



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN
ELÉCTRICA A UN VEHÍCULO LIVIANO**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

AUTORES:

**FABIÁN ANDRÉS BRAVO FEICÁN
DANIEL ANDRÉS CRESPO IÑIGUEZ**

DIRECTOR:

GIL TARQUINO ÁLVAREZ PACHECO

CUENCA - ECUADOR

2012

Dedicatoria:

Este proyecto lo dedico infinitamente a Dios, ya que gracias a él que me dio la salud y la sabiduría para poder encaminar bien este propósito lo he podido culminar con gran orgullo, de igual manera porque me da la oportunidad de tener a toda mi familia apoyándome tanto a mis padres Iván y María como a mis hermanos Iván, Mónica y Juan Diego, quienes con sus consejos me supieron alentar para no echarme atrás y poder cumplir mi meta.

Fabián Andrés Bravo Feicán

Dedicatoria:

Mi sueño siempre fue el de ser mejor, de lo que hasta ahora he podido ser, de ir más allá de donde hoy me encuentro, por ello el presente trabajo de investigación, que es una muestra de lo que podemos hacer cuando se pone mística y cariño en el estudio; lo dedico de todo corazón, a mis padres autores de mi existencia, que inspiraron mi trabajo y me dieron la ayuda suficiente para no desmayar en el camino.

A ellos, este trabajo con infinito amor.

Daniel Andrés Crespo Iñiguez

Agradecimientos:

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Gil Álvarez, quien desde un inicio hasta la culminación del proyecto nos ha apoyado y colaborado con todo su conocimiento y acertados consejos que hicieron posible encaminar de mejor manera el trabajo realizado.

De igual manera queremos agradecer a los profesores Ing. Aníbal Jiménez, Ing. Luis Tapia quienes nos han facilitado y ayudado en los talleres de la Universidad para realizar diferentes elementos que constituyen este trabajo y que nos han colaborado de la mejor manera en el desarrollo del proyecto.

A ellos nuestro profundo agradecimiento y el más alto sentimiento de gratitud y estima.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:	ii
AGRADECIMIENTOS:	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	12

CAPITULO I: VEHÍCULO ELÉCTRICO

INTRODUCCIÓN	13
1.1. MOTOR ELÉCTRICO	13
1.1.1. TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS	14
1.1.2. MOTORES DE CORRIENTE CONTÍNUA	15
1.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	16
1.2.1. ELECCIÓN DEL VEHÍCULO	17
1.2.2. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO	17
1.2.3. BATERÍAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR.....	18
1.2.4. CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS	19
1.2.5. POTENCIA DE ACCIONAMIENTO	19
1.2.6. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO.....	20
1.3. COMPONENTES UTILIZADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN.....	21
1.3.1. COMPONENTES PRINCIPALES	21
1.3.1.1. MOTOR ELÉCTRICO:	21
1.3.1.2. BATERÍAS:.....	22
1.3.1.3. CARGADOR DE BATERÍAS:	22
1.3.1.4. CONTROLADOR ELECTRÓNICO:	23
1.3.1.5. CONTACTOR PRINCIPAL:	23
1.3.1.6. POTENCIÓMETRO (POTBOX):.....	24
1.3.1.7. PLACA ADAPTADORA:.....	24
1.3.1.8. FUSIBLE PRINCIPAL:.....	25
1.3.2. COMPONENTES AUXILIARES.....	25
1.3.2.1. INTERRUPTOR DE SEGURIDAD:	25
1.3.2.2. CONVERTIDOR:.....	26
1.3.2.3. DERIVADOR (SHUNT):.....	26
1.4. SISTEMA DE CONTROL, ALIMENTACIÓN, MEDICIÓN Y PROTECCIÓN.....	27
1.4.1. SISTEMA DE CONTROL.....	27
1.4.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	29
1.4.2.1. CARGA DE LAS BATERÍAS	30
1.4.3. SISTEMA DE MEDICIÓN.....	32
1.4.3.1. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	33
1.4.4. SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	33
1.5. CONCLUSIONES PARCIALES	34

CAPITULO II: ELABORACIÓN DE CÁLCULOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

INTRODUCCIÓN	35
2.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO.	35
2.1.1. FUERZAS AERODINÁMICAS	35
2.1.1.1. FUERZA DE ROZAMIENTO	36
2.1.2. FUERZAS RESISTORAS	36
2.1.2.1. RESISTENCIA HORIZONTAL	37
2.1.2.1.1. RESISTENCIA AERODINÁMICA “RA”	37
2.1.2.1.2. RESISTENCIA A LA RODADURA “RR”	37
2.1.2.2. RESISTENCIA EN UNA RAMPERIOSA	38
2.2. CÁLCULO DE CAPACIDADES DE LOS COMPONENTES	38
2.2.1. CÁLCULO DEL MOTOR	38
2.2.1.1. RELACIÓN DE TRANSMISION	39
2.2.1.2. RADIO DEL NEUMÁTICO	40
2.2.1.3. CÁLCULO DE LA PENDIENTE MÁXIMA	41
2.2.1.4. REVOLUCIONES DEL MOTOR ELÉCTRICO:	44
2.2.1.5. POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO	46
2.2.1.5.1. POTENCIA EN PLANO HORIZONTAL	46
2.2.1.5.2. POTENCIA EN PLANO INCLINADO	48
2.2.2. SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS	49
2.2.2.1. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CARGA DE LAS DE BATERÍAS	50
2.2.3. SELECCIÓN DE LOS CABLES	51
2.3. ESQUEMA ELÉCTRICO DEL VEHÍCULO	52
2.3.1. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DE 12VDC	53
2.3.1.1. ESQUEMA DE LUCES DE POBLACIÓN	53
2.3.1.2. ESQUEMA DE LUCES DE CARRETERA	54
2.3.1.3. ESQUEMA DE LUCES DE FRENO	55
2.3.1.4. ESQUEMA DE LUCES DE POSICIÓN	56
2.3.1.5. ESQUEMA DE LUCES DE INTERMITENCIA Y EMERGENCIA	57
2.3.2. DIAGRAMAS ELECTRICOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA DE 72V	57
2.3.2.1. ESQUEMA DEL CONTROLADOR	58
2.3.2.2. ESQUEMA DEL MOTOR	58
2.3.2.3. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA	59
2.4. CONCLUSIONES PARCIALES	60

CAPITULO III: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

INTRODUCCIÓN	61
3.1. PREPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ORIGINALES DEL VEHÍCULO ..	61
3.1.1. ADECUACIÓN DE LA CARROCERÍA	61
3.1.2. MANTENIMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIOS	62
3.1.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	63
3.1.4. MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE DIRECCIÓN	63
3.1.5. MANTENIMIENTO SISTEMA DE FRENOS	64
3.1.6. MANTENIMIENTO DE SISTEMA ELÉCTRICO	64

3.1.7. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRACCION.....	65
3.2. CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS PARA EL NUEVO SISTEMA DE PROPULSIÓN.....	66
3.2.1. MOTOR ELÉCTRICO.....	66
3.2.2. CONTROLADOR.....	67
3.2.3. POTENCIÓMETRO.....	68
3.2.4. CONTACTOR PRINCIPAL.....	68
3.2.5. BATERÍAS.....	69
3.3. ACOPLA DE LOS COMPONENTES.....	69
3.3.1. CONSTRUCCIÓN DE ACOPLA DE UNION ENTRE CAJA Y MOTOR..	69
3.3.2. MONTAJE DE LA CAJA DE CAMBIOS.....	70
3.3.3. MONTAJE DEL MOTOR Y SUJECIÓN A LA CAJA DE CAMBIOS.....	70
3.3.4. ADAPTACION DEL ALTERNADOR.....	71
3.3.5. SUJECION DEL CONTROLADOR, POTENCIOMETRO Y CONTACTOR PRINCIPAL.....	71
3.4. CONEXIÓN DE TODO EL SISTEMA.....	72
3.5. CONCLUSIONES PARCIALES.....	73

CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, AUTONOMÍA Y VELOCIDADES DEL VEHÍCULO IMPLEMENTADO

INTRODUCCIÓN.....	74
4.1. PUESTA EN MARCHA DEL VEHÍCULO.....	74
4.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	77
4.2.1. PRUEBA DE VELOCIDAD.....	77
4.2.1.1. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD TEÓRICA.....	78
4.2.2. ACELERACIÓN.....	79
4.2.2.1. ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	79
4.2.2.2. ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN	80
4.2.3. PRUEBA DE AUTONOMÍA.....	80
4.2.4. PRUEBA DE ASCENSO.....	82
4.2.5. PRUEBA DE CARGA DEL PAQUETE DE BATERÍAS.....	82
4.2.5.1. COSTO DE LA CARGA.....	83
4.3. COMPARACIÓN DE COSTOS.....	84
4.3.1. COSTO DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	85
4.3.2. COSTO DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN.....	86
4.3.3. CUADROS DE RESULTADOS.....	87
4.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	88
4.5. CONCLUSIONES PARCIALES.....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. FUNCIONAMIENTO MOTOR DC	19
TABLA 2.1. VALORES RELACIÓN DE TRANSMISIÓN CAJA	39
TABLA 2.2. VALORES RELACIÓN DE TRANSMISIÓN TOTAL.....	29
TABLA 2.3. COEFICIENTE RODADURA.....	31
TABLA 2.4. PESO DE COMPONENTES ELÉCTRICOS	43
TABLA 2.6. DATOS CALCULADOS MOTOR ELÉCTRICO.....	48
TABLA 2.7. INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES DE COBRE.....	41
TABLA 4.1. VALORES DE VELOCIDAD OBTENIDA.....	78
TABLA4.2. VALORES DE VELOCIDAD CALCULADA EN BASE A RPM	78
TABLA 4.3. PARÁMETROS COMPARATIVOS.....	87
TABLA 4.4. COSTOS Y GASTOS DE LOS VEHÍCULOS	87
TABLA 4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1. MOTOR ELÉCTRICO.....	14
GRÁFICO 1.2. SISTEMA ELÉCTRICO	16
GRÁFICO 1.3. MOTOR ELÉCTRICO.....	21
GRÁFICO 1.4. BATERÍA.....	22
GRÁFICO 1.5. CARGADOR BATERÍAS	22
GRÁFICO 1.6. CONTROLADOR ELECTRÓNICO	23
GRÁFICO 1.7. RELÉ ELÉCTRICO	23
GRÁFICO 1.8. POTENCIÓMETRO	24
GRÁFICO 1.9. PLACA DE UNIÓN	24
GRÁFICO 1.10. FUSIBLE.....	25
GRÁFICO 1.11. INTERRUPTOR.....	25
GRÁFICO 1.12. CONVERTIDOR DC/DC	26
GRÁFICO 1.13. DERIVADOR.....	26
GRÁFICO 1.14. SISTEMA DE CONTROL DC	27
GRÁFICO 1.15. ALTERNADOR	30
GRÁFICO 1.16. CARGA DE LAS BATERÍAS.....	31
GRÁFICO 1.17.TOMA DE CARGA	31
GRÁFICO 1.18. MEDIDOR	32
GRÁFICO 2.1. DISPOSICION DE ENGRANAJES	39
GRÁFICO 2.2. DENOMINACIÓN DE NEUMÁTICOS	40
GRÁFICO 2.3. DIAGRAMA LUCES DE POBLACIÓN	53
GRÁFICO 2.4. DIAGRAMA LUCES DE CARRETERA	54
GRÁFICO 2.5. DIAGRAMA LUCES DE FRENO	55
GRÁFICO 2.6. DIAGRAMA LUCES DE POSICIÓN.....	56
GRÁFICO 2.7. DIAGRAMA LUCES DE INTERMITENCIA Y EMERGENCIA. 57	
GRÁFICO 2.8. CONSTITUCIÓN ELÉCTRICA DEL CONTROLADOR.....	58
GRÁFICO 2.9. CONEXIÓN INTERNA DEL MOTOR	58
GRÁFICO 2.10. CONEXIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	59
GRÁFICO 3.1. CONTACTOR PRINCIPAL	62
GRÁFICO 3.2. CAJA DE CAMBIOS.....	62
GRÁFICO 3.3. SUSPENSIÓN DELANTERA	63

GRÁFICO 3.4. CREMALLERA	63
GRÁFICO 3.5. MORDAZA Y BOMBÍN DE FRENO.....	64
GRÁFICO 3.6. SISTEMA DE ALUMBRADO	65
GRÁFICO 3.7. SISTEMA DE TRACCIÓN	65
GRÁFICO 3.8. MOTOR ELÉCTRICO	66
GRÁFICO 3.9. DIAGRAMA DE TORQUE.....	67
GRÁFICO 3.10. CONTROLADOR ELECTRÓNICO	67
GRÁFICO 3.11. POTENCIÓMETRO	68
GRÁFICO 3.12. CONTACTOR PRINCIPAL	68
GRÁFICO 3.13. BANCO DE BATERÍAS	69
GRÁFICO 3.14. PIEZAS DE UNIÓN DE LOS EJES.....	70
GRÁFICO 3.15. MONTAJE DE LA CAJA DE CAMBIOS	70
GRÁFICO 3.16. MONTAJE DEL MOTOR Y CAJA	71
GRÁFICO 3.17. POLEA PARA ALTERNADOR	71
GRÁFICO 3.18. SUJECIÓN DE COMPONENTES	71
GRÁFICO 3.19. DIAGRAMA DE CONEXIÓN	72
GRÁFICO 4.1. TRAYECTORIA INICIAL	75
GRÁFICO 4.2. TRAYECTORIA DE RETORNO.....	76
GRÁFICO 4.3. TRAYECTORIA PARA PRUEBA DE VELOCIDAD.....	77
GRÁFICO 4.4. TRAYECTORIA PARA PRUEBA DE AUTONOMÍA.....	81

ÍNDICE DE ANEXOS

LISTA DE KITS ELÉCTRICOS.....	82
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CADA COMPONENTE DEL KIT SELECCIONADO.....	87
FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.....	91

Handwritten signature and date: 230712

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF AN ELECTRIC PROPULSION SYSTEM IN A LIGHT VEHICLE

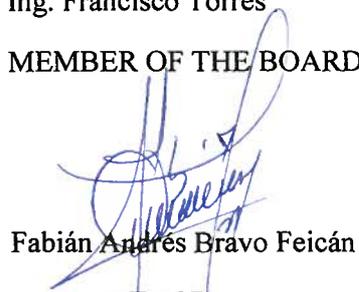
The thesis deals with the implementation of an electric propulsion system in a light vehicle, which originally had an internal combustion engine. After performing the studies and the corresponding analysis of the system, the selection of the components to obtain a vehicle propelled by an electrical engine was determined. The engine's power is regulated through an electric controller. The energy source is made of a bank of six lead-acid batteries, which are recharged by connecting them to 110V AC power specific charger. After the modification of the vehicle was concluded, it worked satisfyingly. The vehicle was safe to operate and circulate around the city without inconveniences. The maximum velocity was 65 km/h with autonomy of 30km. The most important particularity is that this vehicle does not contaminate or generate noise as an internal combustion engine does.

Key Words: Implementation, Electric Engine, Electronic Controller, Batteries, Energy, Autonomy, Contaminate.


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
DATO. IDIOMAS


Ing. Francisco Torres

MEMBER OF THE BOARD


Fabián Andrés Bravo Feicán

AUTHOR


Translated by,
Diana Lee Rodas


Ing. Gil Alvarez

THESIS DIRECTOR


Daniel Andrés Crespo Iñiguez

AUTHOR



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA A UN VEHÍCULO LIVIANO

RESUMEN

La tesis trató sobre la implantación de un sistema de propulsión eléctrica a un vehículo liviano que originalmente poseía un motor de combustión interna. Luego de realizar los estudios y el análisis correspondiente del sistema a implementar, se determinó los componentes y su selección para obtener el vehículo que es impulsado por un motor eléctrico, cuya potencia es regulada por un controlador electrónico y que tiene como fuente de energía un banco conformado por 6 baterías de plomo ácido que se recargan conectándolas a una alimentación de 110V CA, a través de un cargador específico. Concluida la modificación el vehículo funcionó satisfactoriamente, siendo su operación segura para movilizarse dentro de la ciudad sin inconvenientes, alcanzando una velocidad máxima de 65 Km/h con una autonomía de 30 Km. Su particularidad más importante es que no contamina ni genera ruido como lo hace un vehículo con motor de combustión interna.

Palabras Claves.- Implantación, motor eléctrico, controlador electrónico, baterías, energía, autonomía, contamina.



Ing. Francisco Torres

MIEMBRO JUNTA ACADEMICA



Ing. Gil Álvarez

DIRECTOR TESIS



Fabián Andrés Bravo Feicán

AUTOR



Daniel Andrés Crespo Iniguez

AUTOR

Bravo Feicán Fabián Andrés
Crespo Iñiguez Daniel Andrés
Ing. Gil Álvarez Pacheco
Trabajo de Graduación
Agosto del 2012

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA A UN VEHÍCULO LIVIANO

INTRODUCCIÓN

En nuestra sociedad el vehículo ya no solo se considera un lujo sino que en los últimos tiempos se ha convertido en un medio de transporte necesario para desenvolvernó en el entorno que vivimos, muchos se preocupan por qué tan atractivo pueda verse estéticamente, pero muy pocos se interesan por el funcionamiento del mismo y cuanto puede contaminar éste, es por eso que se ve la necesidad de minimizar la concentración de gases contaminantes que afectan a la salud de las personas y al deterioro de los bienes patrimoniales como resultado de la lluvia ácida, implementando un sistema de propulsión eléctrica a un vehículo liviano, de manera que permita obtener beneficios ante el problema planteado.

En este trabajo de graduación inicialmente se realiza un estudio teórico del principio de funcionamiento de los sistemas eléctricos que se implementan para obtener una propulsión eléctrica en el vehículo, para tener todos los conocimientos necesarios de los elementos a utilizar y proceder con la elaboración de los cálculos adecuados para la determinación y la selección apropiada de cada uno de los componentes principales que conforman el vehículo implementado. En el vehículo se determinan los distintos sistemas mecánicos que nos servirán para adecuarlos al sistema de propulsión eléctrica, y así realizar las pruebas necesarias para determinar la eficiencia del proyecto desarrollado, realizando una serie de ensayos para establecer los parámetros de funcionamiento.

CAPITULO I

VEHÍCULO ELÉCTRICO

INTRODUCCIÓN

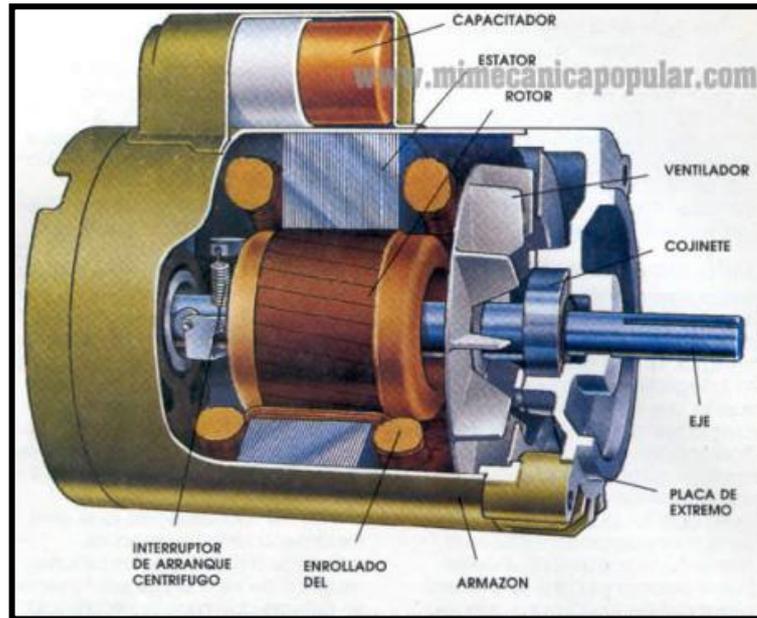
En este capítulo se procederá a realizar un estudio teórico del principio de funcionamiento del sistema de propulsión eléctrica a implementar en nuestro vehículo, así como también analizar las características e investigar el funcionamiento respectivo de cada uno de los componentes que conforman dicho sistema, para que de esta manera poder tener en cuenta todos los conocimientos necesarios de los elementos a utilizar y así realizar los respectivos cálculos para llegar a obtener los parámetros de funcionamiento, y basándonos en estos datos poder conseguir los componentes adecuados que nos permitan alcanzar los resultados proyectados.

1.1.MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas. Al pasar la corriente eléctrica por la bobina ésta se comporta como un imán cuyos polos se rechazan o atraen con el imán que se encuentra en la parte inferior; al dar media vuelta el paso de corriente se interrumpe y la bobina deja de comportarse como imán pero por inercia se sigue moviendo hasta que da otra media vuelta y la corriente pasa nuevamente repitiéndose el ciclo haciendo que el motor rote constantemente.¹

¹ <http://motoreselectricos.wordpress.com>

Gráfico 1.1. Motor Eléctrico
(Fuente: <http://motoreselectricos.wordpress.com/>)



1.1.1. TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS

La principal división de motores obedece al tipo de corriente que los energiza.

- Motores de corriente continua C.C.
- Motores de corriente alterna C.A.

Debido a que una implementación con motor de corriente alterna resulta más costosa y más voluminosa, ya que haciendo una equidad entre un sistema de corriente alterna y uno de corriente continua, en el de corriente alterna para obtener una misma potencia que en una de corriente continua necesitamos un mayor número de baterías para alimentar un motor trifásico de corriente alterna además que necesitaríamos un convertidor DC/AC para la conexión entre baterías y motor por lo que resulta ser más pesada y costosa, es por eso que realizaremos la implementación con un motor de corriente directa que nos será de mayor utilidad para nuestro vehículo liviano.

1.1.2. MOTORES DE CORRIENTE CONTÍNUA

Como su nombre lo indica, un motor eléctrico de corriente continua, funciona con energía proveniente de baterías llamada también corriente directa. En estos motores, el inductor es el estator y el inducido es el rotor. El motor de corriente continua basa su funcionamiento en la reversibilidad de un generador de C.C. (Dínamo). El movimiento de un conductor o espira dentro de un campo magnético genera en él una corriente inducida, cuyo sentido depende del que rija el movimiento de la espira.

