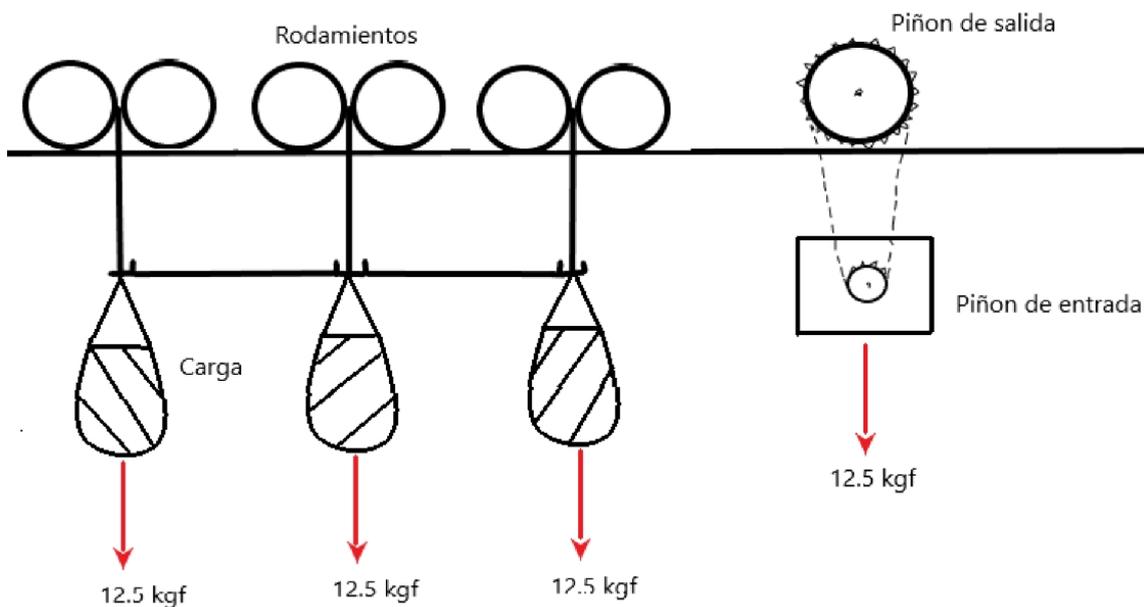
Al tener la simulación de cada sistema de forma independiente y las construcciones de estos, se realiza una integración física para construir el sistema de transporte. La implementación es realizada en un terreno estable y libre de obstáculos, para tener el control de cualquier suceso al realizar pruebas en el prototipo. Para este proyecto, la implementación y las pruebas, son en un salón al interior de una casa, con el fin de evitar inconvenientes ambientales y de terreno. En la figura.6-30, se observa el diseño final del sistema de transporte, las dimensiones están sujetas a cambios si se requiere, se debe ajustar cada marco estructural con tornillos pasantes, arandelas y tuercas.

## 6. Análisis de resultados

### 6.1 Distribución de peso y fuerzas del vehículo eléctrico

En el sistema de transporte por cable vía, el vehículo eléctrico es el componente que está sujeto a mayor carga durante su funcionamiento. Como se ve en la figura.6-1, cada una de las mallas de carga del prototipo tiene un peso de 12.5 Kgf, incluyendo el propio peso del vehículo eléctrico, repartidos a lo largo del tren de carga. Sobre el cable guía principal se colocan las ruedas motrices del vehículo y las ruedas que están sujetas a la garrucha, donde se transporta la carga. Dichas ruedas motrices experimentan un torque, una velocidad angular, una velocidad lineal y una fuerza de arrastre, definidas por la relación entre los engranajes, la carga y la potencia del motor. El sistema de transporte por cable vía, en su uso normal es capaz de cargar 200 Kgf por malla, para el prototipo se establece una relación de escala 1 a 4 para obtener el peso total del vehículo y la carga, dando como resultado un peso de 50 Kgf, este peso tiene en cuenta tanto la carga, como la estructura general del vehículo.

*Figura 6-1 Distribución de cargas en el cable vía.*



*Fuente: Diseño propio.*

## 6.2 Velocidad, torque y potencia del vehículo eléctrico

Cada prototipo del sistema de transporte por cable vía, tiene su propia relación en proporción a la carga y las dimensiones del proyecto, se calculan las diferentes fuerzas y variables que afectan el sistema, el peso total de la carga (4-4) (Anexo28-Punto1) y el vehículo en newtons.

$$w = 490.5 N$$

Se obtiene un peso total de 490.5 N. La fuerza de arrastre (4-26) (Anexo28-Punto2) que se debe vencer para generar movimiento en el vehículo es de 245.25 N, ya que, para fines del prototipo, se asume que la fuerza de arrastre aplicada al cable vía, es aproximadamente el 50% del peso total del vehículo y la carga.

$$F = 245.25 N$$

Para generar movimiento en el vehículo, el motor debe ser capaz de generar un torque de salida de 11.66  $N.m$  (Ec.6) (Anexo28-Punto3), teniendo en cuenta la relación de engranajes del vehículo, para poder halar los 50 Kgf de carga por el cable vía.

$$T = 11.66 N.m$$

Se calcula la potencia requerida (Ec.7) (Anexo28-Punto4) para generar el torque.

$$P = 73.22W$$

Se usan los parámetros calculados, para seleccionar el motor eléctrico pertinente para el trabajo, en este caso en particular el motor eléctrico DC zd2637, se ajusta el valor real seleccionado del valor teórico lo más cerca posible.

Para definir los demás aspectos dentro del proyecto, se tiene una velocidad angular que es entregada por el motor, los motores eléctricos DC zd, son motores que entregan diferentes velocidades y potencias, dependiendo de su configuración de fábrica, en la tabla.6-1, se observan motores con diferentes rpm y su equivalencia en velocidad angular, velocidad lineal y potencia, teniendo en cuenta la relación de engranajes utilizada en el vehículo del prototipo.

**Tabla 6-1. Parámetros de diferentes motores en relación a sus RPM.**

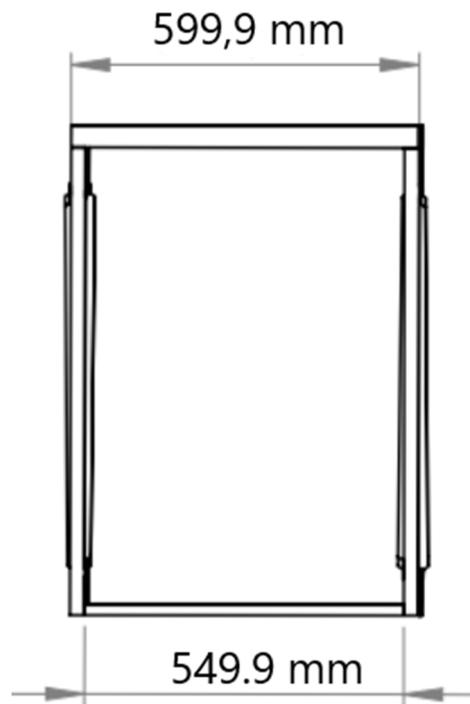
Motores con diferentes (RPM)	V.angular Motor (rad/seg)	Velocidad Lineal (m/s)	Velocidad angular Polea (rad/sed)	Potencia (W)
60	6,28	0,29	6,28	73,19
200	20,94	0,37	7,79	90,75
300	31,42	0,55	11,58	134,9
400	41,89	0,73	15,37	179,05
500	52,36	0,92	19,37	225,65
600	62,83	1,1	23,16	269,8
700	73,3	1,28	26,95	313,95
900	94,25	1,65	34,74	404,7
1000	104,72	1,83	38,53	448,85

*Fuente: Diseño propio.*

### 6.3 Selección del sistema de cable vía automatizado

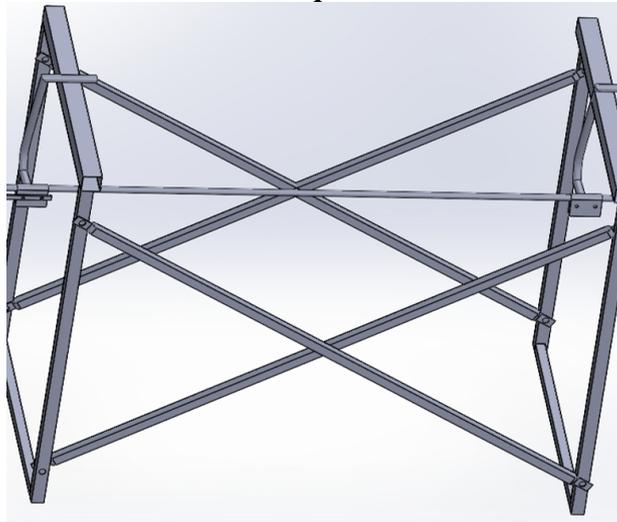
En una implementación real del sistema de transporte por cable vía, el sistema estructural está definido por un diseño general en todos los casos, que consta de marcos estructurales simples, un cambio de vía mecánico, garruchas, chanelas y un cable guía, este diseño es simple y normalmente cada parte mecánica es accionada de manera manual, para el prototipo con el fin de automatizar el sistema, se seleccionó el diseño más común de cable guía, ajustando las dimensiones y realizando los cambios necesarios para su implementación, en este caso los marcos estructurales del diseño más común, tienen dimensiones que rondan los 2 m de ancho y 2.40 m de alto. Se ajustan las dimensiones para el prototipo, en una relación de escala 1 a 3 que da como resultado, marcos estructurales de 60 cm de ancho y 80 cm de alto, la forma del marco y el tubo no influyen directamente en un aumento o disminución de la resistencia mecánica, se utiliza tubería cuadrada para las barras laterales y el eje superior, como se ve en la figura.6-2. Se define una forma cuadrada en los marcos para este prototipo.

**Figura 6-2 Esquema general del marco estructural para cable vía.**



*Fuente: Diseño propio.*

**Figura 6-3 Estructura de soporte del marco estructural.**

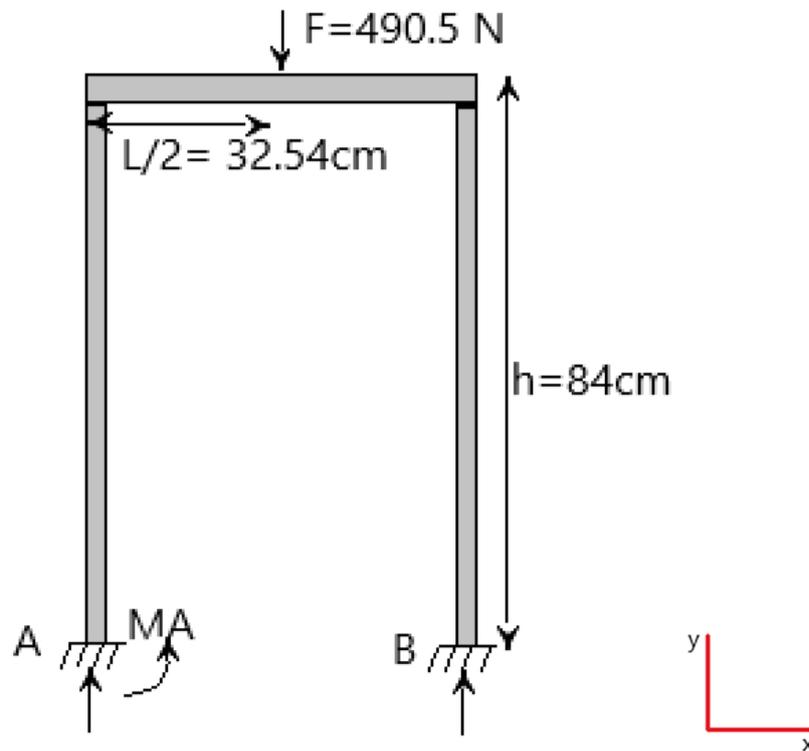


*Fuente: Diseño propio.*

La estructura del sistema figura.6-3, debe ser lo suficientemente resistente para soportar la carga y todo el peso para el cual se diseña. En la figura 6-4, se realiza la distribución de los vectores de fuerza y como afectan de manera directa a lo largo del marco estructural, se calcula la sumatoria de fuerzas (4-1) (Anexo28-Punto4), el valor en los

apoyos del marco es de 245.5 N en los puntos A y B, la fuerza aplicada se distribuye de manera equitativa en los apoyos anclados del sistema. Los momentos flectores en el marco son despreciables en este prototipo.

**Figura 6-4 Diagrama de fuerzas del marco estructural del cable vía.**



**Fuente:** Diseño propio.

Para encontrar el valor de las reacciones en los apoyos A y B de la figura.6-4, se calcula el momento con respecto al apoyo A(Anexo28-Punto5).

$$\sum M = 0 \quad (4-2)$$

$$B_y = 245.25 \text{ N}$$

Se calcula la sumatoria de fuerzas en el eje x y el eje y, las fuerzas resultantes en el eje x, son iguales para los puntos  $A_x$  y  $B_x$ .

$$\sum F_y = 0 \quad (4-1)$$

$$A_y = 245.25 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x = B_x$$

Para la construcción del vehículo, el cambio de vía y el sistema estructural en general, se utiliza tubo cuadrado de acero galvanizado (Anexo.13), la sumatoria de fuerzas da como resultado, que la estructura general del sistema de transporte debe resistir una fuerza mínima de 490.5 N. Siguiendo la tabla 6-2 de la ficha técnica de perfil estructural Acesco, se usa tubería rectangular con una resistencia a la fluencia de 345Mpa y una resistencia a la tracción de 425Mpa, valores muy por encima de los necesarios para el prototipo. Se usa tubería de 1 pulgada y de 1-1/2 pulgada tabla.6-3, al usar tubería con una dimensión más pequeña, disminuye el peso del sistema de transporte y facilita su movilidad e instalación.

**Tabla 6-2. Propiedades generales tubería de acero.**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS METALTUB ESTRUCTURAL						
ASTM A500		Resistencia a la Fluencia mínima		Resistencia a la Tracción mínima		Elongación mínima
		MPa	psi	MPa	psi	%
Redondo, Cuadrado y Rectangular	Grado C	345	50000	425	62000	21

**Fuente:** <https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-metaltub.pdf>

**Tabla 6-3. Especificaciones técnicas tubería cuadrada de acero**

METALTUB TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA (ACABADO NEGRO Y GALVANIZADO)												
REFERENCIA	ESPESES EN MILIMETROS										UNIDAD DE EMPAQUE	
	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0		10,0
Tubos Cuadrados (mm)	Peso Teórico Calculado (kg / m)											
50 x 50	2,34	3,08	3,80									100
60 x 60	3,71	4,59	5,45									100
70 x 70	4,34	5,37	6,39									64
90 x 90	5,59	6,94	8,28									36
100 x 100	6,22	7,73	9,22									36
120 x 120					12,14		17,75					30
135 x 135					14,81		24,58					25
150 x 150					16,69		27,41			40,08		16
200 x 200						30,88		42,70		54,21*		12
220 x 220								47,09		59,86*		12
250 x 250										68,34		9
300 x 300											91,25	4

**Fuente:** <https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-metaltub.pdf>

En la figura.4-12, observamos a la catenaria y su efecto sobre la varilla, que funciona como cable guía, se calcula su valor para definir el grosor y el tipo de varilla a utilizar.

$$F_m = 4.4 c$$

La varilla tiene una depresión de aproximadamente 4.4 cm, con la ecuación 4-4 (Anexo 28-Punto 6) y utilizando el resultado de la catenaria, se calcula la fuerza de anclaje a la que será sometida la varilla con la carga, lo que da como resultado una fuerza aplicada perpendicularmente en la varilla de 3.65 K, utilizando la tabla.6-4 de la ficha técnica AG (Anexo.14). Se selecciona la varilla de acero que puede ser lisa o corrugada, y de diferentes calibres dependiendo del esfuerzo a la que será sometida, se utiliza varilla lisa para el prototipo con una longitud de 4.60m aproximadamente, con una resistencia a la fluencia de 250Mpa y una resistencia a la tensión de 550Mpa.

$$F \quad d \quad a = \frac{C \cdot L}{4 \cdot c} = \frac{(490.5 \text{ N})(1 \text{ m})}{(4)(0.04 \text{ m})} = 3.65 \text{ K}$$

**Tabla 6-4. Propiedades mecánicas varilla de acero AG.**

PUNTO DE FLUENCIA MÍNIMO (MPa)	RESISTENCIA A LA TENSIÓN (MPa)	ELONGACIÓN MÍNIMA A 200mm (%)	ELOGACIÓN MÍNIMA A 50mm(%)
250	400 - 550	20	23

**Fuente:** <https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-metaltub.pdf>

#### 6.4 Selección del motor eléctrico

Los motores eléctricos con engranajes internos y salida helicoidal, como se muestra en la figura.6-5, son motores de DC que habitualmente usan un voltaje entre 12 y 24 voltios, con una corriente de 6 Amperios. Se selecciona el motor zd2637, por su alta eficiencia mecánica, capacidad de girar en ambos sentido y protección interna contra cortocircuito. El motor zd2637 (Anexo.15), cumple con las especificaciones técnicas establecidas previamente, como es la entrega de 70W de potencia de salida mínima sin tener en cuenta la relación de engranajes, con un torque de 11.60 N.m, para poder halar el vehículo.

**Figura 6-5 Motor eléctrico DC zd2637.**



**Fuente:** <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Motorcycle-dc-12-24v-70w-windshield-300004399561.html>

Este tipo de motores son normalmente utilizados, en los limpiaparabrisas de los automóviles y buses y al ser livianos, con una eficiencia alta, una gran capacidad de trabajo, bajo ruido y un desgaste mínimo por uso a lo largo del tiempo, son los más utilizados en el mercado. En la tabla.6-5 se observan las características principales del motor eléctrico.

**Tabla 1-5. Propiedades motor eléctrico zd2637.**

Serie	Velocidad	Voltaje	Corriente	Potencia	Torque
Zd2637	60 RPM	12 V	5 A	70 W	30 N.m

*Fuente: Diseño propio.*

La alimentación general del motor, se realiza mediante la conversión de corriente monofásica a corriente continua, se utiliza un convertidor de 12 voltios y 5 A, se caracteriza por tener una potencia máxima de 100 W, un voltaje máximo entrada de 264 voltios y mínimo de 90 V, los voltajes mínimos de salida son de 11.5 voltios y el voltaje máximo de salida es de 12.3 voltios, con una eficiencia típica del 86%. Su temperatura de trabajo está desde los -25 grados hasta más 40 grados celsius, cuenta con protección contra cortocircuito, sobrecarga, sobre tensión y temperatura, como se muestra en la figura.6-5.

**Figura 6-6. Convertidor AC/DC.**

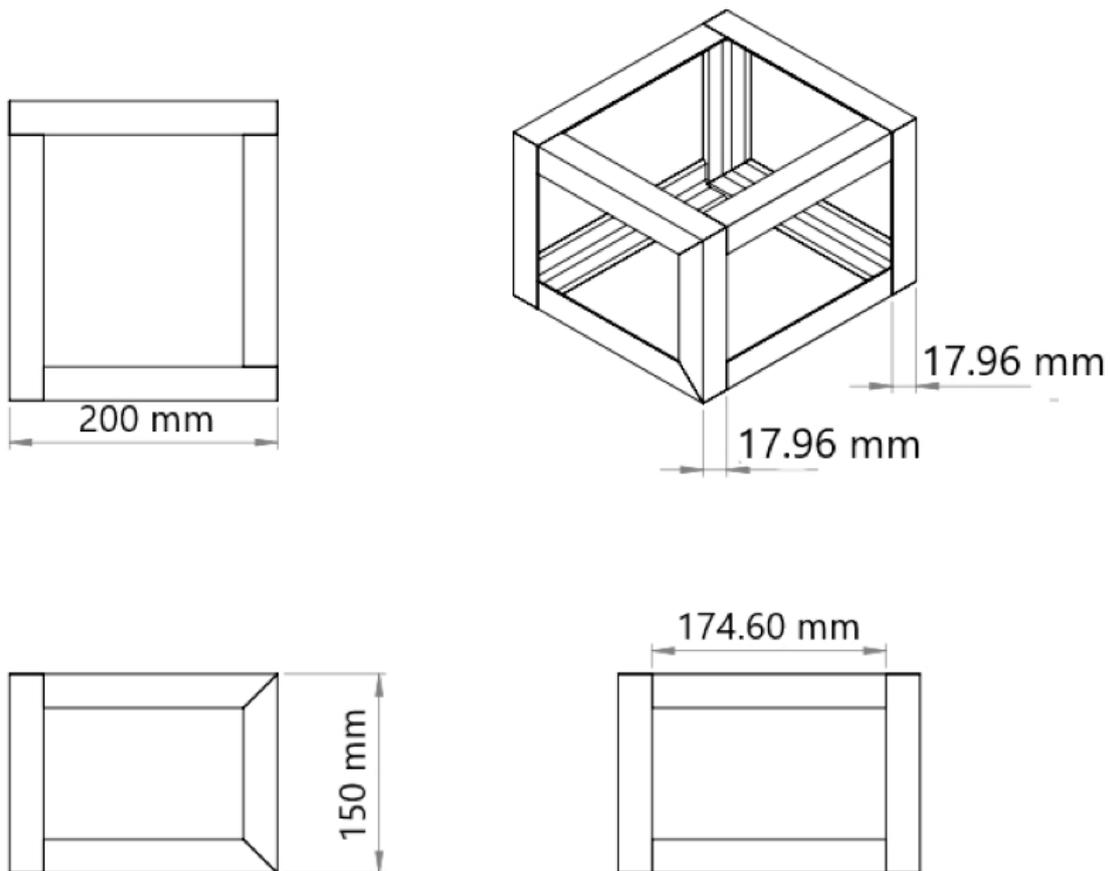


*Fuente: <https://www.compelectronica.com/product/adaptador-de-voltaje-12vdc-5a-fs12v5mx/>*

## 6.5 Vehículo eléctrico

La distancia interna entre los marcos estructurales definida anteriormente por la relación 1 a 3, es de 60 cm, se diseña un vehículo con un ancho menor (Anexo.3), cómo se ve en la figura.6-7 de 15 cm de ancho y 20 cm de largo.

**Figura 6-7 Dimensiones generales de la base del vehículo eléctrico.**



**Fuente:** *Diseño propio.*

Se usan dos engranajes de salida (Anexo.8) y uno de entrada (Anexo.9) ajustados al motor, la relación de engranajes se puede encontrar utilizando el radio o el número de dientes del engranaje. Para ese prototipo se usa un motor con una velocidad angular inicial de 60 RPM y una relación en los radios de los engranajes(Anexo28-Punto7)

$$w_2 = 20RPM$$

La relación entre engranes da como resultado 3:1, se calcula la velocidad lineal de entrada y salida, definimos que el vehículo tiene una velocidad de entrada de 29 cm/s, aplicando la relación de engranajes se obtiene una velocidad de salida de 9,6 cm/s(Anexo28-Punto8).

$$V = 0.29 \text{ m/s (4-27)}$$

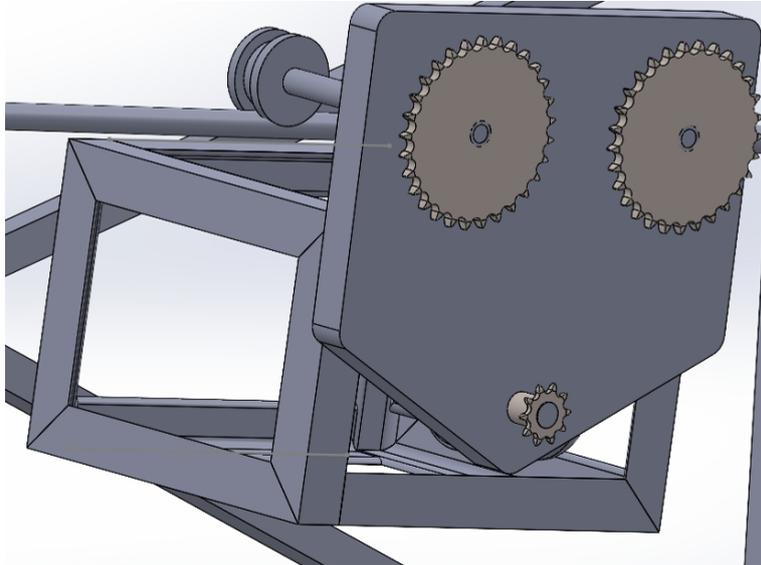
$$V = 0.096 \text{ m/s (4-27)}$$

Se estableció la relación de engranajes 3:1, para el proyecto se usan engranajes rectos de entrada de 10 dientes y de salida de 30 dientes, el vehículo cuenta con una velocidad inicial de 60 RPM, que se ve reducida a una tercera parte (20 RPM), la potencia inicial es de 70W la cual se ve incrementada tres veces (210W), debido a la relación de engranajes.

La transmisión de potencia, se realiza mediante una cadena de rodillos, en la tabla.6-6 se evidencia las características principales de la cadena, los engranajes rectos y la cadena, transmiten toda la potencia necesaria para halar la carga y transportarla, la base lateral para la transmisión de potencia, se realiza de madera para reducir el peso general del vehículo, se sueldan ejes a los engranajes de salida, que están unidos a las ruedas del vehículo, se usan rodamientos de bolas para evitar movimientos repentinos en los ejes figura.6-8.

Se realiza la simulación general del vehículo figura.6-8, la construcción y prueba del prototipo de vehículo figura.6-9, se evidencia un desnivel en el costado de la base lateral de transmisión de potencia, se estabiliza el vehículo con una barra metálica de aproximadamente 3 kg, que actúa como contrapeso, se evidencia que las ruedas morrocas utilizadas como ruedas de tracción, si bien cumplen su función, su canal no es lo suficientemente profundo como para generar el mayor agarre posible sobre el cable vía, lo cual genera un desbalance del vehículo al moverse sobre la curva.

**Figura 6-8 Vista preliminar de SolidWorks del vehículo.**



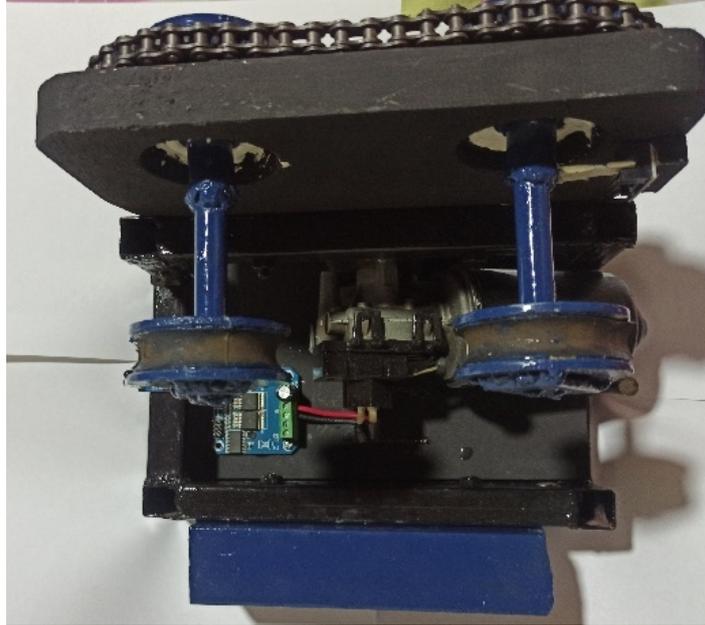
**Fuente:** Diseño propio.

