

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“Diseño, implementación y análisis de un  
prototipo de vehículo híbrido”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del título de**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**Presentado por:**

**Jorge Enrique Alcívar García**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año 2006**

## **AGRADECIMIENTO**

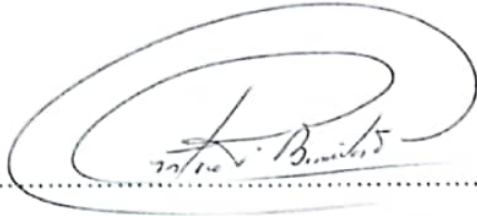
El autor agradece al Ing. Jorge Aragundi, Director de Tesis, Francisco Novillo, Director del Proyecto, quienes con su valiosa ayuda, conocimiento e incentivo me ayudó a desarrollar este trabajo.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron para la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

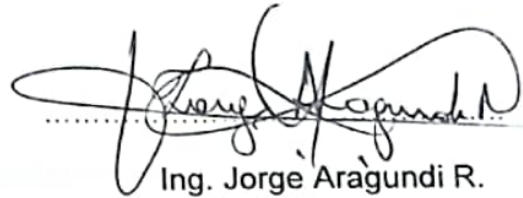
Dedico esta tesis a mis padres, hermanos, mi esposa e hija que estuvieron presentes durante toda mi carrera, y a alguien muy especial que me brindó siempre su apoyo cuyo nombre está en esta tesis.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Gustavo Bermúdez", written over a horizontal dotted line.

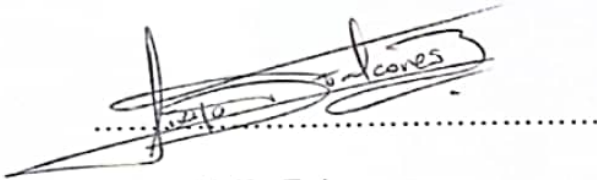
Ing. Gustavo Bermúdez

DECANO DE LA FIEC

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jorge Aragón R.", written over a horizontal dotted line.

Ing. Jorge Aragón R.

DIRECTOR DE TESIS

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Sixifo Falcones", written over a horizontal dotted line.

Ing. Sixifo Falcones

VOCAL PRINCIPAL

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Holger Cevallos U.", written over a horizontal dotted line.

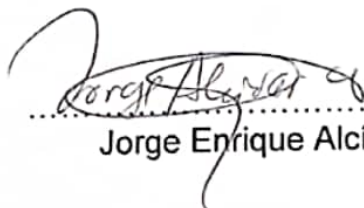
Ing. Holger Cevallos U.

VOCAL PRINCIPAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

  
.....  
Jorge Enrique Alcívar García

## **RESUMEN**

El sistema diseñado se basa en un modelo de vehículo híbrido que posee tanto un motor eléctrico, como un motor de combustión interna. La forma de combinar estos dos motores es mediante una configuración en paralelo donde ambos contribuyen a la tracción del vehículo, es decir funciona con una doble transmisión, una para el motor de combustión interna y otra para el motor eléctrico. El motor de combustión interna asegura la velocidad máxima, buena aceleración y un radio de acción amplio. El motor eléctrico se puede utilizar en la ciudad, alcanzando una velocidad promedio de 40 Km/h. teniendo un radio de acción limitado, consumiendo la energía de las baterías.

Frente a los vehículos tradicionales tienen la ventaja de contaminar menos, al reducir la emisión de gases al medio ambiente y disminuir la contaminación acústica. Al trabajar el motor eléctrico este se alimenta por medio de un banco de baterías, este es recargado al final del día a un tomacorriente casero de 110 v.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURA.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1 GENERALIDADES</b>	
1.1 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA .....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 PROPÓSITO.....	4
1.4 CONTRIBUCIÓN.....	5
1.5 FINANCIAMIENTO.....	6
1.6 METODOLOGÍA.....	6
1.7 PERFIL DE LA TESIS.....	8

## **CAPITULO II**

### **2 AUTOMOVIL HÍBRIDO**

2.1 CARACTERÍSTICA DE LOS AUTOMÓVILES HÍBRIDOS.....	10
2.1.1 Descripción del automóvil híbrido.....	10
2.1.2 Funcionamiento de un automóvil híbrido.....	12
2.2 TIPO DE AUTOS HÍBRIDOS.....	14
2.2.1 Híbrido serie.....	14
2.2.2 Híbrido Paralelos.....	15
2.3 RESUMEN.....	17

## **CAPITULO III**

### **3 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HÍBRIDO**

3.1 VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	19
3.2 MOTOR DE CORRIENTE CONTINÚA TIPO SERIE.....	22
3.2.1. Característica física del motor eléctrico.....	25
3.3 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL MOTOR.....	27
3.3.1. Característica del control de velocidad o troceador.....	29
3.3.2. Modulo de aceleración, características y modo de operación..	40
3.4 DISPOSITIVO DE FUERZA Y CONTROL.....	42
3.5 CARGADOR DE BATERÍAS.....	43
3.6 BATERÍAS.....	45



3.7 SISTEMA DE TRACCIÓN Y SUSPENSIÓN PARA EL MOTOR ELÉCTRICO.....	46
3.8 DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO PARA EL VEHÍCULO HÍBRIDO.....	47
3.8.1 Cálculo de la potencia necesaria para el avance del vehículo.....	48
3.8.2 Cálculo de la capacidad de las baterías requerida para un ciclo urbano.....	53
3.9 RESUMEN.....	60

## **CAPITULO IV**

### **4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HÍBRIDO**

4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS PARA EL MOTOR ELÉCTRICO EN EL VEHÍCULO.....	62
4.2 ACOPLA DEL MOTOR ELÉCTRICO Y LA CAJA DE CAMBIO.....	65
4.3 ACOPLA DEL SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN Y TRACCIÓN.....	67
4.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE CONTROL ELECTROMECAÁNICO PARA LA CAJA DE VELOCIDAD.....	69
4.4.1 Análisis de construcción y modo de operación del dispositivo...70	
4.4.2 Diseño implementación del circuito electrónico de control para el dispositivo electromecánico.....	87

4.5 PUESTA A PUNTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO.....	97
4.6 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE FUERZA Y CONTROL PARA EL MOTOR ELÉCTRICO.....	100
4.6.1 Modo de operación del sistema eléctrico.....	101
4.7 MONTAJE Y CABLEADO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO EN EL VEHÍCULO.....	102
4.8 RESUMEN.....	104

## **CAPITULO V**

### **5 PRODUCTO FINAL**

5.1 PRUEBA DE AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO.....	106
5.2 CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE LAS BATERÍAS.....	110
5.2.1 Carga de batería.....	111
5.2.2 Normas para la utilización de las baterías.....	113
5.2.3 Factores que afecta la duración de las baterías.....	114
5.2.4 Reglas para el servicio de las baterías.....	115
5.3 SEGURIDAD EN EL VEHÍCULO HÍBRIDO.....	116
5.3.1 Seguridad contra sacudidas eléctricas.....	116
5.3.1.1 Voltaje de seguridad.....	117
5.3.1.2 Protección contra el contacto directo.....	118

5.3.1.3 Protección frente a contacto indirecto.....	119
5.3.2 Propiedad del cable para carga del vehículo híbrido.....	122
5.3.2.1 Configuración de conexión del cable.....	122
5.4 CARACTERÍSTICA TÉCNICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO.....	125
5.5 MODO DE OPERACIÓN GENERAL DEL VEHÍCULO HÍBRIDO.....	126
5.6 COSTO DE PRODUCCIÓN.....	127
5.7 RESUMEN.....	130

**CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y POSIBLES MEJORAS AL SISTEMA**

**ANEXOS A.**

**DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.**

A.1 MOTORES ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN PARA AUTOS.....	138
A.1.1 Tipos de motores de corriente continúa.....	139
A.1.2 Tipos de motores de corriente alterna.....	143
A.2 UNIDAD DE CONTROL Y ETAPA DE POTENCIA.....	146
A.2.1 Control de un motor de corriente continúa.....	146
A.2.2 Control de un motor de corriente alterna.....	147
A.3 BATERÍAS.....	148
A.3.1 Baterías existente.....	153

## **ANEXO B.**

### **ANÁLISIS MATEMÁTICOS PARA LAS PRESTACIONES EN VEHÍCULOS**

B.1 NEUMÁTICOS.....	158
B.2 RESISTENCIA AL AVANCE.....	161
B.3 POTENCIA NECESARIA.....	164
B.4 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.....	165
B.5 CURVAS CARACTERÍSTICA.....	168
B.5.1 Curvas característica del motor térmico-eléctrico.....	168
B.5.2 Curvas de resistencia al avance.....	174
B.5.3 Curva de la caja de cambio.....	176
B.6 PASOS A SEGUIR PARA DETERMINAR EL DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	177
B.7 ESTUDIO DE CICLOS DE FUNCIONAMIENTO.....	181

## **ANEXO C**

### **GLOSARIO DE TERMINOS**

## **ANEXO D**

### **SIMBOLOGIA**

## **ANEXO E**

### **ABREVIATURA**

### **BIBLIOGRAFIA**

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

### CAPITULO II

<b>Figura 2.1:</b> Descripción de los diferentes componentes en un vehículo híbrido.....	11
<b>Figura 2.2:</b> Esquema simplificado de un automóvil híbrido.....	13
<b>Figura 2.3:</b> Esquema con motor integrado en cada rueda.....	14
<b>Figura 2.4:</b> Esquema simplificado de un automóvil híbrido serie.....	15
<b>Figura 2.5:</b> Diferentes configuraciones tipo paralelo.....	17

### CAPITULO III

<b>Figura 3.1:</b> Característica física del vehículo SEAT 127.....	20
<b>Figura 3.2:</b> Circuito equivalente de un motor DC serie.....	22
<b>Figura 3.3:</b> Curvas características del motor serie.....	25
<b>Figura 3.4:</b> Esquema de un motor serie acoplado a un diferencial.....	26
<b>Figura 3.5:</b> Partes del motor de corriente continua tipo serie.....	27
<b>Figura 3.6:</b> Esquema básico de un convertidor DC/DC tipo Chopper.....	28
<b>Figura 3.7:</b> Controlador de velocidad.....	29
<b>Figura 3.8:</b> Diagrama de bloques del controlador de velocidad.....	30
<b>Figura 3.9:</b> Simulación del circuito de control de velocidad.....	32
<b>Figura 3.10:</b> Voltaje troceado del controlador de velocidad del simulador....	32

<b>Figura 3.11:</b> Simulación del voltaje entregado al motor.....	33
<b>Figura 3.12:</b> Voltaje troceado del controlador a baja velocidad.....	34
<b>Figura 3.13:</b> Voltaje troceado del controlador a media velocidad.....	34
<b>Figura 3.14:</b> Voltaje troceado del controlador a velocidad máxima.....	35
<b>Figura 3.15:</b> Diagrama de bloque del circuito de control del troceador.....	35
<b>Figura 3.16:</b> Características física del modulo de aceleración.....	41
<b>Figura 3.17:</b> Características física del contactor.....	42
<b>Figura 3.18:</b> Corriente rectificadas entregada a las batería.....	44
<b>Figura 3.19:</b> Partes que conforman el cargador de baterías.....	44
<b>Figura 3.20:</b> Esquema de conexión de las baterías.....	45
<b>Figura 3.21:</b> Esquema del acople de los componentes de tracción.....	47
<b>Figura 3.22:</b> Área frontal del SEAT.....	50
<b>Figura 3.23:</b> Resistencia a la pendiente del SEAT.....	51
<b>Figura 3.24:</b> Ciclo del vehículo .....	54

## **CAPITULO IV**

<b>Figura 4.1:</b> Componentes que conforman el tren trasero.....	63
<b>Figura 4.2:</b> Esquema de construcción del chasis.....	64
<b>Figura 4.3:</b> Motor eléctrico y caja de velocidad.....	66
<b>Figura 4.4:</b> Motor y caja de velocidad montado en el chasis.....	67
<b>Figura 4.5:</b> Bases para los amortiguadores.....	67
<b>Figura 4.6:</b> Sistema de tracción vista desde abajo del vehículo.....	68

<b>Figura 4.7:</b> Partes del sistema de tracción del vehículo.....	69
<b>Figura 4.8:</b> Partes del dispositivo electromecánico.....	70
<b>Figura 4.9:</b> Vista frontal del dispositivo.....	71
<b>Figura 4.10:</b> Piezas mecánicas del dispositivo electromecánico.....	72
<b>Figura 4.11:</b> Curva de magnetización de varios materiales.....	75
<b>Figura 4.12:</b> Esquema del carrete de la bobina.....	80
<b>Figura 4.13:</b> Proceso de embobinada y ensamblaje del dispositivo.....	86
<b>Figura 4.14:</b> Vista del dispositivo y lugar donde se lo ubico.....	86
<b>Figura 4.15:</b> Proceso de pruebas del dispositivo.....	87
<b>Figura 4.16:</b> Esquema del movimiento para sincronizar las velocidades.....	87
<b>Figura 4.17:</b> Diagrama de bloque del sistema de control.....	89
<b>Figura 4.18:</b> Circuito de selección de cambios.....	90
<b>Figura 4.19:</b> Esquema del bloque de control de secuencia.....	91
<b>Figura 4.20:</b> Diagrama de estado del circuito.....	92
<b>Figura 4.21:</b> Esquema del bloque de reloj.....	94
<b>Figura 4.22:</b> Circuito de activación de los electroimanes.....	95
<b>Figura 4.23:</b> Motor de combustión interna del vehículo híbrido.....	97
<b>Figura 4.24:</b> Cuatro tiempo del motor de combustión interna.....	98
<b>Figura 4.25:</b> Vehículo híbrido antes y después de pintar.....	99
<b>Figura 4.26:</b> Esquemático del circuito de fuerza y control para el motor eléctrico.....	100
<b>Figura 4.27:</b> Esquema de conexión eléctrica en el vehículo.....	103

<b>Figura 4.28:</b> Fotos del circuito implementado en el vehículo.....	103
<b>Figura 4.29:</b> Fotos del modulo de aceleración en el vehículo.....	104

## **CAPITULO V**

<b>Figura 5.1:</b> Proceso de carga de las baterías.....	107
<b>Figura 5.2:</b> Aproximación de la curva de carga de las batería.....	108
<b>Figura 5.3:</b> Circuito eléctrico en el vehículo.....	120
<b>Figura 5.4:</b> Derivación con el bastidor. Batería en corto circuito.....	121
<b>Figura 5.5:</b> Derivación con el bastidor. Peligro de electrocución.....	121
<b>Figura 5.6:</b> Configuración del cable de carga en el vehículo.....	123

## **ANEXO A**

<b>Figura A.1:</b> Motores de corriente continúa.....	139
<b>Figura A.2:</b> Curvas características del motor serie.....	141
<b>Figura A.3:</b> Curva característica del motor excitación independiente.....	141
<b>Figura A.4:</b> Comparación de la características mecánicas de tres tipos de motores.....	142
<b>Figura A.5:</b> Grafica característica del motor jaula de ardilla.....	145
<b>Figura A.6:</b> Esquema simplificado del control para un motor de corriente alterna.....	148
<b>Figura A.7:</b> Composición de la batería.....	149
<b>Figura A.8:</b> Característica entre tipos de la batería.....	155



## **ANEXO B**

<b>Figura B.1:</b> Leyenda de denominación de neumático.....	158
<b>Figura B.2:</b> Esquema para la definición de la superficie frontal.....	163
<b>Figura B.3:</b> Determinación de la pendiente superable.....	164
<b>Figura B.4:</b> Curva característica potencia-par de un motor térmico y potencia-par-resistencia de un motor eléctrico.....	169
<b>Figura B.5:</b> Diferencia de las curvas de par para motores eléctricos y térmicos.....	170
<b>Figura B.6:</b> Potencia-par para un vehículo eléctrico con caja de cambios mecánica en dos marchas.....	171
<b>Figura B.7:</b> Curvas de consumo y potencia frente a la velocidad en un motor eléctrico con una transmisión mecánica en dos velocidades.....	173
<b>Figura B.8:</b> Curva esfuerzo velocidad con control electrónico.....	174
<b>Figura B.9:</b> Curva esfuerzo velocidad con caja automática en tres velocidades y control de campo.....	174
<b>Figura B.10:</b> Curva de resistencia al avance en función de la velocidad y la pendiente.....	176
<b>Figura B.11:</b> Curva representativa de las revoluciones del motor en función de la velocidad adquirida para cada una de las marcha.....	176
<b>Figura B.12:</b> Curva velocidad vs tiempo.....	177
<b>Figura B.13:</b> Ciclo de carretera del vehículo.....	182

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla I.</b> Características técnicas del vehículo de combustión.....	21
<b>Tabla II.</b> Características de potencia del vehículo de combustión.....	53
<b>Tabla II.</b> Características físicas del electroimán.....	75
<b>Tabla III.</b> Detalle de la f.m.m. parciales en el circuito magnético.....	78
<b>Tabla IV.</b> Datos de los alambres esmaltados de calibre similar.....	79
<b>Tabla V.</b> Velocidades del vehículo en modo eléctrico.....	106
<b>Tabla VI.</b> Características técnicas del vehículo híbrido.....	125
<b>Tabla VII.</b> Costo de materiales y equipos utilizados.....	129

## INTRODUCCIÓN

Un vehículo híbrido posee tanto un motor eléctrico como uno de combustión interna. Este tipo de vehículo es extremadamente limpio, silencioso y resulta ideal para el tráfico urbano. Además como el auto se alimenta de energía eléctrica, el uso masivo de los vehículos eléctrico reduciría la demanda de petróleo.

¿Porque un vehículo híbrido-eléctrico?

En nuestro país aun no se ha desarrollado este tipo de vehículos, de aquí la idea de diseñar un prototipo de vehículo híbrido-eléctrico que sea económico y que tenga la facilidad de adaptarse a las necesidades particulares. Este vehículo híbrido (VH) utiliza un motor eléctrico además de un motor convencional de explosión y un banco de baterías. El motor eléctrico se conecta directamente a una transmisión. Cada batería es similar en tamaño y forma a la que se encuentra en el mercado, pero tiene más potencia. El pedal acelerador del vehículo está conectado mediante un enlace a un controlador eléctrico, presionando el acelerador ligeramente, enviaremos energía al motor eléctrico en proporción a la presión que ejerzamos sobre el pedal.

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES**

En este capítulo hacemos un análisis general donde se presenta la justificación del porque construir un vehículo híbrido en nuestro país, las ventajas que representaría el uso de estos vehículos para la población, la contribución que daría a la ESPOL y a la facultad de electricidad y computación el desarrollar este prototipo, la metodología que se siguió para su implementación y una breve explicación de cómo esta propuesta fue una de las ganadoras en un concurso denominado proyectos semilla organizado por el CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA Y TECNOLOGICA (CICYT).

#### **1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

Actualmente el transporte depende de su mayor parte de energía fósil, sobre todo del petróleo, cuyos derivados cubren el 98% de las

necesidades energéticas del sector. Por otro lado, buena parte de este consumo energético tiene lugar en las zonas urbanas, donde una cuarta parte del desplazamiento no supera los 3 Km y el consumo de combustible se ve incrementado por el elevado número de movimiento de arranque y frenada. Además, el 24% de la población vive expuesta a niveles de ruido originado por el tráfico, superior a los 65 db que es el límite de tolerancia normalmente aceptado. Así pues, el tráfico en las ciudades origina problemas de contaminación ambiental, exceso de ruido y secuelas en la salud de las personas. Es en este contexto que los vehículos con motores de emisión cero pueden colaborar en la mejora de nuestro entorno y la salud de las personas.

## **1.2. OBJETIVOS**

El objetivo que se pretende conseguir al desarrollar esta tesis es:

- Familiarizar a los ingenieros y técnicos con el diseño de sistemas interdisciplinario desde el punto de vista mecánico, eléctrico y electrónico.
- Concientizar a los usuarios de automóviles en el país de la importancia de cuidar el medio ambiente y promover el uso de vehículos de cero emisión.

- Incentivar el desarrollo de la tecnología de los vehículos amigables con el medio ambiente.
- Conocer la efectividad de un automóvil eléctrico, comprender el funcionamiento de un automóvil híbrido y los componentes que los conforman.
- Proponer un modelo de configuración de auto híbrido y estudiar el modelo propuesto.
- Hacer uso para este propósito, de la tecnología de los componentes y motores para vehículos eléctricos, que en nuestro país no esta siendo aprovechado, pero que ofrece una variedad de características muy útiles en lo que respecta a recursos como: autonomía, capacidad, confiabilidad y reducción de costo, que a veces es una solución al problema del parque automotor.

### **1.3. PROPÓSITO**

El propósito que se pretende conseguir con el desarrollo de este proyecto es:

- Comprobar la viabilidad de la conversión de vehículos convencionales a híbridos-eléctricos a baterías.

- Seleccionar un vehículo convencional susceptible de ser modificado para que funcione además de su motor de combustión interna y el tanque de gasolina, con un motor eléctrico y un banco de baterías como medio de propulsión y almacenamiento de energía limpia.
- Realizar la transformación mencionada y evaluar las ventajas y desventajas de la misma.
- Verificar la efectividad de los sistemas eléctricos y mecánicos, analizar su comportamiento y particularidades.
- Realizar la implementación del prototipo de vehículo híbrido con componentes existente en el mercado ecuatoriano.

#### **1.4. CONTRIBUCIÓN**

El desarrollo de esta tesis podría contribuir a la elaboración de futuros proyectos interdisciplinario entre las facultades de eléctrica y mecánica, ya que se está incorporando tecnología muy sencilla para dar soluciones de ingeniería tales como; controladores para diferentes tipos de motores tanto de corriente continua como alterna, así como diferentes tipos de baterías de alta energía diseñada para estas aplicaciones.

Los estudiantes de la facultad de ingeniería eléctrica se beneficiarían en gran parte debido a que podrían utilizar el vehículo para probar los diferentes tipos de controladores y componentes eléctricos diseñados con el fin de mejorar el prototipo.

## **1.5 FINANCIAMIENTO**

La propuesta para diseñar y construir un prototipo de vehículo híbrido, fue planteada al Centro de Investigación Científica y Tecnología de la ESPOL (CICYT) y mediante una selección de proyectos semillas, esta propuesta fue una de las ganadoras. De esta manera se consiguió el financiamiento necesario para el desarrollo de este prototipo.

## **1.6. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del proyecto “vehículo híbrido”, se siguió la siguiente metodología:

- Caracterización del vehículo de combustión interna.
- Cálculos de dimensionamiento energético en el vehículo.
- Diseño de la carrocería, suspensión y tracción para el motor eléctrico.



- Diseño eléctrico de fuerza y control para el vehículo.
- Selección, cotización y compra de los componentes eléctricos.
- Selección, cotización y compra de los componentes y equipos mecánicos.
- Construcción de piezas mecánicas para el vehículo híbrido.
- Construcción de la carrocería, chasis, suspensión y tracción donde ira el motor eléctrico.
- Acople del motor eléctrico con una caja de 5 velocidades.
- Acople y montaje de los componentes de tracción en el vehículo.
- Diseño y construcción de un sistema de embrague electrónico y un dispositivo electromecánico para la caja de velocidades.
- Montaje de los componentes eléctricos.
- Puesta a punto del motor de combustión interna, enderezada y pintada del vehículo.
- Pruebas de funcionamiento del vehículo híbrido en vacío.
- Pruebas de funcionamiento del vehículo híbrido en pista.
- Pruebas diversas:
  - Velocidad
  - Recorrido
  - Consumo

## 1.7. PERFIL DE LA TESIS

El proyecto de tesis se encuentra estructurado en cinco capítulos de los cuales el **capítulo 1** describe la justificación del porqué desarrollar este prototipo, sus objetivos, propósitos, la contribución que aportaría a su entorno, la metodología a seguir y la institución que lo financio.

Una noción de lo que son los vehículos híbridos-eléctricos y sus partes se explica en el **capítulo 2**, así como su modo de funcionamiento y la tecnología que se utiliza para este fin.

El **capítulo 3** presenta un análisis, característica y modo de operación de los componentes principales del proyecto así como la justificación teórica y cálculos para el dimensionamiento energético del vehículo.

En el **capítulo 4** se describe el proceso de diseño e implementación del vehículo híbrido, así como el producto ya terminado.

El **capítulo 5** presenta las características técnicas, modo de operación, pruebas realizadas, normas de seguridad, características de carga de las baterías y un desglose de costos del producto final.