Si a un generador de C.C., le aplicamos una fuerza mecánica (Rotatoria), obtendremos energía eléctrica. Si por el contrario la aplicamos al mismo generador una C.C., obtendremos energía mecánica. Los motores de corriente continua se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor. Este tipo de motores deben tener en el rotor y en el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones. Sobre la superficie del colector rozan unas escobillas a presión mediante unos muelles, el espacio libre entre las piezas polares y el inducido se llama entrehierro.²

Un motor DC internamente debe estar conformado por:

- Inductor.
- Inducido.- Al que va arrollado un conductor de cobre formando el arrollamiento.
- Núcleos polares.- Van arrollando en forma de hélice al arrollamiento de excitación.
- Cada núcleo de los polos de conmutación lleva un arrollamiento de conmutación.
- Conmutador o colector.- Está constituido por varias láminas aisladas entre sí.
- El arrollamiento del inducido está unido por conductores con las láminas del colector.

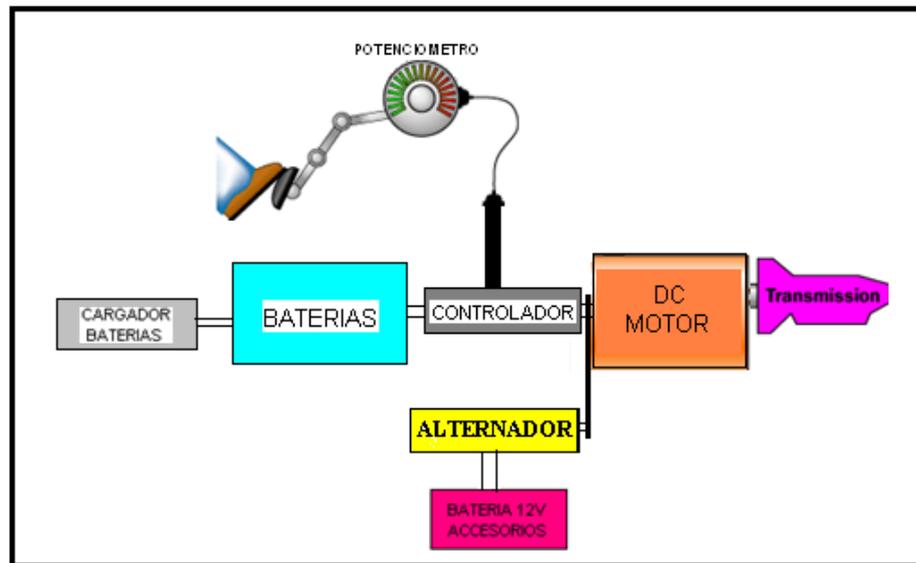
Los motores DC tienen la característica de que pueden extralimitarse en su potencia (hasta un factor de 10 a 1) durante cortos períodos de tiempo. Es decir que si en un corto tiempo se le entrega al motor una potencia 5 veces mayor, el motor nos brindara una potencia 5 veces mayor que la original.

² <http://motoreselectricos.wordpress.com>

1.2.PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

A continuación presentamos un esquema de la disposición del sistema eléctrico y posteriormente su funcionamiento.

Gráfico 1.2. Sistema Eléctrico



La fuente de energía para el vehículo eléctrico son las baterías, las mismas que son recargadas por un cargador específico el cual toma la energía de una fuente de alimentación de corriente alterna que proporcione 110V o 220V, según características del cargador, a su vez, ésta corriente almacenada en las baterías alimenta al motor eléctrico, este paso de corriente va a ser regulada por un “controlador electrónico programable” el mismo que recibe información de un potenciómetro el cual mide la posición del pedal de aceleración para poder dar las variaciones de corriente respectivas y así poder cambiar la velocidad del motor.

Cabe recalcar que para el funcionamiento de los accesorios del vehículo como son: los faros, radio, etc., existe una batería adicional de 12V que alimenta a estos circuitos, la misma que se carga por medio del banco de baterías a través de un transformador DC/DC, o por medio de un alternador.

1.2.1. ELECCIÓN DEL VEHÍCULO

No existe un vehículo específico para la implementación de la propulsión eléctrica, todo depende de la velocidad y autonomía que se desee obtener, pero siempre teniendo la disposición del espacio para el componente más voluminoso que es el banco de baterías. En este caso utilizaremos un vehículo liviano debido a que se empleará un sistema de rendimiento intermedio, es decir un sistema de 72V. El vehículo utilizado es un Fiat modelo Auto Bianchi de aproximadamente 500 kg de peso, puesto que es un vehículo ligero y espacioso el cual nos facilita la ubicación de los componentes del sistema de propulsión.

1.2.2. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Los vehículos eléctricos pueden utilizar motores AC o DC:

- Si el motor es un motor de DC, entonces puede funcionar desde 48 a 120 Voltios. En el mercado encontramos montacargas eléctricos de los cuales podemos conseguir un motor para la implementación, pero estos son más pesados y voluminosos por lo que es más recomendable conseguir un motor de nueva tecnología como los que nos ofrece la marca D&D MOTORS (Americano).
- Si se trata de un motor de AC, entonces se necesitaría un motor de tres fases de 240 voltios AC y para ello se requiere un banco de baterías de 300 voltios y por lo tanto un convertidor AC-DC. Por la fácil transformación de la corriente alterna, se ha constituido en la corriente con más uso en la sociedad moderna. Es por ello que los motores de CA, son los más normales y con el desarrollo tecnológico se ha conseguido un rendimiento altísimo que hace que más del 90 % de los motores instalados sea de CA, el único inconveniente es el costo de implementación.

Para elegir un motor hay que tener en cuenta:

- La carga de trabajo (Potencia).
- La clase de servicio.
- El ciclo de trabajo.
- La regulación de velocidad.
- Las condiciones de la red de alimentación.

1.2.3. BATERÍAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR

Las baterías que se deben usar para la alimentación del motor eléctrico son baterías de CICLO PROFUNDO. En la actualidad, hay sólo unos pocas opciones en baterías de ciclo profundo (baterías que no sufren daños al ser descargadas un 80 %). Una opción son las baterías de PLOMO ÁCIDO CON VALVULA REGULADORA VRLA (Valve Regulated Lead Acid), AGM (Absorbed Glass Mat). Estas se utilizan a menudo en el sistema de respaldo de energía para computadoras y en los sistemas de acumuladores de energía solar o eólica.

Se consideran selladas, por lo que no hay que mantener a punto el nivel de líquido, y se mantienen limpias, porque no hay salida de gases o pérdidas de ácido bajo condiciones normales de carga. Son capaces de ofrecer altas corrientes sin defecto. Resultan ser un poco más caras, y requieren sistemas de control de carga. La desventaja es que pueden tener una vida útil más corta que las de electrolito líquido. Otra opción son las baterías de gel. Se trata de baterías de plomo-ácido con el electrolito en un formato gel. Son muy eficaces puesto que nos brindan altas corrientes y una larga vida útil pero su precio es muy elevado. Una tercera opción es la de Electrolito líquido, estas son usadas en marina. Son las menos costosas de todas, pero requieren control periódico del nivel de electrolito y la colocación de agua destilada, además que son más voluminosas que las anteriormente mencionadas.³

³ VALBUENA R, Oscar, **Manual de Mantenimiento y Reparación de Vehículos T. 4. Segunda Edición, Bogotá, 2008, página 243.**

1.2.4. CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS

Esto depende de muchos factores, como el terreno, la velocidad de circulación, temperatura, el estilo de conducción y, por supuesto, el diseño del vehículo. En nuestro caso como vamos a implementar un sistema de rendimiento intermedio, utilizaremos unas baterías con una capacidad de aproximadamente 100 Ah, para poder conseguir una autonomía de 30 km.

1.2.5. POTENCIA DE ACCIONAMIENTO

La potencia está definida en dos factores: La fuerza en kg y la velocidad en metros por segundo.

$$\text{Potencia} = F * V = \text{kg} * \text{m/s} = \text{J/s} = \text{W}$$

$$1 \text{ kW} = 1,341 \text{ hp}$$

El par del motor es una magnitud decisiva hasta el punto de determinar las dimensiones de un motor. Motores de igual par tienen aproximadamente las mismas dimensiones aunque tengan diferentes velocidades. En el arranque de un motor, es decir, en el intervalo de tiempo que pasa de la velocidad 0 a la nominal, el par toma distintos valores independientemente de la carga.

Tabla 1.1. Funcionamiento Motor DC
(Fuente: IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica de Madrid, página 258)

RPM	TORQUE	TORQUE	VOLTAJE	INTENSIDAD	POTENCIA	EFICIENCIA
	(lb.pie)	(Nm)	(V)	(Amperios)	(hp)	(%)
1616	79,96	108,2	55,3	493,2	37,22	66,1
1742	70	94,72	58	435,7	33,9	68,5
1896	59,99	81,17	59,7	382,1	30,5	70,8
2083	50,03	67,69	61,8	323,3	26,76	74,1

2292	39,99	54,13	63,5	268,8	22,87	76,3
2579	30	40,59	65,4	211,6	18,55	79,4
2765	25	33,82	66,5	132,3	16,25	81
2987	19,99	27,05	67,4	152,3	13,76	82,8
3286	14,97	20,26	68,4	123,5	11,33	82,7
3534	11,96	16,18	69,1	105,2	9,74	82,7
3758	10,02	13,56	69,5	92,8	8,55	82,9
4017	8,01	10,84	70	79,2	7,43	82,4
435	5,99	8,11	70,4	65,8	6,2	80,6
4944	3,97	5,37	70,9	51,3	4,87	76,7
5197	3,08	4,17	70,9	46,6	4,43	68,6
5686	1,99	2,69	71,2	40	3,62	56,4

1.2.6. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO

Un vehículo eléctrico puede ser diseñado para alcanzar una aceleración mucho mayor que la de los vehículos a gasolina, mientras que en otros casos puede ser más lenta, todo depende de la potencia del banco de baterías y del tipo de tecnología que tengan las mismas, en nuestro caso al tener una potencia de 7,5 kW aproximadamente obtendremos una aceleración de $0,87 \text{ m/s}^2$ en 21.44 segundos y una velocidad de 60 km/h.

Hay que tener en cuenta que en este tipo de implementaciones las baterías no se pueden recargar al conducir, puesto que agregar generadores para recargar baterías tipo molino de viento, solo producirá una resistencia en el movimiento del vehículo y consumirá más energía de la que genere. Lo mismo con generadores enganchados a las ruedas, que solo podrán aprovecharse en las bajadas pero no resultan ser tan eficientes como para implementarlo. El método comprobado que si funciona, sería mediante un sistema regenerativo a partir del propio motor eléctrico aprovechando las pendientes.

1.3.COMONENTES UTILIZADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN

A continuación presentamos la descripción de cada uno de los elementos, tanto principales como auxiliares, que conforman el sistema de propulsión, ya que en el mercado existen una serie de elementos que los podemos utilizar pero describiremos los más adecuados para nuestro caso.

1.3.1. COMPONENTES PRINCIPALES

Los elementos principales que conforman el sistema son aquellos que imprescindiblemente deben incluirse en la implementación, ya que el vehículo no podría funcionar si uno de estos faltara y estos son:

1.3.1.1.MOTOR ELÉCTRICO:

El motor empleado en un vehículo liviano es un motor en serie de 72V de corriente continua, su función principal es la de dar propulsión al vehículo tomando energía de la fuente de baterías. Las dimensiones y el peso pueden variar según las características del motor.

Gráfico 1.3. Motor Eléctrico
(Fuente: http://www.evdrives.com/dd_motors_ES-15C-6.html)



1.3.1.2.BATERÍAS:

Las baterías empleadas son baterías de tecnología de CICLO PROFUNDO, su función es la de alimentar el motor eléctrico y en algunos casos cargar a la batería de 12V de los accesorios, su capacidad viene dada en Amperios/hora de donde se puede calcular la autonomía del vehículo; en este caso un banco de baterías de un vehículo liviano incluye 6 baterías de 12V.

Gráfico 1.4. Batería
(Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



1.3.1.3.CARGADOR DE BATERÍAS:

Su función es la de cargar el banco de baterías, su promedio de carga es de 10 horas aproximadamente dependiendo del voltaje del banco de baterías y de los Amperios/hora de cada batería. Este cargador posee características específicas, es decir, trabaja con un solo voltaje de carga dependiendo el valor de la tensión del banco de baterías que se va a utilizar, puede ser un cargador de 110V de AC a 72V.

Gráfico 1.5. Cargador Baterías
(Fuente: <http://www.cloudelectric.com/product-p/bc-f7210-110vac.htm>)



1.3.1.4.CONTROLADOR ELECTRÓNICO:

El controlador regula la frecuencia de la electricidad que llega al motor. Se trata de un dispositivo electrónico que utiliza un modulador de ancho de pulso (PWM). Pues envía impulsos de corta duración al motor a una frecuencia de 15 kHz. Los controladores específicos para este funcionamiento son Curtis y Alltrax, los mismos que son programables de acuerdo a las características de voltaje y corriente utilizada por el motor eléctrico.

Gráfico 1.6. Controlador Electrónico
(Fuente: http://www.evdrives.com/alltrax_axe7245.html)



1.3.1.5.CONTACTOR PRINCIPAL:

Es un relé eléctrico que tiene la misma función que el interruptor de contacto en un vehículo. Cuando la llave está a la posición de encendido, el contactor cierra el circuito para permitir el paso de corriente al controlador y el motor.

Gráfico 1.7. Relé Eléctrico
(Fuente: http://www.evdrives.com/contactors_SW200.html)



1.3.1.6.POTENCIÓMETRO (POTBOX):

El potbox es un potenciómetro de 5 k Ω conectado al controlador y accionado por el acelerador de pie. El potbox tiene una palanca conectada al acelerador por cable para que según el nivel de aceleración se pueda variar la resistencia en el potbox y esta sea analizada por el controlador para su respectivo funcionamiento.

Gráfico 1.8. Potenciómetro

(Fuente: w http://www.evdrives.com/throttles_PB-6.html)



1.3.1.7.PLACA ADAPTADORA:

Permite la unión entre el motor y la caja de cambios. Su construcción puede ser de aluminio o hierro con un espesor de 1/2 pulgada y tiene las perforaciones para atornillar el motor y la caja de cambios.

Gráfico 1.9. Placa de Unión



1.3.1.8.FUSIBLE PRINCIPAL:

El fusible general protege el sistema de picos de alta intensidad eléctrica. El fusible debe ser instalado a la salida o a la entrada del grupo de baterías y de fácil acceso para su remplazo.

Gráfico 1.10. Fusible

(Fuente: <http://www.evdrives.com/accessories.html#Fuse>)



1.3.2. COMPONENTES AUXILIARES

A continuación se presenta una lista de los componentes auxiliares los mismos que son opcionales ya que el sistema puede funcionar sin la incorporación de estos elementos, pero al mismo tiempo son recomendables ya que le permiten al conductor tener un control del sistema directamente desde su puesto de manejo.

1.3.2.1.INTERRUPTOR DE SEGURIDAD:

Su función es desconectar el circuito durante una emergencia. Este dispositivo va conectado al contactor principal que es el que comanda el circuito de alta tensión (72V), este interruptor va ubicado en el tablero del vehículo para su rápido accionamiento.

Gráfico 1.11. Interruptor

(Fuente: http://www.evdrives.com/forward_reverse_switches.html)



1.3.2.2.CONVERTIDOR:

Para contar con la alimentación o carga de la batería de accesorios de 12V se puede emplear un convertidor de 72V a 12V que cargue dicha batería tomando la energía del banco de baterías o se puede utilizar un alternador conectado al eje del motor por medio de una banda y poleas para cargar la batería.

Gráfico 1.12. Convertidor DC/DC
(Fuente: http://www.evdrives.com/dc-dc_overview.html)



1.3.2.3.DERIVADOR (SHUNT):

Para poder monitorear desde el tablero del vehículo el consumo de corriente absorbido por el motor en las distintas fases de trabajo, se puede emplear esta derivación conectada en serie dentro de la instalación eléctrica de manera que se pueda colocar un Amperímetro para dicha información.⁴

Gráfico 1.13. Derivador
(Fuente: <http://www.cloudelectric.com/product-p/sh-mkc-50-600.htm>)



⁴ www.evdrives.com

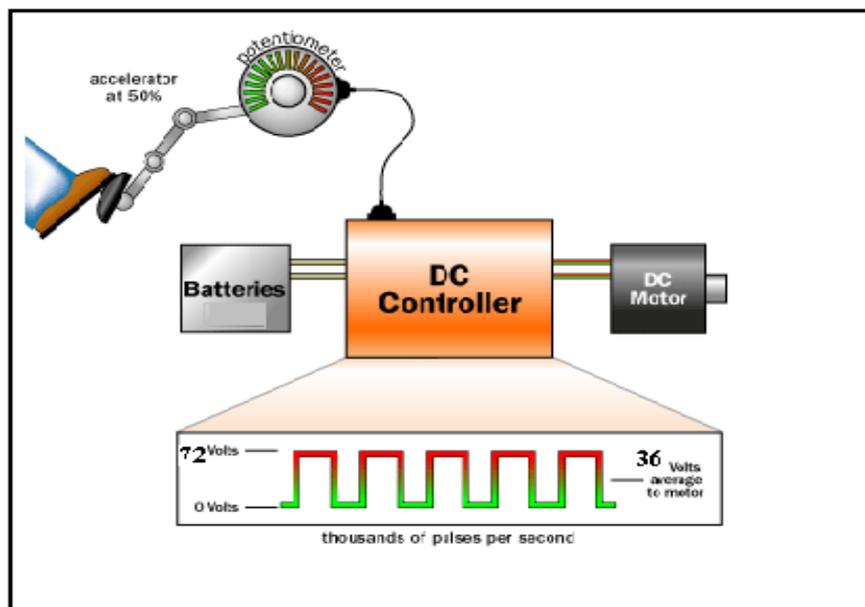
1.4.SISTEMA DE CONTROL, ALIMENTACIÓN, MEDICIÓN Y PROTECCIÓN.

1.4.1. SISTEMA DE CONTROL

El sistema principal del vehículo eléctrico es la propulsión, razón por la cual es necesario disponer de un sistema de control, el mismo que se lo hace a través de un controlador electrónico que permita comandar el sistema de aceleración y desaceleración del vehículo.

La función del controlador es regular las variaciones de corriente de las baterías al motor. El acelerador se conecta a un potenciómetro "Potbox", este potenciómetro proporciona la señal que le indica al controlador las variaciones de corriente que se deben generar para conseguir la potencia y velocidad requerida por el conductor. El controlador puede entregar: cero voltios (cuando el vehículo está parado), toda la tensión (cuando el conductor pisa el pedal del acelerador), o cualquier nivel de potencia intermedio.

Gráfico 1.14. Sistema de Control DC
(Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



Para entender el funcionamiento del sistema de control tenemos el siguiente ejemplo, suponiendo que se trata de un banco de baterías de 72V. Si el conductor pisa el pedal del acelerador, el controlador entrega los 72 voltios de las baterías al motor. Si el conductor quita su pie del acelerador, el controlador entrega cero voltios al motor. Para cualquier punto intermedio, el controlador a través del PWM (variación del ancho de pulso), varía el ciclo útil de entrega de energía dentro del periodo de funcionamiento.

Un controlador DC muy simple sería un gran interruptor de ON/OFF conectado con un cable al pedal del acelerador. Cuando se pisa el pedal, a su vez el interruptor se enciende, y cuando se suelta el pedal, se apaga. De esta manera el conductor tendría que presionar y soltar el acelerador para que el motor se encienda y se apague y así mantener una determinada velocidad.

Digamos que se tiene el acelerador pisado hasta la mitad. El controlador recibe una señal analógica que proviene del potenciómetro y la convierte en señal digital para poder interpretarla y así conocer la posición que esta el pedal de aceleración y de esta manera variar el ancho de pulso para poder regular la velocidad del motor, es decir dentro de cada periodo de funcionamiento se mantendrá energizado al motor la mitad del tiempo y la otra mitad apagado y hace que el motor esté la mitad del tiempo apagado y la mitad de tiempo encendido con unas interrupciones de corriente de miles de veces por segundo. Si se tiene el pedal del acelerador pisado un 25%, el controlador mantiene el motor encendido el 25% del tiempo y apagado el otro 75% del tiempo.

La mayoría de los controladores impulsan energía más de 15 000 veces por segundo con el fin de mantener las pulsaciones fuera del alcance del oído humano. Los pulsos de corriente hacen que la carcasa del motor vibre a esa frecuencia, de modo que a una pulsación de más de 15 000 ciclos por segundo, el controlador y el motor son prácticamente inaudibles a los oídos humanos.

1.4.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El componente más sensible en cualquier vehículo eléctrico son las baterías. Existen al menos seis problemas importantes con la tecnología actual de baterías de plomo:

- Son pesadas.
- Son voluminosas.
- Son costosas.
- Tienen una capacidad limitada (autonomía aproximada de sólo 30-60km).
- Son lentas de cargar (entre 8 a 12 horas).
- Tienen una vida corta (de 3 a 4 años, unos 2 000 ciclos de plena carga / descarga).

Es por eso que para un futuro la mejor innovación serán las pilas de combustible. En comparación con las baterías, las pilas de combustible son más pequeñas, mucho más ligeras y recargables al instante. Alimentadas por hidrógeno puro, las pilas de combustible no tienen ninguno de los problemas ambientales asociados con la gasolina. Las baterías más convenientes en nuestro medio desde el punto de vista económico y por la facilidad de conseguirlas son de plomo ácido de ELECTROLITO LIQUIDO.

En el vehículo implementado existe una batería adicional de 12V y 45Ah aproximadamente, como la que se incorpora en todos los vehículos. Los 12 voltios de esta batería proporcionan energía para los accesorios como: luces, radio, ventiladores, ordenador, limpiaparabrisas, y los instrumentos del interior del vehículo. Dado que todos estos dispositivos están diseñados para ser alimentados con una tensión de 12 voltios, es lógico mantener esta fuente de alimentación. Como se mencionó anteriormente esta batería puede ser cargada por un convertidor o como en nuestro caso por un alternador conectado al eje del motor.