**Tabla 6-6. Características cadena de rodillos.**

ISO/DIN	Anchor chain	Pitch mm	Roller diameter mm	Width between inner plates mm	Pin diameter mm	Pin length L <sub>max</sub> mm	Pin length L <sub>cm</sub> mm	Inner plate mm	Transverse pitch mm	Plate thickness mm
06C-1	35	9.525	5.08	4.68	3.58	12.40	14.40	8.70	-	1.30

**Fuente:** Diseño propio.

**Figura 6-9 Vista superior del prototipo de vehículo eléctrico.**

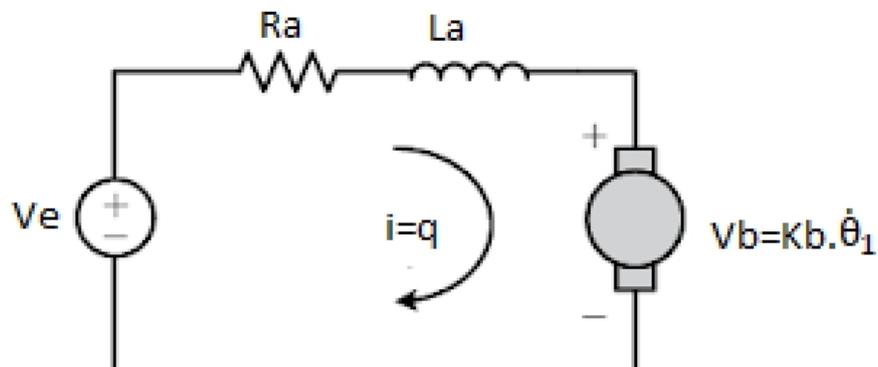


*Fuente: Diseño propio.*

#### 6.4.1 Modelo del vehículo eléctrico Matlab y simulink

Se representa la funcionalidad de un motor eléctrico mediante su armadura, se conecta una resistencia y una inductancia en serie a la armadura como se muestra en la figura.6-10, también se establece el sentido de conducción de la corriente junto con la relación entre el voltaje proporcional y la variable de entrada del modelo(Anexo28-Punto9).

**Figura 6-10 Modelo armadura de un motor.**



*Fuente: Diseño propio.*

Dónde,

$V_e \rightarrow$  Voltaje de entrada

$V_b \rightarrow$  voltaje inducido

$R_a \rightarrow$  Resistencia

$L_a \rightarrow$  Inductancia

$q \rightarrow$  Carga eléctrica

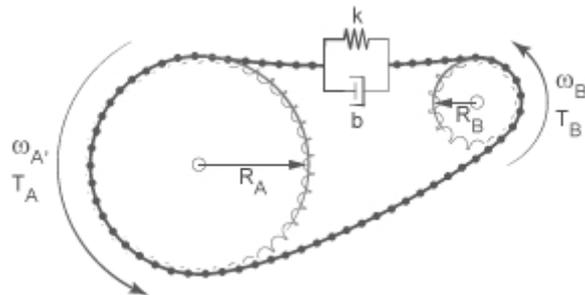
$K_b \rightarrow$  Constante eléctrica

A continuación, se define la relación entre las variables dependientes e independientes del modelo Ec.14.

$$\dot{\theta}_1 = \frac{N_2}{N_1} * \dot{\theta}_2 \quad , \quad \dot{\theta}_2 = \frac{N_1}{N_2} * \dot{\theta}_1 \quad \text{Ec.14}$$

Se usa la relación entre los engranajes y la transmisión de potencia, como se observa en la figura.6-11, se debe tener en cuenta una constante de disipación y una amortiguación en la cadena, lo cual afecta de manera directa el funcionamiento de la misma.

**Figura 6-11 Sistema de tensión de engranajes y cadenas**



**Fuente:** <https://www.mathworks.com/help/sdl/ref/chaindrive.html>

Se define la tasa de deformación por tracción en la cadena mediante la ecuación 4-9.

$$\dot{x} = \dot{\theta}_2 * R_2 - \dot{\theta}_1 * R_1 \quad (4-9)$$

Para modelar de manera correcta el sistema, se calculan las ecuaciones que representan el trabajo no conservativo, se despejan las ecuaciones usando la transformada de Laplace, teniendo como resultado lo siguiente.

$$\theta_2 = Ie\ddot{\theta}_2 + Ce\dot{\theta}_2 + veq\theta_2 - K_T i \frac{N_2}{N_1} = T \quad (4-21)$$

$$q = L \frac{d}{dt} i + Ra i + Kb \frac{N_2}{N_1} \dot{\theta}_2 = V \quad (4-22)$$

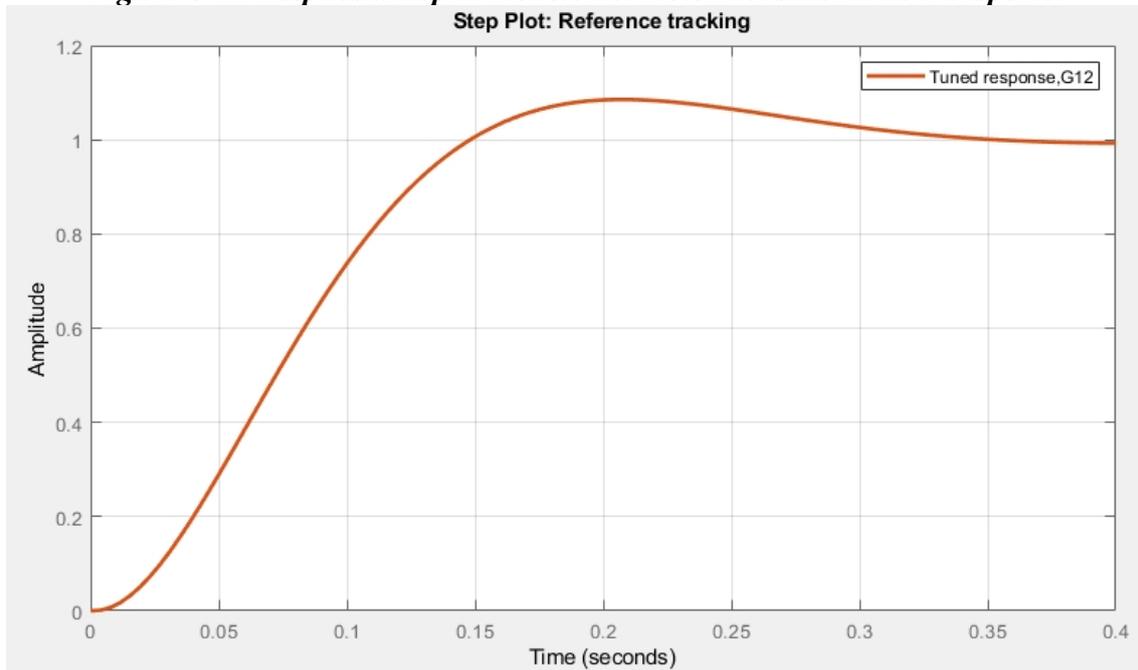
Se utiliza el lagrangiano y la transformada de Laplace, para despejar las ecuaciones que forman la matriz H(s), se calcula la inversa de la matriz H(s) y se obtiene la función de transferencia del modelo, se usa como entradas del modelo  $\theta_2$  y  $\dot{q}$ , se tiene como resultado el comportamiento del modelo en función de  $T_e$  y  $V_e$ , como se observa en la ecuación 4-23.

$$\begin{bmatrix} I_e S^2 + C + v & -K_T \frac{N_2}{N_1} \\ K \frac{N_2}{N_1} S & L S + R \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{\theta}_2(s) \\ I(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T(s) \\ V(s) \end{bmatrix} \quad (4-23)$$

H (s)

Se calculan las funciones de transferencia del sistema en Matlab, donde se observa la respuesta step a la función de transferencia del modelo, que relaciona el movimiento en  $\theta_2$  con el voltaje suministrado al sistema.

**Figura 6-12 Respuesta step al modelo del motor del sistema de transporte.**

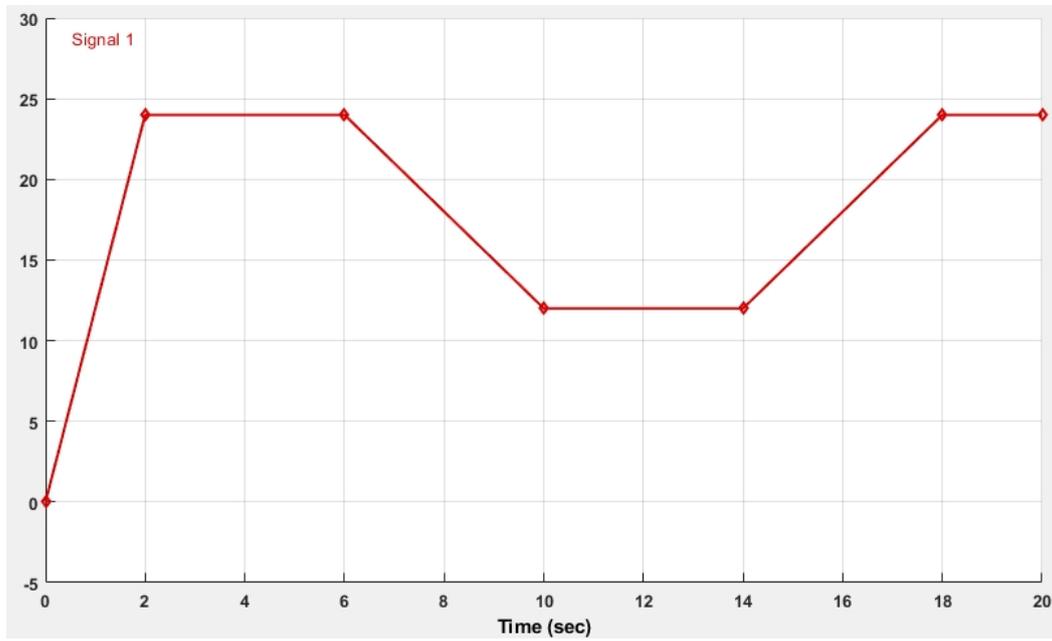


**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa en la figura 6-12, como la respuesta step se estabiliza alrededor de 0.35 segundos, se observa que su tiempo de establecimiento es corto y con máximos sobre

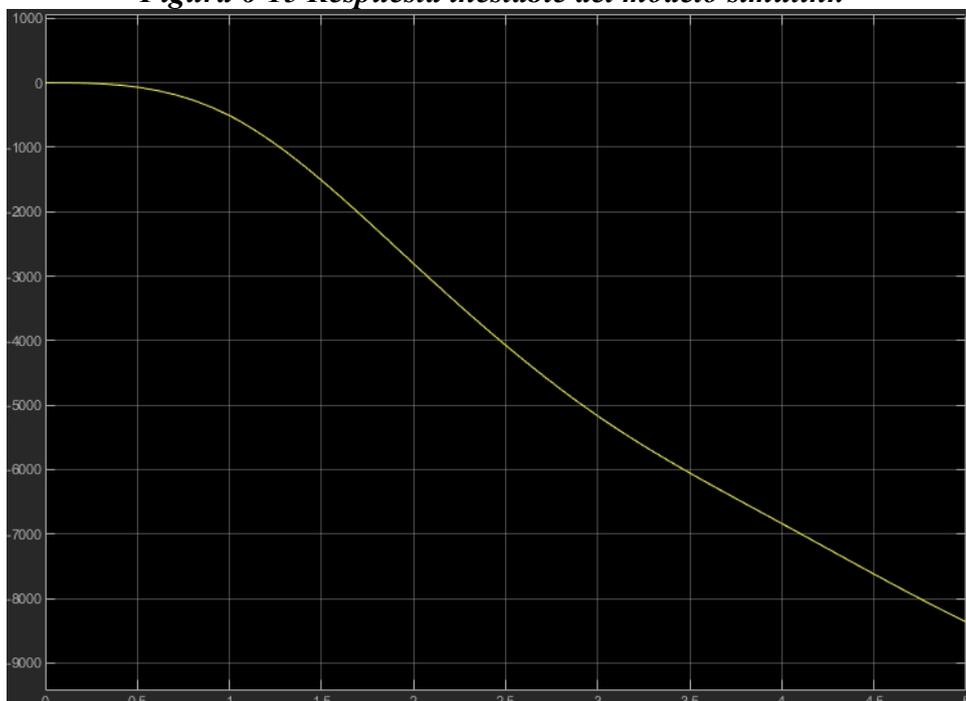


**Figura 6-14** Señal establecida para el modelo en simulink.



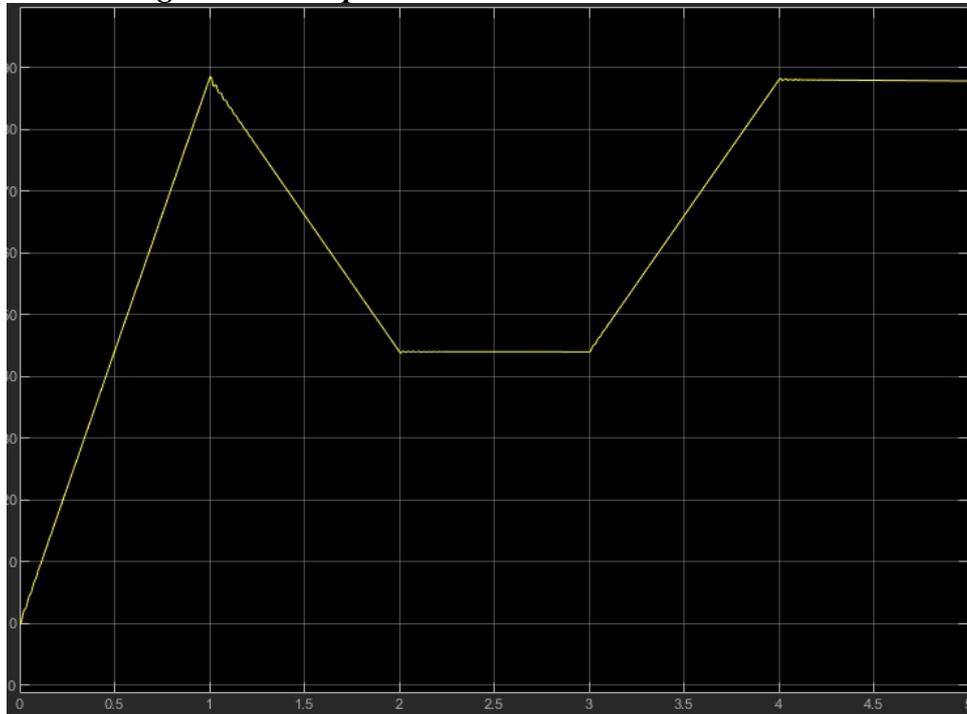
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 6-15** Respuesta inestable del modelo simulink



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 6-16 Respuesta estable del modelo en simulink.**

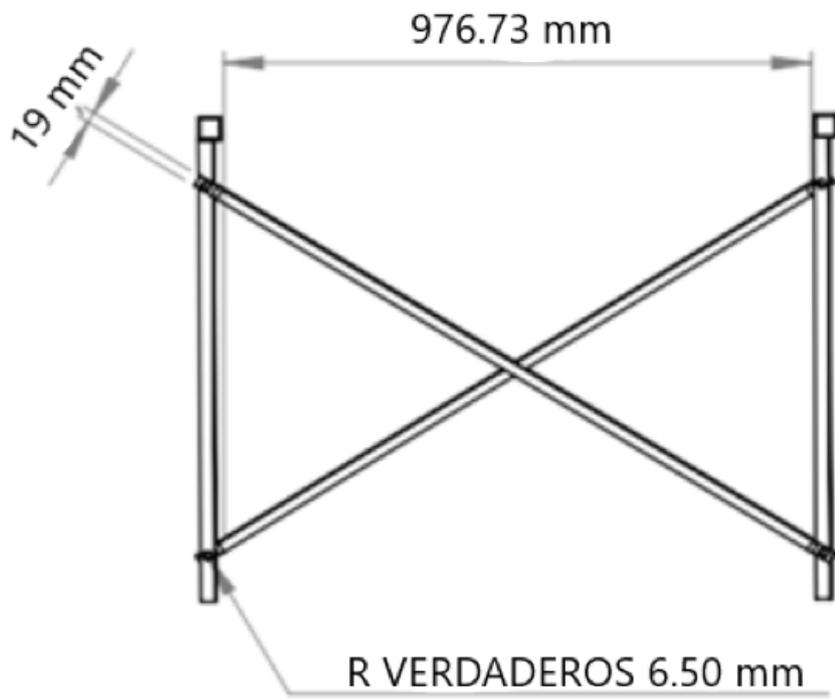


*Fuente: Elaboración propia.*

## 6.6 Análisis y construcción de cambio de vía

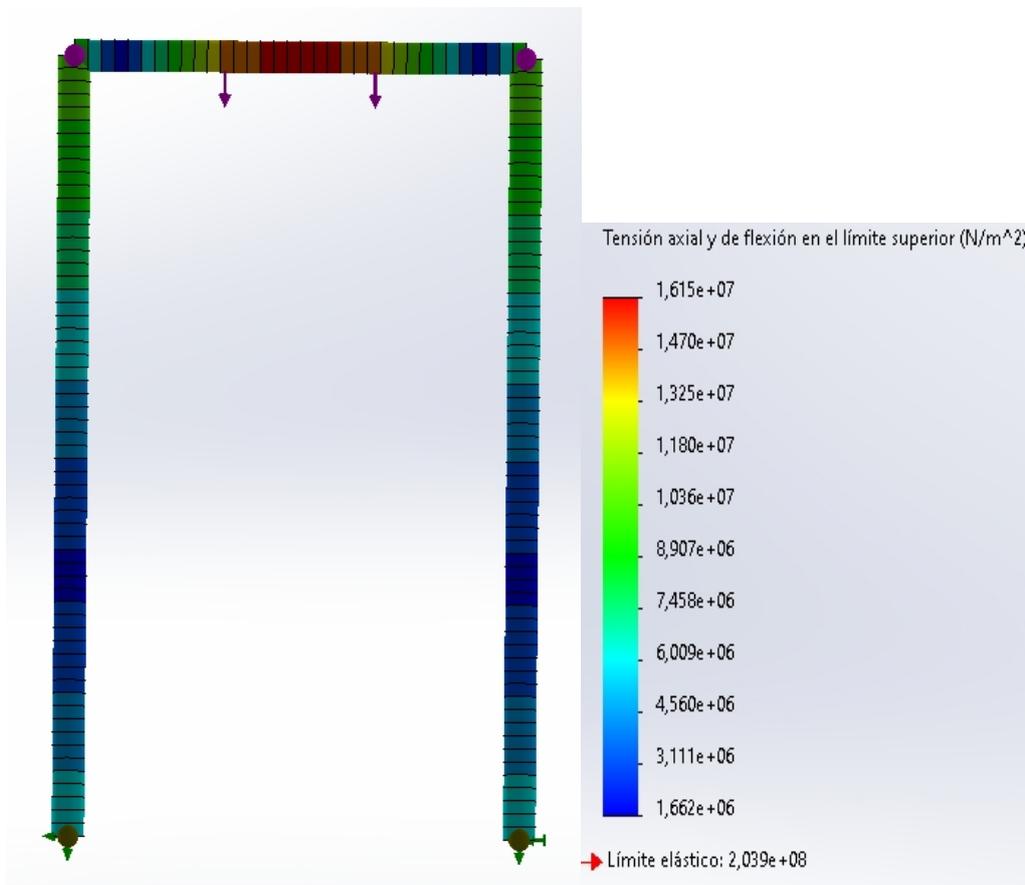
El modelo de cambio de vía, es el sistema más propenso al fallo durante el funcionamiento del transporte por cable vía, en la figura.6-17, se observan las dimensiones establecidas para la construcción del cambio de vía (ver Anexo.6). Para esto, se ajustan las barras laterales con una longitud de 1.20 m, con el fin de estabilizar la estructura y evitar movimientos indeseados. En la figura.6-18 se observa el análisis estático realizado mediante SolidWorks del marco estructural, que es el componente principal que se ve afectado por la carga durante el movimiento del vehículo, este es sometido a una carga vertical de 490.5 N, se observa que el marco estructural no sufre ningún tipo de deformación, cumpliendo con el objetivo de resistir la carga del sistema.

**Figura 6-17** Esquema del cambio de vía.



**Fuente:** Elaboración propia.

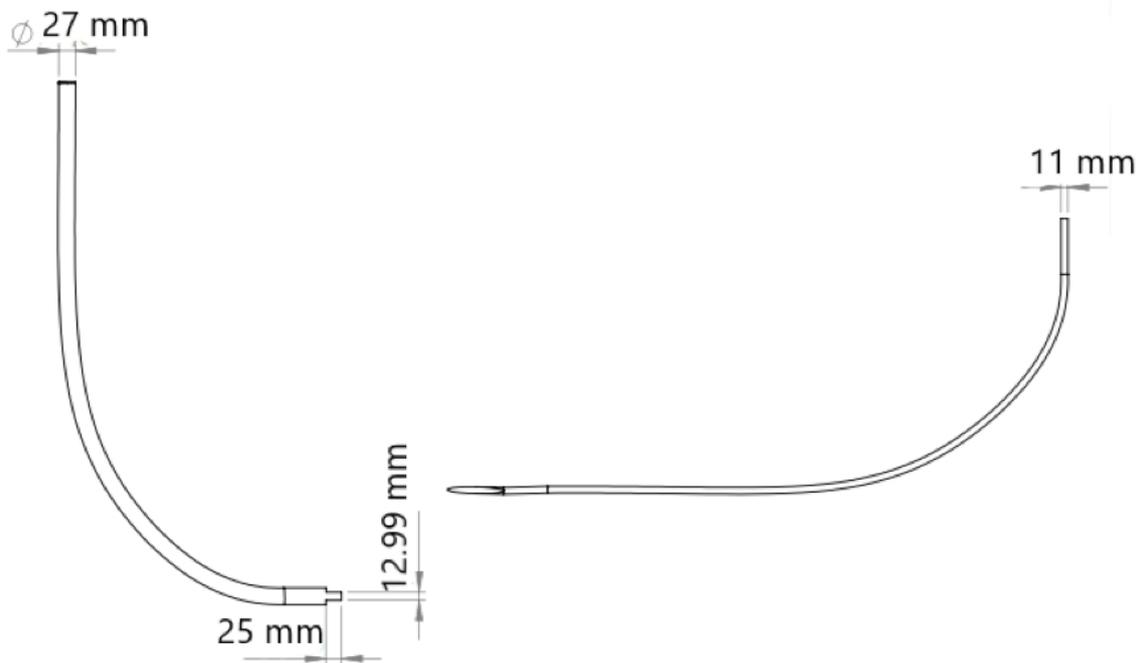
**Figura 6-18 Simulación estática marco estructural.**



**Fuente:** *Elaboración propia.*

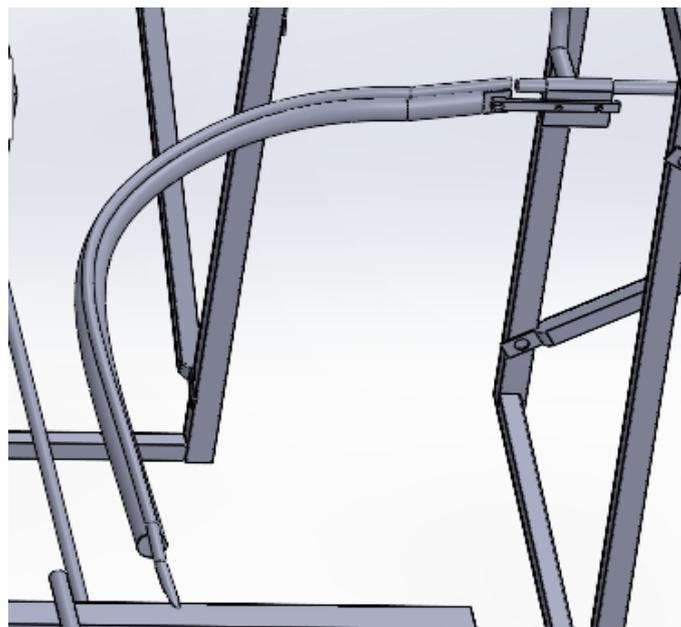
En la figura.6-19, se establecen las dimensiones para la construcción del cable guía (Anexo.2), para el cambio de vía, se dobla el cable guía y el tubo circular de soporte en un ángulo de 90 grados, se observa al realizar la simulación que el movimiento del cable guía de cambio se realiza de forma perpendicular al suelo, se evidencia que es necesario que las bases estructurales estén lo mejor ancladas al suelo posible, con el fin de evitar movimientos laterales en la estructura.

**Figura 6-19 Dimensiones cable guía para el cambio de vía.**



*Fuente: Elaboración propia.*

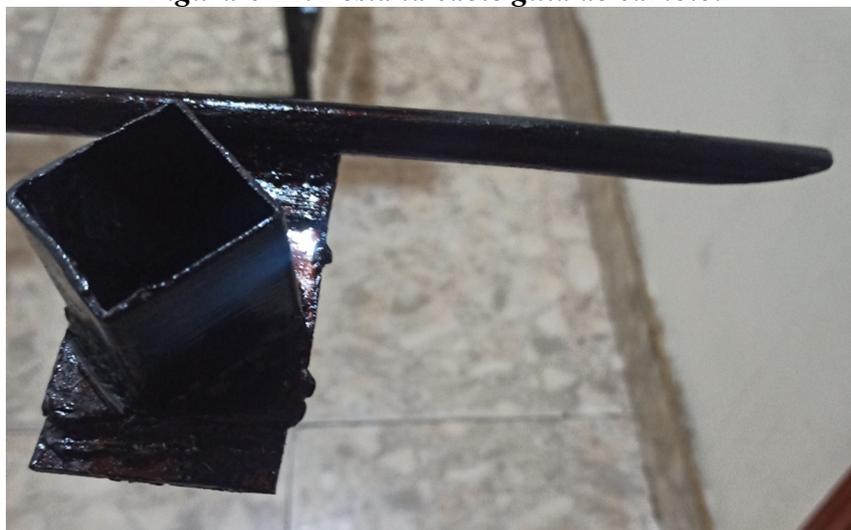
**Figura 6-20 Diseño del cable guía para cambió de vía.**



*Fuente: Elaboración propia.*

El cambio de vía, se construye en su totalidad de tubo cuadrado de acero galvanizado, el mismo seleccionado para la construcción de la estructura general del sistema, por su capacidad de resistencia a la carga, flexibilidad y fácil manejo, se atornillan las barras laterales y los marcos estructurales, utilizando tornillos de pulgada y media, arandelas y tuercas. Se utiliza un mecanismo de automatismo, que cuenta con un resorte de aproximadamente 20 cm, el cual servirá de apoyo para sostener el cambio de vía, en la figura.6-20 se observa la simulación del cable guía de cambio, se evidencia la necesidad de soldar una pestaña figura.6-21, que servirá como base de accionamiento, para empujar el cambio de vía de manera perpendicular, utilizando un actuador lineal.

***Figura 6-21. Pestaña cable guía de cambio.***



***Fuente: Elaboración propia.***

Se considera todo lo mencionado anteriormente, se procede a la construcción del cambio de vía, se dobla el cable guía de cambio en un ángulo de 90 grados con una inclinación de aproximadamente 35 grados, se debe ajustar una platina en la unión del final del cambio de vía, para alinear el cable guía de cambio con el cable guía del nuevo camino, en la figura.6-22 se observa la construcción final del cambio de vía, al realizar la pruebas del cambio de vía se evidencia que dicho sistema, tiende a levantar el marco estructural de la curva, debido al poco peso de la estructura, para evitar movimientos laterales es necesario anclar las bases de los marcos al suelo o enterrarlos a cierta profundidad para generar mayor estabilidad.

