UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TÍTULO:

ESTUDIO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO COMO FUENTE DE POTENCIA PARA UN VEHÍCULO TUBULAR

Tesis de grado previo a optar por el título de Ingeniero en Mecánica Automotriz.

Autor:
Carlos Alberto Salinas Masache.

Director:
Ing. Carlos Raúl Barreto Calle, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR
2018

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.

Ing. Carlos Raúl Barreto Calle, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber asesorado, dirigido, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado en todo su proceso de investigación cuyo tema versa "**ESTUDIO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO COMO FUENTE DE POTENCIA PARA UN VEHÍCULO TUBULAR"** previo a la optar por el título de Ingeniero en Mecánica Automotriz, realizado por el señor egresado: **CARLOS ALBERTO SALINAS MASACHE**, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 26 de marzo de 2018

Ing. Carlos Raúl Barreto Calle, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **Carlos Alberto Salinas Masache,** declaró ser autor del presente trabajo de tesis de grado y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma.

Además autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional o en la Biblioteca Virtual.

Autor: Carlos Alberto Salinas Masache

Firma:

Cédula: 1104985062

Fecha: 3 – 09 - 2018

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **Carlos Alberto Salinas Masache**, declaro ser autor de la tesis de grado titulada: **"ESTUDIO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO COMO FUENTE DE POTENCIA PARA UN VEHÍCULO TUBULAR"** siendo requisito indispensable para optar por el título de **INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**; Autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visualización de su contenido que constara en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de septiembre del dos mil dieciocho.

Firma: CarloSalinas

Autor: Carlos Alberto Salinas Masache

Cédula: 1104985062

Dirección: Loja-Calvas –Cariamanga (Gerónimo Carrión y Atahualpa)

Correo electrónico: carlossalinasmasache@yahoo.com

Teléfono: 2689111 **Celular:** 0959536319

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Carlos Raúl Barreto Calle, Mg. Sc.

Tribunal de grado:

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.

Ing. Jairo Darío Castillo Calderón, MSc.

DEDICATORIA

Esta tesis de grado está dedicado principalmente a Dios y a la santísima Virgen del Cisne, por haberme dado la vida y bendecido y así permitirme haber llegado hasta este momento tan importa de mi formación profesional.

A mis padres Josefina Masache y Efraín Salinas, por su apoyo incondicional en lo moral y económico en toda mi carrera, inculcándome con firmeza y valores necesarios para terminar una meta más de mi vida.

A mis hermanos Walter, Doris, Deysi, Paulina, Claribel, Andrea y Verónica, a mi tía Rosa Masache y a toda familia en general por brindarme su apoyo incondicional y haber compartido buenos y malos momentos en el transcurso de mi carrera.

A mi esposa Elizabeth y a mi hija Valentina por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar y brindarle un futuro mejor.

Carlos Salinas Masache.

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios y a la santísima Virgen del Cisne, por brindarme fuerzas y valor para culminar una etapa más de mi vida.

En segundo lugar a cada uno de los miembros que integran mi familia, ya que siempre me brindaron su apoyo incondicional, ayudándome a lograr y estar en este momento tan importante y especial de en mi vida.

Agradecer de igual manera a la Universidad Nacional de Loja en especial a la carrera de Ingeniería en Mecánica Automotriz por haberme abierto las puertas y tener la oportunidad de estudiar y ser un profesional; un agradecimiento especial a mi asesor el Ing. Raúl Barreto por impartirme sus conocimientos y experiencias y hacer posible esta tesis de grado; de igual manera a cada uno de mis maestros que con sabiduría y profesionalismo impartieron sus conocimientos los cuales me ayudaron a ser un profesional y a mis compañeros que trabajaron arduamente en la culminación de esta tesis de grado.

Carlos Salinas Masache.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR ii
AUTORÍA iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN iv
DEDICATORIA v
AGRADECIMIENTO vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS vii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xii
a. TÍTULO 1
b. RESUMEN 2
c. INTRODUCCIÓN 4
d. REVISIÓN DE LITERATURA 6
1. CAPÍTULO 1: Motores eléctricos 6
1.1. Motor eléctrico 6
1.1.1. Funcionamiento. 7
1.1.2. Partes de un motor eléctrico. 8
1.1.3. Tipos de motores. 13
1.2. Motores eléctricos implementados en vehículos 26
1.2.1. Vehículo eléctrico 26
1.2.2. Partes principales que conforman un vehículo eléctrico. 26
1.2.3. Principio de funcionamiento de un vehículo eléctrico. 27
1.2.4. Motor eléctrico en vehículos. 27
1.2.5. Ventajas del motor eléctrico en los vehículos. 30
1.2.6. Desventajas del motor eléctrico en automóviles. 32
1.3. Características generales de los motores eléctricos 33
1.3.1. Potencia. 33
1.3.2. Factor de potencia. 36
1.3.3. Voltaje o tensión. 36
1.3.4. Corriente eléctrica. 38
1.3.5. Velocidad síncrona. 40
1.3.6. Número de fases. 41
1.3.7. Deslizamiento. 41
1.3.8. Frecuencia. 42
1.3.9. Eficiencia. 42
1.3.10. Par. 43

1.4. Mantenimiento que se realiza a un motor eléctrico. 43
1.4.1. Fallas en rodamientos. 44
1.4.2. Lubricación a rodamientos y cojinetes. 45
1.4.3. Desarmado de un motor. 45
2. CAPÍTULO 2: Factores que intervienen en el movimiento del vehículo 48
2.1. Fuerzas resistentes al movimiento 48
2.1.1. Resistencia a la pendiente. 48
2.1.2. Resistencia a la rodadura. 50
2.1.3. Resistencia aerodinámica. 51
2.1.4. Resistencia de la inercia. 55
2.1.5. Resistencia total. 56
3. CAPÍTULO 3: Generalidades de un vehículo tubular 57
3.1. Vehículo con bastidor o chasis tubular 57
3.2. Carrocería 58
3.3. Asientos 58
3.4. Sistema de transmisión 58
3.4.1. Sistema CVT. 59
3.4.2. Transmisión por cadena. 60
3.5. Ruedas 61
3.6. Transmisión eléctrica 61
3.6.1. Elementos que conforma un sistema de transmisión eléctrica. 62
3.7. Sistema de suspensión 64
3.8. Sistema de freno 65
3.9. Sistema de dirección 66
e. MATERIALES Y MÉTODOS 67
1. Materiales 67
2. Procedimiento 68
2.1. Recopilación de información 68
2.1.1. Topografía de la ciudad de Loja. 69
2.2. Determinación de parámetros para funcionamiento del vehículo eléctrico 70
2.3. Selección del tipo de vehículo. 71
2.3.1. Cálculo y selección del motor eléctrico 72
2.3.2. Cálculo de resistencia a la pendiente. 73
2.3.3. Cálculo de resistencia a la rodadura. 76
2.3.4. Cálculo de la resistencia aerodinámica. 80
2.3.5. Cálculo de resistencia a la inercia. 83

2.3.6. Fuerza de tracción. 84
2.3.7. Parámetro para la selección de un motor eléctrico. 85
2.3.8. Selección de motor. 86
2.3.9. Estudio del motor elegido. 87
2.3.10. Cálculo del torque máximo 92
2.3.11. Relación de transmisión. 94
2.3.12. Velocidad máxima: 96
2.4. Selección y construcción de acoples para transmitir potencia 97
2.5. Implementación del motor eléctrico al vehículo tubular. 97
2.6. Conexionado eléctrico y electrónico de los componentes. 99
2.7. Pruebas de funcionamiento del vehículo eléctrico tubular. 102
2.7.1. Protocolo para pruebas de funcionamiento. 102
f. RESULTADOS 110
3. Pruebas de funcionamiento 110
3.1. Prueba de velocidad y aceleración. 114
3.2. Prueba en carretera plana. 116
3.3. Prueba en carretera con pendiente 117
3.4. Prueba de autonomía 119
g. DISCUSIÓN 121
h. CONCLUSIONES 123
i. RECOMENDACIONES. 124
j. BIBLIOGRAFÍA 125
k. ANEXOS 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor eléctrico. 7
Figura 2. Partes que forman un motor eléctrico. 8
Figura 3. Estator de un motor eléctrico. 9
Figura 4. Rotor de un motor eléctrico. 10
Figura 5. Eje de rotación en un motor eléctrico. 10
Figura 6. Caja de terminales de conexión. 11
Figura 7. Tapas de protección de un motor eléctrico. 12
Figura 8. Rodamiento de un motor eléctrico. 12
Figura 9. Esquema de un motor CC. 15
Figura 10. Clasificación de los motores de CC. 15
Figura 11. Esquema de un motor por auto-excitación. 17
Figura 12. Conexión en delta. 24
Figura 13. Conexión en estrella. 24
Figura 14. Conexión en estrella o en Y. 25
Figura 15. Conexión en delta o en Δ 25
Figura 16. Esquema de un vehículo eléctrico. 27
Figura 17. Motor AC acoplado a una caja de cambios convencional. 28
Figura 18. Clasificación de motores eléctricos implementados en vehículos. 29
Figura 19: Ventaja y desventajas de un motor eléctrico / motor a combustión. 30
Figura 20. Letra código con valores de kVA. 40
Figura 21. Fuerza normal de un vehículo aplicado sobre un plano recto e inclinado. .. 51
Figura 22. Coeficiente de resistencia al aire en distintos vehículos. 53
Figura 23. Área frontal en función de la dimensiones del vehículo. 54
Figura 24. Vehículo tubular. 57
Figura 25. Asientos en vehículos tubulares. 58
Figura 26. Sistema semiautomático CVT. 59
Figura 27. Transmisión por cadena. 60
Figura 28. Ventajas e inconvenientes de transmisión por cadena. 61
Figura 29. Ruedas en vehículos tubulares. 61
Figura 30. Banco de baterías, con sus características de funcionamiento UPS. 63
Figura 31. Variador de frecuencia con los datos técnicos de funcionamiento. 64
Figura 32. Elementos de suspensión. 65
Figura 33. Freno por disco. 66
Figura 34: Sistema de dirección. 66
Figura 35. Procedimiento metodológico. 68
Figura 36. Vías de Loja. 69
Figura 37. Vías planas y con pendiente que existen en Loja. 70
Figura 38. Vehículo de chasis tubular elegido. 71
Figura 39. Resistencias opositoras al movimiento. 73
Figura 40. Peso del vehículo en báscula plataforma. 74

Figura 41. Resistencia a la pendiente. 76
Figura 42. Dimensiones de neumático. 77
Figura 43. Curvas comparativas del coeficiente de rodadura con respecto a la velocidad. 78
Figura 44: Curvas comparativas entre resistencia y potencia. 80
Figura 45. Toma de medidas para área frontal. 81
Figura 46. Potencia y resistencia aerodinámica. 83
Figura 47. Motor elegido – 5 HP = 3.73kW. 86
Figura 48. Herramientas y motor eléctrico en partes. 88
Figura 49. Motor con 9 terminales identificados. 90
Figura 50. Conexión interna del motor Marathon Electric. 90
Figura 51. Resistencia de las bobinas encontradas. 91
Figura 52. Esquema de conexión para un voltaje de 220V. 91
Figura 53. Gráfica de par motor. 94
Figura 54. Transmison por cadena. 95
Figura 55. Acoples utilizados para unir motor y CVT. 97
Figura 56. Soportes ubicados como apoyo del motor eléctrico. 98
Figura 57. Montaje de la CVT en el vehículo tubular. 98
Figura 58. Acoles colocados en la CVT. 99
Figura 59. Motor eléctrico – acople implementados a la CVT. 99
Figura 60. Diagrama de conexionado eléctrico y electrónico de componentes. 100
Figura 61. Voltaje que ingresa al motor eléctrico desde el variador de frecuencia..... 100
Figura 62. Esquema conexión doble estrella. 101
Figura 63. Conexión en variador de frecuencia. 101
Figura 64. Implementación terminada tanto la parte mecánica como la eléctrica. 102
Figura 65. Vehículo eléctrico tubular a ser evaluado. 106
Figura 66. Multímetro utilizado. 107
Figura 67. Velocímetro. 107
Figura 68. Herramientas de taller. 108
Figura 69. Casco de protección. 108
Figura 70. Cámara fotográfica. 108
Figura 71. Calzada de primer orden asfalto/hormigón. Sector Redondel- Carigán 109
Figura 72. Calzada en que se realizó las pruebas de funcionamiento del vehículo tubular. 110
Figura 73. Inspección de los componentes mecánicos y eléctricos. 113
Figura 74. Prueba de velocidad en superficie plana. 115
Figura 75. Voltaje obtenido en diferente posiciones del pedal de aceleración. 116
Figura 76. Corriente en diferentes posiciones del acelerador. 117
Figura 77. Voltaje a diferentes posiciones del pedal de aceleración. 118
Figura 78. Corriente en diferentes posiciones del pedal de aceleración en pendiente. 118
Figura 79. Recorrido en pendiente 10%. 119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre motores de CA y CC. 14
Tabla 2. Diferencia entre motores síncronos y asíncronos 22
Tabla 3 .Motores eléctricos implementados vehículos. 30
Tabla 4. Niveles de tensión. 37
Tabla 5. Valor a diferentes pendientes. 49
Tabla 6. Cx de diferentes vehículos. 53
Tabla 7. Parámetros de funcionamiento. 70
Tabla 8. Datos técnicos del vehículo tubular. 72
Tabla 9. Masa total del vehículo y componentes 75
Tabla 10. Resistencia a diferentes grados. 76
Tabla 11. Coeficiente de resistencia a la rodadura con diferentes presiones de inflado.78
Tabla 12. Coeficientes de rodadura. 79
Tabla 13. Para pendientes de 15% o 8.53°. 79
Tabla 14. Resistencia aerodinámica a diferentes pendientes. 82
Tabla 15. Partes del motor Marathon Eléctric. 89
Tabla 16. Placa del motor Marathon Eléctric. 90
Tabla 17. Valores de torque a diferentes velocidades. 94
Tabla 18. Características del vehículo eléctrico tubular 106
Tabla 19. Formato de verificación de elementos del vehículo tubular 113
Tabla 20. Datos obtenidos de la prueba de velocidad 114
Tabla 21. Datos obtenidos en carretera plana. 116
Tabla 22. Datos obtenidos en carretera con pendiente. 117
Tabla 23. Valores de diferentes pendiente. 131

a. TÍTULO

ESTUDIO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO COMO FUENTE DE POTENCIA PARA UN VEHÍCULO TUBULAR.

b. RESUMEN

En esta investigación, se detallan las diferentes etapas para el análisis estudio e implementación de un motor eléctrico, como fuente de potencia para un vehículo tubular, con el propósito de cumplir con los objetivos planteados en el presente proyecto.

Primeramente se determina la potencia necesaria del motor eléctrico, para lo cual se necesitó conocer las características generales del vehículo. Luego, se analizó de las fuerzas que se oponen al movimiento como son: aerodinámica, rodadura, gravitatoria y resistencia a la inercia. Por lo tanto, este análisis determina la resistencia total del vehículo, siendo este el valor principal que permitió determinar la potencia del motor eléctrico.

Posteriormente, se analiza el tipo de motor que se va a utilizar tomando en cuenta factores tales como: tipo de motor y alimentación, costo, estructura física, peso, etc., para luego ser implementado en el vehículo tubular. Por último, se realizan las pruebas de funcionamiento para evaluar el desempeño del vehículo. En este sentido, se realizó un recorrido por una calzada de hormigón de superficie plana y con pendiente; de las cuales se conoce el valor de la velocidad que alcanza y la autonomía que ofrece el vehículo tubular.

ABSTRACT

Firstly, the necessary power of the electric motor is determined, for which it was necessary to know the general characteristics of the vehicle. Then, the forces that oppose the movement were analyzed, such as: aerodynamic, rolling, gravitational and resistance to inertia. Thus, this analysis determines the total resistance of the vehicle, this being the main value that allowed to determine the power of the electric motor

In this research, the different stages for the study and implementation analysis of an electric motor are detailed, as a power source for a tubular vehicle, with the purpose of fulfilling the objectives set out in this research project.

Later, the type of engine that is going to be used is analyzed, taking into account factors such as: type of engine and power, cost, physical structure, weight and so on, to then be implemented in the tubular vehicle. Finally, performance tests are made to evaluate the vehicle's work. In this sense, by a concrete road of flat surface and with slope a route was made; of which it is known the value of the speed reached and the autonomy offered by the tubular vehicle.

c. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los adelantos tecnológicos están dando pasos agigantados en todas las áreas industriales que existen en el mundo, como es el caso de la industria automotriz, que con el fin de evitar la contaminación ambiental y tener ciudades con aire más limpio, están diseñando vehículos con bajas emisiones de gases contaminantes, estos vehículos son los híbridos y eléctricos. Los vehículos eléctricos utilizan como fuente de potencia motores eléctricos los cuales para su funcionamiento consumen energía almacenada en baterías recargables. (Alguacil, 2016), dice que "Los motores eléctricos ofrecen un 90% de eficiencia debido a su naturaleza energética como también a su sencillez mecánica", además brindan grandes ventajas con respecto a los de combustión interna como es, menor coste en mantenimiento, menor peso, no emiten contaminantes, posee pocas piezas que sufran desgaste, entre otros.

La implementación del motor eléctrico como fuente de potencia para el vehículo tubular le dará el detalle de innovación a este proyecto, permitiendo dar una solución a un transporte ecológico, reducción de los recursos naturales, la disminución del ruido, y para colaborar en el mejoramiento del medio ambiente. En el vehículo tubular tendrá todos los componentes mecánicos de un auto convencional, con la diferencia que se implementara un conjunto eléctrico, conformado por un motor eléctrico, un VDF (variador de frecuencia) y un banco de baterías (UPS), convirtiendo así un vehículo eléctrico que requiere de energía eléctrica para su funcionamiento.

El interés que tiene este proyecto es contribuir con ideas nuevas a las promociones que se están formando en la carrera de mecánica automotriz, siendo el punto de partida para generar nuevas propuestas que mejoren las prestaciones del vehículo como la velocidad,

autonomía, y del sistema de alimentación de energía con el fin de hacer conocer los proyectos tecnológicos que se desarrollan en la carrera de mecánica automotriz de la Universidad Nacional de Loja.

Para el desarrollo del presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Estudiar, Analizar, e Implementar un motor eléctrico como fuente de potencia para un vehículo tubular.

Objetivos específicos:

- Identificar las condiciones de calzada por las cuales se va a movilizar el vehículo tubular.
- Analizar las prestaciones requeridas para el funcionamiento de un vehículo tubular con un motor eléctrico como fuente de potencia.
- Estudiar las características técnicas de los motores eléctricos aplicados en automoción.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del motor eléctrico implementado en el vehículo tubular.

d. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CAPÍTULO 1: Motores eléctricos

En este capítulo se hace un estudio de las diferentes clases de motores eléctricos más comunes y utilizados en la industria, para conocer sus características físicas y de funcionamiento y así determinar el motor adecuado para ser implementado en el vehículo tubular.

1.1. Motor eléctrico

"Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en mecánica por medio de interacciones electromagnéticas" (Lopez Arenales, 2013)**.** En la figura 1 se muestra un motor eléctrico de inducción de corriente alterna. Algunos de los motores funcionan como generadores, pueden transformar energía mecánica en eléctrica. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Son utilizados en instalaciones industriales, comerciales, particulares, en la actualidad se los implementa en vehículos como fuente de potencia en reemplazo del motor de combustión interna, ya que no contaminan, estos motores pueden funcionar conectados a un suministro eléctrico o a baterías.

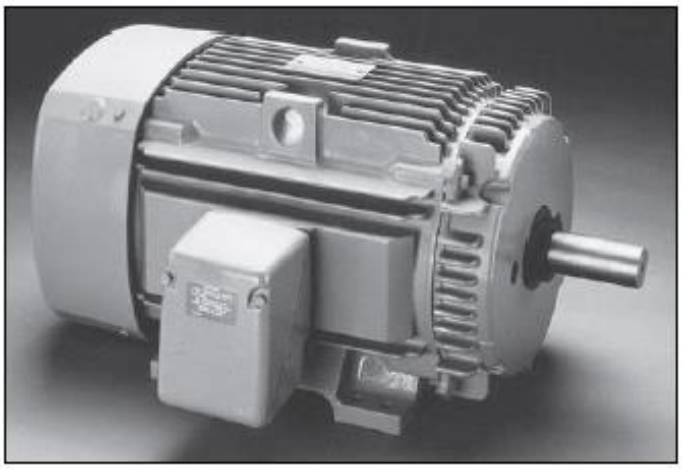


Figura 1. *Motor eléctrico.*
Fuente: (Chapman, 2014)

1.1.1. Funcionamiento.

Existen motores eléctricos que para funcionar utilizan corriente alterna o corriente continua de ahí se deriva su nombre, dichos motores se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, este tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético. El conductor funciona como un electro imán ya que por el mismo circula corriente eléctrica adquiriendo así propiedades magnéticas, que se dan, debido a interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

En resumen al pasar corriente por un conductor se produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción dentro de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hacen que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado eje o flecha. (Lopez Arenales, 2013)

1.1.2. Partes de un motor eléctrico.

Un motor eléctrico es una máquina que está formado por diferentes partes, para lo cual es necesario conocerlo internamente, a continuación en la figura 2 se indican las partes principales de un motor eléctrico.

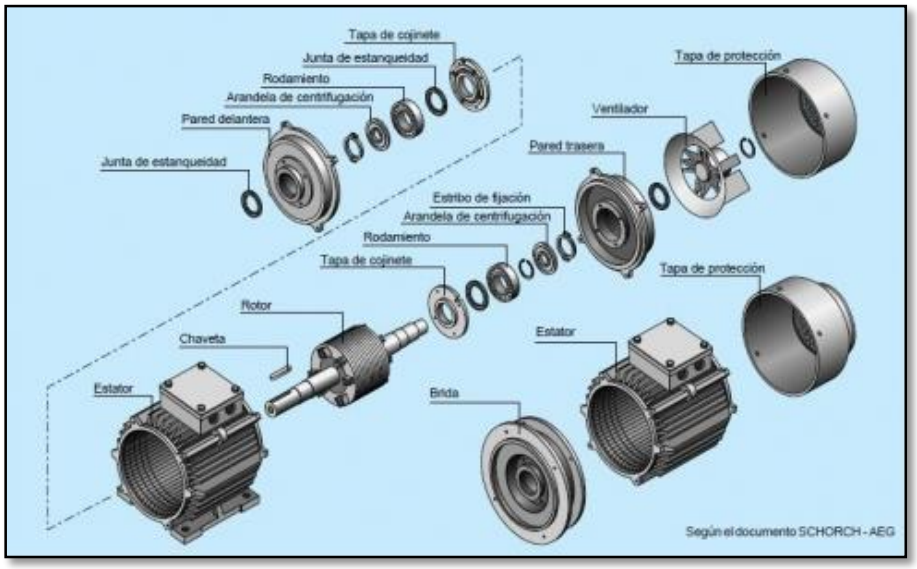


Figura 2. *Partes que forman un motor eléctrico.*
Fuente: (ABB, 2009)

Un motor eléctrico está formado por dos partes principales:

- Estator
- Rotor

1.1.2.1. Estator.

El estator está formado por tres bobinas individuales que se superponen y decalados con un ángulo de 120°. El estator se magnetiza primeramente cuando en su entrada se alimenta con corriente eléctrica. La corriente de magnetización genera el campo rotatorio haciendo

girar una velocidad de sincronismo n_s (Garrigós, 2011). En la figura 3 se presenta el estator del motor eléctrico.

Figura 3. *Estator de un motor eléctrico.*
Fuente: (Chapman, 2014)

Para encontrar la velocidad de sincronismo utilizamos la siguiente expresión:

$$n_s = 60 * \frac{f}{p} \qquad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

n_s: Velocidad de sincronismo

f: Frecuencia

p: Número de pares de polos (número de polos / 2)

1.1.2.2. Rotor.

El rotor es el elemento de la transferencia mecánica ya que él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica, está formado por un núcleo de bloques laminares que dan forma a un cilindro con ranuras provisto de barras de aluminio unidas en su parte delantera con unos anillos que conforman a un cilindro (Garrigós, 2011).

Pueden ser básicamente de tres tipos:

- Rotor ranurado

- Rotor de polos salientes
- Rotor de jaula de ardilla

A continuación en la siguiente figura 4 se presenta un rotor tipo jaula de ardilla el más común encontrar en los motores eléctricos:

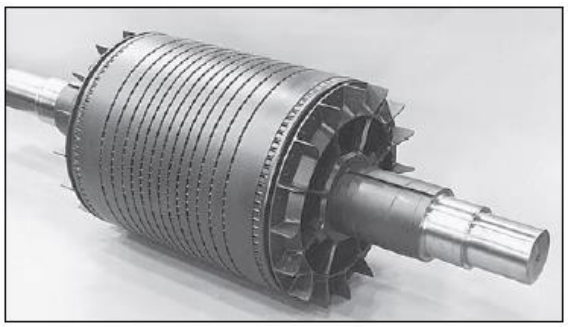


Figura 4. *Rotor de un motor eléctrico.*
Fuente: (Chapman, 2014).

1.1.2.3. Bases.

Son las que soportan toda estructura física y de operación del motor eléctrico, estas bases puede ser de dos tipos: Base frontal y lateral.

1.1.2.4. Eje o flecha.

Formado por una barra de acero fresada. Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector. En la figura 5 se indica el eje de un motor eléctrico.

Figura 5. *Eje de rotación en un motor eléctrico.*
Fuente: (Santoni, 2009)

1.1.2.5. Carcasa.

Esta parte sirve de protección y cubre al estator y al rotor, el material que se utiliza para su fabricación depende del tipo de motor, diseño y aplicación (Videla Flores, 2006). Existen algunos tipos de carcasas:

- Totalmente cerrada
- Abierta
- A prueba de goteo
- De tipo sumergible

1.1.2.6. Caja de conexiones.

La caja de conexiones es una parte del motor en que se alojan los terminales de conexión, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos, en la figura 6 se muestra la parte de conexión típica en lo motores eléctrico (Videla Flores, 2006).

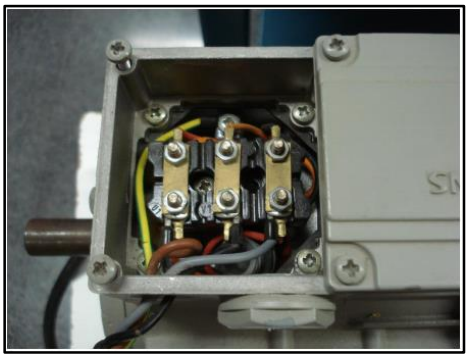


Figura 6. *Caja de terminales de conexión.*
Fuente: (Bueno, 2014).

1.1.2.7. Tapas.

Son los elementos que cubren al conjunto del motor, como también van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor. Ver figura 7.

Figura 7. *Tapas de protección de un motor eléctrico.*
Fuente: (Videla Flores, 2006)).

1.1.2.8. Cojinetes.

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de la parte giratoria del motor. Son utilizados para sostener y fijar ejes mecánicos, y reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia (Videla Flores, 2006).

Figura 8. *Rodamiento de un motor eléctrico.*
Fuente: (Videla Flores, 2006)

Rodamientos:

- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.

- Son compactos en su diseño.
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se reemplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares.

1.1.3. Tipos de motores.

Dentro de los motores eléctricos existen los siguientes:

- Motores de corriente continua directa CC o CD.
- Motores de corriente alterna CA.

Entre los motores de corriente continua y alterna existen varias diferencias entre las cuales tenemos en la tabla 1.

CARACTERÍSTICAS	MOTOR DE C.C.	MOTOR DE C.A.
Tipo de alimentación	Necesita de la aplicación de corriente continua en el inducido y en el inductor.	Opera mediante la aplicación de corriente alterna
Constitución interna.	Consta de dos circuitos: • Circuito magnético. • Circuito de la armadura.	• El rotor recibe una corriente inducida alterna. • El estator es un campo magnético inducido.
Tipo de motor	De excitación Independiente. Autoexcitación.	Motor de inducción (asíncrono). Motor síncrono.
Par motor	El par es proporcional a la corriente del inducido y al flujo del campo magnético del inductor.	Su par depende del campo giratorio.
Mantenimiento	Requieren de mayor mantenimiento al tener más piezas (escobillas, colector, etc.)	El mantenimiento requerido es mínimo.

Eficiencia	De 85 / 95 % de eficiencia a carga completa.	95% de eficiencia a carga completa.
Costo	Su precio es elevado por su costo de mantenimiento.	Son de bajo costo ya que no requiere mucho mantenimiento.
Aplicaciones	Se utilizan cuando se necesita precisión en la velocidad.(utilizado en grúas, trenes)	Son más utilizados en la industria sobre todo el motor asíncrono con rotor de jaula de ardilla. (Utilizados en bandas transportadoras, ventiladores, compresores, etc.)
Control de Velocidad	Su velocidad aumenta con la tensión aplicada.	Para regular su velocidad de giro, se realiza a través de variadores electrónicos de frecuencia.

Tabla 1. *Diferencias entre motores de CA y CC.*
Fuente: (Castillo Morales, 2014).

1.1.3.1. Motores de corriente continua o directa.

Como su nombre lo indica, un motor eléctrico de corriente continua, funciona con corriente continua, que proviene de baterías. En estos motores, el inductor es el estator y el inducido es el rotor. Por su facilidad de los sistemas para controlar su electricidad, han sido utilizados en vehículos eléctricos por primera vez gracias a sus buenas características en tracción (Espada Moya, 2015).

Este tipo de motores debe tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones. Los motores de corriente continua o directa pueden ser de tres tipos:

- Serie
- Paralelo
- Mixto

Los motores de corriente continua internamente están formados por:

- Inductor

- Escobilla

- Conmutadores o colector, etc.

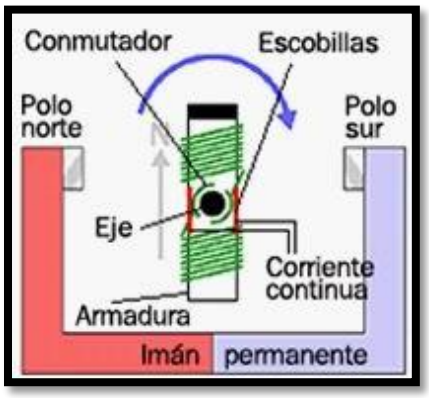


Figura 9. *Esquema de un motor CC.*
Fuente: (Perez, 2017).