Gráfico 1.15. Alternador



1.4.2.1.CARGA DE LAS BATERÍAS

El sistema de carga tiene dos objetivos:

- Reponer la carga de las baterías en el menor tiempo posible.
- Controlar la velocidad de carga para evitar daños por efecto de sobrecarga.

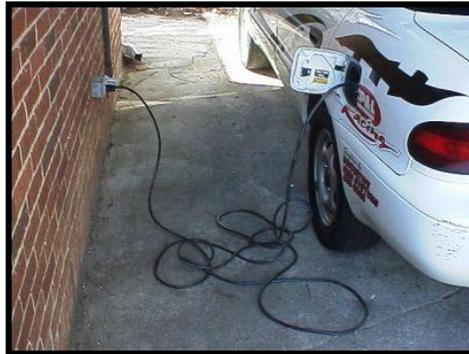
Cuando las baterías de plomo se encuentran en un bajo estado de carga, casi la totalidad de la corriente de carga es absorbida por la reacción química. Una vez que el estado de carga alcanza un cierto punto, alrededor del 80% de capacidad, debido al mayor flujo de electrones se da la electrólisis del agua generándose mayor calor, por lo que los electrolitos burbujan a lo que llamamos "ebullición". Para que el sistema de carga pueda reducir al mínimo la ebullición, la corriente de carga debe acortarse en el último 20% del proceso de carga.

Los cargadores menos sofisticados sólo pueden supervisar el voltaje o el Amperaje y hacer algunas suposiciones acerca de las características de la batería. Un cargador de este tipo podría aplicar la máxima corriente a las baterías por encima del 80% de su capacidad y, a continuación, cortar la corriente y volver a los niveles preestablecidos para cargar el 20% final, para evitar así un sobrecalentamiento de las baterías.⁵

⁵ VALBUENA R, Oscar, *Manual de Mantenimiento y Reparación de Vehículos T. 4. Segunda Edición, Bogotá, 2008, página 242.*

Los más sofisticados sistemas de carga controlan el voltaje de la batería, la corriente y la temperatura en la batería para reducir al mínimo tiempo de carga. El cargador envía tanta corriente como pueda sin aumentar mucho la temperatura de la batería.

Gráfico 1.16. Carga de las baterías
(Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



Hay que tener en cuenta que si se realiza la carga de las baterías con una alimentación a 110V tenemos la ventaja de que en cualquier vivienda se pueda encontrar un tomacorriente en donde recargar el paquete de baterías, la desventaja es el tiempo de carga, sobreentendiéndose que si se utiliza una alimentación de 220V el tiempo de carga disminuye parcialmente. Para la ubicación del tomacorriente de alimentación, se puede sustituir éste por el tapón de llenado del tanque de gasolina, en donde, por medio de una extensión se lo enchufa a la pared para que se inicie el proceso de carga.

Gráfico 1.17. Toma de carga
(Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



1.4.3. SISTEMA DE MEDICIÓN

Como cualquier sistema, un Vehículo Eléctrico - VE debe ser capaz de proveer información al conductor. Esta información debe ser lo más precisa, rápida y confiable que se pueda lograr.

Gráfico 1.18. Medidor

(Fuente: http://www.electricmotorsport.com/store/ems_ev_parts_gauges_cycleanalyst_hc.php)



El primer paso es el de elegir las variables, es decir, la información que se quiere obtener. A continuación, se explicarán todas éstas que pensamos son importantes de incluir en el vehículo:

Velocidad: Es una de las variables más importantes para el conductor. El objetivo de ésta es simplemente entregar la rapidez del desplazamiento del vehículo.

Tensión del banco de Baterías: Su función es la de dar a conocer la cantidad de energía disponible en el banco de baterías del vehículo mediante la medición de la tensión. Haciendo una semejanza con un automóvil convencional, esta medida correspondería al nivel del tanque de combustible.

Corriente: Tener una buena medición de ésta nos permitirá conocer la eficiencia del vehículo, ya que, a menor corriente existe un menor esfuerzo tanto del motor como del controlador.

Temperatura en el Motor: Esta medida tiene un carácter de seguridad, ya que, cuando un motor sobrepasa una cierta temperatura pierde efectividad, vida útil y hasta se puede dañar gravemente. Luego saber si ésta excede a ese valor extremo es indispensable.

1.4.3.1. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Luego de conocer las variables de interés dentro del vehículo, a continuación tenemos una lista de los instrumentos de medición que nos permitan expresar la información requerida.

Velocímetro: Su función es la de medir la velocidad del automóvil. Para nuestro caso se empleó el mismo sistema original que viene incorporado en el vehículo, es decir, piñón velocímetro, cable, y tacómetro analógico.

Voltímetro: Este instrumento mide la tensión existente en el banco de baterías. Para aquello debe ser conectado en paralelo.

Amperímetro: La función de éste es medir el flujo de corriente entre los puntos en que sea conectado. Usualmente se puede conectar entre las baterías y el controlador o entre el controlador y el motor.

Sensores de Temperatura: Se encontrarán ubicados en la cercanía del motor, y su misión es la de medir la temperatura de éste.

1.4.4. SISTEMA DE PROTECCIÓN

Existen varios elementos necesarios para el buen funcionamiento de un sistema de protección. La idea de éstos, es que bajo ciertas circunstancias sean capaces de reaccionar en forma rápida y segura, evitando posibles daños en elementos vitales del vehículo. A continuación se explicarán algunos de los elementos que se pueden usar en el vehículo.

Interruptor ON/OFF: Es un sistema de protección que tiene como función apagar la energía que activa el contactor principal cuando es necesario un mantenimiento o durante una emergencia. Este interruptor va colocado en el tablero del vehículo para el rápido accionamiento por parte del conductor, este interruptor activa o desactiva el contactor principal que comanda la alta tensión.

Contactador: Tiene la misma finalidad que un relé, es decir, que cuando el conductor acciona el interruptor de On/Off, éste deja pasar una corriente de bajo Amperaje hacia una bobina incorporada en el contactador, el campo magnético que se genera en esta bobina conecta los dos terminales de alta tensión que posee este contactador, de manera que permita la circulación de corriente que va de las baterías hacia el motor.

Además tienen la habilidad de manejar voltajes y cargas de alto nivel. Se recomienda el uso de contactores especialmente diseñados para vehículos eléctricos, ya que, soportan repetidas secuencias de apertura y cerrado sin mucho desgaste. Además están provistos con un sistema de “apagado de chispa” magnético para prevenir un arco entre los contactos.

Fusible: Este sirve como respaldo del sistema de protección. Debe ir colocado en el banco de baterías, éstos los fusibles si actúan se destruyen, por lo tanto, deben ser reemplazados.⁶

1.5.CONCLUSIONES PARCIALES

Una vez estudiado el principio de funcionamiento y los elementos necesarios para la implementación de la propulsión eléctrica en el vehículo liviano, se tiene muy claro los conocimientos necesarios para poder realizar los cálculos respectivos para llevar a cabo dicho proyecto y cumplir con los objetivos planteados, de tal manera que también se pueda resolver cualquier tipo de inconveniente que se presente durante el desarrollo. Es necesario saber identificar las posibles averías, causas y soluciones para tener un criterio lógico en el mantenimiento o reparación de cualquier componente que conforma el sistema.

⁶VALBUENA R, Oscar, *Manual de Mantenimiento y Reparación de Vehículos T. 4. Segunda Edición, Bogotá, 2008, página 235.*

CAPITULO II

ELABORACIÓN DE CÁLCULOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como finalidad la elaboración de los cálculos necesarios para la determinación y la selección adecuada de cada uno de los componentes principales como son: el motor eléctrico de corriente continua, las baterías, los cables. Los datos técnicos del fabricante respecto al vehículo como: peso, dimensiones, etc. serán de mucha importancia para poder realizar los cálculos ya que se pretende alcanzar un nivel de servicio similar al que tenía el vehículo con motor de combustión, y debido a que el vehículo al momento de su adquisición no poseía el motor de combustión interna no se podía realizar ningún tipo de pruebas iniciales.

2.1.FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO.

Para proceder con los cálculos respectivos, se debe realizar un estudio previo de los factores que afectan en el movimiento del vehículo, siendo éstos las fuerzas aerodinámicas y fuerzas resisoras.⁷

2.1.1. FUERZAS AERODINÁMICAS

Cuando el vehículo en movimiento entra en contacto con el aire, las moléculas de aire al estar próximas a la superficie del vehículo comienzan a moverse alrededor del

⁷ IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica Madrid.

vehículo, produciéndose un desplazamiento de dichas moléculas; de esta manera se genera una distribución de velocidad de los diferentes puntos de la atmosfera que esta circundante al vehículo, de tal manera que las moléculas permanecen en contacto en todos los puntos de la superficie del vehículo, siendo todos estos puntos el “punto de contacto” de las fuerzas aerodinámicas entre el vehículo y el aire.

Las propiedades fundamentales del aire a tener en cuenta son: su viscosidad y su densidad. Y en el caso del vehículo se debe considerar la rugosidad de la superficie, el área en contacto con el aire y la velocidad relativa entre éste y el aire. De esta manera se puede traducir que en cada punto de contacto van a estar presentes: una FUEZA DE PRESION, normal a la superficie del cuerpo debido a la velocidad relativa entre ambos, y una FUERZA DE ROZAMIENTO, tangente a la superficie del vehículo debida a la viscosidad del aire.

2.1.1.1.FUERZA DE ROZAMIENTO

Conocida también como fuerza de fricción entre dos superficies en contacto, que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra, o que se opone al inicio del movimiento. De aquí obtenemos los dos tipos de rozamiento existentes:

El ESTATICO que es la resistencia la cual se debe superar para poner en movimiento el vehículo con respecto al cuerpo que se encuentra en contacto, y el DINAMICO que es una fuerza de magnitud constante que se opone al movimiento una vez que éste ya comenzó; es decir, el rozamiento estático actúa cuando los cuerpos están en reposo, y el dinámico cuando están en movimiento.

2.1.2. FUERZAS RESISTORAS

Cuando el vehículo está en movimiento se presentan fuerzas resisoras que se oponen al movimiento, las mismas que se pueden calcular en un plano horizontal y en plano inclinado:

2.1.2.1.RESISTENCIA HORIZONTAL

Un vehículo al deslizarse por una superficie horizontal tiene los siguientes esfuerzos resistores:

2.1.2.1.1. RESISTENCIA AERODINÁMICA “Ra”

La resistencia aerodinámica es la componente de la fuerza que sufre el vehículo al moverse a través del aire en dirección de la velocidad relativa aire-vehículo.

$$\mathbf{Ra} = (0.5)(\rho)(Af)(\mu_a)(v^2)$$

En donde:

ρ = Densidad del aire.

Af = Área frontal del vehículo.

μ_a = Coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.

v = velocidad del vehículo.

2.1.2.1.2. RESISTENCIA A LA RODADURA “Rr”

La resistencia a la rodadura se presenta cuando un cuerpo rueda sobre una superficie. En la resistencia a la rodadura no existe resbalamiento entre la rueda y la superficie sobre la que rueda, disminuyendo la resistencia al movimiento.

$$\mathbf{Rr} = \mathbf{Rrd} + \mathbf{Rrt}$$

$$\mathbf{Rr} = \mu_r * \mathbf{W}$$

En donde:

Rrd / Rrt = Resistencia a la rodadura del eje delantero/posterior.

μ_r = Coeficiente de rodadura

W = peso del vehículo.

2.1.2.2.RESISTENCIA EN UNA RAMPA

Este cálculo nos permite encontrar el par máximo del motor, ya que en caso de una rampa es cuando el motor necesita el máximo par momento, puesto que además de vencer las fuerzas antes estudiadas debe vencer la fuerza ejercida por la inercia, la cual está dada por $(\frac{w}{g} * a)$, obteniendo una resistencia total de:⁸

$$R_t = W * \text{Sen}\theta + W * \text{Cos}\theta * f_r + \frac{w}{g} * a$$

$$M_{max} = \frac{R_t * r_c}{i * n}$$

En donde:

R_t = Resistencia total.

r_c = Radio bajo la carga.

i = Relación de transmisión.

n = Eficiencia de la relación de transmisión.

2.2.CÁLCULO DE CAPACIDADES DE LOS COMPONENTES

Una vez estudiado los factores que intervienen en el movimiento del vehículo, procedemos con la elaboración de cálculos para determinar los datos técnicos de cada uno de los componentes principales del sistema eléctrico.

2.2.1. CÁLCULO DEL MOTOR

Para poder obtener los datos técnicos del motor como son: par máximo, revoluciones mínimas y máximas, la potencia, realizamos los siguientes cálculos:

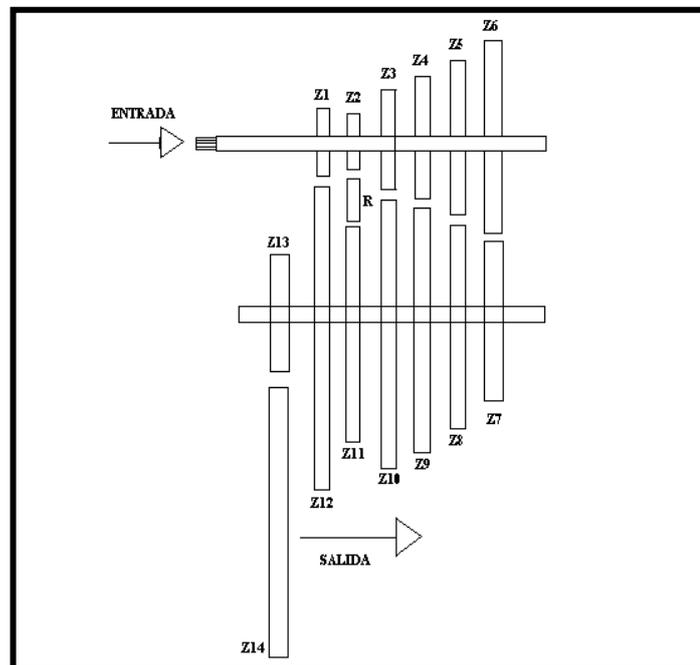
⁸ IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica Madrid. 554 págs.

2.2.1.1.RELACIÓN DE TRANSMISION

Como sabemos la finalidad de la caja de cambios es ir modificando la velocidad de giro que sale del motor de acuerdo a los requerimientos del conductor.

Disposición de los engranajes:

Gráfico 2.1. Disposición de Engranajes



Relación de transmisión de la caja “ i_c ”

$$i_c = \frac{\text{Número de dientes conducido}}{\text{Número de dientes conductor}}$$

Tabla 2.1. Valores Relación de Transmisión Caja

CAMBIO	i_{caja}
Primera	3,9
Segunda	2,05
Tercera	1,34
Cuarta	0,96
Quinta	0,84
Retro	3,5

Relación de transmisión grupo diferencial “ i_d ”

$$i_d = \frac{\text{Número de dientes corona}}{\text{Número de dientes piñón cónico}} = \frac{58}{13} = 4,46$$

Relación de transmisión total “ i_t ”

$$i_t = i_c * i_d$$

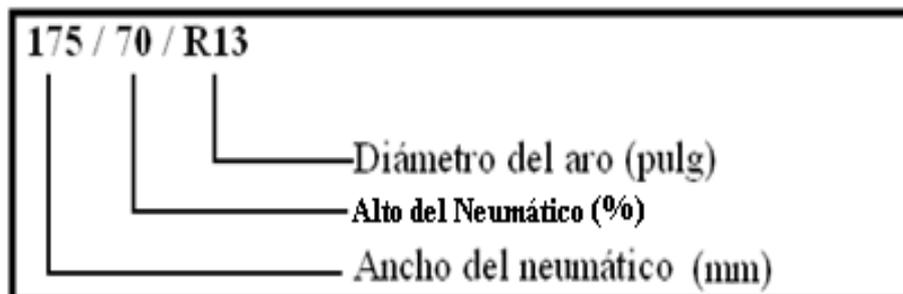
Tabla 2.2. Valores Relación de Transmisión Total

CAMBIO	i_{caja}	i_{total}
Primera	3,9	17,394
Segunda	2,05	9,143
Tercera	1,34	5,9764
Cuarta	0,96	4,2816
Quinta	0,84	3,7464
Retro	3,5	15,61

2.2.1.2.RADIO DEL NEUMÁTICO

A continuación procedemos a calcular el radio del neumático que posee nuestro vehículo, dato que nos servirá para obtener el radio bajo la carga.

Gráfico 2.2. Denominación de Neumáticos
 (Fuente: IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica de Madrid, página 27)



Tener en cuenta que el valor del alto del neumático es el equivalente al porcentaje del ancho de la rueda.

$$r = (0.5 * \text{diámetro del aro} * 25.4) + (\text{valor\%} * \text{ancho neumático})$$

$$r = (0.5 * 13 * 25.4) + (70\% * 175)$$

$$\mathbf{r = 0,2876m}$$

Radio bajo la carga “rc”

$$r_c = r (1 - i)$$

En donde “i” = Factor de deslizamiento pista – neumático $\approx 3\%$ para turismos.

$$r_c = 0.2876 (1 - 0.03)$$

$$\mathbf{r_c = 0,279m}$$

2.2.1.3.CÁLCULO DE LA PENDIENTE MÁXIMA

Para poder determinar el ángulo de la mayor pendiente en la que puede arrancar el vehículo Fiat Auto Bianchi con motor a gasolina se debe conocer dos datos técnicos importantes del vehículo:

Par momento = 90 Nm a 3 200 rpm.

$$\text{Peso del vehículo} = 670 \text{ kg} + 130 \text{ kg}_{(2 \text{ personas})} = 800 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del vehículo} = 800 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7\,848 \text{ N.}$$

Una vez conocido estos datos se procede con el cálculo respectivo del valor del ángulo de la mayor pendiente en la que puede arrancar el vehículo. Cabe recalcar que el cálculo se realiza con la relación de transmisión resultante de la primera marcha puesto que es ahí cuando más torque se da a las ruedas, y se toma un coeficiente de rodadura según la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Coeficiente Rodadura
(Fuente: IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica de Madrid, página 46)

TIPO VEHICULO	SUPERFICIE		
	HORMIGON / ASFALTO	DUREZA MEDIA	ARENA
Turismos	0,015	0,08	0,3
Camiones	0,012	0,06	0,25
Tractores	0,02	0,04	0,2

$i_t =$ En primera marcha = 17,394

$a = 0.5$ m/s (valor asumido)

$n =$ (eficiencia relación transmisión turismos) = 0,85

$\mu_r =$ (coeficiente rodadura) = 0,015

Resistencia total del vehículo con motor de combustión interna:

$$R_t = \frac{i_{t1} * M_{max} * n}{r_c}$$

$$R_t = \frac{17.394 * 90 * 0.85}{0.279}$$

$$R_t = 4\ 769,32\ N$$

Una vez determinada la resistencia total, encontramos el valor del ángulo:

$$R_t = W * \text{Sen}\theta + W * \text{Cos}\theta * \mu_r + \frac{W}{g} * a$$

$$R_t = W \left(\text{Sen}\theta + \text{Cos}\theta * \mu_r + \frac{a}{g} \right)$$

$$\frac{R_t}{W} = \text{Sen}\theta + \text{Cos}\theta * \mu_r + \frac{a}{g}$$

$$\frac{4769.32}{7848} - \frac{0.5}{9.81} = \text{Sen}\theta + \text{Cos}\theta * 0.015$$

$$(\text{Cos}\theta = \sqrt{1 - \text{Sen}^2 \theta})$$

$$0.557 = \text{Sen}\theta + 0.015 \sqrt{1 - \text{Sen}^2 \theta}$$

$$(0.557 - \text{Sen}\theta)^2 = (0.015 \sqrt{1 - \text{Sen}^2 \theta})^2$$

$$0.310 - 1.114 \text{ Sen}\theta + \text{Sen}^2 \theta = 2.25 \text{ E-4} (1 - \text{Sen}^2 \theta)$$

$$0.310 - 1.114 \text{ Sen}\theta + \text{Sen}^2 \theta = (2.25 \text{ E-4}) - (2.25 \text{ E-4} \text{ Sen}^2 \theta)$$

$$1.000225 \text{ Sen}^2 \theta - 1.114 \text{ Sen}\theta + 0.3097 = 0$$

$$\text{Sen}\theta = \frac{1.114 \pm \sqrt{(1.114)^2 - 4(1.000225*0.3097)}}{2*1.000225}$$

$$\text{Sen}\theta = 0.5788$$

$$\theta = 35,36^\circ$$

Entonces tenemos que la mayor rampa que puede ascender el vehículo Fiat Auto Bianchi con motor de gasolina, es una pendiente con un ángulo de inclinación máximo de 35.36°.

Una vez determinado el valor del ángulo se toma el mismo valor para el motor de gasolina para poder obtener igual eficiencia, con este dato procedemos a encontrar el par momento mínimo que se requiere en el motor eléctrico, para ello primero determinamos el peso del vehículo con motor eléctrico.