**Figura 6-22. Cambio de vía.**



**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 6.6.1 Actuador lineal

Se realiza el cálculo de la constante de elasticidad del resorte metálico mediante la ecuación 4-10(Anexo28-Punto10), obteniendo como resultado 1.47 kN/m. Se usa este valor como referencia para seleccionar el actuador lineal, el cual debe proporcionar la fuerza necesaria para superar la constante elástica del resorte y empujar el cable guía de cambio de manera perpendicular al cable guía principal.

$$k = 1.47 \text{ kN/m} \quad (4-10)$$

Se selecciona el actuador lineal LA40 de linak (ver figura 6-23), el cual es un actuador con una gran capacidad de trabajo, es silencioso y puede llegar a proporcionar hasta 8000 N, cuenta con engranajes internos y frenado por final de carrera. Es uno de los actuadores lineales de más fácil acceso en el mercado, debido a su gran potencia y bajo consumo, puede ser utilizado en diversas aplicaciones. Uno de los factores que se tiene en cuenta, es su ciclo útil, el cual es del 10%, por cada 2 minutos de uso continuo se debe esperar 18 minutos de no uso. Su temperatura de trabajo está entre los 5 °C y 40 °C.

**Figura 6-23. Actuador lineal LA40.**



**Fuente:** <https://www.directindustry.es/prod/linak/product-7052-1596025.html>

La alimentación general del actuador lineal, se realiza mediante la conversión de corriente monofásica a corriente continua, se utiliza la Fuente CI-150-24 de 24 voltios a 6.5 A, se caracteriza por tener una potencia máxima de 100 w, un voltaje máximo entrada de 264 voltios y mínimo de 90 V, los voltajes mínimos de salida son de 21 voltios y el voltaje máximo de salida es de 26 voltios, con una eficiencia típica del 86%, su temperatura de trabajo está desde los -25 grados hasta más 70 grados, cuenta con protección contra cortocircuito, sobrecarga, sobre tensión y temperatura figura.6-24.

**Figura 6-24. Fuente SW 24V CI-150-24.**



**Fuente:** <https://altronics.cl/fuente-poder-lrs-150-12>

## 6.7 Sensores

Se analiza el resultado de la señal step aplicada al modelo de motor eléctrico simulado, se observa que el tiempo de establecimiento del sistema, es de 0,35 segundos con un máximo sobre impulsó de 0,2 dB. Se infiere de esta manera, que el sistema del vehículo es lo suficientemente rápido, para utilizar una gran variedad de sensores disponibles en el mercado.

Con el fin de realizar mediciones de distancia, para controlar la posición del vehículo eléctrico con respecto al final de la vía, se hace uso de sensores ultrasónicos HC-SR04, en la tabla 6-7 se muestran diferentes sensores ultrasónicos, a diferencia de otros sensores para medir distancia, son dispositivos que tienen un gran rango de medición con consumos muy bajos, miden todos los objetos que reflejan sonido, su frecuencia de trabajo es buena y su error en la medición es pequeño. Dentro de los sensores ultrasónicos, se destaca por su bajo costo, al sensor HC-SR04 como el sensor que tiene la mejor relación costo/beneficio, en la tabla 6-8 se observan las características del sensor, observando que puede medir distancias de hasta 400cm, con un consumo de 15 mA y una frecuencia de trabajo de 40KHz, su alimentación es de 5V, la duración mínima del pulso de disparo es de 10  $\mu$ s, utilizando una conexión simple de trigger y echo.

**Tabla 6-7 Sensores ultrasónicos.**

Sensor Ultrasónico						
Tipo	Voltaje	Corriente	Rango de medición	Comunicación serial	Frecuencia de trabajo	Costo
HC-SR04	5 v	15 mA	2 cm a 400 cm	NO	40 KHz	Bajo
US-100	5 v	15 mA	1 cm a 450 cm	SI	40 KHz	Medio
LV EZ0	5.5 V	2 mA	0 mm a 645 mm	NO	20 KHz	Alto

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla 6-8 Características Sensor Ultrasónico hc-sr04:**

Modelo	HC-SR04
Tipo	Ultrasónico
Voltaje de funcionamiento	5 V DC
Corriente de alimentación	15 mA
Dimensiones	45 mm X 20 mm X 15 mm
Rango de medición	2 cm a 400 cm
Frecuencia de trabajo	40 KHz
Frecuencia de reloj	25 MHz
Angulo de medición efectivo	15 °
Angulo de medición	30 °
Presión	+ - 3 mm
Duración del pulso eco sal	100-2500 $\mu$ s
Duración min del pulso de disparo	10 $\mu$ s
Peso	9 gramos
Conexión	VCC - Trigger - Echo - GND
Tiempo mínimo de espera	20 ms

*Fuente: Elaboración propia.*

Para medir la velocidad del vehículo en RPM, se hace uso de un encoder infrarrojo, en la tabla 6-9 se observan las características principales del sensor Lm393, puede usar salida digital o analógica, para el prototipo se usa la salida digital por comodidad, utiliza un fototransistor y un fotodiodo para detectar las interrupciones.

**Tabla 6-9 Características Sensor encoder de velocidad herradura Lm393**

Modelo	Chip de funcionamiento	Voltaje de funcionamiento	Salida	Dimensiones	Longitud de onda del emisor	Tipo de detector	Tipo de emisor
MOCH22A	LM393	3.3 V -5 V	Analógica y digital	32 mm X 14 mm X 7 mm	950 nm (infrarrojo)	fototransistor	Fotodiodo IR

*Fuente: Elaboración propia.*

Dado que tanto como el motor DC así como el actuador lineal, son elementos que utilizan un voltaje y una corriente altos, es necesario que para poder controlar el sentido de giro de los mismos, se utiliza un puente H lo suficientemente potente para evitar corto circuitos y problemas de temperatura, para el prototipo se hace uso del puente H Bts7960 en la tabla 6-10 se observan las características principales, a diferencia de otros dispositivos su punto fuerte reside en que resiste hasta 43 A y 27 V, con una alimentación de 5V, además cuenta con protección contra corto circuito, protección de temperatura, puede ser usado con combinaciones lógicas o por señal PWM.

**Tabla 6-10 Especificaciones Modulo Puente H Bts7960:**

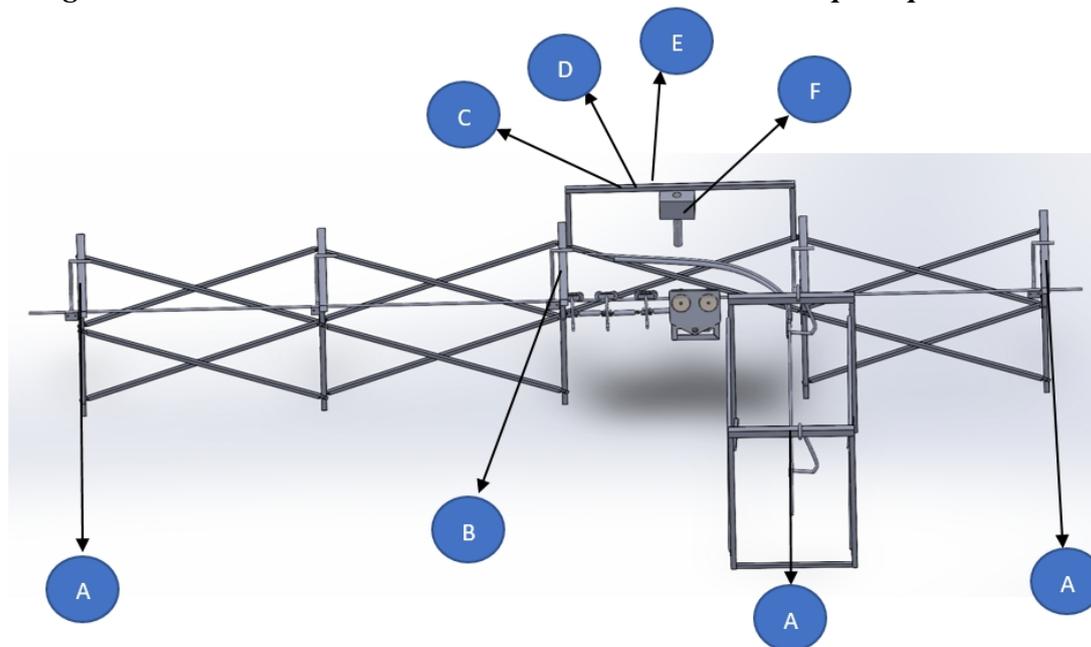
Modelo	BTS7960
Chip de funcionamiento	74AHC244
Voltaje de funcionamiento	3.3 V - 27 V
Voltaje de control	5 V
Dimensiones	5.5 mm X 5 mm X 4 mm
Corriente de operación Max	43 A
Baja corriente de reposo	7 $\mu$ A a 25 °
Frecuencia de reloj	25 MHz
Protección	Sobre corriente
Entradas lógicas	Si
Tasa de respuesta ajustable	EMI
Señal PWM	2 canales

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la figura.6-25 y la tabla.6-11, se muestra la ubicación y la cantidad de sensores utilizados en el sistema de transporte por cable vía. Se usan sensores ultrasónicos hc-sr04 (ítem A) en cada uno de los extremos finales del cable guía principal y el cable guía de cambio, los cuales leen la distancia del vehículo eléctrico sobre el cable vía en cada uno de los extremos del sistema estructural. Se usa el sensor infrarrojo fc-31 (ítem B), se posiciona en el marco estructural previo al cambio de vía, determina de manera concreta la posición del vehículo en el cable vía. Se ubica en el eje transversal del actuador lineal, el módulo ESP8266 (ítem C), se establece una comunicación serial con el controlador

central. Se usa un display Oled (ítem D), muestra los datos relevantes recibidos del vehículo eléctrico. Se usa un final de carrera mecánico YL-99 (ítem E), se ubica perpendicularmente al actuador lineal, define el momento de paso del vehículo eléctrico. Se utiliza un puente H Bts7960 (ítem F), que controla de manera precisa la acción del actuador lineal.

**Figura 6-25** Ubicación de los sensores en el sistema de transporte por cable vía.



*Fuente: Diseño propio.*

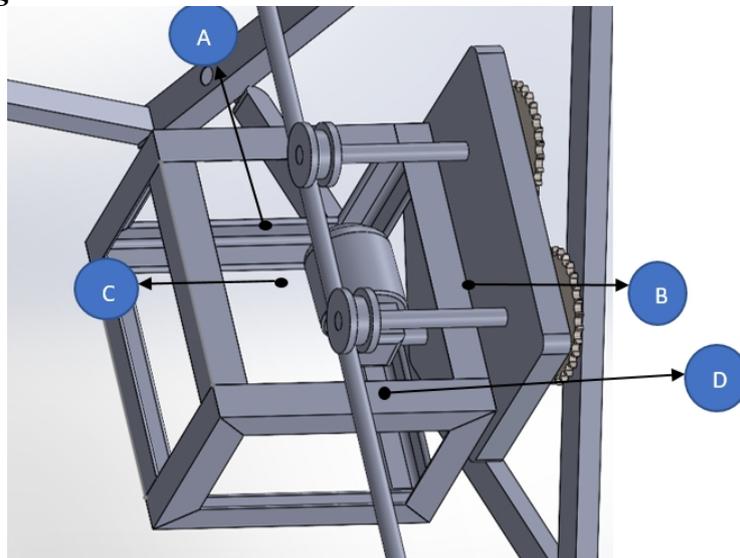
**Tabla 6-11.** Listado de los sensores utilizados en el sistema de transporte por cable vía.

ITEM	CANTIDAD	ELEMENTO
A	3	Sensores ultrasónicos hc-sr04
B	1	Sensor infrarrojo fc-31
C	1	ESP8266
D	1	Display Oled
E	1	Final de carrera YL-99
F	1	Puente H Bts7960

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura.6-26 y la tabla.6-12, se muestra la ubicación y la cantidad de sensores utilizados en el vehículo eléctrico. Se utiliza el puente H Bts7960 (ítem A), se ubica en la base estructural del prototipo de vehículo eléctrico, controla el sentido de giro del motor eléctrico. Se usa el módulo encoder (ítem B), se ubica a una distancia lateral de 1 cm del eje central de la rueda del vehículo y lee la velocidad angular de la rueda del vehículo. Se utiliza el módulo ESP8266 (ítem C), se ubica en la base estructural del prototipo de vehículo eléctrico, envían datos relevantes al controlador central. Se usa el sensor infrarrojo fc-31 (ítem D), se ubica en la parte frontal de la base estructural del prototipo de vehículo eléctrico, lee la distancia del vehículo a cualquier obstáculo en el cable vía.

**Figura 6-26 Ubicación de los sensores en el vehículo eléctrico.**



*Fuente: Diseño propio.*

**Tabla 6-12 Listado de los sensores utilizados en el vehículo eléctrico.**

ITEM	CANTIDAD	ELEMENTO
A	1	Puente H Bts7960
B	1	Encoder
C	1	ESP8266
D	1	Sensor infrarrojo fc-31

*Fuente: Elaboración propia.*

## 6.8 Controladores

Como se ha mencionado en secciones anteriores, se busca la implementación del prototipo de forma autónoma e inalámbrica, esto implica que se debe tener una comunicación constante entre los elementos eléctricos, para controlar el funcionamiento del vehículo y el cambio de vía, por esta razón se utilizan tres dispositivos, uno para recibir toda la información necesaria del sistema estructural y dos dispositivos wifi para conectar el microcontrolador principal con el vehículo eléctrico. Dado que la finalidad es poder implementar dicho cambio de vía en diferentes terrenos, esto limita la comunicación alámbrica en terrenos de difícil acceso, el uso de módulos wifi esp8266, simplifica las conexiones entre dispositivos y facilita la comunicación a distancia de los mismos.

En la tabla 6-13, se muestran los diferentes módulos wifi encontrados en el mercado, el módulo Wi-Fi Esp8266, si bien es el módulo con menos memoria RAM, su ventaja frente a otros dispositivos de la misma gama, se debe a la cantidad de opciones disponibles por un bajo costo, en tabla 6-14 se observan las características el módulo Wifi Esp8266 Nodemcu, el cual es una placa wifi compatible con arduino que se construye alrededor del wifi 8266, su ventaja frente a otros módulo es la incorporación de un regulador de tensión interno, así como un puerto USB para su programación, soporta diferente protocolos de comunicación en serie UART, SPI, I2C, etc. Utilizando estos protocolos se pueden conectar una gran variedad de dispositivos seriales.

**Tabla 6-13 Módulos Wi-Fi**

Módulos Wi-Fi			
	ESP8266	ESP32	Raspberry Pi Zero WH
Corriente	197 mA	220 Ma	2.5 A
Nucleo	1	2	4
arquitectura	32 BITS	32 bits	64 bits
clock	80 -160 MHz	160-240 MHz	2.4 GHz
Bluetooth	Sim	Classico e BLE (Bluetooth low energy)	Bluetooth BLE 4.1
wifi	160 Mb	Sim	2,4 Ghz
RAM	16 Mb	540 KB	512 MB
FLASH	13	16 Mb	WIFI 802.11b/g/n WLAN
GPIO	0	34	8
ADC	1	2	2
Interfaces	SPI, I2C, UART e I2S	18	12C

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 6-14 Características y especificaciones Módulo programable ESP8266**

Procesador	ESP8266 - 80 MHz - ESP-12E
Voltaje de ent/sal	3.3 V DC
Corriente de alimentación	500 mA
Wifi	802,11 b/g/n
conversor USB	Serial CH340G/CH340G
Función	Auto - reset
Pines	9 GPIO - 12 C -SPI
Entrada analógica	1.0 V Max
Pulsador	Reset
Entrada alimentación externa VIN	20 V Max
Memoria flash	4 MB - 32 MBit

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Como controlador principal se hace uso del microcontrolador Mega2560, si bien existen otros dispositivos (Tabla.6-15), que puede llegar a operar de manera adecuada dentro de las especificaciones del proyecto, dichos microcontroladores suelen tener pocos pines digitales y analógicos, incluso en algunos casos como en el ATmega32U4 ni siquiera cuenta con pines de salida o entrada, la mayoría de microcontroladores con una velocidad de CPU alta normalmente tienen poca memoria flash, son muy costosos y nada fáciles de conseguir en el mercado, es por esta razón que una de las ventajas que se obtiene con el arduino mega2560 es la cantidad de puertos digitales disponibles, en la tabla.6-16, se evidencian las características principales del Atmega2560 destacando que cuenta con 54 pines digitales, los cuales pueden ser configurados como entradas o salidas digitales, su velocidad de CPU es de 16Mhz, cuenta con 256 KB de memoria flash lo que nos permite escribir, modificar y borrar información, su consumo es moderado y su costo en el mercado es bajo.

**Tabla 6-15 Microcontroladores**

Microcontroladores											
Nombre	PROCESADOR	VOLTAJE	VELOCIDAD CPU	ENTRADA/SALIDA ANALÓGICAS	ENTRADAS/SALIDA DIGITALES	EEPROM	SRAM	FLASH	USB	UART	Costo
Uno	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16MHz	6/0	(14/6)	1	2	32	Regular	1	Bajo
Leonardo	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16MHz	12/0	(20/7)	1	2.5	32	Micro	1	Alto
101	Intel Curie	3.3 V / 7-12V	32MHz	6/0	(14/4)	NO	24	196	Regular	NO	Alto
Esplora	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16MHz	NO	NO	1	2.5	32	Micro	NO	Medio
Arduino Zero	ATSAMD21G18	3.3 V / 7-12 V	48 MHz	(6/1)	(14/10)	NO	32	256	2 Micro	2	Bajo
Mega 2560	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16MHz	16/0	(54/15)	4	8	256	Regular	4	Medio

*Fuente: Elaboración propia.*

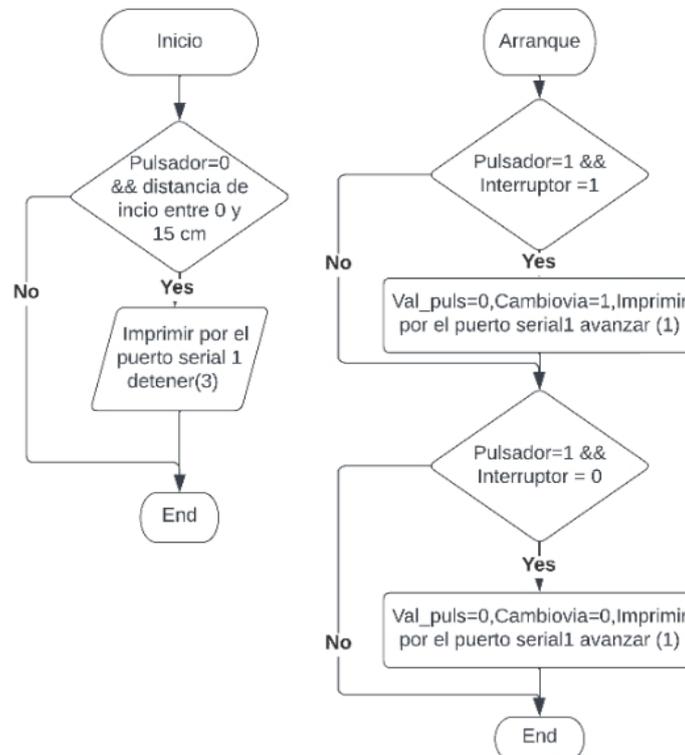
**Tabla 6-16 Características del Atmega2560**

Microcontrolador	ATmega2560
Chip USB	ATmega16U2
Voltaje de funcionamiento	5 V
Voltaje de alimentación	6 V - 20 V
Dimensiones	108 mm X 53 mm X 13 mm
Corriente ent/sal	40 mA Max.
Pines digitales I/O	54 - 15 salidas PWM
Frecuencia de reloj	16 MHz
Entradas analógicas	16 (ADC 10 bit)
Memoria FLASH	256 KB
Memoria EEPROM	4KB
Memoria SRAM	8KB
Peso	39 gramos
Conector USB	Tipo B

*Fuente: Elaboración propia.*

Se usa el Arduino MEGA 2560, el cual posee la potencia y la flexibilidad necesaria para controlar los sensores ubicados en el sistema estructural y las señales enviadas del vehículo eléctrico, lee de manera constante los sensores del sistema estructural y acciona el actuador lineal para el cambio de vía, según las señales recibidas. En la figura 6-32 se observa el diagrama de bloques del Arduino MEGA 2560, que estructura los procesos operativos del programa, en el loop se llaman las funciones, inicio, arranque, cambio de vía, curva y final, se inicia el puerto serial 1 del atmega2560, para establecer la comunicación serial con el esp8266. En la figura 6-29, se observa el diagrama lógico de la función sensores, dicha función lee de manera constante el valor de los sensores ultrasónicos para definir la distancia del vehículo a cada punto, mediante el final de carrera se define si se lee el sensor del final de camino de la curva de cambio de vía o el sensor del final de camino recto, esto para reducir la cantidad de mediciones que se ejecutan constantemente.

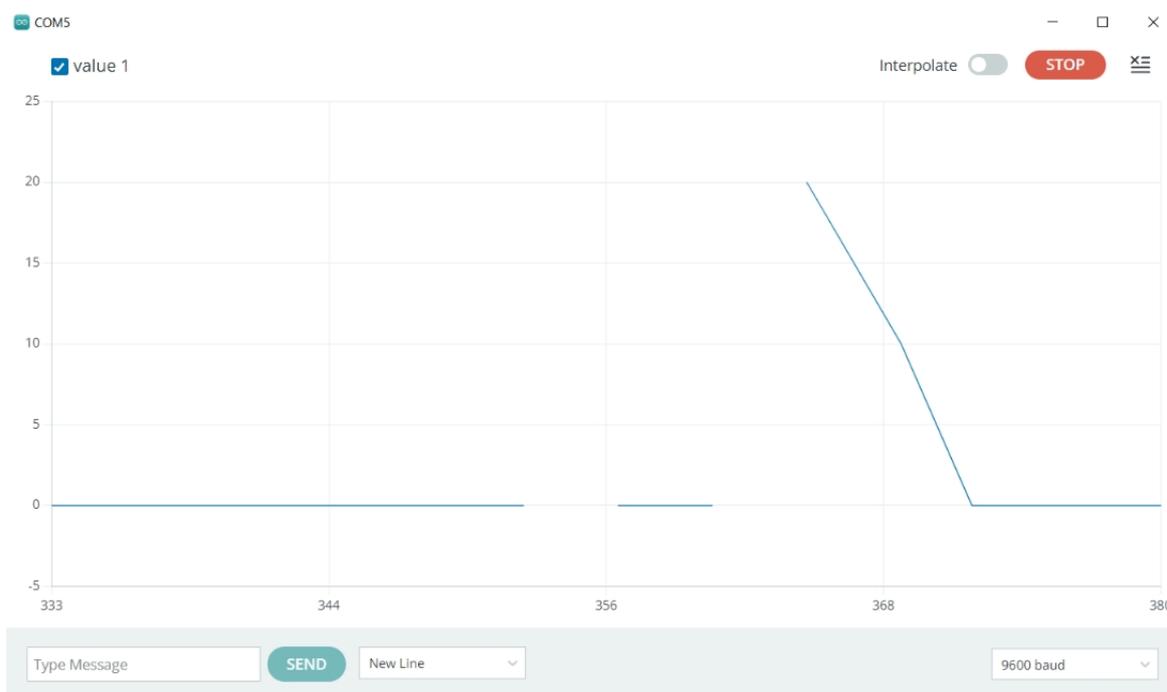
**Figura 6-27 Diagrama de flujo funciones Inicio, Arranqué**



**Fuente:** Diseño propio.

En la figura 6-27, se observa la lógica para las funciones “inicio” y “arranque”, se tienen dos entradas para definir el inicio del sistema, un interruptor y un pulsador, se condiciona el inicio del sistema para que detenga el vehículo si la distancia con el inicio del camino está entre 0 y 15 cm y el pulsador no ha sido activado, para la función “arranque”, se seleccionara el camino a seguir según la combinación entre el interruptor y el pulsador, al realizar la activación del pulsador se envía por el puerto serial 1 el “code”, se definen las variables de control para iniciar el movimiento del vehículo, se utiliza la variable car para determinar la combinación a enviar (tabla.6-17), vía wifi el número que se envía por el esp8266 al vehículo para definir su movimiento, en la figura 6-28 observamos el cambio de la señal del esp8266 al recibir el “code” por el puerto serial. Se lee la información recibida desde el vehículo eléctrico vía wifi y se muestra en un display oled, se muestra el valor de las RPM registradas por el vehículo, y el estado de movimiento del vehículo.

**Figura 6-28 Señal de entrada puerto serial ESP8266 del Atmega**



**Fuente:** Diseño propio.

**Figura 6-29. Diagrama de flujo función sensores.**



**Fuente:** *Elaboración propia.*

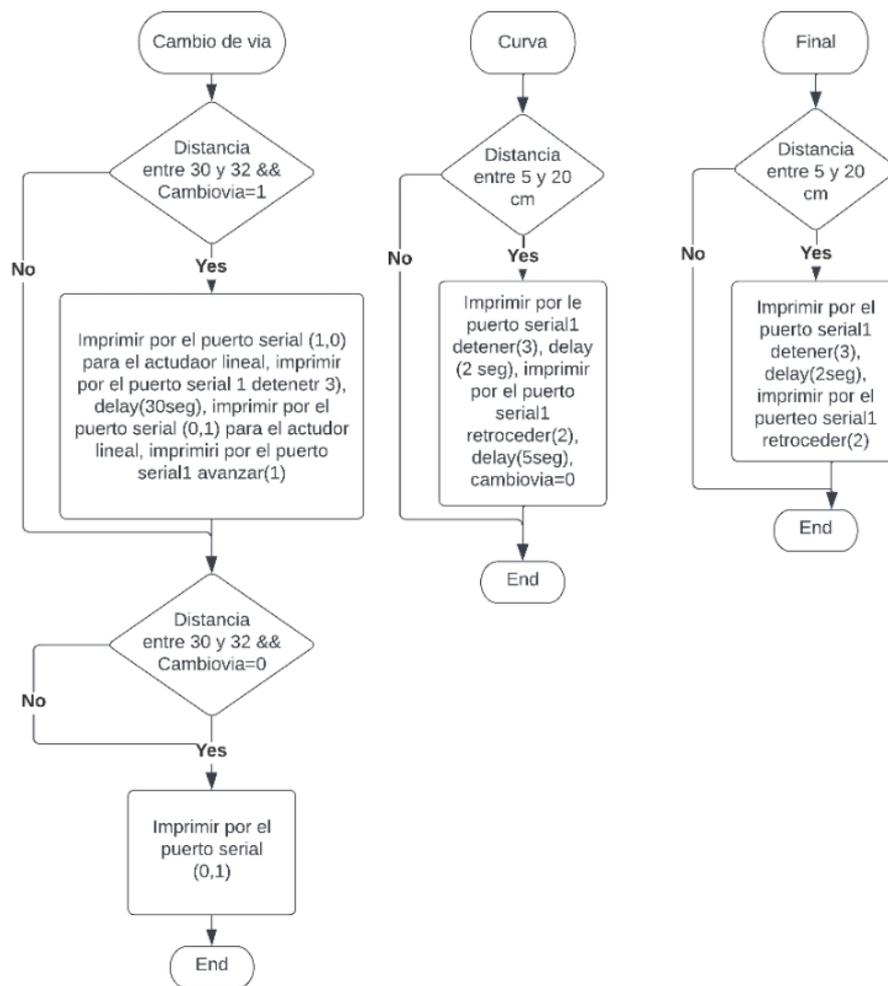
**Tabla 6-17. Combinaciones vehículo eléctrico.**

Numero	Acción
1	Adelante
2	Retroceder
3	Detener

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la figura 6-30, se muestra el diagrama de flujo de las funciones cambio de vía, final y curva, para el cambio de vía el sensor ultrasónico establece una medición entre 30cm y 32 cm, si la variable “Cambiovía” es 1, enviará detener a través del puerto serial 1 y a su vez se enviará vía wifi para detener el motor del vehículo, y activar el actuador lineal, la funciones curva y final, cumplen el mismo objetivo, se observa como miden la distancia del vehículo sobre el cable guía y enviar la opción de retroceder haciendo que en vehículo vuelva por el camino de nuevo al inicio del mismo.