1.1.3.2. Clasificación de los motores de corriente continua.

Existen diversos tipos de motores de corriente continua (CC), en la fig. 10 se indican algunos de estos:

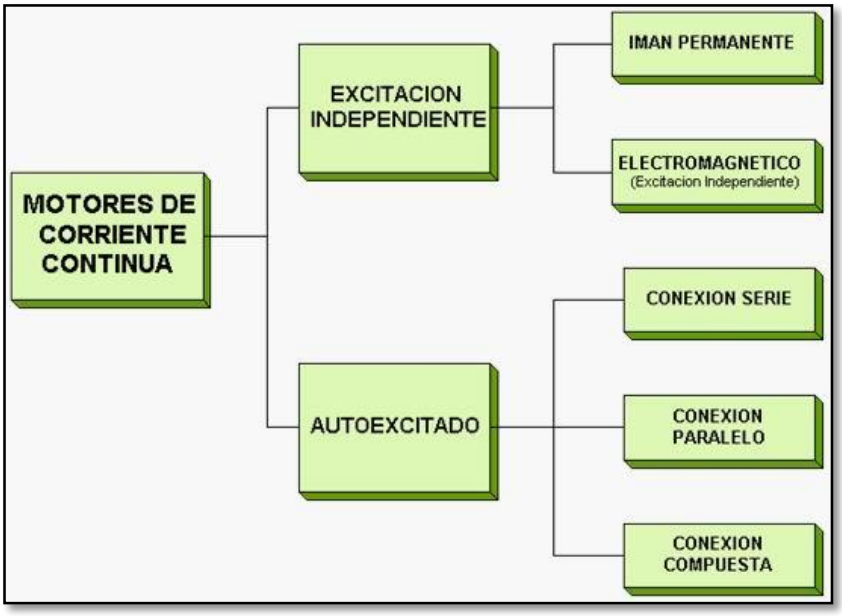


Figura 10. *Clasificación de los motores de CC.*
Fuente: (Flores Videla, 2010).

- **Motor de imán permanente.**

Los motores de imán permanente (PM, permanent magnet), existen en tamaños de fracciones de caballo y de números pequeños enteros de caballos. Tienen varias ventajas respecto a los del tipo de campo devanado. No es necesario de alimentaciones de energía eléctrica para excitación ni de devanado asociado. Son más confiables, ya que no existen bobinas excitadoras del campo que fallen y no hay probabilidad de que se presente una sobrevelocidad debida a pérdida del campo. Se mejoran la eficiencia y el enfriamiento por la eliminación de pérdida de potencia en un campo excitador. Un motor de imán permanente (PM) se puede usar en donde se requiere un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua (Mott, pág. 716).

- **Motor de excitación independiente.**

Utilizados en aplicaciones industriales como en el torneado y taladrado de materiales, extrusión de materiales plásticos y goma, ventilación de horno, retroceso rápido en vacío de ganchos de grúas, el desenrollado de las bobinas y retroceso son útiles para cerrar. El motor de excitación independiente es el más adecuado para cualquier tipo de regulación, por la independencia entre el control por el inductor y el control por el inducido, tanto el rotor como el inductor se alimentar de dos fuentes de energía independientes. El sistema de excitación más fácil de entender es el que supone una fuente exterior de alimentación para el arrollamiento inductor (Vertigo 2040, 2012).

- **Motor por auto-excitación.**

El sistema de auto-excitación, solamente se emplea en la práctica en casos especiales debido, sobre todo, al inconveniente de necesitar una fuente independiente de energía

eléctrica. Este inconveniente puede eliminarse con el denominado principio dinamoeléctrico o principio de autoexcitación, que ha hecho posible el gran desarrollo alcanzado por las máquinas eléctricas de corriente continua en el presente siglo (Videla Flores, 2006). En la figura 11 se presenta el esquema interno de un motor por auto-excitación.

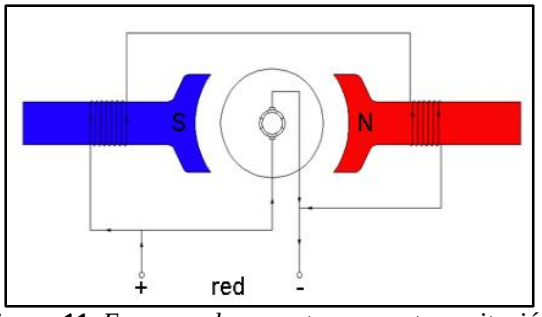


Figura 11. *Esquema de un motor por auto-excitación.*

Fuente: (Vertigo 2040, 2012).

- **Motor de excitación en serie.**

Es el motor en que su velocidad disminuye sensiblemente cuando el par aumenta y cuya velocidad en vacío no tiene límite teóricamente.

Los motores con excitación en serie son aquellos en los que el inductor está conectado en serie con el inducido.

El inductor tiene un número pequeño de espiras de hilo, que debe ser de sección suficiente para que se pase por él, la corriente de régimen que requiere el inducido. En los motores serie, el flujo depende totalmente de la intensidad de la corriente del inducido. Si el hierro del motor se mantiene a saturación moderada, el flujo será casi directamente proporcional a dicha intensidad. (Espada Moya, 2015)

- **Motor de excitación en paralelo (shunt).**

Sus bobinas inductoras son conectadas en paralelo con las inducidas. Una parte de la corriente absorbida por el motor circula por las bobinas inducidas mientras que la otra parte lo absorbe las bobinas inductoras (Vertigo 2040, 2012). A continuación se presentan algunas características de estos motores:

- Cuando se da arranque el par motor es bajo que en los motores en serie.
- Son más estables que los motores en serie, cuando la intensidad de corriente absorbida disminuye y el motor está en vacío.
- La velocidad de giro disminuye muy poco, porque su par aumenta.

- **Motor por conexión compuesta.**

Las características del motor Compuesta están comprendidas entre las del motor de derivación y las del motor en serie. Los tipos de motor Compuesta son los mismos que para los generadores, resumiéndose el aditivo y el diferencial. El motor en Compuesta es un término medio entre los motores devanados en serie y los de en derivación.

En virtud de la existencia del devanado en serie, que ayuda al devanado en derivación, el flujo magnético por polo aumenta con la carga, de modo que el par se incrementa con mayor rapidez y la velocidad disminuye más rápidamente que si no estuviera conectado el devanado en serie; pero el motor no se puede desbocar con cargas ligeras, por la presencia de la excitación en derivación. (Espada Moya, 2015)

1.1.3.3. Motores de corriente alterna.

Se denomina motor de corriente alterna a aquellos motores eléctricos que funcionan con este tipo de alimentación eléctrica "corriente alterna". Un motor es una máquina motriz, esto es, un aparato que convierte una forma determinada de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos (Lopez Arenales, 2013).

Hay una variedad de motores de CA, existen tres tipos básicos:

- Universal
- Asíncrono
- Síncrono

1.1.3.4. Tipo de motores de corriente alterna.

- **Motor universal.**

Estos motores trabajan con voltajes de corriente continua o corriente alterna. Utilizados en sierras eléctricas, taladros, utensilios de cocina, ventiladores, sopladores, batidoras y otras aplicaciones donde se requiere gran velocidad de giro con cargas débiles o fuerzas resistentes pequeñas. Para distinguir los motores de CA y CD incluyendo los Universales utilizan conmutador devanado y escobillas. Están compuestos por los campos (estator), la masa (rotor), las escobillas (los excitadores) y las tapas (las cubiertas laterales del motor). El circuito eléctrico es muy simple, su circuito está conectado en serie porque tiene solamente una vía para el paso de la corriente. No está construido para su uso

continuo o permanente (durante largos períodos de tiempo), siendo una de sus dificultades. (Mott, pág. 362)

Las emisiones electromagnéticas son otra dificultad de estos motores. Se generan interferencias o ruido en el espacio radioeléctrico por las chispas ("chisporroteos") entre el colector y su propio campo magnético. Esto se puede reducir por medio de los condensadores de paso, de 0,001 μF a 0,01 μF, conectados de las escobillas a la carcasa del motor y conectando ésta a masa. Estos motores tienen la ventaja de que alcanzan grandes velocidades de giro, pero con poca fuerza. También funcionan a 380 V o más tensiones siendo motores de corriente alterna trifásica (Vertigo 2040, 2012).

- **Motor asíncrono.**

En estos motores eléctricos su rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. A mayor par motor mayor es la diferencia de frecuencias.

Son los más utilizados en la industria. Al aplicar corriente alterna al estator, se genera una campo magnético giratorio, según las leyes de inducción electromagnéticas, la corriente es inducida en las bobinas del rotor generando otro campo magnético opuesto según la ley de Lenz siguiendo su rotación hasta que el rotor empieza a girar tratando de igualar la velocidad del campo magnético giratorio sin que esto se produzca. En el caso de que esto sucediera no se produciría la variación del flujo necesario para inducción de corriente en la bobina de inducido (Chapman, 2014).

A medida que se vaya haciéndose mayor la diferencia entre la velocidad de giro del campo y la del rotor, las corrientes inducidas en él y por lo tanto su propio campo, irán en

aumento gracias a la composición de ambos campos se consigue una velocidad estacionaria. En los motores asincrónicos nunca se alcanza la velocidad del sincronismo, los bobinados del rotor cortan siempre el flujo giratorio del campo inductor (Vertigo 2040, 2012).

- **Motor síncrono.**

Su característica principal es que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Utilizados cuando se desea una velocidad constante. (Alba, 2013)

Convierten la potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina. La puesta en marcha requiere de maniobras especiales a no ser que se cuente con un sistema automático de arranque a diferencia de los motores asincrónicos. Operan de forma sobreexcitado consume potencia reactiva y mejora el factor de potencia. (Mott, pág. 692)

Pueden funcionar como generadores y como motores. Sus aplicaciones son mínimas en nuestro medio porque siempre están relacionadas con la generación de energía eléctrica. Para el caso referente a la máquina rotativa síncrona, todas las centrales Hidroeléctricas y Termoeléctricas funcionan mediante generadores síncronos trifásicos. Los motores síncronos se subdividen a su vez, de acuerdo al tipo del rotor que utilizan, siendo estos: rotor de polos lisos (polos no salientes) y de polos salientes. (Alba, 2013). En la tabla 2 se indican las diferencias entre motores síncrono y asíncrono.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	
SÍNCRONO	**ASÍNCRONO**
El motor síncrono es poco convencional y puede ser utilizado en grandes industrias, para corrección de factor de potencia, en este caso, las dos velocidades tienden a igualarse, de ahí el nombre de síncrono.	Un motor asíncrono es un motor convencional y se utiliza el término asíncrono, por que teóricamente la velocidad del rotor nunca puede alcanzar a la velocidad del estator (Desplazamiento).
Un motor sincrónico gira a una velocidad llamada sincrónica que es directamente proporcional a la frecuencia de la línea con que es alimentado. Alanzando una velocidad sincrónica de 3600rpm.	Un motor asincrónico gira a una velocidad un poco menor que la sincrónica debido a una característica de estos motores llamada resbalamiento. Alcanzado una velocidad de 3550rpm.
Existen: • Trifásico con Colector. • Trifásico con Anillos. • Y Rotor Bobinado.	Existen: • Trifásico Jaula de Ardilla. • Monofásico: Condensador, Resistencia. • Asincrónicos Sincronizados: Serie o Universal. • Espira en corto circuito. • Hipo sincrónico. • Repulsión.
La forma de excitación; el síncrono es excitado con DC y AC (al mismo tiempo).	Mientras que el motor de inducción solo es excitado con AC.
El motor síncrono requiere un arrancador o control muy especial pues en un inicio solo lo alimentas con CA y después cuando entra en sincronía ya sea por un relevador de tiempo o uno de frecuencia le alimentas con CD.	El asíncrono no requiere un arrancador tan especial.
El síncrono posee escobillas por lo que requiere de mantenimiento.	El motor de inducción no tiene escobillas, requieren poco mantenimiento.

Tabla 2. *Diferencia entre motores síncronos y asíncronos*
Fuente. (Videla Flores, 2006)

- **Motor con rotor jaula de ardilla.**

Los motores en su gran mayoría funcionan con corriente alterna CA ya que son los que tiene una sola fase. Los rotores de jaula de ardilla reales son mucho más compactos y tienen un núcleo de hierro laminado.

Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". Su eje montado, tiene forma de un cilindro en tanto que las barras conductoras que son de aluminio o cobre poseen unos surcos que se conectan en los extremos dando una forma de jaula. Su nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas). Es el más común de todos los motores eléctricos, por su sencillez y forma constructiva (Vertigo 2040, 2012).

1.1.3.5. Tipos de conexión en motores eléctricos.

Internamente los motores eléctricos están construidos con un cierto número de bobinas que están devanadas y permanecen siempre juntas y así determinar las fases, estas se conectan así.

Según la norma NEMA obliga a que los fabricantes de motores eléctricos en sus diseños los terminales (cables) de conexión sean marcados con números desde el 1 al 12, mientras los fabricados bajo norma IEC tienen una marcación que combina las letras U, V, W y los números desde el 1 hasta el 6. Existen diversa formas de conexión: Delta y Estrella.

- **Conexión delta.**

La conexión en delta sus devanados son cerrados y formando una configuración en triangulo Δ. Para conectar a una línea de alimentación trifásica se pueden diseñar con seis o nueve terminales (Videla Flores, 2006) .En la figura 12 se muestra un diagrama de la conexión en delta.

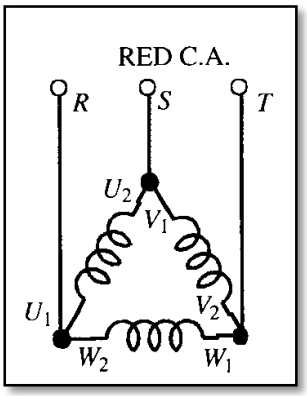


Figura 12. *Conexión en delta.*
Fuente: (Videla Flores, 2006).

- **Conexión en estrella.**

Este tipo de conexión se forma uniendo una terminal de cada devanado (bobina), las tres terminales restantes se conectan a las líneas de alimentación L1. L2, L3. Los devanados conectados en estrella forman una configuración en Y, (Videla Flores, 2006).

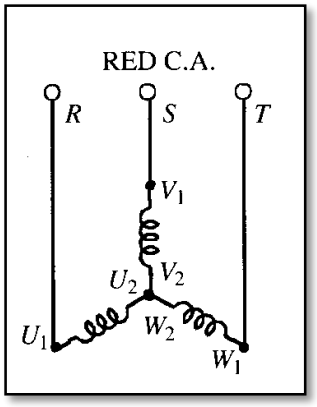


Figura 13. C*onexión en estrella.*
Fuente: (Videla Flores, 2006).

Estos motores se encuentran conectados internamente en Δ o Y, es decir, solo se pueden conectar en un tipo de estas conexiones esto más depende de numero de terminales de conexión, Para poder determinar el tipo de conexión basamos un ejemplo en los motores de 9 puntas, para lo cual es necesario realizar una serie de pruebas al motor que consisten

básicamente en medir la continuidad de las puntas en la bornera, y dependiendo del resultado se obtendrá el tipo de conexión (Yrady, 2016).

- **Motores eléctricos conectados en Y.**

Si el motor se encuentra en Y internamente entonces se tiene algo similar a la figura 14, es decir, que al realizar las pruebas de continuidad se obtendrán que 3 pares dan continuidad, y un trío da continuidad. Por lo tanto los 3 pares deben de dar un ohmniaje similar, y el trío restante debe dar un ohmniaje diferente ya que hay un paralelo entre las bobinas del devanado (Yrady, 2016).

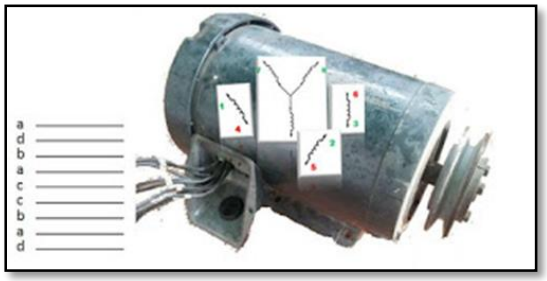


Figura 14. *Conexión en estrella o en Y.*
Fuente: (Yrady, 2016).

- **Motores conectados en Δ.**

Los motores están conectados internamente en Δ, cuando encontramos en sus puntas terminales 3 tríos, es decir, 3 puntas dan continuidad entre sí, tal como se aprecia en la figura 15, estas resistencias deben ser similares (Yrady, 2016).

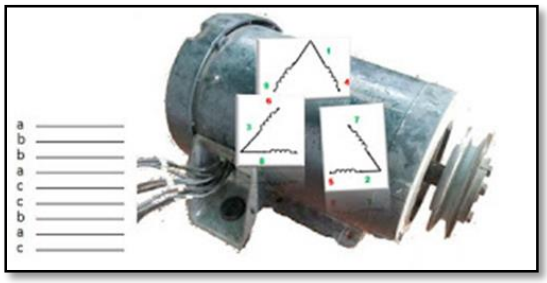


Figura 15. *Conexión en delta o en Δ .*
Fuente: (Yrady, 2016)

1.2. Motores eléctricos implementados en vehículos

En el presente capítulo se detalla los motores eléctricos utilizados en vehículos como fuente de potencia, con lo cual permite determinar el motor adecuado para el presente trabajo de tesis.

1.2.1. Vehículo eléctrico

Es aquel que se impulsa con la fuerza de un motor alimentado por electricidad. "Un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. El elemento conductor que tienen en su interior tiende a moverse cuando está dentro de un campo magnético y recibe corriente eléctrica" (Garrigós, 2011). Hay motores eléctricos de todos los tamaños, que impulsan desde un coche de radiocontrol a una locomotora. Los motores eléctricos ofrecen muchas ventajas frente a los de combustión, empezando por un menor tamaño y peso, además de una mayor sencillez técnica. Su utilización presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental, ya que permite disminuir el nivel de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera.

1.2.2. Partes principales que conforman un vehículo eléctrico.

"La movilidad eléctrica es la interfaz entre las baterías y las ruedas del vehículo, transfiriendo energía en la dirección requerida, con alta eficiencia y controlando la etapa de potencia todo el tiempo" (Palafox Alvarado, 2009).Un sistema de un vehículo eléctrico comprende 2 partes: la eléctrica y mecánica. En la parte eléctrica incluye el banco de baterías, convertidor de CC (corriente continua) – CA (corriente alterna), el

motor eléctrico. Mientras que la parte mecánica se forma con el sistema de transmisión y las ruedas. En la figura 16 se muestra un diagrama de vehículo eléctrico en el cual se muestra la parte eléctrica y la parte mecánica.

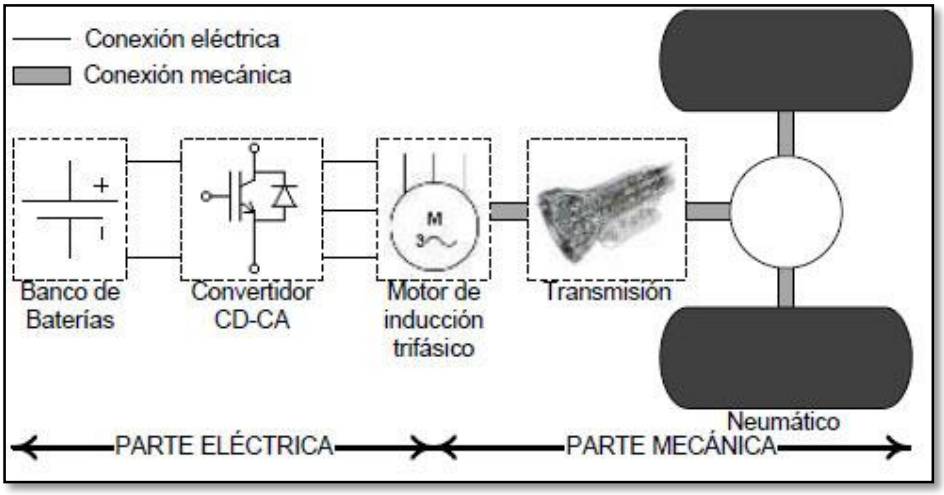


Figura 16. *Esquema de un vehículo eléctrico.*
Fuente: (Durán & Guidiño, 2014).

1.2.3. Principio de funcionamiento de un vehículo eléctrico.

El funcionamiento de motor eléctrico empieza desde el controlador que es encargado de sacar la energía de las baterías y entregar al motor. El acelerador va conectado a un potenciómetro (resistencias variables), el potenciómetro envía una señal al controlador para que entregue la energía necesaria para alimentar al motor eléctrico, según los requerimientos del conductor o de la posición del acelerador. El controlador puede entregar energía según los diferentes niveles de potencia, controlando la velocidad. (Baer, 2014)

1.2.4. Motor eléctrico en vehículos.

El motor de un vehículo eléctrico puede ser un motor de corriente alterna CA o de corriente continua CC. La diferencia entre estos los dos tipos, principalmente, es la forma de alimentación. El de corriente continua se alimenta directamente desde la batería

principal, y el de corriente alterna se alimenta a través de la energía que emite la batería previamente transformada en corriente alterna a través del inversor (Educa, 2014).

En la figura 17 se muestra un sistema de transmisión con un motor eléctrico como fuente de potencia. El sistema conserva la transmisión manual original del vehículo ese tipo de implementación será la base para realizarla en el presente proyecto, la organización Auto-libre, es una empresa que realiza la conversión de vehículo convencional a eléctrico.

Figura 17. *Motor AC acoplado a una caja de cambios convencional.*
Fuente: (Gonzales, 2013).

La evolución de los motores ha sido lenta y larga, a diferencia de otras ciencias como la electrónica y computación. Sin embargo, el desarrollo de motores es continuamente estimulado por la invención de imanes permanentes de alta energía. La clasificación de motores para vehículos eléctricos se divide principalmente en dos grupos, los conmutados y no conmutados. Han quedado obsoletos los motores de CA con conmutador para la propulsión de vehículos eléctricos. A continuación en la figura 18 se muestra la clasificación de los motores para vehículos eléctricos.

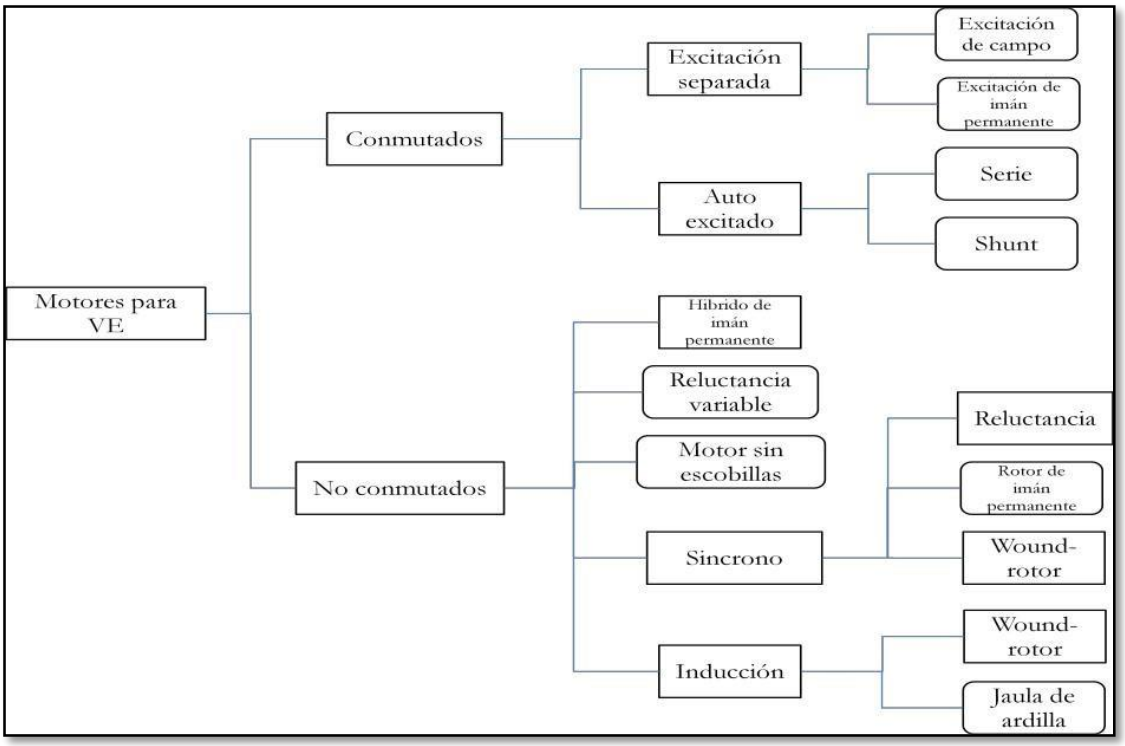


Figura 18. *Clasificación de motores eléctricos implementados en vehículos.*
Fuente: (Palafox Alvarado, 2009)).

Los motores eléctricos más empleados en vehículos son los de CC, sin embargo presentan una inconveniente como es su mantenimiento ya que poseen materiales que sufren desgaste (conmutadores y escobillas) cuando entran en funcionamiento. Gracias a sus ventajas como: alta eficiencia, alta densidad de potencia, bajo costo, mayor confiabilidad, y libres de mantenimiento han posesionado a los motores de CA como los adecuados para la propulsión de vehículos eléctricos con respecto a los motores de CC, además estos motores son más atractivos (Palafox Alvarado, 2009)

En la tabla 3 se indican algunos motores implementados en vehículos eléctricos, en caso particular se muestra al motor de inducción en tres modelos de vehículos, lo que se justifica que estos motores AC de inducción son utilizados para tracción eléctrica.

Modelos de VE	Motores de VE
Fiat Panda Elettra	Motor de CD serie
Mazda Bongo	Motor de CD Shunt
Conceptor G-Van	Motor de CD excitado separadamente
Suzuki Senior Tricycle	Motor de CD de imán permanente
Fiat Seicento Elettra	Motor de inducción
Ford Th!nk City	Motor de inducción
GM EV1	Motor de inducción
Honda EV Plus	Motor de imán permanente tipo serie
Nissan Altra	Motor de imán permanente tipo serie
Toyota RAV4	Motor de imán permanente tipo serie
Chloride Lucas	Motor de CD SR

Tabla 3 *.Motores eléctricos implementados vehículos.*
Fuente: (Palafox Alvarado, 2009)

Los motores eléctricos que se implementan en vehículos ofrecen grandes ventajas con respecto a los motores de combustión, acontinuación se indican algunas de ellas.

1.2.5. Ventajas del motor eléctrico en los vehículos.

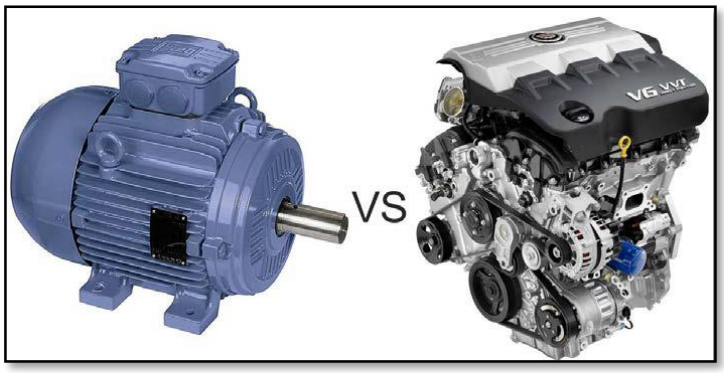


Figura 19: *Ventaja y desventajas de un motor eléctrico / motor a combustión.*
Fuente: (Carrasco Hidalgo, 2011)

El motor eléctrico brindas grandes ventajas con respecto a un motor de combustión interna (Educa, 2014).

- Un motor eléctrico no quema combustible durante su uso, por lo que no emite gases a la atmosfera.

- Un motor eléctrico producido en serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni demasiado mantenimiento.

- Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura. Al no tener elementos oscilantes, no necesita volantes de inercia ni sujeciones especiales que lo aíslen del resto del vehículo. Al generar poco calor y no sufrir vibraciones su duración puede ser muy elevada.

- Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas, exceptuando un mecanismo para distinguir avance o retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor.

- Teóricamente un motor eléctrico puede desarrollar un par máximo desde 0 rpm, por lo que hace posible arrancar desde cero con una velocidad máxima.

- Una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno “central” acoplado a una transmisión. Lo que puede suponer una nueva distribución del espacio del coche.

- En cuanto a la eficiencia del motor eléctrico, ésta se sitúa alrededor del 90%. Por limitaciones termodinámicas un motor diésel se situaría en eficiencias de hasta un 40%, siendo éste superior a la eficiencia de un motor de gasolina.

- Resulta sencillo recuperar la energía de las frenadas (o parte de ella) para recargar las baterías, porque un motor eléctrico puede ser también un generador eléctrico.

- Otra gran ventaja del coche eléctrico es su proceso reversible. Esto quiere decir que de igual manera que carga su batería a través de la red eléctrica, el vehículo puede aportar también energía a la red eléctrica, de manera reversible.

1.2.6. Desventajas del motor eléctrico en automóviles.

- La principal desventaja y la más importante es la autonomía que tiene el vehículo eléctrico sin conectarlo a la red. El hecho de que a los 100 o 120 kilómetros de viaje se tenga que recargar las baterías limita mucho a los usuarios. En cambio, con los motores de combustión el tiempo entre repostaje y repostaje es mucho más elevado. Aun así las marcas de vehículos trabajan para aumentar la autonomía de sus modelos y cada vez nos encontramos modelos con más autonomía.

- Otro inconveniente relacionado con la autonomía del vehículo es el tiempo de repostaje, ya que se requieren de horas para realizar una carga completa.

- Además, las baterías eléctricas tienen fecha de caducidad, ya que se degeneran con el uso y empiezan a tener menor capacidad de carga.

- La necesidad de carga de los coches eléctricos hace que exista más demanda de electricidad proveniente de micro-generadores o centrales eléctricas. A más demanda, más generación y más consumo de los recursos naturales.

1.3. Características generales de los motores eléctricos

Estas características permite conocer los parámetros determinantes para la operación que todas las maquinas eléctricas poseen. Entre las más principales son:

1.3.1. Potencia.

En física es la rapidez con la que se realiza un trabajo, la unidad del Sistema Internacional para la potencia es el joule por segundo, y se denomina watt (W) (Telergia, Energía en Telecomunicaciones, 2006).

$$P = \frac{W}{t} \qquad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P: Potencia W: Trabajo. t: Tiempo

Para propósitos industriales las unidades de potencia son demasiado pequeñas. Por lo que se usa el kilowatt (kW) y el caballo de fuerza (HP), estas unidades son utilizadas al diseñar un sistema eléctrico o cuando se requiere una máquina eléctrica.