Tabla 2.4. Peso de Componentes Eléctricos

ELEMENTOS	PESO (kg)
Caja Cambios	23
pasajeros (2)	130
Motor Eléctrico	28
Baterías (6)	162
Accesorios/Acoples	15
Carrocería	500
Total	858

$$W \text{ eléctrico} = 858 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 8417 \text{ N}$$

Resistencia total del vehículo con motor eléctrico:

$$R_t = W \cdot \text{Sen}\theta + W \cdot \text{Cos}\theta \cdot \mu_r + \frac{W}{g} \cdot a$$

$$R_t = 8\,417 \cdot \text{Sen}35.36 + 8\,417 \cdot \text{Cos}35.36 \cdot 0.015 + (8\,417/9.81) \cdot 0.5$$

$$R_t = 5\,403 \text{ N}$$

Una vez determinada la resistencia total del vehículo eléctrico, procedemos a encontrar el par máximo que necesitamos que posea el motor de corriente continua:

$$M_{\max} = \frac{R_t \cdot r_c}{i_{t1} \cdot n}$$

$$M_{\max} = \frac{5\,403 \cdot 0.279}{17,394 \cdot 0.85}$$

$$M_{\max} = 101,96 \text{ Nm}$$

El motor eléctrico DC que necesitamos debe tener un torque mínimo de 100 Nm

2.2.1.4. REVOLUCIONES DEL MOTOR ELÉCTRICO:

Para establecer las revoluciones que debe proporcionar el motor eléctrico, realizamos el cálculo para cada una de las marchas con la velocidad máxima obtenida en cada cambio, para así determinar en cual marcha se requiere las máximas revoluciones.

$$n = \frac{30 \cdot i_{t1} \cdot V}{\pi \cdot r_c}$$

- PRIMERA:

$$V = 15 \text{ km/h} = 4,17 \text{ m/s}$$

$$i_t = 17,394$$

$$n = \frac{30 \cdot 17,394 \cdot 4,17}{\pi \cdot 0,279}$$

$$n = 2482,6 \text{ rpm}$$

- SEGUNDA:

$$V = 30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$$

$$It = 9,143$$

$$n = \frac{30 * 9,143 * 8,33}{\pi * 0,279}$$

$$\mathbf{n = 2\ 606,8 \text{ rpm}}$$

- TERCERA:

$$V = 45 \text{ km/h} = 12,5 \text{ m/s}$$

$$It = 5,976$$

$$n = \frac{30 * 5,976 * 12,5}{\pi * 0,279}$$

$$\mathbf{n = 2\ 556,7 \text{ rpm}}$$

- CUARTA:

$$V = 55 \text{ km/h} = 15,28 \text{ m/s}$$

$$It = 4,281$$

$$n = \frac{30 * 4,281 * 15,28}{\pi * 0,279}$$

$$\mathbf{n = 2\ 238,9 \text{ rpm}}$$

- QUINTA:

$$V = 65 \text{ km/h} = 18,1 \text{ m/s}$$

$$It = 3,746$$

$$n = \frac{30 * 3,746 * 18,1}{\pi * 0,279}$$

$$\mathbf{n = 2\ 320,7 \text{ rpm}}$$

Como se puede observar en la marcha en la que se requiere mayor revoluciones es en segunda, por lo que el motor eléctrico debería dar 2 600 rpm máximas.

2.2.1.5.POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

A continuación calcularemos la potencia requerida en el motor eléctrico tanto para plano horizontal como para plano inclinado.

2.2.1.5.1. POTENCIA EN PLANO HORIZONTAL

Para poder determinar la potencia del motor eléctrico en plano horizontal se debe conocer el valor de las siguientes resistencias:

RESISTENCIA AERODINÁMICA “Ra”

Para poder determinar la resistencia aerodinámica es necesario conocer la densidad del aire cuyo valor se puede determinar en la siguiente tabla:

Tabla 2.5. Densidad del aire en función de la Altitud
(Fuente: IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica de Madrid, página 123)

ALTURA (m) Sobre Nivel Mar	DENSIDAD AIRE $\frac{Kg}{m^3}$
0	1,225
1000	1,112
2000	1,007
2500	0,957
3000	0,909

Además se debe calcular el área frontal del vehículo para lo cual se toma un factor de corrección de 0.85 debido al diseño del mismo.

$$AF = (\text{área frontal}) = b * h * 0,85 = 1,48m * 1,40m * 0,85 = 1,76m^2$$

$$V = (\text{velocidad máxima}) = 70 \text{ km/h} = 19,44 \text{ m/s}$$

$$\mu_a = (\text{coeficiente aerodinámico}) = 0,36 \text{ para automóviles.}$$

Una vez determinado los respectivos valores se procede a calcular el valor de la resistencia:

$$R_a = (0,5) (\rho) (AF) (\mu_a) (v^2)$$

$$R_a = (0,5) (0,957) (1,76) (0,36) (19,44^2)$$

$$\mathbf{R_a = 114,57 N}$$

RESISTENCIA A LA RODADURA “Rr”

$$R_r = \mu_r * W$$

$$R_r = 0,015 * 7897 N$$

$$\mathbf{R_r = 118,5 N}$$

Una vez determinado las fuerzas resisoras se procede con el cálculo de la potencia:

$$P = (R_a + R_r) * (v)$$

$$P = (114,57 + 118,5)N * (19,44)m/s$$

$$\mathbf{P = 4 530,9 W}$$

$$\mathbf{P = 4,53 kW}$$

Como los motores eléctricos que podemos adquirir tienen su potencia expresada en HP procedemos a calcular su equivalente:

$$\mathbf{P = 4,53 kW}$$

$$\mathbf{P = 6,07 hp}$$

Tabla 2.6. Datos Calculados Motor Eléctrico

VELOCIDAD km/h	VELOCIDAD m/s	POTENCIA W	POTENCIA hp
20	5,55	1 293,5	1,73
40	11,11	2 589,4	3,47
60	16,66	3 882,9	5,21
70	19,44	4 530,9	6,08

Como se puede observar en la Tabla 2.6 para poder obtener una velocidad de 70 km/h en plano horizontal la potencia teórica necesaria es 6.08 hp, pero tomamos la eficiencia del motor eléctrico a un 80 % entonces debemos adquirir un motor que tenga una potencia de 8 hp.

2.2.1.5.2. POTENCIA EN PLANO INCLINADO

Se procede a calcular la potencia en plano inclinado debido a que es cuando más exigencia se requiere en el motor, y se calcula de la siguiente manera:

$$P = M_{\text{máx}} * n$$

$$P = 101.96 \text{ Nm} * 2\ 600 \text{ rpm}$$

$$P = 101.96 \text{ Nm} * 2600 \text{ rev/min} * 2\pi/\text{rev} * 1\text{min}/60\text{s}$$

$$P = 27\ 760,7 \text{ W}$$

$$\mathbf{P = 27,76 \text{ kW}}$$

$$\mathbf{P = 37,2 \text{ hp}}$$

Entonces determinamos teóricamente que el motor eléctrico debe tener una potencia de 37,2 hp, por lo que tomando una eficiencia del motor eléctrico del 80%, nuestro motor eléctrico debe tener una potencia pico de 45 hp.

2.2.2. SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS

Para poder escoger las baterías adecuadas hay que tener en cuenta la relación que tiene la velocidad, la autonomía y el costo de las baterías, puesto que a mayor velocidad se requiere una mayor cantidad de corriente y por ende baterías de mayor Amperaje mayor peso y por supuesto mayor costo para poder mantener una autonomía aceptable, es por eso que nos impusimos una velocidad máxima de 70km/h y una autonomía de 40 km para que de esa manera poder adquirir unas baterías acorde al peso calculado en el vehículo y al presupuesto.

Una vez establecidos la autonomía y la velocidad máxima que se desea obtener en el vehículo eléctrico, procedemos a calcular la capacidad que deben tener nuestras baterías, para ello debemos tener claro el concepto de la capacidad del banco de baterías en Ah. La capacidad de la batería es la cantidad de energía máxima que puede almacenar la misma. Se mide en Ah.

Por ejemplo: Una batería de 12V 100 Ah teóricamente sería capaz de entregar 100 Amperios durante una hora o 10 Amperios por 10 horas o 1 Amperio durante 100 horas, o cualquier otra combinación en la que el resultado final de (Amperios * tiempo) sea 100. Hay que tener presente que el rendimiento de las baterías es de aproximadamente un 80% es decir si la batería es de 100 Ah teóricamente, pues solo nos entregara 80 Ah.

Como podemos observar en la tabla 2.6 a una velocidad de 70 km/h el motor requiere una potencia de 6,08 hp y según la tabla 1.1 a 7,43 hp el motor nos consume 79,2 Amperios, esto en una superficie totalmente plana, pero como en nuestro entorno la geografía no es totalmente plana pues cuando el motor funcione a 45 hp en las pendientes el motor va a consumir aproximadamente cinco veces más la cantidad de corriente, es decir aproximadamente 400 Amperios.

De esta manera se puede deducir que a una velocidad de 70 km/h con el motor consumiendo 79,2 Amperios por hora, podemos alcanzar una hora de recorrido, es decir, 70 km de autonomía, pero como no se desliza en una superficie totalmente plana, el motor va a consumir hasta 400 Ah, es decir 5 veces más; obteniendo así 15 km de autonomía circulando siempre a una velocidad máxima de 70 km/h, o se puede obtener una autonomía de 30 km a una velocidad promedio de 35 km/h, todo esto depende directamente del tipo de ruta por la que se movilice.

Finalmente para poder realizar un cálculo de la capacidad que debe poseer el banco de baterías pues lo hacemos tomando el dato inicial del cálculo anterior es decir unas baterías que nos proporcionen 80 Amperios por hora, pero como el rendimiento de las mismas no es del 100% pues tenemos que adquirir baterías de mínimo 100 Ah.

2.2.2.1. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CARGA DE LAS DE BATERÍAS

El tiempo de carga depende directamente de las características del cargador, pues en el mercado existen cargadores de 8, 10, 20 y 30 Ah. Por lo que tomando como ejemplo el dato, para el respectivo cálculo, el cargador que nos entrega 10 Ah tenemos que el tiempo de carga es:

$$T = \frac{Ah_b}{C_c * 0.80}$$

En donde:

T = tiempo de carga de las baterías.

C_c = Capacidad de entrega de corriente del cargador en Amperios.

Ah_b = Capacidad de las baterías en Ah.

80 % de la eficiencia del cargador de baterías.

$$T = 100 / (20 * 0.80)$$

$$\mathbf{T = 6,25 \text{ horas}}$$

2.2.3. SELECCIÓN DE LOS CABLES

Para la determinación de la sección de los cables hay que tener presente la corriente máxima que puede llegar a consumir el motor, como se mencionó anteriormente la potencia máxima requerida por el motor es en pendientes ya que se necesita 29,8 kW (40hp), por lo que la corriente máxima que circularía por el sistema será:

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

$$I = \frac{29830}{72}$$

$$I = 414,3 \text{ Amperios}$$

Una vez determinada la corriente máxima se procede a calcular la sección con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I}{K * \Delta V}$$

En donde:

S = Sección del cable en mm².

L = Longitud del cable en metros.

I = Intensidad de corriente en Amperios.

K = Conductividad eléctrica = 56 para el Cobre.

ΔV = Caída de tensión en Voltios = 3% del voltaje total = 72V * 3% = 2,16

$$S = \frac{2 * 10 * 414.3}{56 * 2.16}$$

$$S = 68,5 \text{ mm}^2$$

$$S = 8,3 \text{ mm}$$

Tabla 2.7. Intensidad de Corriente Admisible para Conductores de Cobre
(Fuente: www.procobre.org/archivos/peru/conductores_electricos.pdf)

SECCION NOMINAL (mm ²)	SECCION AWG	GRUPO A TEMPERATURA DE SERVICIO		
		60°C	75°C	90°C
0,32	22	3	3	
0,51	20	5	5	
0,82	18	7,5	7,5	
1,31	16	10	10	
2,08	14	15	15	25
3,31	12	20	20	30
5,26	10	30	30	40
8,36	8	40	45	50
13,3	6	55	65	70
21,15	4	70	85	90
26,67	3	80	100	105
33,62	2	95	115	120
42,41	1	110	135	140
53,49	1/0	125	150	155
67,42	2/0	145	175	185
85,01	3/0	165	200	210
107,2	4/0	195	230	235
127	250 MCM	215	255	270
152	300 MC	240	285	300
177,3	350 MC	260	310	325
202,7	400MCM	280	355	360
253,4	500 MCM	320	380	405
304	600 MCM	355	420	455
354,7	700 MCM	385	460	
380	750 MCM	400	475	500
405,4	800 MCM	410	490	
456	900 MCM	435	520	
506,7	1000 MCM	455	545	585

Grupo A.- Hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados.

2.3. ESQUEMA ELÉCTRICO DEL VEHÍCULO

En nuestro vehículo se implementara dos circuitos eléctricos: uno para los accesorios y otro para el sistema de impulsión del motor, estos sistemas son:

- Sistema de Tensión de 12VDC.
- Sistema de Tensión de 72VDC.

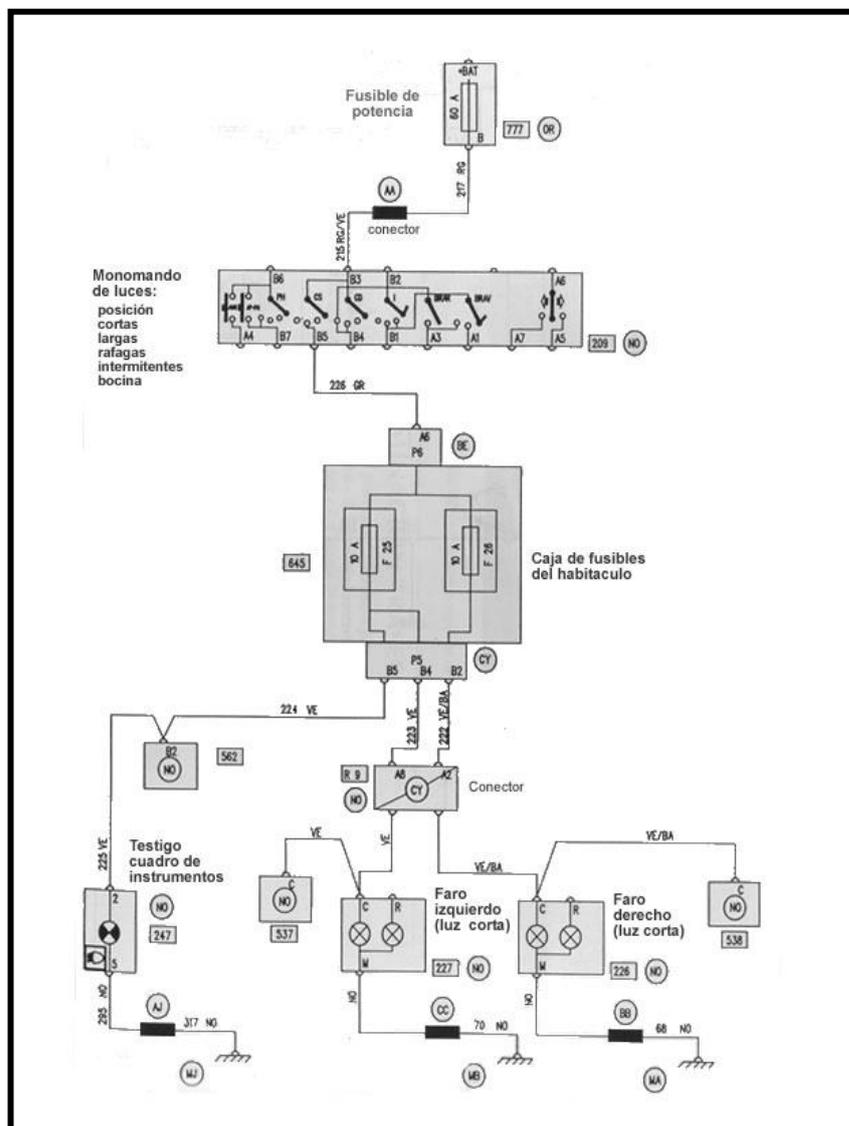
2.3.1. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DE 12VDC

Como sabemos nuestro vehículo eléctrico también debe poseer todo el sistema eléctrico que posee un vehículo con motor de combustión interna ya que va a moverse dentro de la ciudad y necesita señales de ubicación e iluminación para la seguridad al conducir. A continuación presentamos los distintos sistemas convencionales que se integran en un vehículo.

2.3.1.1.ESQUEMA DE LUCES DE POBLACIÓN

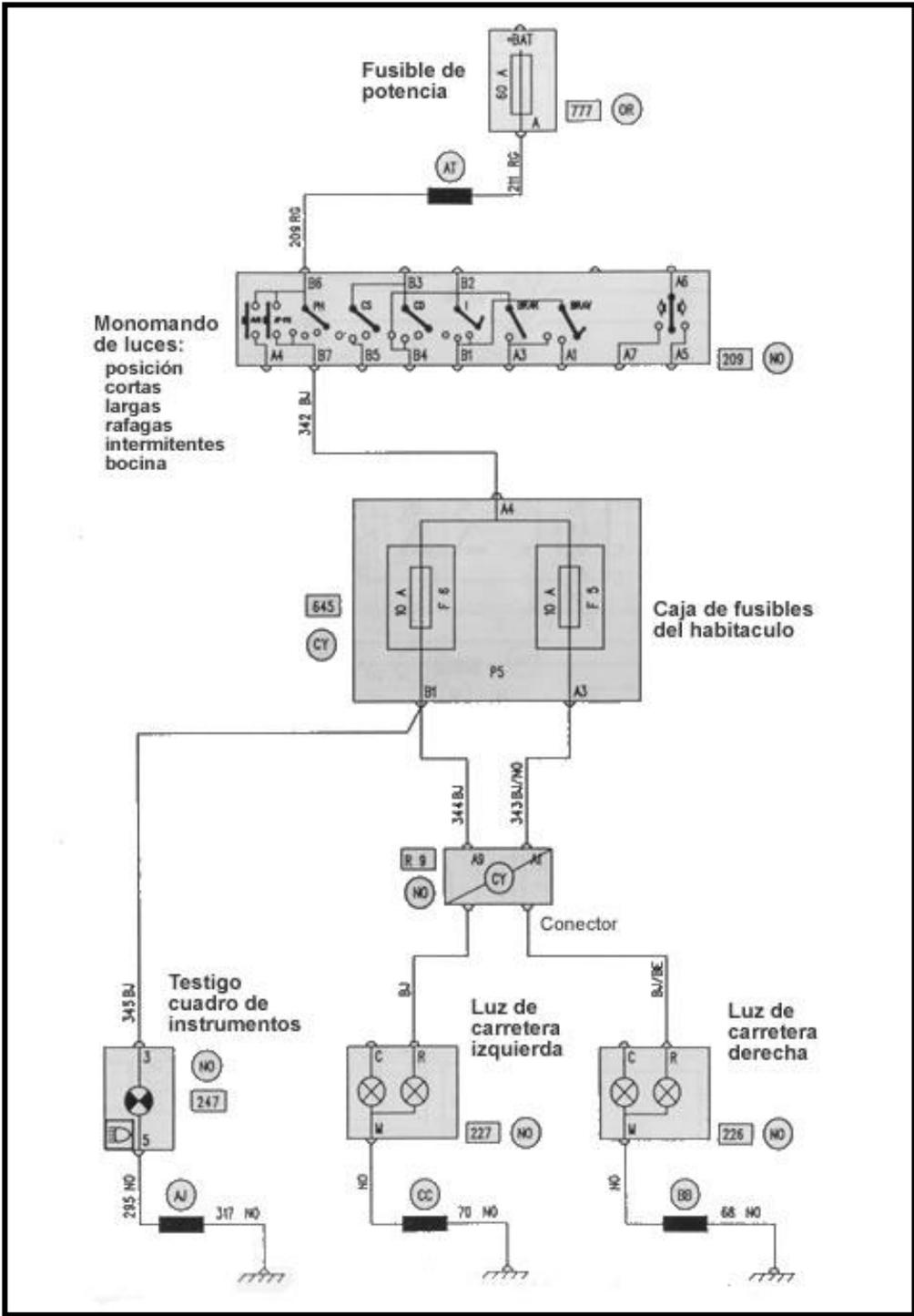
Gráfico 2.3. Diagrama luces de Población

(Fuente: FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO CHICOS DE LA CALLE, Departamento de Electricidad Prácticas de Taller, Primera Edición, Quito, 2004. Centro Salesiano de Capacitación y Producción, página 37)



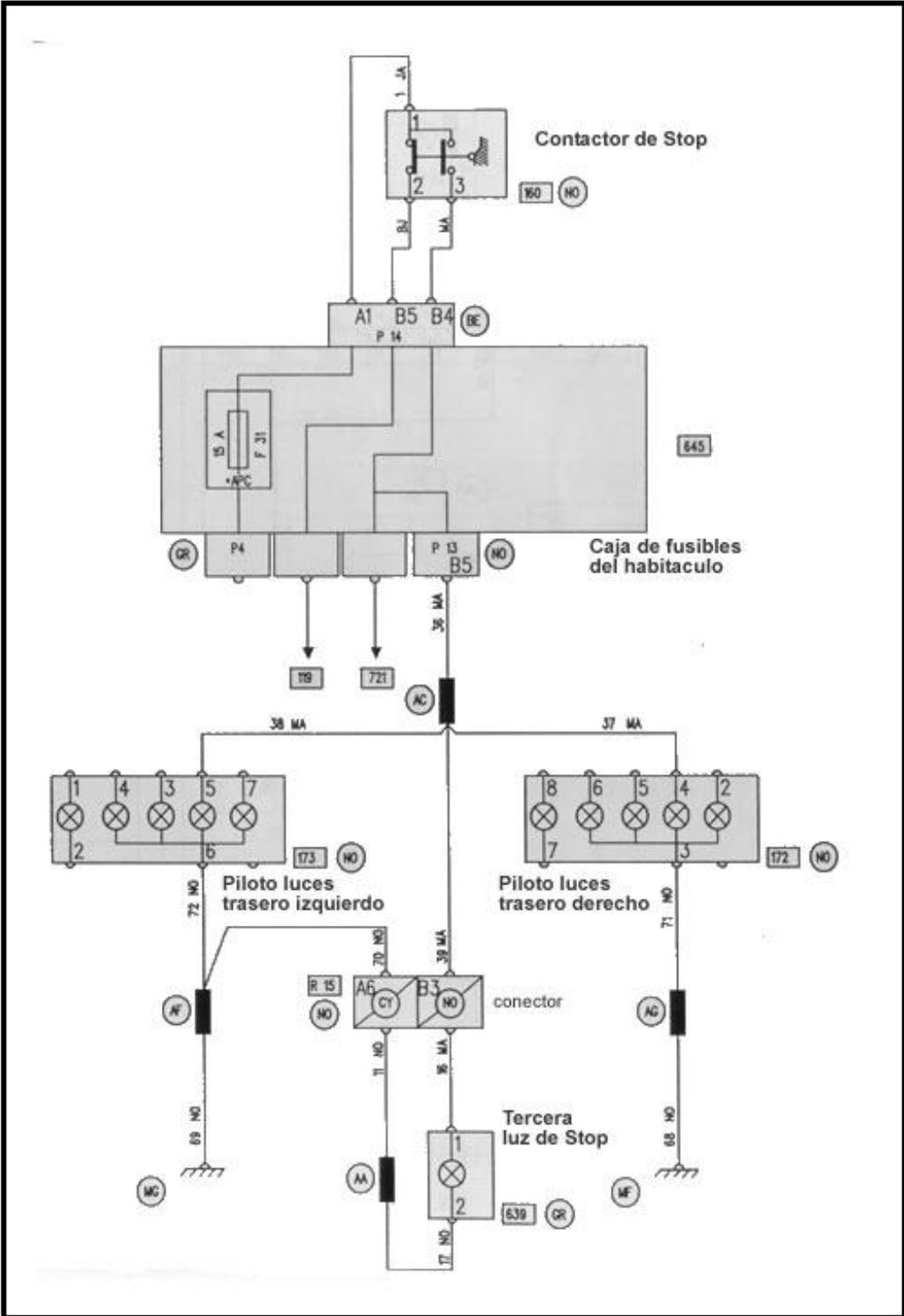
2.3.1.2.ESQUEMA DE LUCES DE CARRETERA

Gráfico 2.4. Diagrama luces de Carretera
(Fuente: FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO CHICOS DE LA CALLE, Departamento de Electricidad Prácticas de Taller, Primera Edición, Quito, 2004. Centro Salesiano de Capacitación y Producción, página 41)