**Figura 6-30 Diagrama de flujo de las funciones cambio de vía, curva y final**

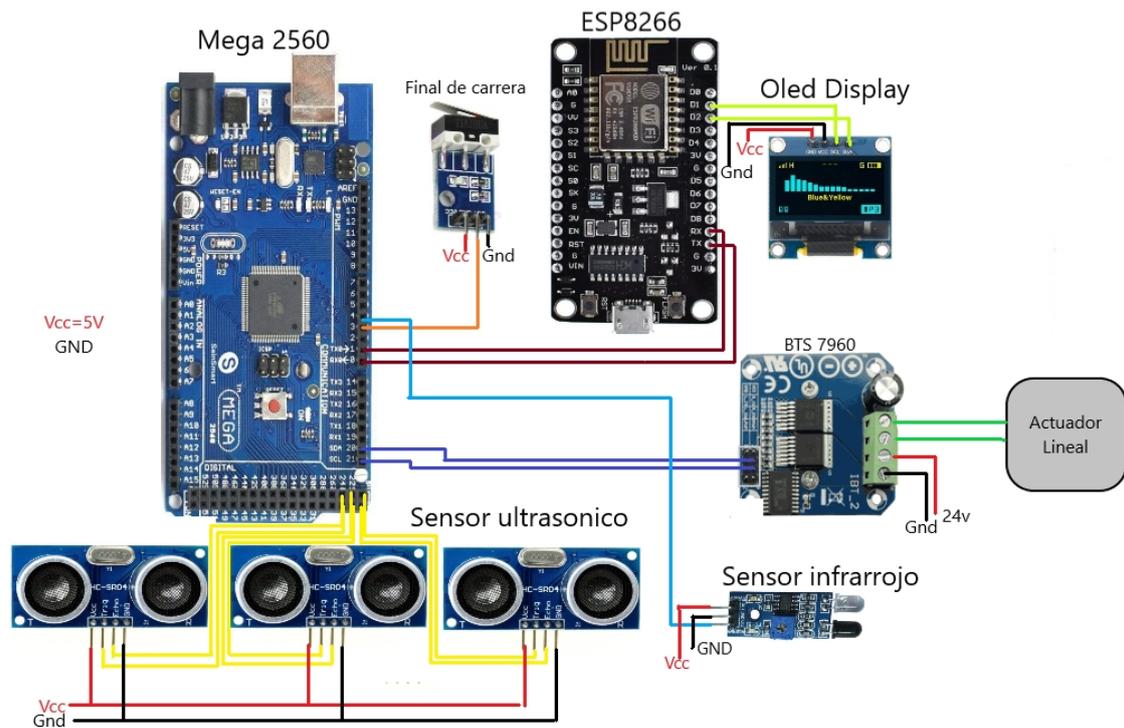


**Fuente:** *Diseño propio.*

Una vez la programación del Arduino MEGA 2560 contiene la lógica necesaria para controlar de manera autónoma los dispositivos, monitoreando el valor de las entradas y cambiando el estado de las salidas según la lógica usada en el programa. Se realiza la conexión electrónica del controlador central Arduino MEGA 2560 de la figura.6-31, se conectan los sensores ultrasónicos en los pines digitales del 22 al 27, se determinan la distancia de un objeto en un rango de 2 a 450 cm y envía las señales obtenidas mediante comunicación serial al controlador. Se conecta el sensor de final de carrera YL-99 al pin digital 3 configurado como interrupción, activándose mediante un flanco de subida, lee de manera constante el estado del sensor, se conecta el arduino MEGA 260 al módulo ESP8266 utilizando los pines Tx1 y Rx1, a su vez el módulo ESP8266 muestra la información relevante en un oled 128x64, se utilizan los pines 20 y 21 como salidas para

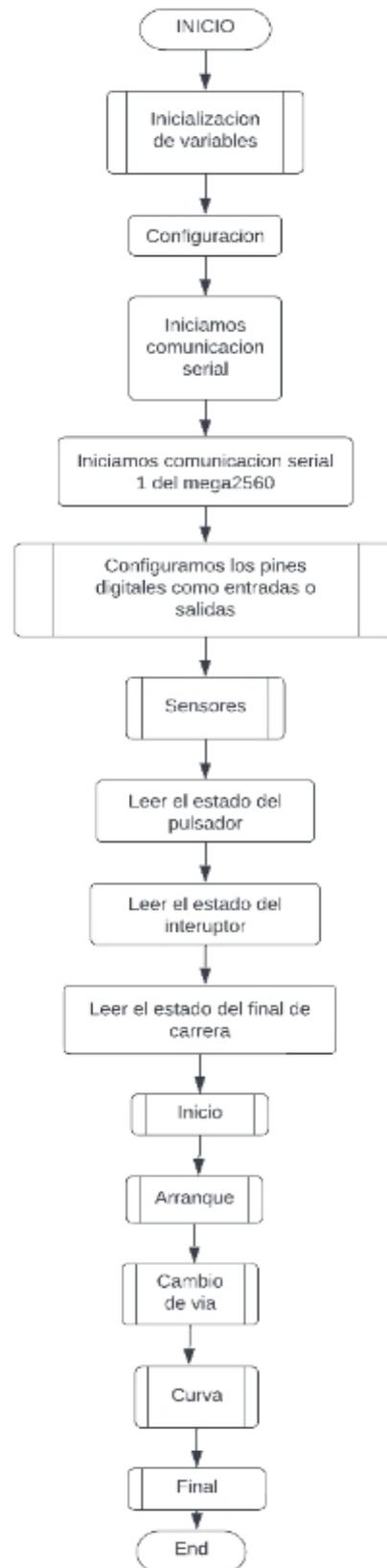
controlar el estado del puente H del actuador lineal, se muestra la línea de alimentación de los sensores de 5V.

*Figura 6-31 Plano de conexión electrónica para el Arduino MEGA 2560.*



*Fuente: Diseño propio.*

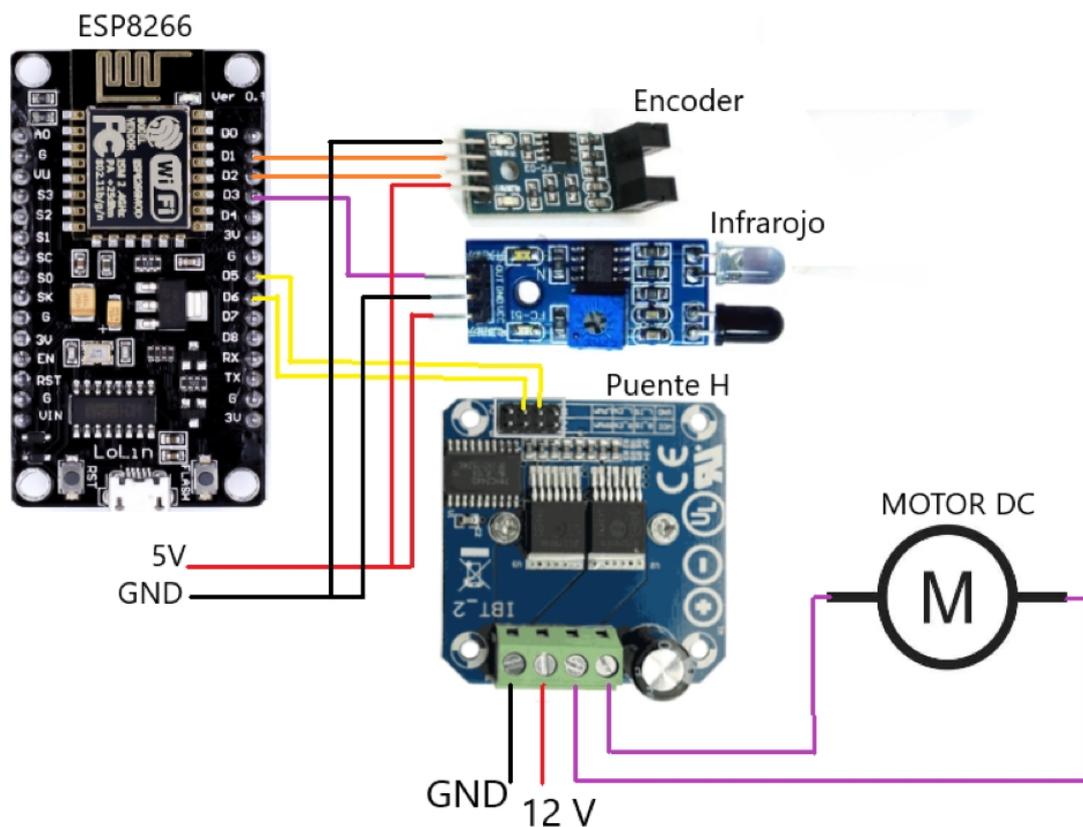
**Figura 6-32 Diagrama de bloques Arduino MEGA 2560.**



**Fuente:** *Diseño propio.*

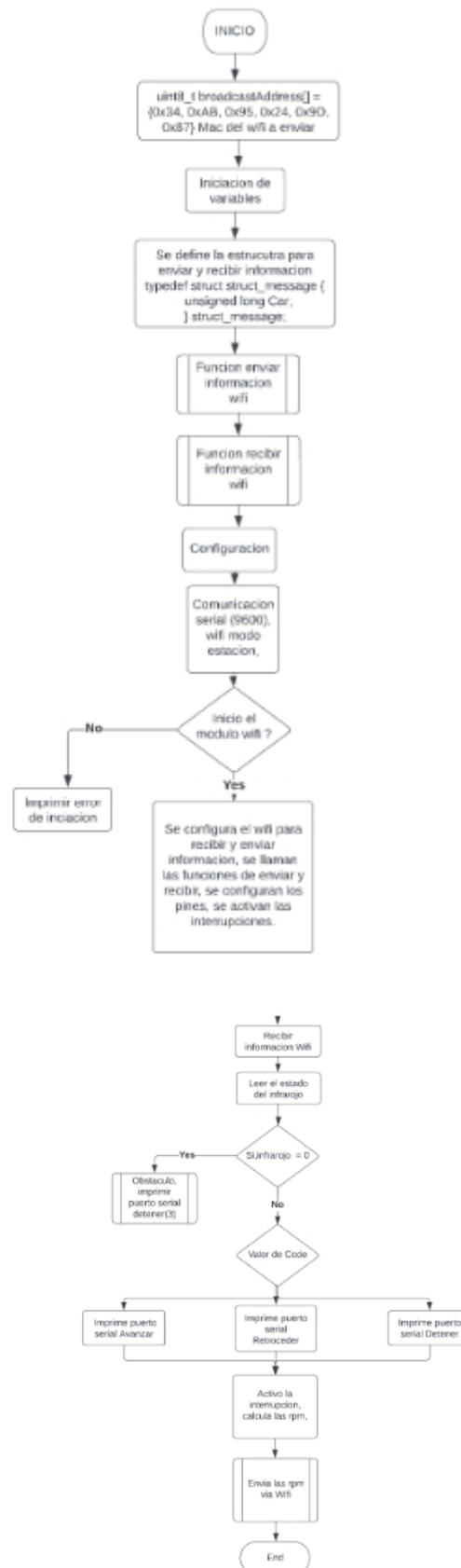
El diagrama de bloques de la figura.6-34, muestra el esquema lógico para el módulo ESP8266 del vehículo eléctrico, se definen las variables necesarias, se configuran los puertos y el módulo para recibir y enviar información vía wifi. Se lee la información enviada por el Arduino MEGA 2560 a través del ESP8266 central, se establece el valor de la variable “car” para determinar la acción del vehículo y la combinación pertinente para el puente H del motor del vehículo. Se lee el encoder de manera constante para enviar la información de la velocidad actual del vehículo hacia el ESP8266 central, el sensor infrarrojo fc-31 mantiene en funcionamiento todo el tiempo, con el fin de determinar si algún obstáculo puede presentarse frente al vehículo eléctrico y detener su funcionamiento. Toda la información relevante es enviada hacia el ESP8266 central para mostrar el estado del vehículo en tiempo real.

**Figura 6-33 Plano de conexión electrónica del ESP8266 del vehículo eléctrico.**



**Fuente:** Diseño propio.

**Figura 6-34 Diagrama de bloques ESP8266 del vehículo eléctrico**



**Fuente:** Diseño propio.

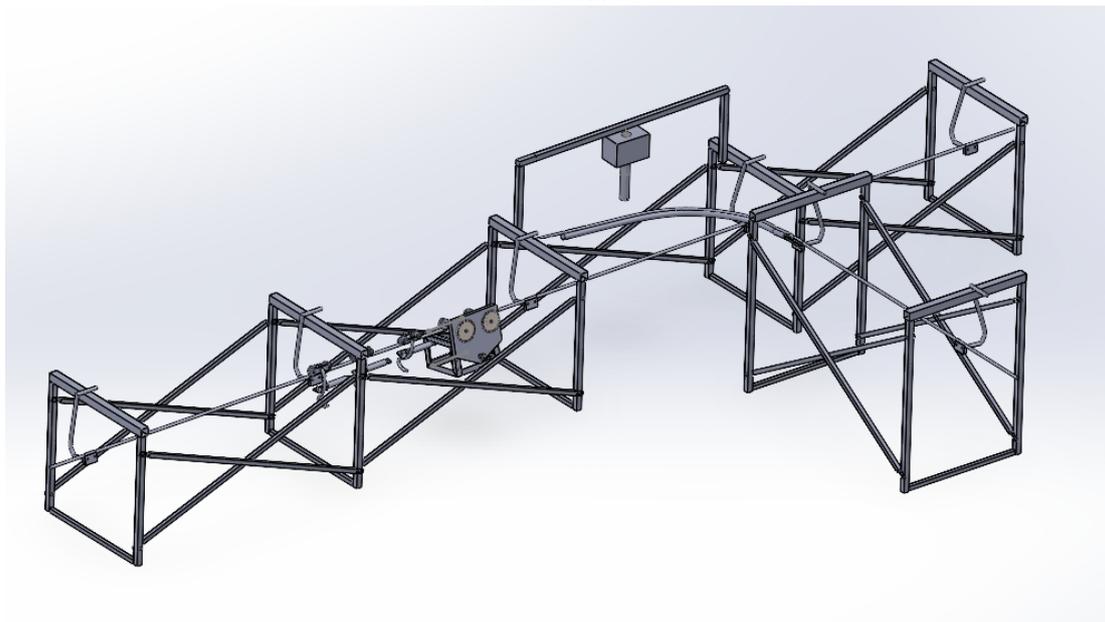
La conexión electrónica de la figura 6-33 para el módulo ESP8266, utiliza los pines D1 y D2 como entradas, se leen las señales del encoder que determinan la velocidad del vehículo eléctrico, el sensor infrarrojo fc-31 conectado al pin D3 configurado como interrupción activada por flanco de subida, se utilizan los pines D5 y D4 configurados como salidas para controlar el puente H del motor del vehículo eléctrico.

## **6.9 Implementación y construcción del prototipo de vehículo eléctrico para recolección de fruto de palma.**

Como se muestra en la figura.6-35, se evidencia la simulación en solidworks del sistema de transporte por cable vía, conformado por la integración de todos los elementos anteriormente mencionados. La simulación cuenta con las medidas establecidas en los planos, se observó cada uno de los movimientos del vehículo eléctrico, dentro del cable guía, para determinar si alguno de los elementos interfiere con el recorrido del vehículo.

Se verificaron cada una de las medidas estructurales, de acuerdo, con los planos anteriormente realizados, se realizaron modificaciones irrelevantes en la simulación de aproximadamente  $\pm 3$ cm, con el fin de encajar todas las piezas de una manera orgánica, para realizar una simulación lo más cerca posible, a un funcionamiento real del prototipo.

***Figura 6-35 Simulación completa del sistema de transporte por cable vía en Solidworks.***



***Fuente: Diseño propio.***

En la figura.6-36, se observa el sistema de transporte por cable vía completamente construido, utilizando los planos y materiales anteriormente mencionados, para tener un correcto funcionamiento de todo el sistema, se alinean todos los elementos y componentes que lo conforman, se utilizan tornillos pasantes para asegurar los actuadores y elementos fijos de la estructura.

***Figura 6-36 Construcción completa del sistema de transporte por cable vía.***



***Fuente: Elaboración propia.***

En la figura 6-40, se observa el actuador lineal situado de manera perpendicular al suelo, apuntando de manera directa a la pestaña del cable guía de cambio que se superpondrá sobre el cable guía principal, la garrucha en forma de S que sirve como soporte del cable guía, es usado como apoyo para situar los sensores ultrasónicos, el vehículo eléctrico es situado de tal manera que las ruedas y toda la carga se encuentren sobre el centro del marco estructural. Al observar el funcionamiento del sistema de transporte por cable vía, se mide la corriente que pasa por el circuito del arduino Atmega2560(Figura 6-37), obteniendo un resultado de 12.1mA sin la activación del actuador lineal, al realizar el cambio de vía el circuito pasa a tener un consumo de 17.3mA (Figura 6-38), se observa que el actuador lineal se apaga al realizar su recorrido máximo, beneficiando los consumos del circuito cuando el actuador no esté en movimiento, el circuito maneja un voltaje estable de 5V (Figura 6-39).

**Figura 6-37 Medida de corriente del circuito Atmega2560 sin actuador lineal**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 6-38 Medida de corriente del circuito Atmega2560 con actuador lineal**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 6-39 Medida de voltaje del circuito Atmega2560**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 6-40 Vista superior del cambio de vía.**



**Fuente:** *Elaboración propia*

Durante la construcción se utilizan tornillos pasantes, para asegurar el cambio de vía y el resorte de soporte sobre el eje transversal del marco estructural (Figura 6-41), se evidencia que el cable guía de cambio apoyado sobre el resorte, debe ser alineado de manera perfecta sobre el cable guía principal, evitando crear mayor inclinación de la esperada durante el cambio de vía, se utiliza caucho sobre las ruedas del vehículo eléctrico para aumentar la tracción del mismo. Durante el proceso de cambio de vía, las ruedas tienden a patinar debido a la poca concavidad de las mismas, es por esta razón que se hace pequeñas hendiduras en el cable guía de cambio con el fin de generar mayor agarre (Figura 6-42), se observa que todo el sistema estructural de cambio de vía resiste de manera estable las cargas y el vehículo eléctrico, en el punto crítico de la curva la estructura final tiende a tener un pequeño movimiento lateral debido a la falta de anclaje en suelo.

**Figura 6-41 Vista lateral del cambio de vía automatizado**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 6-42 Hendiduras cable guía de cambio**



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 6-43, podemos observar la construcción total del prototipo de vehículo eléctrico, se usan bolsas de lona para transportar la carga, se evidencio al momento de halar la carga que las bolsas se movían a diferentes tiempos, debido al peso que cargaba cada bolsa, la carga genera un movimiento de péndulo que iba empujando una a la otra a destiempo, lo que provoca perturbación en el vehículo y un movimiento inestable, además, al subir por el cambio de vía, las distancia entre carga aumentaba, lo que provocaba un descarrilamiento de la carga 7 de cada 10 pruebas realizadas, para

solucionar este problema, se usa guaya de bajo calibre situada entre los patines que giran sobre el cable guía, ajustados a la misma distancia, además, se realizan tres ejes fijos contruidos con tubo estructural, los cuales se colocan entre las bolsas de carga y el vehículo, similar al método utilizado por los trenes para enganchar los vagones, uniendo cada uno de los elementos, lo cual nos permite tener un movimiento axial, pero restringe los movimientos verticales, lo que beneficia el movimiento al subir por el cambio de vía (Figura 6-41), haciendo que cada una de las bolsas se muevan de manera síncrona con el vehículo eléctrico.

**Figura 6-43 Construcción del prototipo de vehículo eléctrico**



**Fuente:** *Elaboración propia*

En la figura 6-44, se presentan errores para conectar los módulos wifi debido a problemas de conexión y de alimentación, se tiene en cuenta los voltajes de funcionamiento de los módulos ESP y cada uno de los Macadres de los dispositivos. Se ajustan los módulos Wifi a 3.3V y se programan como estaciones de trabajo para enviar y recibir información logrando un correcto funcionamiento de los mismos (Figura 6-45).

**Figura 6-44 Mensaje de error comunicación Wifi**

```

Output  Serial Monitor x
-----
Message (Enter to send message to 'NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)' on 'COM5')
-----
Last Packet Send Status: Delivery fail
Last Packet Send Status: Delivery fail
Last Packet Send Status: Delivery fail

```

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 6-45 Mensaje de correcto de comunicación Wifi**

```

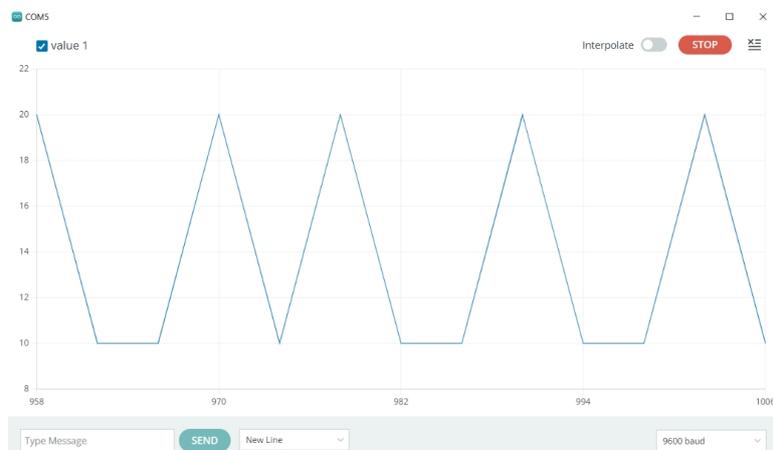
Output  Serial Monitor x
-----
Message (Enter to send message to 'NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)' on 'COM5')
-----
Last Packet Send Status: Delivery success
Bytes received: 4
Rpm: 0
0
Last Packet Send Status: Delivery success
Bytes received: 4
Rpm: 0

```

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que las interrupciones generadas por el encoder en el vehículo eléctrico, no son lo suficientemente estables para tener una medición precisa de las RPM del vehículo, lo cual se ve reflejado en la información recibida por el módulo wifi conectado al atmega2560, en la figura 6-46 se observa como los valores recibidos oscilan entre 20 rpm y 10 rpm creando una señal en forma de sierra.

**Figura 6-45 Mensaje de correcto de comunicación Wifi**



*Fuente: Elaboración propia*

Se toman los tiempos del actuador lineal y la velocidad del vehículo, dando como resultado que el actuador lineal tarda 30 segundos aproximadamente, en hacer toda la extensión para empujar el cambio de vía, es por esta razón que se detiene el carro durante este tiempo para sincronizar los elementos y evitar colisiones, se toman las temperaturas de funcionamiento del motor y el puente H del vehículo, elementos que están sometidos a mayor estrés con respecto a los demás, se observa que las temperaturas están en 44°C(Figura6-46) y 33°C(Figura 6-47) respectivamente, temperaturas que están dentro de los rangos de operación normal de los elementos.

***Figura 6-46 Temperatura de funcionamiento del motor DC***



***Fuente: Elaboración propia***

***Figura 6-47 Temperatura de funcionamiento del puente H Bts7960 del vehículo***



***Fuente: Elaboración propia***

Observamos que la corriente que pasa por circuito del vehículo eléctrico es de 170 mA (Figura 6-48), se mide la corriente de trabajo del motor con y sin carga, dando como resultado 1.95 A sin carga (Figura 6-49) y 2.18 A con carga (Figura 6-50),

***Figura 6-48 Corriente de funcionamiento circuito del vehículo eléctrico***



***Fuente: Elaboración propia***

***Figura 6-49 Corriente de funcionamiento del motor DC sin carga***



***Fuente: Elaboración propia***

***Figura 6-50 Corriente de funcionamiento del motor DC con carga***



***Fuente: Elaboración propia***

Se verifica que el sistema funcione de manera correcta y se muestre la información requerida en la pantalla Oled, se tiene especial cuidado con la pantalla Oled al ser un elemento pequeño y de fabricación china, hace que los elementos que la componen sean frágiles, y las librerías usadas para su funcionamiento presenten algunas fallas con diferentes controladores, el sistema funciona de manera correcta en todas las operaciones, el vehículo eléctrico hala la carga sin problema ni mayor esfuerzo, el cambio de vía funciona de manera autónoma y el actuador lineal posee la fuerza necesaria para sobreponer el cable guía de cambio, se evidencia un único error en el inicio de camino, en donde se tiene un retraso de aproximadamente 1 segundo entre la información del sensor y la acción del vehículo, proporcionando que se detenga muy cerca del sensor.

## 7. CONCLUSIONES

En primer lugar, en la agricultura colombiana el cultivo de frutos se encuentra en continuo crecimiento, la actividad económica en progreso, obliga a mejorar los sistemas de transporte dentro y fuera de las plantaciones, necesitando una correcta gestión de los recursos utilizados. Los encargados deberán generar un correcto diseño e implementación de los sistemas de transporte, para potenciar la producción de los cultivos.

Se diseñó los diferentes componentes del sistema de transporte por cable vía, teniendo como base el diseño clásico del sistema de transporte, estableciendo un estudio más exhaustivo de la automatización del cambio de vía y el vehículo eléctrico, utilizando diferentes métodos para la programación del sistema de transporte, la estructura, sistemas de control, estructura mecánica y eléctrica, se concluye que el lenguaje de programación y el controlador a utilizar en el prototipo o en una implementación del sistema real, solo está limitado a la potencia requerida en el diseño previo, para el prototipo se utilizó lenguaje en C y microcontroladores como, arduino MEGA2560 y el módulo ESP8266.

Los microcontroladores, encargados de la programación del sistema de transporte, necesitan una fuente de 5v y 3.3v respectivamente, estos módulos permiten tener una comunicación inalámbrica, entre el funcionamiento del vehículo eléctrico y la información recolectada por los sensores dentro del sistema de transporte, lo que permite obtener un control directo, de los cambios de las señales dentro del sistema, la selección de los sensores, motores y elementos eléctricos, se obtiene de la arquitectura de los microcontroladores a utilizar, en el caso del prototipo arquitectura arduino. Esto es referente, a que los dispositivos utilizados, permiten la conexión y el control de varias señales generadas por sensores y/o elementos electrónicos, permitiendo entradas y salidas, para accionar y conectar de manera conjunta todo el sistema.

La potencia del motor, depende de la cantidad de carga que se desee transportar, donde generalmente en una plantación se cargan 180 kgf por malla, sin embargo, el peso por malla puede verse modificado en función de la forma de transporte o el fruto transportado, como ejemplo se tiene la plantación de frutos de palma, que transporta alrededor de 3 toneladas por viaje, llevando 200 kgf por malla.

La tubería y varilla de acero, utilizados en la estructura debe contar con el calibre, las dimensiones y el material suficiente, para soportar el peso general al que serán sometidos el marco estructural y todo el sistema de transporte. La forma de la tubería (cuadrada o circular), no representa una mejora en cuanto a la carga que puede soportar, la selección de la forma de la tubería depende netamente de la preferencia del diseñador del proyecto, cabe mencionar que la forma de la tubería, define de manera directa el diseño que tendrá el marco estructural y la estructura del cable vía en general, por ejemplo, es más fácil doblar un tubo circular que uno cuadrado, lo que concluiría en un marco estructural con forma de U, para el prototipo, se diseñó un marco estructural cuadrado a una escala 1 a 4, para evitar impactos en el vehículo, como diseñador se pueden elegir sus dimensiones, buscando la mejor disposición para el terreno y el sistema en general.

Se diseñó un vehículo eléctrico, en donde es necesario saber cuál será su función y las fuerzas a las que será sometido, la velocidad lineal del vehículo dependerá de la potencia del motor y la carga a transportar, para el prototipo se usó una potencia de 70W, con un voltaje de alimentación de 12V a 6A DC, se instalaron sensores para monitorear el estado del vehículo y controlar el motor eléctrico, son sensores que trabajan normalmente con 5V a 5mA DC, de acuerdo a esto, se debe tener en cuenta que la alimentación eléctrica, de los sensores y el motor eléctrico debe ser independiente, se pueden presentar inconvenientes si se usa una sola línea, además, los sensores eléctricos normalmente consumen mucha menos energía que un motor eléctrico.