1HP: 746 W = 0,746 kW

1kW: 1.34 HP

1.3.1.1. Tipos de potencia.

- **Potencia mecánica.**

La potencia mecánica es la aplicada sobre un sólido rígido que viene dado por el producto de la fuerza resultante aplicada por la velocidad (Bastian et al, 2001, pág. 32). Para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = F * v \qquad \text{Ec. 3}$$

Donde:

P: Potencia (W)

F: Fuerza o momento resultante (N)

V: Velocidad en (m/s)

- **Potencia eléctrica.**

"Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt)". (García Álvarez, 2015)

- **Potencia en corriente continua.**

La corriente continua es la que tienen las pilas, las baterías y las dinamos. Todo lo que se conecte a estos generadores serán receptores de corriente continua. Para calcular la potencia en CC. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = V * I \qquad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

P: Potencia en vatios (W)

V: Tensión en voltios (V)

I: Intensidad en amperios (A)

- **Potencia en corriente alterna.**

La corriente alterna es la que se genera en las centrales eléctricas, por eso todos los receptores que se conecten a los enchufes de las viviendas son de corriente alterna (CA). Aquí la potencia es un poco más compleja, ya que no solo hay una potencia, sino que hay 3 diferentes.

- **Tipos de potencia trifásica.**

  - **Potencia activa (Pa):** Expresada en vatios (W), es la única de las 3 potencia que se transforma en energía útil, es decir es la potencia útil del receptor, para encontrar el valor de esta potencia se aplica la siguiente fórmula: (laurabc_men, 2006).

$$Pa = \sqrt{3} * V * I * Cos\emptyset \qquad \text{Ec. 5}$$

- **Potencia reactiva (Q):** "En voltio amperios reactivos (VAR), es una potencia perdida. Esta potencia es una potencia consumida por las bobinas y por los condensadores" (García Álvarez, 2015). Para calcular Q se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \sqrt{3} * \mathrm{V} * \mathrm{I} * Sen\emptyset \qquad \text{Ec. 6}$$

- **Potencia aparente (S):** Que se mide en voltio amperios (VA), es la suma vectorial de las otras dos, es la potencia útil más la potencia perdida (laurabc_men, 2006).

$$S = \sqrt{3} * \mathrm{V} * \mathrm{I} \qquad \text{Ec. 7}$$

- **Potencia nominal:** Es la potencia máxima que genera una máquina en condiciones de uso normales; con lo cual significa que dicha máquina está diseñada para soportar

esa cantidad de potencia, sin embargo debido a fluctuaciones en la corriente, al uso excesivo o continuo, o en situaciones de uso distintas a las del diseño, la potencia real puede diferir de la nominal, siendo más alta o más baja. (Telergia, Energía en Telecomunicaciones, 2006)

- **Potencia calculada:** Es la potencia que luego de realizar los distintos análisis matemáticos, nos dará una expresión que es resultado de dicha potencia.

1.3.2. Factor de potencia.

El factor de potencia (Cos Φ) se define como la razón que existe entre Potencia Real (P) y Potencia Aparente (S), siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente:

$$F_p = Cos\emptyset = \frac{P}{S} \qquad \text{Ec. 8}$$

1.3.3. Voltaje o tensión.

Voltaje, también llamado diferencia de potencial o tensión, es una magnitud física con la cual se determina la tensión eléctrica entre dos puntos. El voltaje es la presión que ejerce cierto suministro de energía eléctrica en los electrones de un circuito cerrado, creando un flujo de corriente eléctrica (Revista educativa MasTiposde, Equipo de redacción, 2015).

1.3.3.1. Ley de Ohm.

La ley de Ohm dice que: *"la intensidad de la corriente eléctrica que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo"*. (Bastian et al, 2001, pág. 25).

Para halla el valor de tensión se debe de tomar en cuenta esta ley, para lo cual existen la siguiente fórmula:

$$I = \frac{V}{R} \qquad \text{Ec. 9}$$

En donde en el sistema internacional (SI) de unidades significa lo siguiente:

I: Intensidad en amperios (A)

V: Diferencia de potencial en voltios (V)

R: Resistencia en ohmios (Ω)

Por lo tanto para halla el valor del voltaje se despeja de la siguiente manera:

$$V = I * R \qquad \text{Ec. 10}$$

1.3.3.2. Niveles de voltaje o tensión.

Existen diversos niveles de voltajes, los mismos que son utilizados en determinados sistemas que requieren tensiones del alta tensión como de muy baja tensión, a continuación en la tabla 4 se muestran algunos niveles de voltajes.

VOLTAJE O TENSIÓN	
MUY BAJA TENSIÓN (MBT)	Corresponde a las tensiones hasta 50 V en corriente continua o iguales valores eficaces entre fases en corriente alterna.
BAJA TENSIÓN (BT)	Correspondo a las tensiones por encima de 50 V, y hasta 1000 V en corriente continua o iguales valores eficaces entre fases en corriente alterna.
MEDIA TENSIÓN (MT)	Corresponde a tensiones por encima de 1000V y hasta 33000V inclusive.
ALTA TENSIÓN (AT)	Corresponde a tensiones por encima de 33000V.
TENSIÓN DE SEGURIDAD	En los ambientes secos y húmedos se considera como tensión de seguridad hasta 24V respecto a tierra.

Tabla 4. *Niveles de tensión.*
Fuente: (Hernández Acevedo, 2016).

1.3.4. Corriente eléctrica.

Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre en un material. Se debe al movimiento de las cargas (electrones) en el interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio. Según la ley de Ohm, la intensidad de la corriente es igual a la tensión (o voltaje) dividido por la resistencia que oponen los cuerpos. (Telergia, Energía en Telecomunicaciones, 2006)

Para determinar la corriente eléctrica se utiliza la siguiente fórmula:

$$I = \frac{V}{R} \qquad \text{Ec. 11}$$

Donde

I: Intensidad en amperios (A)

V: Diferencia de potencial en voltios (V)

R: Resistencia en ohmios (Ω)

1.3.4.1. Tipos de corriente.

- **Corriente contínua.**

Se denomina corriente continua o corriente directa al flujo de cargas eléctricas que no cambia de sentido con el tiempo. Cuando hay corriente continua, los terminales de mayor y menor potencial no se intercambian entre sí. Es errónea la identificación de la corriente continua con la corriente constante (ninguna lo es, ni siquiera la suministrada por una batería). *La corriente continua fluye en un solo sentido, manteniendo valor de su intensidad constante*. (Bastian et al, 2001, pág. 17)

- **Corriente alterna.**

Se denomina corriente alterna a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal. Es la más utilizada para los hogares y en las empresas. Es la corriente que fluye variando su sentido como su intensidad. (Bastian et al, 2001, pág. 17)

- **Corriente nominal:** En una máquina, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá en condiciones normales de operación.

- **Corriente de vacío:** Es la corriente que consumirá la máquina cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.

- **Corriente de arranque:** Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior (Chapman, pág. 269).

$$I_L = \frac{s_{arranq}}{\sqrt{3} * V_T} \qquad \text{Ec. 12}$$

Donde:

I_L: Corriente de arranque.

s_{arranq} : Factor de la letra código (code H/Hp)

V_T : Voltaje nominal.

Letra código nominal	Rotor bloqueado, kVA/hp	Letra código nominal	Rotor bloqueado, kVA/hp
A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.00
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00- 18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.10-8.00	V	22.40 y más
K	8.00-9.00		

FIGURA 6-34 Tabla de letras de código NEMA que indica los kVA/hp de arranque nominales de un motor. Cada letra de código se extiende hasta, pero no incluye, el límite inferior de la siguiente clase superior. (*Reproducida con el permiso de Motors and Generators, NEMA Publication MG-I, derechos de autor 1987 de NEMA.*)

Figura 20. *Letra código con valores de kVA.*
Fuente: (Chapman, pág. 269)

1.3.5. Velocidad síncrona.

Se define como la cantidad de vueltas completas que da el rotor en el lapso de un minuto; el símbolo de la velocidad angular es omega ω, no obstante, en la industria se utilizan las siglas r.p.m.

Donde:

ω: Revoluciones por minuto (rpm).

n: Constante

f: Frecuencia

t: Tiempo

Las unidades de la velocidad son los radianes por segundo (rad/s), sin embargo la velocidad también se mide en metros por segundo (m/s) y en revoluciones por minuto (r.p.m.) (Telergia, Energía en Telecomunicaciones, 2006). Para calcular las r.p.m. de un motor eléctrico se utiliza la ecuación:

$$\omega = \frac{120 * f}{P} \qquad \text{Ec. 13}$$

Donde:

ω: Revoluciones por minuto o velocidad angular.

f: Frecuencia eléctrica.

p: Número de polos.

1.3.6. Número de fases.

Depende directamente del motor y del lugar de instalación, por ejemplo: Para motores con potencia menor o igual a 1 HP (a nivel doméstico), generalmente, se alimentan a corriente monofásica (120 V.); cuando la potencia del motor oscila entre 1 y 5 HP lo más recomendable es conectarlo a corriente bifásica o trifásica (220 V); y para motores que demanden una potencia de 5 HP o más, se utilizan sistemas trifásicos o polifásicos. (WordPress.com, 2009)

1.3.7. Deslizamiento.

El deslizamiento es la relación que existe entre la velocidad de los campos del estator y la velocidad de giro del rotor (Chapman, pág. 235).

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} * 100\% \qquad \text{Ec. 14}$$

Dónde:

s: Deslizamiento

n_{sinc}: Velocidad síncrona

n_m: Velocidad en la placa.

1.3.8. Frecuencia.

Es el número de ciclos o repeticiones del mismo movimiento durante un segundo, su unidad es el segundo-1 que corresponde a un Hertz (Hz). La frecuencia y el periodo están relacionados inversamente, la frecuencia existente en nuestro país es 60 Hz, mientras que 50 Hz es utilizado en Europa (Chapman, pág. 235).

$$f = \frac{p * \omega}{120} \qquad \text{Ec. 15}$$

Dónde:

f: Frecuencia.

p: Número de polos

ω: Velocidad síncrona.

Para encontrar la frecuencia eléctrica del rotor se emplea la siguiente fórmula:

$$f_r = \frac{P}{120}(n_{sinc} - n_m) \qquad \text{Ec. 16}$$

1.3.9. Eficiencia.

Es un factor que indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico, La eficiencia (η) de una máquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada, en términos de potencia, la eficiencia es igual al cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada. (Telergia, Energía en Telecomunicaciones, 2006)

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \qquad \text{Ec. 17}$$

Donde

η : Eficiencia

P_s: Potencia de salida

P_e: Potencia de entrada

1.3.10. Par.

Un par de fuerzas es un conjunto de dos fuerzas de magnitudes iguales pero de sentido contrario. El momento del par de fuerzas o torque, se representa por un vector perpendicular al plano del par. (De Almeida, T, 2013). Por lo tanto para encontrar dicho valor aplicamos la siguiente fórmula:

$$Par(Nm) = \frac{Potencia(W)}{velocidad(^{rad}/_{s})} \qquad \text{Ec. 18}$$

Donde:

Par: Torque o par motor expresado en Nm.

P: Potencia del motor en W.

ω: Velocidad angular del motor (rad/s).

1.4. Mantenimiento que se realiza a un motor eléctrico.

Para que una máquina eléctrica genere un trabajo eficaz se debe de realizar el mantenimiento preventivo y correctivo con el fin de evitar fallas en la operación que este desempeñado. Estos mantenimientos son de gran importancia, ya que permite la conservación de los equipos, y un enfoque a la productividad, obteniendo mayores y mejores beneficios.

En un manual de mantenimiento de motores eléctricos realizado por (Videla Flores, 2006) se describen varios aspectos que se deben tomar en cuenta al realizar un mantenimiento de las máquinas eléctricas. A continuación se detallan algunas de estas:

1.4.1. Fallas en rodamientos.

Se utilizan para contrarrestar la fuerza axial que ejerce el eje. Estos cojinetes operan en base al principio de "cuña de aceite", en el que el líquido es succionado hacia arriba por la barra axial en rotación, y forma una cuña entre el cojinete y el collarín del eje. Evitan daños al equipo y mantienen en su posición la parte rotatoria.

- **Reemplazo de rodamientos.**

Cuando debe remplazarse un rodamiento, es recomendable seleccionar uno precisamente igual. Si hay que usar uno de otra marca, debe de consultarse el catalogo del fabricante, de modo que se utilice un rodamiento con las mismas especificaciones.

Una vez obtenido el rodamiento de reemplazo, hay que observar las siguientes precauciones para la instalación de rodamientos:

1. Verifique las tolerancias del eje y la carcasa.

2. Asegúrese que las tolerancias están dentro del intervalo recomendado por el proveedor del cojinete.

3. Limpie el área de instalación y las partes en contacto.

4. No exponga el rodamiento al polvo o suciedad.

5. No lave un rodamiento nuevo, porque eliminaría la película protectora.

6. En ningún caso se deberá montar el rodamiento ejerciendo fuerza sobre o a través de los elementos rodantes.

1.4.2. Lubricación a rodamientos y cojinetes.

Los rodamientos que operan en condiciones de velocidad y de temperaturas moderadas, generalmente, se lubrican con grasa, ya que es fácilmente retenida. También tiende a crear un sello para mantener fuera a la suciedad y materias extrañas. La lubricación por aceite se aplica habitualmente a rodamientos que trabajan en altas velocidades y temperaturas. (Videla Flores, 2006)

1.4.3. Desarmado de un motor.

En ciertas ocasiones para mantenimiento, y en otras para reparación, se requiere desarmar los motores eléctricos, por lo que es conveniente dar algunas indicaciones para facilitar este trabajo. Se recomienda seguir las siguientes reglas generales:

- Desconectar la alimentación del motor (desenergizar).
- Tomar nota (elaborar un diagrama) de las conexiones del motor para evitar errores cuando se vuelva a poner en servicio.
- Quitar todo el equipo auxiliar que no permita el acceso libre al motor.
- Analizar si se requiere o no remover el motor del lugar de su instalación.
- Seguir preferentemente las recomendaciones del fabricante para su montaje y maniobras a realizar.

Algo que es básico al desarmar un motor, es la colocación de marcas entre las tapas y el estator, a fin de conservar la misma posición para el armado posterior. Después de marcar las tapas y la carcasa del motor, se puede proceder al desarmado (Videla Flores, 2006). Se recomienda seguir las siguientes precauciones:

- No usar martillos metálicos directamente sobre cualquier parte del motor, ya que el impacto puede romper o fracturar al hierro fundido, o bien, puede deformar otras partes.

- No usar desarmadores (desatornilladores) para forzar las tapas al querer separarlas, esto puede producir marcas o daño.

- Estar preparado para registrar el procedimiento de desarmado y arreglar la disposición de las partes en un orden que identifique su armado.

- Tener listo un cuaderno de notas y lápiz para anotar cómo están las conexiones internas de los devanados.

- **Procedimiento para el desarmado del motor:**

1. Si el motor tiene escobillas, quitarlas de su porta escobillas.

2. Después de los pasos anteriores, se está en posición de retirar las tapas de la carcasa. Tan pronto como se separen las tapas, el rotor o armadura queda soportado por el estator. Se deberán tomar precauciones para evitar que el rotor sufra daño, usando soportes o caballetes. Entre más grande es el motor, se tiene mayor riesgo de daño.

3. Remover las tapas de ambos lados del motor, retirando de la flecha lentamente y procurando previamente haber desconectado todos los alambres de circuitos que pueda haber (por ejemplo el switch centrífugo en los motores de arranque con capacitor).

4. En la medida que se continua con el proceso de desarmado, registrar todas las partes que se retiran y el orden en que van. Elaborar un diagrama para el alambrado. Hacer una lista de colores, de acuerdo a los códigos para cada terminal, o bien usar la numeración convencional.

5. Una vez que se han retirado las tapas del eje del motor, se puede retirar el rotor, teniendo cuidado de que no se golpee contra el estator o los devanados del estator para evitar daños; por lo que dependiendo del tamaño del motor (en consecuencia del rotor), se deben adoptar distintas formas de soporte del rotor. (Videla Flores, 2006)

2. CAPÍTULO 2: Factores que intervienen en el movimiento del vehículo

En el presente capítulo se detallan cada una de las fuerzas resistentes que el vehículo debe vencer para que se desplace por la calzada sin dificultad y así lograr un excelente desempeño.

2.1. Fuerzas resistentes al movimiento

Para que un vehículo de desplace con facilidad, este debe vencer ciertas fuerzas que se oponen al movimiento, las cuales son:

- Resistencia a la rodadura (Rr)
- Resistencia a la pendiente (Rg)
- Resistencia aerodinámica (Rxa)
- Resistencia a la inercia (Ri)

2.1.1. Resistencia a la pendiente.

Se menciona que "la resistencia a la pendiente es la fuerza que el vehículo debe vencer al momento que se desplaza por un plano inclinado o pendiente, depende del peso y del valor de la inclinación, los valores de inclinación son expresados en porcentajes." (Domínguez & Ferrer)

2.1.1.1. Ángulo de inclinación.

En un análisis realizado por (Elettrico & Cassioli, 2014) menciona que "un vehículo eléctrico debe ser capaz de subir pendientes de al menos 15% para una conducción

normal, pero al menos del 20% si se viaja con regularidad por carreteras con muchas subidas y bajadas". En la tabla 5 se indican porcentajes y grados para el análisis de la pendiente.

Pendiente en porcentaje (%)	Pendiente en grados(°)
5	2.86
10	5.71
15	8.53
20	11.31
25	14.04
30	16.70
35	19.29

Tabla 5. *Valor a diferentes pendientes.*
Fuente: (Elettrico & Cassioli, 2014).

Para hallar el ángulo de una calzada con cierta inclinación se aplica la siguiente fórmula (Chuquiana Cunalata, 2014):

$$\theta = arctg^{-1}\frac{\emptyset\%}{100} \qquad \text{Ec. 19}$$

Donde:

ϕ: ángulo de inclinación en grados (°)
ϕ%: ángulo de inclinación en porcentaje (%)

Por lo tanto para encontrar la resistencia a la pendiente se utiliza la siguiente expresión:

$$Rg = m * g * Sen\theta \qquad \text{Ec. 20}$$

Donde:

R_g: Resistencia máxima a la pendiente.
m: Masa del vehículo en kg
g: Gravedad
θ: Ángulo de inclinación (°)

2.1.2. Resistencia a la rodadura.

Es la fuerza de oposición al movimiento del vehículo que se origina cuando el neumático entra en contacto sobre una superficie dura. Está relacionada con una pérdida de potencia esto se ocasiona por los siguientes factores: perdidas por histéresis en el interior del neumático, rozamiento entre neumático y superficie de rodadura causado por deslizamientos locales, resistencia debidas al contacto interior y exterior. (Luque, Álvarez, & Vera, 2013) Para calcular la resistencia a la rodadura aplicamos la siguiente fórmula (Chuquiana Cunalata, 2014):

$$Rr = f_r * m * g \qquad \text{Ec. 21}$$

Donde:

R_r: Resistencia a la rodadura.
fr: Coeficiente de rodadura.
m: Masa kg.
g: Gravedad: 9,81 m/s^2

2.1.2.1. Coeficiente de rodadura.

Para los valores de fr de la ecuación 21, es necesario un cálculo que tiene relación con la presión de inflado y la velocidad longitudinal en el plano, como muestra la ecuación 22, esta fórmula es aplicada para velocidades menores de 165 km/h. (Chuquiana Cunalata, 2014):

$$f_r = 0{,}0085 + \frac{0{,}018}{P} + \frac{1{,}59 * 10^{-6}}{P} V^2 \qquad \text{Ec. 22}$$

Donde:

P: Presión de los neumáticos expresado en bares (bar)

v: Velocidad lineal en (km/h)

2.1.2.2. Componente normal del vehículo.

Es la reacción del plano o fuerza que ejerce el plano sobre el móvil, depende del peso del vehículo, la inclinación del plano y de otras fuerzas que se ejerzan sobre el bloque como la gravedad.

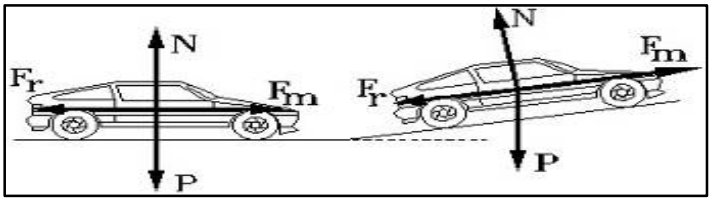


Figura 21. *Fuerza normal de un vehículo aplicado sobre un plano recto e inclinado. Fuente: (Paredes, 2003).*

De las condiciones de equilibrio se obtiene que la fuerza normal N es igual:

$$N = m * g \qquad \text{Ec. 23}$$

Donde:

m: Masa (kg)
g: Gravedad

2.1.3. Resistencia aerodinámica.

Según (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001) dicen que "La resistencia aerodinámica es la fuerza de oposición al avance que ejerce el aire sobre el vehículo en movimiento, esta fuerza se genera de acuerdo a diversos factores los cuales se indican a continuación.

- Características del vehículo: forma y área frontal.
- Factores de medio: densidad del aire.
- Factores operativos: velocidad de circulación.

Para encontrar la resistencia aerodinámica Rax, existe la siguiente fórmula:

$$Rax = \frac{1}{2} * \rho * Cx * A_f * v^2 \qquad \text{Ec. 24}$$

Dónde:

ρ : Densidad del aire en kg/m^3.
C_x: Coeficiente aerodinámico.
A_f: Área frontal del vehículo en m^2.
v: Velocidad del vehículo en m/s^2.

2.1.3.1. Densidad (ρ).

La densidad de un fluido se ve influenciado por la presión y la temperatura. La variación de la presión y la temperatura en el campo del flujo varia poco, por lo tanto resulta suponer que la densidad no varía ya que el aire actúa como un fluido incomprensible. El valor de la densidad en condiciones normales es de 1.255 kg/m^3. (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

2.1.3.2. Coeficiente aerodinámico al avance (C_x).

Es un valor de la resistencia aerodinámica que presenta un cuerpo al desplazarse dentro de un fluido, esto depende mucho de la forma del cuerpo. Es utilizado en automoción como un valor comparativo para evaluar la eficiencia aerodinámica en las carrocerías de vehículos. Cuando el C_x de un vehículo es menor el diseño del mismo es más eficiente aerodinámicamente (Arpem, s.f.). Seguidamente se presentan algunos valores de C_x en diferentes tipos de vehículos:

TIPO DE VEHÍCULO	COEFICIENTE AERODINÁMICO C_x
Cabriolet abierto	0.5……0.7
Familiar	0.5……0.6
Tres volúmenes	0.4…..0.55
En forma de cuña con faros y parachoques	0.3…..0.4
Camiones	0.8…..1.5
Motos	0.6…..0.7
Autobuses	0.6…..0.7
Autobuses con línea aerodinámica	0.3…..0.4

Tabla 6. *Cx de diferentes vehículos.*
Fuente: Manual de la técnica del automóvil. Bosch.

Con referencia a lo anterior se estipula utilizar para el cálculo de Rax el valor de Cx = 0,3 ya que el vehículo se asemeja a un turismo normal, por otro lado para conocer este coeficiente se lo calcula mediante un túnel de viento, en la figura 22, se indica los Cx utilizados en varios modelos de vehículos.

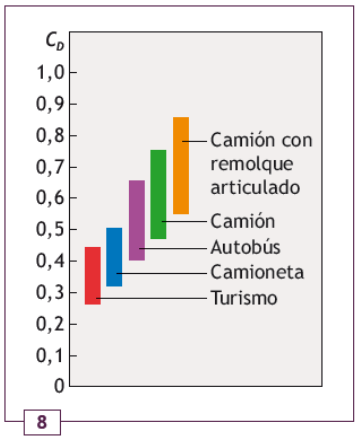


Figura 22. *Coeficiente de resistencia al aire en distintos vehículos.*
Fuente: (Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2012)

2.1.3.3. Área frontal.

"El área frontal del vehículo se determinar en m^2. Se calcula (siendo b el ancho y h el alto) con la fórmula indicada a continuación." (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001).

$$A_f = f * b * h \qquad \text{Ec. 25}$$

Donde:

f: 0,85 constante

b: Base o el ancho total del vehículo

h: Altura total del vehículo

En la figura 23 se indica las medidas que se deben considerar para determinar el área frontal del vehículo tomando en cuenta las partes más sobresaliente de la carrocería.

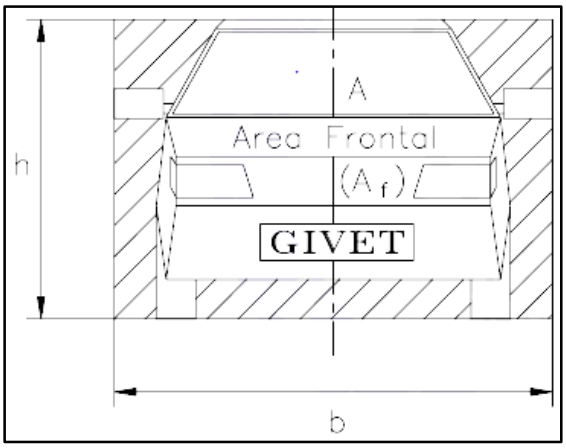


Figura 23. *Área frontal en función de la dimensiones del vehículo.*
Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

2.1.3.4. Velocidad.

Es una magnitud vectorial que expresa la distancia recorrida de un cuerpo con respecto al tiempo.

$$V = \frac{e}{t} \qquad \text{Ec. 26}$$

Donde:

e: Espacio o distancia

t: Tiempo en que se recorre una distancia.

2.1.4. Resistencia de la inercia.

Es la propiedad que tienen los cuerpos de resistirse al cambio de estado en el que se encuentra, tanto cuando están en movimiento y se quiere aumentar al disminuir su velocidad, como cuando están parados y se quiere iniciar su movimiento. Esta fuerza de la resistencia a la inercia se calcula multiplicando la masa del vehículo (kg) por la aceleración producida (m/s^2) (Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2012). Cuanta más masa tenga el vehículo más fuerza hay que aplicar, para conocer la resistencia a la inercia se aplica la siguiente fórmula.

$$Ri = m * a \qquad \text{Ec. 27}$$

Donde:

R_i: Resistencia a la inercia.
m: Masa del vehiculo (kg).
a: Aceleración m/s^2.

2.1.4.1. Aceleración.

Es la variación que experimenta la velocidad en la unidad de tiempo, para hallar la aceleración se utiliza la siguiente fórmula (Hibbeler, 2010).

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} \qquad \text{Ec. 28}$$

Donde

a: Aceleración en m/s^2
v_f: Velocidad final en m/s.
v_o: Velocidad inicial.
t: Tiempo en segundos

2.1.5. Resistencia total.

La resistencia total que opone el vehículo biplaza en su desplazamiento determina la magnitud de la fuerza de impulsión necesaria y equivalente al conjunto de fuerzas resistentes que se oponen a su desplazamiento (Chuquiana Cunalata, 2014). Mediante la siguiente fórmula se puede determinar lo mencionado.

$$Ft = R_g + R_r + R_{ax} + R_i \qquad \text{Ec. 29}$$

Donde:

F_t: Resistencia total.

R_g: Resistencia a la pendiente

R_r: Resistencia a la rodadura

R_{ax}: Resistencia aerodinámica

R_i: Resistencia a la inercia

3. CAPÍTULO 3: Generalidades de un vehículo tubular

En el presente capítulo se realiza una revisión de los conceptos principales referentes a las partes que está formado un vehículo tubular, en que se implementará el motor eléctrico.

3.1. Vehículo con bastidor o chasis tubular

La estructura convencional utilizada para los vehículos tubulares se trata de una red de finos tubos metálicos que son soldados entre sí, que dan la forma de una jaula, que luego es recubierta con láminas metálicas. En el chasis se montan y sujetan todos los mecanismos que conforman el vehículo, soportando el peso de unos como el motor, batería, conductor, etc., y otros colgados de él como la suspensión y las ruedas. Con esta estructura se tiene un vehículo mucho más liviano. La estructura debe ser de gran rigidez y resistencia, para que logre tener un excelente desempeño en todas las pruebas o condiciones de conducción que tenga el vehículo (Garzon, 2012). En la figura 24, se muestra un vehículo con chasis o bastidor tubular.

Figura 24. *Vehículo tubular.*
Fuente: (De la Cruz Rodríguez, 2012)

3.2. Carrocería

La carrocería es la parte estética del vehículo, su misión es albergar las personas y protegerlas cuando este empieza a desplazarse. En el diseño de la carrocería del vehículo se evalúan una serie de parámetros que influirán de manera directa en sus futuras prestaciones: seguridad, aerodinámica y peso. Para este caso la estructura de la carrocería se basa en una serie de láminas dobladas con respecto a la geometría del vehículo, es utilizada como soporte para dispositivos de control, luces, cinturones de seguridad, entre otros (Luque, Álvarez, & Vera, 2013).

3.3. Asientos

Los asientos son los elementos que sustentan el peso de los pasajeros y brindan una posición confortable para la conducción del vehículo, ya que cuentan con rieles de calibración que se adecuan a las necesidades del conductor y pasajeros, permitiendo así todas las facilidades necesarias para conducir de forma satisfactoria y segura.

Figura 25. *Asientos en vehículos tubulares.*
Fuente: (De la Cruz Rodríguez, 2012)

3.4. Sistema de transmisión

Este sistema tiene la misión de transmitir todo el par motor hacia las ruedas motrices, el cual necesita de otros elementos que se van a encargar de ello. Este sistema dependerá del lugar en el cual se coloque el motor ya sea delantero a posterior, además de la posición

de las ruedas motrices ya sea tracción o propulsión. En este vehículo tubular el sistema de transmisión se encuentra en la parte posterior por consiguiente la ruedas motrices son las posteriores, lo que se convierte en un sistema de tracción trasera.

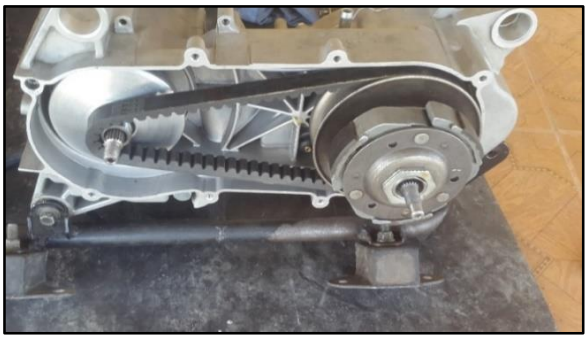


Figura 26. *Sistema semiautomático CVT.*
Fuente: Autor.