## **CAPÍTULO 2**

### **AUTOMÓVIL HÍBRIDO**

Todos deben prepararse para el vehículo del futuro, los llamados vehículos eléctricos. En la actualidad se esta desarrollando esta tecnología en los países desarrollado, una de la tecnología que se usa hoy en día es el vehículo híbrido. El sistema híbrido incorpora dos tipos de propulsión (uno eléctrico y otro convencional a gasolina) en el mismo vehículo, pudiéndose conjugar las ventajas de ambos. Este sistema proviene de la inexistencia de sistemas de almacenamiento de energía adecuado, que posean una alta capacidad, elevada potencia específica y que sea a su vez ligero y poco voluminoso. De aquí que los vehículos híbridos se los consideran el paso intermedio para pasar del vehículo de combustión interna a uno totalmente eléctrico.

## **2.1. CARACTERÍSTICA DEL LOS AUTOMÓVILES HÍBRIDOS**

Un vehículo híbrido se caracteriza porque para su propulsión utiliza una combinación de dos sistemas que a su vez consume fuentes de energías diferentes. Esto es un motor de combustión interna y un motor eléctrico, alimentado por baterías. Al conjugar los dos sistemas, se consigue reducir de forma significativa la contaminación, ya que los vehículos tradicionales originan problemas de contaminación ambiental, exceso de ruido y secuelas en la salud de las personas.

### **2.1.1. Descripción del automóvil híbrido**

En la descripción de los componentes de un vehículo híbrido tenemos:

- Sistema de motorización.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de control.
- Sistema de transmisión.
- Carrocería.
- Sistema de elementos auxiliares.

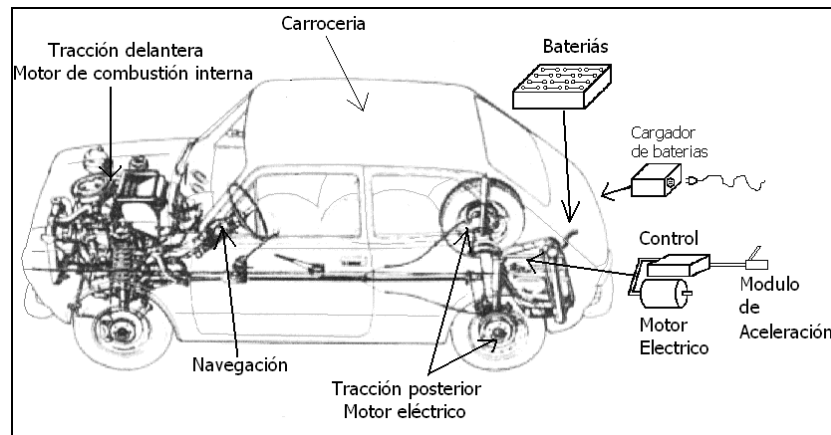


Figura 2.1 Descripción de los diferentes componentes en un vehículo híbrido

El sistema de motorización esta formado por el motor que acciona al vehículo. Este es un motor de combustión interna, (caso de automóviles híbridos) y un motor eléctrico cuyo tipo será elegido en función de las prestaciones del vehículo y del control seleccionado.

Para el sistema de alimentación tenemos, las baterías de tracción y el cargador la cual influye en la autonomía y potencia del vehículo. El peso y volumen de las baterías influye en las prestaciones del vehículo y en el caso del cargador se podría o no incorporar a este.

El sistema de control esta ligado a la elección del motor que se haya seleccionado, este suministra la energía necesaria al motor

y regula su funcionamiento, en velocidad, potencia y par según las circunstancias lo requiera.

El sistema de transmisión puede ser como el de un automóvil convencional tales como; diferencial, suspensión, caja de cambios, etc. y dependiendo de control es posible eliminar componentes, es decir con un control electrónico es innecesaria la caja de cambios mecánica y la marcha atrás.

La carrocería puede ser de una sola pieza (carrocería compacto) o bastidor tubular con cerramientos de materiales ligeros.

Los sistemas auxiliares son: iluminación, señalización, circuitos de seguridad, interior, acabado, sistema de refrigeración, calefacción, sistema de navegación, baterías auxiliares, etc.

### **2.1.2. Funcionamiento de un automóvil híbrido**

El vehículo híbrido esta formada por dos etapas, la parte que corresponde al motor de combustión interna, la cual tiene como señal de entrada; el acelerador, freno, palanca de velocidades y señal de encendido. Para la etapa eléctrica tenemos la unidad

de control que es la que gobierna a la etapa de potencia a través de la batería que alimenta al motor. El motor ya sea de alterna o de continua se conecta a una caja de velocidades y este mueve el eje de la transmisión por medio de un diferencial que hace llegar el movimiento a las ruedas, las órdenes la envía el modulo de aceleración la cual por medio de la unidad de control dosifica la energía para el motor. En la figura 2.2 se muestra un diagrama de bloques simplificado del vehículo híbrido.

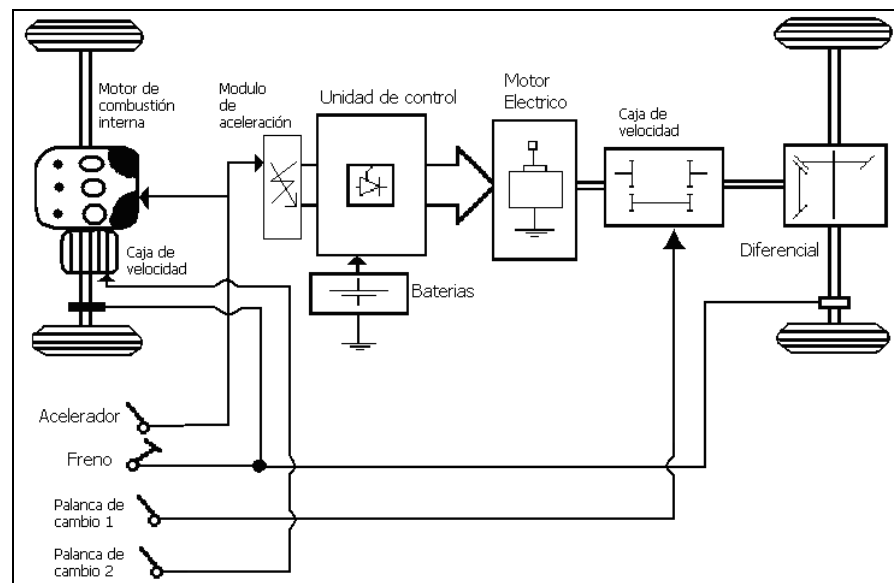


Figura 2.2 Esquema simplificado de un automóvil híbrido

Para la parte eléctrica se podría establecer una segunda división, es decir colocar motores eléctricos en cada rueda y la

transmisión se realizaría por control electrónico, como se muestra en la figura 2.3.

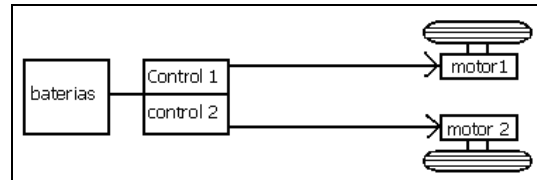


Figura 2.3 Esquema con motor integrado en cada rueda

## 2.2. TIPO DE AUTOS HÍBRIDOS

Para la construcción de un vehículo híbrido, se lo puede hacer combinando los motores eléctricos y el de combustión de varias formas, entre ellas tenemos:

- configuración serie
- configuración paralelo

### 2.2.1. Híbrido serie

En esta configuración, el motor de combustión mueve un generador que recarga la batería, que es la que alimenta al motor eléctrico encargada de la tracción del vehículo.

Los tres componentes; motor de combustión interna, generador-baterías y motor eléctrico, están en serie con lo que se consigue



una transformación de energía mecánica (la del motor de combustión) en energía eléctrica en el generador-batería, la cual posteriormente va a ser de nuevo convertida en energía mecánica debido al motor eléctrico. En la figura 2.4 se muestra un esquema de la configuración serie.

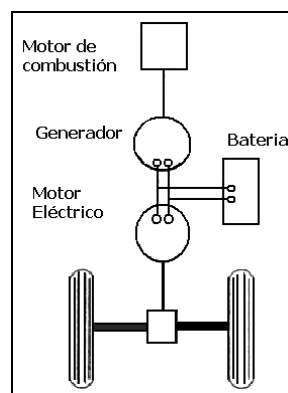


Figura 2.4 Esquema simplificado de un automóvil híbrido serie

### 2.2.2. Híbrido paralelo

Mediante este método de configuración, ambos motores transmiten la energía mecánica directamente al eje de tracción, pudiéndose además suprimir el generador. Dentro de la configuración en paralelo tenemos cuatro posibilidades de conexión.

La más común es una combinación de pares por medio de una disposición de dos ejes (caso A) como se aprecia en la figura 2.5.

Otra posibilidad consiste en unir a un sólo eje ambos motores (caso B) mediante un sumador de par, en donde cada motor contribuye al par total.

Otra posibilidad (caso C- sumador de velocidades) consiste en generar la energía necesaria para el movimiento a través de la combinación de la velocidad rotacional de ambos motores por medio una caja diferencial donde se conecta los dos motores.

Otra posibilidad es en la que no hay conexión mecánica entre ellos (caso D) y que se considera una conexión tipo paralelo, porque ambos motores pueden contribuir en paralelo a la fuerza de tracción requerida por el vehículo.

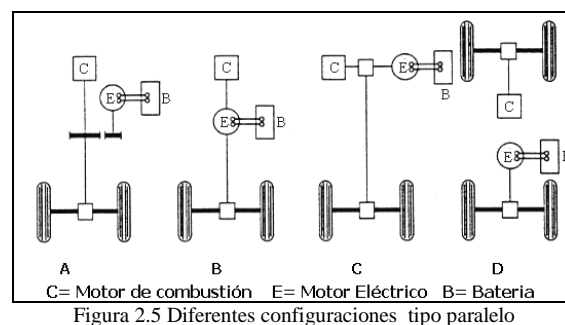


Figura 2.5 Diferentes configuraciones tipo paralelo

## 2.3. RESUMEN

Un vehículo híbrido es aquel que utiliza para su propulsión dos fuentes de energía diferentes, entre ellas tenemos un motor de combustión interna y un motor eléctrico. Se caracteriza por ser un vehículo no contaminante, pues durante la utilización del vehículo en tráfico urbano se utiliza la tracción eléctrica evitando con esto la emisión de gases y ruidos. Su consumo es menor que el de un automóvil convencional, pues el motor de combustión solo podría ser usado en carreteras donde las velocidades son altas y en donde se requiere de mayor potencia.

Para combinar estos dos motores, se lo hace de dos maneras, entre ellas tenemos la configuración serie y paralelo. En la configuración serie el motor de combustión es de menor potencia y solo se lo usa para hacer girar el generador, encargada de energizar al motor eléctrico y cargar las baterías. En esta configuración solo el motor eléctrico se conecta a la tracción. En la configuración paralelo, ambos motores contribuyen a la tracción del vehículo. Esto es mediante dispositivos mecánicos donde ambos motores se conectan para contribuir al par total requerido.

La etapa eléctrica de un vehículo híbrido, esta formado por la unidad de control cuya función es entregar energía al motor eléctrico de manera dosificada, modulo de aceleración que ordena a la unidad de control cuanta energía entregar al motor, un banco de baterías encargada de almacenar energía y alimentar al motor eléctrico por medio de la unidad de control, además puede llevar una caja de cambio y un diferencial, la cual puede ser suprimido pues la marcha atrás se la puede conseguir mediante un cambio de giro del motor eléctrico.

El diseño del vehículo híbrido propuesto como tema de tesis, esta basado en la configuración paralelo con tracción independiente como se muestra en la figura 2.5 caso D. En esta configuración el motor a gasolina acciona la tracción delantera y el motor eléctrico acciona el eje posterior. En la figura 2.2 se muestra el diagrama de bloques del prototipo a implementar.

## **CAPITULO 3**

### **ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HÍBRIDO**

En este capitulo se hace un análisis físico y técnico de los componentes principales a utilizar para la implementación del prototipo, siguiendo el esquema del vehículo híbrido configuración paralelo mostrado en el diagrama de bloques de la figura 2.2. Además se hace un estudio de dimensionamiento energético del vehículo.

#### **3.1. VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA**

El vehículo de combustión interna que se eligió para la conversión a híbrido, es un SEAT 127 versión 4 puertas debido a las siguientes características:

- Carrocería liviana y de material resistente capas de soportar modificaciones.

- Vehículo de tracción delantera comandada por el motor de combustión interna, ideal para nuestro propósito.
- Espacio trasero suficiente, ideal para colocar la nueva tracción eléctrica, el conjunto de baterías y los componentes eléctricos de fuerza y control.

Este vehículo será reconstruido y transformado de tal manera que en la parte trasera ira la nueva tracción eléctrica y en el maletero se colocara las baterías y los circuitos de fuerza y control para el motor eléctrico. En la figura 3.1 se muestra la vista frontal, lateral y superior del vehículo, con sus medidas en milímetros y en la tabla I se muestra las características técnicas del vehículo [1].

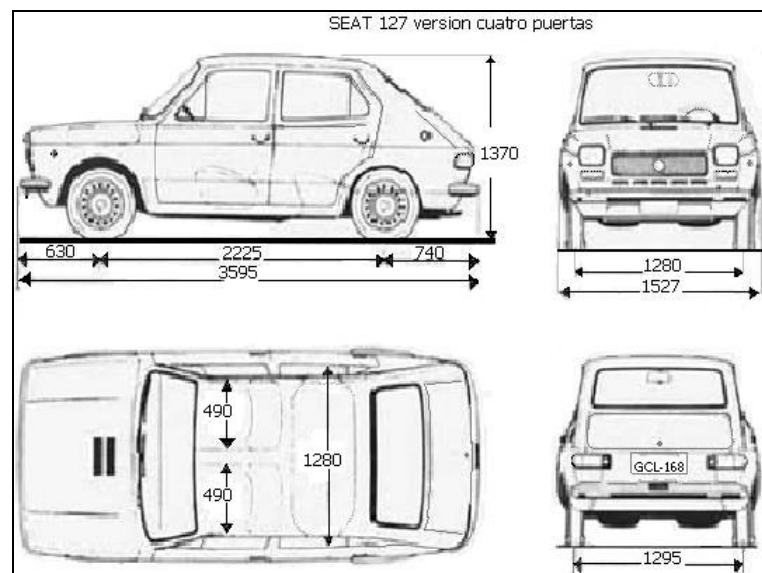


Figura 3.1 Característica física del vehículo SEAT 127

Tabla I. Características técnicas del vehículo de combustión

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>SEAT 127 LS</b>
Tipo de motor	Gasolina, 4 cilindros en línea
Cilindrada total	903 cm <sup>3</sup>
Distribución	8 válvulas, 1 árbol de levas lateral movido por cadena
Refrigeración	Líquida, con ventilador electromagnético
Lubricación	Bomba accionada por árbol de levas
Cambio	Manual de 4 velocidades más marcha atrás
Reducción del grupo	4,692
Tipo de tracción	Delantera
Suspensión delantera	Independiente, McPherson con muelle y amortiguador
Suspensión trasera	Independiente, con ballesta transversal y amortiguador
Tipo de neumáticos	165 SR 13
Frenos delanteros / traseros	Disco / Tambor
Largo	3.595mm
Ancho	1.527mm
Alto	1.370mm
Peso	750 Kg
Capacidad del depósito	30 litros
<b>RENDIMIENTOS</b>	
Potencia máxima	45 CV a 6.200 rpm
Velocidad máxima	140 Km/h
Consumo medio	7,6 l/100 Km
<b>Peso</b>	
Peso sin carga.....Kg.	720
Carga útil.....Kg.	5 personas + 50 Kg. De equipaje
Peso total a plena carga.....Kg.	1120
<b>Velocidad máxima a plena carga</b>	
En primera velocidad	40 km/h
En segunda velocidad	70 km/h
En tercera velocidad	105 Km/h
En cuarta velocidad	140 Km/h
En marcha atrás	40 Km/h

[1] Para obtener mayor información sobre las características del vehículo, revisar manual técnico del SEAT 127, pagina de Internet [www. Wefer.com/SEAT](http://www.Wefer.com/SEAT).

### 3.2. MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA TIPO SERIE

Después de estudios sobre los diferentes tipos de motores eléctricos y considerando la potencia requerida para mover al vehículo, se decidió utilizar un motor de corriente continua tipo serie con una potencia de 10 hp, 36 voltios y de 1400 r.p.m, debido al gran par de arranque que ofrece y a lo económico que resulta su unidad de control de velocidad.

Este motor se llama de corriente continua tipo serie, porque la intensidad que pasa por el inducido es la misma que pasas por el inductor y conforme ésta se incrementa lo hace también el flujo, es decir que el devanado de campo o excitación se conecta en serie con la armadura.

Los motores son dispositivos igualadores de torque. Esto significa que los motores producen solamente la cantidad de torque necesario para girar la carga a la velocidad requerida. El circuito equivalente de un motor serie es como se muestra en la figura 3.2.

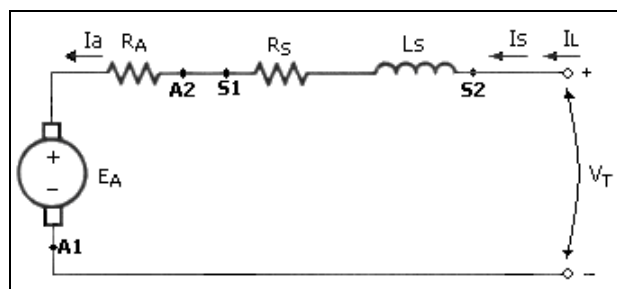


Figura 3.2 Circuito equivalente de un motor DC serie



Donde:

$$I_a = I_s = I_L$$

$$V_T = E_A + I_a(R_A + R_S) \quad (3.1)$$

Las curvas características que muestran el comportamiento de un motor de corriente continua tipo serie, se la puede deducir de las ecuaciones generales que definen el comportamiento de un motor de corriente continua, independiente del tipo de excitación. Si consideramos las ecuaciones:

$$E_A = K \cdot \phi \cdot \omega \quad (3.2)$$

$$T_e = K \cdot I_L \cdot \phi \quad (3.3)$$

$$\omega = \frac{(V_T - I_L \cdot R)}{K \cdot \phi} \quad (3.4)$$

El torque inducido para este tipo de motores en función de la corriente es:

$$\phi = K_s \cdot I_a$$

$$T_e = K \cdot I_a \cdot \phi$$

$$T_e = K \cdot K_s \cdot I_a^2$$

Encontrándose que el torque es directamente proporcional al cuadrado de la corriente.

Encontrando el torque inducido en función del flujo tenemos:

$$T_e = \frac{K \cdot \phi^2}{K_s}$$

Despejando el flujo,

$$\phi = \sqrt{\frac{K_s}{K} T_e}$$

Si sustituimos las ecuaciones anteriores en la ecuación 3.1, nos queda:

$$V_T = E_A + I_a (R_A + R_S)$$

$$V_T = K\phi\omega + \sqrt{\frac{T_e}{K \cdot K_s}} (R_A + R_S)$$

$$V_T = K\omega \sqrt{\frac{K_s}{K}} \cdot \sqrt{T_e} + \sqrt{\frac{T_e}{K \cdot K_s}} (R_A + R_S)$$

De donde podemos despejar  $\omega$ , por lo que nos queda:

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{K \cdot K_s} \sqrt{T_e}} - \frac{R_A + R_S}{K \cdot K_s}$$

Encontrándose la velocidad en función del torque. De la misma manera se puede encontrar la velocidad en función de la corriente de armadura y el torque en función de la corriente. Las curvas características del motor conexión serie se muestran en la figura 3.7. Donde  $I_a$  es la

corriente de armadura,  $(I_a)_n$  la corriente nominal,  $\omega$  la velocidad del motor y  $T_e$  el torque eléctrico.

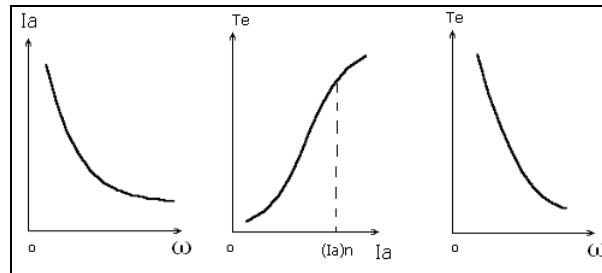


Figura 3.3 Curvas características del motor serie

### 3.2.1. Características físicas del motor eléctrico

En los motores serie, el flujo  $\phi$  aumenta en proporción a la corriente  $I_a$ , el par es proporcional a  $I_a^2$ , Como  $\phi$  crece con la carga, la velocidad cae a medida que aumenta esa carga. Si la carga en un motor serie se hace pequeña, la velocidad aumenta mucho, de modo que un motor de este tipo siempre debe conectarse a la carga a través de un engranaje reductor u otros dispositivos modificadores de velocidad. Dicho de otra manera, pueden obtenerse torques mayores, pero solo a proporcionalmente velocidades menores o se disponen de velocidades mayores si proporcionalmente se acepta un menor torque.

El motor eléctrico que estamos usando, puede ser adaptado y conectado directamente a un sistema de transmisión mecánica, esta puede ser a una caja de cambio o a un diferencial como se muestra en la figura 3.4. Los bornes de conexión del motor esta representada por nomenclaturas, donde los terminales A1 y A2 representan la alimentación de la armadura y los terminales S1 y S2 corresponden al devanado de la bobina de campo. El motor eléctrico tiene forma cilíndrica cuyas dimensiones son 25 cm. de diámetro de base y 35 cm. de altura con peso aproximado de 20 Kg.

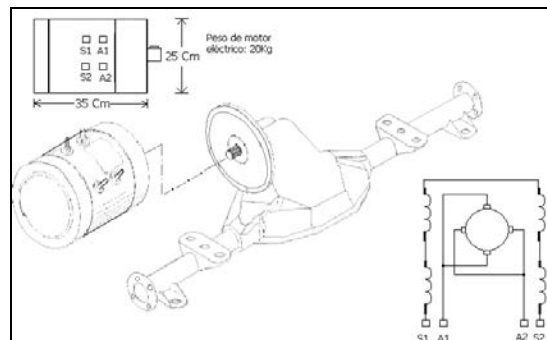


Figura 3.4 Esquema de un motor serie acoplado a un diferencial

Una de las desventajas del motor de corriente continua, es que requieren de mantenimiento periódico cada cierto tiempo, entre ellos tenemos las engrasadas de rulimanes y el cambio de los carbones, encargadas de transmitir la corriente a la armadura. Las partes del motor se muestran en la figura 3.5.

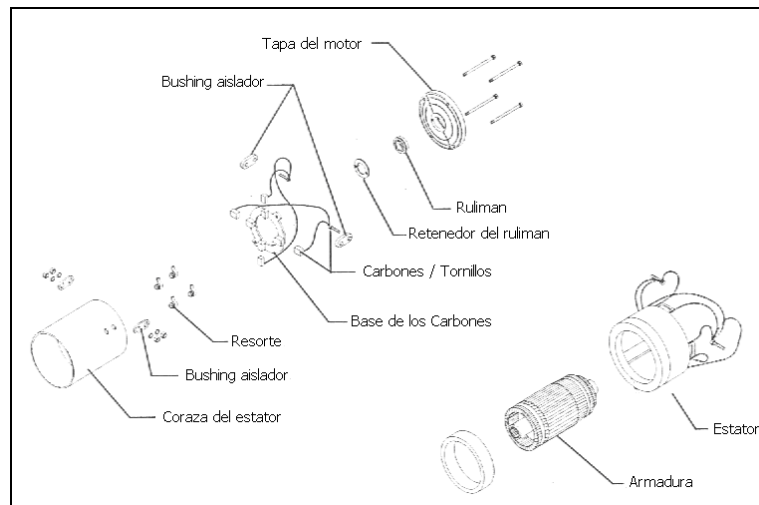


Figura 3.5 Partes del motor de corriente continua tipo serie

### 3.3. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL MOTOR ELÉCTRICO

Para el control de velocidad, usamos un convertor DC/DC. Este dispositivo electrónico nos permite variar en forma continua la alimentación del motor a través de su variable tensión. Mediante el manejo controlado de la alimentación del motor es posible tener acceso a los distintos valores de las variables mecánicas del vehículo tales como la velocidad y la aceleración. Este convertor es del tipo Chopper y está compuesto por dispositivos de potencia de estado sólido, ya que ofrecen el método más práctico, confiable y eficaz de control de motores.

En principio, un Chopper es un interruptor de encendido/apagado que conecta y desconecta la carga (motor) de la fuente (baterías). Mediante el control del tiempo de encendido y apagado del interruptor es posible variar el voltaje medio aplicado al motor. En la figura 3.6 se muestra un esquema básico de este tipo de convertidor DC/DC.