Para el cambio de vía del sistema de transporte, se consideraron varias opciones de diseño, así como varios actuadores para que el accionamiento del cable guía de cambio sea de manera automática, una opción fueron los motores de paso a paso, que mediante el control del giro y una relación de poleas, pueden llegar a ser utilizados para mover el cable guía de cambio, pero la poca eficiencia del movimiento y el alto costo de este tipo de motores hizo poco viable el modelo, es por esto, que para el accionamiento del cambio de vía, se prefirió la implementación de un actuador lineal LA40 de la marca LINAK dentro del mecanismo, el cual tiene un consumo de 24V a 6.5A, brindando una carga lineal de 8000N, la ventaja del actuador lineal frente a otros actuadores mecánicos, es que permite la transmisión de fuerza de manera perpendicular al suelo, lo que representa un movimiento lineal suave y controlado, teniendo en cuenta que la fuerza aplicada es mayor a otros posibles dispositivos utilizables, su consumo energético es bajo, además, que su

utilización es sencilla y su mantenimiento es prácticamente nulo, lo que permite que el cambio de vía pueda ser activado en el momento deseado.

Por último, la construcción del prototipo autónomo de transporte por cable vía, permite obtener una perspectiva más práctica, de lo que sería el funcionamiento en una implementación real de este diseño y como interaccionan los elementos principales del sistema, donde los materiales de la estructura principal, son el eje central de soporte para el sistema de transporte, razón por la cual se debe identificar cuáles son los recursos disponibles al momento de realizar el diseño, con el fin de establecer un diseño de calidad y con la suficiente resistencia a la carga. Se tiene en cuenta, que el diseño y la construcción del prototipo fue realizada para transportar 50 kgf, sin embargo, dicho diseño puede ser implementado para halar una carga mayor o recorrer una mayor distancia, cambiando algunos elementos para soportar la nueva carga. La distancia lineal de recorrido, depende únicamente de la distancia de la plantación y las características del terreno, el cambio de vía, no requiere mayores cambios para otros diseños o implementaciones diferente. Un sistema de transporte autónomo para la recolección de frutos de palma, con mayor peso en la carga, debe cambiar o modificar sus parámetros y características de acuerdo, a la nueva capacidad de carga y potencia requeridas.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Boletín Económico Fedepalma Enero - diciembre 2017, Andrés Felipe García Azuero Director de la Unidad de Planeación.
- [2] Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial, Diseño de vehículo eléctrico para cable vía en bananeras, autor Gustavo Alanso Maury Mora.
- [3] Cable vía en la cosecha de palma de aceite, autor Carlos Andres Fontanilla D, 30 noviembre de 2009.
- [4] Diseño y presupuesto de un sistema de transporte, un cable de apoyo y una empacadora para 10ha de plátano, abril -2000, Delgado, Vallejo, Académico de licenciatura.
- [5] Universidad Señor de Sipán, Autor Eduardo Cruz Ruiz, propuesta de implementación de cable vía para incrementar la productividad en la asociación de pequeños agricultores de santa clara de macacará – paita – piura 2017.
- [6] Albakri, N., Abdullah, S., Supian, L. S., Arsad, N., Zan, S. D., & Bakar, A. A. A. (2018). Assessment of Palm Oil Fruit Bunch Maturity based on Diffuse Reflectance Spectroscopy Technique. 2018 IEEE 7th International Conference on Photonics, ICP 2018, 18–20.
- [7] El uso de tecnología espacial para mejorar la transparencia del aceite de palma en Colombia, Mongabay, Autor [Andrew J. Wight](#)
- [8] Tolosa-Guzmán I. Riesgos biomecánicos asociados al desorden músculo esquelético en pacientes del régimen contributivo que consultan a un centro ambulatorio en Madrid, Cundinamarca, Colombia. Rev Cienc Salud. 2015;13(1): 25-38.

- [9] Pulkrabek, W. W. (2013). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–169
- [10] Estudio de logística para el proceso de transporte de fruto de palma de aceite en Colombia 2006- Mauricio Mosquera- Jacqueline Valenzuela
- [11] Chen, Q., Niu, X., Zuo, L., Zhang, T., Xiao, F., Liu, Y., & Liu, J. (2018). A railway track geometry measuring trolley system based on aided INS. *Sensors*, 18(2), 538.
- [12] Among, C., & Mechanized, T. (2009). Comparación de tres sistemas mecanizados de transporte interno de fruto de palma de aceite Comparison Among Three Mechanized Systems of Oil Palm Fruits Infield Transportation. 30(4), 65–78.
- [13] Kotova, K., Dudorov, E., & Kudyukin, V. (2021, September). Manipulator Control System for Railroad Transport Coupling and Braking System Maintenance. In *2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)* (pp. 601-605). IEEE.
- [14] Chonhenchob, V., Sittipod, S., Swasdee, D., Rachtanapun, P., Singh, S. P., & Singh, J. A. (2009). Effect of truck vibration during transport on damage to fresh produce shipments in Thailand. *Journal of Applied Packaging Research*, 3(1), 27.
- [15] Betancur Gómez, N y Hernández Londoño, M. (2020). *Identificación de rutas de solución de las necesidades de los campesinos de la vereda Piedras Blancas del municipio de Guarne, para la comercialización y venta de sus productos agrícolas*. Tecnológico de Antioquia.
- [16] Maury-Mora, G. A. (2018). Diseño de vehículo eléctrico para cable vía en bananeras.
- [17] Castiblanco, J. S. (2010). Implementación del sistema cable vía en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína. *Revista Palmas*, 31(1), 11-19.

- [18] M. (2021, 28 agosto). *La garrucha es para el transporte de productos y no de personas*. Más Noticias Tolima. <https://masnoticiastol.com/la-garrucha-es-para-el-transporte-de-productos-y-no-de-personas/>
- [19] GUSTAVO, S. B. TRACCION Y LLANTAS DE TRACTORES AGRICOLAS.
- [20] My WordPress. (2022, 13 mayo). *Fundiciones Toro Ramírez - cable vías, garruchas, fundición*. Garruchas, Cable vías, Fundición, FTR + garruchastoro + reborn - fundición, cable vías, garruchas y piezas deportivas. <https://www.garruchastoro.com>
- [21] Mejía Vargas, A. F. (2011). *Diseño y construcción de un sistema de transporte de carga por medio de cables para topografía de gran pendiente* (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
- [22] Hibbeler, R. C, and Jesús Elmer Murrieta Murrieta. *Ingeniería Mecánica*. México, D.F: Pearson Educación, 2016. Web.
- [23] CEDEPAS Norte. (2018, enero). *MANUAL DE CABLE VÍA*. [https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/manual\\_cable\\_via.pdf](https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/manual_cable_via.pdf).
- [24] Redacción AyJ Transmisiones. (2020, 10 noviembre). *Tipos de sistemas de transmisión de potencia y sus funcionalidades*. Tipos de sistemas de transmisión de potencia | AyJ Transmisiones. <https://www.ajtransmisiones.com/blog/tipos-de-sistema-de-transmision>
- [25] *Nuestro negocio*. (2022). Eurasia Consult. <https://www.eurasia-con.com/es/>
- [26] Greenblatt, J. B., & Shaheen, S. (2015). Automated vehicles, on-demand mobility, and environmental impacts. *Current sustainable/renewable energy reports*, 2(3), 74-81.
- [27] Edan, Y., Han, S., & Kondo, N. (2009). Automation in agriculture. *Springer handbook of automation*, 1095-1128.

[28] Hernández, L. (2016, 6 septiembre). *Conducción autónoma en la industria agrícola*. Autocosmos. <https://noticias.autocosmos.com.co/2016/09/06/conduccion-autonoma-en-la-industria-agricola>

[29] Fernández, J. H. R. (2018). Motores eléctricos para la industria.

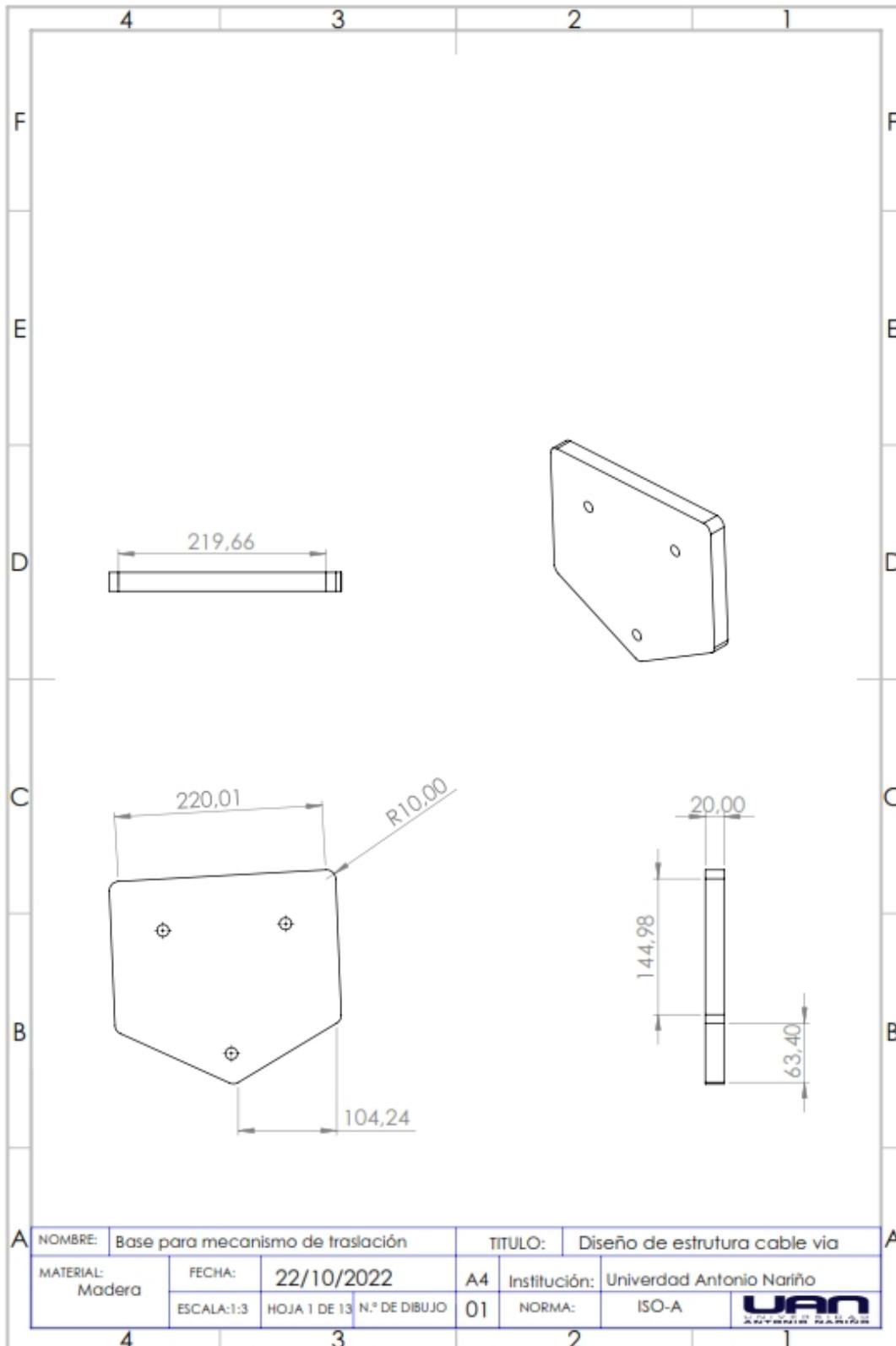
[30] Barrett, San Francisco (2013). ¡Procesamiento de microcontroladores Arduino para todos!. Conferencias de síntesis sobre circuitos y sistemas digitales , 8 (4), 1-513.

[31] Colomer Barbera, J. Estudio de los sensores para la detección de obstáculos aplicables a robots móviles.

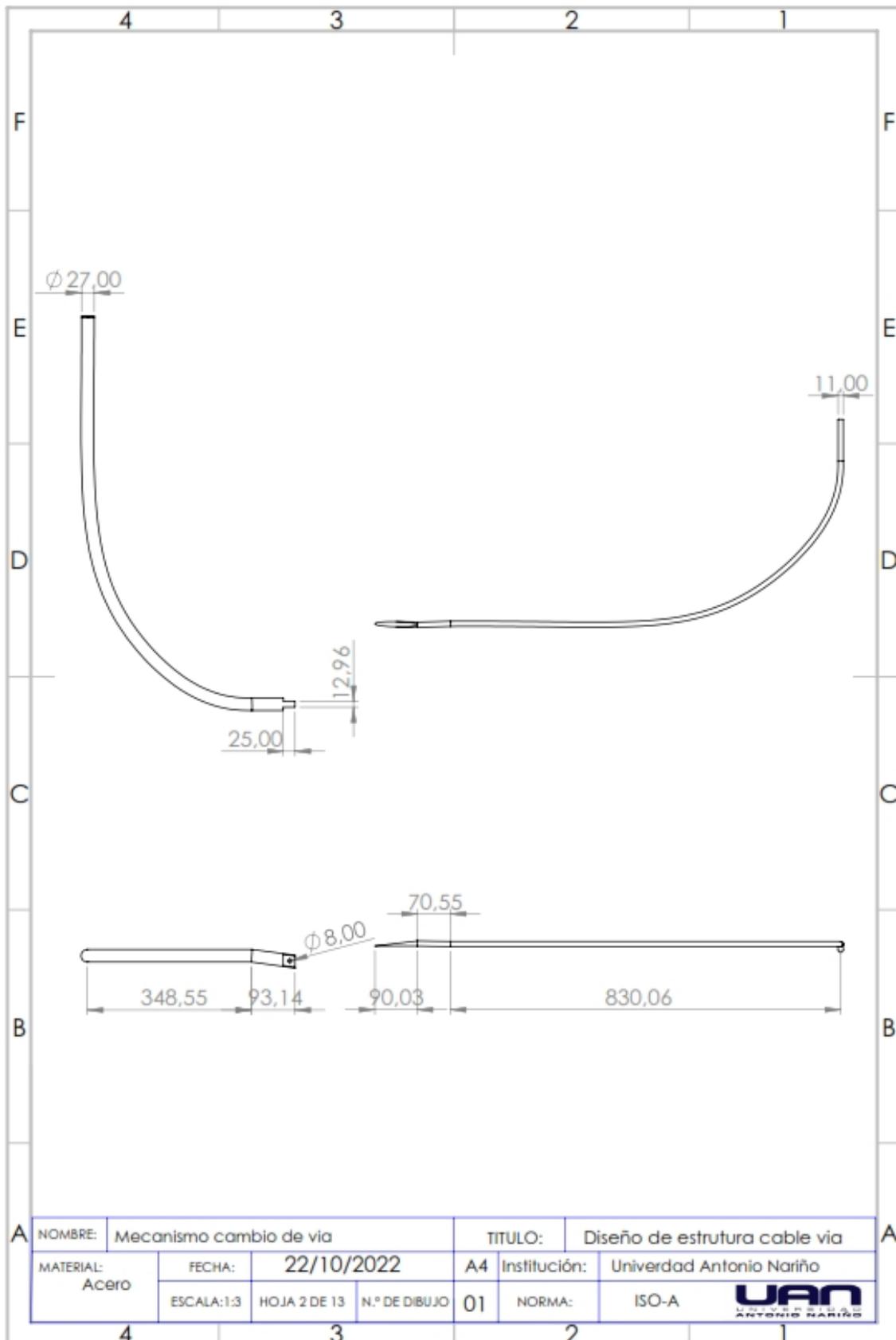
[32] Vanegas Useche, L. V. (2018). Diseño de elementos de maquinas. <https://core.ac.uk/download/pdf/158348444.pdf>

## ANEXOS

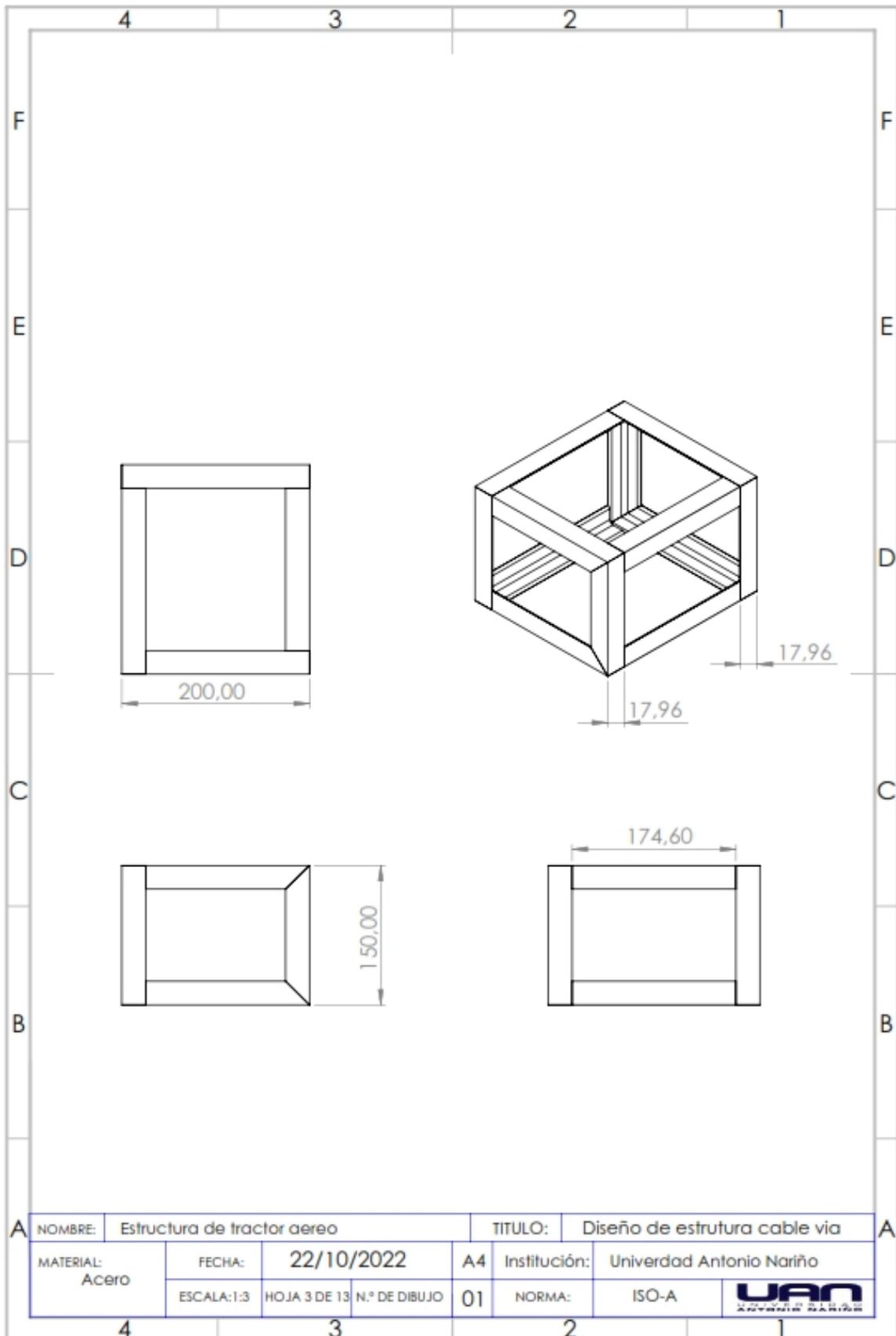
Anexo.1 Plano base lateral vehículo eléctrico



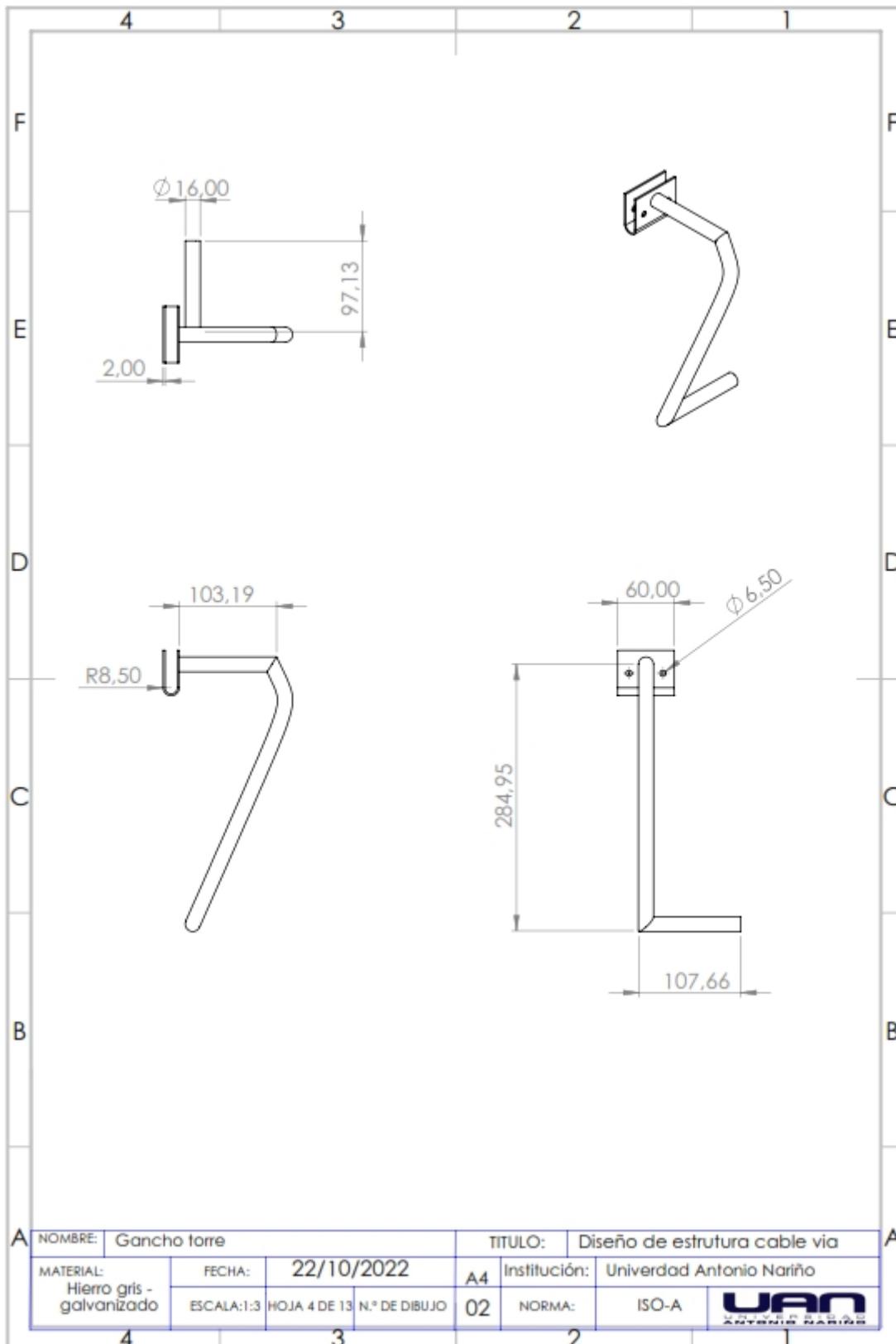
Anexo.2 Plano cable guía del mecanismo de cambio de vía



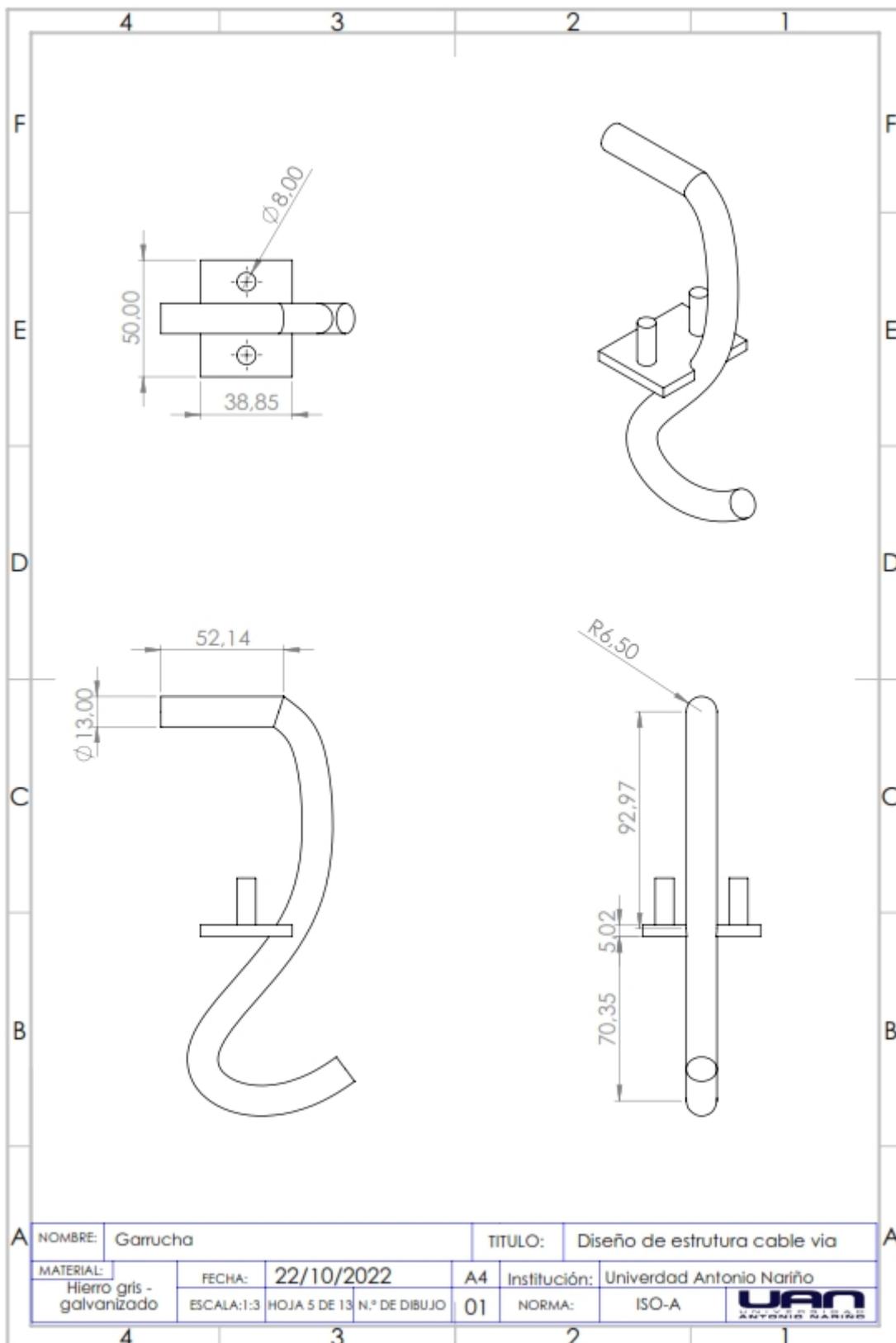
Anexo.3 Plano estructura del vehículo eléctrico