3.4.1. Sistema CVT.

Una transmisión continuamente variable (CVT) tiene una relación de transmisión que se puede variar continuamente dentro de un cierto rango, proporcionando de este modo un número infinito de engranajes. La variación continua permite un juego para prácticamente cualquier velocidad del motor y el par motor a cualquier velocidad de la rueda y el par motor. Por lo tanto, es posible lograr un perfil ideal de par-velocidad (perfil de energía constante). (Chuquiana Cunalata, 2014)

3.4.1.1. Rendimiento mecánico de la transmisión.

En la transmisión del movimiento se producen pérdidas por rozamientos mecánicos, cambios de dirección del movimiento, etc. Estas pérdidas producen que el rendimiento de la transmisión (η) no sea del 100%, sino un poco inferior, alrededor del 85-90%, con lo que la potencia transmitida desde el motor a las ruedas se verá reducida en una cantidad del 10 al 15% (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2018).

3.4.2. Transmisión por cadena.

Son sistemas más eficientes utilizados para transmitir potencia mecánica, dado que los dientes de las ruedas dentadas evitan que la cadena se resbale. Esta condición les da más capacidad de trasmisión y las hace más confiables. Consta de dos ruedas dentadas y un miembro deformable formado por una serie de eslabones rígidos que pueden tener un giro relativo entre ellos los cuales constituyen una cadena. Estos sistemas trasmiten el movimiento entre los ejes por medio del empuje generado entre los eslabones de la cadena y los dientes de las ruedas, que en la práctica se conocen como sprockets. (Fredy, 2011)

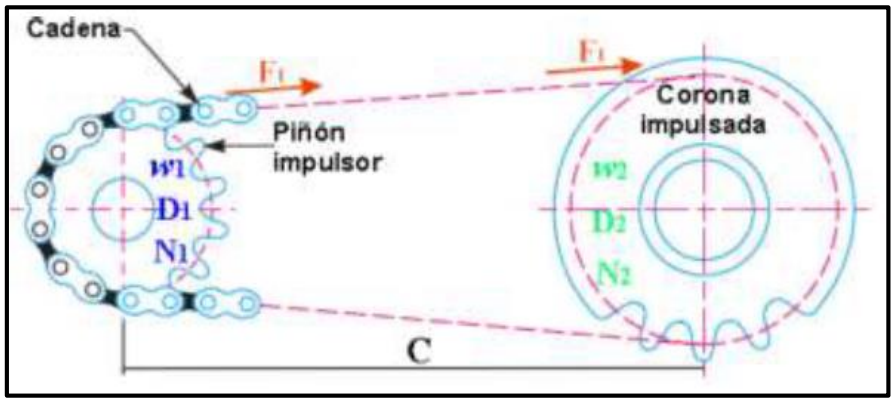


Figura 27. *Transmisión por cadena.*
Fuente: (Chuquiana Cunalata, 2014)

3.4.2.1. Ventajas e inconvenientes de una transmisión por cadena.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
• Transmiten potencia a grandes distancias.	• Requieren montaje y mantenimientos minuciosos
• Relación de transmisión prácticamente constante.	• Requieren lubricación y en ocasiones carcasas.
• Sometidas a menores cargas que las transmisiones por correas (no requieren tensado inicial).	• Relativamente tienen un alto costo.
• Mejor resistencia a condiciones ambientales que las transmisiones por correa.	.
• Simplifican la transmisión.	
• Transmisión de potencia a varios ejes.	

• Tienen una amplia gama de elementos en base a las necesidades de uso.	
• Buen rendimiento mecánico 0.94 a 0.98.	

Figura 28. *Ventajas e inconvenientes de transmisión por cadena.*
Fuente: (Chuquiana Cunalata, 2014)

3.5. Ruedas

Son los elementos no suspendidos de un vehículo, es el punto de apoyo sobre el suelo. Sus zonas de contacto con el piso soportan el peso del vehículo y de su carga, resisten los esfuerzos laterales y absorben las vibraciones de las pequeñas desigualdades del terreno, a la vez transmiten la fuerza del motor en el avance y la de los frenos en las paradas (Luque, Álvarez, & Vera, 2013).

Figura 29. *Ruedas en vehículos tubulares.*
Fuente: http://vochomania.mx (web)

3.6. Transmisión eléctrica

La transmisión eléctrica que se implementará en el presente proyecto se basa en los principios básicos de funcionamiento de un vehículo eléctrico, en el cual se analizara las características de funcionamiento de los diferentes componentes del sistema, con lo cual se logra tener los conocimientos básicos para la elección de los elementos necesarios a ser implementados. Este sistema se compone de las siguientes partes:

Un generador, cuyo cometido es transformar la energía mecánica en eléctrica.

Motores de tracción acoplados a los ejes que transforman la energía eléctrica en mecánica.

Ventajas de la transmisión eléctrica:

- Permite utilizar la potencia máxima del motor con distintas velocidades.
- Hay un buen reparto del peso, por lo que se aprovecha muy bien la adherencia.
- Rendimiento entre el 85 - 90 %.
- Reparto por igual en todos los ejes la potencia producida por el motor gracias a los enlaces eléctricos.
- Desarrollo de grandes esfuerzos.

Inconvenientes de la transmisión eléctrica:

- Es más pesada que las otras dos opciones de transmisión.
- Su precio también es más elevado.

3.6.1. Elementos que conforma un sistema de transmisión eléctrica.

Uno de los principales elementos de un sistema de transmisión es el motor eléctrico, pero este componente requiere de una fuente de alimentación y de un sistema de control para lo cual se utiliza como suministro de energía un sistema de alimentación ininterrumpida UPS, y el sistema de control se lo realiza mediante un variador de frecuencia, estos elementos fueron previamente implementados en el vehículo tubular.

3.6.1.1. Sistema de alimentación ininterrumpida UPS.

Es un dispositivo que gracias a sus baterías, puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados. Otras de las funciones que se pueden adicionar a estos equipos es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas

de tensión en el caso de usar corriente alterna. Proporcionan energía eléctrica a equipos, como aparatos médicos, industriales o informáticos ya que estos aparatos requieren tener siempre alimentación y de calidad, debido a la necesidad de estar en todo momento operativos y sin fallar (Legrad Group España, 2013) . Con las características descritas anteriormente, se determinó utilizar este dispositivo como la fuente de alimentación, para el presente proyecto, ya que la misma entrega una tensión de 220V en C.A. dicha tensión es la necesaria para el funcionamiento al motor eléctrico.

POWERWARE
Modelo: PW9125 6000g
Entrada: ~ 50/60 Hz
208 / 220 / 230 / 240 V
24 A MAX
Entrada: ---: 240 V 30 A
Salida: ~ 50 / 60 Hz
208 / 220 / 230 / 240 V
25 A MAX
6000 VA / 4200 W

Figura 30. *Banco de baterías, con sus características de funcionamiento UPS. Fuente: Autor.*

3.6.1.2. Variador de frecuencia.

Se utiliza un variador de frecuencia comercial (HPVFE02T3D7) de la marca HAPN. El variador controla la corriente que circula por el motor a medida que varía la frecuencia con el objeto de controlar el par mecánico y evitar daños en el bobinado. En este proyecto es el encargado del control del motor eléctrico tanto en el encendido y apagado como también de su velocidad, ya que el variador de frecuencia recibe señales electrónicas desde un potenciómetro y de la posición en que se encuentra el pedal de aceleración, lo que influye en la velocidad a la que se está alcanzando.

hapn	
HPVFE02T3DT	Inversor
Potencia Nominal: 3.7 kW	
Entrada: 3 Fases AC 220V 50/60 Hz	
Entrada de Voltaje: 200 - 240 V	
Salida: 3 Fases AC	
Salida de Voltaje: 0 - 240 V	
Salida de Frecuencia: 0 - 400 Hz	
Corriente Nominal: 17. 5 A	

Figura 31. *Variador de frecuencia con los datos técnicos de funcionamiento. Fuente: Autor.*

3.7. Sistema de suspensión

El sistema de suspensión está formado por un conjunto de dispositivos que absorben los movimientos bruscos producidos por las irregularidades de la calzada los cuales producirán efectos indeseables en el vehículo, gracias a este sistema el vehículo tendrá así una marcha estable y segura. Además el sistema de suspensión debe cumplir con dos funciones principales, las cuales son asegurar el confort de marcha y la estabilidad del vehículo (Luque, Álvarez, & Vera, 2013, pág. 102).

El sistema de suspensión además realiza otras subfunciones las cuales son:

- Proporcionar un comportamiento vertical tal que las ruedas puedan superar los desniveles del terreno, aislando a la carrocería de las irregularidades de la calzada.

- Mantener la posición de los neumáticos y la geometría de la dirección en perfecto estado de funcionamiento con respecto a la superficie de la carretera.

- Reaccionar a las fuerzas de control que se transmiten desde las ruedas: fuerzas longitudinales (aceleración y frenado), fuerzas laterales (en el giro), y pares de la dirección y frenado.

- Mantener las ruedas en contacto con la calzada con variaciones mínimas de carga.

Figura 32. *Elementos de suspensión.*
Fuente: Autor:

3.8. Sistema de freno

El sistema de frenado proporciona la capacidad de reducir la velocidad del vehículo y, si es necesaria la detención total del mismo, con lo que representa un elemento fundamental en la seguridad. Este funcionamiento deberá tener un grado muy alto de fiabilidad, ya que si este sistema fallara cuando sea el caso, provocaría un accidente de graves consecuencias. En la fig. 33, se representa el sistema de freno de disco de un vehículo tubular. Por lo tanto los frenos deberán conseguir que el vehículo se detenga por completo en distancia lo más pequeñas posibles sin la necesidad de que el conductor realice grandes esfuerzos (Domínguez & Ferrer). Esto hace que los sistemas sean esenciales cuando se está conducción siendo necesario realizar continuamente estrictos mantenimientos y regulaciones. Los sistemas de frenado deben cumplir las siguientes funciones:

- Reducir la velocidad del vehículo.
- Permitir la detención total del vehículo.

Figura 33. *Freno por disco.*
Fuente: Autor.

3.9. Sistema de dirección

El sistema de dirección de un vehículo está formado por todos los elementos que permiten orientar las ruedas directrices, en función de las maniobras realizadas por el conductor sobre un mando de accionamiento (volante). Su función principal es permitir un control direccional suficientemente preciso para realizar un trazado en las curvas, las acciones de adelantamiento o de evasión ante obstáculos presentes en la carretera y las maniobras a baja velocidad, por ejemplo maniobras de aparcamiento (Domínguez & Ferrer). En la fig. 34, se presenta el sistema de dirección de un vehículo.

Figura 34*: Sistema de dirección.*
Fuente: Autor.

e. MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo se desarrolla el proceso para el análisis, selección e implementación de un motor eléctrico como fuente de potencia para un vehículo tubular, a continuación se describen los materiales utilizados.

1. Materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo del presente trabajo de grado se describen a continuación:

- Vehículo tubular.
- Equipos de medición (flexómetro, multímetro, amperímetro, calculadora, etc.)
- UPSs (banco de baterías) fuente de alimentación.
- Variador de frecuencia.
- Motor eléctrico.
- Herramientas de taller (Amoladora, Taladro, Juego de llaves y dados, Alicates, Cinta aislante, Soladora, Tornillo de banco, Destornilladores, Tornillos, pintura, brocas, torno, disco de corte, cable concéntrico # 3 x 12, pintura.
- Acople rígido para unir carcasa entre motor – caja.
- Cople para unir ejes.

2. Procedimiento

En el siguiente diagrama de la figura 35 se muestra el proceso que se realizó para el estudio, análisis e implementación del motor eléctrico como potencia para el vehículo tubular.

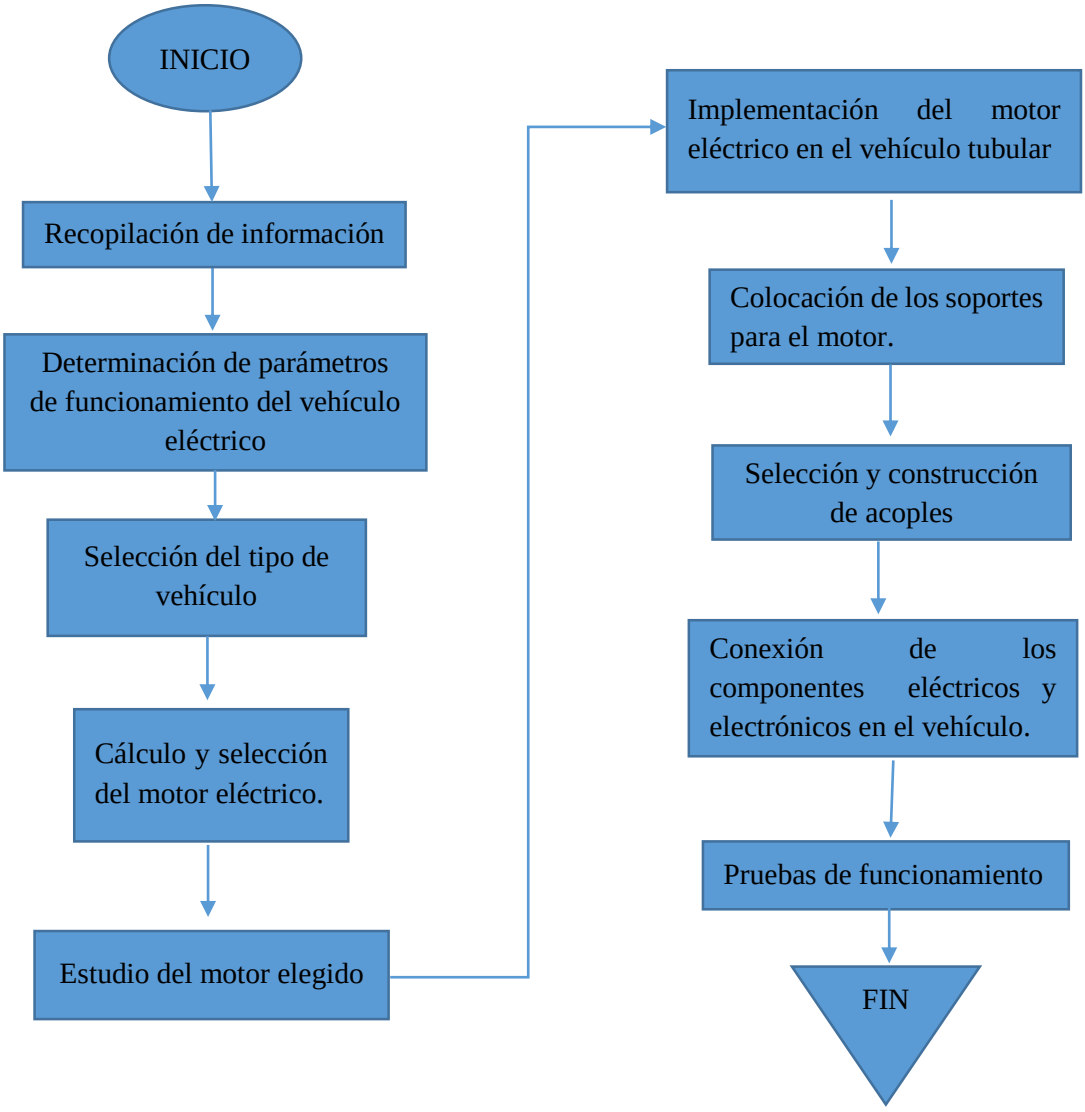


Figura 35. *Procedimiento metodológico.*
Fuente: Autor.

2.1. Recopilación de información

Para realizar el estudio, análisis e implementación de un motor eléctrico como fuente de potencia, en primer lugar se recopiló información de fuentes bibliográficas, artículos

científicos, libros, entre otros, permitiendo conseguir información confiable la cual sirve para la estructuración de la revisión de literatura.

2.1.1. Topografía de la ciudad de Loja.

Por otra parte, aplicando la técnica de la observación se realizó una inspección a diferentes calzadas de la ciudad, siendo uno de los factores que intervienen en el movimiento del vehículo para lo cual se debe conocer la topografía de la ciudad de Loja, con el fin de conocer el grado de pendiente en las calzadas siendo los escenarios en que necesita mayor rendimiento del motor.

Un estudio realizado por (Geo Loja, 2008), indica que la topografía de la ciudad, presenta pendientes superiores al **8%**, lo que afecta a la circulación de vehículos pesados y en el deterioro estructural de las vías. Un 70 % de las vías, por donde circulan los buses, son asfaltadas (doble tratamiento); el deterioro se observa en los accesos que conducen a los barrios marginales.

Figura 36. *Vías de Loja.*
Fuente: Google Earth.

Figura 37. *Vías planas y con pendiente que existen en Loja.*
Fuente: Google Earth

2.2. Determinación de parámetros para funcionamiento del vehículo eléctrico

Para implementar un motor eléctrico como fuente de potencia en un vehículo tubular, se debe definir ciertas especificaciones a las que se quiere alcanzar para lo cual en la tabla 7, se describe cada uno de los parámetros requeridos.

Parámetro	Valor deseado	Valor límite	Justificación
Peso total (kg)	400	500	Se considera que tenga un peso de al menos 400 kg, ya que si posee un valor superior a 500 kg resultaría en un vehículo muy pesado y poco ágil lo que impediría obtener las especificaciones de velocidad y autonomía (Martín & Mocholí, 2016).
Velocidad máxima (km/h)	15	20	Al tratarse de un trabajo experimental se desconoce la velocidad del vehículo, por lo tanto se considera alcanzar una velocidad superior a 15 km/h, con esta velocidad se puede circular con normalidad por vías que presentan pendientes ascendente y descendentes. (Chuquiana Cunalata, 2014).
Pendiente máxima (%)	15	18	Un parámetro muy importante en un vehículo eléctrico es la pendiente que puede superar. La pendiente máxima superable para los vehículos eléctricos se mide en porcentaje, y también en grados, en este caso se utiliza una pendiente con un porcentaje de 15% (8.53°) siendo un valor promedio que deben superar los vehículos eléctricos (Elettrico & Cassioli, 2014)

Tabla 7. *Parámetros de funcionamiento.*
Fuente: (Martín & Mocholí, 2016)

2.3. Selección del tipo de vehículo.

La implementación se la realiza en un vehículo con chasis tubular, debido a la facilidad de adquisición y además el costo es menor, siendo un vehículo adecuado para realizar este tipo de modificación, en la figura 38 se muestra el vehículo elegido.

Figura 38. *Vehículo de chasis tubular elegido.*
Fuente: Autor.

Este vehículo es elegido ya que ofrece las siguientes características:

- Su chasis es muy resistente, liviano y económico.
- El material del que está fabricado es fácil de encontrar en nuestro medio.
- El espacio es amplio y se puede modificar de acuerdo a la necesidad requerida para la implementación de la transmisión.
- La facilidad de acoplar accesorios como las baterías, variador, entre otros.

Por otra parte en la tabla 8, se indican los datos técnicos del vehículo tubular, los mismos que son utilizados para el cálculo de las resistencias como aerodinámica, pendiente,

rodadura e inercia, con las cuales se determina la potencia del motor eléctrico adecuado para ser implementado.

Datos del vehículo tubular.			
Motor	Tipo		Gasolina
	Cilindrada		149 cc
Transmisión	Semi automática CVT,		
Dimensiones	Batalla		1.84 m
	Ancho		1,21m
	Altura		1,39 m
	Área frontal		1,42 m^2
	Nro. de plaza		Bi plaza
Masa total de vehículo vacío	226 kg		
Neumáticos	Medida del neumático	Rd	19 pulg x 7 pulg - 8 pulg
		Rt	20 pulg x 10 pulg – 9 pulg
		P. max inflado	250 kPa (2,5 bar) = 36 psi
Suspensión	Delantera		Independiente
	Posterior		Rígida
Tipo de batería	Ácido de plomo (12V)		

Tabla 8. *Datos técnicos del vehículo tubular.*
Fuente. Autor.

2.3.1. Cálculo y selección del motor eléctrico

Para determinar el motor eléctrico es necesario conocer las fuerzas resistentes a las que tienen que hacer frente el vehículo tubular, y en base a los valores obtenidos se elige el motor adecuado para la implementación.

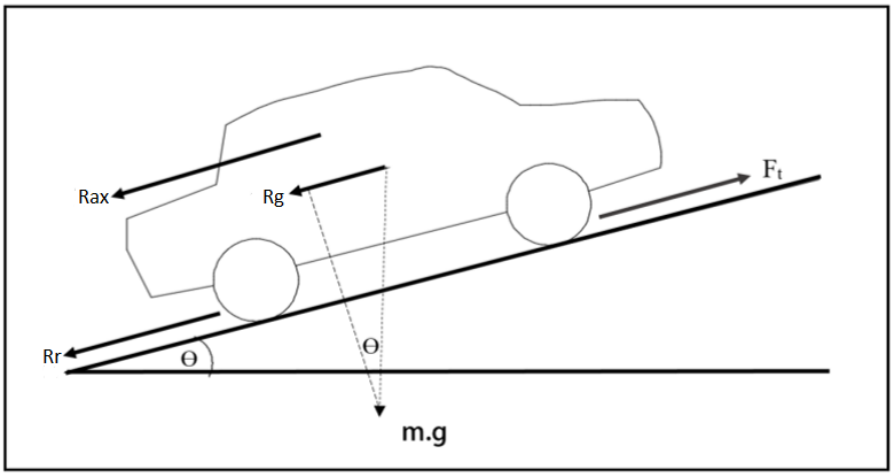


Figura 39. *Resistencias opositoras al movimiento.*
Fuente: (Ortiz Medrano, 2017).

En la figura 39 se muestra un modelo cinemático que se toma de base para la determinación de las prestaciones, aquí se pueden visualizar los esfuerzos resistentes al avance de un vehículo, para el análisis se lo realiza con calzadas de 15 % de inclinación siendo el escenario en que necesita de mayor desempeño del motor. A continuación de presentan las resistencias que posee un vehículo:

- Resistencia a la pendiente (Rg)
- Resistencia a la rodadura (Rr)
- Resistencia aerodinámica (Rax)
- Resistencia a la inercia (Ri)
- Fuerzas de tracción. total (Ft)

2.3.2. Cálculo de resistencia a la pendiente.

Es la resistencia o el peso total del vehículo que actúa al circular a lo largo de una calzada con cierto grado de inclinación. En este caso se debe considerar todos los componentes que conforman el vehículo (baterías, pasajeros etc.) Se considera con un porcentaje de 15% = 8,53° de inclinación, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación (Chuquiana Cunalata, 2014)

$$Rg = m * g * Sen\ \emptyset \qquad \text{Ec. 30}$$

Donde

R_g: Resistencia a la pendiente (N)

m: Masa total del vehículo (kg)

g: Gravedad: 9,81 m/s^2

$\emptyset$: Grado de inclinación

- **Masa total del vehículo.**

Con relación a la masa total se consideran el peso promedio de dos pasajeros el cual es de 70 kg (Licata , s.f.), por otro lado para conocer el peso del vehículo se realiza pesándolo en una báscula plataforma, la misma que tiene una capacidad de 1500 kg, estos equipos son de uso intensivo, en la industria, (Leysar, 207). En la figura 40 se muestra el pesaje de vehículo.

Figura 40. *Peso del vehículo en báscula plataforma.*
Fuente: Autor.

Además del peso del vehículo y los pasajeros se toman en cuenta el peso de las baterías y de accesorios que se implementaron, en la tabla 9 se indica la masa total del vehículo y sus componentes.

MASA DEL VEHÍCULO	
COMPONENTES	**MASA**
VEHÍCULO VACÍO + MOTOR	228 kg
2 PASAJEROS	140 kg
UPS(BANCO DE BATERÍAS)	82 kg
ACCESORIOS	10 kg
TOTAL	**460 kg**

Tabla 9. *Masa total del vehículo y componentes*
Fuente: Autor.

- **Ángulo de inclinación.**

Se considera cuando el vehículo tiene que superar desniveles con cierto grado de inclinación. La pendiente o ángulo de inclinación se mide en porcentaje y se considera según normas internacionales hasta 18 % (Chuquiana Cunalata, 2014). Pero en este caso se utiliza un porcentaje de 15 % siendo la pendiente mínima que debe de superar un vehículo eléctrico. Para lo cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$\emptyset = arctg^{-1}\frac{\emptyset\ \%}{100} \qquad \text{Ec. 31}$$

$$\emptyset = arctg^{-1}\frac{15\ \%}{100}$$

$$\boldsymbol{\emptyset = 8,53°}$$

Reemplazando en la ecuación Ec. 30 se obtiene:

$$Rg = 460\ kg * 9{,}81\frac{m}{s^2} * Sen\ 8{,}53°$$

$$\boldsymbol{Rg = 669,34\ N}$$

En la tabla 10, muestra la fuerza necesaria para vencer pendientes con distintos ángulos de inclinación, aplicando las ecuaciones 30 y 31 respectivamente.

Resistencia en diferentes grados de pendiente			
ϕ %	ϕ rad	ϕ (°)	R. g (N)
0	0,00	0,00	0,00
3	0,03	1,72	135,30
6	0,06	3,43	270,11
9	0,09	5,14	403,96
12	0,12	6,84	536,38
15	**0,15**	**8,53**	**668,33**

Tabla 10. *Resistencia a diferentes grados.*
Fuente: Autor.

En la figura 41 se puede apreciar la curva correspondiente a la resistencia de pendiente, en la cual se evidencia que el motor eléctrico demanda más consumo de corriente, siendo el escenario en se requiere mayor desempeño de motor.

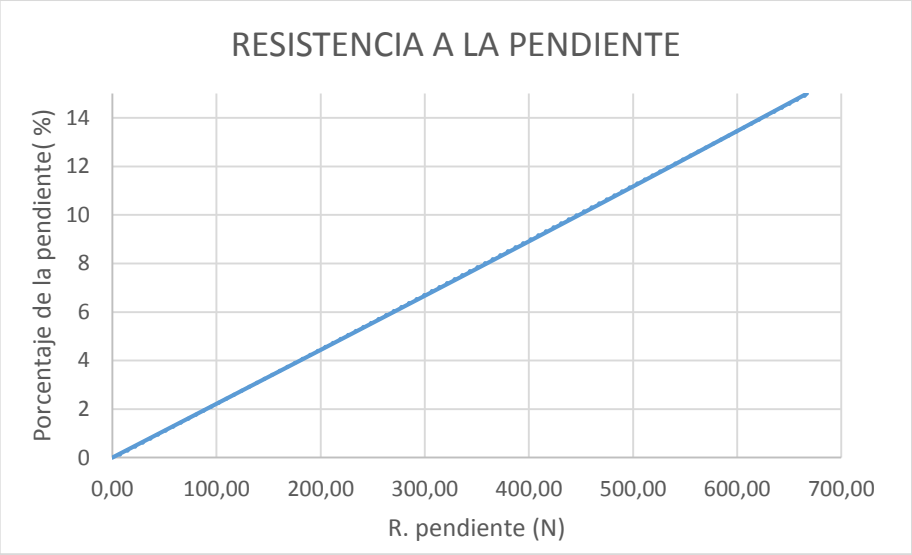


Figura 41. *Resistencia a la pendiente.*
Fuente: Autor.

2.3.3. Cálculo de resistencia a la rodadura.

Es la fuerza que se opone al movimiento del vehículo, generando la fricción entre el neumático y la superficie por la que se desplaza, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$Rr = fr * m * g * Cos\ \emptyset \qquad \text{Ec. 32}$$

Dónde:

R_r: Resistencia a la rodadura.

fr: coeficiente de resistencia a la rodadura

m: 460 kg

g: 9.81 m/s^2

∅: 8.53°

- **Coeficiente de resistencia a la rodadura *fr*.**

Primeramente se realiza el cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura fr tomando en cuenta la presión de inflado de los neumático, estos datos se los encuentra en la figura 42.

Figura 42. *Dimensiones de neumático.*
Fuente: Autor.

Datos:

P: 2,5 bar

v: 15 km/h velocidad que se pretende alcanzar.

Por lo tanto para calcular el coeficiente se aplica la siguiente expresión:

$$fr = 0{,}0085 + \frac{0{,}018}{2{,}5\ bar} + \frac{1{,}56\ x\ 10^{-6}}{2{,}5\ bar} * 15^2 \qquad \text{Ec. 33}$$

$$\boldsymbol{fr = 0.0158 = 0{,}016}$$

En la tabla 11, se indica el coeficiente de rodadura en distintas velocidades, tomando en cuenta diferentes valores de inflado, dichos análisis indican que a medida que disminuye la presión de inflado, el coeficiente de rodadura aumenta.

Coeficiente a la rodadura a diferentes presiones de inflado			
Velocidad	Coeficiente de resistencia a la rodadura *(fr)*		
km/h	Bar (2,5)	Bar (2)	Bar(1,5)
0	0,016	0,017	0,02
5	0,016	0,017	0,02
10	0,016	0,017	0,02
15	0,016	0,017	0,02
20	0,016	0,017	0,02
25	0,016	0,018	0,02

Tabla 11. *Coeficiente de resistencia a la rodadura con diferentes presiones de inflado. Fuente: Autor.*

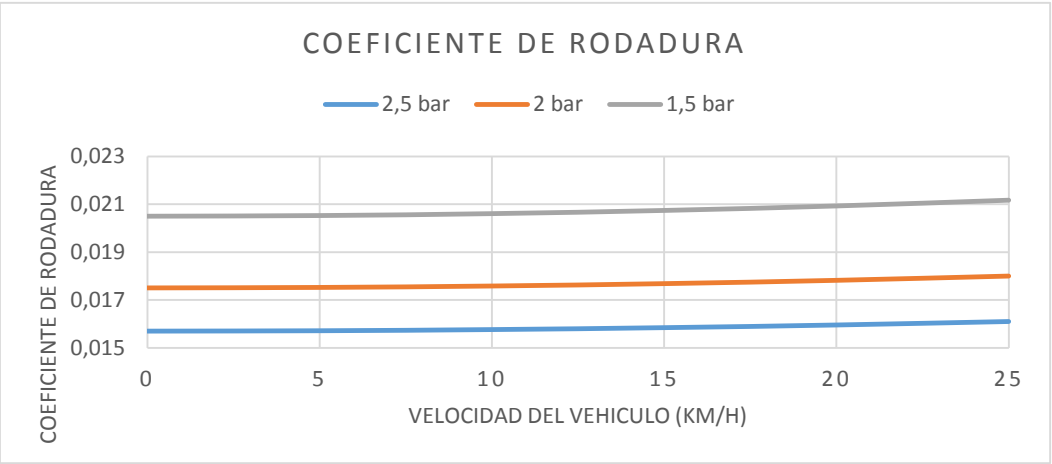


Figura 43. *Curvas comparativas del coeficiente de rodadura con respecto a la velocidad. Fuente: Autor.*

En la figura 43, se muestra una gráfica que indica cómo influye la presión de inflado en el coeficiente a la rodadura, apreciando así que la presión afecta de forma significativa a la resistencia a la rodadura. En otros casos, el coeficiente de rodadura entre neumático y superficie, se da por medio de tablas como por ejemplo en la tabla 12.