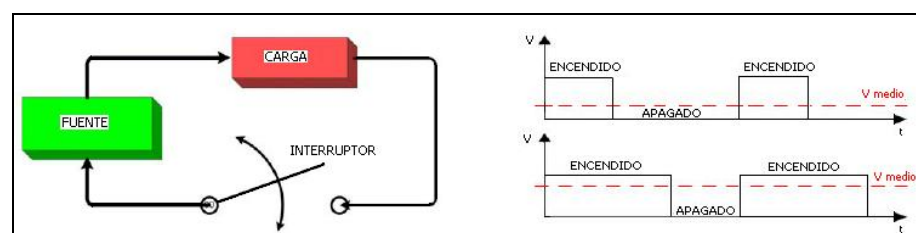


Figura 3.6 Esquema básico de un convertidor DC/DC tipo Chopper

En la figura 3.7 se muestra un esquema del controlador de velocidad, los terminales de potencia B- y B+ se conectan a los terminales negativo y positivo de las baterías, los terminales M- y A2 se conectan a los terminales de la bobina de campo o excitación del motor S2 y S1.

El controlador de velocidad posee un conjunto de transistores de potencia que hace la función de interruptor, encargada de trocear el voltaje y estos son comandados por un circuito de control de disparo.

La entrada de control esta representada por los terminales 1, 2, 3. El terminal 1 energiza al circuito de control, los terminales 2 y 3 se

conecta a un dispositivo eléctrico, encargada de controlar la aceleración del vehículo, llamado modulo de aceleración. Este dispositivo junto al controlador de velocidad, modula el tiempo de disparo de los transistor de potencia del troceador, consiguiéndose con esto variar la velocidad del motor.

El dispositivo tiene un peso aproximado de 1.8 Kg. ( 4 lbs )

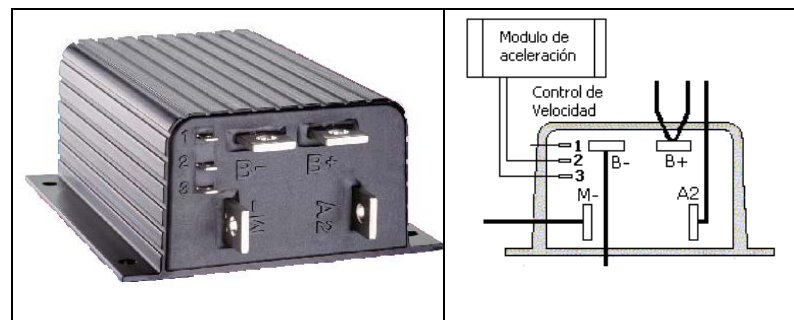


Figura 3.7 Controlador de velocidad

### 3.3.1. Característica del control de velocidad o troceador

El troceador esta formado básicamente por transistores de potencia MOSFETS, estos se conectan en serie con la batería y el motor eléctrico, cuya función es la de trocear el voltaje de la batería, controlando con esto la corriente de la bobina de campo del motor para de esta manera controlar la velocidad y par del motor la cual es proporcional al campo.

Para la conmutación del transistor se usa la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM). Esta conmutación ocurre muy rápido, permitiendo de esta manera controlar la velocidad del motor. El controlador posee una frecuencia de funcionamiento de 15 kHz. La cantidad de corriente entregada al motor depende del tiempo de encendido de los transistores de potencia del controlador. En la figura 3.8 se muestra el diagrama de bloque del controlador de velocidad.

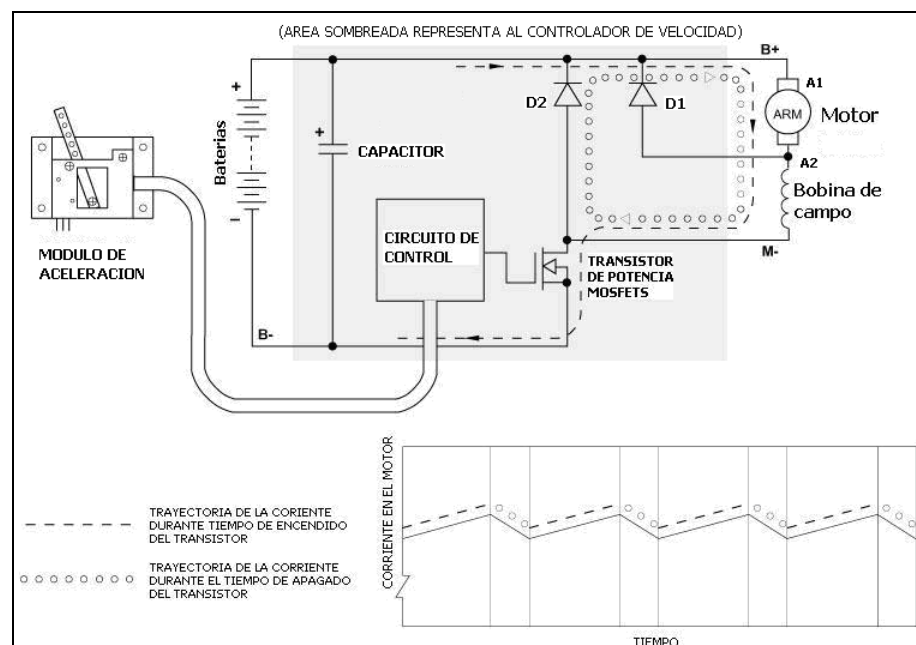


Figura 3.8 Diagrama de bloques del controlador de velocidad

Cuando los transistores están apagados, la corriente causada por la energía almacenada en el motor fluye a través del diodo



D2, la cual permite una rápida recuperación de rectificación. En la figura 3.8 se observa el comportamiento de la corriente en el circuito en cada conmutación del transistor. El capacitor conectado directamente a la batería, proporciona de forma instantánea la corriente requerida por el circuito y suprime los picos de voltaje y corriente. El diodo D1 sirve de camino para la corriente de armadura en el momento que ocurre un frenado en el motor. El encendido de los transistores efectúa el bloque del circuito de control cuya velocidad de disparo es controlada mediante un potenciómetro de  $0-5k\Omega \pm 10\%$  ubicada en el modulo de aceleración.

Usando el simulador PROTEUS, se procedió a simular el circuito troceador o control de velocidad. El circuito de control de modulación de ancho de pulso esta formado por un microcontrolador como se apreciamos en la figura 3.9

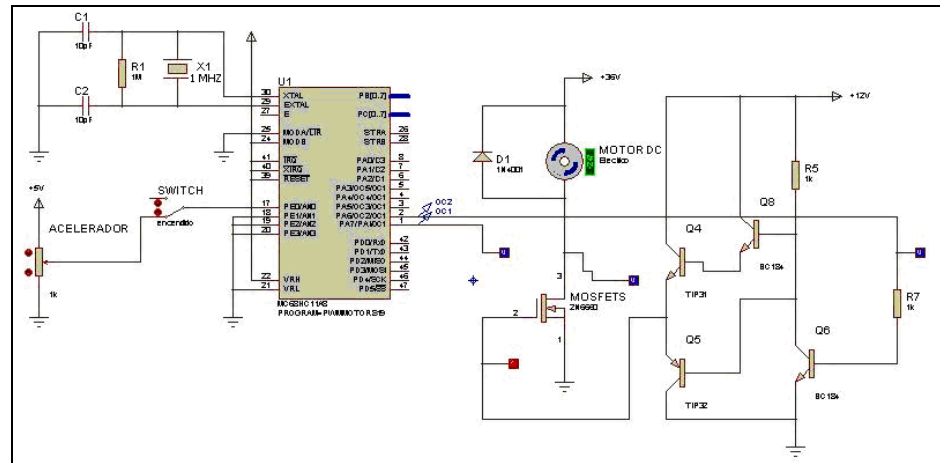


Figura 3.9 Simulación del circuito de control de velocidad

Usando el osciloscopio del simulador y colocando la punta de prueba entre el motor eléctrico y el transistor, se puede apreciar la grafica del voltaje troceado. En la figura 3.10 se esta señal desde baja velocidad hasta alta velocidad.

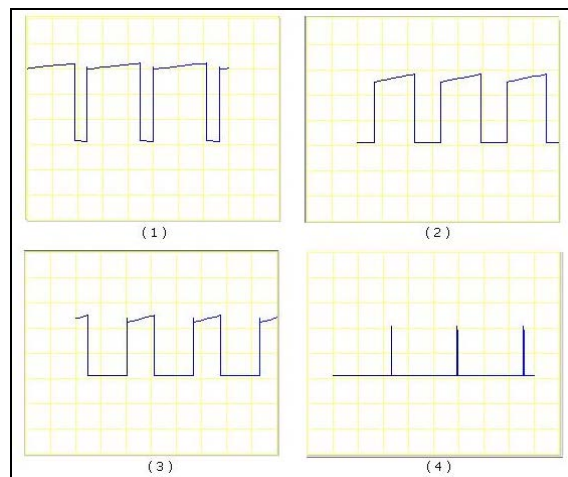


Figura 3.10 Voltaje troceado del controlador de velocidad del simulador

En la figura 3.11 se muestra la forma de onda entregado al motor eléctrico, medido con el osciloscopio tomando como referencia el terminal positivo de la fuente. La figura (1) muestra el voltaje entregado a baja velocidad y así va subiendo hasta máxima velocidad mostrado en la figura (4).

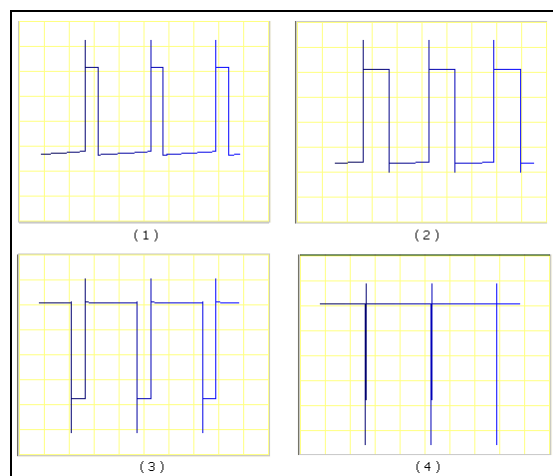


Figura 3.11 Simulación del voltaje entregado al motor

Durante el proceso de pruebas hechas al vehículo rodando por las calles de la ciudad y utilizando un multímetro gráfico (Fluke 860), se procedió a tomar las gráficas de voltaje troceado del controlador de velocidad entregado al motor eléctrico. En la figura 3.12 se muestra la gráfica registrada cuando el vehículo circulaba a baja velocidad.

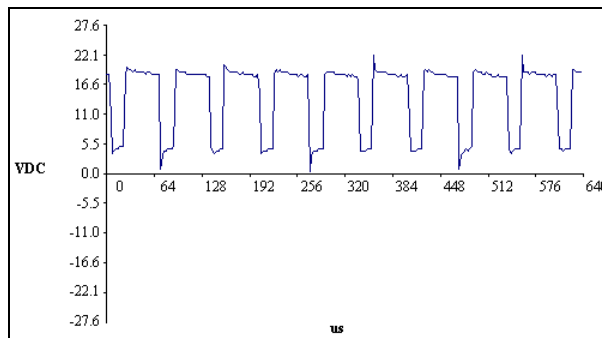


Figura 3.12 Voltaje troceado del controlador a baja velocidad

En la figura 3.13 se muestra el voltaje troceado cuando el vehículo viaja a una velocidad de 35 Km/h.

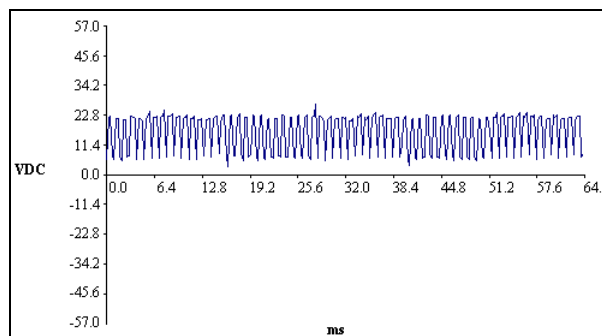


Figura 3.13 Voltaje troceado del controlador a velocidad media

El voltaje troceado entregado al motor eléctrico cuando el vehículo circula a velocidad máxima se muestra en la figura 3.14

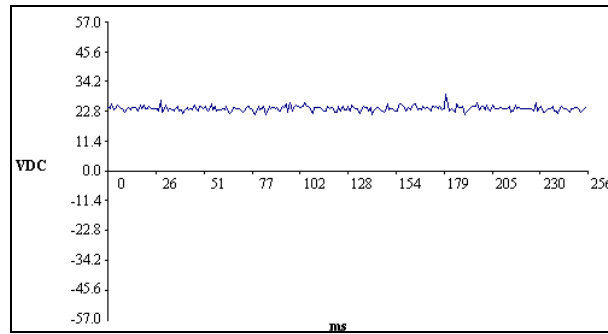


Figura 3.14 Voltaje troceado del controlador a velocidad máxima

Para comprender el funcionamiento del controlador de velocidad (troceador), procedemos hacer el análisis siguiendo el diagrama de bloque que se muestra en la figura 3.15.

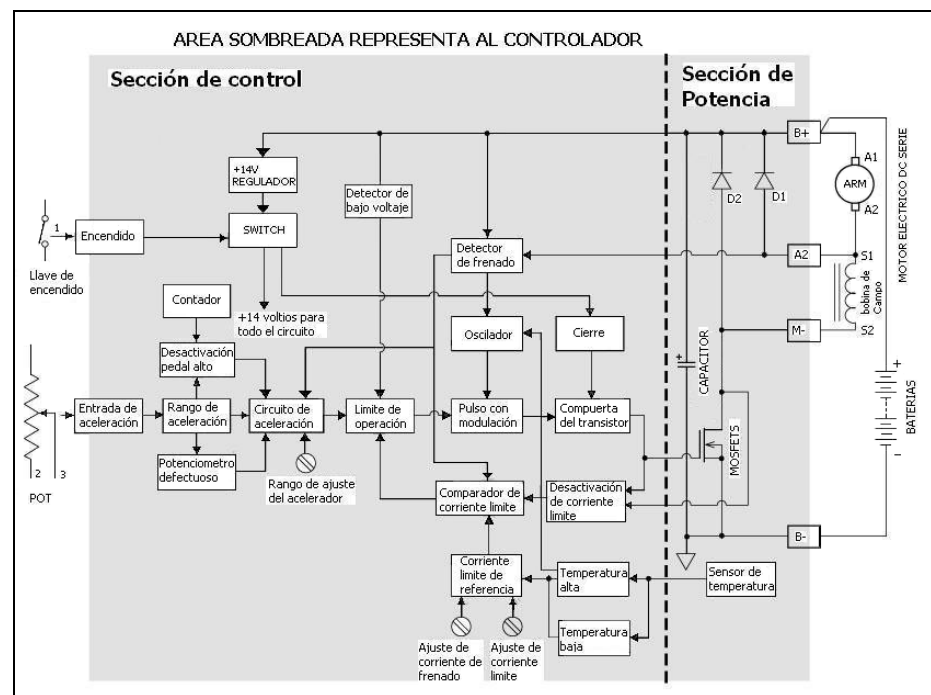


Figura 3.15 Diagrama de bloque del circuito de control del troceador

Del diagrama de bloque del controlador de velocidad, B- representa la tierra del circuito y este se conecta al polo negativo de la batería y el termina B+ se conecta al polo positivo. El voltaje de la batería es regulado a 14 voltios para energizar la tarjeta de control. El regulador de 14 V es encendido o apagado por medio del pin 1 la cual puede ser energizada por medio de una llave de encendido o switch conectado a la batería, la cual es accionado cuando se desee usar el vehículo.

En las terminales 2 y 3 del controlador, se conecta un potenciómetro de 5000 ohm. Este potenciómetro se encuentra ubicado en el modulo de aceleración y por medio de este podemos variar la velocidad en el motor. La señal proveniente del potenciómetro es procesada en un circuito “rango de aceleración” acondicionando la señal a un nivel estándar. Estandarizada la señal, esta va hacia un “circuito de aceleración” la cual limita el rango en la cual la salida pueda incrementarse. El rango de aceleración es determinada por una resistencia y es ajustable a través de un trimpot (Rango de ajuste del acelerador).

La señal proveniente del circuito "Rango de aceleración" también va a un circuito que detecta "Potenciómetro defectuoso" la cual inhabilita al controlador cuando detecta fallas en el potenciómetro como por ejemplo cables rotos, cortocircuitado o que se encuentre fuera del rango de los (480 - 5000) ohm. La cual podría causar descontrol en la operación del controlador.

Una protección adicional es el circuito "Desactivación de pedal alto", la cual deshabilita la operación del controlador en aquella ocasión en la que al momento de activar el switch de encendido del vehículo, se detecte que el pedal del acelerador esta presionado. Este circuito trabaja en conjunto con un circuito "contador" dando un intervalo de tiempo para chequear la posición del acelerador. El controlador retorna a su operación normal cuando el acelerador no este accionado.

Del "circuito de aceleración" sale una señal que va al circuito "limite de operación" la cual reduce la salida del controlador en respuesta a bajo voltaje o sobrecorriente. El circuito "detector de bajo voltaje" da una señal cuando el voltaje de la batería es bastante bajo. La reducción en la salida permite recobrar y equilibrar el voltaje de la batería y estabilizarlo en un voltaje

suficientemente alto para permitir al controlador funcionar correctamente.

El corazón del circuito de control es el bloque de modulación de ancho de pulso en donde recibe como entrada las señales derivada de las etapas anteriores la cual es comparada en magnitud con un tren de pulso de 15 KHZ del circuito oscilador. Los pulsos resultantes pueden ser variados suavemente entre cero y un máximo tren de pulsos. Estos pulsos entran al circuito “compuerta del transistor” la cual proporciona pulso de corrientes altas necesario para conmutar los transistores.

La corriente limite es censada a través de la caída de voltaje de los transistores de potencia cuando están encendidos. Este voltaje es comparado en el circuito “comparación de corriente limite” con una “corriente limite de referencia”, cuando este excede la referencia, una señal de sobrecorriente actúa sobre el circuito “limite de operación” para reducir la salida del controlador y de esa manera, mantener la corriente en el limite. Puesto que el voltaje a través del transistor es alta cuando esta apagado, la corriente limite de comparación es inhibida durante



este intervalo por el circuito “Desactivación de corriente límite”.

La corriente límite es determinada de la siguiente manera:

1. Durante el funcionamiento, la corriente límite es determinada por un trimpot interno (ajuste de corriente límite)
2. Durante operaciones extremas de alta o baja de temperatura, la corriente límite es reducida para proteger al controlador de daños. Desde un “sensor de temperatura”, las señales son producidas para reducir la corriente límite en temperaturas por encima de  $75^{\circ}\text{C}$  o debajo de  $-25^{\circ}\text{C}$
3. Durante la operación de frenado, la corriente límite es reducida para dar un apropiado torque de frenado del motor. La corriente de frenado es determinada durante el proceso, esto es también ajustado por el usuario por medio del trimpot (ajuste de corriente de frenado)

La transición para el modo de frenado es detectado por el circuito “detector de frenado” monitoreando el voltaje a través del diodo D1 “diodo de frenado”. Cuando este diodo llega a polarizarse esto indica que el campo del motor esta invertido y el

troceador va al modo de frenado. La corriente límite es reducida y la frecuencia del oscilador se reduce de 15 KHZ a 1 KHZ, para permitir un adecuado control del troceador en su salida. Durante la operación de frenado, el circuito de aceleración es reseteado reduciéndose a un nivel bajo restableciendo de poco a poco al modo normal la rampa de aceleración. Cuando el motor se detiene, el diodo de frenado D1 nuevamente se polariza inversamente volviendo el controlador a su modo normal de operación.

### **3.3.2. Modulo de aceleración, característica y modo de operación**

El modulo de aceleración es un dispositivo que se conecta al controlador de velocidad por medio de las terminales dos y tres. Este dispositivo regula la velocidad por medio de un potenciómetro que varia de (0-5000) ohm. Este dispositivo tiene un microswitch incorporado, el cual es accionado al momento de presionar el pedal. Este microswitch es usado para controlar el contactor principal del circuito de fuerza del vehículo. El rendimiento del potenciómetro en mínimo es 30  $\Omega$  y con pedal

presionado a fondo es  $4400 \Omega$  medida experimentalmente. En la figura 3.16 se muestra el modulo de aceleración con sus medidas en milímetro. El brazo de la palanca proporciona una serie de agujeros, las cuales son usadas para calibrar y ajustar al pedal del acelerador.

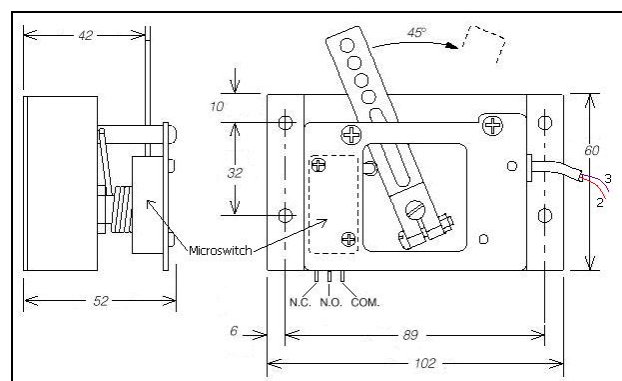


Figura 3.16 Características física del modulo de aceleración

El valor de la resistencia del potenciómetro ubicado en el modulo de aceleración con el pedal no aplicado, debe ser menos de  $50 \Omega$  y con el pedal accionado estar entre  $4500$  y  $5500 \Omega$ . Los valores por debajo de  $4500 \Omega$  pueden causar una reducción en la eficacia y velocidad. Los valores sobre  $7000 \Omega$  indican un potenciómetro defectuoso, y causará un no funcionamiento del controlador.

### 3.4. DISPOSITIVO DE FUERZA Y CONTROL

Para controlar la parte de fuerza del circuito eléctrico que controla al motor, utilizamos contactores o solenoides, la cual debe manejar un voltaje de 36 voltios y una corriente de hasta 275 amperios. El contactor internamente tiene un capacitor encargado de absorber y reducir los transientes de corrientes internas, provocado al momento de cerrar el contacto, la cual se descarga brevemente cuando el contactor esta cerrado. Para extender la vida útil del contactor, y evitar que los contactos internos queden soldados, colocamos una resistencia de  $250 \Omega$  5 W entre los contactos de fuerza. En la figura 3.17 se muestra un esquema de los contactores.

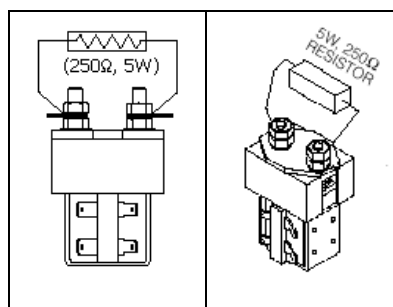


Figura 3.17 Característica física del contactor

El contactor es usado para cerrar o abrir circuitos de fuerza. Internamente, los contactos son accionados por el extremo superior del núcleo magnético de un solenoide. Cuando es excitado el solenoide, el

núcleo es atraído hacia su interior elevando así verticalmente los contactos hasta encontrar los contactos fijos sujetos al soporte del solenoide, cerrándose así el circuito. Cuando se desexcita el electroimán, por la acción de la gravedad los contactos se separan interrumpiendo el circuito.

### **3.5. CARGADOR DE BATERÍA**

Las baterías del vehículo toman energía por medio de un cargador de baterías, la cual puede conectarse a un tomacorriente de 110 voltios, 60 Hz consumiendo un máximo de 11 amperios de corriente alterna, para entregar un voltaje rectificado de 36 voltios DC y 20 amperios de corriente continua. El cargador posee un sistema de apagado automático, es decir cuando el voltaje alcanza un valor de 1.25 veces el valor de carga de la batería, en este caso 45 voltios. El cargador se apagará automáticamente mediante un relé de tensión.

El cargador posee un transformador de 110 a 42 voltios y un puente rectificador formados por diodos de silicio sobredimensionados para resistir sobrecargas y envejecimiento, la cual convierte la corriente alterna en continua .