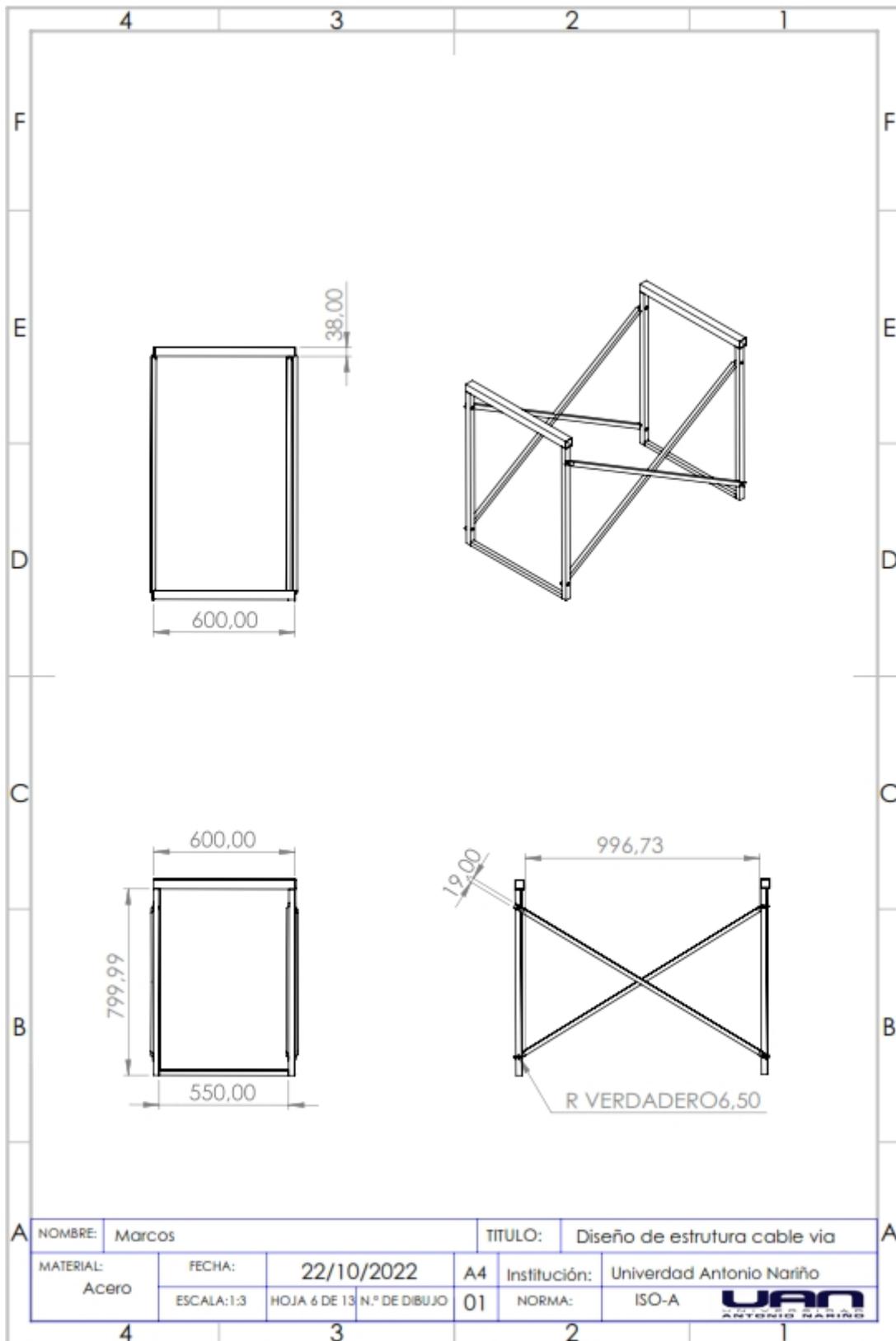
## Anexo.4 Plano gancho para cable vía



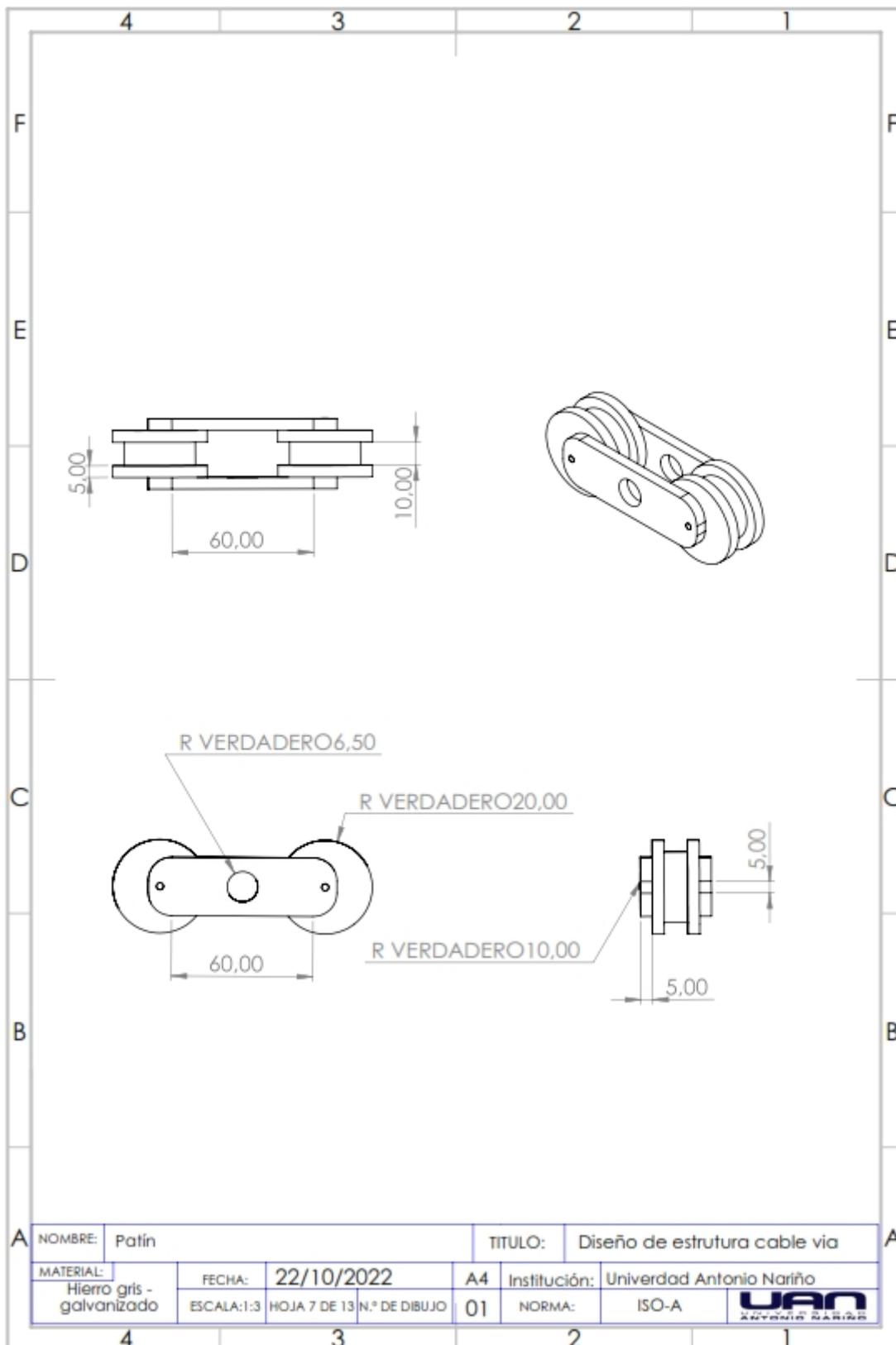
## Anexo.5 Plano garrucha para cable vía



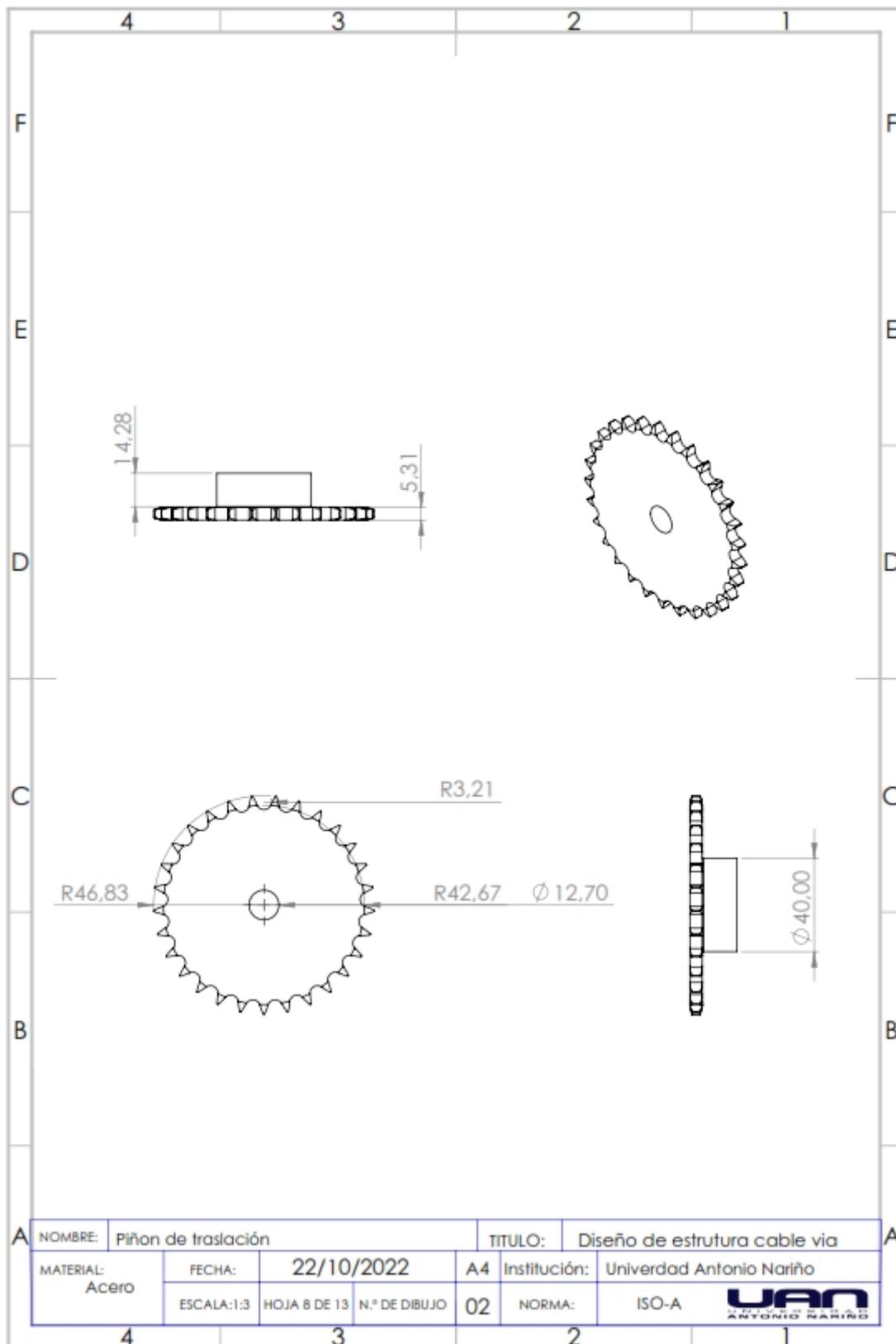
Anexo.6 Plano marco estructural del cambio de vía



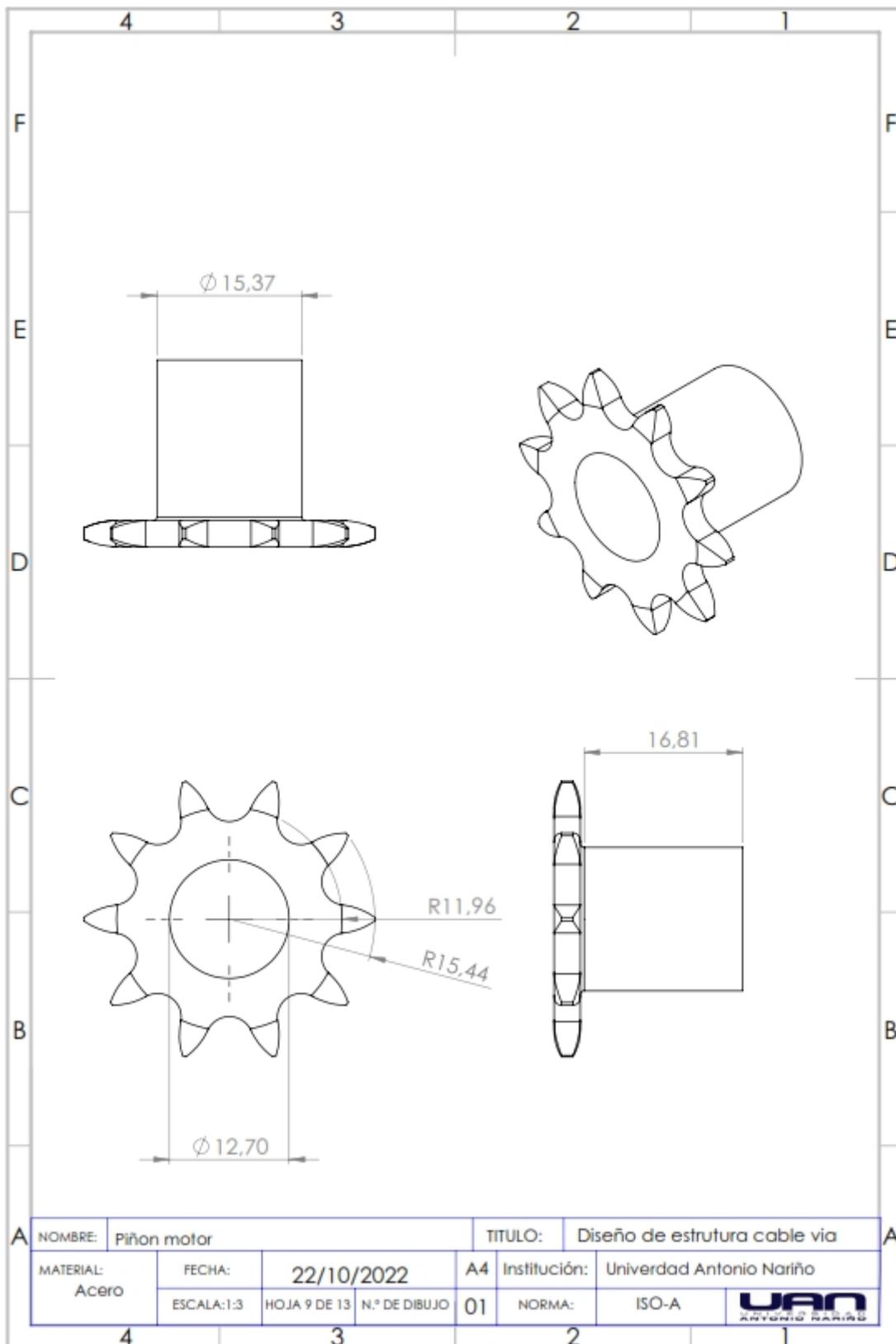
## Anexo.7 Plano patín para cable vía



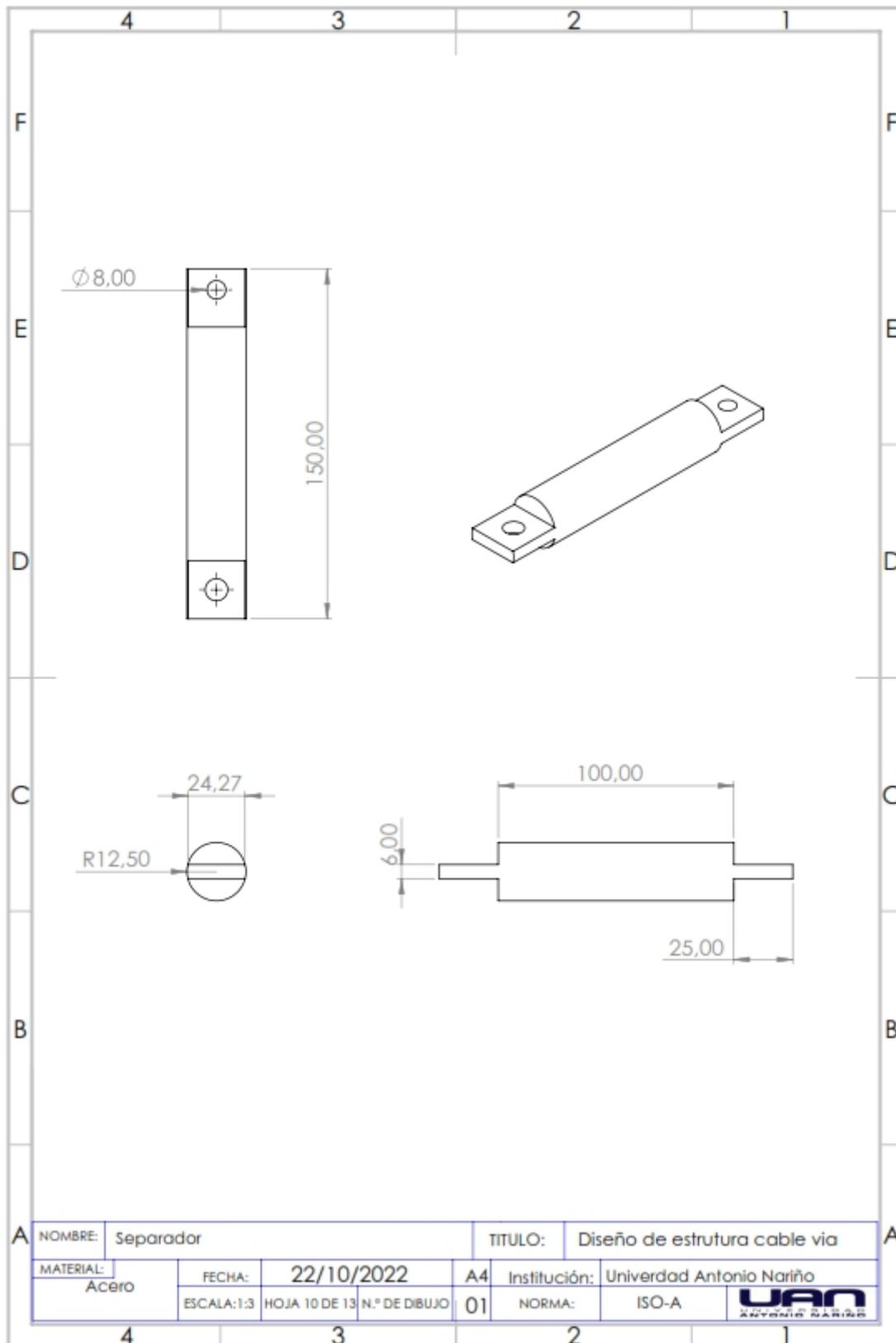
## Anexo.8 Plano piñón de translación



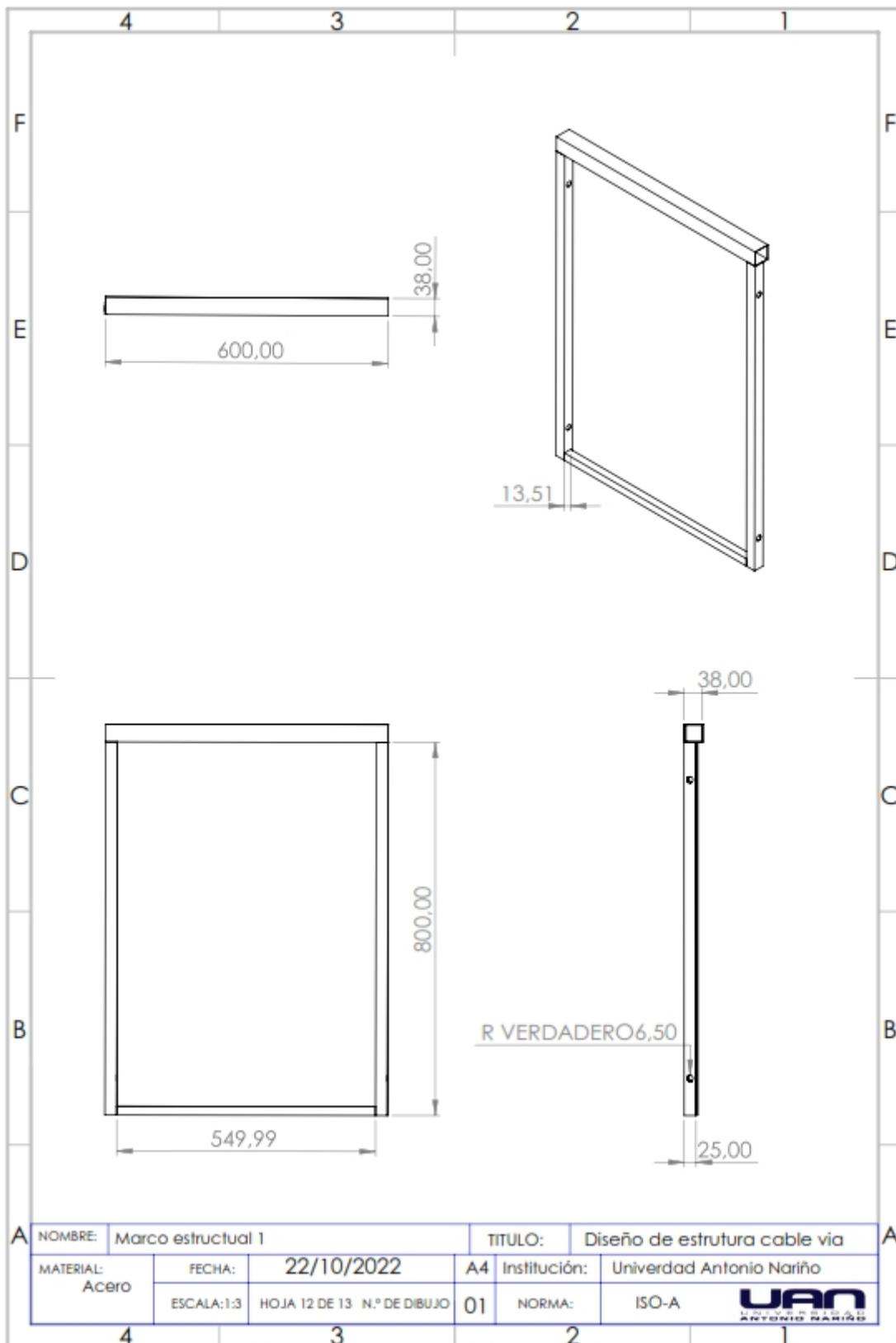
## Anexo.9 Plano piñón de motor



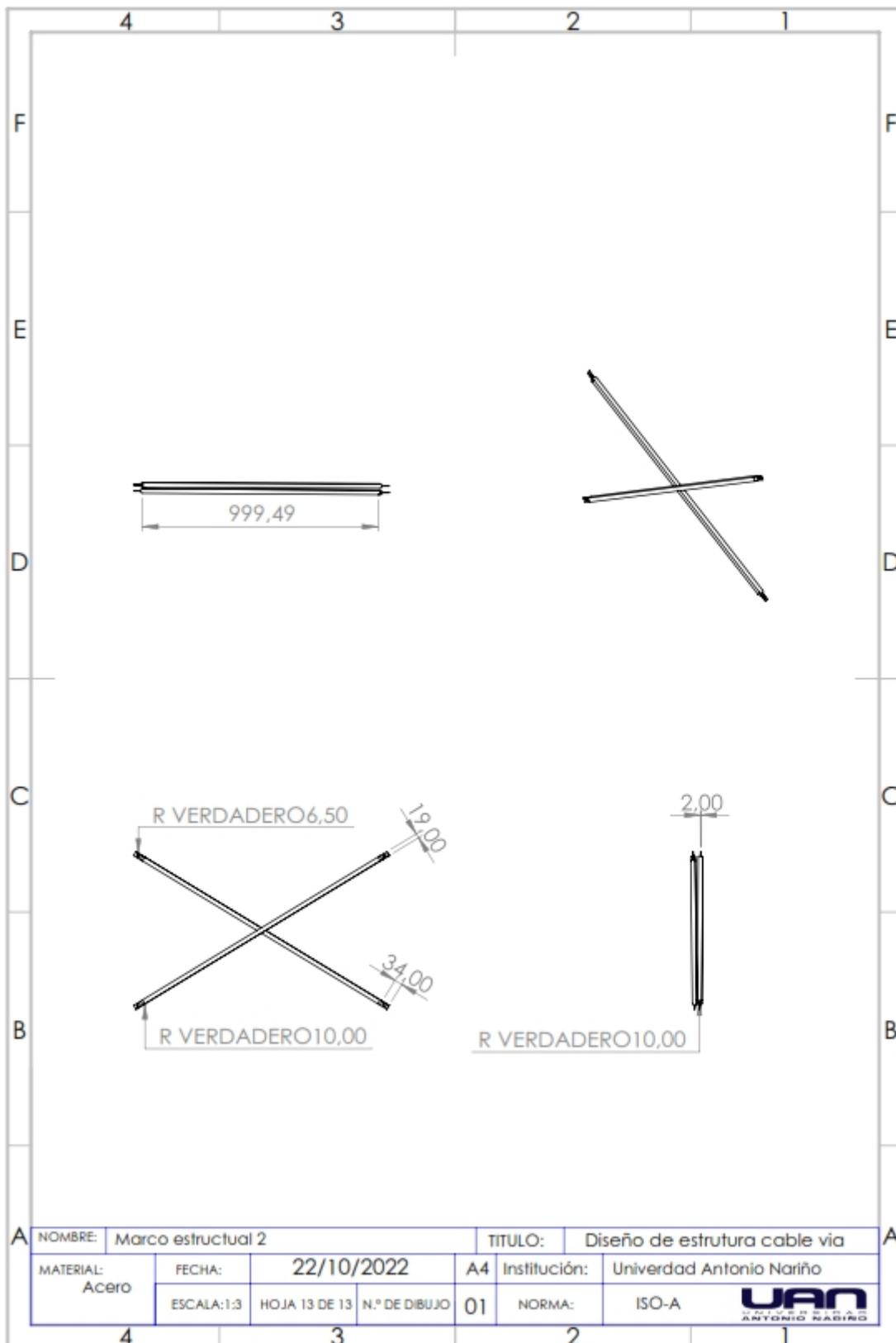
## Anexo.10 Plano del separador para cable vía



## Anexo.11 Plano marco estructural del cable vía



Anexo.12 Plano soporte en X para marco estructural



## Ficha Técnica Metalub Tubería Estructural

### Descripción:

**Metalub Tubería Estructural Negra y Galvanizada:** Los perfiles tubulares son tubos de acero soldados de alta resistencia referenciados en el reglamento NSR-10 como Perfiles Tubulares Estructurales, (PTE). Son utilizados como miembros estructurales en edificios, cerchas, puentes peatonales y otro tipo de estructuras y en una gran variedad de productos manufacturados. Se produce en formas redondas, cuadradas, rectangulares y en una amplia gama de tamaños. Bajo la especificación estadounidense del Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC por sus siglas en inglés) son referenciados como miembros estructurales HSS.

La Tubería Estructural Galvanizada cuenta con un recubrimiento 180g/m<sup>2</sup>-Z180 (G60) para espesores menores o igual a 2.0mm y con recubrimiento 275g/m<sup>2</sup>-Z275 (G90) para espesores de 2.5mm y 3.0mm.

### Normatividad

La Tubería Estructural METALTUB de ACESCO es fabricada bajo normas ASTM A500 y NTC 4526 Grado C en espesores de 1.5mm a 10mm.

### Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS METALTUB ESTRUCTURAL						
ASTM A500		Resistencia a la Fluencia mínima		Resistencia a la Tracción mínima		Elongación mínima
		MPa	psi	MPa	psi	%
Redondo, Cuadrado y Rectangular	Grado C	345	50000	425	62000	21

TOLERANCIAS	
Longitud ≤ 6.5m	-6mm, +13mm
Longitud > 6.5m	-6mm, +19mm
Espesor de pared	± 10%

Para otras tolerancias remitase a la norma ASTM A 500 o NTC 4526.