TIPO DE VEHÍCULO	**SUPERFICIE**		
	Hormigón o Asfalto	Dureza Media	Arena
Turismos	**0.016**	0.08	0.30
Camiones	0.012	0.06	0.25
Tractores	0.02	0.04	0.20

Tabla 12. *Coeficientes de rodadura.*
Fuente: (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001)

Por lo tanto reemplazando en la ecuación 32 se obtiene:

$$Rr = 0{,}016 * 460\ kg * 9.81 m/m^2 * Cos\ 8{,}53$$

$$\boldsymbol{Rr = 71{,}40\ N}$$

En la tabla 13, se observa diferentes resultados a velocidades distintas con la pendiente de 8,53°.

RESISTENCIA A LA RODADURA EN PENDIENTE						
Velocidad		Coeficiente	Inclinación	Masa	Gravedad	R. rodadura
km/h	m/s	fr	15 %	kg	m/s^2	N
0	0,00	0,016	8,53	460	9,81	70,85
5	1,39	0,016	8,53	460	9,81	70,89
10	2,78	0,016	8,53	460	9,81	71,01
15	**4,16**	**0,016**	**8,53**	**460**	**9,81**	**71,41**
20	5,56	0,016	8,53	460	9,81	71,48
25	6,94	0,016	8,53	460	9,81	71,83

Tabla 13. *Para pendientes de 15% o 8.53°.*
Fuente: Autor.

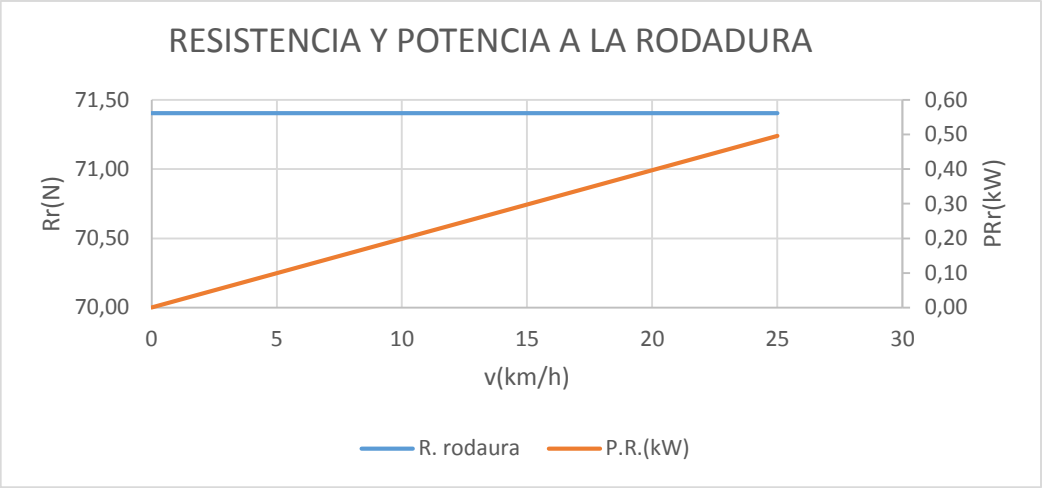


Figura 44: *Curvas comparativas entre resistencia y potencia.*
Fuente: Autor.

En la figura 44, se graficaron dos curvas comparativas entre la resistencia y la potencia, lo que indican que la resistencia permanece casi constante, en comparación con la potencia que es proporcional a la velocidad, mientras más velocidad se requiere más potencia, llegando a determinar que al circular por vías con pendientes se debe mantener una velocidad constante para evitar un esfuerzo mayor del motor eléctrico.

2.3.4. Cálculo de la resistencia aerodinámica.

Es la resistencia que enfrenta el vehículo al desplazarse a través del viento. Se aplica en la sección transversal del vehículo siendo negativa ya presenta en contra el movimiento móvil, por otra parte del ser el caso que el viento estuviera al mismo sentido que viaja el vehículo esta sería positiva, para encontrar esta fuerza de resistencia aerodinámica se aplica la siguiente expresión.

$$Rax = \frac{1}{2} * \rho * c_x * A_f * v^2 \qquad \text{Ec. 34}$$

Donde

ρ : 1,225 kg/ m^3

Cx: 0.3

V: 15 km/h = 4.16m/s

Af: área frontal.

- **Área frontal del vehículo.**

Para el cálculo del área frontal, en este caso se realizaron mediciones del ancho y la altura del vehículo tubular, tomando en cuenta las partes más sobresalientes, de las cuales depende el área frontal, para conocer su ancho y altura se utiliza un flexómetro para realizar la medición como se indica en la figura 45.

Figura 45. *Toma de medidas para área frontal.*
Fuente: Autor.

DATOS OBTENIDOS	
Ancho	1,21 m
Altura	1,39 m

Para conocer el área frontal se utiliza la siguiente fórmula: $Af = 0,85 * b * h$ (Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez, & Díaz López, 2001), por lo tanto el área frontal es:

$$Af = 0,85 * 1,21\ m * 1,39\ m = 1,42\ m^2$$

Por lo tanto los datos obtenidos se reemplazan en la ecuación Ec.34.

$$Rax = \frac{1}{2} * 1{,}225 \frac{kg}{m^3} * 0{,}3 * 1{,}42m^2 * \left(4{,}16 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$\boldsymbol{Rax = 4.53\ N}$$

En la tabla 14, se observa diferentes resultados a velocidades distintas en lo referente a la resistencia la aerodinámica.

RESISTENCIA AERODINÁMICA					
Velocidad		Densidad	Coeficiente	Área	R. aerodinámica
km/h	m/s	kg/m^3	cdx	m^2	N
0	0,00	1,225	0,3	1,42	0,00
5	1,39	1,225	0,3	1,42	0,50
10	2,78	1,225	0,3	1,42	2,01
15	**4,17**	**1,225**	**0,3**	**1,42**	**4,53**
20	5,56	1,225	0,3	1,42	8,05
25	6,94	1,225	0,3	1,42	12,58

Tabla 14. *Resistencia aerodinámica a diferentes pendientes.*
Fuente: Autor.

La velocidad con la que realiza el análisis de resistencia aerodinámica es de 15 km/h o 4.16 m/s , la cual sería una velocidad adecuada para conducir en pendiente, lo que influye en el ahorro de energía y aumento en la autonomía, mientras que para carreteras planas se estima alcanzar una velocidad de 20 km/h o 6,94 m/s, para lo cual en la figura 46, se realizó unas gráficas en que indican como influye le resistencia aerodinámica cuando el vehículo aumenta la velocidad siendo esta proporcional , y a su vez se requiere de mayor desempeño del motor.

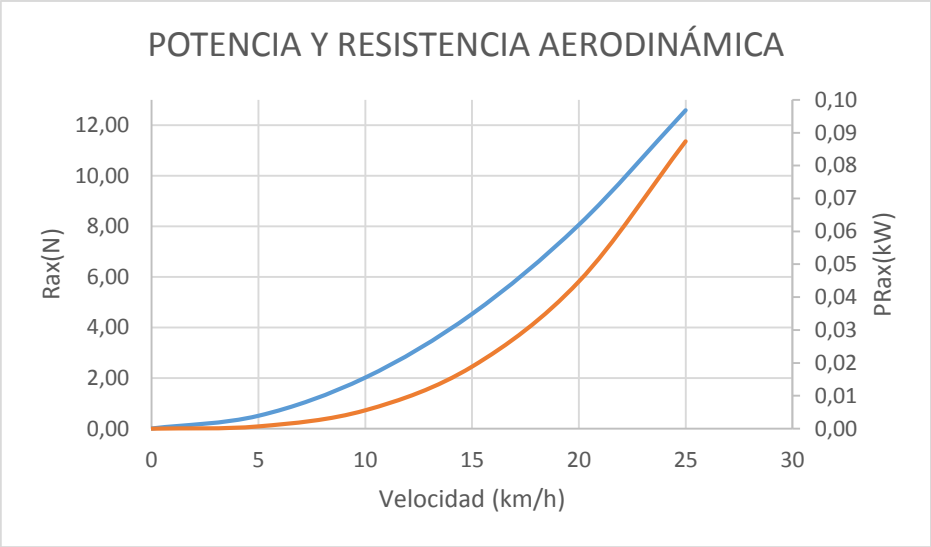


Figura 46. *Potencia y resistencia aerodinámica.*
Fuente: Autor.

2.3.5. Cálculo de resistencia a la inercia.

La fuerza de inercia es representada de forma simplificada como:

$$Ri = m * a \qquad \text{Ec. 35}$$

Dónde:

R_i: Resistencia a la inercia.

m: masa total del vehículo

a: aceleración.

- **Aceleración.**

Para el cálculo de la aceleración se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} \qquad \text{Ec. 36}$$

Donde

v: 15 km/h = 4.16 m/s

e: 180 m

t: ?

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

Despejamos el tiempo:

$$t = \frac{e}{v} = \frac{180\ m}{4{,}16\ {}^{m}/_{s}} = 43{,}26\ s$$

Por lo tanto reemplazando en la ecuación 36 se obtiene:

$$a = \frac{4{,}16\ {}^{m}/_{s} - 0}{43{,}2\ s}$$

$$a = 0{,}09\ {}^{m}/_{s^2}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 35 se obtiene la resistencia a la inercia

$$Ri = 460\ kg * 0{,}09\ m/s^2$$

$$\boldsymbol{Ri = 44{,}29\ N}$$

2.3.6. Fuerza de tracción.

Es la fuerza que genera el movimiento; es decir es la tracción que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar al vehículo tubular. Para encontrar esta fuerza se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ft = R_g + R_r + R_{ax} + R_i \qquad \text{Ec. 37}$$

Donde

F_t: Fuerza a la tracción.

R_g: 669,34 N
R_r: 71,40 N

R_{ax}: 4,53 N

R_i: 44,29 N

Por lo tanto el cálculo de la fuerza de tracción es:

$$Ft = 669{,}34\ N + 71.40\ N + 4.53\ N + 44{,}29\ N$$

$$\boldsymbol{Ft = 789.56\ N}$$

2.3.7. Parámetro para la selección de un motor eléctrico.

En este proceso se toma en cuenta varios factores, para obtener un motor que cumpla con los requerimientos del vehículo tubular para que el funcionamiento sea adecuado.

2.3.7.1. Potencia.

Para determinar la potencia del motor a utilizar en el vehículo tubular se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

CRITERIO	A PENDIENTE MÁXIMA
Fuerza total	789,56 N

Al aplicar la ecuación 38, se obtiene el valor de potencia requerida para el motor en condiciones de pendiente máxima siendo el escenario en que se requiere mayor desempeño del motor (Chuquiana Cunalata, 2014).

$$Pc = Ft * v_{max} \qquad \text{Ec. 38}$$

Pc: Potencia calculada para el motor (W)

Ft: Fuerza total. (N)

v_{max}: Velocidad máxima (m/s)

$$Pc = 789{,}56\ N * 4,16\ \frac{m}{s}$$

$$\boldsymbol{Pc = 3284,56\ W}$$

Los motores eléctricos ofrecen un rendimiento de 90 %, es decir un 10% en pérdidas de energía, por lo tanto para hallar la potencia del motor eléctrico se utiliza la siguiente ecuación (Alguacil, 2016).

$$Pm = \frac{Pc}{eff.m.} \qquad \text{Ec. 39}$$

$$Pm = \frac{3284{,}56\ W}{0.9} = 3649{,}55\ W = 3,64\ kW = \mathbf{4,89\ HP}$$

2.3.7.2. Geometría.

Es un parámetro importante en la selección, ya que está destinado un espacio mínimo para la implementación de motor eléctrico ya que no debe sobrepasar los 35 cm de longitud y 20 cm de ancho, el lugar en que se va a implementar es adecuado para estas características.

2.3.7.3. Peso.

Deben ser lo más ligero posible, ya que la mayoría de los motores eléctricos son robustos y pesados, por tal razón se debe seleccionar un motor lo menos pesado posible.

2.3.8. Selección de motor.

Figura 47. *Motor elegido – 5 HP = 3.73kW.*
Fuente: Autor.

El motor seleccionado para ser implementado en el vehículo tubular es de la marca Marathon Electric ya que cumple los parámetros que se planteó anteriormente. En cuanto a potencia y torque. El motor tiene una potencia de 3.73 kW y un torque de 10,33 Nm a 3450 rpm, además cumple con las dimensiones dispuestas, alojándose sin ningún problema. El peso es de 20 kg siendo una de los motores más livianos que se pudo encontrar, en comparación de otros motores de similares características técnicas, además ofrece una eficiencia de 89,9 %.

2.3.9. Estudio del motor elegido.

El motor eléctrico que se elige cumple con los requerimientos de operación ya sean de potencia y voltaje, con el fin de conocer su constitución interna se realiza un estudio de manera general del motor eléctrico.

El motor ofrece las siguientes características:

- Son motores que se pueden conectar directamente a la red sin realizar la conversión de corriente.
- Son motores más eficientes, además su mantenimiento es casi nulo.
- Se pueden controlar mediante variador de frecuencia lo cual facilita el control de su velocidad.
- No necesita intercambiar o modificar su conexión para invertir el giro del eje, ya que esta función se puede realizar con un variador de frecuencia, siendo una ventaja de los motores eléctricos, no utilizan caja de cambios para la reversa. En la figura 48, se indican las partes que conforman el motor eléctrico.

Figura 48. *Herramientas y motor eléctrico en partes.*
Fuente: Autor.

DETALLES DE LAS PARTES DEL MOTOR MARATHON ELECTRIC	
ELEMENTO	**DETALLE**
ESTATOR	Es la parte fija del motor eléctrico, está compuesto por un imán natural (en pequeños motores de corriente continua) o por una o varias bobinas en motores de inducción las cuales generan un campo magnético.
ROTOR	Es el componente que gira (rota) en un motor eléctrico, junto al estator forma un conjunto fundamental para la transmisión de potencia en motores y maquinas eléctricas.
EJE	Transmite la fuerza mecánica o rotación mecánica producida por el motor eléctrico.

CAJA Y TERMINALES DE CONEXIÓN	Es la encargada de proteger y alojar a los terminales de conexión.
TAPAS	Sirven de protección, conformando así el conjunto total de la carcasa la cual protege y aloja a los elementos internos de motor como el estator.
RODAMIENTOS	Son el sostén del rotor además soportan el giro total de mismo.
VENTILADOR	Es el encargado de hacer fluir aire internamente para así mantener el motor a la temperatura normal de funcionamiento evitando que se caliente.

Tabla 15. *Partes del motor Marathon Eléctric.*
Fuente. Autor.

Adicionalmente se indica la placa característica del motor eléctrico (tabla 16), en la cual se especifica los datos de operación ya sea de voltaje, frecuencia, corriente, entre otros.

MODELO : HC 182TTDR8910 ABW F1			HP: 5	
FRAME: 182 TC	TYPE: TDR - BC	DES: B	PH: 3	CODE: H
	61603			
HZ : 60	SF : 1.15	HZ : 50		SF : 1.0
VOLT : 208 - 220 / 440		VOLT : 208 - 220 / 440		
AMP : 12.8 / 6.4		AMP: 13.8 / 6.9		

RPM : 3450		RPM : 2850		
MAX. AMB : 40°C	CLASS OF INS : B		DUTY : CONT	
SHAFT END BEARING	OPP. END BEARING		SER : 1379676	
77607	77503		EFF: 89,6	FP: 85
	208 V AMP 13			

Tabla 16. *Placa del motor Marathon Eléctric.*
Fuente: Autor.

Asimismo se analiza el conexionado interno del motor para evidenciar el tipo de conexión que posee.

- El motor Marathon Electric que se implementa en el vehículo tubular consta de 9 terminales identificados y a su vez sus terminales están enumerados desde el 1 al 9 lo cual nos indica que esta regularizado bajo la norma NEMA, en la figura 49 se indican los terminales con los que cuenta el motor.

Figura 49. *Motor con 9 terminales identificados.*
Fuente: Autor.

- Seguidamente se realiza la identificación de las bobinas con las que cuenta el motor, para lo cual se utiliza un multímetro para el diagnóstico.

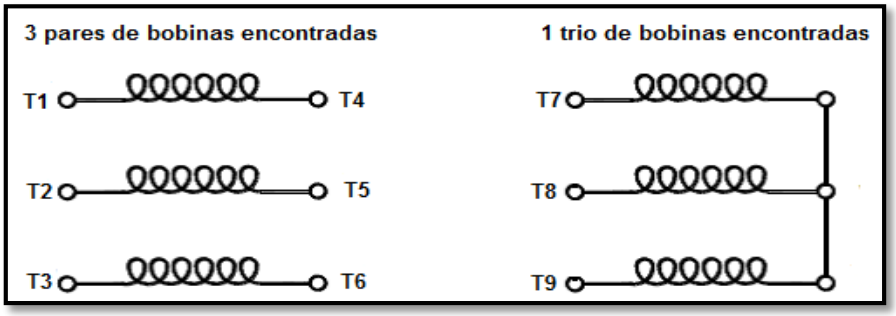


Figura 50. *Conexión interna del motor Marathon Electric.*
Fuente: Autor.

En la figura 50 se muestra que el motor está constituido internamente por seis bobinas, las cuales se dividen en tres pares sean T1-T4, T2-T5, T3-T6 y un trio encontrado T7-T8-T9 con los cuales se determina que su conexión es estrella (Y). Además se mide la resistencia de las bobinas, las cuales dan los siguientes valores, figura 51.

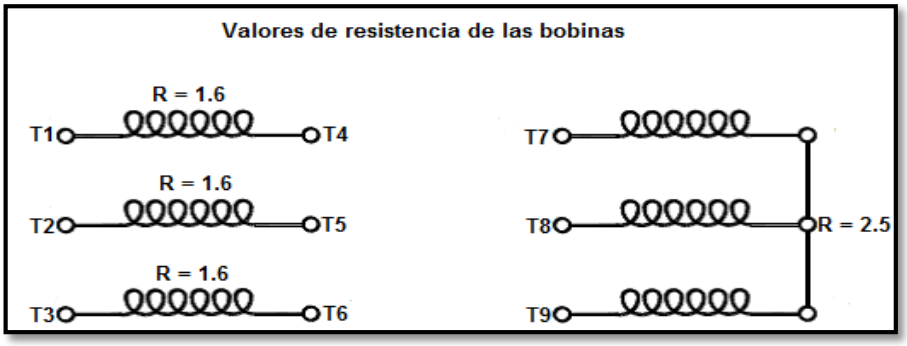


Figura 51. *Resistencia de las bobinas encontradas.*
Fuente: Autor.

El voltaje con que se alimenta al motor eléctrico es de 220V, siendo disponible y utilizado en la industria y en este caso es el que entrega la fuente UPS, para lo cual se realiza una conexión doble estrella- paralelo cuyo diagrama se representa en la figura 52.

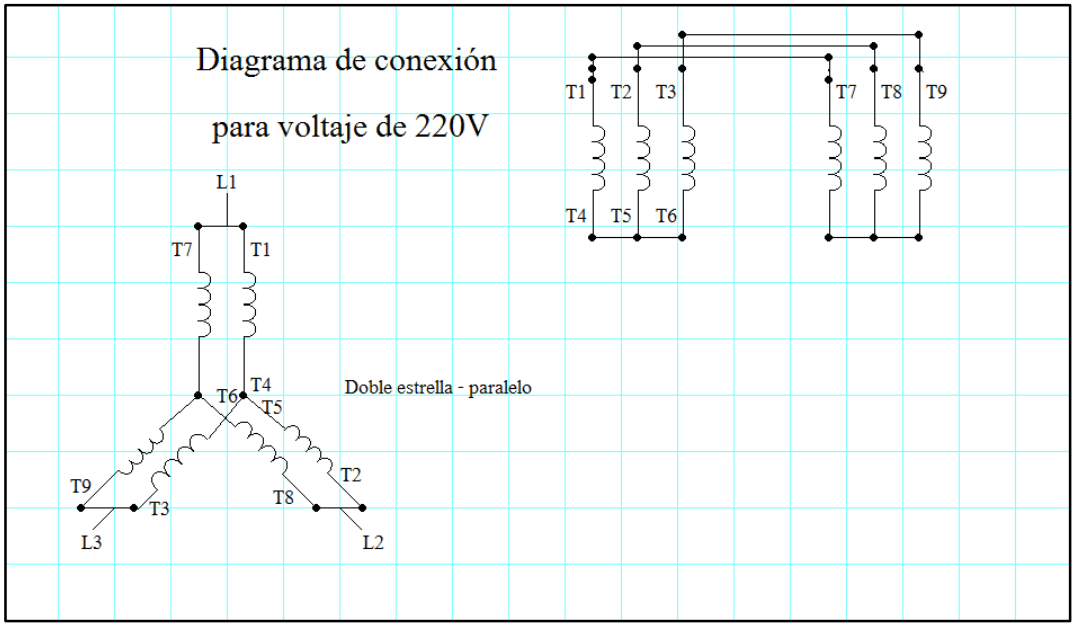


Figura 52. *Esquema de conexión para un voltaje de 220V.*
Fuente: Autor.

- **Característica NEMA (Asociación de fabricantes Eléctricos Nacionales) de diseño clase B (Des: B).** (Chapman, pág. 263)

  - ✓ Tienen un par de arranque normal
  - ✓ La corriente de arranque es más baja y un bajo deslizamiento.
  - ✓ Este motor produce alrededor del mismo par de arranque con 25% menos de corriente.
  - ✓ El deslizamiento del rotor es aun relativamente bajo (menor a 5%) a plena carga.

2.3.10. Cálculo del torque máximo

Para conocer el torque máximo, se debe multiplicar la fuerza a la tracción total por el radio de la rueda dando como resultado el torque necesario para impulsar el vehículo tubular, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_{rueda} = F_t * R_{rueda} \qquad \text{Ec. 40}$$

Donde:

Trueda: torque de la rueda en Nm.
Ft: 789,56 N
Rrueda: 0,24 m:

Reemplazado valores se obtiene:

$$Trueda = 789{,}56\ N * 0{,}24\ m$$

$$Trueda = \mathbf{189{,}49\ Nm}$$

2.3.10.1. Cálculo de par motor del motor eléctrico:

El motor eléctrico es una máquina que recibe energía eléctrica para convertirla en mecánica, la cual es evidenciada en la rotación del eje de la motor, pero además entrega un torque que se determina con la ecuación 41, el cual depende de la potencia y de la revoluciones del motor, a continuación se realiza este análisis.

$$M(Nm) = \frac{Potencia\ (W)}{Velocidad(\frac{rad}{seg})} \qquad \text{Ec. 41}$$

Datos:

M: Par motor (Nm)

P: Potencia de motor (3.73 kW = 3730 W)

N: 3450 rpm del motor.

$$\frac{3450\,rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1min}{60s} = \frac{2\pi * 3450}{60} = 361rad/s$$

Por lo tanto el par motor es:

$$M = \frac{3730W}{361\,rad/s} = \mathbf{10.33\ Nm}$$

A continuación se muestran distintos valores de torque a diferentes velocidades con una potencia constante:

Rpm	Rad/s	Potencia(W)	Par (Nm)
300	31,42	3730	118,73
600	62,83	3730	59,36
900	94,25	3730	39,58
1200	125,66	3730	29,68
1500	157,08	3730	23,75
1800	188,50	3730	19,79
2100	219,91	3730	16,96

2400	251,33	3730	14,84
2700	282,74	3730	13,19
3000	314,16	3730	11,87
3300	345,58	3730	10,79
3600	376,99	3730	9,89
3900	408,41	3730	9,13
4200	439,82	3730	8,48
4500	471,24	3730	7,92
4800	502,65	3730	7,42

Tabla 17. *Valores de torque a diferentes velocidades.*
Fuente: Autor.

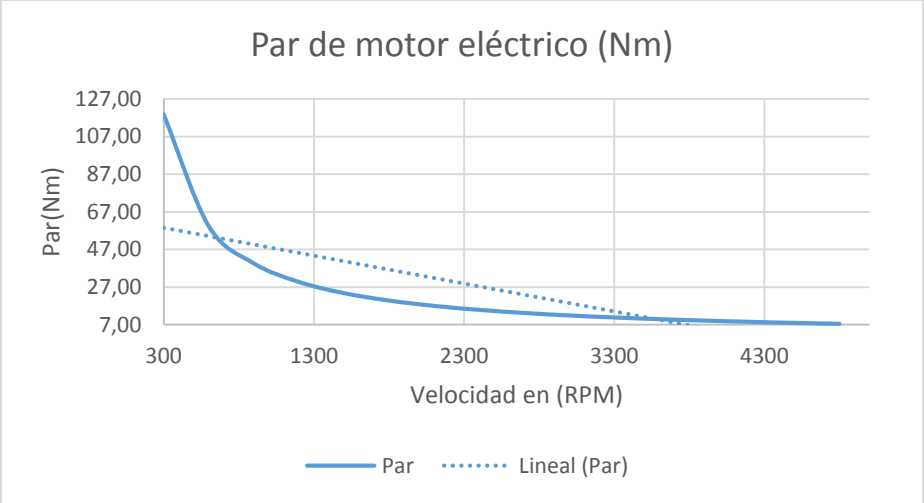


Figura 53. *Gráfica de par motor.*
Fuente: Autor.

En el análisis de la figura 53 se muestra la curva de torque que varía en relación a la velocidad de giro del motor (rpm), asemejando a la curva ideal de un motor usado en equipos de tracción (Calvo, 2005). En la que se indica que el torque disminuye progresivamente al aumentar la velocidad (rpm).

2.3.11. Relación de transmisión.

Para encontrar la relación de transmisión del torque del motor eléctrico a ser implementado, se utiliza la ecuación 42, esta ecuación se utiliza cuando la máquina eléctrica entrega potencia mecánica, es decir funciona como motor (impulsa al vehículo) (Ortiz Medrano, 2017).

$$T_{motor} = \frac{R_{rueda}}{\eta_g * G} * Ft \qquad \text{Ec. 42}$$

Dónde:

Tmotor: torque de motor eléctrico Nm
Rrueda: radio de rueda (m)

η_g: la eficiencia de una transmisión es de 85 - 90 % , se considera utilizar el 85 % de eficiencia, debido a que en la transmisión CVT existen perdidas internas como rozamientos mecánicos entre engranes, deslizamiento de la banda y por la cadena de transmisión(Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2018).

G: relación de transmisión entre motor, caja y cadena. Fig. 54

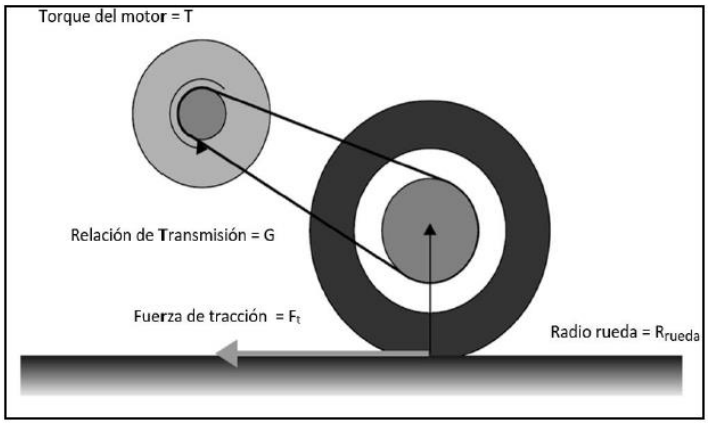


Figura 54.*Transmison por cadena.*
Fuente: (Ortiz Medrano, 2017).

Reemplazando la ecuación 42 en la ecuación 43, se tiene:

$$T_{motor} = \frac{T_{rueda}}{\eta_g * G} \qquad \text{Ec. 43}$$

Despejando relación de transmisión se obtiene:

$$G = \frac{Trueda}{\eta_g * Tmotor}$$

$$G = \frac{189{,}49Nm}{0{,}85 * 10{,}33Nm}$$

$$G = \frac{189.49\ Nm}{8{,}7\ Nm}$$

$$G = 21{,}78$$

2.3.12. Velocidad máxima:

Para conocer la velocidad máxima que alcanzaría el vehículo, se debe de transformar la velocidad angular (ω_{motor}) del motor eléctrico de 3450 rpm convertirlas a rad/s, además se considera la relación de transmisión calculada anteriormente:

$$\frac{3450rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1min}{60s} = 361\ rad/s$$

Por lo tanto la velocidad angular de la rueda, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\omega_{rueda} = \frac{\omega_{motor}}{G} * n_g \qquad \text{Ec. 44}$$

$$\omega_{rueda} = \frac{361\ {}^{rad}/_{s}}{21{,}78} * 0{,}85$$

$$\omega_{rueda} = 14{,}08\ rad/s$$

Con la ecuación 45, se puede hallar la velocidad lineal de la rueda:

$$\omega_{rueda} = \frac{v_{rueda}}{r_{rueda}} \qquad \text{Ec. 45}$$

Despejando la velocidad de la rueda se obtiene:

$$v_{rueda} = \omega_{rueda} * r_{rueda}$$

$$v_{rueda} = 13{,}52\frac{rad}{s} * 0{,}24\ m$$

$$v_{rueda} = 3{,}38\frac{m}{s} * \frac{1km}{1000m} * \frac{3600s}{1h} = \mathbf{12,17\ km/h}$$

Por lo tanto se concluye que el vehículo alcanzaría una velocidad de 12,17 km/h.

2.4. Selección y construcción de acoples para transmitir potencia

Para transmitir la potencia desde el motor a la transmisión CVT, se utiliza un acople tipo mordaza siendo el más utilizado para trasmitir potencia entre dos ejes, por otra parte se construyó un acople tipo campana que sirve para unir las carcasas del motor y la CVT, este acoplamiento utilizado garantiza rigidez entres los dos elementos, permitiendo una transmisión de potencia más eficiente, en la figura 55, se indican los acoples utilizados.

Figura 55. *Acoples utilizados para unir motor y CVT.*
Fuente: Autor.