Usando un multímetro gráfico (fluye 860), capturamos la forma de onda de la corriente rectificadora entregada a las baterías, la cual se muestra en la figura 3.18

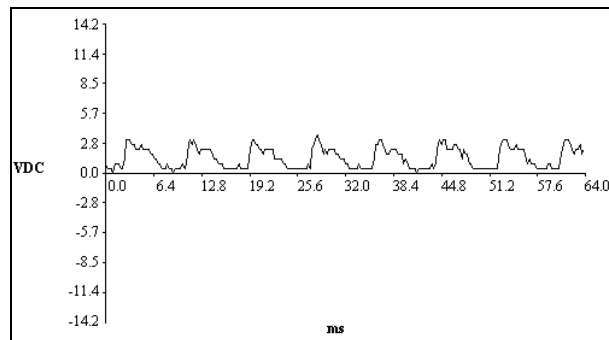


Figura 3.18 Corriente rectificadora entregada a las baterías

La escala del amperímetro de gancho con la que se midió la corriente fue de 100mv/A. es decir cien milivoltios por cada amperio. En la figura 3.19 se muestra un esquema del cargador de baterías y sus partes.

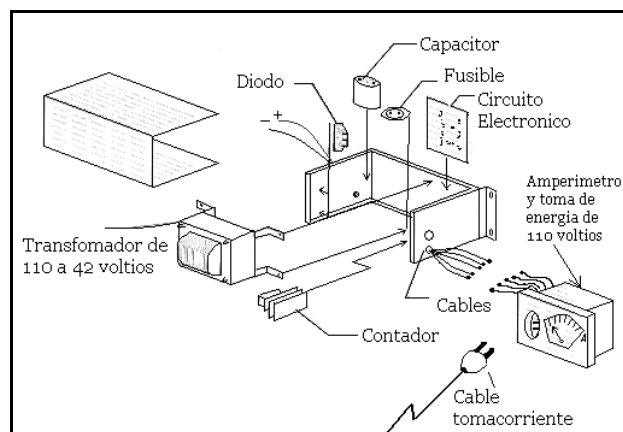


Figura 3.19 Partes que conforman el cargador de batería

### 3. 6. BATERÍAS

El vehículo utiliza 6 baterías de plomo-ácido cuyas características son: 6 voltios nominales, capacidad de 220 amperios – horas, de descarga profunda, con un número de ciclo de 720 y con un peso aproximado de 20 Kg cada una. El número de ciclo indica cuantas veces la batería puede recibir carga.

La vida útil de las baterías en cuanto a ciclos de carga y descarga está ligada al método de carga apropiado. Un segundo factor, y el más importante, que influye en la vida útil de las baterías es el régimen de uso. Por lo cual no debieran descargarse a más de un 80 % de su capacidad total y no debe ser sometida a grandes potencia de descarga ni de regeneración. El tiempo de carga promedio esta alrededor de las 8 horas. En la figura 3.20 se muestra la forma de conectar las 6 baterías en el vehículo.

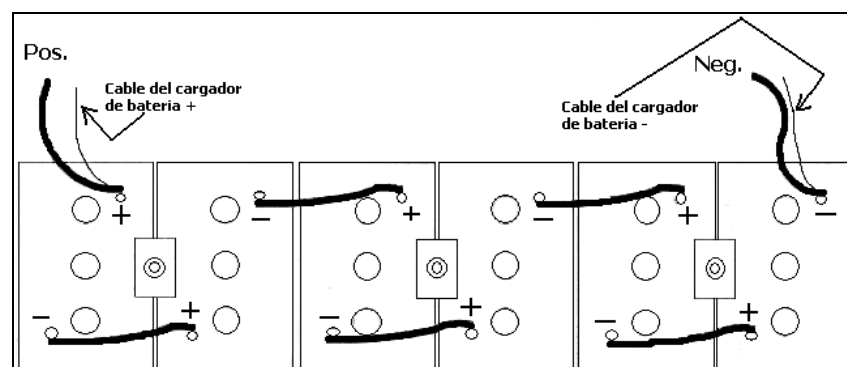


Figura 3.20 Esquema de conexión de las baterías

### **3.7. SISTEMA DE TRACCIÓN Y SUSPENSIÓN PARA EL MOTOR ELÉCTRICO**

Para el nuevo sistema de tracción a implementar en el vehículo, utilizamos un motor eléctrico acoplado a una caja de velocidad. Al utilizar la caja de velocidad, podemos aprovechar las ventajas del neutro, es decir cuando el vehículo opere en modo mecánico (motor a gasolina), el motor eléctrico estará desconectado de la tracción, lo mismo ocurrirá si el vehículo se encuentra rodando con la tracción eléctrica, es decir el motor de combustión interna estará desconectada de la tracción.

Un segundo factor, y el más importante en la utilización de la caja de velocidad, es el poder incrementar el torque de forma mecánica, consiguiéndose así disminuir el par de arranque del motor eléctrico, dando como resultado un menor consumo de energía. Además la caja de velocidades posee un diferencial la cual compensa la diferencia de velocidad lineal de las ruedas en las curvas.

Entre los componentes que conforman el sistema de tracción a implementar tenemos: una caja de cambios de 5 velocidades, ejes propulsores, puntas de ejes, rotulas, terminales, amortiguadores,



espirales, barra estabilizadora, tricetas, guardapolvos, puente para la caja de cambios, templadores y sistema de frenos de disco. En la figura 3.21 se muestra un esquema de conexión de los componentes que conforman la tracción eléctrica.

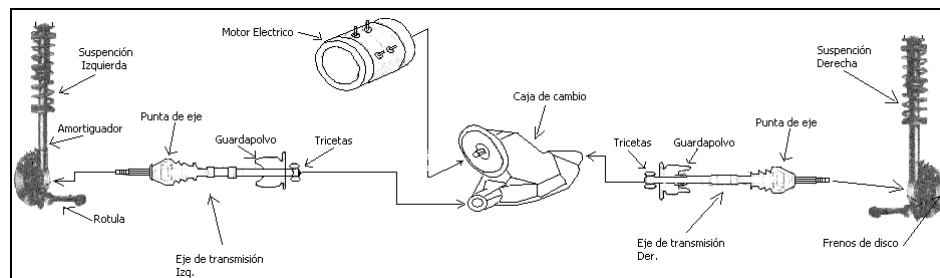


Figura 3.21 Esquema del acople de los componentes de tracción

### 3.8. DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO PARA EL VEHÍCULO HÍBRIDO

Si se habla de diseño de vehículos en general, es fundamental conocer como se distribuye el consumo de energía. Es decir, la idea es entender cómo los parámetros de diseño afectan al consumo energético de un vehículo con características determinadas, y cuanto afecta la variación de cada uno de estos parámetros al consumo total.

### 3.8.1. Cálculo de la potencia necesaria para el avance del vehículo

Para determinar la potencia para el avance del vehículo, se utilizan las ecuaciones que modelan el consumo energético para condiciones de manejo dadas. Para esto es necesario determinar primeramente, la resistencia total al avance del vehículo, la cual es la sumatoria de la resistencia a la rodadura, resistencia aerodinámica y la resistencia a las pendientes, para luego con este resultado, calcular la potencia.

Para esto, primero calculamos la resistencia a la rodadura usando la expresión:

$$R_r = \mu * p \quad (3.1)$$

Donde:

$\mu$  : coeficiente de rodadura

$p$  : peso del vehículo (peso de vacío + carga útil máxima) en Kg.

Usando la expresión 3.2 hallamos el coeficiente de rodadura

$$\mu = \mu_0 + k * v^2 \quad (3.2)$$

Donde:

$\mu_o = 0.02$  por ser asfalto

$$K = 0.5 * 10^{-6} (Km/h)^{-2}$$

$V =$  velocidad en (Km/h)

Remplazando en la expresión 3.2 tenemos:

$$\mu = 0.02 + 0.5 * 10^{-6} * V^2$$

De los datos técnicos del vehículo, conocemos que el peso en vacío es de 750 kg y puede transportar una carga útil máxima de 370 kg. Consiguiendo con estos el peso total del vehículo:

$$P = 750 \text{ Kg} + 370 \text{ Kg} = 1120 \text{ Kg.}$$

Remplazando el coeficiente de rodadura y peso del vehículo en la expresión 3.1, encontramos la resistencia a la rodadura en función de la velocidad:

$$R_r = (0.02 + 0.5 * 10^{-6} * V^2) * 1120 \text{ kg}$$

$$R_r = 22.4 + 5.6 * 10^{-4} V^2$$

A continuación, calculamos la resistencia aerodinámica. Usando la expresión (3.3):

$$Ra = \frac{1}{16} * C_x * S * V^2 \quad (3.3)$$

Donde:

$C_x$  : coeficiente de penetración aerodinámica (0.3 a 0.4)

$S$  : superficie frontal del vehículo ( $m^2$ )

$V$  : velocidad en m/s

La superficie frontal del vehículo, es calculada usando la expresión 3.4. Para ello usamos las dimensiones del vehículo tomadas de la tabla I. En la figura 3.22 se muestra un esquema de la vista frontal del vehículo con las variables a remplazar.

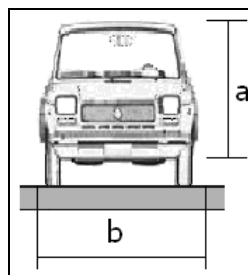


Figura 3.22 Área frontal del SEAT

$$S = 0.85 * a * b \quad (3.4)$$

$$S = 0.85 * 1.370 * 1.527 = 1.78 \text{ m}^2$$

Si consideramos un coeficiente aerodinámico de 0.3 y remplazando el valor del área frontal del vehículo en la

expresión 3.3, encontramos la expresión de la resistencia aerodinámica en función de la velocidad:

$$Ra = \frac{1}{16} * 0.3 * 1.78 * v^2$$

$$Ra = 0.0334 * v^2$$

Para hallar la resistencia a las pendientes, usamos la expresión 3.5. En la figura 3.23 se muestra un esquema del vehículo subiendo una pendiente, indicándose las variables a considerar.

$$R_p = P * \text{sen} \alpha = P * x/100 \quad (3.5)$$

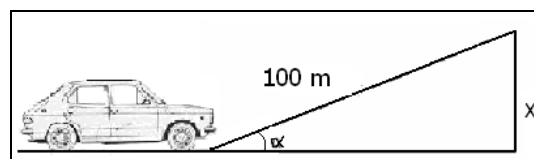


Figura 3.23 Resistencia a las pendiente del SEAT

Reemplazando el ángulo de inclinación de la pendiente y el peso del vehículo en la expresión 3.5, encontramos la resistencia de la pendiente en función del ángulo de la pendiente.

$$R_p = 1120 * \text{sen} \alpha$$

La resistencia total al avance, se la encuentra sumando las expresiones de las resistencias; aerodinámica, a la pendiente y rodadura, como se muestra en la siguiente expresión:

$$R_T = R_r + R_a + R_p$$

Para encontrar la potencia necesaria que requiere el vehículo para vencer la resistencia al avance a una determinada velocidad y considerando el rendimiento de la transmisión, utilizamos la expresión 3.6.

$$P_w = \frac{R_T * V}{75 * \eta_T} (CV) \quad (3.6)$$

Donde:

$P_w$  : potencia (CV)

$R_T$  : resistencia al avance total (Kg.)

$V$  : velocidad (m/s)

$\eta_T$  : rendimiento de la transmisión ( 0.8 a 0.85 )

Para analizar el comportamiento del vehículo cuando viaja a diferentes velocidad y considerando un rendimiento de la transmisión de 0.8, encontramos los diferentes valores de

resistencia y potencia requerida para cada caso. En la tabla II se muestra estos resultados.

Tabla II. Características de potencia del vehículo de combustión

V(m/s)	$\alpha$	R <sub>r</sub> (Kg)	R <sub>a</sub> (Kg)	R <sub>p</sub> (Kg)	R <sub>T</sub> (Kg)	P <sub>w</sub> (CV)
10	0	23.13	3.34	0.00	26.47	4.41
15	0	24.03	7.51	0.00	31.54	7.88
17	0	24.49	9.65	0.00	34.14	9.67
20	0	25.30	13.36	0.00	38.66	12.88

De este análisis, podemos decir que el vehículo al alcanzar una velocidad de 17 m/s equivalente a 61.2 Km/h, requiere de una potencia de 9.67 Hp. Es decir al utilizar un motor eléctrico de 10 Hp podremos alcanzar una velocidad máxima promedio de 60 Km/h.

### 3.8.2. Cálculo de la capacidad de las baterías requerida para un ciclo urbano

Para determinar la capacidad de la batería, necesaria para que el vehículo responda a un ciclo urbano promedio. Procedemos hacer un análisis del recorrido promedio de un vehículo cuando circula por las calles de la ciudad. En la figura 3.24 se muestra un ciclo promedio de un vehículo.

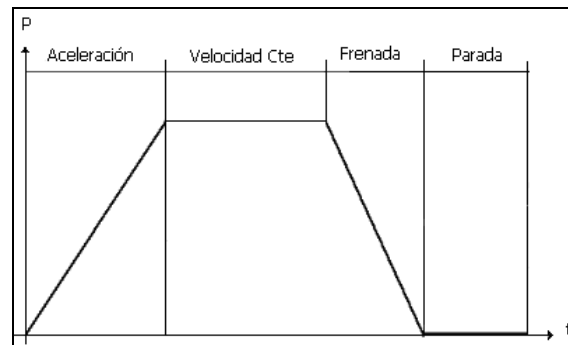


Figura 3.24 Ciclo del vehículo

Aceleración:	0 a 47 km/h	16 s.
Velocidad:	47 km/h	16 s.
Frenada:	de 47 km/h a 0 km/h	7 s.
Parada:	0 km/h	25 s.
Tiempo de ciclo:		64 s.
Longitud de ciclo:		400 m.

Si consideramos un coeficiente de penetración aerodinámica de  $C_x = 0.38$ , un coeficiente a la rodadura de  $\mu = 0.018$ , un rendimiento de la transmisión del 85%, un rendimiento del motor eléctrico de 87%, la densidad de energía de la batería de 30 Wh/Kg (vista en catalogo), y además se pretende que el vehículo tenga una autonomía de 30 Km. podemos calcular la capacidad de las baterías necesaria para cubrir un ciclo urbano.



Primeramente calculamos el número de ciclos que puede hacer el vehículo para recorrer la distancia de autonomía planteada. Para esto se calcula la relación entre la autonomía y la distancia recorrida en cada ciclo, como se muestra a continuación:

$$n^{\circ} \text{ de ciclos} = \frac{\text{Autonomía}}{\text{Longitud recorrida en un ciclo}} = \frac{30.000}{400} = 75$$

A continuación se procede a calcular la resistencia total al avance con la velocidad de 47 Km/h. Para esto procedemos primeramente a calcular la resistencia a la rodadura utilizando la expresión 3.1.

$$R_r = \mu * p \quad (3.1)$$

Con:

$$\mu = 0.018$$

$$P = 1120 \text{ Kg.}$$

$$R_r = 0.018 * 1120 \text{ kg} = 20.16 \text{ Kg.}$$

$$\mathbf{R_r = 20.16 \text{ Kg.}}$$

Usando la expresión 3.3 calculamos la resistencia aerodinámica, para esto remplazamos la velocidad del vehículo (13.05 m/s

equivalente a 47 Km/h), coeficiente de penetración aerodinámica ( $C_x = 0.38$ ) y área frontal del vehículo ( $S = 1.78 \text{ m}^2$ ).

$$R_a = \frac{1}{16} * C_x * S * V^2 \quad (3.3)$$

$$R_a = \frac{1}{16} * 0.38 * 1.78 * 13.05^2 = 7.19$$

$$\mathbf{R_a = 7.19 Kg.}$$

La resistencia a la pendiente se la considera cero, debido a que el vehículo viaja en caminos llanos de las calles de la ciudad. La resistencia total al avance del vehículo, se la encuentra sumando los resultados parciales de resistencia.

$$R_T = 7.19 + 20.16 + 0.00 = 27.35 \text{ Kg.}$$

$$\mathbf{R_T = 27.35 Kg.}$$

La potencia en los bornes del motor eléctrico necesario para que el vehículo pueda viajar a la velocidad planteada, se la encuentra utilizando la siguiente expresión. La cual depende de la resistencia total al avance, la velocidad del vehículo, el rendimiento de la transmisión y rendimiento del motor eléctrico:

$$P_b = \frac{R_T \cdot v \cdot 735}{\eta_T \cdot \eta_E \cdot 75} = \frac{27.35 \cdot 13.05 \cdot 735}{0.85 \cdot 0.87 \cdot 75} = 4730 \text{ w.}$$

La energía consumida en un ciclo completo, se la calcula utilizando la potencia en los bornes del motor y los datos de la figura 3.24, como se muestra a continuación:

$$E_{\text{aceleración}} = P_b \cdot t_{\text{medio}} = 4730 \cdot 16/2 = 37839 \text{ ws.}$$

$$E_{\text{crucero}} = P_b \cdot t = 4730 \cdot 16 = 75680 \text{ ws.}$$

$$E_{\text{ciclo}} = E_{\text{aceleración}} + E_{\text{crucero}} + E_{\text{frenada}} + E_{\text{Parada}}$$

$$E_{\text{ciclo}} = 37839 + 75680 + 0 + 0 = 113519 \text{ ws.}$$

$$\mathbf{E_{\text{ciclo}} = 113519 \text{ ws.}}$$

Si multiplicamos el número de ciclos por la energía consumida en cada uno de esos ciclos, encontramos la energía total consumida en los 30 Km de autonomía.

$$E_{\text{total}} = 75 \cdot E_{\text{ciclo}} = 75 \cdot 113519 = 8513925 \text{ ws.}$$

$$8513925 \text{ ws.} \cdot \frac{1h}{3600s} = 2365 \text{ wh}$$

$$\mathbf{E_{\text{total}} = 2365 \text{ wh.}}$$

El cálculo de la capacidad de la batería se realiza teniendo en cuenta la tensión de trabajo del motor. Suponiendo un motor de

una tensión  $V = 36$  Voltios, la capacidad necesaria de la batería será:

$$C_{Ah} = \frac{E_{Total}}{V} = \frac{2365wh}{36v} = 65.69Ah$$

$$\mathbf{C_{Ah} = 65.69 Ah.}$$

El resultado encontrado, indica que el vehículo necesita una batería de 36 voltios con capacidad de 65.69 amperios-horas para recorrer los 30 Km de un ciclo urbano. Después de estos la batería habrá sufrido una descarga completa.

Para conseguir una duración óptima de la batería es necesario que no se descargue habitualmente más de un 80%. Por ello es necesario incrementar su capacidad en un porcentaje tal que  $C_i$  sea sólo el 80% de la capacidad total de la batería (C).

Es decir:

$$C = C_i / 0.8$$

Por lo tanto:

$$C = 65.69 / 0.8 = 82 Ah$$

$$\mathbf{C_{Ah} = 82 Ah.}$$

El peso que tendría la batería con la características antes mencionada, se la puede calcular usando la densidad de

energía de la batería para una descarga en 5 horas ( $d_E = 30$  wh/Kg).

Para esto calculamos el tiempo de descarga de la batería del vehículo durante todo el recorrido:

$$t_{\text{descarga}} = t_{\text{ciclo}} * n^{\circ}_{\text{ciclo}} = 64s. * 75 = 4800s. = 80min. = 1h 20'$$

Donde la capacidad de descarga de 1h 20' corresponde a un 70 % de la capacidad de descarga en 5 horas. Usando la expresión 3.8 podemos calcular el peso:

$$P_{bt} = \frac{E_{Total}}{dE} \quad (3.8)$$

$$P_{bt} = \frac{2365}{30 * 0.7} = 112.62 Kg.$$

Para prevenir una descarga profunda de la batería, esta se sobredimensiona con un factor ( $\eta_{dp} = 90\%$ ), usando la expresión 3.9 encontramos el peso de la batería.

$$P^0_{bt} = \frac{P_{bt}}{\eta_{dp}} \quad (3.9)$$

$$P^0_{bt} = \frac{112.62}{0.9} = 125 Kg.$$

Con los resultados encontrados, se puede decir que el vehículo necesita una batería de ácido plomo de 36 voltios con capacidad

de 82 Amperios-horas, cuyo peso aproximado esta alrededor de los 125 kilogramos.

### **3.9. RESUMEN**

El vehículo híbrido combina dos motores diferente para su propulsión. La forma de combinar estos dos motores es mediante la configuración paralelo, en donde no hay conexión mecánica entre ellas y ambos contribuyen a la tracción. La tracción delantera es operada por el motor de combustión interna a gasolina y la tracción trasera por el motor eléctrico.

Para la implementación del proyecto se uso un vehículo de tracción delantera, carrocería compacta y liviano. Luego de un estudio de dimensionamiento energético de este vehículo, se determino que la potencia mínima para mover al vehículo y cumplir con las condiciones básicas de conducción es de 10 Hp y por esto se uso un motor eléctrico de corriente continua conexión serie de 36 voltios y 1400 rpm. Como dispositivo de control de velocidad usamos un circuito troceador cuyo modulador de ancho de pulso es controlado por un potenciómetro ubicado en el circuito (modulo de aceleración) que se encuentra en el pedal acelerador.

Para la transmisión de la potencia a las ruedas, se usa una caja de velocidad con sus respectivos ejes propulsores, sistemas de tracción y amortiguación. Como fuente de almacenamiento de energía, se utiliza seis baterías de ácido plomo de 220 amperios-hora y 6 voltios cada una. Como dispositivo de alimentación, se usa un cargador de baterías la cual puede conectarse a cualquier tomacorriente casero, cuya función es rectificar la corriente alterna de 110 voltios a corriente continua de 42 voltios. Como dispositivos de fuerza y control se usan contactores, solenoides, switch, cuya función será la de controlar al motor eléctrico.

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL HÍBRIDO**

En este capítulo se describe el proceso de conversión de un vehículo de combustión interna a híbrido. En este proceso se describe la construcción de un chasis donde se colocara una nueva tracción la cual será operada por el motor eléctrico, el acople del motor eléctrico a una caja de velocidades, adaptación y acople de componentes mecánico, diseño de fuerza y control del circuito eléctrico y producto final ya terminado.

#### **4.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS PARA EL MOTOR ELÉCTRICO EN EL VEHÍCULO**



El vehículo utilizado es un compacto, es decir no posee estructura de rieles metálica llamado chasis, por esto se procedió a diseñar y construir esta estructura. Al implementar un chasis en el vehículo, podremos acoplar la nueva tracción, nuevo sistema de suspensión y reforzar al vehículo para su nuevo trabajo.

Como primer paso, se procedió a desmontar el tren trasero original del vehículo la cual esta comprendido por: plato de suspensión, amortiguadores de botellas, paquete de resorte y sistema de frenos de tambor. Un esquema de estos componentes se lo muestra en la figura 4.1.

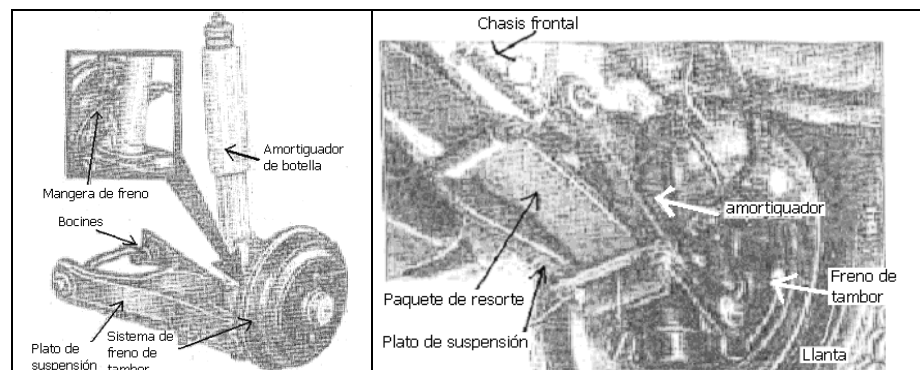


Figura 4.1 Componentes que conforman el tren trasero

Desmontados los componentes, se procedió a retirar el piso y compacto del vehículo. Para el diseño del chasis, se empleo acero estructural con sección circular hueca con 2 pulgadas de diámetro y un espesor de 2.5 (mm). Este tipo de material tiene un peso aproximado

de 2.4Kg por cada metro. Para las uniones de estas barras se utilizó soldadura de penetración 6011 punto azul.

Para la construcción del piso, se utilizó plancha de acero corrugado, de 1.5 mm. Las planchas están disponibles en medidas estándar de 2x3 metros y el peso para esta medida es de 5 Kg.

Para la realización de este trabajo, se utilizó equipos tales como; dobladoras (para doblar los tubos del chasis), amoladora y esmeril (para corregir fallas de lata), caladora (para cortar la plancha de acero), soldadura eléctrica y autógena. En la figura 4.2 se muestra un esquema de la forma del chasis y piso implementado en el vehículo.