### Metaltub Tubería Estructural Redonda

(Acabado negro y galvanizado)



METALTUB TUBERÍA ESTRUCTURAL REDONDA (ACABADO NEGRO Y GALVANIZADO)														
REFERENCIA			ESPEORES EN MILIMETROS							UNIDAD DE EMPAQUE				
Tubos Redondos ["]			1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0		7,0	8,0	9,0	10,0
Diámetro Nominal	Diámetro Externo [pulg]	Diámetro Externo (mm)	Peso Teórico Calculado [kg / m]											
1-1/2"	1.89"	48 mm	1,78	2,35	3,45									91
2"	2.36"	60 mm	1,77	2,34	3,44									61
			2,94	3,64	2,93	3,63								
2-1/2"	2.87"	73 mm	3,58	4,44										37
			3,57	4,43										
3"	3-1/2"	89 mm	4,37	5,43	6,48									37
			4,36	5,42	6,47	8,54								
4"	4-1/2"	114.3mm	6,99	8,35										19
			6,97	8,33	11,04									
4"	4-1/2"	114.3mm						16,26						1
---	6"	152.4mm				14,92		22,09			29,05			1
8"	8-5/8"	219.1mm					26,75				42,21		52,27*	1
10"	10-3/4"	273.1mm								46,43*		59,25		1
12"	12-3/4"	323.9mm									62,89*		78,12	1

Estructural Galvanizado A500 Grado C

Estructural Negro A500 Grado C

\*Producción bajo pedido

### Metaltub Tubería Estructural Cuadrada

(Acabado negro y galvanizado)



METALTUB TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA (ACABADO NEGRO Y GALVANIZADO)													
REFERENCIA		ESPEORES EN MILIMETROS								UNIDAD DE EMPAQUE			
Tubos Cuadrados (mm)		1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0		8,0	9,0	10,0
		Peso Teórico Calculado [kg / m]											
50 x 50		2,34	3,08	3,80									100
		2,33	3,07	3,80									
60 x 60		3,71	4,59	5,45									100
		3,70	4,58	5,44									
70 x 70		4,34	5,37	6,39									64
		4,32	5,36	6,38									
90 x 90		5,59	6,94	8,28									36
		5,58	6,93	8,26									
100 x 100		6,22	7,73	9,22									36
		6,20	7,71	9,20	12,14		17,75						
120 x 120					14,81								30
135 x 135					16,69								25
150 x 150					18,58								16
200 x 200						30,88					40,08		12
220 x 220							42,70				54,21*		12
250 x 250								47,09			59,86*		9
300 x 300											68,34		4
												91,25	

Estructural Galvanizado A500 Grado C

Estructural Negro A500 Grado C

\*Producción bajo pedido

**Nota:**

• El peso de la tubería estructural redonda y cuadrada, puede presentar variaciones debido a las tolerancias de norma.



## Anexo.14 Ficha técnica varilla de acero lisa

**1.1 Descripción:**

Varilla de acero al carbono, lisa en forma redonda

**1.2 Norma de referencia**

ASTM A6: Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

ASTM A36: Standard Specification for Carbon Structural Steel

**1.3 Dimensiones del producto**

Medida	Diámetro (mm)
3/8"	9.5
1/2"	12.7
5/8"	15.9
3/4"	19.1
1"	25.4
12 mm	12.0
15 mm	15.0



#### 1.4 Propiedades mecánicas

PUNTO DE FLUENCIA MÍNIMO (MPa)	RESISTENCIA A LA TENSIÓN (MPa)	ELONGACIÓN MÍNIMA A 200mm (%)	ELOGACIÓN MÍNIMA A 50mm(%)
250	400 - 550	20	23

#### 1.5 Especificaciones químicas: N/A



#### 1.7 Especificaciones de presentación

La presentación de la varilla lisa se realiza en atados formados por varios líos. La cantidad de varillas por lío y por atado dependen del diámetro de la varilla y su longitud.

🌐 [WWW.CORPORACIONAG.COM](http://WWW.CORPORACIONAG.COM)

☎ TEL: 2290-9400 / 2290-9401

✉ [ventas@corporacionag.com](mailto:ventas@corporacionag.com)

✉ [info@corporacionag.com](mailto:info@corporacionag.com)

📍 AGCentroamerica



## Anexo.15 Ficha técnica motor eléctrico

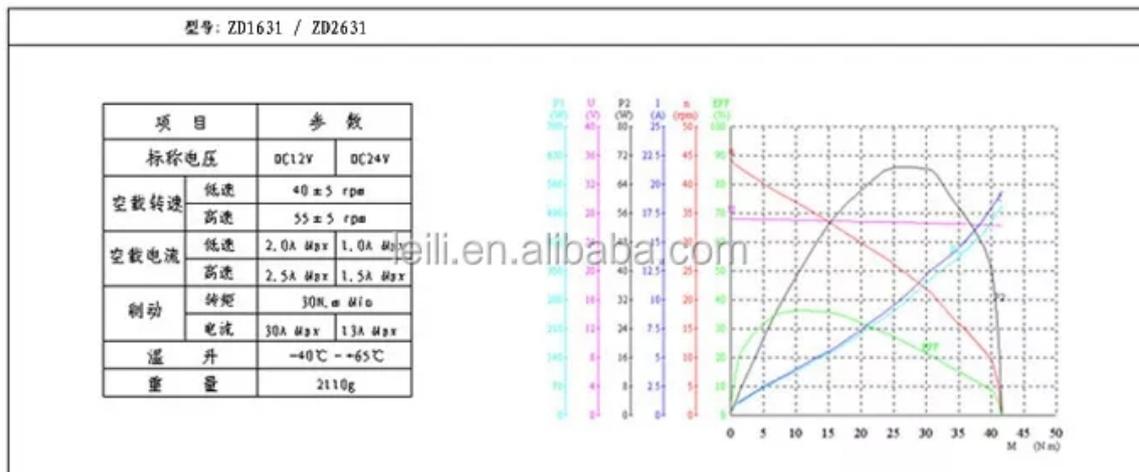
### Descripción general

#### Detalles rápidos

Lugar del origen: Zhejiang, China  
 Número de Modelo: Zd2631,24v, zd1631,12v  
 Marca de coche: autobús  
 de energía: 70w  
 artículo: motor del limpiaparabrisas  
 el certificado: La norma iso 9001, ts 16949  
 de alta velocidad: 55 ±5 rpm  
 de peso: 2110g

Marca: leili  
 OE NO.: ninguno  
 Tipo: motor del limpiaparabrisas  
 de tensión: 24v, 12v  
 origine: la parte continental de china  
 torque plaza: 30n. M min  
 de baja velocidad: ± 40 5 rpm

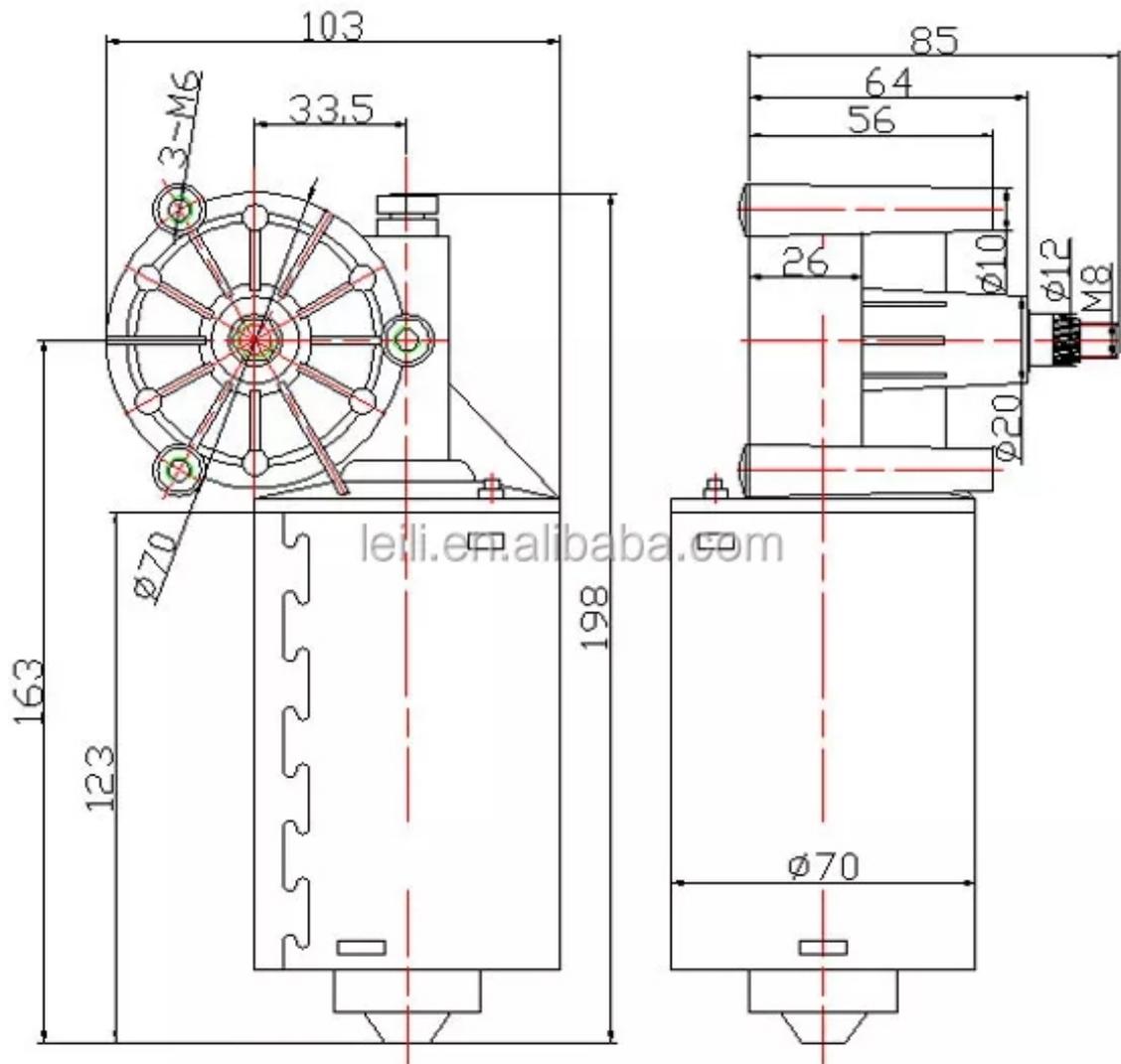
### Motor del limpiaparabrisas parameter:



### parámetro:

artículo	zd2631 parabrisas motor del limpiaparabrisas	zd1631 del limpiador del parabrisas motor eléctrico	
de tensión	dc motor 24v	dc motor 12v	
No- velocidad de la carga	de alta velocidad	55& plusmn; 5 rpm	
	de baja velocidad	40& plusmn; 5 rpm	
No- la corriente de carga	de alta velocidad	2.5a max	1.5a max
	de baja velocidad	2.0a max	1.0a max
de freno	torque plaza	30n. M min	
	actual	30a max	13a max
aumento de la temperatura	- 40& deg; c~+65& deg; c		
de peso	2110		

## Anexo.16 Plano general del motor eléctrico

**Motor del limpiaparabrisas de tamaño:**

## Anexo.17 Ficha técnica del actuador línea LA40

# LA40

The LA40 is a low noise and powerful actuator which is available in a 1,500 N, 4,000 N, 6,000 N and an 8,000 N version.

With the LA40, LINAK offers a new durable actuator with high speed/high performance and mechanical endstop for first failure safety making it the right choice for the future market. The LA40 versions are rated up to IPX6 Washable DURA™, except for the LA40 PL version which is rated up to IPX6.

The LA40 8,000 N is available in three versions:

- Standard
- High Performance (HP)
- Patient Lift (PL)

Based on the extensive knowledge and experience from previous actuator families, LINAK has developed new gear and braking principles that improve the efficiency of the LA40. These innovative solutions are covered by several patents. Equipped with a socket for exchangeable cables, the LA40 has the same flexibility as previous families, and existing minifit cables can be used.

The LA40 family has a very smooth design, enlarging their field of application due to easy cleanability and mounting flexibility.

The LA40 is designed for a wide range of applications within both the medical and beds market such as e.g. care and hospital beds, couches, and dental chairs. The LA40 can be ordered with an optional spline function (push only) and/or quick release.

LA40 8,000 N range:

- The standard version runs 8,000 N from 0-50 mm stroke length with a subsequent decreasing load on the rest of the stroke length
- The High Performance version can perform 8,000 N on full stroke length
- The Patient Lift version can perform 8,000 N on full stroke length.



### Features & Options:

- Load in push: 1,500 N, 4,000 N, 6,000 N and an 8,000 N
- Load in pull:  
LA40 Std. + LA40 HP without spline, up to 2,000 N  
LA40 PL (not suitable for pull)
- Housing colour: Light grey, RAL 7035
- Protection class:  
IPX6, IPX6 Washable DURA™ (manual lowering only IPX6)
- Motor: Std. motor (B), HP motor (G), PL motor (F)
- Stroke length:

#### Standard and High Performance version:

- 1,500 N: 50 - 405 mm (in steps of 5 mm)  
(from 410 - 600 mm stroke is only for special articles)
- 4,000 N: 50 - 300 mm (in steps of 5 mm)
- 6,000 N: 50 - 200 mm (in steps of 5 mm)
- 8,000 N: 50 - 250 mm (in steps of 5 mm)

#### Patient Lift version:

- 8000 N: 50 - 300 mm (in steps of 5 mm) with SF 2.0
- 6000 N: 50 - 400 mm (in steps of 5 mm) with SF 2.0  
(in accordance with ISO 10535)

Longer stroke lengths are possible - please contact your nearest sales office.

This may have influence on the safety factor.

- Minimum built-in dimensions:  
**Standard and High Performance version:**  
 Stroke + 170 mm  
 With mechanical spline, stroke + 180 mm  
 With QR, stroke + 180 mm  
 With mechanical spline and QR, stroke + 190 mm  
 With ratchet spline and QR, stroke + 180 mm  
 With QR Damper, add 15 mm to BID for all QR versions  
**Patient Lift version:**  
 Stroke + 274 mm;  $S \leq 300$  mm  
 Stroke + 294 mm;  $S \leq 400$  mm
- Positioning options: Dual Hall with power switches & dual Hall analogue, encoded with signal switches (16 pulses per rev.)  
 Potentiometer input 0-5 Volt
- Quick release: Internal, only for LA40 Standard versions
- Quick release Damper: Internal, only for LA40 Standard versions
- Manual lowering: Only for Patient Lift version
- Noise level:  $\leq 50$  dB (A)
- Nut: Guided spindle nut for Standard and High Performance  
 Non-guided spindle nut for Patient Lift version (ML)
- Safety nut: Standard
- Spline: Mechanical spline  
 Ratchet spline (for Standard, PL, HP and QR versions only)
  - Required activation force during inward operation: 50-100 N
  - For QR versions:  
 Force required to manually activate spline (actuator not in operation): Static pull force = 300-550 N
- Built-in electrical limit switch: Signal switch or power switch
- Built-in endstop: Mechanical (for safety only)
- Exchangeable cable: Minifit plug
- Safety factor is: Up to 2.5  
 Beds = 2.0  
 Medical = 2.5 (Standard and HP versions) in accordance with norms  
 Medical = 2.0 (PL version) in accordance with norms
- Weight: > 2.0 kg (depending on version and specification)
- Static bending moment: No side load allowed
- Feedback type: None, dual hall (digital or encoded dual hall)  
 Potentiometer (only for QR version)

#### Usage:

- Duty cycle: 10%, 2 minutes continuous use, followed by 18 minutes not in use
- Usage temperature: 5 °C to 40 °C
- Storage temperature: -10 °C to 50 °C
- Compatibility: Compatible with LINAK control boxes. Please contact LINAK.
- Relative humidity: 20% to 80% - non-condensing
- Atmospheric pressure: 700 to 1,060 hPa
- Height above sea level: Max. 3,000 meters
- Flammability rating: UL94V-2
- Approvals: IEC 60601-1, ANSI/AAMI ES60601-1, CAN/CSA-C22.2 No 60601-1

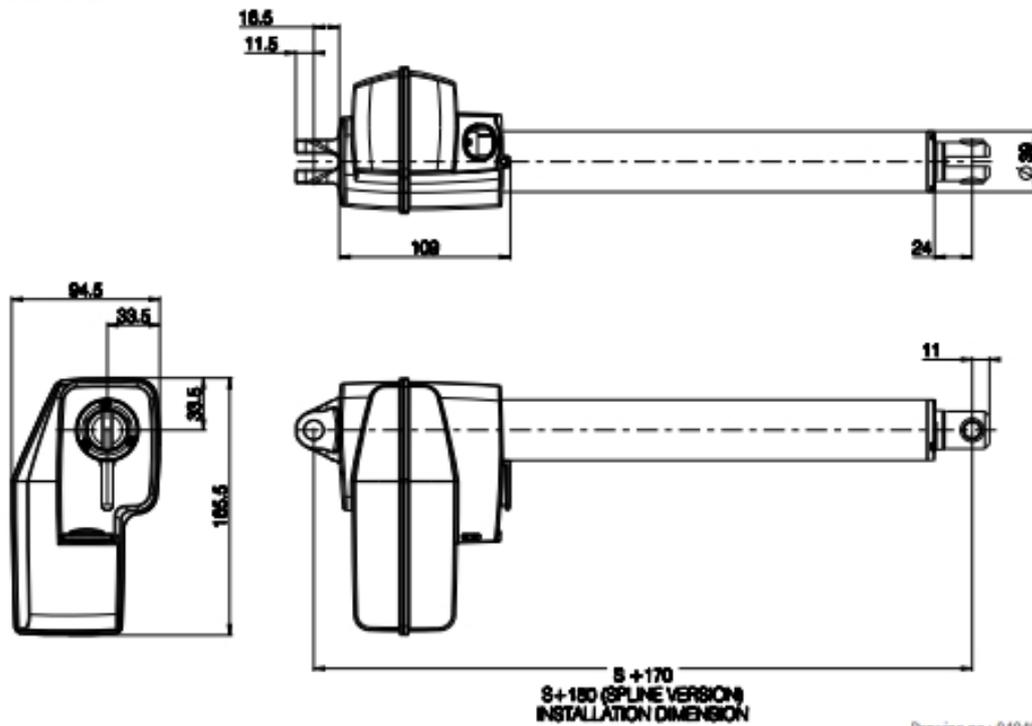
#### Technical specification

Actuator type	Motor type	Power Supply	Spindle pitch (mm)	Max. load Push (N)	Self-locking Push (N)	Max. load pull without spline (N)	Typical speed at 0/max. load (mm/sec.)	Typical current at full load (Amps)
LA40 Std.	Standard (B)	24 VDC	3	8,000	8,000	2,000	4.1/2.5	5.5
LA40 Std.	Standard (B)	33 VDC	3	8,000	8,000	2,000	5.5/4.0	5.5
LA40 Std.	Standard (B)	24 VDC	4	8,000	8,000	2,000	5.5/3.0	6.1
LA40 Std.	Standard (B)	33 VDC	4	8,000	8,000	2,000	7.3/5.0	6.3
LA40 HP	HP motor (G)	33 VDC	4	8,000	8,000	2,000	9.2/6.5	7.5
LA40 PL	PL motor (F)	24 VDC	4	8,000	8,000	-	9.3/6.1	9.0
LA40 Std.	Standard (B)	24 VDC	4	6,000	6,000	2,000	5.5/3.6	5.1
LA40 Std.	Standard (B)	33 VDC	4	6,000	6,000	2,000	7.3/5.6	5.0
LA40 Std.	QR	24V DC	5	4,000	4,000	-	6.5/5.2	3.5
LA40 Std.	QR	33V DC	5	4,000	4,000	-	9.0/7.5	3.7
LA40 Std.	Standard (B)	24V DC	5	4,000	4,000	2,000	6.5/5.2	3.5
LA40 Std.	Standard (B)	33V DC	5	4,000	4,000	2,000	9.0/7.5	3.7
LA40 Std.	Standard (B)	24V DC	9	1,500	1,500	1,500	11.9/10.4	2.3
LA40 Std.	Standard (B)	33V DC	9	1,500	1,500	1,500	16.3/14.9	2.3

## Anexo.18 Plano general del actuador lineal LA40

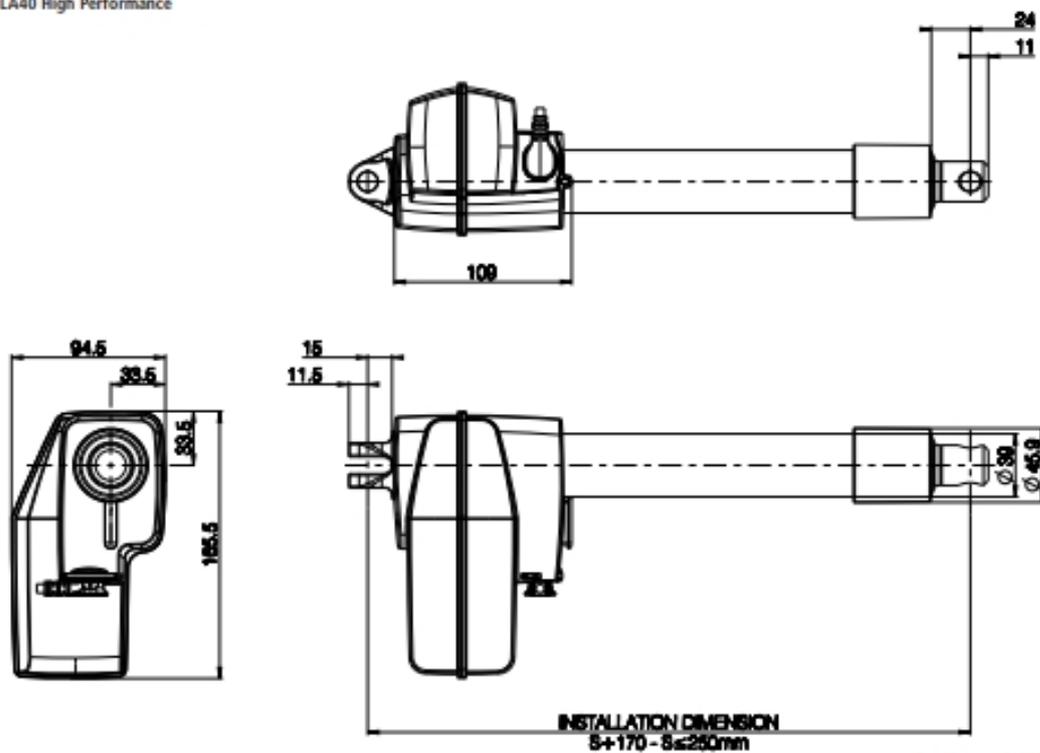
Dimension drawing

LA40 Standard



Drawing no.: 0404006

LA40 High Performance

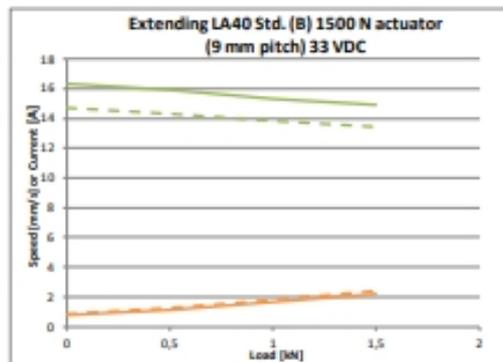
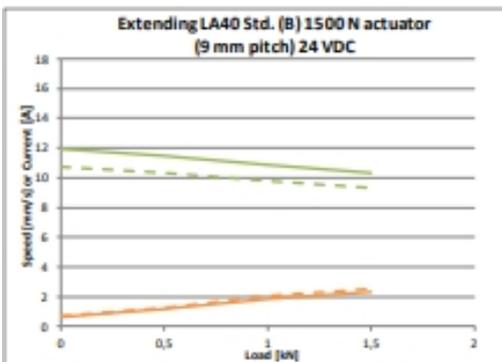
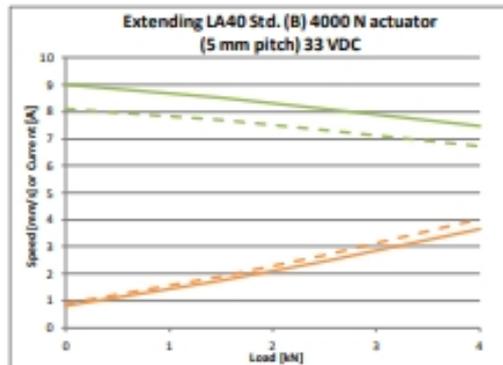
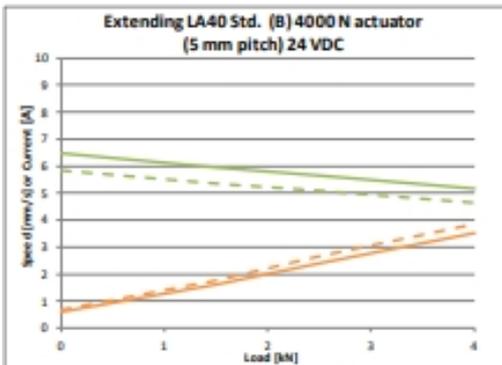
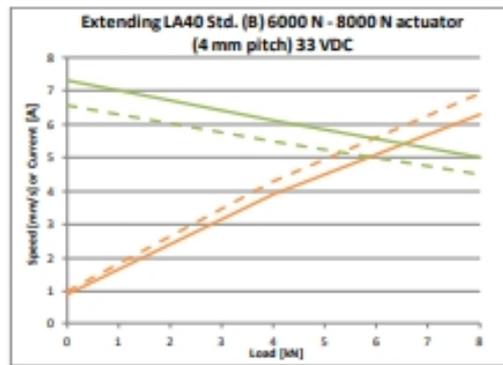
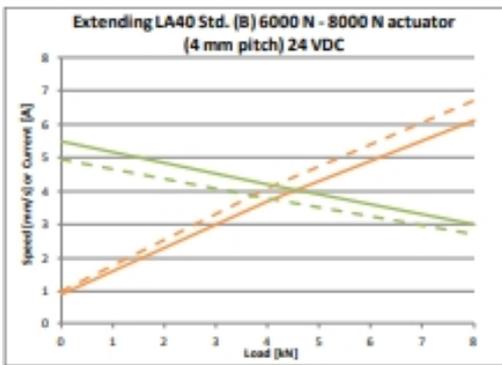
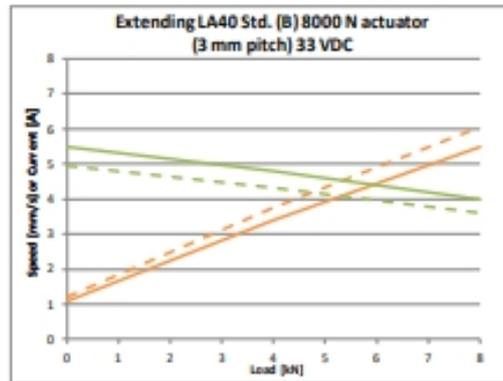
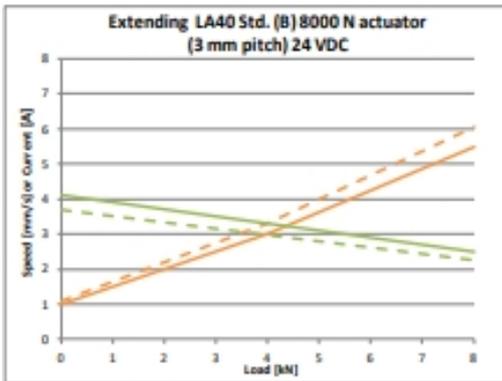