2.5. Implementación del motor eléctrico al vehículo tubular.

Para realizar la implementación del motor eléctrico al vehículo tubular se realizaron los siguientes procedimientos:

- ✓ Se coloca 2 soportes los cuales son el apoyo para el motor eléctrico tomando en cuenta el espacio y la ubicación de la caja CVT, este elemento se encuentran en

la parte posterior del vehículo conformando un sistema de tracción trasera, en la figura 56 se muestra la ubicación de los soportes y del alojamiento de la transmisión.

Figura 56. *Soportes ubicados como apoyo del motor eléctrico.*
Fuente: Autor

- ✓ Posteriormente se realiza la ubicación de la caja CVT en la parte posterior del vehículo tubular, para lo cual se utilizaron herramientas de taller, en la figura 57 se indica el montaje de la CVT.

Figura 57. *Montaje de la CVT en el vehículo tubular.*
Fuente: Autor.

- ✓ Seguidamente se coloca una parte del acople tipo mordaza en el eje de la CVT y se instala el acople rígido, con el uso de una llave de 10 mm se atornilla la parte cuadrada con la carcasa de la caja quedando totalmente fijos estos dos elementos.

Figura 58. *Acoles colocados en la CVT.*
Fuente: Autor.

- ✓ Con el acople rígido ubicado en la CVT, se monta el motor eléctrico atornillándolo a la placa de unión, y usando una llave 19 mm se ajusta los tornillos a una fuerza 25 lb/ft dejando el conjunto entre el motor y acople totalmente fijos. Además se cubre de pintura las superficies del motor y acople para evitar la corrosión y para diferenciar cada elemento implementado. En la figura 59 se muestra los componentes implementados en el chasis del vehículo tubular.

Figura 59. *Motor eléctrico – acople implementados a la CVT.*
Fuente: Autor

2.6. Conexionado eléctrico y electrónico de los componentes.

Con el motor eléctrico implementado en el vehículo tubular, se da paso al conexionado eléctrico y electrónico de los componentes del sistema de alimentación y de control, los cuales han sido implementados previamente. En la figura 60, se muestra el esquema básico de conexión.

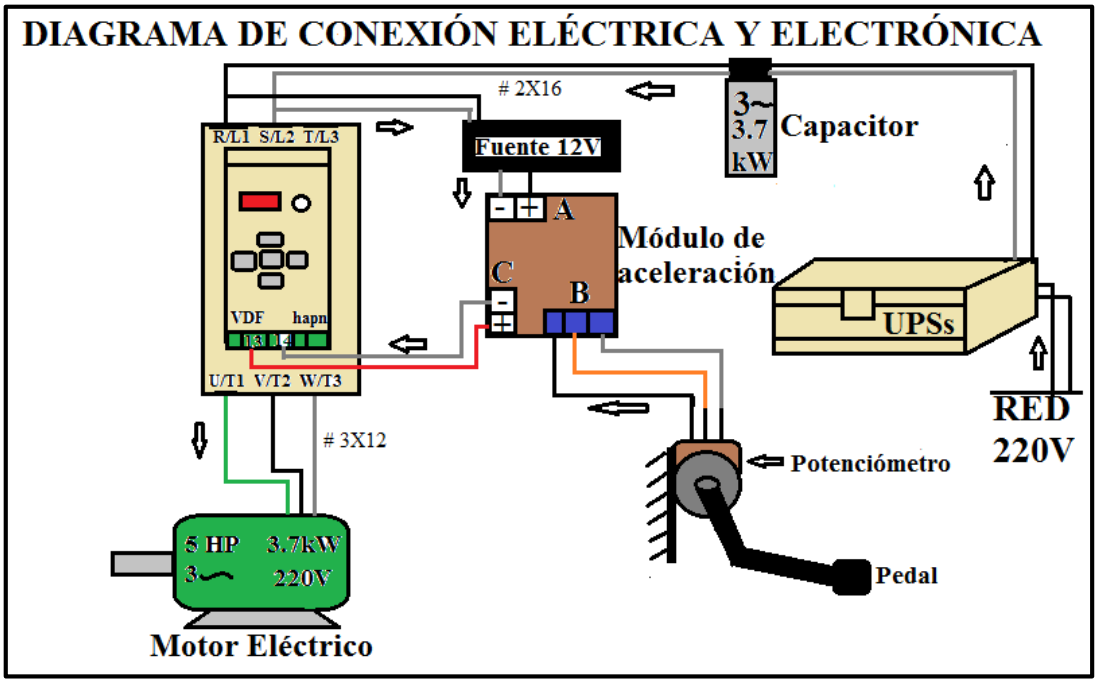


Figura 60. *Diagrama de conexionado eléctrico y electrónico de componentes.*
Fuente: Autor.

- ✓ Se verifica con un multímetro en la escala de voltaje la tensión que entrega la fuente de suministro de energía o UPS.

Figura 61. *Voltaje que ingresa al motor eléctrico desde el variador de frecuencia.*
Fuente: Autor.

- ✓ Posteriormente se realiza la conexión del motor eléctrico, tomando en cuenta el voltaje de 220 V correspondiendo a la conexión doble estrella paralelo.

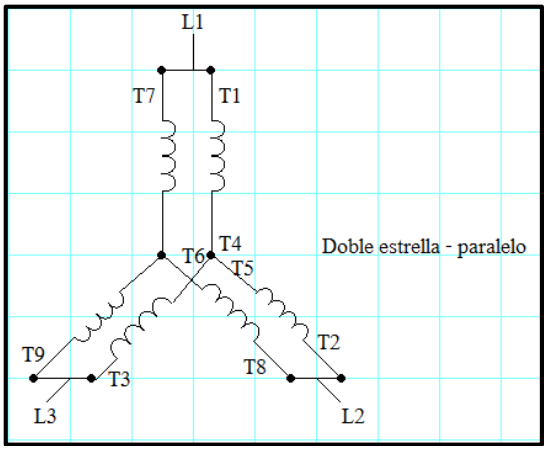


Figura 62. *Esquema conexión doble estrella.*
Fuente: Autor.

- ✓ Seguidamente se realiza la conexión en los terminales del motor tomando en cuenta los números que contienen los cables, se utiliza 3 m de cable concéntrico 3 x 12 para conectar el variador con el motor eléctrico, seguidamente se debe de aislar con cinta aislante para protección, para luego unirlos a los terminales del variador de frecuencia (U-V-W), y estos a su vez se deben ajustar con un destornillador, para evitar falso contacto de los mismos. En la figura 63, se muestra la conexión de los terminales del motor con variador de frecuencia.

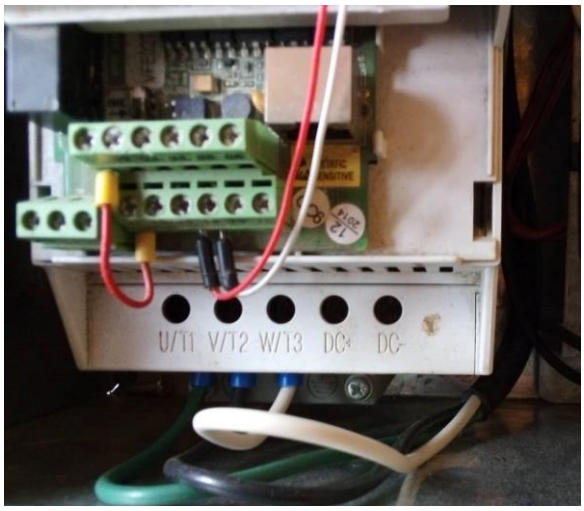


Figura 63. *Conexión en variador de frecuencia.*
Fuente: autor.

- ✓ El cable debe permanecer aislado y protegido del agua y de factores que intervengan en el deterioro del mismo.

Finalmente instalada la conexión eléctrica se culmina con la implementación del sistema tanto mecánico como eléctrico en el chasis del vehículo tubular, así como también el sistema de control que se realiza mediante el variador de frecuencia, dichos sistemas lo convierten en un vehículo eléctrico siendo su fuente de potencia un motor eléctrico. Ver figura 64.

Figura 64. *Implementación terminada tanto la parte mecánica como la eléctrica.*
Fuente: Autor.

2.7. Pruebas de funcionamiento del vehículo eléctrico tubular.

Para evaluar el desempeño del motor implementado en el vehículo tubular se realizaron las pruebas respectivas bajo el siguiente protocolo.

2.7.1. Protocolo para pruebas de funcionamiento.

En este caso se realizan las siguientes pruebas: velocidad y aceleración, desplazamiento en carretera plana y con pendiente como también la prueba de autonomía.

- **Prueba de velocidad y aceleración.**

Para realizar la prueba de velocidad se lo hace en una superficie plana en la que se debe determinar el tiempo en recorrer una distancia de 100 m, partiendo desde el reposo, para lo cual se utiliza un cronómetro. Esta prueba se realiza bajo las siguientes condiciones:

capacidad de carga de 390 kg, baterías al 100% de su capacidad. El procedimiento es el siguiente:

1. Se selecciona una carretera plana, con una longitud de 100 m.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba.
3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de los sistemas tanto eléctricos como mecánicos.
4. Se comprueba el estado de carga de las baterías.
5. Verificar que el velocímetro y el cronometro estén en cero
6. Inicio de la prueba: primero se enciende el UPS, y después el VDF con el motor, se recorre una distancia de 100 m y se registra el tiempo empleado.
7. Fin de la prueba.

- **Prueba en carretera plana.**

Esta prueba se basa en datos obtenidos de la posición del pedal del acelerador. Para ello se prestó atención al instrumento de medición como el amperímetro, el cual indica el amperaje que consume el motor dependiendo de la posición del pedal. Además se verifica el voltaje que ingresa al motor. El procedimiento es el siguiente:

1. Se selecciona una carretera plana, con una longitud de 100 m.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba.
3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de los sistemas tanto eléctricos como mecánicos.
4. Se comprueba el estado de carga de las baterías al 100 %.

5. Se colocan la pinza amperimétrica y el voltímetro en una de las líneas que ingresan al motor

6. Inicio de la prueba: primero se enciende el UPS, y después el VDF con el motor, se recorre accionando el pedal progresivamente posicionado el pedal desde un 5% hasta el 100% y se registra amperaje en las distintas posiciones del pedal.

7. Fin de la prueba.

- **Prueba en carretera con pendiente**

Para realizar la prueba en pendiente se considera lo siguiente: una superficie con inclinación del 10 %, un peso del 390 kg, la posición del pedal con rangos desde 5 al 100 %. En esta prueba se evidencia el voltaje y el amperaje que ingresan al motor eléctrico, para lo cual se efectúa el siguiente procedimiento:

1. Se selecciona una vía con pendiente de un 10 % de inclinación y con una longitud de 200 m.

2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba.

3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de los sistemas tanto eléctricos como mecánicos.

4. Se comprueba el estado de carga de las baterías.

5. Se coloca la pinza amperimetrica en una de las líneas que ingresan al motor, al igual que el voltímetro.

6. Inicio de la prueba: primero se enciende ele UPS, y luego el variador con el motor, se recorre accionado el pedal progresivamente posicionando el pedal desde un 5% hasta el 100% y se registra los amperajes en las distintas posiciones del pedal.

7. Fin de la prueba.

- **Prueba de autonomía.**

En esta prueba se establece un ciclo combinado de recorrido a una distancia 1, 43 km. Se considera la máxima capacidad de carga correspondiente a 460 kg. Para dicha prueba se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba.
2. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de los sistemas tanto eléctricos como mecánicos.
3. Se comprueba el estado de carga de las baterías.
4. Se coloca la pinza amperimetrica en una de las líneas que ingresan al motor, al igual que el voltímetro.
5. Inicio de la prueba: primero se enciende ele UPS, y luego el variador con el motor, se recorre accionado el pedal progresivamente posicionando manteniendo una velocidad constante de 15 km/h con el fin de tener más autonomía.
6. Fin de la prueba.

En la ruta establecida se debe simular tramos con superficie plana y con pendientes lo que permite determinar el comportamiento del vehículo a circular por diversas superficies como lo realiza un vehículo convencional.

2.7.1.1. Características del vehículo eléctrico tubular.

Para conocer el comportamiento del vehículo eléctrico tubular (figura 65), se debe conocer las especificaciones del mismo, las cuales se detallan en la tabla 18.

CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO CON MOTOR ELÉCTRICO	
Tipo de motor	Motor eléctrico de inducción trifásico
	220 V--- 3730 W --- 3.7 kW
Sistema de transmisión	CVT – transmisión por cadena
Batalla	1.84 m
Peso del vehículo	460 kg
Presión de los neumáticos	250 kPa = 2.5 bar
Suministro de energía	UPS (20 baterías de plomo - ácido 12 V--7 Ah)
	220 V --- 4200 W --- 4.2 kW ---25 A
Autonomía del vehículo	25 min aproximado
Sistema de control	VDF + módulo de aceleración
Velocidad de vehículo aproximada.	20 Km/h

Tabla 18. *Características del vehículo eléctrico tubular*
Fuente: Autor.

Figura 65. *Vehículo eléctrico tubular a ser evaluado.*
Fuente: Autor.

2.7.1.2. Verificación de los sistemas que conforman el vehículo eléctrico tubular.

Para verificar el estado de los sistemas mecánicos y eléctricos que conforman el vehículo tubular, se realiza una inspección del estado que presentan cada uno de los componentes, para lo cual se elaboró un formato en que se detallan cada uno de los elementos que deben verificar para evitar inconvenientes cuando se realicen las pruebas de funcionamiento, dicho formato se lo indica en el Anexo J.

2.7.1.3. Instrumentos utilizados para realizar las pruebas.

Los equipos de diagnóstico para evaluar el desempeño del vehículo eléctrico son:

Multímetro: es un instrumento eléctrico portátil para medir magnitudes eléctricas activas como corriente AC o CC, voltaje, resistencia, entre otras:

Figura 66. *Multímetro utilizado.*
Fuente: Autor

Velocímetro: Se lo utiliza para conocer la velocidad que alcanza el vehículo, además ofrece otras funciones medir la distancia recorrida y del tiempo en que se lo realiza. El velocímetro fue implementado en la parte delantera para visualizar la velocidad a la que se está circulando, ya que capta la señal de giro de la Catarina que se encuentra en el eje posterior del vehículo.

Figura 67. *Velocímetro.*
Fuente: Autor.

Herramientas de taller: se las utiliza para realizar los ajustes y verificación de los elementos que conforman el vehículo eléctrico.

Figura 68. *Herramientas de taller.*
Fuente: LarachyCia.

Casco de protección. Elemento indispensable para realizar pruebas de campo de un vehiculo tubular, el cual es el encargado de proteger la cabeza de lesiones en el caso que sucediera un accidente.

Figura 69. *Casco de protección.*
Fuente. Autor.

Cámara de fotográfica. Dispositivo utilizado para evidenciar datos y los recorridos que se realizan en la pruebas de funcionamiento.

Figura 70. *Cámara fotográfica.*
Fuente. Movilezone.

2.7.1.4. Lugar en que se realizan las pruebas.

Las pruebas se las realiza en una calzada cuya superficie es hormigón, este escenario está ubicado en la ciudad de Loja en el barrio Carigán sector el redondel. Siendo el sitio adecuado por el bajo tráfico vehicular, lo que permite realizar las pruebas con mayor facilidad y seguridad.

Figura 71. *Calzada de primer orden asfalto/hormigón. Sector Redondel- Carigán*
Fuente: Autor.

f. RESULTADOS

3. Pruebas de funcionamiento

La vía en que se realizó las pruebas de funcionamiento del vehículo tubular, se encuentra en el sector del redondel de Carigán, este escenario fue escogido ya que está compuesta por superficies planas y pendientes. En la figura 72, se indica la calzada y el recorrido que se realizó por el vehículo, para lo cual se utilizó la aplicación Google Earth.

Figura 72. *Calzada en que se realizó las pruebas de funcionamiento del vehículo tubular.*
Fuente: Google Earth.

Para iniciar con las pruebas de funcionamiento primeramente se debió verificar el estado de los sistemas eléctricos y mecánicos que conforman el vehículo eléctrico tubular, con el fin evitar contratiempos cuando se estén realizando las pruebas, para lo cual se elaboró un formato en que se verifica cada uno de los elementos, en el cual se especifica el método que se utilizan para la inspección siendo: visual, auditivo o mediante el tacto y con el uso de herramientas o equipos, según sea el caso.

VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO TUBULAR						
Complete los casilleros con una **x** tomando en cuenta los siguientes códigos: OK – Correcto NA – No aprueba						
Método de diagnóstico :	Visual		Auditivo	Tacto	Uso de herramientas	
SISTEMA DE ELÉCTRICO						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1	x		Motor Eléctrico	Verificar la fijación del motor con los soportes y la placa de unión.		Apriete del tornillos verificados
2	x		Conexionado	Se realiza una inspección del ajuste de los terminales del cable conductor entre el variador de frecuencia – motor eléctrico.		Cables de conexión ajustados
3	x		UPS	Se comprueba el voltaje de alimentación al sistema siendo de 220 V		El ups entrega un voltaje de 200 V , 100% de su carga
4	x		Tablero de control	Verificar del estado y la conexión de los componentes del tablero de control		Elementos totalmente fijos
SISTEMA DE DIRECCIÓN						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1	x		Volante	Verificar el estado físico de la superficie y de maniguetas.		Fijo y seguro
2	x		Columna de dirección	Verificar la fijación del volante a la columna de la dirección.		Juego axial y dirección dura
3	x		Terminales	Comprobar si existen holguras en cada rótula		No existen holgura en rotulas

4	x		Pernos de los brazos - manguetas	Reajuste de cada uno de los pernos y tuercas del sistema.		Pernos fijos
SISTEMA DE FRENOS						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1	x		Líquido de frenos	Verificar el nivel de líquido de frenos en el depósito.		Fluido a nivel de llenado
2	x		Depósito de líquido de frenos	Se verifica la sujeción de las placas de soporte del depósito		Totalmente fijo
3	x		Cilindro y cañerías	Revisar la existencia de corrosión o roturas		Sin fugas en cilindro y cañerías
4	x		Pedales	Verificar la superficie de contacto del acelerador y freno		No presentan juego de desgaste.
SISTEMA DE SUSPENSIÓN						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1	x		Terminales	Verificar la uniones con los brazos		No existe holgura, uniones fijas
2	x		Amortiguadores	Verificar el estado físico		En perfecto estado amortiguador y muelle
3	x		Muelle			
4	x		Brazos de suspensión.	Verificar las uniones con los brazos y el chasis y con el amortiguador.		No hay holgura en bujes de brazo de suspensión.
SISTEMA DE TRANSMISIÓN						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1	x		Nivel de aceite	Se verifica el nivel de aceite del grupo reductor de la CVT		Al nivel de su capacidad.
2	x	x	Cadena de transmisión	Verificar la protección o q no exista contacto con algún elemento		No posee protección
3	x		Ejes	Se realiza ajustes de las tuercas que poseen en los ejes.		Holgura de eje posterior y reajuste

4	x		Neumáticos	Se verifica la presión de inflado de los neumáticos.		Falta de aire en rueda delantera izquierda, inflado y verificación de presión
5	x		Tuercas de los aros	Verificar el ajuste de las tuercas		Reajuste de tuerca de ruedas delanteras
5	x		Palanca de marcha	Verificación de anclaje de marchas		Falta de anclaje en marcha hacia atrás.
SISTEMA DE SEGURIDAD						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1		x	Cinturón de seguridad	Verificar si posee cinturón de seguridad		No posee cinturón de seguridad.
2	x		Casco	Verificar el estado físico		Buen estado
3	x		Asientos	Verificar el estado físico		Fijos en una solo posición.
3		x	Carpa de protección	Verificar si posee carpa de protección.		No posee carpa de protección.

Tabla 19. *Formato de verificación de elementos del vehículo tubular*
Fuente. (Malla Buestán & Samaniego Marca, 2017) *Elaboración: Autor.*

Figura 73. *Inspección de los componentes mecánicos y eléctricos.*
Fuente: Autor.

3.1. Prueba de velocidad y aceleración.

En la tabla 20 se presenta los resultados obtenidos en la prueba de velocidad.

Valores obtenidos			
Distancia recorrida	100 m		
Tiempo	23, 68 s		
Temperatura ambiente	16 °C		
Ambiente	Mayormente soleado		
Calzada	Plana de hormigón / seca		
Baterías	100 % cargadas		
Velocidad alcanzada	4, 22 m/s	15,20 km/h	
Consumo del motor	U	V	W
	4, 1A	**4,1 A**	**4,3 A**

Tabla 20. *Datos obtenidos de la prueba de velocidad*
Fuente: Autor.

Por lo tanto para conocer la velocidad se aplica la siguiente ecuación.

$$v_f = \frac{dx}{dt} \qquad \text{Ec. 46}$$

$$v \int_{t0}^{t1} dt = \int_{x0}^{x1} dx$$

$$v * (t1 - t0) = x1 - x0$$

Remplazando valores se tiene:

$$v * (23{,}68\ s - 0) = 100\ m - 0$$

$$v_f = \frac{100\ m}{23{,}68\ s}$$

$$v_f = 4{,}22\ m/s$$

Transformando a km/h se tiene:

$$v_f = 4{,}22\ \frac{m}{s} * \frac{1\ km}{1000\ m} * \frac{3600\ s}{1\ hora} = 15{,}20\ km/h$$

Por lo tanto, el vehículo recorrió 100 m en 23,67 s, a una velocidad media de 15,20 km/h. Sin embargo, en el caso de pruebas de velocidad, al posicionar el pedal al máximo límite, la velocidad llega a 20,46 km/h.

Figura 74. *Prueba de velocidad en superficie plana.*
Fuente: Autor.

- **Prueba de aceleración.**

Una vez calculada la velocidad, se realizó el cálculo de la aceleración con la siguiente ecuación:

$$a = \frac{dv}{dt} \qquad \text{Ec. 47}$$

$$a \int_{t0}^{t1} dt = \int_{x0}^{x1} dv$$

$$a * (t1 - t0) = v1 - v0$$

$$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$

Remplazando valores, se tiene:

$$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$

$$a = \frac{4{,}22\,\frac{m}{s} - 0}{23{,}68\,s - 0}$$

$$a = 0{,}17\ m/s^2$$

Analizando los resultados, se puede decir que el vehículo en un recorrido plano de hormigón alcanza una velocidad media de 15,20 km/h con una aceleración de 0.17 m/s^2.

3.2. Prueba en carretera plana.

A continuación, se presenta los datos obtenidos del instrumento de medición Tabla 21.

POSICIÓN DEL PEDAL (%)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)
5	232	4,4
25	230	4,8
50	209	5,2
75	184	5,8
100	165	6,3

Tabla 21. *Datos obtenidos en carretera plana.*
Fuente: Autor.

En las figuras 75 y 76, se representan los datos para diferentes posiciones del pedal de aceleración de voltaje y de corriente respectivamente.

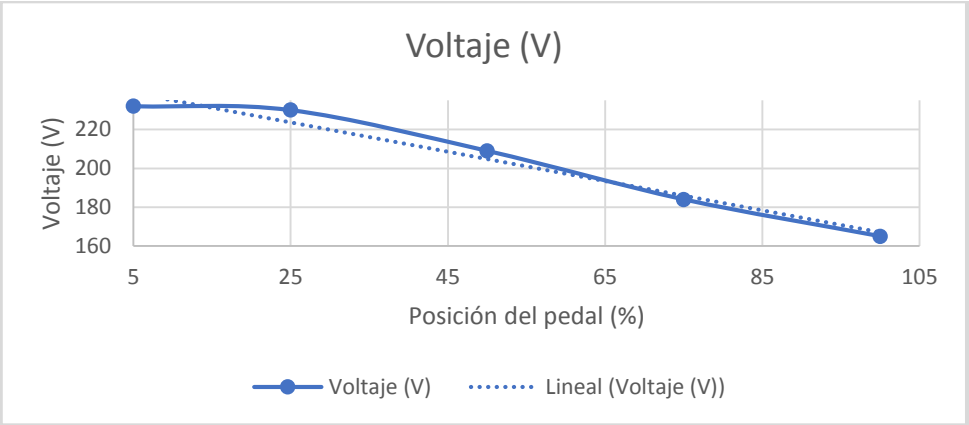


Figura 75. *Voltaje obtenido en diferente posiciones del pedal de aceleración.*
Fuente: Autor.

En la figura 75, se muestra que el vehículo tubular al pisar el pedal de aceleración al 100 %, el voltaje que ingresa al motor es de 165 V, evidenciando así que existe la disminución del voltaje, siendo inversamente proporcionales, por lo que se recomienda no accionar el acelerado a su límite máximo con el fin de tener más autonomía del vehículo.

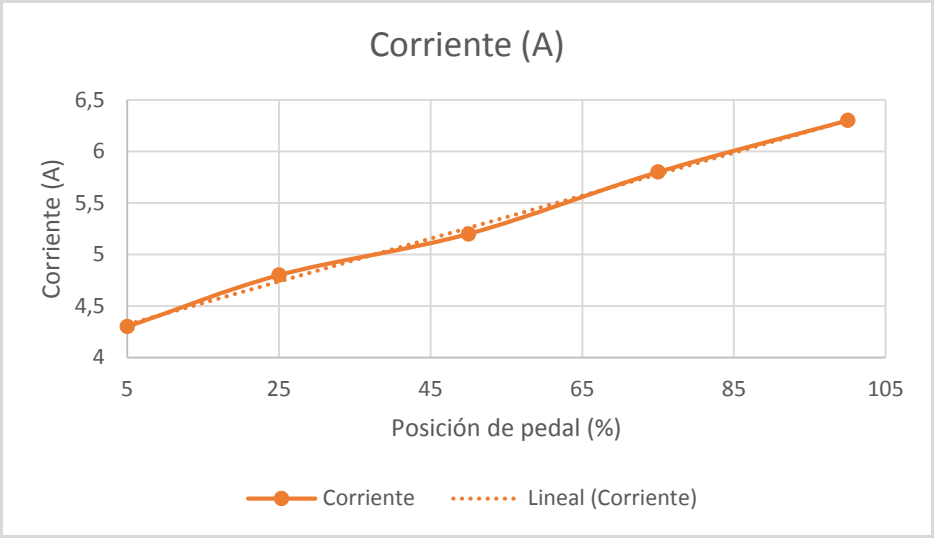


Figura 76. *Corriente en diferentes posiciones del acelerador.*
Fuente: Autor.

En la figura 76, se observa la línea de tendencia que muestra como aumenta el amperaje con respecto a la posición del pedal de aceleración, ya que en una posición de 5% el consumo es de 4,3 A mientras en la posición del 100 % el consumo es 6,3 A siendo estos datos directamente proporcionales.

3.3. Prueba en carretera con pendiente

La prueba en carretera con pendiente se realizó con una inclinación de 10 % (5,71º), que es la expuesta para su recorrido. Para ello, se tomó datos de lectura mediante el uso del instrumento de medición amperímetro y voltímetro, en la tabla 22 se muestra los datos obtenidos.

POSICIÓN DEL PEDAL (%)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)
5	216 V	5,3 A
25	214 v	6,3 A
50	213 V	6,8 A
75	195 V	6,7 A
100	150 V	6,8 A

Tabla 22. *Datos obtenidos en carretera con pendiente.*
Autor:

En las figuras 77 y 78, se representan los datos para diferentes posiciones del pedal de aceleración de voltaje y de corriente respectivamente en pendiente. Para la realización de esta prueba de inclinación se comprobó que el vehículo tubular si logra subir pendientes con mayor inclinación llegando a superar pendientes de 18% (10,2º). Sin embargo recorrer por estas vías provoca que el motor consuma mayor energía del banco de baterías y disminuya su autonomía.

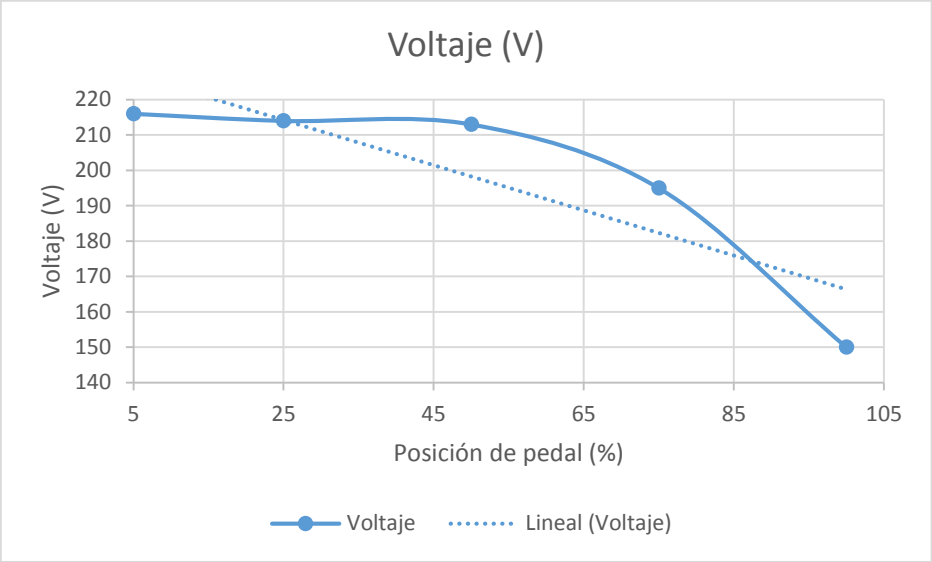


Figura 77. *Voltaje a diferentes posiciones del pedal de aceleración.*
Fuente: Autor.

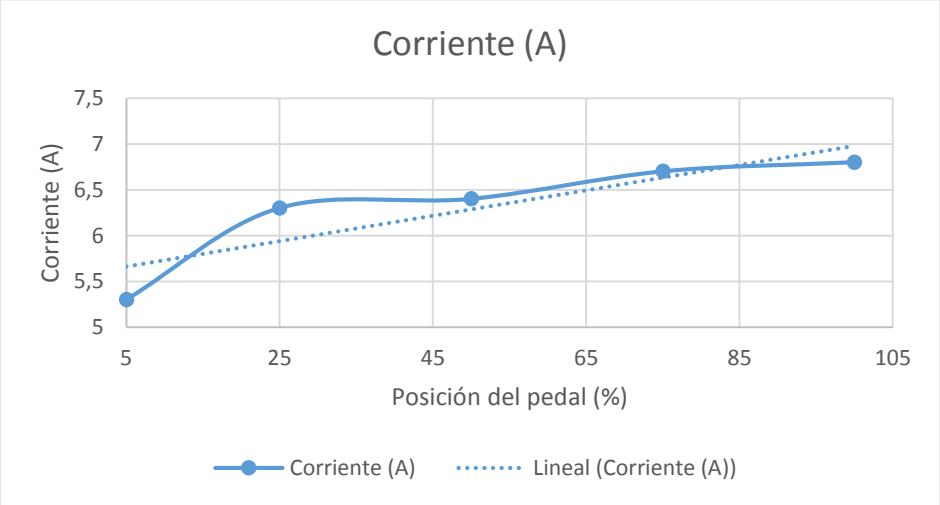


Figura 78. *Corriente en diferentes posiciones del pedal de aceleración en pendiente.*
Fuente: Autor.