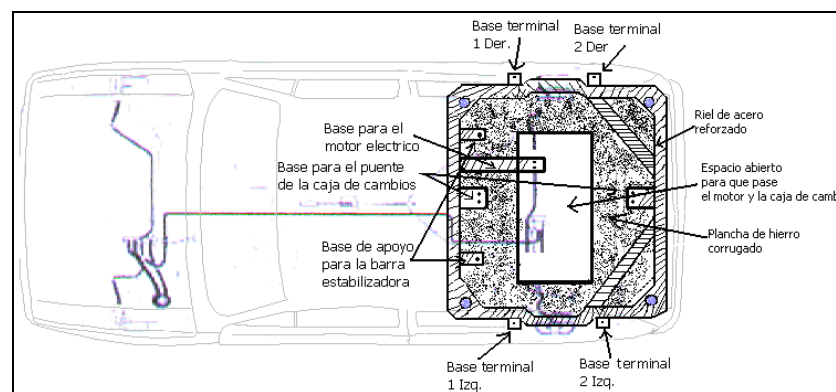


Figura 4.2 Esquema de construcción del chasis

Como componentes adicionales, se procedió a diseñar y construir bases y soportes cuya función es la de sujetar los componentes de

tracción al chasis. Entre los componentes tenemos: puente de la caja de cambio, los terminales, las rotulas, el motor eléctrico y la barra estabilizadora. Las bases se muestra en la figura 4.2.

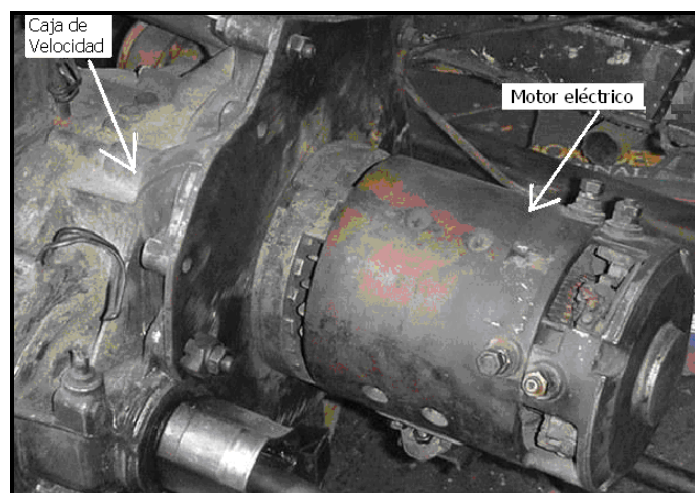
## **4.2. ACOUPLE DEL MOTOR ELÉCTRICO Y LA CAJA DE CAMBIO**

Para el acople del motor eléctrico a la caja de cambio, se hizo un análisis del funcionamiento de un embrague mecánico. Donde se encontró que la función de este dispositivo es la de independizar la caja de cambio del motor de combustión, la cual ocurre en el momento que se pisa el pedal de embrague. El objetivo del embrague, es dejar libre de movimiento los piñones de la caja de velocidades al momento de sincronizar algún cambio, la cual es necesario para evitar daños, debido a que el motor de combustión siempre esta en movimiento.

Después de este análisis, se decidió no usar sistemas de embrague mecánico, debido a que se puede conseguir el mismo efecto de manera electrónica, es decir cada vez que se desee sincronizar algún cambio, podemos parar el movimiento de los piñones de la caja de velocidades usando el motor eléctrico.

Para conectar el eje del motor eléctrico con el eje de la caja de cambio, usamos un matrimonio, dispositivo que se utiliza en la industria para conectar dos motores eléctrico, cuya función además es de amortiguar y absorber los impactos o golpes entre ellos después cada marcha. Para el acople de este matrimonio, se requirió de la ayuda de un equipo de torno.

Para acoplar el motor eléctrico a la caja de velocidad, se lo hizo mediante una plancha de acero de media pulgada de grosor, esta plancha de acero fue cortada siguiendo el contorno de la caja de cambio y perforada en las posiciones donde van los pernos. El objetivo de esto es sujetar el motor eléctrico a la caja de cambio, En la figura 4.3 se muestra el resultado de este acople.



**Figura 4.3** Motor eléctrico y caja de velocidad

En la figura 4.4 se muestra el proceso de implementación de la tracción que será operada por el motor eléctrico. Aquí se puede observar el chasis, caja de cambio y motor eléctrico.

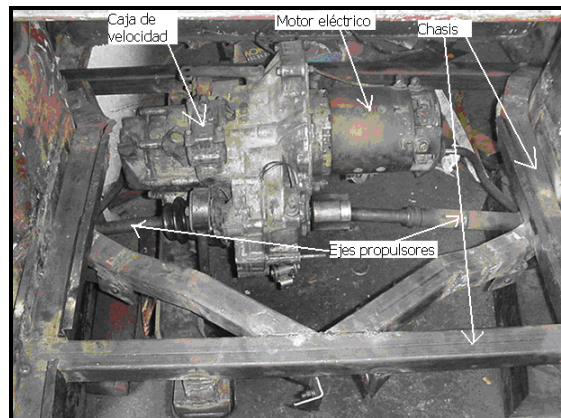


Figura 4.4 Motor y caja de velocidad montado en el chasis

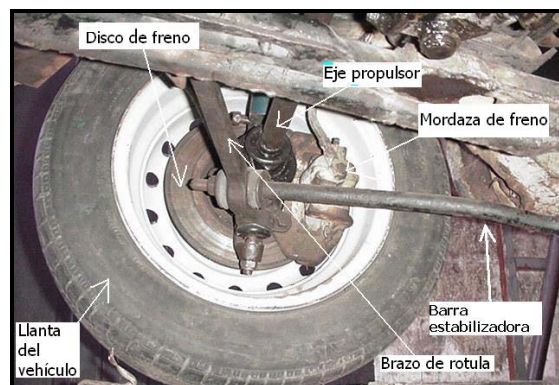
### 4.3. ACOPLA DEL SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN Y TRACCIÓN

Para el sistema de suspensión, se procedió a la adaptación de amortiguadores de mayor resistencia al peso y para esto se usó 2 amortiguadores con espirales. En este proceso, se consideró el peso del vehículo con baterías así como la altura del vehículo deseada. Para esta adaptación, se requirió construir bases de asientos para cada amortiguador en la carrocería del vehículo. En la figura 4.5 se muestra este trabajo.



**Figura 4.5** Bases para los amortiguadores

Para el ensamblaje del sistema de tracción, se requirió primeramente recortar los ejes propulsores para ajustarlos a las dimensiones del vehículo. En la figura 4.6 se muestra los componentes que conforman el sistema de tracción.



**Figura 4.6** Sistema de tracción vista desde abajo del vehículo

Después de pruebas hechas al vehículo, se determinó que era necesario cambiar la posición de las bases de las rotulas y terminales, así como la construcción de brazos y templadores adicionales con el objeto de conseguir estabilidad y alineación en las ruedas trasera. En

la figura 4.7 se muestra el sistema de tracción lado derecho del vehículo.

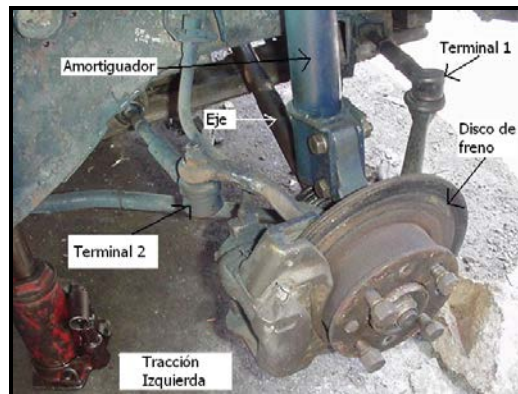


Figura 4.7 Partes del sistema de tracción del vehículo

#### 4.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE CONTROL ELECTROMECAÁNICO PARA LA CAJA DE VELOCIDAD

Como dispositivo adicional y opcional, se decidió controlar la caja de velocidad mediante un sistema de control electrónico. Con este dispositivo se pretende sincronizar las velocidades mediante un panel con botoneras ubicada en el tablero del vehículo. Estas botoneras están enumeradas del 1 al 5 más la R de retro y N de neutro. La función de este dispositivo es la siguiente: Si queremos meter la velocidad de primera, presionamos el botón con el número 1, si queremos retroceder presionamos el botón con la letra R, si deseamos

dejarlo en neutro presionamos la letra N y así sucesivamente con el resto de velocidades.

#### 4.4.1. Análisis de construcción y modo de operación del dispositivo

Para la construcción de este dispositivo, se procedió hacer un análisis de componentes mecánicos capaces de transmitir fuerzas por medio de palancas. Basado en esto, se decidió usar palancas en forma de cucharetas, estas cuchareta se conectan a un dispositivo mecánico cuya función será la de empujar, jalar, girar a la derecha o izquierda, el piñón de la caja de cambios, encargada de sincronizar las velocidades. La fuerza aplicada a las cucharetas, son proporcionadas por electroimanes. En la figura 4.8 se muestra un esquema vista lateralmente del dispositivo.

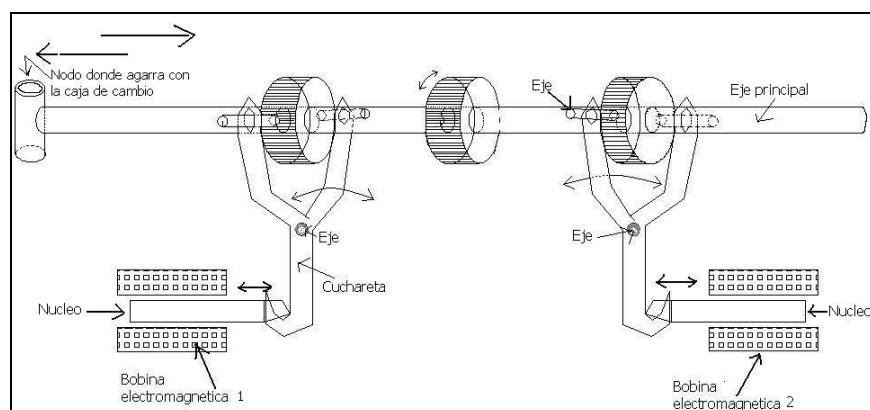
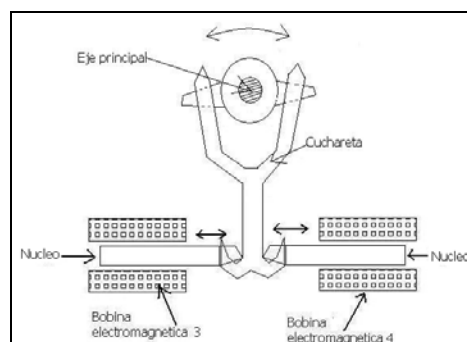


Figura 4.8 Partes del dispositivo electromecánico



En la figura 4.9 se muestra un esquema de la vista frontal del dispositivo donde se muestra las dos bobinas restante y la cuchareta encargada de hacer los movimientos de giro izquierda-derecha.



**Figura 4.9** Vista frontal del dispositivo

El dispositivo de control cuenta con 4 bobinas electromagnética las cuales controlan cada movimiento, es decir si activamos la bobina 2, el núcleo de la bobina será succionado provocando que el eje principal se desplace hacia la izquierda, haciendo que el nodo donde agarra la caja de cambio entre, teniendo la opción de meter los cambios de segunda, cuarta o retro, dependiendo del giro provocado por la bobina 3 o la bobina 4.

Cuando se energiza la bobina 1, El desplazamiento del eje principal es hacia la derecha haciendo que el nodo de la caja salga pudiéndose sincronizar los cambio primera, tercera o quinta dependiendo de las bobinas 3 o 4. En la figura 4.10 se muestra los componentes mecánicos utilizado para el desarrollo de este prototipo.



**Figura 4.10** Piezas mecánicas del dispositivo electromecánico

La función de los electroimanes es proporcionar las fuerzas de movimiento utilizando energía eléctrica. El diseño de estos electroimanes se baso en unos dispositivos de iguales características usadas en los motores de arranque de los vehículos, llamados automáticos. La función del automático es la de disparar o empujar un piñón que se encuentra en el motor de arranque hacia otro de mayor tamaño llamado volante el cual esta conectado al cigüeña del motor. Una vez engrampado los piñones, se produce el movimiento por medio del motor de arranque, produciendo de esta manera el movimiento del motor

de combustión hasta que encienda. Una vez encendido el motor, el automático o electroimán se des-energiza y regresa a su posición original, des-engrampando los piñones.

Utilizando el mismo principio, se pretende sincronizar las velocidades y para esto se procedió al diseño e implementación de las bobinas electromagnética. En la tabla III se muestran las características físicas del electroimán.

**Tabla III** Características físicas del electroimán

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Longitud en el núcleo	6.70 cm
Longitud en el entrehierro	2.00 cm
Longitud en el tope	1.40 cm
Longitud en la coraza	8.00 cm
Longitud en el entrehierro superior	0.20 cm
Sección transversal del núcleo	5.06 cm <sup>2</sup>

Para determinar los parámetros de diseño del electroimán, comenzamos estableciendo una tracción teórica de 40 Kg. Utilizando la expresión 4.1 se puede calcular la densidad de campo magnético para un entrehierro de 10 milímetros de la siguiente manera:

$$F = \frac{B^2 * A}{24614000} \text{ ( Kg )} \quad (4.1)$$

$$B = \sqrt{\frac{24614000F}{A}} \text{ ( líneas / cm}^2 \text{ )}$$

Si

$$F = 40 \text{ Kg}$$

$$A = 5.06 \text{ cm}^2$$

Entonces:

$$B = \sqrt{\frac{24614000 * (40)}{5.06}}$$

$$B = 13949 \text{ Líneas / cm}^2$$

De la curva de magnetización para el acero forjado en la figura 4.11, se determina un valor de aproximadamente 14000 líneas / cm<sup>2</sup> [2] para la densidad de campo magnético. Ahora se debe calcular el flujo magnético en el circuito a partir de la expresión que define el flujo dependiendo de la densidad y el área transversal de la espira que atraviesa:

$$\Phi = B * A \text{ (líneas)} \quad (4.2)$$

Donde:

$\Phi$  : Flujo magnético en líneas

$B$  : Densidad de campo magnético en líneas sobre cm<sup>2</sup>

$A$  : Sección transversal en cm<sup>2</sup>

Entonces el flujo magnético en el circuito está dado por:

$$\Phi = (14000)(5.06) = 70840 \text{ líneas}$$

[2] Se toma como referencia este límite para escoger las clases de hierro a utilizar, para obtener mayor información al respecto revisar en Croft Terrel, Tratado de Electricidad Práctica, Editorial Continental S.A.

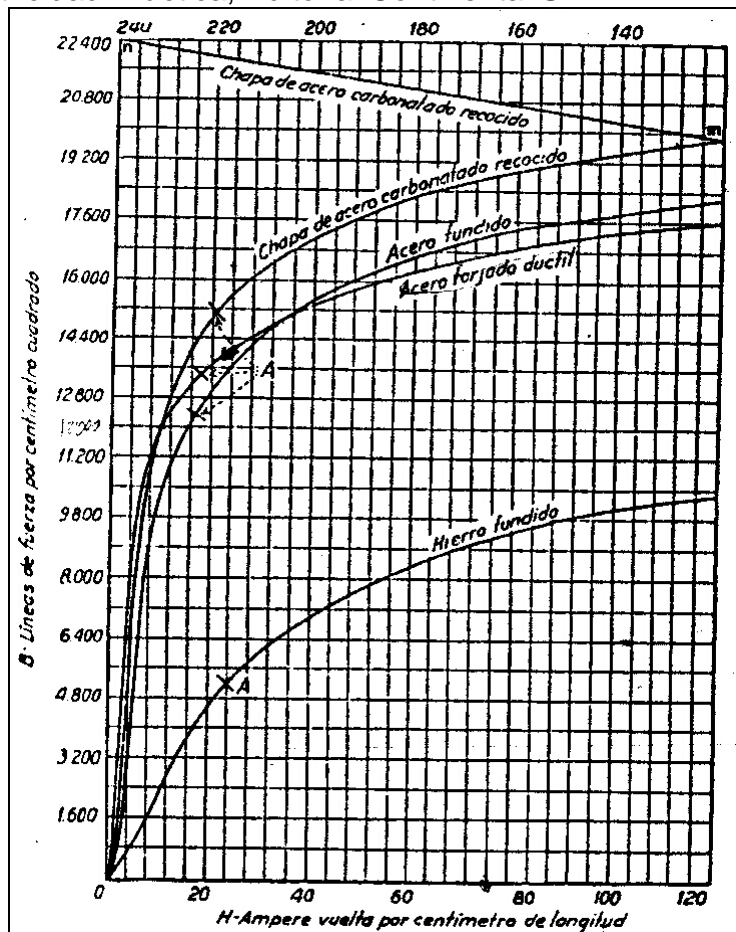


Figura 4.11. Curvas de Magnetización de varios materiales ( Gráfica tomada del libro de Terrel Croft, Tratado de Electricidad Práctica )

El siguiente paso es calcular la fuerza magnetomotriz en cada una de las reluctancias del circuito magnético y luego sumarlas para determinar el total. En el núcleo, para  $B_N=14000$  líneas/cm<sup>2</sup> se tiene de la curva del acero forjado un valor de 24 amperios-

vuelta sobre cm para la intensidad de campo  $H_N$ . La fuerza magnetomotriz está dada por el producto entre la intensidad de campo y la longitud del medio, entonces:

$$\text{f.m.m.} = H \cdot L \quad (4.3)$$

Donde:

f.m.m. : Fuerza magnetomotriz en amperios-vuelta

H : Intensidad de campo magnético en amperios-vuelta sobre cm

L : Longitud de el circuito magnético en cm

$$\text{f.m.m.}_N = (24)(6.70) = 160.8 \text{ ( A-v )}$$

Para el entrehierro de aire de 1 cm de longitud debemos determinar la densidad de campo  $B_A$  con la ecuación 4.2 donde el área es el área efectiva en el entrehierro ( $A_f$ ). Suponiendo que las vueltas del embobinado están bien apretadas, entonces el área efectiva está dada por la circunferencia externa del carrete de la bobina. Resolviendo la ecuación 4.2 para la densidad de campo y con  $A_f = 7.0685 \text{ cm}^2$  tenemos:

$$B = \frac{\phi}{A} \text{ (líneas / cm}^2\text{)}$$

$$B_A = ( 70840 ) / ( 7.0685 ) = 10021.92 \text{ líneas / cm}^2$$

La intensidad de campo en el entrehierro está dada por:

$$H = \frac{B}{\mu} \text{ (A-v/cm)}$$

Donde  $\mu$  tiene un valor de 1.25 perms por  $\text{cm}^3$  para el aire.

$$H_A = (10021.92)/(1.25) = 8017.54 \text{ A-v / cm}$$

$$\text{f.m.m.}_A = (8017.54)(1) = 8017.54 \text{ A-v}$$

En el tope, que es del mismo material que el núcleo, para un área calculada de  $4.18 \text{ cm}^2$  se determina la densidad de campo magnético utilizando la ecuación 4.2 como sigue:

$$B_T = (70840)/(4.18) = 16947.36 \text{ líneas / cm}^2$$

Con este valor se determina la intensidad de campo de la curva del acero forjado y se calcula la fuerza magnetomotriz con la ecuación 4.3.

$$H_T = 76 \text{ A-v/cm}$$

$$\text{f.m.m.}_T = (76)(1.4) = 106.4 \text{ A-v}$$

Para la coraza se considera la curva de chapa de acero con un área transversal medida de  $6.72 \text{ cm}^2$ , teniendo en cuenta que el flujo se reparte por igual en las dos secciones de  $6.72 \text{ cm}^2$ , el flujo total circula por un área de  $13.44 \text{ cm}^2$ .

$$B_C = (70840)/(13.44) = 5270.83 \text{ líneas / cm}^2$$

$$H_C = 4 \text{ A-v/cm}$$

$$\text{f.m.m.}_C = (4)(8) = 3264 \text{ A-v}$$

En el entrehierro superior, el área está dado por el área lateral del cilindro de aire que se forma y cuyo valor es 13.19 cm<sup>2</sup>.

$$B_{AS} = (70840)/(13.19) = 5370.73 \text{ líneas / cm}^2$$

$$H_{AS} = (5370.73)/(1.25) = 4296.58 \text{ A-v/cm}$$

$$f.m.m._{AS} = (4296.58)(0.2) = 859.31 \text{ A-v}$$

**Tabla V.** Detalle de la f.m.m. parciales en el circuito magnético

<b>COMPONENTE</b>	<b>f.m.m. [ A-v ]</b>
Núcleo móvil de acero	160.80
Entrehierro interior	8017.54
Tope de acero	106.40
Coraza de chapas de acero	32.00
Entrehierro superior	859.31
<b>TOTAL</b>	<b>9176.05</b>

En la tabla V se resumen los resultados de la f.m.m. requerida.

El siguiente paso es determinar el calibre del alambre para el arrollamiento utilizando la siguiente ecuación [3]:

$$S = \frac{I_x N x l_m}{E} x 2 x 10^{-4} \quad (\text{mm}^2) \quad (4.4)$$

Donde:

S : Sección del alambre en milímetros cuadrados

I<sub>x</sub>N : Fuerza magnetomotriz en amperios-vuelta

L<sub>m</sub> : Longitud de vuelta promedio en centímetros



E : Voltaje de alimentación de la bobina en voltios

De las dimensiones de la coraza podemos estimar la longitud de vuelta promedio en 11.00 cm, entonces para una tensión de 12 voltios la sección del alambre será:

$$S = \frac{(9256.05)(11.00)}{12} \times 2 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$S = 1.690 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibre de alambre esmaltado se obtienen dos entre los cuales se encuentra la sección calculada. En la tabla V se resumen los valores posibles a utilizar. Está claro que se debe utilizar el calibre inmediato superior. A continuación se procedió a calcular la cantidad de alambre que se necesita para el embobinado. [3]

**Tabla V.** Datos de los alambres esmaltados de calibre similar

<b>CALIBRE AWG</b>	<b>Diámetro [ mm ]</b>	<b>Sección [ mm<sup>2</sup> ]</b>	<b>Resistencia [Ω /1000m ]</b>	<b>Peso [Kg./1000m ]</b>
14	1.692	2.08	8.28	18.662
15	1.509	1.65	10.04	14.816

[3] Para obtener mayor información acerca de esta ecuación, revisar Croft Terrel, Tratado de Electricidad Práctica, Editorial Continental S.A.

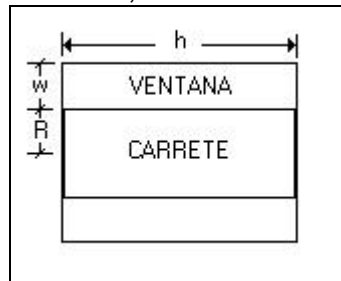


Figura 4.12 Esquema del carrete de la bobina

Donde:

$h$  : Longitud de arrollamiento

$w$  : Ancho de arrollamiento

$R$  : Radio interior del carrete

En la figura 4.12 se muestra un esquema del carrete a utilizar.