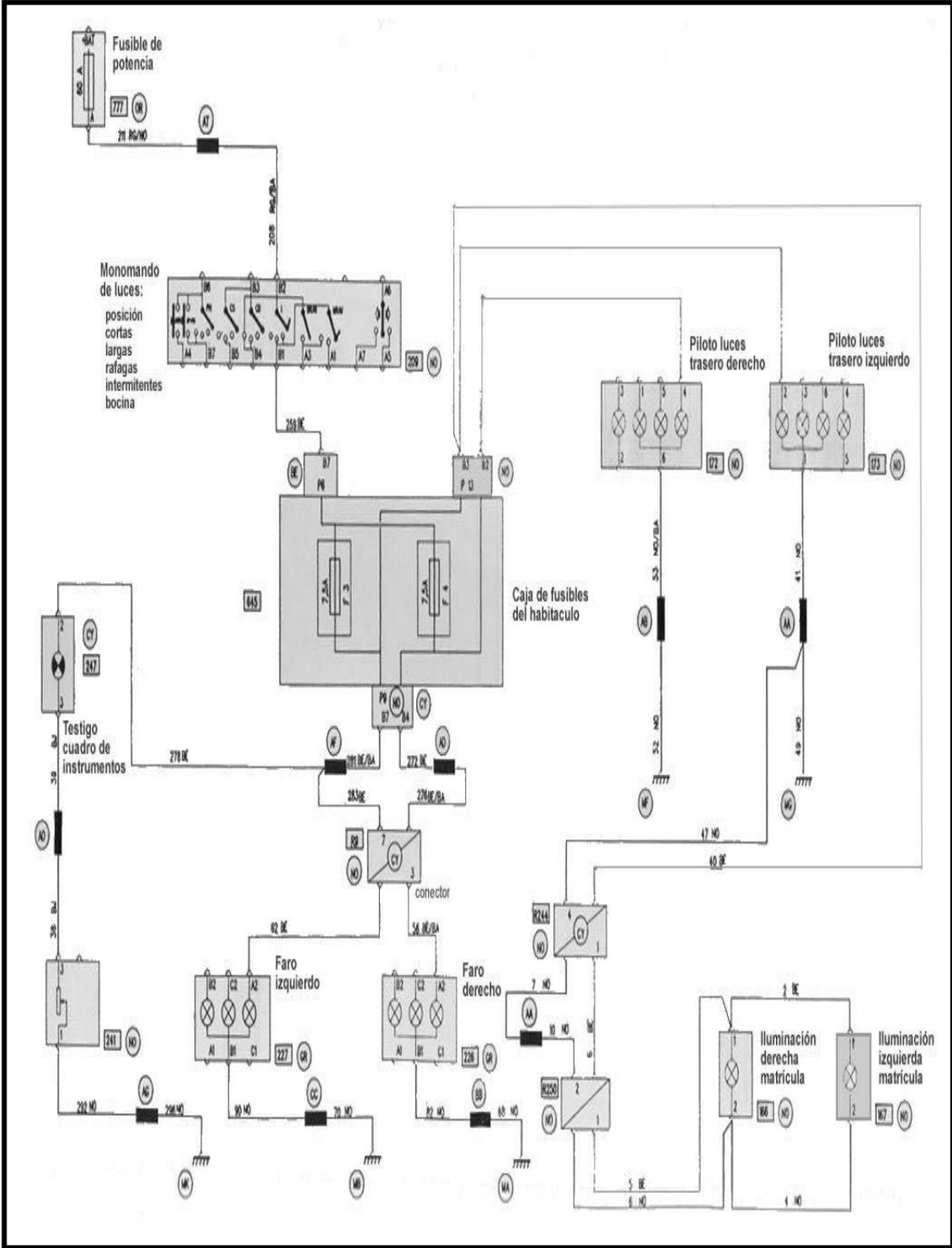
2.3.1.3.ESQUEMA DE LUCES DE FRENO

Gráfico 2.5. Diagrama luces de Freno
(Fuente: FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO CHICOS DE LA CALLE, Departamento de Electricidad Prácticas de Taller, Primera Edición, Quito, 2004. Centro Salesiano de Capacitación y Producción, página 25)



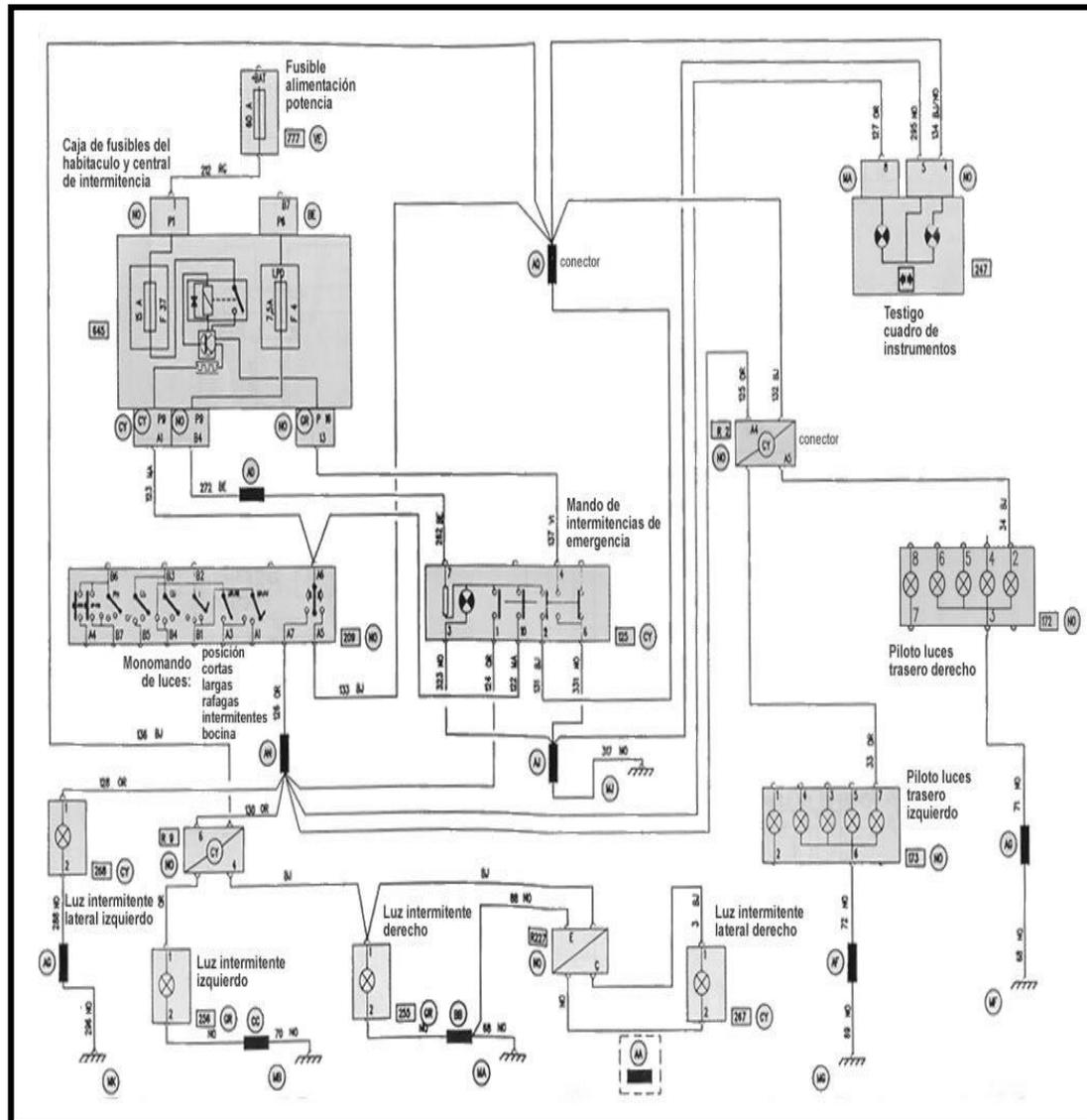
2.3.1.4.ESQUEMA DE LUCES DE POSICIÓN

Gráfico 2.6. Diagrama luces de Posición
(Fuente: FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO CHICOS DE LA CALLE, Departamento de Electricidad Prácticas de Taller, Primera Edición, Quito, 2004. Centro Salesiano de Capacitación y Producción, página 33)



2.3.1.5.ESQUEMA DE LUCES DE INTERMITENCIA Y EMERGENCIA

Gráfico 2.7. Diagrama luces de Intermitencia y Emergencia
 (Fuente: FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO CHICOS DE LA CALLE, Departamento de Electricidad Prácticas de Taller, Primera Edición, Quito, 2004. Centro Salesiano de Capacitación y Producción, página 35)

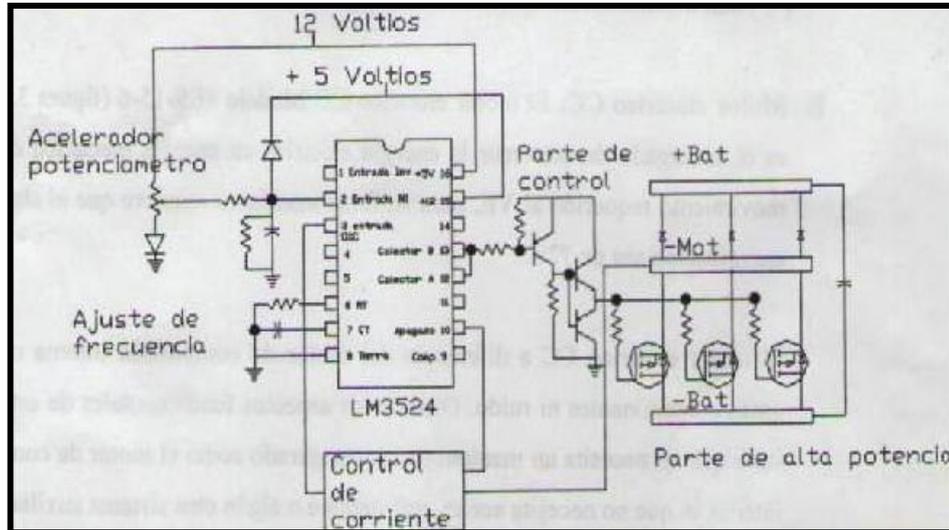


2.3.2. DIAGRAMAS ELECTRICOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA DE 72V

Antes de presentar el diagrama completo de conexión de todo el sistema eléctrico que comanda el circuito de alta tensión, presentamos la conexión interna de los principales componentes del sistema que son controlador y del motor eléctrico:

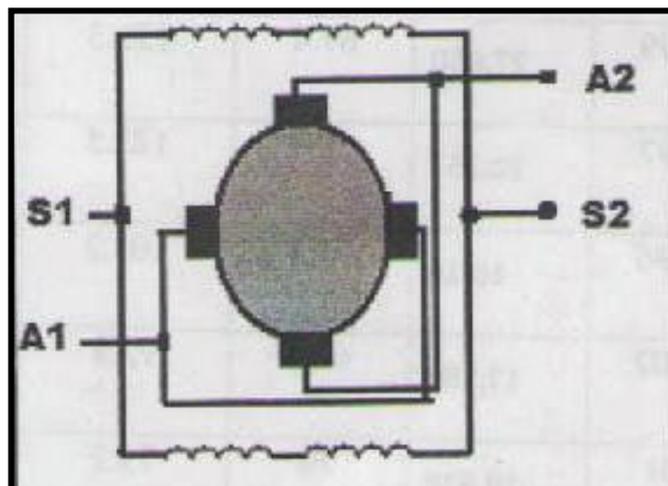
2.3.2.1.ESQUEMA DEL CONTROLADOR

Gráfico 2.8. Constitución Eléctrica del Controlador
 (Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



2.3.2.2.ESQUEMA DEL MOTOR

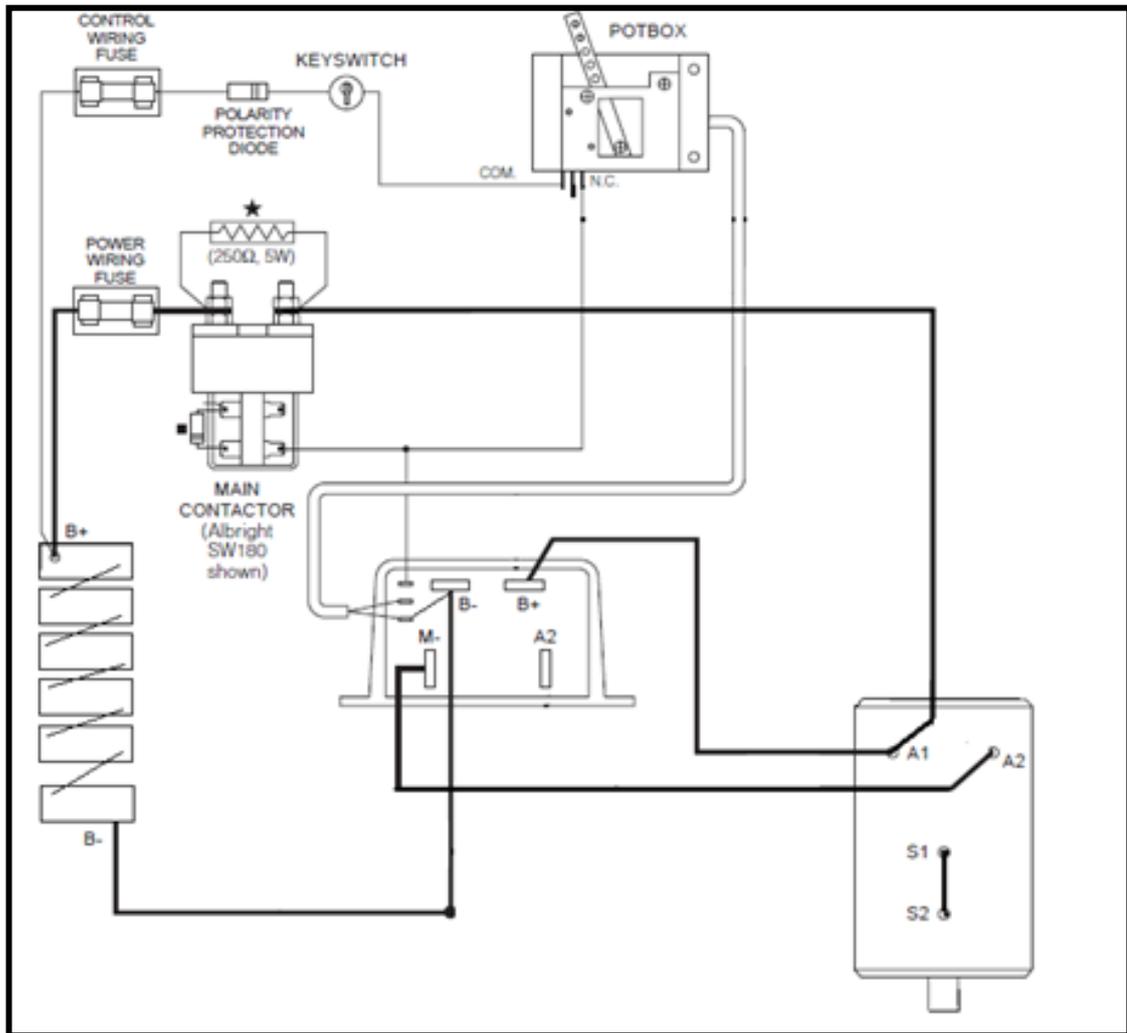
Gráfico 2.9. Conexión Interna del Motor
 (Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



2.3.2.3.ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

A continuación presentamos el diagrama de cómo realizar la conexión de los componentes que conforman el sistema de alta tensión para el funcionamiento del vehículo.

Gráfico 2.10. Conexión Del Sistema Eléctrico
 (Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



2.4. CONCLUSIONES PARCIALES

Una vez obtenidos los datos básicos del vehículo como peso y dimensiones se logró determinar mediante cálculos las características técnicas que debe poseer cada componente del sistema eléctrico, de manera que con esa información se procedió a conseguirlos en el mercado para así proceder con la implementación del sistema descrita en el siguiente capítulo.

Es necesario tener un conocimiento básico sobre el funcionamiento de cada dispositivo, para poder asumir un sentido lógico de conexión y ubicación de los elementos en el momento del montaje.

CAPITULO III

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

INTRODUCCIÓN

En este capítulo procederemos con la implementación del sistema de propulsión eléctrica, una vez obtenido el vehículo se determinarán los distintos sistemas mecánicos que nos servirán para adecuarlos al sistema implementado, como son la caja de cambios, los frenos, la dirección, la suspensión, circuitos de alumbrado. Una vez determinado los elementos que se van a utilizar procederemos con la puesta a punto de cada uno de estos sistemas, ya que los mismos nos servirán para mantener la seguridad en el vehículo al momento de movilizarnos.

3.1.PREPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ORIGINALES DEL VEHÍCULO

A continuación se procede a describir el mantenimiento realizado en cada uno de estos sistemas y el proceso de la implementación.

3.1.1. ADECUACIÓN DE LA CARROCERÍA

En nuestro caso debido a que se adquirió un sistema de 72V de medio rendimiento, se eligió un vehículo liviano para que pueda ser impulsado con este sistema, teniendo en cuenta también que dispone del espacio suficiente para poder ubicar las baterías, para que de esta manera se pueda conseguir la autonomía y velocidad planteada. A continuación se presenta las fotografías que evidencian el estado original del vehículo FIAT AUTOBIANCHI y los trabajos de acondicionamiento realizados en la carrocería del mismo, para que nos pueda brindar la seguridad necesaria al movilizarnos.

Gráfico 3.1. Contactor Principal



3.1.2. MANTENIMIENTO DE LA CAJA DE CAMBIOS

Antes de manipularla se procedió analizar si la caja de cambios nos va a servir para nuestro proyecto, y tomando en cuenta que se va a trabajar con velocidades y esfuerzos menores que las que proporciona el motor original de gasolina decidimos utilizarla. Como se puede observar en el primer Gráfico la caja de cambios se encuentra totalmente defectuosa, pues el vehículo se encontraba inmovilizado por un buen tiempo, es por eso que se procedió a desarmar completamente para poder darle un mantenimiento adecuado, realizando una limpieza minuciosa de los engranajes y cambiando los rodillos, para que al momento de utilizarla nos pueda brindar un buen funcionamiento.

Gráfico 3.2. Caja de Cambios



3.1.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Como se mencionó anteriormente el vehículo se encontraba inmovilizado, por lo que las espirales y los amortiguadores delanteros se encontraban en buen estado y únicamente se procedió a desarmar el sistema para darle un buen mantenimiento, cabe recalcar que el sistema de suspensión posterior es por ballesta y debido a que el peso en la parte trasera se incrementó al colocar las cuatro baterías adicionales, se procedió a levantar la suspensión posterior para no tener inconvenientes de rozamiento con las llantas.

Gráfico 3.3. Suspensión Delantera



3.1.4. MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección también presentaba un deterioro por lo que se procedió a engrasar y lubricarlo para su respectivo funcionamiento.

Gráfico 3.4. Cremallera



3.1.5. MANTENIMIENTO SISTEMA DE FRENOS

En este sistema se procedió a realizar únicamente un mantenimiento de cañerías y a cambiar los émbolos de freno posteriores ya que se encontraban con fuga. Debido a que vamos a obtener velocidades menores que con el motor de combustión, no es necesario hacer modificaciones en este sistema, tenemos la ventaja de que el sistema de freno es por mando netamente mecánico por lo que nos facilita en caso de que hubiese funcionado con servo ya que nos tocaría implementar una bomba de vacío.

El sistema de freno fue revisado minuciosamente con el objeto de obtener la mayor eficiencia posible, dado que como utilizamos un motor eléctrico, al descender pendientes no podemos ayudarnos con un freno motor o compresión de máquina como se hace con un motor de gasolina es por eso que nuestro único sistema para detener o reducir la velocidad del vehículo son los frenos en las ruedas.

Gráfico 3.5. Mordaza y bombín de freno



3.1.6. MANTENIMIENTO DE SISTEMA ELÉCTRICO

En lo que corresponde al sistema eléctrico se procedió a cablear algunos sistemas que estaban desconectados y a cambiar los cables que estaban deteriorados, se dejó todo el sistema de alumbrado en perfecto funcionamiento para tener la seguridad necesaria al momento de movilizarnos en el vehículo.

Gráfico 3.6. Sistema de Alumbrado



3.1.7. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRACCION

Debido a que el vehículo no se encontraba funcionando, los retenes de aceite de la caja de cambios estaban deteriorados por lo que se procedió a remplazarlos, de igual manera se procedió a cambiar los rodillos y la manzana delantera derecha ya que el estriado donde se aloja la punta de eje estaba defectuoso.

Gráfico 3.7. Sistema de Tracción



3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS PARA EL NUEVO SISTEMA DE PROPULSIÓN

Una vez determinado con cálculos las características que debe poseer cada elemento del sistema, se procedió a adquirir de manera más fácil un kit completo relacionado con la potencia estipulada en el capítulo II.