Con estos datos, se puede concluir que al tener el pedal a su máximo límite de accionamiento (100%) en una pendiente, la corriente aumenta hasta llegar a 6,8 A, y la velocidad va aumentando gradualmente hasta llegar a mantener una aceleración constante. Mientras que el voltaje disminuye a 150 V. Por esta razón, se recomienda no acelerar a su máximo límite para que la corriente consumida no sea excesiva y el vehículo pueda conseguir mayor autonomía.

Figura 79. *Recorrido en pendiente 10%.*
Fuente: Autor.

3.4. Prueba de autonomía

La prueba de autonomía se realizó siguiendo la trayectoria establecida en la vía de integración barrial que consiste en un recorrido aproximado de 1.45 km entre ida y de vuelta. Esta trayectoria contiene pendientes del 10 % ascendentes y descendentes. Se realizó la prueba de manejo con las baterías completamente cargadas. El vehículo efectuó 3 viajes completos. Cumpliendo un recorrido de 4.41 km.

Distancia recorrida	Tiempo	Velocidad	C. Baterías	C. Promedio
4,41 km	17 minutos, 48 segundos	15,2 km/h	7,2 Ah	25 A

Por lo tanto para calcular la autonomía se utilizó la siguiente ecuación.

$$Autonomía = \frac{C_{baterias} * v_{promedio}}{C_{promedio}} \qquad \text{Ec. 48}$$

$$Autonomía = \frac{7{,}2\ Ah * 15\ km}{25\ A \qquad h} = \mathbf{4{,}53\ km}$$

g. DISCUSIÓN

Para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en el presente trabajo, se ha logrado la implementación de un motor eléctrico en el vehículo tubular, para lo cual se realizó un estudio general de los motores tanto de corriente continua y alterna, determinando utilizar un motor de corriente alterna CA, debido a que el mantenimiento de estas máquinas es casi nulo, ya que no posee escobillas ni colectores, siendo los componentes de desgaste, además estos motores son fácil de controlar utilizando un variador de frecuencia.

Los factores utilizados para determinar la potencia del motor eléctrico son: la velocidad de 15 km/h, la pendiente de la calzada del 10% y el peso total del vehículo de 460 kg, de los cuales se obtuvo una resistencia total de 789.56 N con una potencia del motor eléctrico de 3,73 kW, siendo la necesaria para impulsar al vehículo tubular.

En las pruebas realizadas se alcanzó un rango de velocidad de 15 a 20 km/h al recorrer por una calzada de superficie plana, además se evidencio el consumo de corriente del motor eléctrico es de 4,3 Amperios en cada una de las tres líneas que ingresan al motor. Por otra parte al recorrer por una superficie de inclinación de 10 %, se alcanza velocidades de 10 a 15 km/h con un consumo de corriente del motor de 6,8 Amperios siendo el escenario en que se necesita más desempeño del motor.

Por otro lado para conocer la autonomía del vehículo, se efectuó un recorrido por una calzada de hormigón, desplazándose a una longitud de 4,41 km, en un tiempo de 17 minutos con 48 segundos, además con el fin de obtener más autonomía al recorrido se lo realizó a una velocidad constante de 15 km/h, cabe mencionar que la vía presenta

pendientes de 10%, lo que ocasiona que el consumo de energía sea mayor, provocando que las baterías se descarguen más rápido, por lo que se recomienda transitar por carreteras planas. Con las pruebas realizadas de velocidad y autonomía, se demuestra que se ha cumplido con los objetivos específicos planteados, al implementar un sistema de transmisión con motor eléctrico como la fuente de potencia, convirtiéndolo en un vehículo eléctrico que no emite CO2 al medio ambiente.

h. CONCLUSIONES

- La velocidad del vehículo tubular se ve condicionada por la resistencia a la pendiente, es así, que de las pruebas efectuadas se constató que se requiere 2.7 KW de potencia para vencer la resistencia a la pendiente calculada que es de 669,34 N.

- La prueba de autonomía del vehículo tubular es de 17 minutos con 48 segundos, alcanzado un recorrido total de 4,41 km de longitud en una calzada con hormigón.

- La resistencia total que el vehículo tubular de 460 kg tiene que vencer para alcanzar una velocidad de crucero de 15 km/h, con una pendiente máxima de 10 % es de 789,56 N (R_g= 669.34 N, R_r = 71.44 N, R_{ax} = 4.53 N y R_i = 44.29 N), equivalente a 3284,56 W de potencia. Tomado únicamente la eficiencia del motor eléctrico de η = 0.9, la potencia mecánica que debe proveer el motor eléctrico es de 3649. 53 W.

- Como resultado de las pruebas de funcionamiento en una carretera de hormigón, la velocidad máxima experimental a la que llego el vehículo fue de 20,46 km/h con el pedal de aceleración al 100%, la misma que se obtuvo al recorrer por una calzada de superficie plana.

i. RECOMENDACIONES.

- Se debe realizar la recarga del UPS cada 8 días, para lo cual se necesita de una alimentación de 220 V y 24 A, con el fin de evitar el deterioro prematuro de las baterías internas que conforman el sistema.

- En lo referente al motor eléctrico se recomienda realizar los ajustes de los tornillos que sostienen entre el acople rígido – motor eléctrico – caja CTV., además de deben ajustar los terminales de conexión que conforman el variador de frecuencia.

- Es recomendable no manipular el sistema eléctrico y electrónico del vehículo ya que este sistema trabaja con un voltaje de 220V, para lo cual se necesita utilizar elementos de protección, y conocimientos en lo que se refiere a electricidad.

- Para evitar daños prematuros de los sistemas electrónicos y eléctricos se recomienda evitar que se mojen ya que se pueden deteriorar o quemar, por lo que se deben de proteger de factores como el agua y polvo.

- Concientizar a la ciudadanía de utilizar vehículos eléctricos como otra alternativa de movilidad, ya que estos medios de transporte ayudan a proteger al medio ambiente de emisiones de CO2, los mismos que utilizan energía eléctrica para el funcionamiento, siendo una ventaja el mantenimiento periódico y además de excluirse del impuesto ambiental a la contaminación vehicular.

j. BIBLIOGRAFÍA

ABB, M. (07 de Julio de 2009). Motores eléctricos trifasicos. *Catálogo Motores rev out_08.indd.* Obtenido de http://www2.electron.frba.utn.edu.ar/archivos/Motores.pdf

Administrador. (22 de 10 de 2009). *Microsoft PowerPoint - Motor combustion 2 [Compatibility Mode]*. Recuperado el 20 de enero de 2018, de file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/MOTORCOMBUS2.PDF

Águeda Casado, E., Martín Navarro, J., & Gómez Morales, T. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje.* España: Paraninfo. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=sTPfsq4e0g4C&pg=PA171&lpg=PA171&dq=resistencia+por+inercia&source=bl&ots=1ji_52zVTG&sig=3bUwDhpFvOVVQf0rPHXf30kBpSI&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjEwOiYxLjcAhVDq1kKHfjJBAgQ6AEIwAEwFw#v=onepage&q&f=false

Alba, M. (24 de Abril de 2013). *Motores Electricos y aplicaciones.* Obtenido de PowerPoint Presentation: file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/Equipos-nuevos.-Motores-de-induccion%20(1).pdf

Albert. (12 de 03 de 2007). *HISTRIA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIN INTERNA.* Recuperado el 23 de 01 de 2018, de file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/Motores%20de%20combusti%C3%B3n%20interna.pdf

Alguacil, M. (26 de Octubre de 2016). *¿Por qué es más eficiente un vehículo eléctrico que uno de combustible?* Obtenido de https://corrienteelectrica.renault.es/mas-eficiente-vehiculo-electrico-uno-combustible/

alké. (s.f.). *¿Cómo calculo la pendiente de una subida?* Obtenido de https://www.alke.eu/es/

Aparicio Izquierdo, F., Vera Alvarez, C., & Díaz López, V. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles.* Madrid. Recuperado el 20 de JULIO de 2016

Arpem. (s.f.). *Coeficiente Cx*. Obtenido de http://www.arpem.com/pruebas/coches/glosario/cx/cx.html

Baer, A. (18 de Octubre de 2014). *Cocheseco.com.* Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de Motores de coches electricos: http://cocheseco.com/motores-de-coches-electricos/

Bastian et al. (2001). *Electrotecnia.* Madrid, España: Akal. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=sjizVaqQA8gC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=twopage&q&f=false

Biosa. (2008). *Transmisión de potencia*. Obtenido de http://www.biosa.mx/transmision-potencia/

Bueno, D. (03 de Noviembre de 2014). *MOTOR ELECTRICO – TIPOS Y FUNDAMENTOS.* Obtenido de https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2014/11/motor-electrico.pdf

Calvo, J. A. (18 de Febrero de 2005). *Prestaciones en vehiculos.* Obtenido de Microsoft PowerPoint - CURSO prestaciones.ppt: http://ocw.uc3m.es/historico/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/prestaciones.pdf

Carrasco Hidalgo, R. (19 de Novienbre de 2011). *TRANSFORMACIÓN DE UNA MINI-MOTO DE GASOLINA A ELÉCTRICA: ESTUDIO Y MODELADO.* Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid: http://hdl.handle.net/10016/13663

Castillo Morales, O. (11 de Agosto de 2014). *Cuadro comparativo entre: Motores de CA y motores de CD/CC.* Obtenido de https://es.slideshare.net/oscarx15/cuadro-comparativo-entre-motores-de-ca-y-motores-de-cdcc

Chapman, S. J. (2014). *Máquinas Eléctricas, 5ta Edición.* Mexico: McGraw-Hill. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de www.FreeLibros.org

Chuquiana Cunalata, E. (26 de Novienbre de 2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ.* Obtenido de htt://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9159/1/AC-ESPEL-MAI-0490.pdf

De Almeida, T, A. (16 de 08 de 2013). *Caracteristicas de funcionamiento de los motores electricos.* Obtenido de http://www.energia.gob.ec

De la Cruz Rodríguez, J. (Mayo de 2012). *ADAPTACIÓN DE UN BUGGY CONVENCIONAL A ELÉCTRICO PARA SU PARTICIPACIÓN EN LA PANÁFRICA 2012.* Obtenido de https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/50a62ff1c29c7.pdf

Domínguez Soriano, E., & Ferrer Ruiz, J. (2018). *Sistemas de transmisión y frenado.* Obtenido de ttps://books.google.com.ec/books?id=1hhfDwAAQBAJ&pg=PA13&dq=rendimiento+mecanico+de+una+transmision&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjVqpzxr77cAhUnnOAKHUAYBnUQ6AEIJTAA#v=onepage&q=rendimiento%20mecanico%20de%20una%20transmision&f=false

Domínguez, J. E., & Ferrer, J. (s.f.). *Sistemas de transmisión y frenado.* Recuperado el 22 de JULIO de 2016, de http://ebookinga.com/pdf/sistemas-de-transmisin-y-frenado-editex--58190716.html

Durán, M., & Guidiño, J. (12 de Agosto de 2014). . Obtenido de Modelado y Diseño del Controlador para un Sistema de Tracción de un Vehículo Eléctrico: https://scielo.conicyt.cl

Educa, E. (2014). *El coche eléctrico*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico

Elettrico, & Cassioli, L. (20 de 05 de 2014). *Lemev*. Obtenido de http://www.lemev.com/es_ES/index/comunidadver/id/70

Espada Moya, S. (2015). *Motores electricos eficientes para el sector industrial.* Recuperado el 22 de JULIO de 2016, de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23075/TFG_%20Sergio_Espada_Moya_2015.pdf

Flores Videla. (07 de 02 de 2010). *Motores electricos parte II*. Obtenido de https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com

Fredy, J. (01 de 03 de 2011). *Transmision por cadenas.* Obtenido de http://files.cesarruiz.webnode.com.co/200000094-cec46d0fac/TransmisionPorCadenas.pdf

García Álvarez, J. A. (1 de septiembre de 2015). *Asi funciona*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de Potencia eléctrica: http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/ke_potencia_elect_1.htm

Garduño, J. (17 de Febrero de 2010). *Microsoft Word - 4.Curso_Motores.*

Garrigós, J. (20 de noviembre de 2011). *Motores de Corriente Alterna.* Recuperado el 20 de Abril de 2016, de platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos1eva/intoduccion_motores_ca.pdf

Garzon, J. (31 de Mayo de 2012). *El Automóvil al desnudo*. Recuperado el 23 de septiembre de 2016, de Chasis Vehículos: jeroitim,blogspot.com

Geo Loja. (11 de noviembre de 2008).

Geo Loja. (2008). *Prespectivas del medio ambiente urbano.* Loja. Obtenido de http://www.naturalezaycultura.org/docs/Geo%20Loja.pdf

Gonzales, G. (2013). Obtenido de Cual es el mejor motor para un auto eléctrico?: http://autolibre.blogspot.com/2009/05/cual-es-el-mejor-motor-para-un-auto.html

Hernández Acevedo, F. M. (15 de Junio de 2016). *Voltaje, Corriente y Potencia*. Obtenido de http://www.sems.gob.mx

Hibbeler, R. (2010). *Estática.* Méxio: Pearson Educación.

Ingelibre. (24 de Abril de 2014). *Aerodinamica en el vehiculo. Resistencia aerodinamica*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2017, de https://ingelibreblog.wordpress.com

laurabc_men. (21 de 09 de 2006). Microsoft Word - FORMULARIO.doc.

Legrad Group España, S. (05 de 06 de 2013). *Sistema de alimentación ininterrumpida SAI*. Obtenido de http://www.legrand.es/documentos/Guia-Tecnica-SAI-sistemas-de-alimentacion-ininterrumpida-Legrand.pdf

Leysar. (06 de junio de 207). *Manutencion y pesae industrial*. Obtenido de http://leysar.es/producto/bascula-plataforma-ifn/

Licata , M. (s.f.). *Tabla de Peso Ideal en metros y kilogramos*. Obtenido de https://www.zonadiet.com

Lopez Arenales, J. C. (18 de julio de 2013). *Motores Electricos.* Recuperado el 20 de abril de 2016, de Diapositiva 1: http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf

Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2013). *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportmiento dinámico* (4ta ed.). Madird,España: Paraninfo,S.A. Recuperado el 20 de JULIO de 2016

Malla Buestán, J. A., & Samaniego Marca, F. A. (01 de Diciembre de 2017). *Desarrollo de un protocolo de pruebas de funcionamiento para el vehículo Fórmula SAE eléctrico 2017.* Obtenido de Ingeniería Mecánica Automotriz (Trabajo de titulación): https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14915/1/UPS-CT007335.pdf

Manual-Toyota-Hilux-Transmision-Manual. (2003). Octubre: 10.

Martín, C., & Mocholí, R. (24 de Junio de 2016). *Diseño y optimización del chasis de un vehículo eléctrico autónomo.* Obtenido de https://upcommons.upc.edu

Mott, R. (s.f.). *Diseño de elementos de maquínas* (2da ed.). Recuperado el 30 de 08 de 2016

Ortiz Medrano, E. (25 de Enero de 2017). *Tesis I.M. 363.* Recuperado el 20 de Enero de 2018

Palafox Alvarado, G. I. (23 de Noviembre de 2009). *Diseno y contruccion de un vehiculo eléctrico.* Recuperado el 20 de abril de 2016, de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10990.pdf

Paredes, F. (Octubre de 2003). Obtenido de Teoría básica y problemas propuestos de Cinemática y Dinámica: https://www.monografias.com

Perez, R. (20 de Enero de 2017). *Motores eléctricos de corriente continua.* Obtenido de Fundamentos de electricidad: https://es.slideshare.net/RubenPerez131/motores-elctricos-de-corriente-continua

Revista educativa MasTiposde, Equipo de redacción. (18 de Noviembre de 2015). *MasTiposde.com*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de Tipos de voltaje: https://www.tiposde.com/voltaje.html

Santoni, D. (16 de 03 de 2009). *APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS-_U_3.doc.* Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=Microsoft+Word+-+APUNTES+MAQUINAS+ELECTRICAS-_U_3.doc

Spicer, J. (13 de septiembre de 2017). *Eficiencia de la transmisión de la bici*. Obtenido de http://www.amtriathlon.com: http://www.amtriathlon.com/2009/07/eficiencia-de-la-transmision-de-la-bici.html

Telergia, Energía en Telecomunicaciones. (15 de Agosto de 2006). *Características particulares de los motores elétricos de corriente alterna.* Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de http://telergia.blogs.com/telergia/2006/08/caractersticas_.html

Vertigo 2040. (28 de Febrero de 2012). *Motor Electrico - Tipos y fundamentos*. Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de vertigo2040.wordpress.com: https://vertigo2040.wordpress.com/2012/02/28/motor-electrico-tipos-y-fundamentos/

Videla Flores, A. (18 de junio de 2006). *Manual de motores electricos tesina . doc.* Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Downloads/Manual%20de%20motores%20el%C3%A9ctricos%20(1).pdf

Wikipedia. (s.f.). *Sistema de alimentación ininterrumpida*. Obtenido de https://es.wikipedia.org

WordPress.com. (2 de Junio de 2009). *Motores Electricos.* Recuperado el 19 de Mayo de 2016, de https://motoreselectricos.wordpress.com/

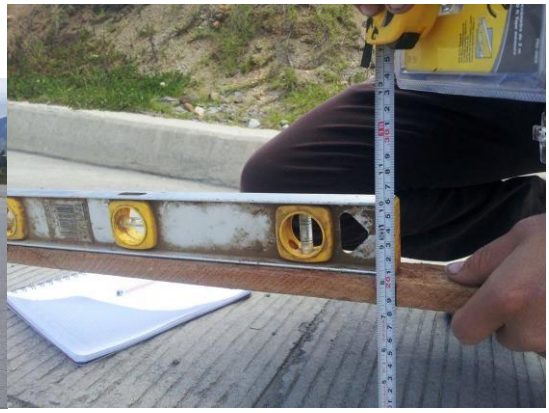
Yrady, H. (15 de Abril de 2016). *Motores y Controles Eléctricos.* Obtenido de http://apoyoelectrico.blogspot.com

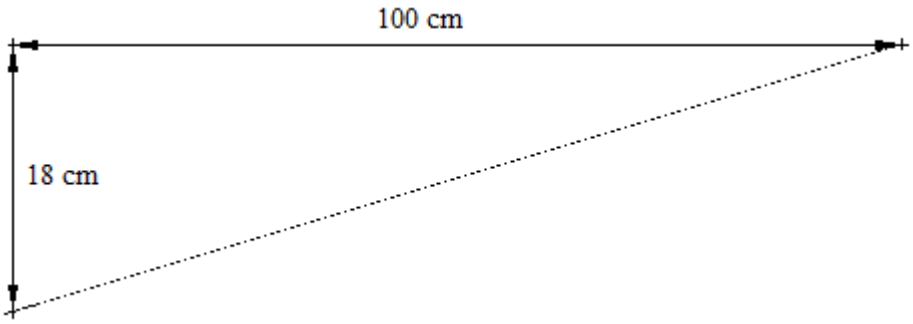
k. ANEXOS

ANEXO: A

MEDIDAS DE LA PENDIENTE

a. Pendiente con 18 % de inclinación sector vía de integración barrial





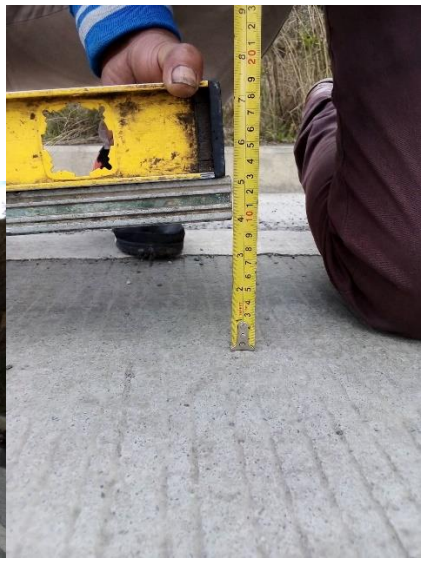
$$\emptyset = arctg^{-1}\frac{\emptyset\%}{100\%}$$

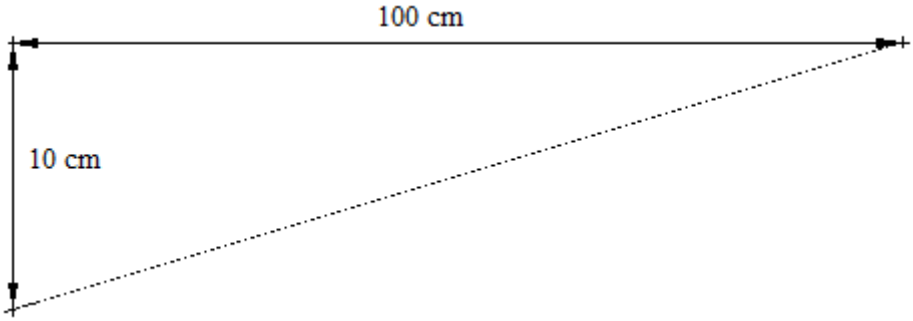
$$\emptyset = arctg^{-1}\frac{18\ \%}{100\%}$$

$$\emptyset = arctg^{-1}(0{,}18\ )$$

$$\emptyset = 10{,}2\ °$$

b. Pendiente de 10 % de inclinación.





$$\emptyset = arctg^{-1}\frac{\emptyset\%}{100\%}$$

$$\emptyset = arctg^{-1}\frac{10\ \%}{100\%}$$

$$\emptyset = arctg^{-1}(0{,}10\ )$$

$$\emptyset = 5{,}71°$$

c. Valores de inclinación en grados y porcentajes

Subida en porcentaje	Subida en grados	Tipo de Vehículo
5%	2.86 grados	cualquier tipo de vehículo eléctrico
10%	5.71 grados	cualquier tipo de vehículo eléctrico
15%	8.53 gradi	cualquier tipo de vehículo eléctrico
20%	11.31 grados	Vehículos eléctricos Alke'
25%	14.04 grados	Vehículos Alke' ATX240E
30%	16.70 grados	Vehículos Alke' ATX210E
35%	19.29 gradi	Vehículos Alkè ATX230E
40%	21.80 grados	Todo terreno eléctrico Alkè XT420E
45%	24.23 gradi	Todo terreno eléctrico Alkè XT420E
hasta 100%	hasta 45 grados	vehículos todo terreno 4x4

Tabla 23. *Valores de diferentes pendiente.*
Fuente: (alké, s.f.)

ANEXO: B

MASA DE VEHÍCULO TUBULAR

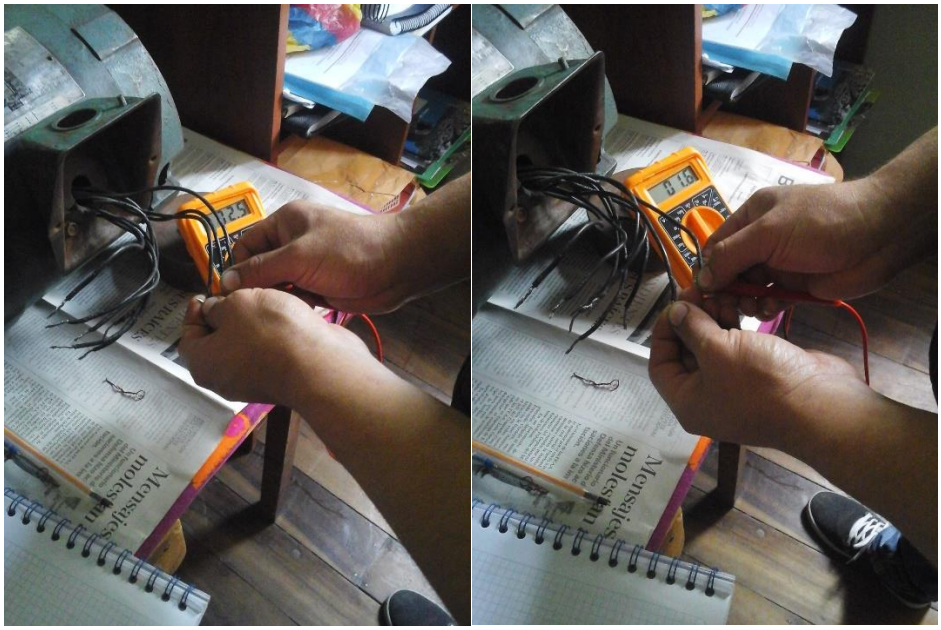
MASA DE COMPONENTES	
Vehículo + motor	228 kg
Pasajeros	140 kg
UPS	82 kg

ANEXO: C

RECOPILACIÓN DE DATOS DEL VEHÍCULO TUBULAR

ANEXO D

RECOPILACIÓN DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR



ANEXO: E

Tipos de calibre (3x 12) cable cosentrico (Analisis por corriente)

Calibre A.W.G	Diámetro mm	Sección mm^2	Intensidad en amperios			
			Aire libre		3 conductores en tubo	
			TW	desnudo	TW	asbesto
0000	11.58	107.20	300	370	195	340
000	10.38	85.00	260	320	165	285
00	9.36	67.42	225	275	145	250
0	8.25	53.48	195	235	125	225
2	6.54	33.62	140	175	95	165
4	5.18	21.15	105	130	70	120
6	4.11	13.29	80	100	55	95
8	3.26	8.32	55	70	40	70
10	2.59	5.29	40	55	30	55
12	2.05	3.29	25	40	20	40
14	1.62	2.08	20	30	15	30
16	1.29	1.29	12	16	8	16
18	1.02	0.85	8	12	6	12

Datos del motor:

Potencia = 5HP = 3730 W

Voltaje= 220V

$$I = \frac{P}{V}$$

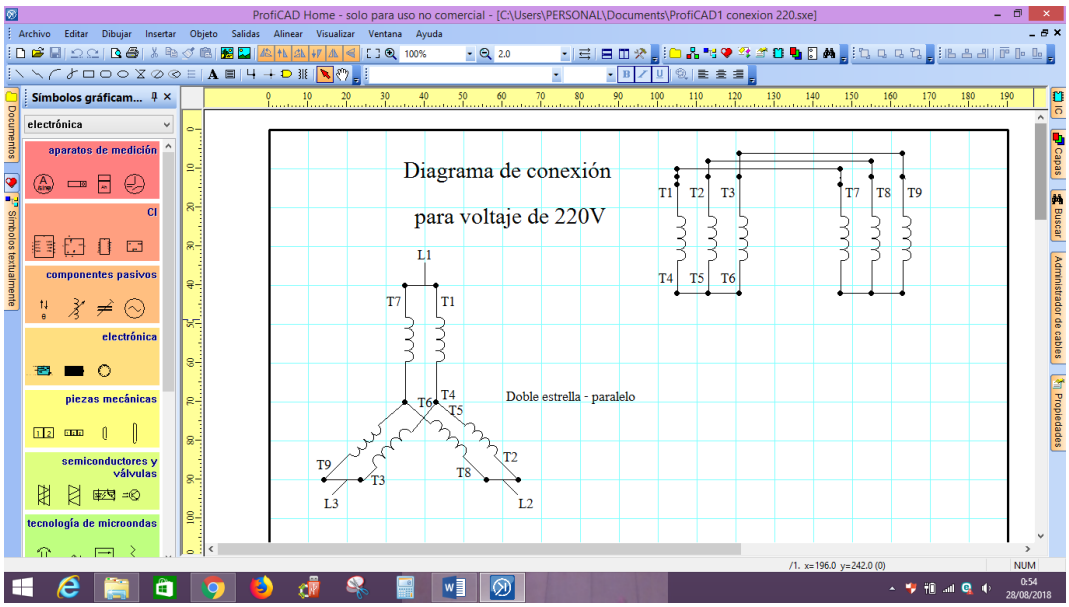
$$I = \frac{3730W}{220V}$$

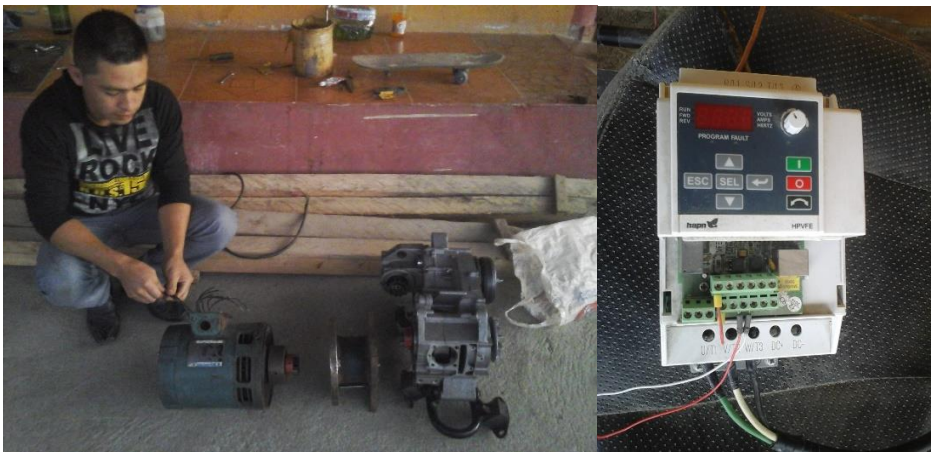
$$I = 16.9A$$

ANEXO: F

CONEXIÓN DE TERMINALES DE MOTOR

Esquema de conexión realizado en software ProfiCAD





ANEXO: G

DATOS DE UPS FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Table 8. Weights and Dimensions

	UPS	Extended Battery Module (EBM)
Dimensions (WxDxH)	44.2 x 68.3 x 21.8 cm 17.4" x 26.9" x 8.6" (5U)	44.2 x 68.3 x 13 cm 17.4" x 26.9" x 5.1" (3U)
Weights	UPS Chassis: 35 kg (77 lb) Internal Battery Trays (2): 27.4 kg (60.5 lb) each Total UPS Weight: 89.8 kg (198 lb)	69.9 kg (154 lb)

Table 9. Battery

Configuration	(20) 12V, 7.2 Ah internal batteries
EBM Configuration	PW9125 240 EBM: (20) 12V, 9 Ah
Type	Sealed, maintenance-free, valve-regulated, lead-acid
Charging	Internal battery: less than 2 hours to 80% usable capacity at nominal line voltage after full load discharge External battery: no more than 15x discharge time to 90% usable capacity at nominal line voltage after full load discharge
Monitoring	Advanced monitoring for earlier failure detection and warning

Table 10. Battery Runtimes (in Minutes)

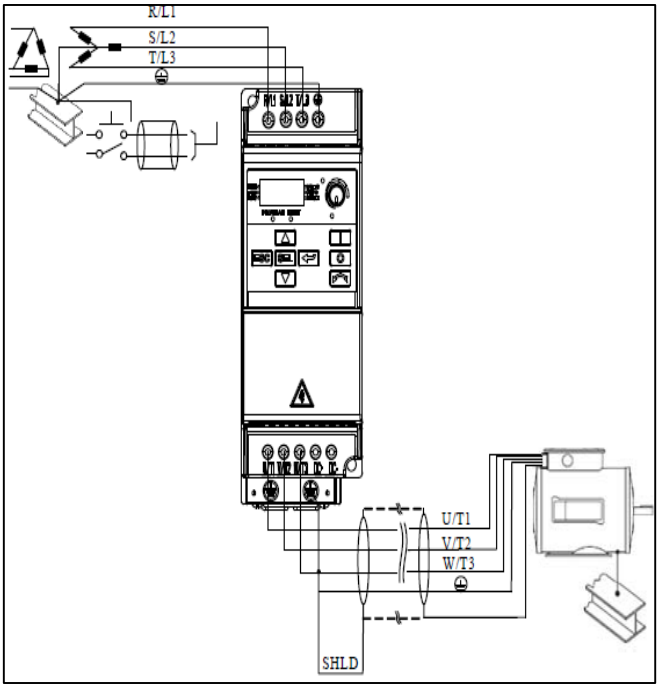
Load	UPS Internal Batteries	1 EBM	2 EBMs	3 EBMs	4 EBMs
6000 VA/4200W	9.7	29.7	52.1	76.3	102
5000 VA/3500W	13.2	37.4	65.3	95.6	127.7
4000 VA/2800W	19.2	49.2	85.8	125.4	167.5
3000 VA/2100W	24.3	70.1	121.9	178.0	237.4
2000 VA/1400W	37.7	107.5	186.2	271.4	361.6

NOTE Battery times are approximate and vary depending on the load configuration and battery charge.