Suponiendo que el arrollamiento de alambre se distribuye uniformemente sobre la superficie interna del carrete, el número de vueltas en una capa (VC) y el número de capas de alambre  $n$  que se puede colocar en la ventana se calculan de la siguiente manera:

$$VC = \frac{h}{D}$$

$$n = \frac{w}{D}$$

Donde D es el diámetro del alambre a utilizar. Como VC y n son cantidades adimensionales se debe expresar h, w y D con las mismas unidades. Dado que la longitud de una vuelta de alambre en la primera capa es  $2\pi(R + R_1)$ , donde  $R_1$  es el radio del alambre, la longitud de alambre en la primera capa estará dada por la siguiente expresión:

$$L_1 = 2\pi(R + R_1)(VC)$$

Para calcular la longitud de una vuelta en la segunda capa el radio se incrementa en un factor  $(E + D)$ , donde E es el espesor del papel aislante a utilizar y D es el diámetro del alambre. Por tanto la longitud de alambre en la segunda capa estará dada por:

$$L_2 = 2\pi(R + R_1 + (E + D))(VC)$$

En las capas siguientes el radio efectivo se sigue incrementando por el mismo factor  $(E + D)$  hasta la última capa, entonces la longitud total L de alambre a utilizar en el embobinado es:

$$L = 2\pi(R + R_1)(VC) + 2\pi(R + R_1 + E + D)(VC) + 2\pi(R + R_1 + 2E + 2D)(VC) +$$

$$\begin{aligned}
& 2\pi(R + R_1 + 3E + 3D)(VC) + \dots + 2\pi[R + R_1 + (n-2)E + (n- \\
& 2)D](VC) + \\
& 2\pi[R + R_1 + (n-1)E + (n-1)D](VC) \\
L = 2\pi(V / C) \sum_{K=0}^{n-1} [R + R_1 + K(E + D)]
\end{aligned}$$

Luego expresando todos los parámetros en milímetros se obtiene la siguiente fórmula:

$$L = \frac{2\pi}{1000} (VC) \sum_{K=0}^{n-1} [R + R_1 + K(D + E)] \quad (\text{m}) \quad (4.5)$$

Donde:

L: Longitud total del alambre esmaltado para la bobina en metros

VC: Vueltas por capa

n : Número de capas de alambre en la bobina

R : Radio externo del carrete en milímetros

R<sub>1</sub> : Radio del alambre esmaltado en milímetros

D : Diámetro del alambre esmaltado en milímetros

E : Espesor del papel aislante en milímetros

El número de vueltas se calcula de la siguiente manera:

$$N = VC \cdot n$$

Las dimensiones del carrete son las siguientes:

$h : 67 \text{ mm}$

$w: 15 \text{ mm}$

Con estos valores procedemos a calcular VC y n:

$$VC = \frac{67}{1.692} = 39$$

$$n = \frac{15}{1.692} = 9$$

El espesor del papel aislante es de 0.3 milímetros, estos valores se reemplazan en la ecuación 4.5 para determinar la longitud total de alambre que se necesita para el arrollamiento, así:

$$L = \frac{2\pi}{1000} (39) \sum_{K=0}^9 [15 + 0.846 + K(1.692 + 0.3)]$$

$$L = 30.71 \text{ m}$$

$$N = (39)(9)$$

$$N = 351$$

Ahora se determina el peso y la resistencia del arrollamiento utilizando los valores tomados de la tabla de calibre de alambre esmaltado sencillo:

$$R = 30.71m \times \frac{8,28\Omega}{1000m} = 0,2543\Omega$$

$$P = 30.71m \times \frac{18,662Kg}{1000m} = 0,5731Kg$$

Para un voltaje de 12 voltios la corriente será:

$$I = \frac{12}{0,2543} = 47.19A$$

Ahora se utiliza la ecuación 4.6 [4] para calcular la fuerza teórica de la siguiente manera:

$$fy = \frac{\mu_0 AN^2 I^2}{2y^2} \quad (\text{N}) \quad (4.6)$$

$$\mu_0 = 12.56 \times 10^{-7} \text{ Wb / Am}$$

$$A = 5.06 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

$$N = 351$$

$$I = 47,19 \text{ A}$$

$$y = 0.01 \text{ m}$$

$$fy = \frac{(12.56 \times 10^{-7})(5.06 \times 10^{-4})(351^2)(47.19^2)}{2(19,6)(0.01)^2}$$

$$fy = 44.48 \text{ Kg}$$

[4] Para obtener mayor información acerca de estos datos, revisar Croft Terrel, Tratado de Electricidad Práctica, Editorial Continental S.A.

Para una corriente medida promedio de 10 amperios se tiene el siguiente resultado:

$$fy = \frac{(12.56 \times 10^{-7})(5.06 \times 10^{-4})(351^2)(10^2)}{2(19,6)(0.01)^2}$$

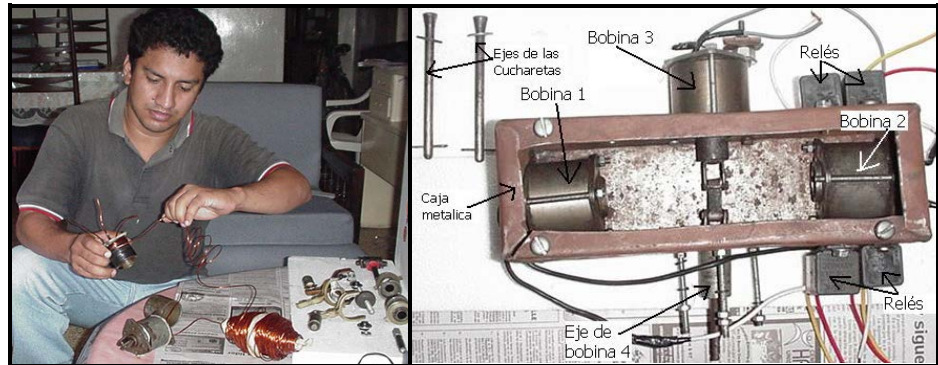
$$fy = 2 \text{ Kg}$$

Después de encontrar los parámetros de diseño, se procedió a embobinar los cuatro electroimanes. La construcción del electroimán consto con 270 vueltas de alambre esmaltado N° 14 con una resistencia de 0.3 ohmios con lo cual alcanza una corriente en estado estable de 30 amperios. Medido experimentalmente para un voltaje de alimentación de 12 voltios.

Después de pruebas, se determino experimentalmente que la fuerza promedio para mover el piñón de la caja de velocidad es de 3 kilogramos.

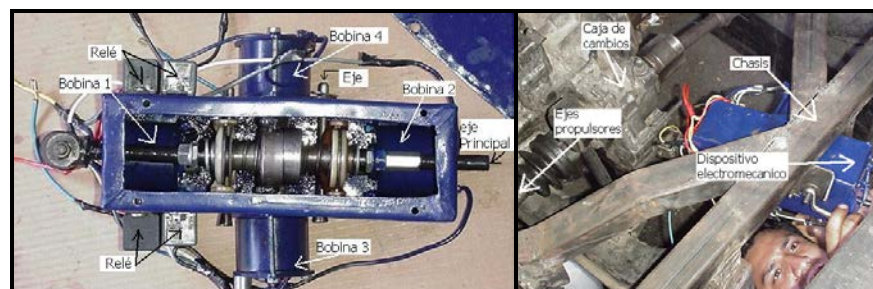
Para la ubicación de los electroimanes y dispositivos mecánicos, se diseño y construyo una caja metálica de 8 cm de ancho, 25 cm de largo y una altura de 10 cm. El peso del conjunto es de

aproximadamente de 7 Kg. En la figura 4.13 se muestra el proceso de embobinado.



**Figura 4.13.** Proceso de embobinado y ensamblaje del dispositivo

Para la ubicación del dispositivo en el vehículo, se procedió a la implementación de unas bases en el chasis como se muestra en la figura 4.14. Una vez instalado el dispositivo, se realizaron las pruebas, la cual consistió en sincronizar las velocidades en la caja de cambio. Para esta prueba se utilizó batería de auto 12 voltios como se muestra en la figura 4.15



**Figura 4.14.** Vista del dispositivo y lugar donde se lo ubico



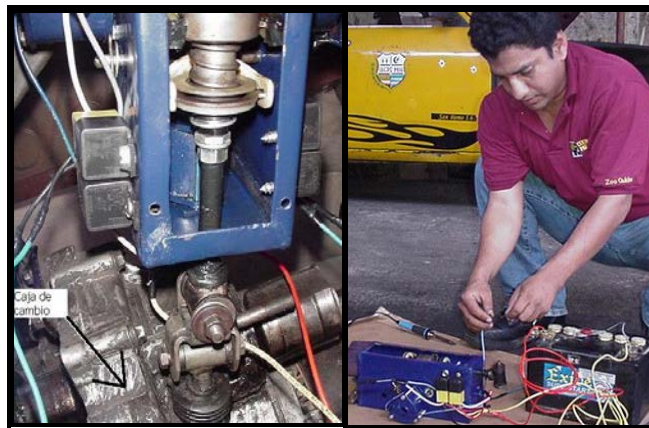


Figura 4.15 Proceso de pruebas del dispositivo

#### 4.4.2. Diseño e implementación del circuito electrónico de control para el dispositivo electromecánico

Para diseñar el circuito de control, primero se hizo un análisis del funcionamiento del engranaje de velocidades de la caja de cambio. En este análisis se determinó la dirección de movimiento que se debe hacer en la palanca de la caja de cambio para sincronizar cada velocidad. En la figura 4.16 se muestra un esquema gráfico de este movimiento.

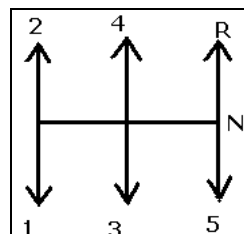


Figura 4.16. Esquema del movimiento para sincronizar las velocidades

Del análisis anterior se procedió hacer el diseño del circuito electrónico digital, El análisis lógico de funcionamiento del dispositivo es:

- Al presionar el botón de N (neutro) el circuito mandara una señal a las bobinas 1 y 2 al mismo tiempo.
- Al presionar el botón 1 (primera). El circuito mandara la señal para poner en neutro y luego energizara la bobina 4 y a continuación la bobina 1 de esta manera se sincronizara el piñón de primera.
- Al presionar el botón 2 (segunda). El circuito mandara la señal para poner en neutro y luego energizara la bobina 4 y a continuación la bobina 2 de esta manera se sincronizara el piñón de segunda.
- Al presionar el botón 3 (tercera). El circuito mandara la señal para poner en neutro y luego energizara la bobina 1 de esta manera se sincronizara el piñón de tercera.
- Al presionar el botón 4 (cuarta). El circuito mandara la señal para poner en neutro y luego energizara la bobina 2 de esta forma se sincronizara el piñón de cuarta.
- Al presionar el botón 5 (quinta). El circuito mandara la señal para poner en neutro y luego energizara la bobina 3 y a

continuación la bobina 1 sincronizando de esta manera el piñón de quinta.

- Al presionar el botón R (retro). El circuito mandara la señal para poner en neutro y luego energizara la bobina 3 y a continuación la bobina 2, sincronizando el piñón de retro.

De este análisis y siguiendo esta lógica, se procedió hacer el diagrama de bloques del circuito de control:

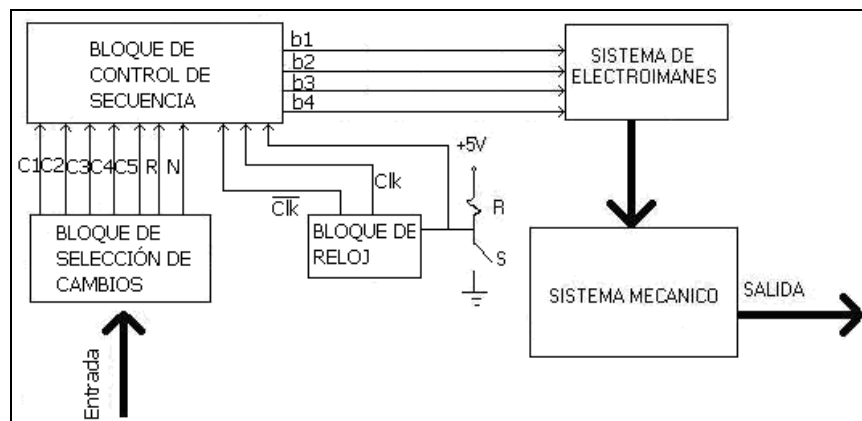


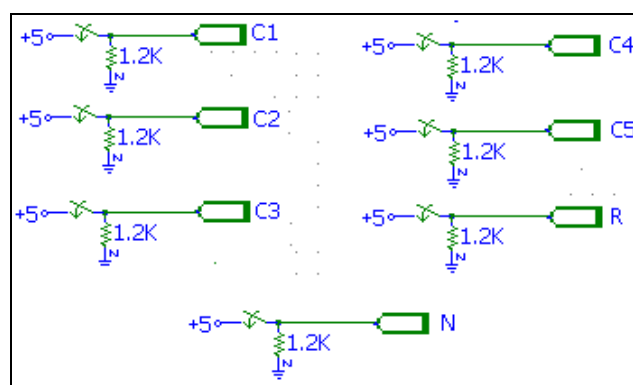
Figura 4.17. Diagrama de bloque del sistema de control

Donde:

- C1: Activación del cambio de primera
- C2: Activación del cambio de segunda
- C3: Activación del cambio de tercera
- C4: Activación del cambio de cuarta

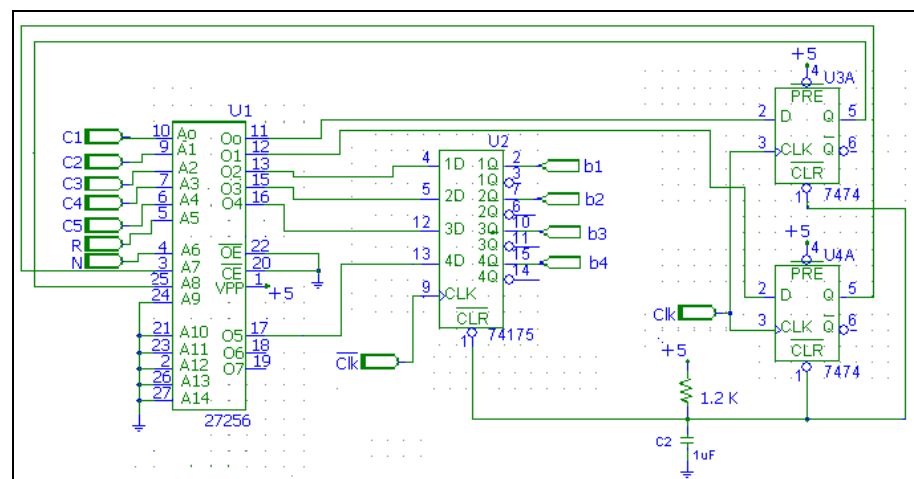
- C5: Activación del cambio de quinta
- N: Activación del neutro
- R: Activación del cambio retro
- b1: Activación del primer electroimán
- b2: Activación del segundo electroimán
- b3: Activación del tercer electroimán
- b4: Activación del cuarto electroimán
- Clk: Señal de reloj
- S: habilitación externa

El bloque de selección de cambios esta formado por un conjunto de botoneras indicando la entrada del circuito de control de secuencia. En la figura 4.18 se muestra el circuito de selección de cambios:



**Figura 4.18.** Circuito de selección de cambios

El bloque de control de secuencia, es el cerebro del circuito, la cual esta formado por una EPROM programable, y se lo usa para procesar la información. El circuito se encarga de sincronizar los electroimanes encargadas de mover la palanca de la caja de cambios. El circuito tiene 6 entradas que representa la velocidad seleccionada y 4 salidas que son las que energiza a cada bobina electromagnética. La figura 4.19 se muestra el diagrama esquemático.



**Figura 4.19.** Esquema del bloque de control de secuencia

El integrado EPROM 27256 fue programado de tal manera que realiza las especificaciones de funcionamiento del análisis hecho anteriormente. Para realizar esta secuencia, el circuito sigue un diagrama de estado formado de 4 tiempos de operación, la cual se muestra en la figura 4.20.

En el momento del encendido del circuito, el integrado 74LS74 y 74LS175 son encerado por un circuito RC la cual mandara un pulso bajo a la entrada CLR de cada uno de estos. El integrado 74LS74 esta encargada de sincronizar los estados y el integrado 74LS175 se encarga de capturar las salidas del circuito, encargadas de activar los electroimanes. La sincronización del bloque de control de secuencia esta dada por un bloque de reloj.

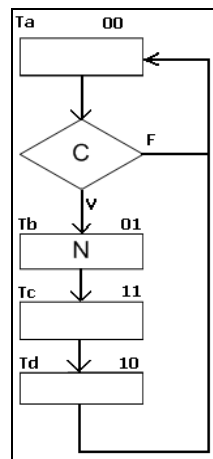


Figura 4.20. Diagrama de estado del circuito

El diagrama de estado mostrado en la figura 4.20 trabaja de la siguiente forma:

- El circuito permanece en el estado  $T_a$  esperando que sea accionada una de las botoneras de los cambios de velocidad, donde esta señal esta representada por la letra C.

- Una vez detectada la señal C, indicando que un cambio ha sido accionado, el circuito pasara al estado  $T_b$ , donde mandara las señales a los electroimanes para poner en neutro la caja de cambios representado por la letra N.
- Una vez en neutro, el circuito pasara al estado  $T_c$ , donde el circuito se encargara de mandar las señales para hacer los movimientos transversales, izquierda, derecha o centro por medio de los electroimanes. Este movimiento dependerá de la botonera accionada.
- Mantenido el movimiento anterior, pasa al estado siguiente  $T_d$ , donde el circuito mandara la señal a los electroimanes para hacer el movimiento de la palanca de cambio hacia delante o atrás dependiendo de que botonera o cambio haya sido accionado. Una vez engrampado el cambio deseado, el circuito vuelve al estado inicial  $T_a$ , esperando a que sea accionado otra velocidad.

La velocidad de sincronización, es controlada por el bloque de reloj. El diagrama esquemático se muestra en la figura 4.21

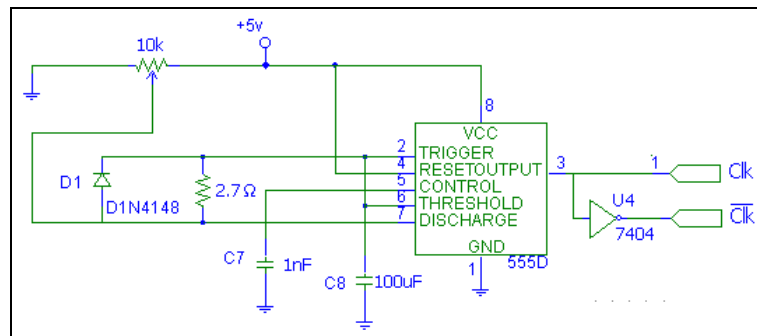


Figura 4.21. Esquema del bloque de reloj

Este circuito está conformado por un temporizador 555, su función es proporcionar pulso de duración variable para controlar el tiempo de sincronización de cambio de las velocidades. La velocidad del proceso o sincronización se controla mediante un potenciómetro de 10K.

El bloque de conmutación de los electroimanes está conformado por relé de 40 amperios, 12 voltios, cuya función es conectar las bobinas de los electroimanes a la batería. En la figura 4.22 se muestra el diagrama esquemático.



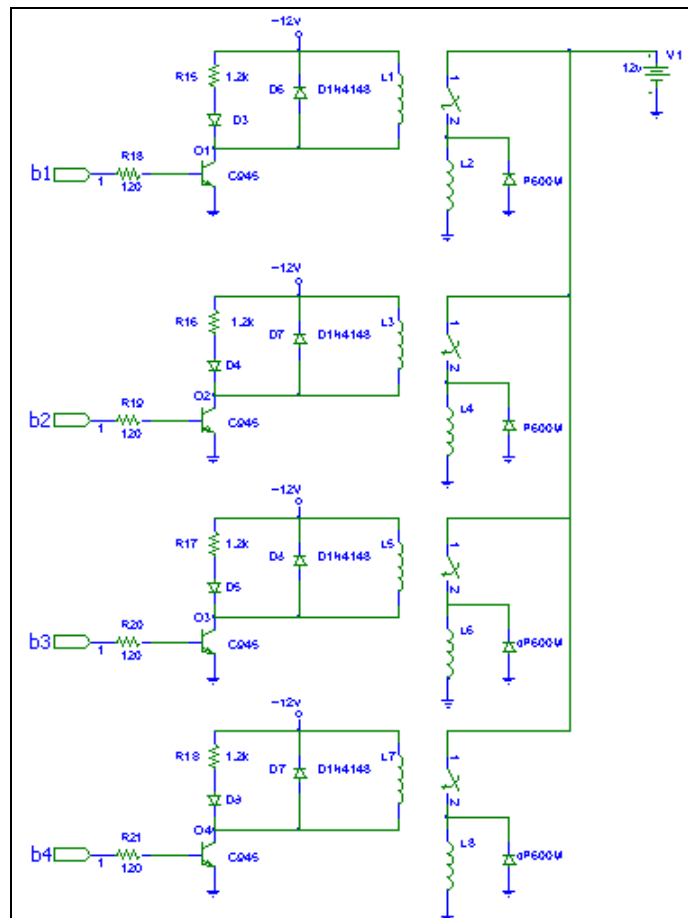


Figura 4.22. Circuito de activación de los electroimanes

La fuerza mecánica producida por los electroimanes debe actuar moviendo la palanca de cambios de izquierda a derecha, adelante o atrás. La bobina de cada relé se controla mediante un transistor que actúa como interruptor; las bases de estos transistores reciben las señales sincronizadas b1, b2, b3, b4; activando de esta manera los correspondientes electroimanes.

El voltaje de 5 V que necesitan los integrados de la serie TTL se obtiene mediante un regulador fijo LM7805, los parámetros a tomar en consideración son:

$$V_{out} = 5 \text{ V} \quad I_{out} = 0.2 \text{ A} \quad T_A = 40 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_{jmax} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{dmax} = 15 \text{ W}$$

El consumo de corriente se determinó mediante mediciones utilizando fuentes de voltaje externa. Al ser la entrada un voltaje DC regulado el rizado en la entrada se puede despreciar. Las condiciones de operación son las siguientes:

$$P_d < P_{dmax}$$

$$(12 - 5)(0.2) = 1.4 < 15$$

$$T_{jmax} < T_A + R_{j\theta A} P_d$$

$$150^\circ\text{C} < 40^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C/W} (1.4 \text{ W})$$

$$150^\circ\text{C} < 110^\circ\text{C}$$

Para un valor de  $R_{j\theta A} = 50 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , la última expresión no se cumple por tanto no se necesita disipador, así mismo la potencia consumida es menor a la máxima potencia para este componente.

#### 4.5. PUESTA A PUNTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO

Con el objetivo de hacer un análisis y conseguir una mayor eficiencia en el motor de combustión interna del vehículo, se procedió al cambio de componentes tales como: pistones, rings, chapas de biela, bomba y filtro de aceite. En la figura 4.23 se muestran fotos del motor.

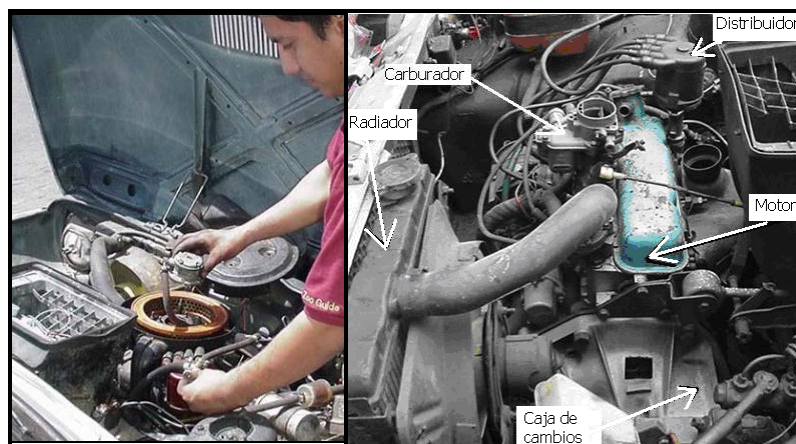


Figura 4.23. Motor de combustión interna del vehículo híbrido

El motor de gasolina que estamos utilizando es de cuatro tiempos tales como: admisión, compresión, explosión y escape. En la figura 4.24 se ilustra un esquema de funcionamiento del motor.

En el primer tiempo de operación, ocurre la admisión, donde el cigüeñal arrastra hacia abajo el pistón, aspirando en el cilindro la mezcla carburante que está formada por gasolina y aire procedente del carburador.

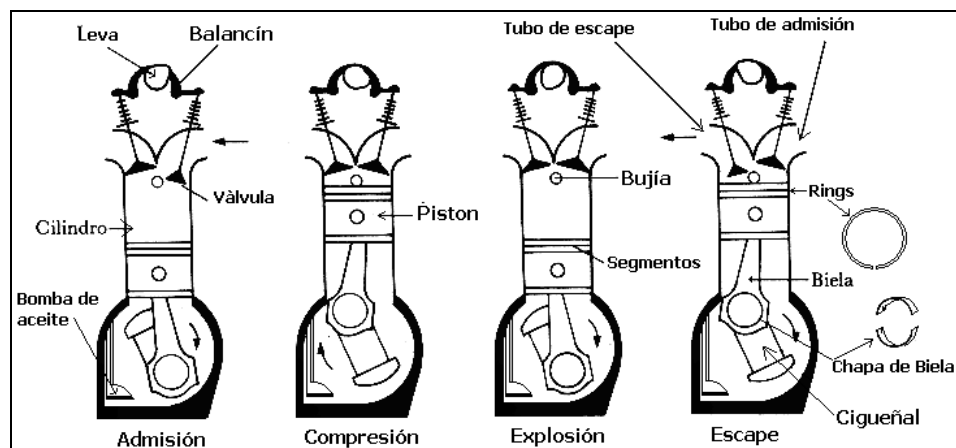


Figura 4.24 Cuatro tiempos del motor de combustión interna

En el segundo tiempo se efectúa la compresión, donde el cigüeñal hace subir el pistón, el cual comprime fuertemente la mezcla carburante en la cámara de combustión.