Drawing no.: 0404021

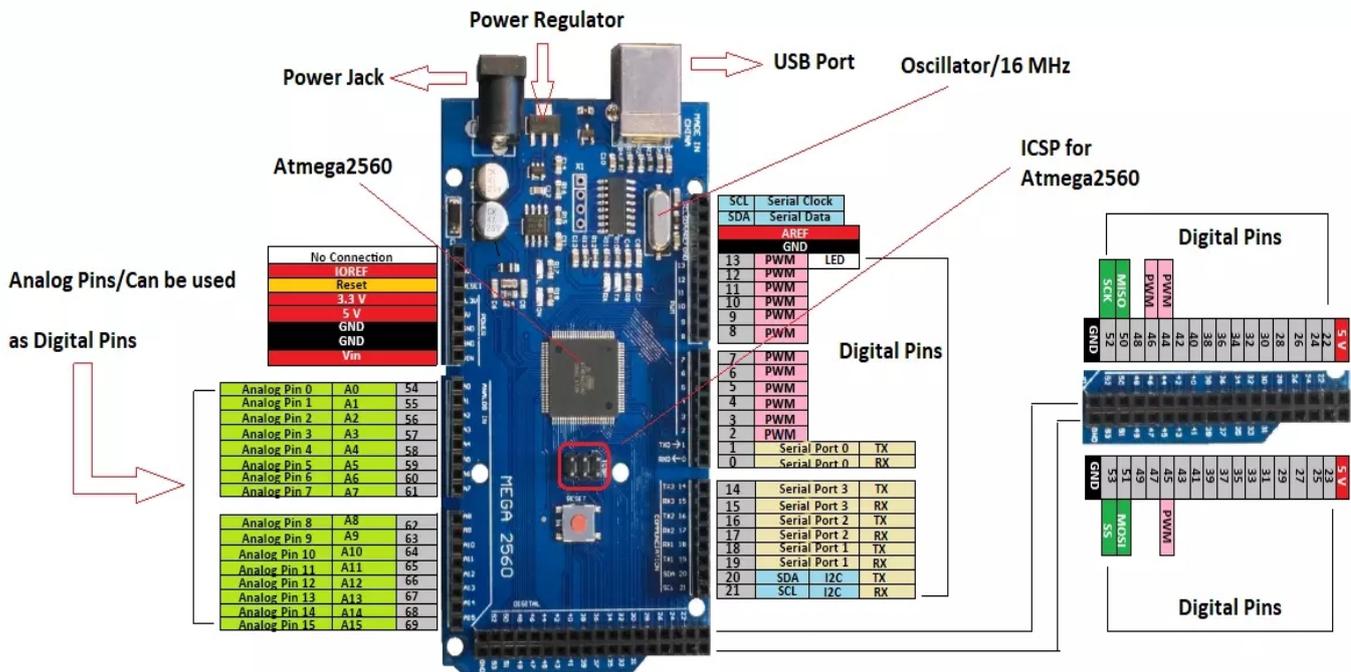
Anexo.19 Graficas de carga del actuador lineal LA40

Load curves

LA40 Standard, motor type B:

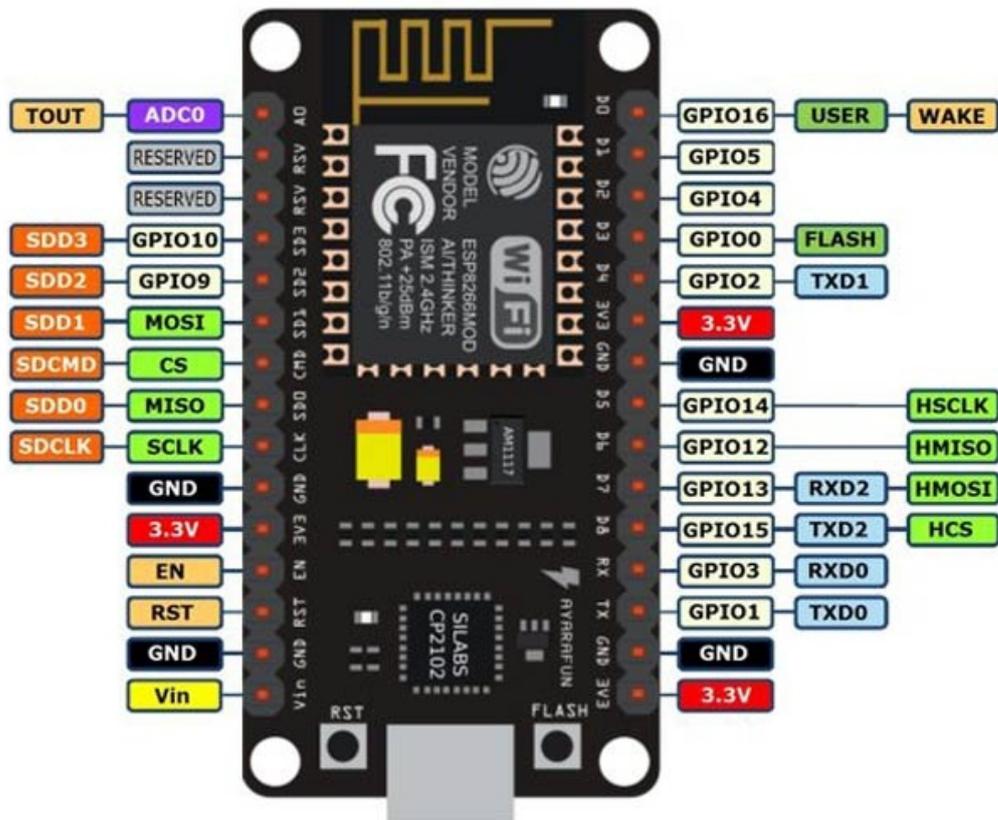


Anexo.20 Datasheet ArduinoMEGA2560



**Arduino Mega 2560 Pinout**

## Anexo.21 Datasheet ESP8266



## Anexo.22 Código ArduinoMEGA2560

```

const int Trigger = 22; //Pin digital 22 para el Trigger del sensor
const int Echo = 23; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
const int Trigger1 = 24; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo1 = 25; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
const int Trigger2 = 26; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo2 = 27; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
const int Trigger3 = 28; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo3 = 29; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
long t; //timepo que demora en llegar el eco
long d; //distancia en centimetros
long t1; //timepo que demora en llegar el eco
long d1; //distancia en centimetros
long t2; //timepo que demora en llegar el eco
long d2; //distancia en centimetros
long t3; //timepo que demora en llegar el eco
long d3; //distancia en centimetros
int Cambiovia=0;
int carrera=30;
int Recto;
int Inte;
int Puls;
int Pulsador=2; // Pin para el pusaldor
int Interruptor=3;
int Val_puls=2;
int Act1=4;
int Act2=5;
int Estadocarrera=0;
void setup() {

  Serial.begin(9600);//inicializamos la comunicación serial
  Serial1.begin(9600);//inicoamos comunicacion serial 1
  Serial.print(char(169)); // Copyright Symbol
  Serial.println("UAN");
  Serial1.println(3);
  pinMode(carrera,INPUT);
  pinMode(Pulsador,INPUT);
  pinMode(Interruptor,INPUT);
  pinMode(Act1,OUTPUT);
  pinMode(Act2,OUTPUT);
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger, LOW);//Inicializamos el pin con 0

  pinMode(Trigger1, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo1, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger1, LOW);//Inicializamos el pin con 0

```

```

    pinMode(Triquer2, OUTPUT); //pin como salida
pinMode(Echo2, INPUT); //pin como entrada
    digitalWrite(Triquer2, LOW); //Inicializamos el pin con 0

    pinMode(Triquer3, OUTPUT); //pin como salida
pinMode(Echo3, INPUT); //pin como entrada
    digitalWrite(Triquer3, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}

void loop()
{
    sensores (); //llamamos la funcion
    Puls = digitalRead(Pulsador); //leemos el estado del pulsador
    Inte = digitalRead(Interruptor); //leemos el estado del interruptor
    Estadocarrera = digitalRead(carrera);
    delay(99);
    //llamamos cada una de las funciones
    inicio();
    arranque();
    cambiodevia();
    curva();
    final();
}

void inicio()
{
    if(d3>=0 && d3<=15 && Val_puls==0){
        Serial1.println(3);
        Val_puls=1;
        Serial.println("Inicio");
        delay(99);
    }
}

void arranque()
{
    if(Inte==1 && Puls==1){
        Val_puls=0;
        Cambiovia=1;
        Serial1.println(1);
        Serial.println("Arranque");
        delay(99);
    }

    if(Inte==0 && Puls==1){
        Val_puls=0;
        Cambiovia=0;
        Serial1.println(1);
        Serial.println("Arranque");
        delay(99);
    }
}

```

```
    }  
  }  
  void cambiodevia()  
{  
    if(d2<=32 && d2>30 && Cambiovia==1)  
    {  
      Serial1.println(3);  
      Serial.println("Actuador");  
      digitalWrite(Act1,0); //puente H  
      digitalWrite(Act2,1);  
      delay(30000);  
      Serial1.println(1);  
      Serial.println("Arrancar");  
      Cambiovia=2;  
  
      delay(99);  
    }  
    if(d2<=32 && d2>30 && Cambiovia==0)  
    {  
  
      Serial.println("Seguir");  
      digitalWrite(Act1,1); //puente H  
      digitalWrite(Act2,0);  
      delay(2000);  
  
      delay(99);  
    }  
  }  
  void curva()  
{  
  
    if(d1>=5 && d1<=30)  
    {  
      Serial1.println(3);  
      Serial.println("FinalCurva");  
      delay(2000);  
      Serial1.println(2);  
      Serial.println("Reversa");  
      delay(5000);  
      Cambiovia=0;  
  
      }  
  }  
  void final()  
{
```

```

if(d>=5 && d<=30)
{
    Serial1.println(3);
    Cambiovia =0;
    Serial.println("Final");
    delay(2000);
    Serial1.println(2);
    Serial.println("Reversa");
        delay(5000);
    }
}
void sensores ()
{
    if (Estadocarrera==0){
digitalWrite(Triquer, HIGH);
delayMicroseconds(10);          //Enviamos un pulso de 10us
digitalWrite(Triquer, LOW);
t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
d = t/59;                    //escalamos el tiempo a una distancia en cm
        Serial.print("d=");
Serial.println(d);
delay(99);
    }
    if (Estadocarrera==1){
digitalWrite(Triquer1, HIGH);
delayMicroseconds(10);          //Enviamos un pulso de 10us
digitalWrite(Triquer1, LOW);
t1 = pulseIn(Echo1, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
d1 = t1/59;                   //escalamos el tiempo a una distancia en cm
        Serial.print("d1=");
Serial.println(d1);
delay(99);
    }
digitalWrite(Triquer2, HIGH);
delayMicroseconds(10);          //Enviamos un pulso de 10us
digitalWrite(Triquer2, LOW);
t2 = pulseIn(Echo2, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
d2 = t2/59;                   //escalamos el tiempo a una distancia en cm
        Serial.print("d2=");
Serial.println(d2);

delay(99);

digitalWrite(Triquer3, HIGH);
delayMicroseconds(10);          //Enviamos un pulso de 10us
digitalWrite(Triquer3, LOW);

```

```
t3 = pulseIn(Echo3, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
d3 = t3/59;                //escalamos el tiempo a una distancia en cm
    Serial.print("d3=");
    Serial.println(d3);

delay(99);
}
```

## Anexo.23 Código ESP8266 Central

```

#define __DEBUG__
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <espnw.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#define ANCHO_PANTALLA 128 // ancho pantalla OLED
#define ALTO_PANTALLA 64 // alto pantalla OLED
uint8_t broadcastAddress[] = {0x34, 0xAB, 0x95, 0x24, 0x11, 0x71}; //Mac
del ESP que recibe informacion
#include <SoftwareSerial.h>
#define DEBUG(a) Serial.println(a);
SoftwareSerial mySerial(13, 15); // RX, TX
int R=0;
// Objeto Adafruit_SSD1306
Adafruit_SSD1306 display(ANCHO_PANTALLA, ALTO_PANTALLA, &Wire, -1);

int valor;
typedef struct struct_message {
    unsigned long Car;
} struct_message;

struct_message myDataRec;
struct_message myDataSen;

void OnDataSent(uint8_t *mac_addr, uint8_t sendStatus) {
    Serial.print("Last Packet Send Status: ");
    if (sendStatus == 0){
        Serial.println("Delivery success");
    }
    else{
        Serial.println("Delivery fail");
    }
}

void OnDataRecv(uint8_t * mac, uint8_t *incomingData, uint8_t len) {
    memcpy(&myDataRec, incomingData, sizeof(myDataRec));
    Serial.print("Bytes received: ");
    Serial.println(len);
    Serial.print("Rpm: ");
    Serial.println(myDataRec.Car);
    R = (myDataRec.Car*10);
    display.clearDisplay();
    display.setCursor(10, 32); // Posición del texto
    display.println("RPM="+ R); // Escribir texto
    display.display(); // Enviar a pantalla
}

```

```

}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
#ifdef __DEBUG__
    Serial.println("No se encuentra la pantalla OLED");
#endif
    while (true);
  }
  display.clearDisplay();
  // Tamaño del texto
  display.setTextSize(1);
  // Color del texto
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  // Posición del texto
  display.setCursor(10, 32);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.disconnect();
  if (esp_now_init() != 0) {
    Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
    return;
  }
  esp_now_set_self_role(ESP_NOW_ROLE_COMBO);

  esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
  esp_now_add_peer(broadcastAddress, ESP_NOW_ROLE_COMBO, 1, NULL, 0);

  esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
}
void loop() {
  if (mySerial.available() > 0)
  {
    int valor_medido = mySerial.parseInt(); //El
    parseInt funciona cuando en arduino..

    if (valor_medido != 0)
    {
      valor = valor_medido;
      Serial.println("dato"+ String(valor));
      myDataSen.Car = valor;
      delay(999);
    }

  }
  esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myDataSen,
  sizeof(myDataSen));
}

```

## Anexo.24 Código ESP8266 Vehículo eléctrico

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <espnow.h>
uint8_t broadcastAddress[] = {0x34, 0xAB, 0x95, 0x24, 0x9D, 0x87}; //Mac
del ESP que recibe informacion

const int interruptPin = 12; // Define el pin de interrupcion
(GPIO12)(D6)
const int interruptIR = 13; // Define el pin de interrupcion (GPIO12)(D7)
typedef struct struct_message {
    unsigned long Car;
} struct_message;
String success;
// Se inician las variables
int Mplus=5; //D1
int Mneg=4; //D2
int contador=0;
int EstadoIR = 0;
int code=0 ;
unsigned long Rpm;
unsigned long timeold;

//Estructuras de enviar y recibir informacion
struct_message myDataRec;
struct_message myDataSen;

void OnDataSent(uint8_t *mac_addr, uint8_t sendStatus) {
    Serial.print("Last Packet Send Status: ");
    if (sendStatus == 0){
        Serial.println("Delivery success");
    }
    else{
        Serial.println("Delivery fail");
    }
}

void OnDataRecv(uint8_t * mac, uint8_t *incomingData, uint8_t len) {
    memcpy(&myDataRec, incomingData, sizeof(myDataRec));
    Serial.print("Bytes received: ");
    Serial.println(len);
    Serial.print("Code: ");
    Serial.println(myDataRec.Car);
    code = myDataRec.Car;
}
//
void setup() {
    Serial.begin(9600); // Se inicia la comunicacion serial a 9600 baudios/
    WiFi.mode(WIFI_STA); //modo wifi
    WiFi.disconnect();

```

```

if (esp_now_init() != 0) {
    Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
    return;
}
// Set ESP-NOW Role
esp_now_set_self_role(ESP_NOW_ROLE_COMBO);
// Once ESPNow is successfully Init, we will register for Send CB to
// get the status of Trasnmitted packet
esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
// Register peer
esp_now_add_peer(broadcastAddress, ESP_NOW_ROLE_COMBO, 1, NULL, 0);
// Once ESPNow is successfully Init, we will register for recv CB to
// get recv packer info
esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP);
pinMode(interruptIR, INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), contar, RISING);
contador = 0;
Rpm = 0;
timeold = 0;
pinMode(Mplus, OUTPUT);
pinMode(Mneg, OUTPUT);
}

void loop() {
Serial.println(contador);
EstadoIR = digitalRead(interruptIR);
if(EstadoIR == 0)
{
obstaculo ();
return;
}

switch (code)
{
    case 1:
        digitalWrite(Mplus,1);
        digitalWrite(Mneg,0);
        break;
    case 2:
        digitalWrite(Mplus,0);
        digitalWrite(Mneg,1);
        break;
    case 3:
        digitalWrite(Mplus,0);
        digitalWrite(Mneg,0);
        break;
}
}

```

```
delay(999); // delay de 999ms
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin));
Rpm = 10*100/ (millis()-timeold)*contador;
timeold=millis();
contador =0;
myDataSen.Car = Rpm;
esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myDataSen,
sizeof(myDataSen));
Serial.print("RPM =");
Serial.print(Rpm);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), contar, RISING);
}

void obstaculo ()// Funcion para detener el vehiculo
digitalWrite(Mplus,0);
digitalWrite(Mneg,0);
}

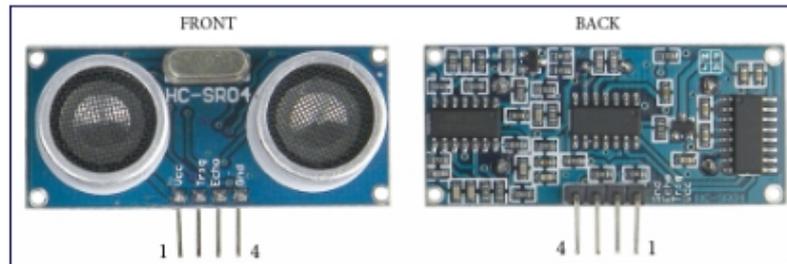
IRAM_ATTR void contar ()// Funcion contar para aumentar la variable
contador por vuelta
{
contador++;
}
```

## HC-SR04 Datasheet Preview

# HC-SR04 Datasheet

## Ultrasonic Sensor User Guide

### 3. Product Views



### 4. Module Pin Assignments

	Pin Symbol	Pin Function Description
1	VCC	5V power supply
2	Trig	Trigger Input pin
3	Echo	Receiver Output pin
4	GND	Power ground

### 5. Electrical Specifications

#### **WARNING**

**Do Not connect Module with Power Applied! Always apply power after connecting Connect "GND" Terminal first**

Electrical Parameters	HC-SR04 Ultrasonic Module
Operating Voltage	5VDC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Max. Range	4m
Nearest Range	2cm
Measuring Angle	15 Degrees
Input Trigger Signal	10us min. TTL pulse
Output Echo Signal	TTL level signal, proportional to distance
Board Dimensions	1-13/16" X 13/16" X 5/8"
Board Connections	4 X 0.1" Pitch Right Angle Header Pins

**OKY3127: SENSOR DE PROXIMIDAD INFRARROJO FC-51****Descripción**

Este módulo fotoeléctrico basa su principio de funcionamiento en un transmisor y receptor IR para identificar obstáculos delante del sensor en un rango de 2 a 30cm de distancia. El módulo cuenta con un potenciómetro que permite al usuario ajustar el rango de detección

El sensor tiene una respuesta muy buena y estable incluso con luz ambiente o en completa oscuridad, se puede interconectar con Arduino, Raspberri Pi o cualquier microcontrolador que tenga un nivel de tensión de IO de 3.3V a 5V.

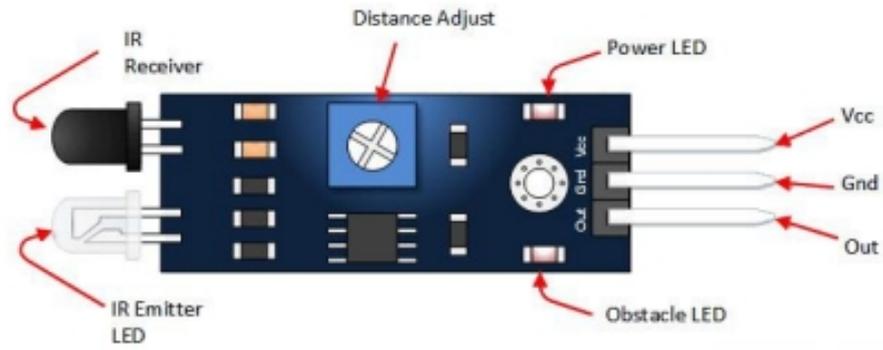
**Características**

- Circuito de detección basado en el LM393 y tecnología IR
- Comparador estable y preciso
- Sensibilidad ajustable
- LED indicador de alimentación
- LED indicador de obtaculo
- Orificio de montaje, diametro 3mm
- Excelente desempeño en luz ambiente
- Dimensiones aproximadas 31\*14mm

**Especificaciones**

Voltaje de trabajo	3V~6V
Angulo de cobertura	35°
Rango de detección	2~30cm
Consumo de corriente	23mA (3.3V)
	43mA 85V)

**PINOUT**



AG

Electrónica

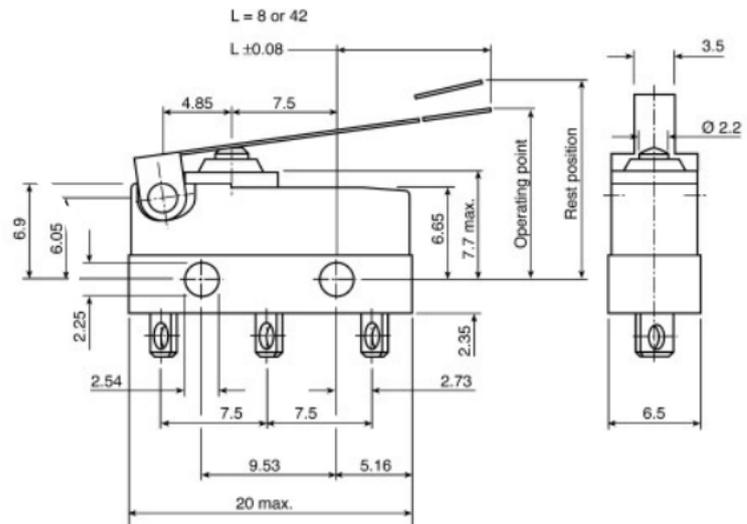
¿Qué vamos a innovar hoy?

	AG Electrónica S.A.P.I. de C.V. República del Salvador N° 20 Segundo Piso Teléfono: (01)55 5130 - 7210		
ACOTACIÓN: N/A	<a href="http://www.agelectronica.com">http://www.agelectronica.com</a>	ESCALA: N/A	REALIZO: DGG REV: DGG
TOLERANCIA: N/A	SENSOR DE PROXIMIDAD INFRARROJO FC-51		
TOLERANCIA: N/A	Fecha: 21/07/2019	<b>No. Parte: OKY3127</b>	

## Anexo.27 Datasheet final de carrera YL-99

**DC1C-A11C FINAL DE CARRERA DE PALANCA IP67****Micro interruptor final de carrera de palanca SPDT.**

- Contacto: 6A a 250Vac
- Tipo de actuador: Palanca
- Tipo terminal: Soldable
- Clase de protección IP: IP67



Anexo.28 Hoja de cálculos.

Punto1.

$$w = \left( 50k \cdot \frac{9.8 \text{ N}}{1k} \right) = 490.5 \text{ N}$$

Punto2.

$$F = (0.5)(490.5 \text{ N}) = 245.25 \text{ N}$$

Punto3.

$$T = F \cdot R_2 = (245.5 \text{ N})(0.0475 \text{ m}) = 11.66 \text{ N.m}$$

Donde,

P → Potencia de motor eléctrico

T → Torque del motor eléctrico

$w_2$  → Velocidad angular de salida del vehículo

Punto4.

$$\sum M = 0 \text{ (4-2)}$$

$$-B_y \cdot L + F \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$B_y = \frac{(490.5 \text{ N})(32.54 \text{ cm})}{65.08 \text{ cm}} = 245.25 \text{ N}$$

Punto5.

$$\sum F_y = 0 \text{ (4-1)}$$

$$A_y + B_y = F$$

$$A_y = (490.5 \text{ N}) - (245.25 \text{ N}) = 245.25 \text{ N}$$

Punto6.

$$F_m = \frac{L}{2} \quad (4-5)$$

$$F_m = \frac{110c}{25} = 4.4c$$

Punto7.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{w_1}{w_2} \quad (4-8)$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{30}{10} \rightarrow w_2 = \frac{(10)(60)}{(30)} = 20R_i$$

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{20}{60} = \frac{1}{3}$$

Donde,

D → Diámetro de los engranajes

Z → Numero de dientes de los engranajes

W → Velocidad angular de los engranajes

Punto8.

$$V = w_2 \cdot R_2 = \left(6.28 \frac{r}{s}\right) (0.0475m) = 0.29 \text{ m/s} \quad (4-27)$$

$$V = w_2 \cdot R_2 = \left(2.09 \frac{r}{s}\right) (0.0475m) = 0.099 \text{ m/s}$$

Donde

V → Velocidad lineal

R<sub>2</sub> → Radio del engranaje de salida

w<sub>2</sub> → Velocidad angular del engranaje de salida

---

Punto9.

A continuación, se define la relación entre las variables dependientes e independientes del modelo Ec.14.

$$\dot{\theta}_1 = \frac{N_2}{N_1} * \dot{\theta}_2 \quad , \quad \dot{\theta}_2 = \frac{N_1}{N_2} * \dot{\theta}_1 \quad \text{Ec.14}$$

Donde,

N1 → Número de dientes engranaje 1

N2 → Número de dientes engranaje 2

W1 →  $\dot{\theta}_1$  → Velocidad angular engranaje 1

W2 →  $\dot{\theta}_2$  → Velocidad angular engranaje 2

Se define la tasa de deformación por tracción en la cadena mediante la ecuación 4-9.

$$\dot{x} = \dot{\theta}_2 * R_2 - \dot{\theta}_1 * R_1 \quad (4-9)$$

Se calcula el torque del modelo, en función de  $\theta_2$  teniendo como resultado la ecuación 4-15.

$$T = \frac{1}{2} * \left[ I m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + m c R_2^2 - 2 m_2 * \frac{N_2}{N_1} * R_1 * R_2 + m c \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_1^2 \right] \dot{\theta}_2^2 \quad (4-15)$$

Se calcula el voltaje del modelo, en función de  $\theta_2$  teniendo como resultado la siguiente ecuación.

$$V = \frac{1}{2} \left[ k m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + k c R_2^2 - 2 k c \frac{N_2}{N_1} R_1 R_2 + \frac{1}{2} k c \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 R_1^2 \right] \theta_2^2 \quad (4-18)$$

Se calcula la disipación del modelo, en función de  $\theta_2$  y  $\dot{q}$  teniendo como resultado la siguiente ecuación.

$$D = \frac{1}{2} \left[ C R_2^2 - 2 R_1 * R_2 \frac{N_2}{N_1} + C \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 + C m \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \right] \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} R_a \dot{q}^2 \quad (4-19)$$

Para modelar de manera correcta el sistema, se calculan las ecuaciones que representan el trabajo no conservativo, se despejan las ecuaciones usando la transformada de Laplace, teniendo como resultado lo siguiente.

$$\theta_2 = I_e \ddot{\theta}_2 + C_e \dot{\theta}_2 + v_e \theta_2 - K_T i \frac{N_2}{N_1} = T \quad (4-21)$$

$$q = L \frac{d}{dt} i + R_a i + K_b \frac{N_2}{N_1} \dot{\theta}_2 = V \quad (4-22)$$

$$\begin{bmatrix} I_e S^2 + C_e + v_e & -K_T \frac{N_2}{N_1} \\ K_b \frac{N_2}{N_1} S & L S + R_a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{\theta}_2(s) \\ I(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T(s) \\ V(s) \end{bmatrix} \quad (4-23)$$

H (s)

Punto 10.

$$k = \frac{2.4 \text{ N}}{0.0} = 1.47 \text{ k /m} \quad (4-10)$$