ANEXO: H

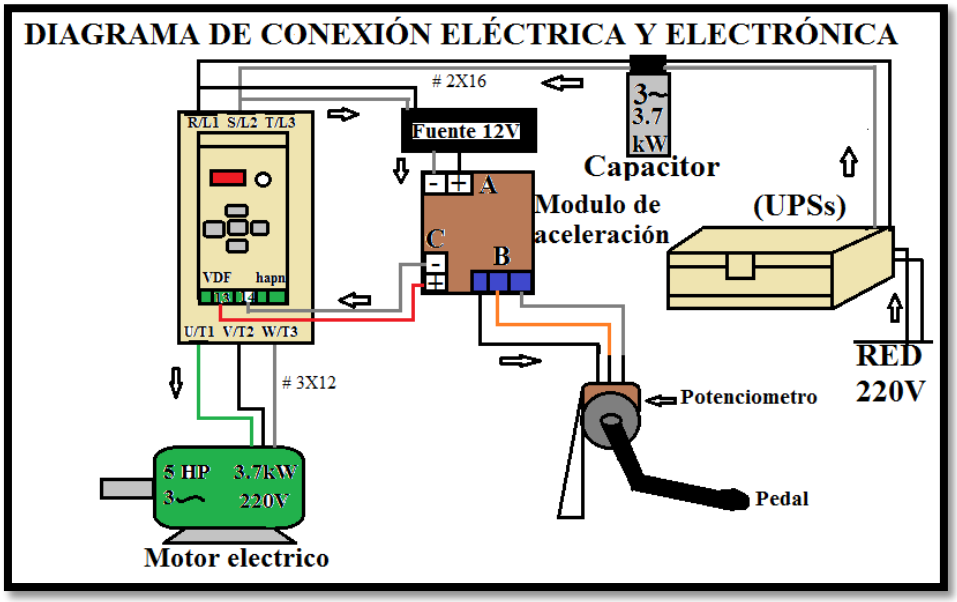
DATOS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

CONEXIÓN ELÉCTRICA ENTRE VARIADOR Y MOTOR ELÉCTRICO



ANEXO: I

DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



NOMENCLATURA

RED = Suministro de energía eléctrica de la red 220V.

UPSs = Acumulador de energía y suministro de energía al sistema eléctrico y electrónico.

CAPACITOR = Es un componente eléctrico que almacena carga eléctrica y su aplicación más importante es la de corregir el factor de potencia.

VDF = Variador de frecuencia es el elemento principal del sistema de control, este recibe alimentación bifásica para transformar en trifásica (220V) el cual es el encargado de controlar el motor eléctrico, variando su frecuencia y así a la velocidad.

MÓDULO DE ACELERACIÓN = Circuito electrónico diseñado para controlar la aceleración desde un potenciómetro conectado e implementado en el pedal de acelerador.

FUENTE DE 12 V = Elemento que recibe voltaje 220 V para transformar a 12 voltios, y así alimenta con el voltaje al módulo de aceleración que requiere 12V para su funcionamiento.

ANEXO J

Hoja para la verificación del estado mecánico y eléctrico de los sistemas que conforman el vehículo tubular.

VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO TUBULAR						
Complete los casilleros con una **x** tomando en cuenta los siguientes códigos: OK – Correcto NA – No aprueba						
Método de diagnóstico :			Visual	Auditivo	Tacto	Uso de herramientas
SISTEMA DE ELÉCTRICO						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1			Motor Eléctrico	Verificar la fijación del motor con los soportes y la placa de unión.		
2			Conexionado	Se realiza una inspección del ajuste de los terminales del cable conductor entre el variador de frecuencia – motor eléctrico.		
3			UPS	Se comprueba el voltaje de alimentación al sistema siendo de 220 V		
4			Tablero de control	Verificar del estado y la conexión de los componentes del tablero de control		
SISTEMA DE DIRECCIÓN						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1			Volante	Verificar el estado físico de la superficie y de maniguetas.		
2			Columna de dirección	Verificar la fijación del volante a la columna de la dirección.		

3			Terminales	Comprobar si existen holguras en cada rótula		
4			Pernos de los brazos - manguetas	Reajuste de cada uno de los pernos y tuercas del sistema.		
SISTEMA DE FRENOS						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1			Líquido de frenos	Verificar el nivel de líquido de frenos en el depósito.		
2			Depósito de líquido de frenos	Se verifica la sujeción de las placas de soporte del depósito		
3			Cilindro y cañerías	Revisar la existencia de corrosión o roturas		
4			Pedales	Verificar la superficie de contacto del acelerador y freno		
SISTEMA DE SUSPENSIÓN						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1			Terminales	Verificar la uniones con los brazos		
2			Amortiguadores	Verificar el estado físico		
3			Muelle			
4			Brazos de suspensión.	Verificar las uniones con los brazos y el chasis y con el amortiguador.		
SISTEMA DE TRANSMISIÓN						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1			Nivel de aceite	Se verifica el nivel de aceite del grupo reductor de la CVT		
2			Cadena de transmisión	Verificar la protección o q no exista contacto con algún elemento		
3			Ejes	Se realiza ajustes de las tuercas que poseen en los ejes.		
4			Neumáticos	Se verifica la presión de inflado de los neumáticos.		

5			Tuercas de los aros	Verificar el ajuste de las tuercas		
SISTEMA DE SEGURIDAD						
Nro.	**OK**	**NA**	**Elemento verificado**	**Parámetros**	**Método**	**Comentario**
1			Cinturón de seguridad	Verificar si posee cinturón de seguridad		
2			Casco	Verificar el estado físico		
3			Asientos	Verificar el estado físico		
3			Carpa de protección	Verificar si posee carpa de protección.		

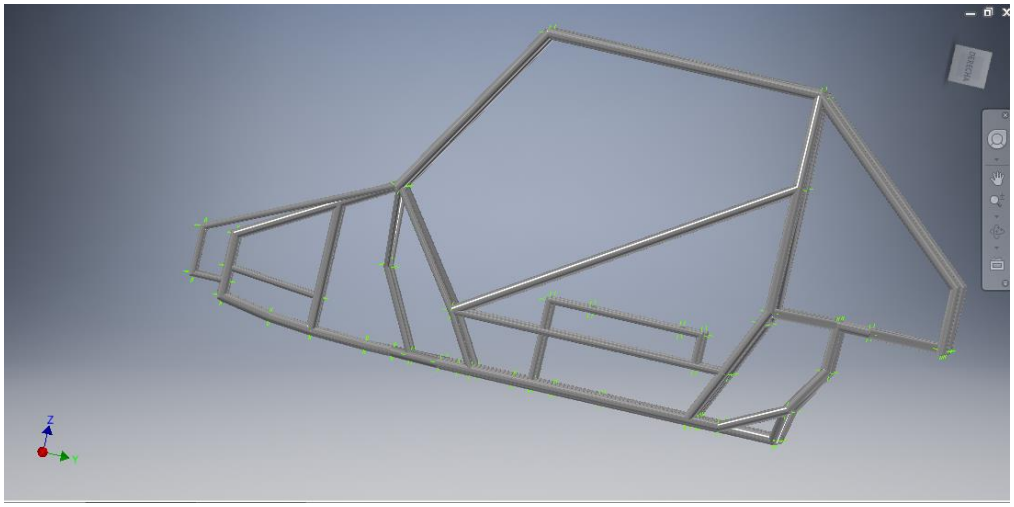
ANEXO K

DATOS TÉCNICOS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO COMO FUENTE DE POTENCIA PARA UN VEHÍCULO TUBULAR

DATOS DEL VEHÍCULO TUBULAR:

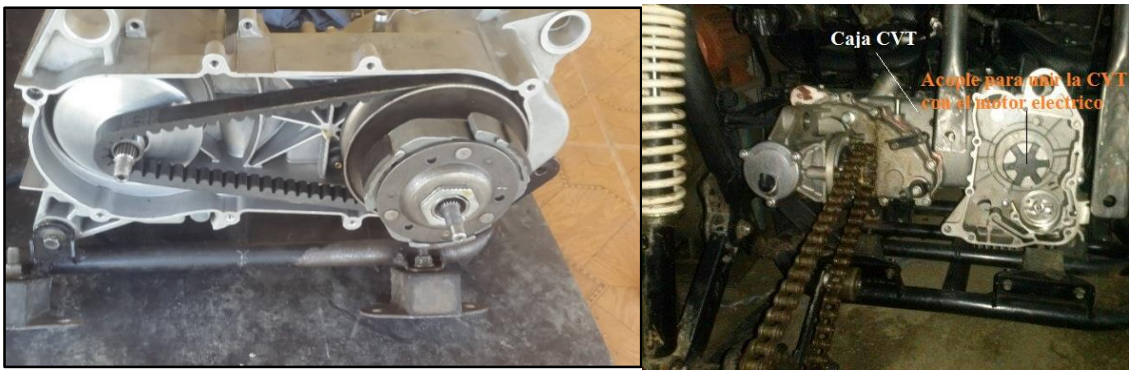
Características del vehículo tubular.		
Tipo de motor	Gasolina, 4 tiempos, 159cm^3	
Sistema de transmisión	Semi - automática CVT, catalina, cadena, piñón.	
	Eficiencia = 0.85	
Batalla	1.84 m	
Peso de vehículo	226 kg	
Medida del neumático	Rd = 19×7-8 y Rt = 20× 10-9	
Datos de los neumáticos	Presión	250 Kpa (2,5 Bar)
	Diámetro	50cm (0,25m)
Dimensiones	Longitud	215,9 cm
	Anchura	121,9 cm
	Altura	139,7 cm
Tipo de batería	Acido de plomo (12V)	
Velocidad máxima	50 a 60 km/h	

Estructura del chasis tubular.



SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión que esta implementado en el vehículo tubular es un sistema Semi-automática CVT, con la salidas desde la caja hacia el eje de la ruedas tractoras los realiza median una cadena, la ubicación de esta se toma en cuenta para determinar la ubicación del motor eléctrico.



Datos de CTV. Ec. 1

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

Donde:

n_2 = Velocidad de la rueda conducida

n_1 = Velocidad de la rueda motriz.

d_1 = Diámetro de la rueda motriz

d_2 = Diámetro de la ruda conducida

Calculo de la relación de transmisión

Para conocer la relación de transmisión se debe conocer la velocidad máxima permitirá para conducir, esta velocidad de 50km/h permitido en la ciudad de Loja.

$$\frac{55km}{h} * \frac{1000m}{1km} * \frac{1h}{3600s} = 15.2\ m/s$$

Velocidad angular:

$$V = \omega * R_{neumatico}$$

$$\omega = \frac{V}{R_{neumatico}}$$

$$\omega = \frac{15.2\ m/s}{0{,}25m}$$

$$\omega = 61.1\ rad/s$$

Velocidad angular del motor a combustión:

$$\frac{4215\ rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1min}{60s} = 441{,}34\ \frac{rad}{s}$$

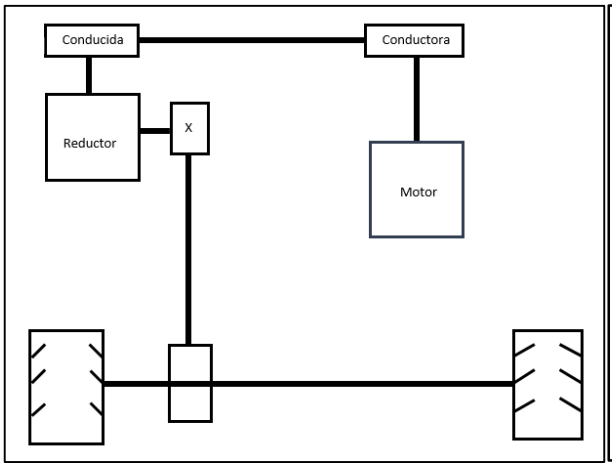
Por lo tanto la relación de transmisión es

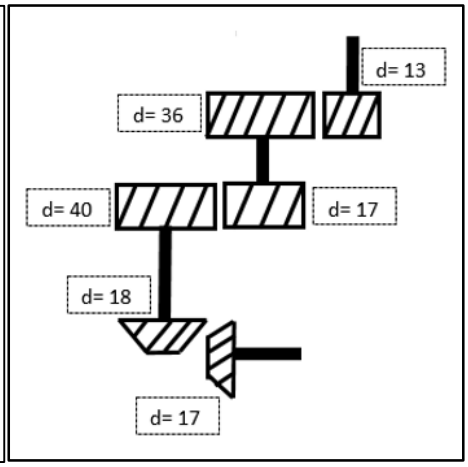
$$i = \frac{441.34rad/s}{61.1\ rad/s}$$

$$i = 7{,}2$$

La relación de transmisión total requerida es de 7.22 para que el vehículo alcance la máxima velocidad permitida.

Para conocer la relación total del sistema se debe analizar las 3 etapas de transmisión, para lo cual se muestra un esquema del proceso de transmisión, desde el motor hasta las ruedas.





$$i = \frac{d2}{d1} \times \frac{d2}{d1} \times \frac{d2}{d1}$$

Tomando en cuenta la eficiencia de la transmisión:

$$i = \frac{36}{13}(1{,}02) \times \frac{40}{17}(1{,}02) \times \frac{17}{18}(1{,}02)$$

$$i = 6.53$$

Transmisión por Catarina

De acuerdo a la investigación realizada por (Spicer, 2017) "La eficiencia medida es muy elevada, superior al 90% en la mayoría de los casos y en el orden del 97-98% a potencias razonables".

Tomando en cuenta la eficiencia de la transmisión:

$$i = \frac{32}{24}(1{,}02)$$

$$i = 1.36$$

Conjunto CVT.

Para poder realizar este análisis se tomó la medida de los diámetros de las poleas para obtener la información de la variación de los diámetros de la caja CVT. El diámetro de la polea conductora varía en su diámetro desde un valor de 50 milímetros hasta los 105

milímetros, mientras que el diámetro de la polea conducida varía desde un valor de 74.52 milímetros hasta un valor de 126.15 milímetros, estos valores se reflejan en la siguiente tabla:

Polea conductora	Polea conducida	Relación de transmisión (93% eficiencia)
50	126.15	2.70
55	122.05	2.37
65	113.53	1.87
75	104.56	1.49
85	95.09	1.20
105	74.52	0.76

El porcentaje de eficiencia se ha utilizado de acuerdo a la figura 24 para las cajas de control CVT. Esta tabla nos muestra que la relación de transmisión alta es de 2,52 y la baja es de 0,71 respectivamente

Relación de trasmisión total del vehículo

Para encontrar la Rtt del vehículo se debe de multiplicar todas las relaciones existentes en sistema CVT- grupo reductos y Catarina.

IT CVT	IT Engranajes	IT Catarina	IT Total
2,52	6,53	1,36	22,379
2,22	6,53	1,36	19,715
1,96	6,53	1,36	17,406

1,75	6,53	1,36	15,541
1,56	6,53	1,36	13,854
1,39	6,53	1,36	12,344
1,25	6,53	1,36	11,101
1,12	6,53	1,36	9,946
1	6,53	1,36	8,880
0,9	6,53	1,36	7,992
0,8	6,53	1,36	7,104
0,70	6,53	1,36	6,216

La relación de transmisión del vehículo varía desde los 22,379 hasta 6.216, lo cual permite alcanzar la velocidad máxima permitida para este vehículo.

Calculo de la velocidad del vehículo.

RPM	iT Total	Velocidad m/s	Velocidad Km/h
2410	22,379	2,819	10,149
2565	19,715	3,406	12,262
2730	17,406	4,106	14,782
2895	15,541	4,877	17,556
3060	13,854	5,782	20,817
3225	12,344	6,840	24,623
3390	11,101	7,995	28,781
3450	**9,946**	**9,081**	**32,690**
3720	8,880	10,966	39,479
3885	7,992	12,725	45,811
4050	7,104	14,924	63,903
4215	6,216	17,751	53,726

Como se puede observar en la tabla anterior la velocidad calculada del vehículo puede variar desde los 10 km/h hasta un máximo de 60 km/h aproximadamente. Estos cálculos son necesarios pare determinar la potencia del motor eléctrico.

ANEXO L

SISTEMAS DE CONTROL PARA EL MOTOR ELÉCTRICO

Para realizar el control del motor eléctrico se utiliza un variador de frecuencia el cual realiza la función de apagado encendido y además se puede controlar el sentido de giro del eje motor.

Elecciones variador según su aplicación:

Aplicación	Convertidor de frecuencia HAPN	Convertidor de frecuencia ABB	Convertidor de frecuencia Siemens
maquinaria de manipulación de materiales	●	●	-
Cintas transportadoras	●	-	●
Máquinas, herramientas	●	●	●
Líneas de procesamiento	●	●	●

En la tabla anterior se muestra la elección del variador de frecuencia, para lo cual se determina utilizar el VDF HAPN el cual es el más utilizado y además el más accesible.

Variador de frecuencia Hapn

Para determinar el VDF HAPN adecuado se debe de tener en cuenta los datos técnico del maquina eléctrica a la que se va a controlar en este caso a motor eléctrico

DATOS DEL MOTOR ELÉCTRICO	
UNIDAD	**VALOR**
VOLTAJE	220 V
CORRIENTE	12.8 A
POTENCIA	5 HP
	3.7 kW
FRECUENCIA	50 / 60 Hz
FASES	3 ~

Drive Ratings				Catalog Number	Frame	Size
Input Voltage	kW	HP	Output Current(A)	Panel Mount		W×H×D
240V 50/60Hz 1- phase	0.75	1	4.2	HPVFE02S0D75	A	72×185.5×143.5
	1.5	2	8	HPVFE02S1D5	B	100×174×145
	2.2	3	11	HPVFE02S2D2		
240V 50/60Hz 1- phase , with filter	0.75	1	4.2	HPVFE02S0D7501	A	72×185.5×143.5
	1.5	2	8	HPVFE02S1D501	B	100×174×145
	2.2	3	11	HPVFE02S2D201		
240V 50/60Hz 3- phase	0.75	1	4.2	HPVFE02T0D75	A	72×185.5×143.5
	1.5	2	8	HPVFE02T1D5		
	2.2	3	12	HPVFE02T2D2	B	100×174×145
	3.7	5	17.5	HPVFE02T3D7		
	5.5	7.5	25	HPVFE02T5D5	C	130×253×187
	7.5	10	33	HPVFE02T7D5		
460V 50/60Hz 3- phase	0.75	1	2.5	HPVFE04T0D75	A	72×185.5×143.5
	1.5	2	4.2	HPVFE04T1D5		
	2.2	3	6	HPVFE04T2D2	B	100×174×145
	3.7	5	8.7	HPVFE04T3D7		
	5.5	7.5	13	HPVFE04T5D5	C	130×253×187
	7.5	10	18	HPVFE04T7D5		
	11	15	24	HPVFE04T11		
460V 50/60Hz 3- phase with filter	0.75	1.0	2.5	HPVFE04T0D7501	A	72×185.5×143.5
	1.5	2.0	4.2	HPVFE04T1D501		
	2.2	3.0	6.0	HPVFE04T2D201	B	100×174×145
	3.7	5.0	8.7	HPVFE04T3D701		
	5.5	7.5	13.0	HPVFE04T5D501	C	130×253×187
	7.5	10.0	18.0	HPVFE04T7D501		
	11.0	15.0	24.0	HPVFE04T1101		

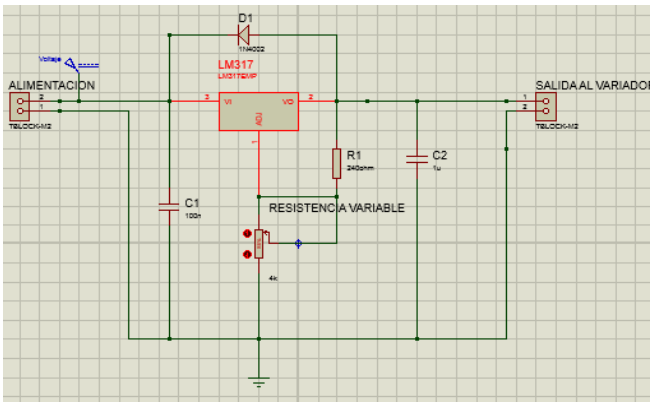
Realizado el análisis de los valores de operación del motor y de VDF se determina utilizar el VDF modelo **HPVFE02T3D7**

Para realizar el control motor eléctrico desde el pedal del acelerador del vehículo se construyó un módulo de aceleración que va conectado a el VDF, la señal de posición del pedal lo realiza mediante un potenciómetro implementado en el pedal.

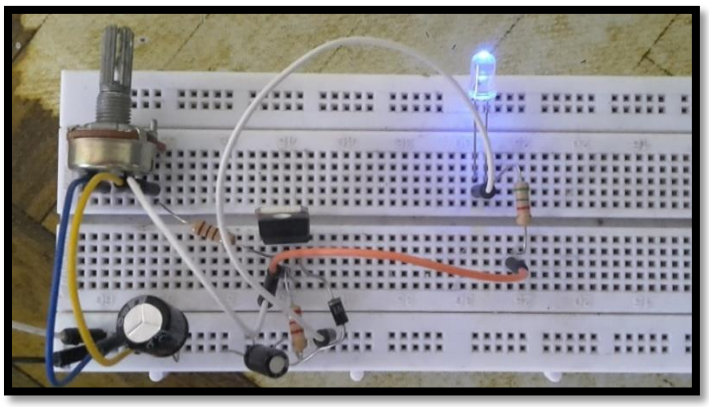
Componentes para el diseño y construcción del circuito de aceleración.

COMPONENTES DEL CIRCUITO	
ELEMENTO	**VALORES**
Integrado	LM317 (10V)
Resistencia	R1= 240 ohm;
	R2=2000 ohm
Capacitor	C1 = 1000 *uf* - 50V
	C2 = 1*uf* - 50V
Foco led	Verde / azul
Diodo Zener	1N4002
Potenciómetro	5 ohm

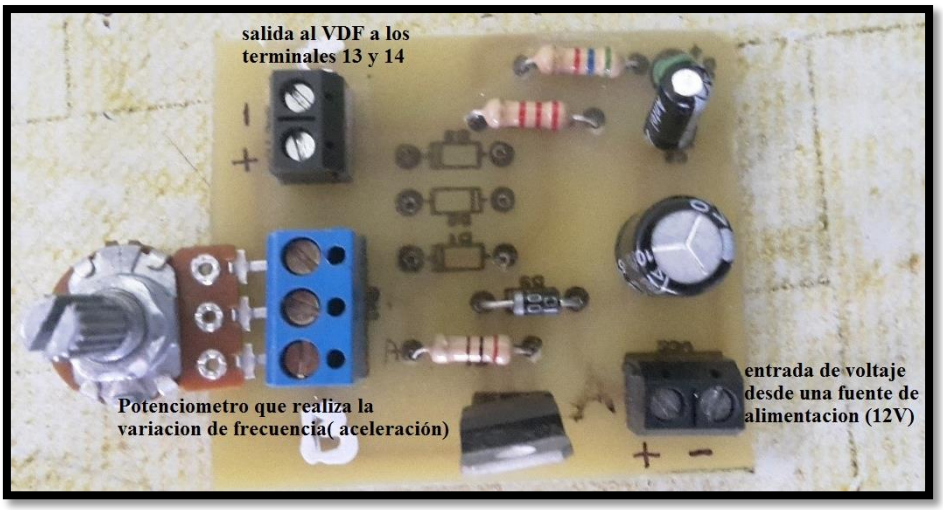
Diseño del circuito de aceleración en Proteus.



Construccion del circuito en protoboard.

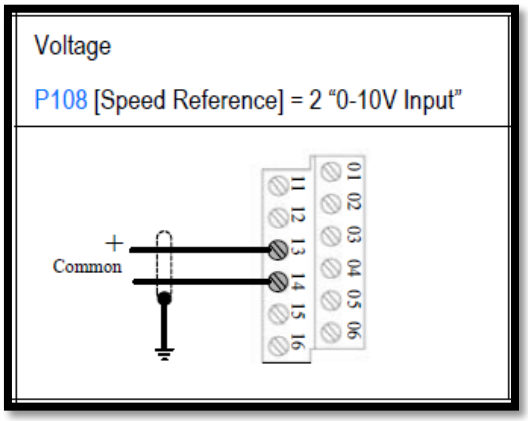


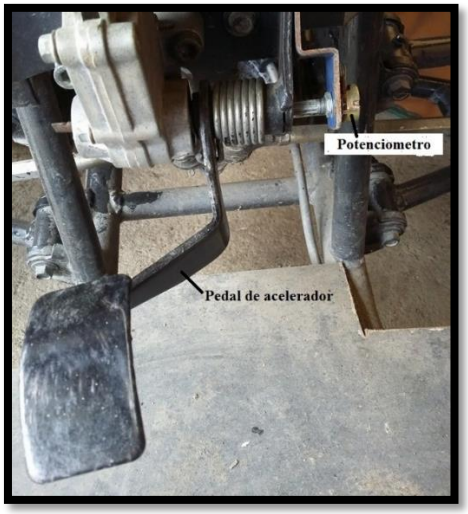
Construcción del circuito en placa de cobre



Implementación del circuito al VDF y al pedal del acelerador.

Se realiza la programación e ingreso de datos para el funcionamiento del y control del motor eléctrico.





Procedimiento para la programación

- Condiciones de trabajo, para la programación del variador de frecuencia este parámetro se considera que es uno de los más importantes, a continuación se detalla las variables que se tomaron en cuenta:

- Tensiones de trabajo del variador de frecuencia. Se programó a través del código d01 el Límite superior de tensión de entrada dado el valor de 246 voltios, y con el código d02 el límite inferior de entrada hacia el instrumento dado el valor de 210 V, estos valores son datos programados para el código de falla d001

- Corriente de trabajo del variador de frecuencia. Se programó a través del código P111 el Límite superior de consumo de corriente, dado el valor de 17 Amp, y con el código P112 se programó la rampa de arranque del motor eléctrico dado el valor de 10 segundos, con este código de programación se elimina la corriente pico producida por el arranque del motor, estos valores son datos programados para el código de falla P001

- Frecuencia de trabajo. Para la programación de este parámetro se tomaron en cuenta algunas consideraciones que se detallan a continuación:

- Frecuencia mínima de operación, esta está definida por el sistema de transmisión de potencia, se determinó con la velocidad de giro necesaria para el accionamiento de la transmisión continuamente variable (CVT), el código de programación es el P104, dado el valor de 30 Hz, en una rampa de arranque definido con el código P271, dado el valor por defecto (10 s).

- Frecuencia máxima de operación, esta está definida por la frecuencia nominal del motor eléctrico, se determinó con los datos obtenidos de las características técnicas del mismo, cabe recalcar que si se puede realizar una programación de un límite superior a la frecuencia nominal del motor, si se programa la frecuencia sobre la nominal se tendría una pérdida de par torsor.

- Mando local y remoto, para la programación de este parámetro se tomó en cuenta que el control para la variable de frecuencia no es local, ya que no se tiene la facilidad para acoplarse al sistema de accionamiento mecánico de aceleración. se hizo uso del código P202 el cual brinda la posibilidad de montaje de un sistema remoto de control, cuenta con una variación de tensión en un rango de 0 – 10 voltios, esta variante se la realiza a través de un potenciómetro.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CA: Corriente alterna.

CC: Corriente contínua.

VDF: Variador de frecuencia.

UPS: Sistema de alimentación ininterrumpida

Voltaje: El voltaje es una magnitud física, con la cual podemos cuantificar o “medir” la diferencia de potencial eléctrico o la tensión eléctrica entre dos puntos, y es medible mediante un aparato llamado voltímetro.

Amperio: El amperio, abreviado “amp.” es la unidad de medida de la corriente eléctrica. Según el sistema Internacional de Unidades Básicas, su símbolo es “A” y es uno de las siete unidades de medida dentro de este sistema.

Frecuencia: Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

Foucault: Se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa. El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor. La corriente de Foucault (corriente parásita también conocida como "corrientes torbellino", o eddy current en inglés) es un fenómeno eléctrico descubierto por el físico francés León Foucault en 1851.

Histéresis: La histéresis es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado. Podemos encontrar

diferentes manifestaciones de este fenómeno. Por extensión se aplica a fenómenos que no dependen sólo de las circunstancias actuales, sino también de cómo se ha llegado a esas circunstancias.

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional (I.E.C).

NEMA: Asociación de Fabricantes Eléctricos Nacionales (NEMA).