Las características técnicas de cada uno de los elementos que fueron implementados son las siguientes:

3.2.1. MOTOR ELÉCTRICO

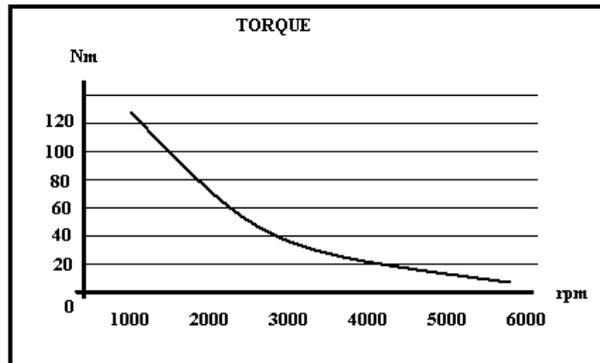
Es un motor de corriente continua marca D&D MOTORS modelo ES-15-6, el mismo requiere un voltaje de alimentación de 72V para su funcionamiento, la ventaja de este motor con relación a uno de combustión es que no necesita de gran mantenimiento ni aceites ni refrigerantes, al mismo tiempo que no es ruidoso y no contamina.

Gráfico 3.8. Motor Eléctrico



Como podemos ver en la GRÁFICO 3.9 de la curva de torque del motor eléctrico proporcionada por el fabricante, a medida que aumentamos las rpm el torque va disminuyendo, es decir el mayor torque entregado por el motor es utilizando éste a bajas rpm en arranque específicamente o en pendientes pronunciadas, en cambio cuando el VE alcanza velocidad o está en altas rpm el torque tiende a disminuir alcanzando un mínimo de 2,69 Nm.

Gráfico 3.9. Diagrama de Torque
(Fuente: IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica de Madrid, página 253)



3.2.2. CONTROLADOR

El controlador es básicamente la computadora del vehículo eléctrico, debido a que controla o regula el funcionamiento del motor. El controlador lleva incorporado unos filtros para la preparación de señal proveniente del potenciómetro, además posee un micro controlador para la conversión de señal de analógica a digital y para la variación del ancho de pulso PWM, también posee transistores de potencia para controlar la energía que va a las baterías. Este controlador presenta un diseño de alimentación MOSFET (transistor de efecto de campo) el cual proporciona alto rendimiento y operación silenciosa.

Gráfico 3.10. Controlador Electrónico



3.2.3. POTENCIÓMETRO

Este potenciómetro presenta una resistencia de 0 a 5 K Ω , al estar accionado su resistencia llega a los 5K Ω y al no estar accionado su resistencia llega a 0 Ω , presenta un resorte para graduar la variación de la resistencia.

Gráfico 3.11. Potenciómetro



3.2.4. CONTACTOR PRINCIPAL

El contactor cumple la función de un relé, el mismo que es activado con un voltaje de 72V y 6Amperios de corriente para dejar pasar la alta tensión proveniente de las baterías hacia el motor. Posee un diodo de protección contra “picos de voltaje” en el momento que se desactiva.

Gráfico 3.12. Contactor Principal



3.2.5. BATERÍAS

Las baterías obtenidas son DEEP CYCLE (ciclo profundo) de Electrolito líquido, utilizadas en marina, Se empleó un banco de 6 baterías de 12V con una corriente de 105Ah c/u. Su tamaño es de 330mm de largo, 173mm de ancho y 240mm de alto, su peso es de aproximadamente 27 kg.

Gráfico 3.13. Banco de baterías



3.3.ACOPLA DE LOS COMPONENTES

Luego de realizar las reparaciones adecuadas en cada sistema antes descrito, procedemos al montaje de cada uno de los elementos que conforma el vehículo eléctrico para el funcionamiento del mismo.

3.3.1. CONSTRUCCIÓN DE ACOPLES DE UNION ENTRE CAJA Y MOTOR

Para poder transmitir el movimiento saliente del motor eléctrico a la caja de cambios, se aplicó un mecanismo de unión, en donde, la primera mitad va sujeta en el eje del motor con una chaveta y la otra mitad en el eje de la caja de cambios utilizando el estriado del disco de embrague, cabe recalcar que la unión se da directamente sin tener un sistema de embrague.

Gráfico 3.14. Piezas de unión de los ejes



3.3.2. MONTAJE DE LA CAJA DE CAMBIOS

La caja de cambios va directamente sujeta a la carrocería con sus bases originales, se utiliza una placa de aluminio de $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor, para permitir la transmisión de calor del motor; puesto que el mismo va sujeta a esta placa y ésta a su vez va empernada en sus bordes a la caja de cambios, logrando la unión entre la caja y el motor eléctrico.

Gráfico 3.15. Montaje de la Caja de Cambios



3.3.3. MONTAJE DEL MOTOR Y SUJECIÓN A LA CAJA DE CAMBIOS

Como se puede observar el motor va sujeta sobre la placa instalada en la caja de cambios y por otro el lado se implementa un par de sujeciones al motor para su estabilidad radial al momento de generarse el movimiento.

Gráfico 3.16. Montaje del Motor y Caja



3.3.4. ADAPTACION DEL ALTERNADOR

Para poder obtener el movimiento del alternador, se adquirió un motor eléctrico con doble eje para así, poder conectar la otra salida del motor al alternador, ya que el mismo es necesario para que se pueda cargar la batería de 12V que alimenta el sistema de alumbrado y accesorios del vehículo, de ésta manera se toma el movimiento del motor por medio de poleas y banda hacia el alternador.

Gráfico 3.17. Polea para Alternador



3.3.5. SUJECIÓN DEL CONTROLADOR, POTENCIOMETRO Y CONTACTOR PRINCIPAL

Debido a que estos tres componentes se conectan entre sí, la sujeción de éstos debe ser adecuada y con una disposición correcta para poder permitir un simple cableado del sistema en general.

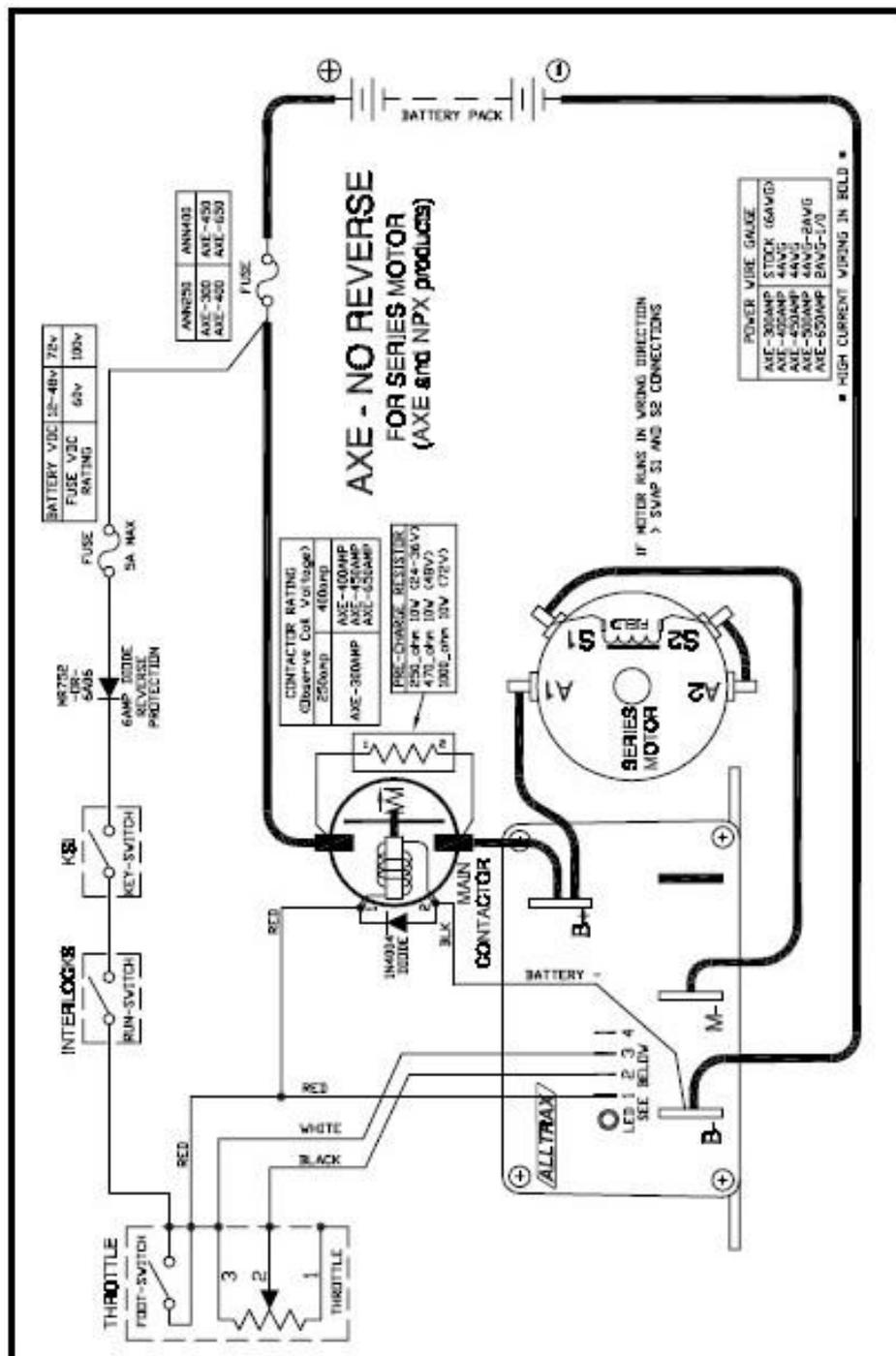
Gráfico 3.18. Sujeción de Componentes



3.4. CONEXIÓN DE TODO EL SISTEMA

Una vez ubicado y sujetado adecuadamente cada componente procedemos a la conexión del sistema según el siguiente diagrama eléctrico.

Gráfico 3.19. Diagrama de Conexión
 (Fuente: ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010)



Como podemos observar la fuente principal de energía es el paquete de 6 baterías de ciclo profundo que se encuentran conectadas en serie para obtener un voltaje de salida de 72V y 105Ah, que alimentan al motor eléctrico. Este motor eléctrico es comandado por un controlador electrónico que varía la frecuencia de funcionamiento del motor, este controlador recibe la información de velocidad requerida por el conductor a través de un potenciómetro conectado con el pedal del acelerador original que dispone el vehículo.

3.5.CONCLUSIONES PARCIALES

Una vez realizado el arreglo adecuado a la carrocería y proporcionado el mantenimiento respectivo a cada uno de los sistemas convencionales del vehículo, se consiguió poner a punto el mismo para así proseguir con la implementación del sistema de propulsión conectando entre sí todos los elementos que conforman el sistema de alta tensión, realizando todas las adecuaciones finalmente lo dejamos listo para realizar las pruebas descritas en el siguiente capítulo.

CAPITULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, AUTONOMÍA Y VELOCIDADES DEL VEHÍCULO IMPLEMENTADO

INTRODUCCIÓN

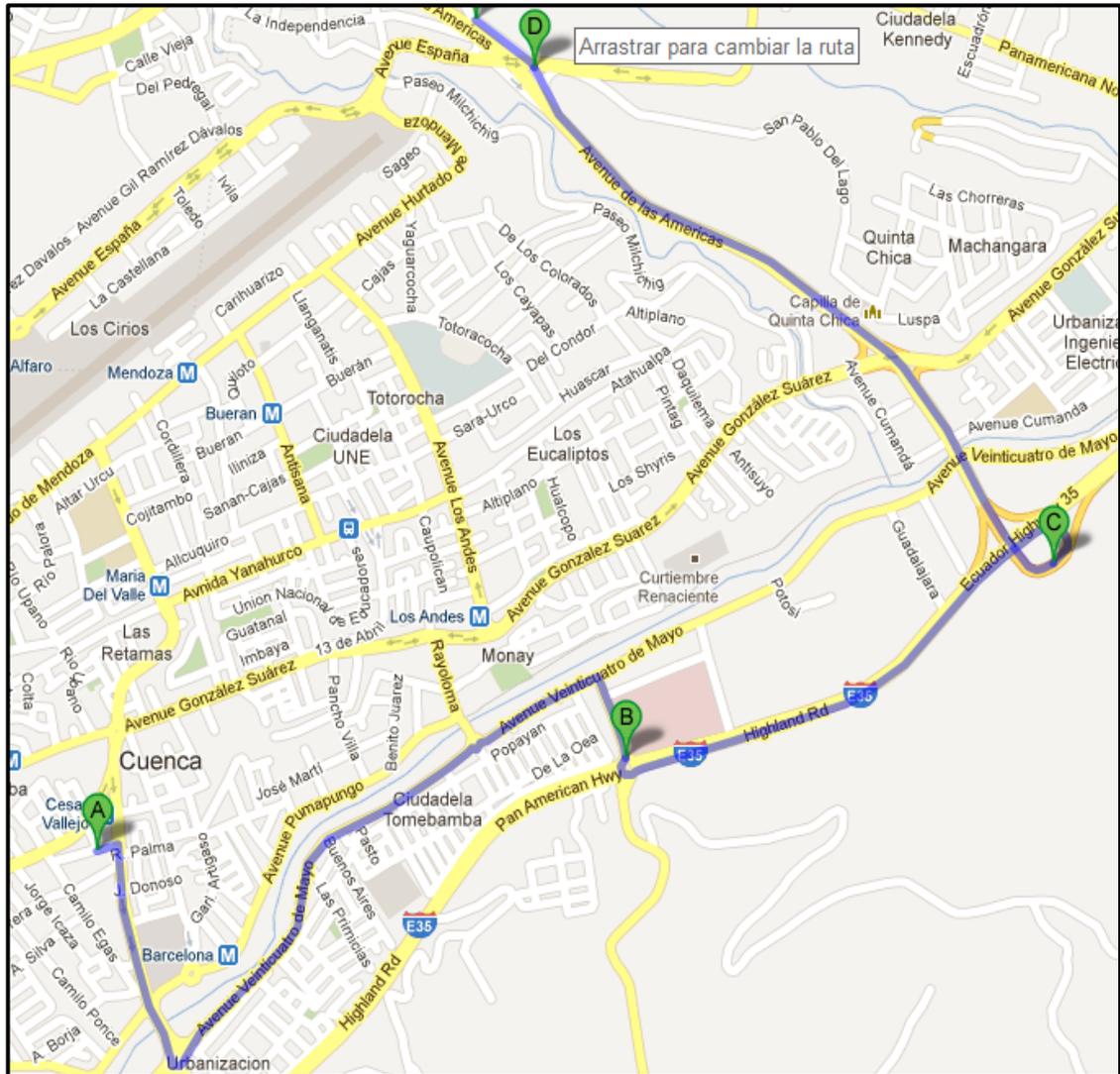
En los capítulos anteriores se presentó el desarrollo paso a paso para la implementación de un sistema de propulsión eléctrica a un vehículo convencional originalmente con motor de combustión interna, en este capítulo procederemos a realizar las pruebas necesarias para determinar la eficiencia del proyecto desarrollado, realizando una serie de ensayos para así establecer los resultados de los parámetros planteados como: la aceleración, velocidad, autonomía, tiempo de carga de las baterías. También se realizará con los resultados obtenidos una comparación de efectividad y costos entre un vehículo a gasolina y uno a propulsión eléctrica, calificando ventajas y desventajas de los mismos.

4.1.PUESTA EN MARCHA DEL VEHÍCULO

Una vez concluida la implantación e instalando a punto el sistema, se procede a poner en marcha el vehículo con la propulsión eléctrica para lo cual determinamos un recorrido rutinario de una persona como ejemplo para verificar el buen funcionamiento del vehículo y obtener la distancia que recorre un vehículo en un día normal.

Para nuestro ejemplo se considerará algunos aspectos como lugar de trabajo, domicilio, etc. lo cual nos marca una trayectoria que se describe en el Gráfico 4.1.

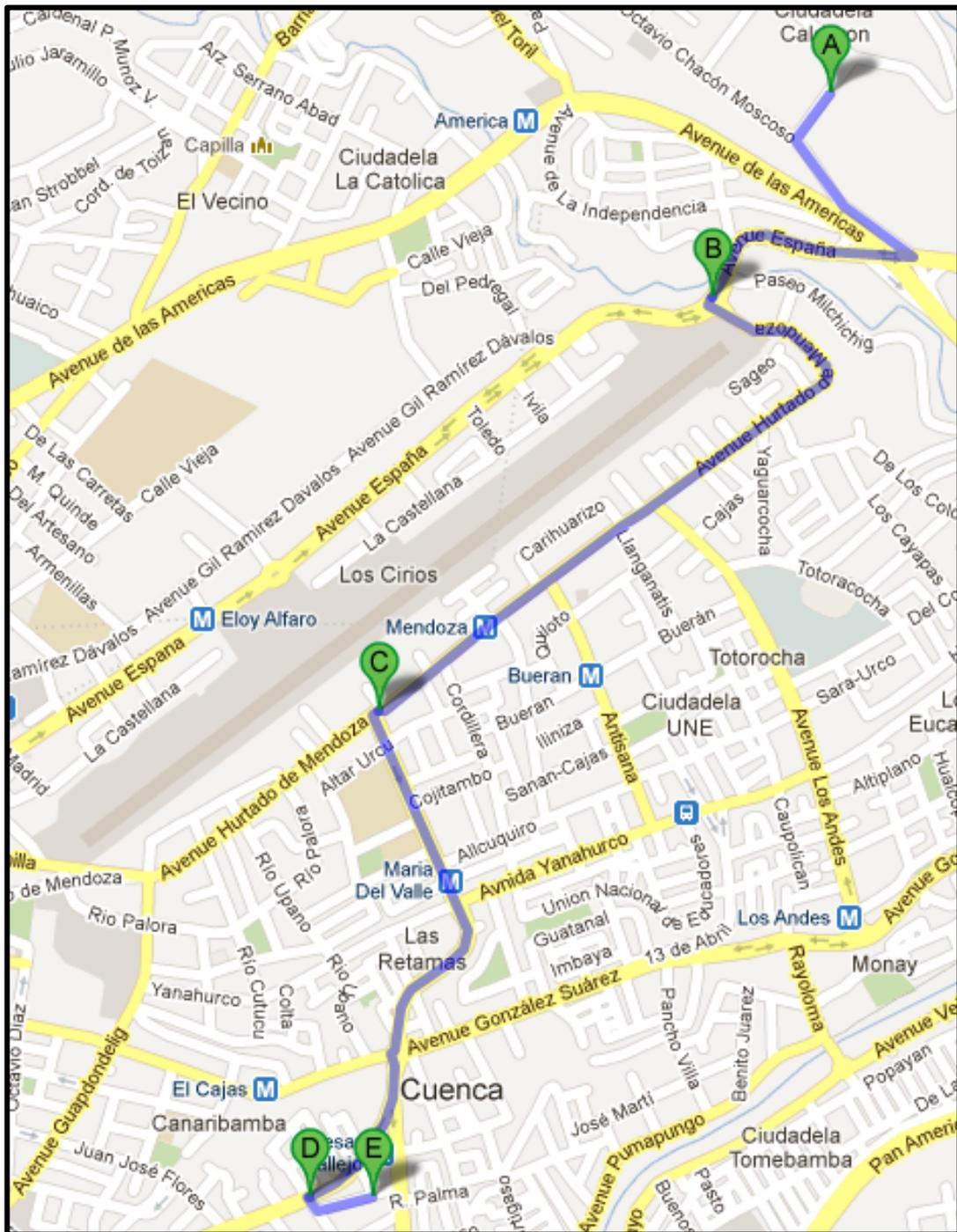
Gráfico 4.1. Trayectoria Inicial
(Fuente: <http://goo.gl/maps/ygQwR>)



Empezando con el ejemplo se puede describir que el vehículo empieza a recorrer a las 8:20 am partiendo desde la calle Jorge Andrade y Max Uhle con destino al Parque Industrial ubicado en la calle Octavio Chacón y Primera Transversal haciendo un recorrido de 7,3 km.

Luego el vehículo parte de nuevo a las 13:00 desde el lugar de trabajo (Parque Industrial) hacia el domicilio recorriendo la ruta descrita en el Gráfico 4,2, recorriendo 4,3 km.

Gráfico 4.2. Trayectoria de Retorno
(Fuente: <http://goo.gl/maps/atY5D>)



A las 14:10 sale el vehículo desde el domicilio hacia el lugar de trabajo recorriendo nuevamente 7,3 km, para así a las 18:00 regresar al domicilio recorriendo 4,3 km más. Al término de la ruta diaria del ejemplo, tenemos un recorrido de 23,2 km.

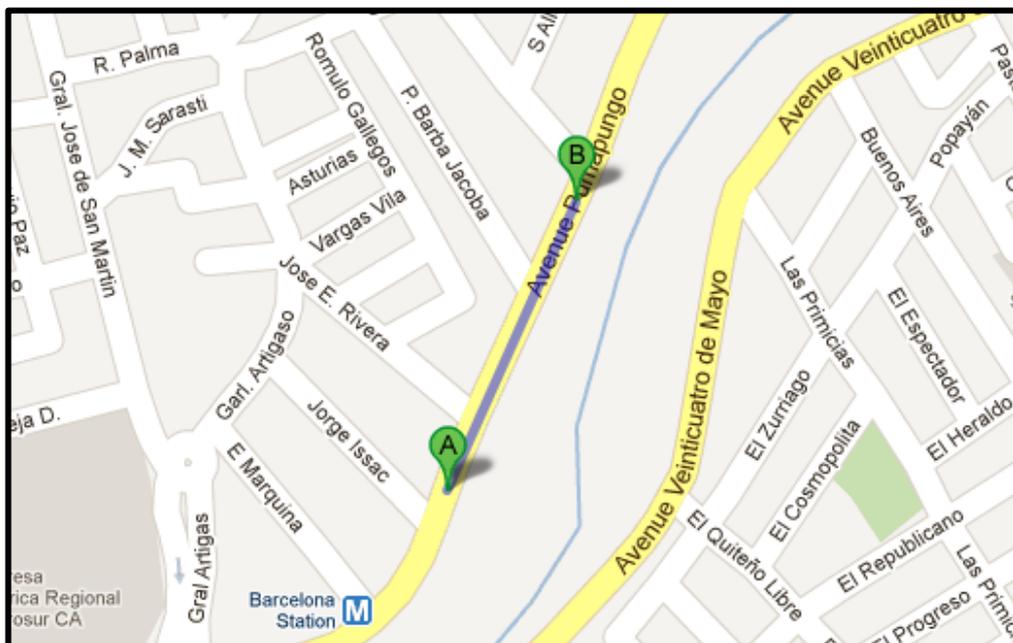
4.2.PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez puesto en marcha el vehículo y verificando el buen funcionamiento del mismo, podemos proceder a realizar las distintas pruebas para el análisis y comparación de resultados.