En el tercer tiempo, se efectúa la explosión, donde la chispa salta entre los electrodos de la bujía inflamando la mezcla, produciéndose una violenta dilatación de los gases de combustión que se expanden y empujan el pistón, el cual produce trabajo mecánico al mover el cigüeñal, que a su vez mueve la tracción del vehículo y hace avanzar al vehículo.

Por último, en el cuarto tiempo, los gases de combustión se escapan cuando el pistón vuelve a subir y los expulsa hacia el exterior, saliendo por el mofle y tubo de escape del automóvil. La apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión, se obtienen mediante mecanismos sincronizados en el cigüeñal.

Cuando los componentes del motor sufren desgastes o roturas, tales como los pistones, chapas de bielas y cigüeñal, cadena de distribución, bujías, rings, ocurre una pérdida de potencia, consumo de aceite y gasolina e incremento en la emisión de gases contaminantes al medio ambiente.

En el proceso de pintura del vehículo, se requirió eliminar componentes innecesarios, enderezar, masillar y pintar. Para esto utilizamos: soldadura autógena, cortadora, esmeril, compresor de aire y pintura de poliéster. En la figura 4.25 se muestra el vehículo antes y después de este proceso.



**Figura 4.25.** Vehículo híbrido antes y después de pintar

## 4.6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE FUERZA Y CONTROL PARA EL MOTOR ELÉCTRICO

En este proceso se define el modo de operación del motor eléctrico en el vehículo, tomándose en cuenta la seguridad y las protecciones. En la figura 4.26 se muestra el esquema del circuito. Las líneas remarcadas representan el circuito de fuerza, es decir donde se manejan altas corrientes y las líneas delgadas representa el circuito de control. Aquí se muestra la forma de interconectar el motor eléctrico, el banco de baterías, los circuitos de control, protecciones y dispositivos de control.

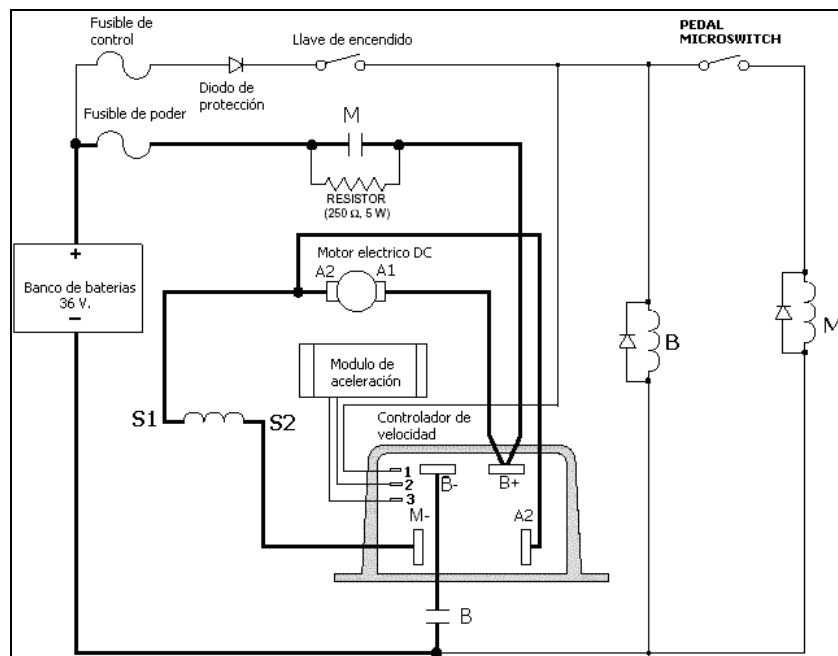


Figura 4.26. Esquemático del circuito de fuerza y control para el motor eléctrico

#### **4.6.1. Modo de operación del sistema eléctrico**

El circuito de fuerza y control que se muestra en la figura 4.26 esta formada por un motor de corriente continua de 10 hp y 36v la cual es controlado por un circuito electrónico (troceador), encargada de entregar energía al motor eléctrico de forma gradual y dosificada por medio de las baterías. Los terminales 1, 2, 3 del controlador es del circuito de control donde el terminal 1 es el que polariza al circuito y los terminales dos y tres es de un potenciómetro que se encuentra en el modulo de aceleración, encargada de modular el ancho de pulso para la conmutación de los transistores de potencia del troceador.

Los terminales B- se conecta al borne negativo de la batería y el terminal B+ se conecta al borne positivo, siendo estas las entrada del circuito troceador. Como salida tenemos las terminales A2 que se conecta al termina S1 y A2 de la armadura del motor y el terminal M- se conecta al punto S2 de la bobina de campo del motor, como se muestra en la figura 4.26.

La tracción eléctrica del vehículo se habilita mediante una llave de encendido, la cual cierra el circuito parcialmente por medio

del contactor **B**. El circuito se cierra completamente al pisar el pedal del acelerador la cual posee un interruptor (microswitch) encargada de energizar la bobina del contactor **M**. Una vez cerrando el contacto se pone en marcha el motor, cuya velocidad dependerá de la presión que se ejerza al pedal del acelerador. El embrague electrónico se activa al momento de soltar el pedal acelerador la cual es controlada por el (microswitch) permitiendo con esto sincronizar las velocidades.

#### **4.7. MONTAJE Y CABLEADO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO EN EL VEHÍCULO**

Una vez establecido el diseño eléctrico de fuerza y control, se procedió a cablear y montar los componentes en el vehículo. Para este proceso, se requirió construir bases y soportes para ubicar las baterías, el controlador, los contactores y el cargador de baterías. Todos estos componentes y equipos se los ubico en el maletero del vehículo. Un esquema del cableado en el vehículo se lo muestra en la figura 4.27.



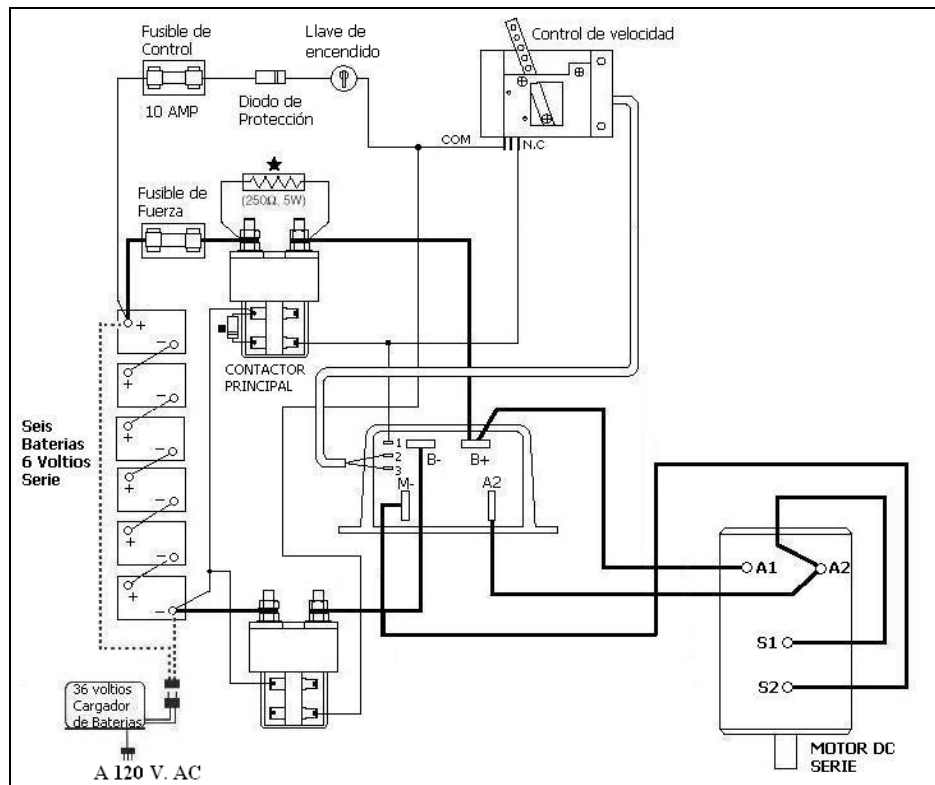


Figura 4.27 Esquema de conexión eléctrica en el vehículo

Para el cableado del circuito de control se utilizó cable número 12 y para la parte de fuerza cable número 1/0. En la figura 4.28 se muestran los componentes instalados en el vehículo.

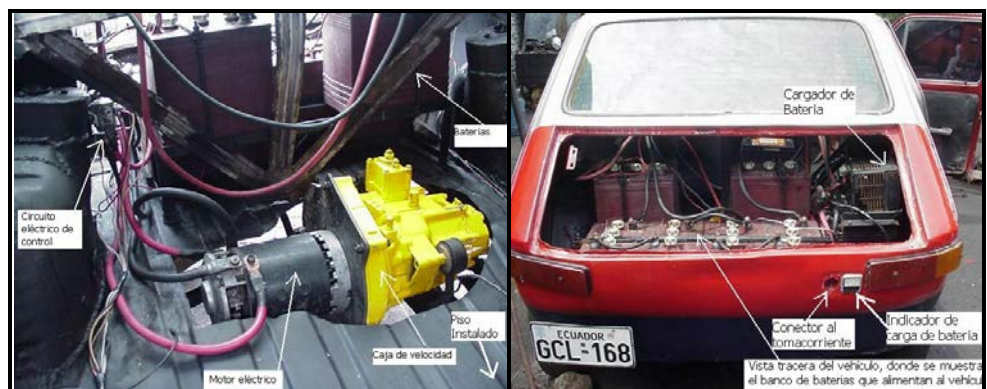
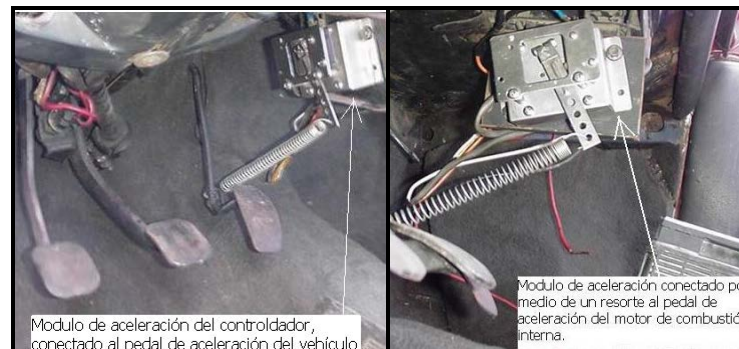


Figura 4.28 Fotos del circuito implementado en el vehículo

El modulo de aceleración se lo acoplo mediante un enlace al pedal del acelerado del vehículo, como se muestra en la figura 4.29. Con esto se consigue usar el mismo pedal para ambos motores.



**Figura 4.29.** Fotos del modulo de aceleración en el vehículo

## 4.8. RESUMEN

Para la conversión de un vehículo convencional a híbrido, se procedió primeramente al diseño y construcción de un chasis, cuya función es la de reforzar al vehículo para su nuevo trabajo y ser de soporte para la nueva tracción la cual será operada por un motor eléctrico. En el chasis se acopla los componentes que conforman la tracción y suspensión tales como; motor eléctrico, caja de cambio, ejes propulsores, amortiguadores, etc.

Para el control de la caja de velocidad, se lo hace de manera electromecánica, es decir mediante un conjunto de botoneras

enumeradas, indicando cada velocidad incluida el neutro. Al presionar un botón, esta señal va a un circuito de control la cual ordena a un dispositivo electromecánico formado por bobinas electromagnéticas y palancas, las cuales son las encargadas de proporcionar las fuerzas para sincronizar cada cambio de velocidad.

Al utilizar este sistema para sincronizar las velocidades, se consigue un vehículo híbrido semiautomático, generando comodidad al usuario. Además el vehículo cuenta con un sistema opcional de palanca de cambios, con este sistema el usuario puede sincronizar las velocidades de la manera tradicional es decir de forma mecánica.

Toda la circuitería que controla al motor eléctrico se los ubico en el maletero del vehículo así como el cargador y banco de baterías. El conector para la toma de energía fue ubicada en la parte posterior de la carrocería del vehículo. Para el cableado del circuito, se utilizo cable número 12 para la parte de control y cable número 1/0 para la parte de fuerza.

## CAPITULO 5

### PRODUCTO FINAL

En este capítulo se presenta un análisis general del vehículo híbrido, donde se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de desempeño, las características de carga para las baterías, la seguridad en vehículos eléctricos, el costo de producción y modo de operación del prototipo.

#### 5.1. PRUEBA DE AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO

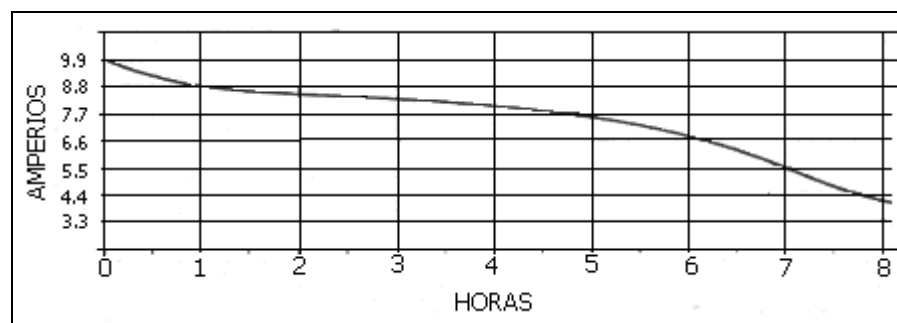
Después de pruebas hechas al vehículo híbrido, rodando por las calles de la ciudad en modo eléctrico, se determinó la velocidad promedio alcanzada en cada marcha, la cual se muestra en la tabla VI.

**Tabla VI.** Velocidades del vehículo en modo eléctrico

Marcha	Velocidad máxima (Km/h)
1	20
2	30
3	40
4	45
5	57

En las pruebas usando un batímetro, se determinó un consumo de energía promedio por parte del motor eléctrico de 165 vatios-horas por kilómetro. La distancia recorrida con batería a plena carga fue aproximadamente de 32 Km. Después de esto el vehículo comenzó a perder fuerza y velocidad.

Después de cada prueba, se procedió al proceso de carga de las baterías. En este proceso utilizando un multímetro, registramos los valores de corriente alterna entrante al cargador. Estos datos se muestran en la gráfica 5.1



**Figura 5.1** Proceso de carga de las baterías

Utilizando los datos de la figura 5.1, podemos calcular un valor aproximado a pagar por la energía consumida durante un mes. Para esto procedemos hacer una aproximación lineal a la curva como se muestra en la figura 5.2.

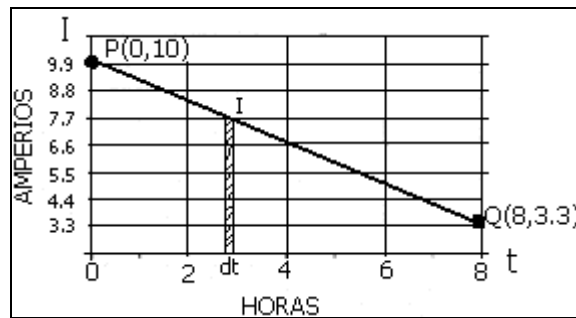


Figura 5.2 Aproximación de la curva de carga de las baterías

De esta curva procedemos a encontrar la ecuación de la recta y para esto, primero calculamos la pendiente de la recta entre los punto PQ usando la expresión 5.1

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (5.1)$$

$$m = \frac{(3.3 - 10)}{(8 - 0)} = -0.84$$

Usando la ecuación general de la recta expresión 5.2 y remplazando un punto de la recta, encontramos la ecuación de la corriente en función del tiempo.

$$(Y - y_1) = m * (X - x_1) \quad (5.2)$$

$$(I - 10) = -0.84 * (t - 0)$$

$$I = -0.84 * t + 10$$

Combinando la ecuación de la potencia eléctrica expresión 5.4 con la ecuación de la energía expresión 5.3 podemos encontrar una expresión de la energía en función del voltaje, corriente y tiempo.

$$E = P * t \quad (5.3)$$

$$P = V * I \quad (5.4)$$

Remplazando la expresión 5.4 en la expresión 5.3

$$E = V * I * t \quad (5.5)$$

Al derivar la expresión 5.5 obtenemos la siguiente expresión

$$\partial E = V * I * \partial t$$

$$E = V * \int I * \partial t$$

Remplazando la ecuación de la corriente, voltaje de la fuente y los límites de integración de la curva de corriente mostrada en la figura 5.2, procedemos a resolver la integral.

$$E = 120 * \int_0^8 (-0.84 * t + 10) * \partial t$$

$$E = 120 * \left( -0.84 * \frac{8^2}{2} + 10 * 8 \right)$$

$$E = 6374wh$$

Conociendo la energía consumida, el costo comercial del kilowatio-hora (0.083 dólares), procedemos hacer la conversión.

$$6,374kwh * \frac{0.083\$}{1kwh} = 0.529\$$$

Si consideramos que el vehículo es cargado por ocho horas diarias durante los 30 días del mes, encontramos un valor aproximado que se recargaría a la planilla de luz, cuyo resultado se muestra a continuación:

$$0.529\$ * 30 = 15.87 \text{ dolares}$$

Utilizando un batímetro, se encontró que el valor de energía consumida durante el proceso de carga es de 9.9 kilowatios-hora deduciéndose un valor a pagar de 0.82 dólares por las 8 horas de carga de las baterías, es decir que el valor a pagar mensualmente estaría alrededor de 24.6 dólares.

## **5.2. CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE LAS BATERÍA**

La autonomía y el rendimiento del vehículo dependen principalmente de las baterías. Por esto es necesario conocer; las características de carga, los factores que afectan la durabilidad, las reglas para dar un buen servicio y las normas para hacer un buen uso de ellas.



### 5.2.1.- Carga de batería

Para cargar las baterías, se utiliza el método de carga con intensidad decreciente. Este método se basa en las siguientes consideraciones:

1. La intensidad inicial de carga puede alcanzar un valor suficientemente grande, que en la práctica es:

$$I_i = \frac{C_5}{5} \text{ amperios}$$

Donde:

$C_5$  : capacidad de la batería medida en una descarga de 5 horas (Ah)

$I_i$  : intensidad inicial de carga

2. la intensidad final de carga debe mantenerse por debajo de un cierto valor por las siguientes razones:

- Es necesario evitar la elevación de la temperatura que daña tanto a las placas como a los separadores.
- Cuando la carga ha llegado a restituir el 75% de la capacidad de la batería, una parte de la corriente de carga, disminuye su efecto en cuanto a regeneración de

la batería activa y comienza a producir la descomposición del electrolito liberando oxígeno e hidrogeno.

- Si la intensidad final es muy grande, la producción de gases será excesiva y tenderá a desalojar partículas de materia activa de las placas positivas e incluso se iniciará la corrosión de las rejillas.
- La producción de gases tiene una misión positiva ya que produce la mezcla y homogeneización del electrolito. Es necesario por tanto que la intensidad final sea superior a un valor mínimo que asegure un desprendimiento de gases adecuado.

El valor que generalmente se aplica es:

$$I_f = \frac{C_5}{20} \text{ amperios}$$

Mediante este procedimiento de carga, la intensidad disminuye paulatinamente desde su valor inicial y a medida que la carga prosigue la tensión de la batería va aumentando hasta alcanzar un valor de 1.25 veces el voltaje de batería cargada, es decir:

$$1.25 * 36V = 45\text{Voltios}$$

### 5.2.2. Normas para la utilización de las baterías

Para un buen uso de las baterías se debe considerar las siguientes recomendaciones:

1) Si se descarga profundamente y después se recarga con un régimen excesivo, se ocasiona una gran expansión de la materia activa de las placas y por lo tanto una fuerte elevación de la temperatura de la batería. Esta elevación de la temperatura produce los siguientes efectos perjudiciales:

- Se daña los separadores.
- Aumenta la acción corrosiva del ácido sulfúrico.
- Aumenta la cantidad de materia activa por corrosión de las espiras de los tubos.
- Se favorece el aumento del volumen de la materia activa por incremento del sulfato de plomo producido en las descargas profundas.

2) Si la batería se descarga profundamente y las recargas posteriores son insuficiente, las placas van acumulando cristales de sulfato de plomo con pérdidas por tanto de capacidad. Este proceso acumulativo, ocasiona al cabo del tiempo la imposibilidad práctica de recargar la batería.

### 5.2.3. Factores que afecta la duración de las baterías

Entre los factores que afecta la duración de las baterías tenemos:

- El abandono de la batería estando descargada durante un tiempo largo, hace que sea más difícil obtener una recarga perfecta.
- Sea 100 el valor de la capacidad de una batería. Si habitualmente se descarga más del 90% la vida de la batería puede reducirse hasta un 40%
- La duración máxima se consigue cuando la descarga habitual de la batería está entre el 75% y el 80% de su capacidad nominal.
- La prolongación excesiva del periodo de desplazamiento de gases durante la carga, ya que se produce una elevación de la temperatura y por tanto un calentamiento de la batería.

#### **5.2.4. Reglas para el servicio de las baterías de tracción**

Para dar un buen mantenimiento a las baterías, se aconseja seguir las siguientes reglas:

- Cargar la batería diariamente con el régimen que corresponda según las características.
- Intentar no descargar habitualmente más del 80% de la capacidad.
- Controlar las densidades y el nivel del electrolito, rellenar con agua destilada cuando el nivel descienda.
- Mensualmente dar carga de igualación.
- Mensualmente limpiar y engrasar los terminales con vaselina neutra.
- No almacenar nunca la batería estando descargada.
- Si se almacena por inactividad, durante más de un mes, es recomendable dar periódicamente cargas de igualación.
- Controlar la temperatura, la cual no debe nunca subir más de 40°.

### **5.3. SEGURIDAD EN EI VEHÍCULOS HÍBRIDO**

Los vehículos eléctricos representan una tecnología bastante diferente a la de los vehículos convencionales actuales. El uso de sistemas de tracción que utilizan baterías trae consigo una serie de riesgo de seguridad y peligro. Por esto se debe tener en consideración:

- Seguridad en el sistema de tracción eléctrica: aspecto eléctrico y mecánico.
- Seguridad en la batería de tracción: aspecto eléctrico, mecánico y químicos.
- Seguridad en el cableado.

#### **5.3.1 Seguridad contra sacudidas eléctricas**

Los hombres, mujeres y niños pueden apartarse de la corriente de hasta 6 mA. Con 10 mA el 98% de hombre, 60% de mujeres y 7.5% de niños se apartan de un contacto eléctrico, y para corriente mayores a 30 mA nadie se despega y si se mantiene por 3 minutos, sobreviene un paro cardiaco.

Debido al peligro que representa sufrir una sacudida eléctrica, es importante tomar todas las medidas de seguridad al momento de ubicar los componentes eléctricos y cableados.

### **5.3.1.1. Voltajes de seguridad**

Para prevenir una electrocución, el voltaje debe ser más bajo que el límite convencional absoluto. Este voltaje se define de tal manera, que la exposición del cuerpo humano a este voltaje no cree ningún riesgo de electrocución. Su valor depende de las características de la exposición a este voltaje, más particularmente de la resistencia del cuerpo humano, el cual en si mismo es función de la humedad.

Existen dos formas definidas para caracterizar la exposición del cuerpo humano a la electricidad. Para automóviles eléctricos estas formas son:

- Baja resistencia del cuerpo, piel húmeda (por ejemplo, un conductor circulando su vehículo, mojado por la lluvia).

- Contacto con cuerpos conductores (por ejemplo, un operador tocando la carrocería metálica del auto u otras partes metálicas.

Bajo esta circunstancia, la seguridad a un nivel de bajo voltaje es:

25V para AC

60V para DC pura

#### **5.3.1.2. Protección contra el contacto directo**

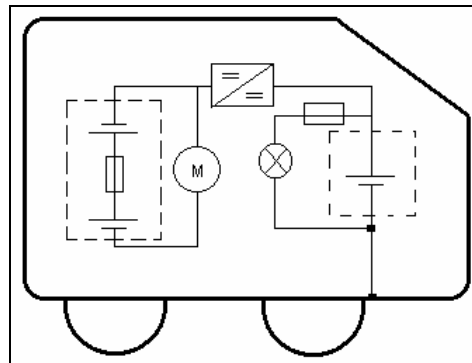
El contacto directo es una de las causas más comunes que se da en una electrocución. La protección frente al contacto directo es bastante rígida, las partes eléctricas del sistema de tracción deben estar protegida contra el contacto directo de las personas que hay tanto en el interior como en el exterior del vehículo, a través de algún sistema de aislamiento o situándola en una posición inaccesible. Por esto se establece que las partes activas deberán estar protegidas para prevenir el contacto directo.