4.2.1. PRUEBA DE VELOCIDAD

Para realizar esta prueba hemos determinado una trayectoria de 200 metros como se puede observar en la GRÁFICO 4.3, realizando ésta en la calle 24 de Mayo por ser relativamente plana y sin obstáculos, de ésta manera podemos obtener la velocidad máxima que puede alcanzar nuestro vehículo en las distintas marchas y el tiempo correspondiente en recorrer los 200 metros.

Gráfico 4.3. Trayectoria para prueba de Velocidad
(Fuente: <http://goo.gl/maps/SLHZG>)



Una vez realizadas las pruebas en 200 metros, se obtuvieron los siguientes resultados de velocidad máxima y tiempo para cada marcha:

Tabla 4.1. Valores de Velocidad Obtenida

MARCHAS	VELOCIDAD MAXIMA	VELOCIDAD MAXIMA	TIEMPO
	km/h	m/s ²	segundos
Primera	15	4,17	42,04
Segunda	30	8,33	27,97
Tercera	45	12,5	22,68
Cuarta	55	15,28	22,04
Quinta	65	18,1	21,44

4.2.1.1.DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD TEÓRICA

Basándonos en los datos de la relación de transmisión de la Tabla 2.2, se puede realizar un cálculo de la velocidad máxima a distintas rpm según la siguiente fórmula:

$$V_{\max} = \frac{2\pi * \text{rpm}}{60 * \text{itn}} * r_c$$

Tabla4.2. Valores de Velocidad calculada en base a las rpm.

rpm	QUINTA		CUARTA		TERCERA		SEGUNDA		PRIMERA	
	m/s	km/h	m/s	km/h	m/s	km/h	m/s	km/h	m/s	km/h
500	3,91	14,06	3,41	12,29	2,44	8,78	1,60	5,75	0,84	3,02
1000	7,81	28,12	6,83	24,57	4,89	17,59	3,20	11,51	1,68	6,05
1500	11,71	42,16	10,24	36,86	7,33	26,38	4,79	17,26	2,52	9,07
2000	15,62	56,23	13,65	49,14	9,77	35,17	6,39	23,00	3,36	12,10
2500	19,53	70,31	17,07	61,43	12,21	43,96	7,99	28,76	4,20	15,12
3000	23,44	84,38	20,47	73,69	14,66	52,78	9,59	34,52	5,04	18,14
3500	27,34	98,42	23,89	86,00	17,10	61,56	11,19	40,28	5,88	21,17
4000	31,25	112,50	27,31	98,32	19,54	70,34	12,79	46,04	6,72	24,19

Si se observa la tabla 4.1 de los valores obtenidos en la práctica y comparamos con los de la tabla 4.2 podemos observar que el valor aproximado de revoluciones del motor eléctrico DC está entre 2 000 A 2 500 rpm.

4.2.2. ACELERACIÓN

A continuación procederemos a determinar la aceleración de ambos tipos de vehículo para así posteriormente realizar una comparación con los resultados obtenidos.

4.2.2.1. ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Para poder determinar la aceleración máxima de nuestro vehículo, nos basamos en los datos obtenidos en la tabla 4.1.

Velocidad Inicial: $V_0 = 0$

Velocidad Final: $V_f = 18.1 \text{ m/s}$

Tiempo Inicial: $t_0 = 0$

Tiempo Final: $t_f = 21.44 \text{ seg.}$

$$e = (V_0 * t) + (1/2 * a * t^2)$$

$$e = (0 * 21.44) + (1/2 * a * 21.44^2)$$

$$e = 0 + (a/2 * 21.44^2)$$

$$e = a/2 * 459.67$$

$$a = 2e / 459.67$$

$$a = (2 * 200) / 459.67$$

$$\mathbf{a = 0,87 \text{ m/s}^2}$$

4.2.2.2. ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN

Procedemos a calcular la aceleración que tenía nuestro vehículo con el motor de combustión interna basándonos en los siguientes datos:

Velocidad Inicial: $V_0 = 0$

Velocidad Final: $V_f = 25 \text{ m/s}$

Tiempo Inicial: $t_0 = 0$

Tiempo Final: $t_f = 17,81$

$$e = (V_0 * t) + (1/2 * a * t^2)$$

$$e = (0 * 17.81) + (1/2 * a * 17.81^2)$$

$$e = 0 + (a/2 * 17.81^2)$$

$$e = a/2 * 317.20$$

$$a = 2e / 317.20$$

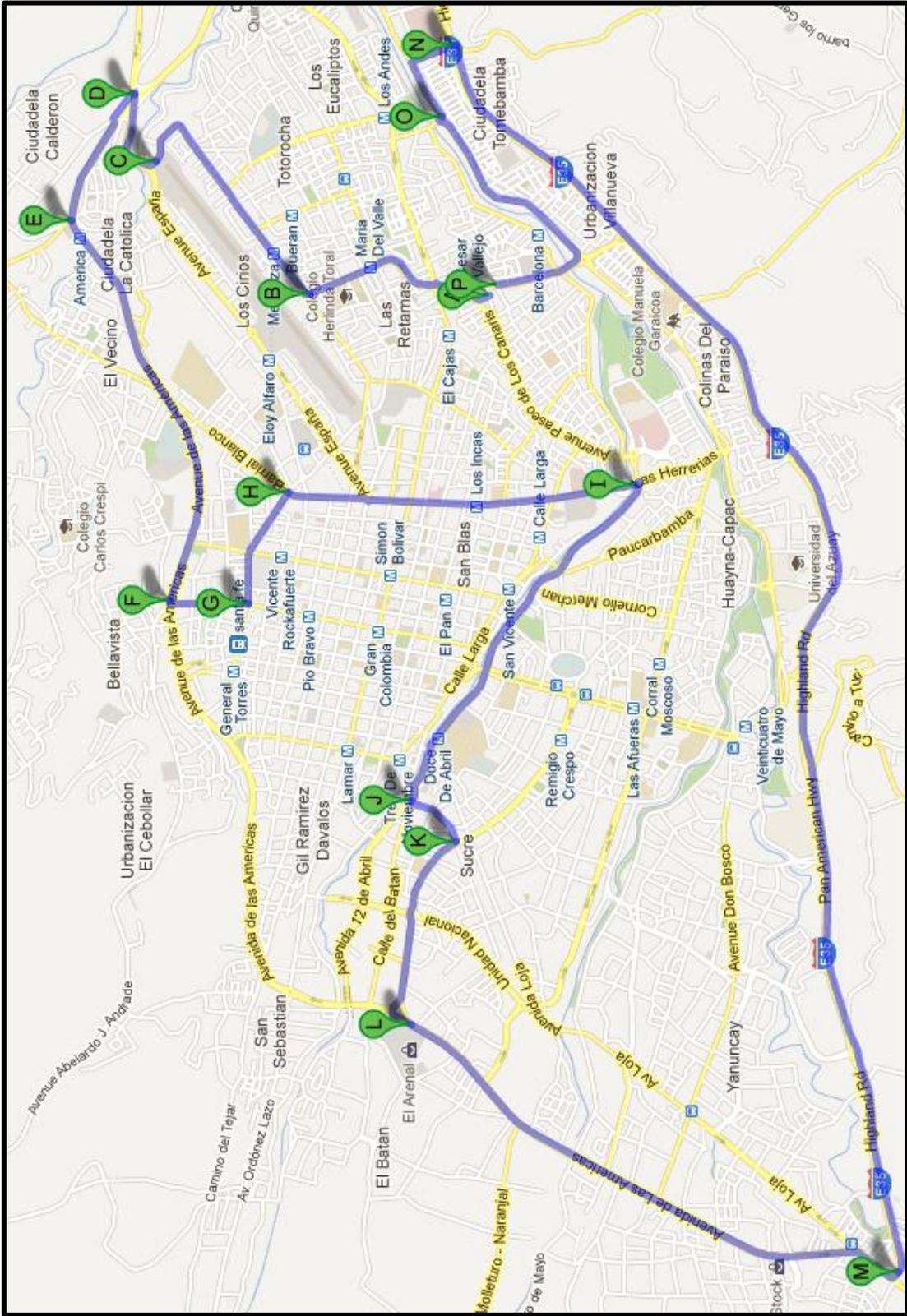
$$a = (2 * 200) / 317.20$$

$$\mathbf{a = 1,26 \text{ m/s}^2}$$

4.2.3. PRUEBA DE AUTONOMÍA

Para realizar la prueba de autonomía se escogió una ruta con variedad en el recorrido (Gráfico 4.4), es decir, una pista en donde podamos encontrar pendientes positivas y negativas así como también tramos planos para poder examinar el comportamiento del vehículo en las distintas travesías.

Gráfico 4.4. Trayectoria para prueba de Autonomía
(Fuente: <http://goo.gl/maps/jizXC>)



La prueba de autonomía empezó a las 9.00 am con una tensión inicial de 78 Voltios en el paquete de baterías, terminando después de 1 hora con un recorrido de 30 km con una tensión final de 68 Voltios en el banco de baterías a una velocidad promedio de 30 km/h.

4.2.4. PRUEBA DE ASCENSO

La pendiente con la máxima inclinación que el vehículo Fiat Auto Bianchi pudo superar con motor eléctrico y carga completa en su paquete de baterías, fue la avenida Paseo de los Cañarís. Hay que tener en cuenta que cuando el vehículo eléctrico posee una carga completa es decir 100 Amperios aproximadamente puede superar varias pendientes, mientras que cuando llegue a tener 50 Amperios podrá circular solamente en carretera plana debido a que el motor eléctrico no tiene suficiente amperaje para entregar la fuerza correspondiente.

4.2.5. PRUEBA DE CARGA DEL PAQUETE DE BATERÍAS

La carga del banco de baterías de 72 V, es abastecido directamente por el cargador, en este caso debido a gastos económicos generados y dado la difícil adquisición de un cargador de alta eficiencia, se consiguió un cargador eléctrico de entrada 110 V y de salida 24 V con una corriente de paso de 20 Amperios, por lo que el paquete de 72 V se divide en tres grupos para recibir la carga de 24 V del cargador.

Conectando el cargador con una tensión de agotamiento en el primer par de baterías igual a 21V a las 18:00 pm se demoró aproximadamente 6 horas en apagarse el cargador indicando la carga completa del primer par de baterías, totalizando así 18 horas para recargar el banco total de 72V. Procedemos a calcular la potencia de nuestro banco de baterías de la siguiente manera:

$$\text{Potencia banco baterías} = \text{Voltaje} * \text{Intensidad}$$

$$\text{Potencia banco baterías} = 72 \text{ V} * 105 \text{ Amperios}$$

$$\text{Potencia banco baterías} = 7 \text{ 560 W}$$

Ahora se procede a calcular la potencia de nuestro cargador de la siguiente manera:

$$\text{Potencia Cargador} = \text{Voltaje} * \text{Intensidad}$$

$$\text{Potencia Cargador} = 24 \text{ V} * 20 \text{ Amperios}$$

$$\text{Potencia Cargador} = 480 \text{ W/h}$$

De esta manera calculamos que nuestro cargador entrega 480W por hora y debido a que nuestro banco requiere 7560 W se calculan las horas de carga:

$$\text{Horas de carga} = \text{Potencia requería} / \text{potencia recibida}$$

$$\text{Horas de carga} = 7560 \text{ W} / 480 \text{ W/h}$$

$$\text{Horas de carga} = 15,75 \text{ horas}$$

4.2.5.1.COSTO DE LA CARGA

Para calcular el valor real en dólares por carga, se debe conocer el precio del Kilovatio Hora para un lugar residencial en la urbe de Cuenca el mismo que es de 0.10 dólares, este valor es obtenido en la planilla de luz.

La potencia consumida por el cargador en 1 hora se calcula:

$$P = V * I$$

$$\text{Potencia Consumida} = \text{Voltaje de alimentación} * \text{Capacidad del Cargador}$$

$$\text{Potencia Consumida} = (110 \text{ V}) * (20 \text{ Amperios/h}) = 2200 \text{ W} = 2,2 \text{ kW/h}$$

Entonces el costo por hora de carga se calcula:

$$\text{Costo por hora} = \text{Potencia consumida en 1 hora} * \text{Precio del kW}$$

$$\text{Costo por hora} = 2,2 \text{ kW} * 0,10 \text{ dólares}$$

$$\text{Costo por hora} = \$ 0,22 \text{ dólares}$$

Entonces para calcular el costo por carga completa tenemos:

$$\text{Costo por carga} = \text{Costo por hora de carga} * \text{horas de carga}$$

$$\text{Costo por carga} = 0,22 * 15,75$$

$$\text{Costo por carga} = \$ 3,47 \text{ dólares}$$

Los 3,47 centavos de dólar se pagan por la carga completa del paquete de baterías, es decir, se recorre 30 Km con un gasto de 3,47 centavos.

Hay que tener en cuenta que este valor se obtiene realizando los cálculos con un cargador de 24V y 20 Amperios, mientras que realizando nuevamente los cálculos con un cargador óptimo de 72V y 20 Amperios, que cargue en un solo período el paquete de baterías se tendría:

$$\text{Potencia Cargador} = 72V * 20 \text{ Amperios}$$

$$\text{Potencia Cargador} = 1 440 \text{ W/h}$$

$$\text{Horas de carga} = 7 560 \text{ W} / 1 440 \text{ W/h}$$

$$\text{Horas de carga} = 5,25 \text{ horas}$$

$$\text{Costo por carga} = 0,22 * 5,25$$

$$\text{Costo por carga} = \$ 1,15 \text{ dólares}$$

Obteniendo así un costo por carga de 1,15 dólares, este valor calculamos para posteriormente poder realizar una comparación mucho más efectiva en cuanto a gastos generados con un motor de combustión interna.

4.3.COMPARACIÓN DE COSTOS

Para poder realizar una comparación de los costos operacionales entre el vehículo eléctrico y el de combustión interna, realizaremos un cálculo individual de los gastos que proporciona cada uno de ellos.

4.3.1. COSTO DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Como la duración de nuestro sistema eléctrico depende directamente de la vida útil de las baterías, se investigó que las mismas nos ofrecen un servicio válido de 2 000 ciclos de carga, es decir, se calcularía así:

$$\text{Duración Sistema Eléctrico} = \text{Ciclos de carga} \times \text{Autonomía por carga}$$

$$\text{Duración Sistema Eléctrico} = 2\,000 \times 30$$

$$\text{Duración Sistema Eléctrico} = 60\,000 \text{ km}$$

De ésta manera se obtiene que a los 60 000 km, debiéramos reacondicionar nuestro vehículo con un nuevo paquete de baterías, con éste dato se procede a calcular el valor total de los gastos de operación generados de la siguiente manera:

El costo total de la corriente consumida durante los 60 000 km de funcionamiento del vehículo se determina:

$$\text{Costo energía} = \# \text{ Cargas} * \text{Costo por carga en dólares}$$

$$\text{Costo energía} = 2\,000 * 1,15$$

$$\text{Costo energía} = \$ 2\,300 \text{ dólares}$$

Entonces para poder determinar los costos de operación del vehículo eléctrico durante su funcionamiento de 60 000 km; se sumarían todos los costos variables relacionados con la operación, considerando que el motor y los accesorios son parte de la inversión del vehículo, determinando el costo de operación de la siguiente manera:

$$\text{Costo de Operación} = \text{costo energía} + \text{costo de las baterías}$$

$$\text{Costo de Operación} = 2\,300 + 1200$$

$$\text{Costo de Operación} = \$ 3\,500 \text{ dólares}$$

4.3.2. COSTO DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN

Para poder determinar los costos de operación del vehículo con motor de combustión, se procederá analizar de igual manera dentro de un periodo de 60 000 km, para así después poder analizar una comparación. Realizando una prueba de autonomía previa a la implementación eléctrica, se pudo determinar que éste tipo de vehículo nos proporciona aproximadamente unos 35 km por galón de combustible en carretera plana, pero debido a que nuestro proyecto es realizado para la movilización dentro de la ciudad, el vehículo al probarlo en el centro histórico, proporciona 30 km por galón de combustible. Entonces tenemos que el costo por recorrer 30 km es de 1,48 dólares, precio del galón de gasolina tipo extra en nuestro país. De manera que para calcular el costo que nos genera el consumir combustible durante los 60 000 km de funcionamiento procedemos:

$$\text{Costo Combustible} = \# \text{ veces recarga combustible} * \text{precio del galón}$$

$$\text{Costo Combustible} = (60\ 000/30) * 1,48$$

$$\text{Costo Combustible} = 2\ 000 * 1,48$$

$$\text{Costo Combustible} = \$ 2\ 960 \text{ dólares}$$

Una vez determinado el gasto por consumo de combustible, procedemos analizar los gastos por mantenimiento con los siguientes datos:

- 25 dólares por cambio de aceite cada 2 500 km.
- 100 dólares por ABC de motor cada 20 000 km.

Entonces tenemos que el costo por mantenimiento durante los 60 000 km es:

$$\text{Costo mantenimiento} = (25*(60\ 000/2\ 500)) + (100*(60\ 000/20\ 000))$$

$$\text{Costo mantenimiento} = 600 + 300$$

$$\text{Costo mantenimiento} = \$ 900 \text{ dólares}$$

De ésta manera, para poder determinar el costo total de operación del vehículo con motor de combustión durante el funcionamiento de 60 000 km, se sumará los distintos gastos generados por funcionamiento y mantenimiento del vehículo.

$$\text{Costo de Operación} = \text{costos combustible} + \text{costos mantenimiento}$$

$$\text{Costo de Operación} = 2\,960 + 900$$

$$\text{Costo de Operación} = \$ 3\,860 \text{ dólares}$$

4.3.3. CUADROS DE RESULTADOS

A continuación se presenta los cuadros de datos de los resultados obtenidos.

Tabla 4.3. Parámetros Comparativos

	VELOCIDAD MÁXIMA	ACELERACIÓN
	km/h	m/s²
VEHÍCULO ELÉCTRICO	65	0,87
VEHÍCULO MOTOR COMBSUTIÓN	110	1,26

Tabla 4.4. Costos y Gastos de los Vehículos

	COSTO POR CARGA EN 30 km (dólares)	COSTO DE ENERGIA EN 60000 km (dólares)	COSTO DE MANTENIMIENTO EN 60000 km (dólares)	COSTO TOTAL DE OPERACIÓN (dólares)
VEHÍCULO ELÉCTRICO	1,15	2 300	0	3 500
VEHÍCULO MOTOR COMBUSTIÓN	1,48	2 960	900	3 860

En la tabla 4.4 se presentan los datos reales de nuestro VE, y de un vehículo con motor de combustión interna con los precios en nuestro país. Como podemos observar en los resultados, el costo de operación de un vehículo eléctrico es menor al costo de operación del vehículo con motor de combustión, y con la gran diferencia y ventaja de no contaminar nuestro medio ambiente desechando gases contaminantes.

4.4.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

En la tabla a continuación se presentan las ventajas y desventajas de nuestro Vehículo Eléctrico.

Tabla 4.5. Ventajas y Desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Nuestro Vehículo Eléctrico contribuye al medio ambiente ya que no desecha contaminantes sólidos, líquidos ni gaseosos.	El Vehículo Eléctrico posee una autonomía de bajo rendimiento.
Menos ruido.	Mayor peso, y mayor consumo de energía para desplazarse.
No depende del petróleo	No alcanza altas velocidades.
Reducción de costos de mantenimiento	Se requiere demasiado tiempo para recargar el paquete de baterías.
Sistema de carga accesible de 110V	Alto precio del banco de baterías.
No necesita embrague para cambio de marchas	No existen los repuestos necesarios en nuestro medio.
No hay pérdida de energía por transferencia de calor	Vehículo para recorridos cortos.
Trabaja a temperaturas medias 0 a 70° C	
No necesita arranque	
Fácil control de funcionamiento del motor eléctrico	
No consume energía cuando el vehículo se mueve por inercia	
Utiliza energía renovable	
No necesita calentarse para funcionar bien.	

4.5.CONCLUSIONES PARCIALES

Una vez concluidas las respectivas pruebas podemos decir que nos sentimos satisfechos del trabajo realizado, ya que se cumplió con cada una de las metas planteadas, se logró conseguir una velocidad máxima de 65 km/h con una autonomía de 30 km, así como también una aceleración de $0,87 \text{ m/s}^2$, resultados muy satisfactorios debido a que fácilmente nos podemos movilizar en este vehículo dentro de la ciudad, con la satisfacción de que es un vehículo que utiliza energía renovable como es la energía eléctrica, la misma que no contamina nuestro ambiente como lo hace un vehículo con motor de combustión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluido el proyecto de tesis, luego de un arduo trabajo de investigación, implementación y análisis, señalamos las siguientes conclusiones:

Durante el desarrollo de los capítulos se han cumplido cada uno de los objetivos planteados. De esta manera podemos decir que se ha estudiado paso a paso, desde el principio de funcionamiento de los motores eléctricos, su control y estructura para así poder escoger el más indicado de acuerdo a lo calculado y poder concluir con este nuevo sistema de propulsión de un vehículo, utilizando energías alternativas que no contaminen nuestro entorno ambiental.

Podemos decir que el proyecto realizado nos deja una gran sabiduría y experiencia, además de lo entretenido que resultó realizar dicha implementación debido a que tenía mucho que ver en este desarrollo la creatividad y la imaginación, para poder diseñar la ubicación correcta de cada componente.

Se dio a conocer el proceso de transformación de un vehículo con motor de combustión interna a uno con propulsión eléctrica, que es un proyecto que ha marcado el inicio de la utilización de nuevas energías para la movilidad nuestra dentro de la ciudad utilizando energía eléctrica que bien puede provenir de centrales hidroeléctricas o eólicas que son energías renovables.

Es recomendable que el manejo del vehículo se lo haga con prudencia, debido a que no posee embrague y si no se tiene cuidado al seleccionar una marcha se pueden producir daños en los engranajes de la caja de cambios, así como también debido a que se utilizó baterías de electrolito líquido hay que tener un estricto control en la revisión del nivel del electrolito en las baterías, para que las mismas no se deterioren o su vida útil se acorte.

El hombre debe comprender que el proceso de contaminación de nuestro planeta es un reto aún mucho más complejo, y depende de nosotros mismos para poder obtener una mejor calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA:

- ALONSO, J.M., Técnicas del Automóvil, Equipo Eléctrico, Novena Edición, Madrid, 2002. Thomson Paraninfo, 101 págs.
- CENTRO DE ESTUDIOS ELECTRÓNICOS, Curso de Electrónica Automotriz, Décimo Segunda Edición, Cuenca, 2010. 378 págs.
- FERRER VINAS, Salvador, Circuitos Eléctricos del Automóvil, Primera Edición, Madrid, 2006. Thompson, 316 págs.
- FUNDACIÓN PROYECTO SALESIANO CHICOS DE LA CALLE, Departamento de Electricidad Prácticas de Taller, Primera Edición, Quito, 2004. Centro Salesiano de Capacitación y Producción, 114 págs.
- IZQUIERDO, Aparicio y otros, Teoría de los Vehículos Automóviles, Segunda Edición, Madrid, 2001. Universidad Politécnica Madrid. 554 págs.
- LUQUE, Pablo, Ingeniería del automóvil, Sistemas y Comportamiento Dinámico, España, 2004. Editorial Thompson.
- ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE, Manual de Conversión de Vehículos Eléctricos, Uruguay, 2010.
- RUEDA SANTANDER, Jesús, Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz, Primera Edición, Bogotá, 2003. Diseli. 832 págs.
- VALBUENA R, Oscar, Manual de Mantenimiento y Reparación de Vehículos T. 4. Segunda Edición, Bogotá, 2008. Alfaomega, 249 págs.
- WILDI, Theodore, Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia, Sexta Edición, México, 2007. Pearson, 934 págs.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

En los siguientes enlaces se puede encontrar cada uno de los componentes utilizados en la implementación del sistema de propulsión revisados el 18/05/2011 a las 20:00.

http://www.evdrives.com/dd_motors_ES-15C-6.html
<http://www.cloudelectric.com/product-p/bc-f7210-110vac.htm>
http://www.evdrives.com/alltrax_axe7245.html
http://www.evdrives.com/contactors_SW200.html
http://www.evdrives.com/throttles_PB-6.html

En los siguientes enlaces se puede encontrar cada una de las rutas descritas al momento de realizar las pruebas con el vehículo eléctrico el 29/04/2012 a las 9:00.

<http://goo.gl/maps/atY5D>
<http://goo.gl/maps/atY5D>
<http://goo.gl/maps/SLHZG>
<http://goo.gl/maps/jizXC>

ANEXO 1: LISTA DE KITS ELÉCTRICOS



EV Drives

Kit # 01C - 36 to 48 Volt System Series w/ PM Motor

- [Mars ME0909 Motor](#)
- [New NPX 4834 300 amp Controller with fuse](#)
- [MZJ-200D Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16" terminal](#)



Kit # 02C - 24 to 48 Volt System Series w/ PM Motor

- [Mars ME0909 Motor](#)
- [New AXE 4834 300 amp Controller with fuse](#)
- [MZJ-200D Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16" terminal](#)



Kit # 2C - 24 to 48 Volt System Series w/ PM Motor

- [Mars ME0709 Motor](#)
- [New AXE 4844 400 amp Controller with fuse](#)
- [MZJ-200D Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16" terminal](#)

The ME0709 has more torque than the ME0708 and has the advantage of running slower which is nice so you don't have to do so much gear reduction. If you are interested in getting the maximum amount of performance for this motor, take a look at kit # 4 that runs this motor at 72 volts

Motor is rated at 8 hp continuous & 18 hp peak, C-face mount with a 7/8"x 1-5/8", 3/16" key & weighs 38 lbs. The Alltrax controller is a 400 amp. With the pull down on the right you can add an option for Magura or Curtis PB-6 Throttle.

Kit # 1C - 24 to 48 Volt System Series w/ PM Motor



- [Mars ME0708 Motor](#)
- [New AXE 4844 400 amp Controller with fuse](#)
- [MZJ-200D Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16" terminal](#)

Motor is rated at 6 hp continuous & 15 Peak Hp, C-face mount with a 7/8"x 1-5/8", 3/16" key & weighs 30 lbs. The Alltrax controller is a 400 amp unit set at 75% output to keep from over-heating the motor. With the pull down on the right you can add an option for Magura or Curtis PB-6 Throttle.

Kit # 2AC - 48 Volt System Series w/ PM Motor



- [Mars ME1004 Motor with Double Brush Set](#)
- [New AXE4855 24-48V 500 amp Controller with fuse](#)
- [MZJ-400 36 or 48 volt Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor](#)

This motor is a permanent magnet DC motor with a double brush set. Efficiency of up to 90%. 200 amps continuous (400 amps for 1 minute) @ 48 volts. 3,360 rpm at 48V unloaded. Size 8" OD, 6.4" long (w/o shaft), Shaft 1" x 3.1", 1/4" key

Kit # 3C - 24 to 48 Volt System PM Series w/ Regen



- [Mars ME0708 Motor](#)
- [New Navitas TPM400 Regen 400 amp Controller with fuse](#)
- [MZJ-200D Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16" terminal](#)

If you are looking for regenerative braking & reversibility without the hassle of having a reversing contactor, then this kit is for you. Motor is rated at 6 hp continuous & 15 hp peak, C-face mount with a 7/8"x 1-5/8", 3/16" key & weighs 30 lbs. The Navitas controller is a 400 amp. With the pull down on the right you can add an option for Magura or Curtis PB-6 throttle.

Kit # 4C - 72 Volt System Series w/ PM Motor



- [Mars ME0709 Motor](#)
- [New AXE 7234 72 V 300 amp Controller with fuse](#)
- [JCA-200 72 volt Solenoid](#)
- [3 amp Diode with Spade Connectors](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16 " terminal](#)

Motor is rated at 8 hp continuous & 18 hp peak, C-face mount with a 7/8"x 1-5/8", 3/16" key & weighs 38 lbs. The Alltrax controller is a 72 volt @ 300 amp. With the pull down on the right you can add an option for Magura or Curtis PB-6 throttle.

Kit # 4AC - 72 Volt System Series w/ PM Motor



- [Mars ME1003 Motor w/ a Double Brushes set](#)
- [New AXE 7245 72V 450 amp Controller with fuse](#)
- [SW200 72 volt Solenoid](#)
- [3 amp Diode with Spade Connectors](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 5/16 " terminal](#)

Motor is rated at 11.5KW (200 amps) continuous, 23KW Peak for 1 minute, C-face mount with a 7/8"x 1-5/8", 3/16" key & weighs 39 lbs. The Alltrax controller is a 72 volt @ 450 amp. With the pull down on the right you can add an option for Magura or Curtis PB-6 throttle.

Kit # 5C - 36 to 48 Volt System SepEx w/ Regen



- [D&D ES-10E-33 Motor](#)
- [New DCX500 500 amp Controller w/ fuse](#)
- [MZJ-400 Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8" terminal](#)

The advantage of this motor & controller combination is the ability to have a regenerative braking & to reverse without the use of a reversing contactor. This motor has an internal fan and more mass than the PM Motors above. It is a bit heavier but with the added mass & internal fan, it allows you to get more peak power without overheating the motor which is a nice feature if you would like to accelerate for a longer period of time such as used in sandrails & off-road buggies. This also makes an excellent boat motor.

Kit # 6C - 48 Volt System SepEx w/ Regen



- [D&D ES-32C-7 Motor](#)
- [New DCX500 500 amp Controller w/ fuse](#)
- [MZJ-400 Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8" terminal](#)

The advantage of this motor & controller combination is the ability to have a regenerative braking & to reverse without the use of a reversing contactor. This motor has an internal fan and more torque than motor above. It is a bit heavier but with the added mass & internal fan, it allows you to get more peak power without overheating the motor which is a nice feature if you would like to accelerate for a longer period of time such as used in sandrails & off-road buggies. This also makes an excellent boat motor.

Kit # 7C - 72 Volt System SepEx w/ Regen



- [D&D ES-32C-7 Motor](#)
- [Navitas TSX500 72Volt 500 amp Controller w/ fuse](#)
- [SW200 72 Volt Solenoid](#)
- [3 amp Diode with Spade Connectors](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8 " terminal](#)

This kit has the same motor as 6C but runs the motor at 72 volts with a Navitas controller.

Kit # 8C - 48 Volt System Series for EV's



- [D&D ES-15-6 Motor](#)
- [New AXE 4855 500 amp Controller w/ fuse](#)
- [MZJ-400 Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [220 or 470 ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8" terminal](#)

For better performance, use this motor with a 72 volt system (Kit # 9).

Kit # 9C - 72 Volt System Series for EV's



- [D&D ES-15-6 Motor](#)
- [New AXE 7245 72V 450 amp Controller w/ fuse](#)
- [SW200 Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8 " terminal](#)

The ES-15-6 is a series wound motor that can run from 48 to 72 volts internally fan cooled & gives you a very good performance for its weight.



Kit # 9AC - 72 Volt System Series for EV's

- [D&D ES-15C-6 Motor](#)
- [New AXE 7245 72V 450 amp Controller w/ fuse](#)
- [SW200 Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8 " terminal](#)



Kit # 10C - 48 Volt System Shunt for ATV's and Boats

- [D&D ES-84C-70 Motor](#)
- [New DCX500 500 amp Controller w/ fuse](#)
- [MZJ-400 Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [470 ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8" terminal](#)

The ES-84C-7 was designed to power the BareFoot Motors' ATV line of products. It is a shunt wound motor designed to run at 48 volts and capable of 70 Ft / Lbs of torque with the DCX500 controller. Internally fan cooled and also comes with a very nice stainless brush guard for forcing air through the motor with external fan.



Kit # 11C - 72 Volt System Shunt

- [D&D ES-84C-7 Motor](#)
- [Navitas TSX500 72Volt 500 amp Controller w/ fuse](#)
- [SW200 72 Volt Solenoid](#)
- [3 amp Diode with Spade Connectors](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 3/8 " terminal](#)

The ES-84C-7 was designed to power the BareFoot Motors' ATV line of products. The motor is labeled 48 volts (capable of 70 ft / lbs of torque) but the manufacturer gave us a field map to run it at 72V. At 72 volts you will get more rpm's out of the motor. Internally fan-cooled and also comes with a very nice stainless brush guard for forcing air through the motor with external fan (external fan not included).



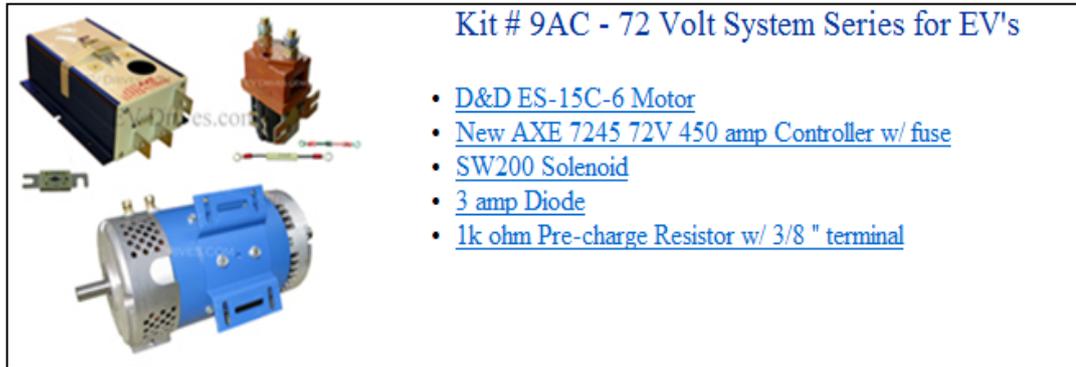
Kit # 12C - 72 to 96 Volts System Series for EV's

- [D&D ES-31B Motor](#)
- [Navitas TSE600-96 96 Volts 600amp Controller w/ fuse](#)
- [SW200 volt Solenoid](#)
- [3 amp Diode](#)
- [1k ohm Pre-charge Resistor w/ 3/18 " terminal](#)

Same as above but offered with the Navitas TSE600 72 to 96 volt controller.

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CADA COMPONENTE DEL KIT SELECCIONADO

KIT # 9AC – 72V

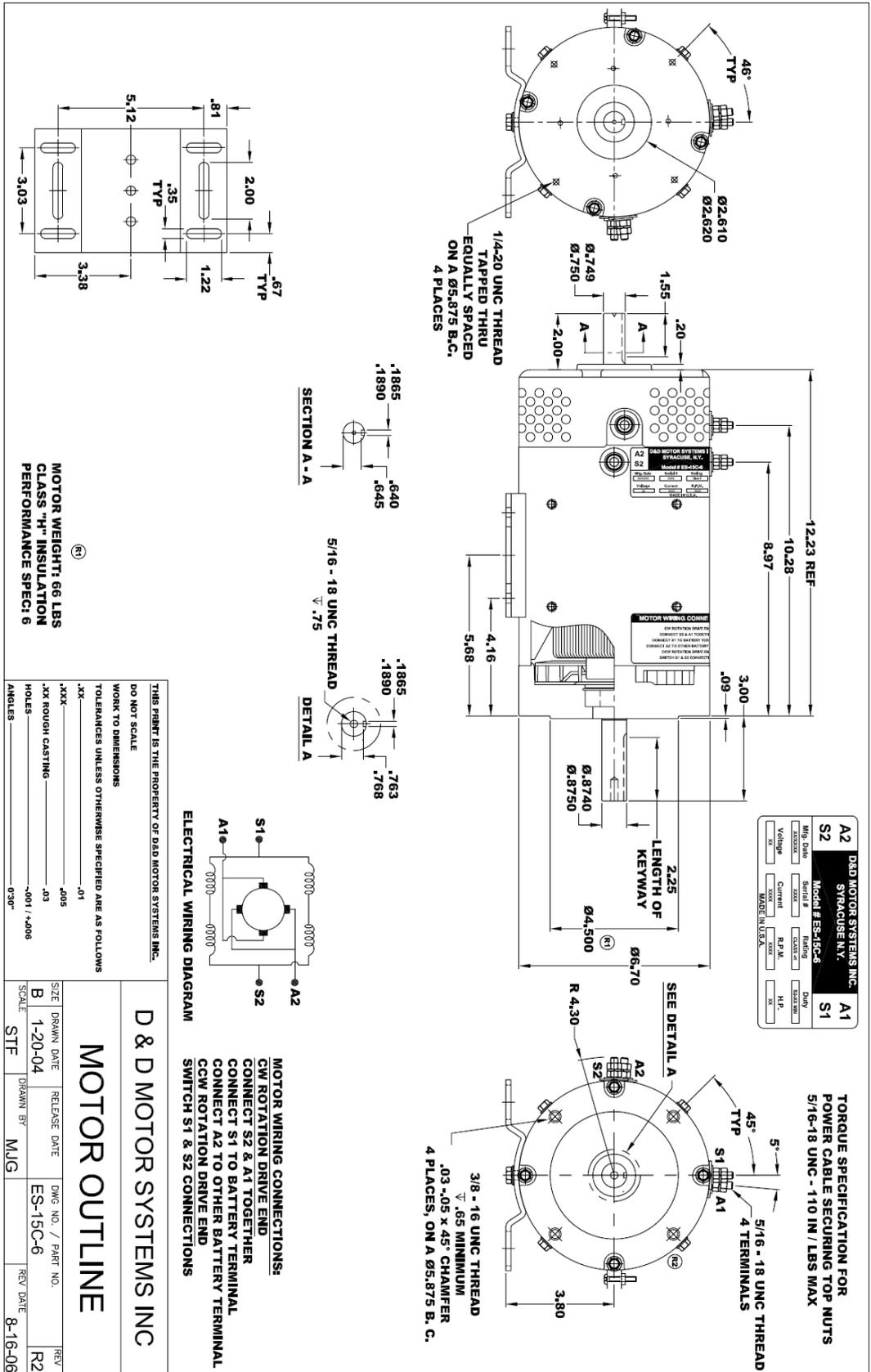


MOTOR ELÉCTRICO D&D ES-15C-6

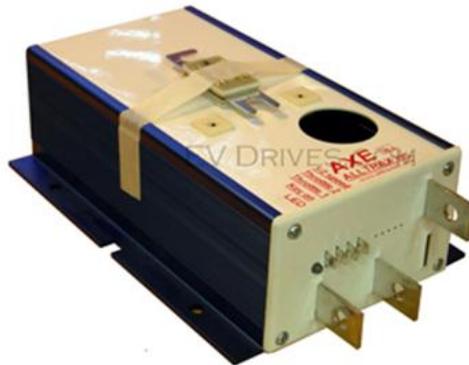


Descripción:

- 48-72 VDC Series Motor
- Mounting Bracket
- Doublé shaft
- 9 HP a 72V continuos Rated
- 65 Ft/lbs Torque Peak
- 7/8 Shaft front
- ¾ Shaft Back
- 6.7" Dia by 12.28" long
- 40 HP Peak



CONTROLADOR ALLTRAX AXE 7245



Descripción:

- 450 Amperios
- 24-72 Voltage Range
- Programmable via RS232 comm port using PC or Laptop
- Integrated anodized heat-sink with multi bolt pattern for flexibility
- Fully encapsulated epoxy fill - environmentally rugged design
- Advanced MOSFET power transistor design for excellent efficiency and power transfer
- 1/2 Speed reverse option and "Plug Brake" options available
- Type: DC "SERIES WOUND" motor controller
- Under-voltage cutback: adjustable
 - 16-60 VDC, preset to 12 volts under your battery pack voltage
- Over-voltage shutdown: adjustable
 - 30-90 VDC (48V models) (60VDC MAX)
- Operating Frequency: 18kHz
- Control voltage range; Key, Throttle and Reverse inputs:
- Reverse Horn Output: 50mA sink max
- Standby Current (Powered Up): < 35Ma
- Throttle Input:
 - ITS (inductive)
 - Resistive 0-5K ohm (+/-10%)
 - 5K-0 ohm (+/-10%)
 - 0-5Volt
 - 6-10Volt
- Operating Temperature: -25C to 75C, 95C shutdown
- Adjustable via Controller Pro software:
- Throttle acceleration / deceleration rate and map profile
- Armature current limit
- Brake current limit
- Under / Over-voltage shutdown
- Half Speed Reverse
- High Pedal Disable
- Plug brake

AXE Models	2444	4834	4844	4845	4855	4865	7234	7245
Current Limit	400A	300A	400A	400A	500A	650A	300A	450A
2 Min. Rating	400A	300A	400A	400A	500A	650A	300A	450A
5 Min Rating	350A	200A	300A	300A	350A	400A	200A	350A
60 Min. Rating	200A	135A	150A	175A	250A	250A	125A	200A

CONTACTOR ALBRIGHT SW200



Descripción:

- Albright SW200 Type DC Contactor
- 400 Amperioss Maximum Thermal Current Rating
- 12, 24, 36, 48, or 72 Volt Coil
- Single Pole, Single Throw, Normally Open
- Weight 2.72 lbs

ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

Foto 1. Arreglo de la Carrocería



Foto 2. Carroceria Terminada



Foto 3. Caja de Cambios



Foto 4. Desarmado de la Caja de Cambios



Foto 5. Limpieza y Mantenimiento de la Caja de Cambios



Foto 6. Caja de Cambios Armada



Foto 7. Mecanizado de la Unión entre Caja y Motor



Foto 8. Acoples de Unión



Foto 9. Montaje de la Caja de Cambios



Foto 10. Acople de la placa de Aluminio en el Motor



Foto 11. Montaje del Motor



Foto 12. Acople entre Motor y Caja



Foto 13. Montaje del Alternador



Foto 14. Conexión de los Componentes



Foto 15. Sistema de Propulsión Eléctrica Terminado

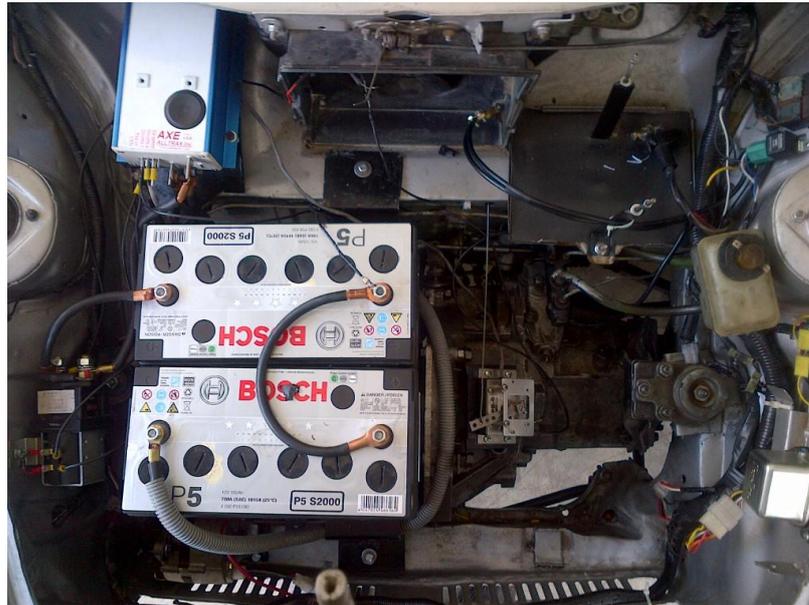


Foto 16. Reportaje en la Prensa



Fabián Bravo y Daniel Crespo, autores del proyecto "Implementación de un sistema de propulsión eléctrica", muestran el vehículo al que le hicieron un arreglo de latonería realizado a la carrocería. PSR