### **5.3.1.3. Protección frente a contacto indirecto**

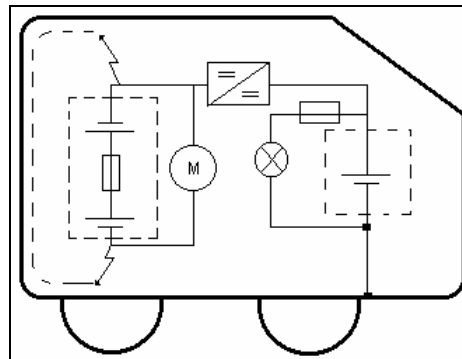
La protección contra contacto indirecto proviene de un error en la conexión de la red de tracción al bastidor del vehículo. Una conexión fortuita entre el circuito de tracción y el bastidor del vehículo puede producir un cortocircuito, electrocución o una operación incontrolada. De acuerdo a esto, el bastidor del vehículo debe estar aislado del circuito de tracción y no formar parte de ningún circuito eléctrico de potencia.

En la mayoría de los vehículos de combustión, la red auxiliar de abordo (iluminación) está conectada al bastidor del vehículo, utilizándolo como un conductor de retorno. Este procedimiento en vehículos eléctricos puede provocar problemas especiales de operaciones incontroladas. En la figura 5.3 se muestra un esquema del circuito eléctrico en el vehículo.



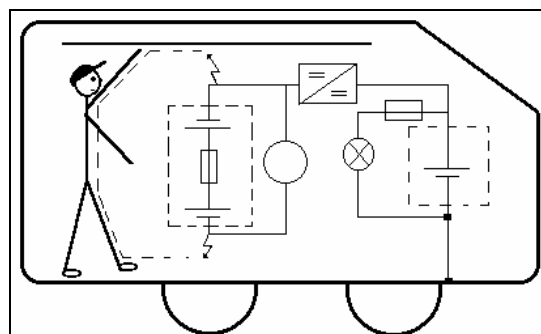
**Figura 5.3** Circuito eléctrico en el vehículo

Hay que decir que en la mayoría de los casos, una simple derivación no interfiere en el funcionamiento del vehículo y no es peligroso. Sin embargo, cuando ocurre una segunda derivación, hay una gran posibilidad de que se establezca un circuito de retorno a través del bastidor, lo cual es entonces muy peligroso. Un corto circuito de la batería de tracción a través del bastidor normalmente significa un cortocircuito de corriente muy elevada que puede producir chispas, calentamiento, posibilidad de fuego y explosión de la batería. En la figura 5.4 se muestra un esquema de esta situación.



**Figura 5.4** Derivación con el bastidor. Batería en corto circuito

Otra situación de peligro ocurre cuando se producen derivaciones, sobre partes metálicas del bastidor que no están eléctricamente conectadas. En este caso cuando una persona toca estas dos partes, está expuesta al voltaje total de la batería y puede ser electrocutado, en este caso, el fusible no actúa. Un esquema de esta situación se muestra en la figura 5.4



**Figura 5.5** Derivación con el bastidor. Peligro de electrocución.

### **5.3.2. Propiedad del cable para carga del vehículo híbrido**

El cable que se usa para conectar el cargador de batería del vehículo híbrido, debe soportar un tratamiento severo y ser resistente al aceite y ácido. Deben permanecer flexibles incluso a bajas temperaturas. Basado en estas condiciones, se decidió usar un cable aislado de goma (H07 RN-F) con una sección de 2.5 mm<sup>2</sup> suficiente para conexiones normales de 16 A. se recomienda esta sección, para dar más resistencia mecánica al cable y reducir la caída de tensión.

#### **5.3.2.1. Configuraciones de conexión del cable**

La conexión entre la estación de recarga y el vehículo se puede realizar de tres formas diferentes:

- a) El cable está fijo al vehículo y el conector se inserta en una toma de la estación de carga.
- b) Se utiliza un cable suelto, fijado por una parte en la toma de la estación de carga y por otra en la entrada del vehículo.

c) El cable está fijo en la estación de carga y se conecta a la entrada del vehículo.

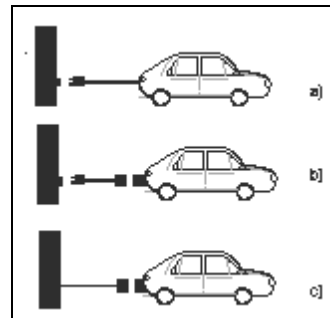


Figura 5.6 Configuración del cable de carga en el vehículo.

Para cargadores de abordó los tipos más utilizados son el a) o el b). Para cargadores externos (con cables pesados de corriente continua) se utiliza principalmente el tipo c). El tipo c) es el recomendado por los fabricantes de vehículos y el tipo a) por las compañías eléctricas debido a varias razones:

- La carga principal tiene lugar por la noche, normalmente en un garaje privado, donde existe tomas de corriente, si el cable es parte de la toma de corriente se precisará la instalación de una infraestructura.

- La instalación de un cable desenrollable dentro del vehículo, proporciona flexibilidad, rapidez y disponibilidad total para la recarga.
- Si el cable está conectado permanentemente a la estación de carga, los sistemas de seguridad deberán chequear que el vehículo esta apropiadamente conectado antes de empezar el proceso de carga, lo que resulta costoso y laborioso, más que si el cable está permanentemente conectada al vehículo.

En el vehículo híbrido, usamos la conexión tipo b como se muestra en la figura 5.6

## 5.4. CARACTERÍSTICA TÉCNICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO

En la siguiente tabla se muestra las características técnicas del vehículo híbrido:

**Tabla VII.** Características técnicas del vehículo híbrido

<b>Producto</b>	<b>Modelo 127</b>
N <sub>o</sub> . Llantas	4 ruedas aro 165SR13
Peso unitario	750 Kg
Capacidad de carga	1000 lb.
Largo	3595 mm
Ancho	1527 mm.
Motor de combustión	45 Cv 6200 rpm
Velocidad máxima con MCI en cuarta	140 Km/h
Velocidad máxima con MCI en tercera	105 Km/h
Velocidad máxima con MCI en segunda	70 Km/h
Velocidad máxima con MCI en primera	40 Km/h
Tipo de batería	Seis, 220 amp horas, 6 voltios (ácido plomo)
Voltaje del sistema	36 voltios
Distancia de viaje (sin carga)	32 kilómetros
Consumo de energía	165 watt/hr. por kilómetros
Eje de transmisión	Diferencial de suzuki forsa I
Motor	36V, 1400 rpm Dc serie, 10 hp de potencia
Frenos	Freno hidráulico de disco en las 4 ruedas
Color	Plateado, azul, rojo y amarillo
Instrumentación	Indicador de estado de batería, Switch de llave
Cargador	25 amp, 36 volt automático
Tiempo de carga	8 horas, al 80% descarga
Requerimiento de energía	9.9 kw-hr con 80% de eficiencia
Voltaje de entrada	110 voltios 60Hz
Controlador de velocidad	275 amp. 36 volt.
Velocidad máxima con ME en quinta	57 Km/h
Velocidad máxima con ME en cuarta	45 Km/h
Velocidad máxima con ME en tercera	40 Km/h
Velocidad máxima con ME en segunda	30 Km/h
Velocidad máxima con ME en primera	20 Km/h

## **5.5. MODO DE OPERACIÓN GENERAL DEL VEHÍCULO HÍBRIDO**

El vehículo híbrido posee tracción en las cuatro ruedas, la tracción delantera es operada por el motor a gasolina y la tracción trasera es comandada por el motor eléctrico. Para habilitar una de las dos tracciones, se la hace por medio de botoneras ubicadas en el panel de control del auto. Si se desea usar el vehículo con el motor a gasolina, debemos asegurarnos que el sistema de tracción operada por el motor eléctrico se encuentre en neutro. Si se desea usar la tracción del motor eléctrico, se debe cumplir la misma condición, es decir debemos asegurarnos que la caja de cambio del motor de combustión se encuentre en estado neutral.

Para sincronizar las velocidades en el sistema de combustión, se lo hace de la manera tradicional, usando la palanca de cambios. Para sincronizar las velocidades en el sistema eléctrico, se lo puede hacer de forma mecánica o de manera electrónica. En el primer caso usamos palanca de cambios y el segundo se lo hace de forma electrónica, es decir que mediante un panel de control comprendido por un conjunto de botoneras, podemos sincronizar cada velocidad y esto se lo consigue mediante un dispositivo electromecánico. Para la



sincronización de cambios, no necesitamos pisar un pedal del embrague, pues se consigue el mismo efecto al soltar el pedal del acelerador. Es decir que al rodar el vehículo en modo eléctrico, solo se debe utilizar el pedal del acelerador y freno.

Para cargar las baterías del vehículo, se lo hace por medio de un cable, el cual puede ser conectado a un tomacorriente casero de 110v. 60Hz. El cargador de baterías se apaga automáticamente una vez completada la carga. Además el vehículo cuenta con un indicador de carga, el cual indica la cantidad de corriente medida en amperios entregada a las baterías.

## **5.6. COSTO DE PRODUCCIÓN**

Para la conversión de un vehículo de gasolina a híbrido, se contó con la experiencia y conocimientos técnicos en mecánica automotriz, soldaduras, enderezada, pintura de vehículos y electrónica industrial. Materiales tales como pernos, tuercas y repuestos usados fueron proporcionados por los talleres SEAT y EL MORLACO así como herramientas y equipos de mecánica industrial, la cual nos ayudo mucho optimizando nuestro recursos económico.

En muchas ocasiones no bastó con tener los materiales a la mano. Las soluciones dadas para la construcción de las piezas mecánicas eran poco usuales, dada la “complejidad”. La inversión realizada para la construcción del prototipo es de aproximadamente 5192.00 dólares y el tiempo empleado para la investigación y desarrollo del prototipo es de aproximadamente un año. En la tabla VIII, se muestra el costo de algunos materiales y equipos utilizados:

Tabla VIII. Costo de materiales y equipos utilizados

Alambre para bobina calibre #14	60.00
Vehículo de combustión interna (SEAT 127 de 4 puertas)	1339.00
Motor eléctrico de corriente continua de 10 Hp 1400 rpm	800.00
Controlador de velocidad de 275 amperios 36 voltios	365.00
Modulo de aceleración	60.00
Cargador de batería 110v 60 hz	198.00
Cable Termaflex	17.00
4 Solenoides	130.00
Amperímetro 0-50 Amperios	30.00
Bases para el motor	98.00
6 baterías de 220 Ah	720.00
Juego de pernos y tuercas de varias medidas	35.00
Tubos de acero para construcción de un chasis	30.00
Caja de velocidades	280.00
2 Brazo de rotulas delantero	20.00
2 Terminales	20.00
2 Punta de eje	20.00
2 Disco de frenos	20.00
2 Mordaza de frenos	20.00
4 Galletas de frenos	20.00
2 Ejes de transmisión	20.00
2 Guardapolvo	20.00
2 Tricetas	20.00
2 Amortiguadores	20.00
2 Espirales	20.00
Planchas de aceros y equipo de soldadura	200.00
Repuestos para reparación del motor de combustión	120.00
Materiales para pintura del vehículo	130.00
Construcción de piezas mecánicas	150.00
Insumos y materiales	100.00
Construcción del circuito de control	20.00
Cables y accesorios para las conexiones	20.00
Juego de relés electromecánicos	40.00
Combustible para pruebas	30.00
<b>TOTAL</b>	<b>5192.00</b>

## 5.7. RESUMEN

El vehículo híbrido puede funcionar en modo a gasolina o eléctrico, la forma de seleccionar la tracción a utilizar, es mediante switches. Al accionar la tracción delantera, esta funciona con el motor a gasolina cuya función es la misma de la de un vehículo convencional. Al accionar el switch para habilitar la tracción trasera, entra a funcionar el motor eléctrico. En esta modalidad no necesitamos pedal de embrague, pues al soltar el pedal del acelerador, se consigue el mismo efecto. La velocidad se sincroniza mediante una palanca de cambio y el vehículo se pondrá en marcha presionando el pedal acelerador.

Después de las pruebas hechas al vehículo en modo eléctrico, se determino que la distancia promedio recorrida consumiendo la energía de las baterías es de 32 Km. alcanzando una velocidad máxima de 57 Km/h. Además se determino que la energía consumida en el proceso de carga durante el tiempo de 8 horas es de 9.9 kilowatios-hora. El costo de producción del prototipo es de aproximadamente 5192.00 dólares y su tiempo de construcción fue de aproximadamente un año.

## **CONCLUSIONES**

Como parte final en el desarrollo de este proyecto, se plantean las conclusiones a partir de las experiencias obtenidas tanto en el diseño como en las pruebas hechas en el desarrollo del prototipo, así se tiene:

1. El tiempo para cargar las baterías completamente esta en torno de las 8 horas. Con esta carga el vehículo tiene una autonomía aproximada de 32 km.
2. Número de kilómetros realizados diariamente está directamente relacionado con el número de desplazamientos diarios y por persona.
3. Autonomía suficiente para el uso cotidiano en la ciudad.
4. Grado de contaminación por emisión de gases y ruidos es muy bajo durante la utilización del vehículo en tráfico urbano.
5. La relación entre el peso de la fuente de alimentación con respecto al peso del vehículo es muy desfavorable lo que le hace de momento muy poco apropiado para el transporte de mercancías.
6. Ocupación del maletero no llega al 70% de su capacidad total.
7. La velocidad media está en torno a los 40 Km/h y máxima en 57 Km/h.

8. El consumo de energía durante las 8 horas de carga es de 9.9 kilowatios-hora, resultando económico usar el vehículo en modo eléctrico pues el costo por esta energía es de 0.82 dólares.
9. Los vehículos de combustión interna tipo compacto y de tracción delantera, son ideales para convertirlos en eléctricos o híbridos en especial los FIAT, SEAT, Suzuki Forza, etc. por poseer una estructura de menor peso y cumplir con las condiciones técnicas para la conversión.
10. Resulta mejor sincronizar las velocidades de manera mecánica es decir usando palanca de cambio, debido a la facilidad de su mantenimiento.
11. Se consigue un mayor ahorro energético, debido a que un vehículo convencional al circular por ciudad, alrededor del 25 % del tiempo del vehículo en circulación se pasa a ralentí esto es cuando está parado en un semáforo, etc.
12. Las baterías de tracción son diferentes de las baterías de arranque puesto que están construidas de forma distinta, es decir son más capacitivas y no tan intensas o de choque como las de arranque.

## **RECOMENDACIONES**

Durante las pruebas realizadas con el vehículo híbrido, surgieron algunas propuestas para mejorar el desempeño del mismo, tales como:

1. Se recomienda usar el vehículo en modo eléctrico cuando se este circulando en la ciudad. Para de esta manera contribuir a la no contaminación ambiental.
2. Si se desea correr a velocidades mayores a 60 Km/h, subir cuestas, o viajar por carreteras, se recomienda usar el vehículo en modo a gasolina.
3. Si en subidas de cuestas el motor a gasolina no es suficiente, se recomienda habilitar la tracción eléctrica, de esta manera ambas tracciones sumaran fuerzas para vencer tal obstáculo.
4. Cuando se este usando el motor a gasolina, se recomienda usar un alternador adicional conectado a la polea del cigüeñal, la cual por medio de un circuito de control electrónico, se pueda conectar las

baterías de tracción en paralelo a 12 voltios. Consiguiendo con esto energía extra para las baterías.

5. Se recomienda crear un Kit de conversión, para convertir vehículos de combustión a híbrido de manera rápida y económica. Este Kit consistirá en añadir una nueva tracción al vehículo operada por el motor eléctrico, la cual será sujeta a la carrocería del vehículo por medio de pernos.
6. Para un mayor ahorro y comodidad del cliente, se recomienda hacer la conversión de vehículo, usando como único sistema de tracción el motor eléctrico. Para esto se propone quitar el motor a gasolina y en lugar de este colocar un motor eléctrico con todos sus componentes, junto a un motor de combustión de mucha menor potencia similar a las que usan las motos, cuya función es hacer girar la polea de un generador, encargado de alimentar al motor eléctrico y las baterías. Con esto se puede conseguir una mayor autonomía y evitar la alteración de la estética en el vehículo.
7. Como sistema de carga de batería alternativo, se recomienda utilizar paneles solares, celdas de hidrógeno, frenos regenerativos o colocando pequeños alternadores o dinamos en cada rueda, consiguiéndose con esto una cantidad de energía extra.
8. Se recomienda rediseñar el circuito eléctrico, de tal manera que al momento de frenar o dejar de acelerar, el motor eléctrico se configure



como generador, para de esta manera aprovechar las pérdidas ocurridas cuando el vehículo frena, desacelera o va rodando cuesta abajo, aprovechando la energía cinética sobrante que se produce durante el movimiento, en vez de perderse en forma de energía disipada en los frenos del vehículo.

9. Se propone colocar pequeños alternadores o dinamos en cada rueda, para con esto aprovechar la energía del movimiento cuando el vehículo sale a las afueras de la ciudad, en donde las velocidades y los kilómetros recorridos son mayores, recargando las baterías o bien proporcionando una cantidad de energía extra. En el mercado se encuentra alternadores muy pequeño, liviano, barato y fácil de controlar, como por ejemplo el de Suzuki Forsa etc.
10. Se recomienda utilizar vehículos de carrocería ligera, de aluminio, fibra de vidrio o fibra de carbón, para de esta manera conseguir sin esfuerzo velocidades alrededor de 80 Km/h y contar con un mayor radio de acción. Hoy en día los vehículos modernos son sumamente ligeros, la cual resultaría ideal para la conversión a híbrido o eléctrico.
11. Los motores eléctricos también pueden funcionar con la electricidad generada en una célula de combustible de hidrógeno donde al forzar el paso de hidrógeno por la misma y al estar en contacto con el oxígeno genera electrones y como residuo agua caliente pura.

Con el desarrollo de este proyecto se ha dado el primer paso en la aplicación real del mismo, las recomendaciones anteriores son planteadas con el ánimo de proporcionar las bases para continuar con esta investigación contribuyendo de esta manera a su optimización.

El proceso de construcción de este proyecto fue televisado en Teleamazonas el 27 de noviembre del 2004. Se consiguió ganar el premio NOBIS a la excelencia de la campaña “ECUADOR TRIUNFADOR 2004” en la categoría investigación. El prototipo fue presentado ante empresarios, autoridades de la ESPOL, alumnos y todos los medios de prensa y televisión el lunes 5 de septiembre del 2005. Fue ganador del primer lugar en ESPOLCIENCIA2005 en la categoría prototipos, el 12 de diciembre del 2005. Fue televisado en programas de ciencia y tecnología, publicado en revistas tecnológicas tales como: revista del FUNDACYT, revista punto Azul, revista tecnológica de la ESPOL, diario el UNIVERSO, diario El COMERCIO, diario el TELEGRAFO etc. y participo en la VIII FERIA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN y III CONCURSO INTERNACIONAL DE INNOVACIÓN, FENACYT 2006.

# **ANEXOS**

## ANEXOS A

### DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO ELECTRICO

En este anexo se hace un análisis general de los diferentes equipos y componentes que se podría utilizar en la construcción de un vehículo eléctrico o híbrido. Con la descripción de estos equipos, se pretende dar alternativas, de tal manera que el diseñador pueda desarrollar un prototipo de mayor alcance.

#### A.1 MOTORES ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN PARA AUTOS

Dentro de los motores de corriente alterna, el más usado es el asíncrono, trifásico y monofásico. Actualmente se regulan electrónicamente regulando la tensión y la frecuencia de la alimentación por medio de onduladores semicontrolados. El motor eléctrico más usado actualmente para tracción de automóviles híbridos son los motores de corriente alterna síncrono de imanes permanentes de neodimio con disposición en V con refrigeración agua/aceite. Los motores síncronos necesitan un ondulator totalmente controlado en el inducido y puente rectificador en el inductor. Al ser necesario controlar

exactamente la frecuencia de alimentación, su regulación es compleja y costosa.

Otro tipo de motor eléctrico usado es el de corriente continua, ya que es de fácil regulación. La regulación puede ser clásica con resistencia, por troceador o por puente rectificador controlado. Estas dos últimas son eléctricas y se emplea la una o la otra según el tipo de alimentación. La mayor desventaja de los motores de corriente continua es su elevado costo de mantenimiento.

### A.1.1 TIPOS DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Una de las características del motor de corriente continua es que nos permitir varios tipos de conexiones:

- a) Excitación independiente.
- b) Excitación derivación (shunt).
- c) Excitación serie
- d) Excitación compuesta

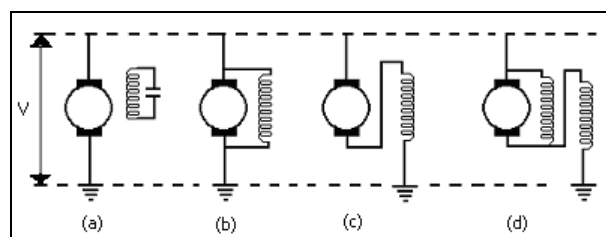


Figura A.1 Motores de corriente continua

Las ecuaciones generales que definen el comportamiento de un motor de corriente continua, independientemente del tipo de excitación, son:

$$E = K \cdot N \cdot \phi \quad (\text{A.1})$$

$$M = K_1 \cdot I \cdot \phi \quad (\text{A.2})$$

$$V = E + I \cdot r \quad (\text{A.3})$$

$$E = V - I \cdot r \quad (\text{A.4})$$

$$N = (V - I \cdot r) / K \cdot \phi \quad (\text{A.5})$$

Donde:

E = fuerza contraelectromotriz.

K = constante del motor para la fuerza electromotriz.

M = Par mecánico del motor.

$K_1$  = constante del motor para el par.

I = intensidad de inducido.

N = número de vueltas por minuto.

$\phi$  = flujo magnético inducido.

EI MOTOR DE EXCITACIÓN SERIE lo podemos describir analizando las curvas características que se muestra en la figura A.2, Siendo I la Intensidad, N el número de revoluciones del motor en r.p.m, M es el Par motor.

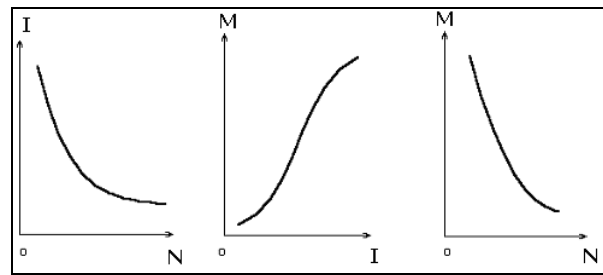


Figura A.2 Curvas características del motor serie

Estas curvas se deducen de las ecuaciones fundamentales de los motores de corriente continua. Al tratarse de un motor de excitación serie la intensidad que pasa por el inducido es la misma que la del inductor, y conforme ésta se incrementa lo hace también el flujo  $\phi$ , como se observa en la figura A.2. En cuanto a la curva  $M(I)$  se deduce de  $M = K_1 \cdot I \cdot \phi$ , y por último la curva  $M(N)$  se obtiene de las dos anteriores.

EN EL MOTOR DE EXCITACIÓN DERIVACIÓN, Las curvas características coinciden prácticamente con las de los motores de excitación independiente ya que ambos casos son muy similares.

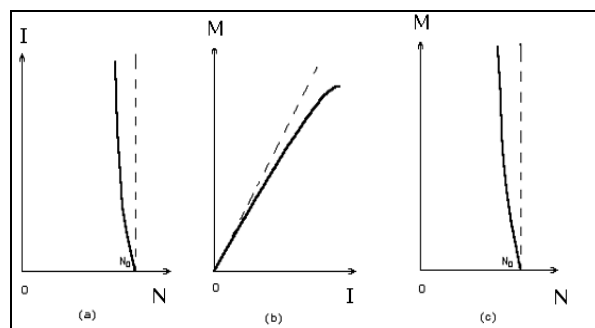


Figura A.3 Curvas característica del motor excitación independiente

La curva  $I(N)$  se convierte de esta forma en una recta vertical ya que al ser independiente la tensión de inducido y de inductor, el flujo permanece prácticamente constante.

Por este mismo motivo la curva  $M(I)$  tiene menos pendiente que en los motores de excitación serie, ya que ahora un incremento de intensidad en el motor no supone un aumento de flujo.

EN EL MOTOR EXCITACIÓN COMPUESTA La característica  $M(N)$  se deduce de la excitación independiente, debido al efecto de la parte de inductor montada en serie, es más inclinada que la del la excitación independiente. En la figura A.4 encontramos una comparación mecánica entre los tres tipos de motores:

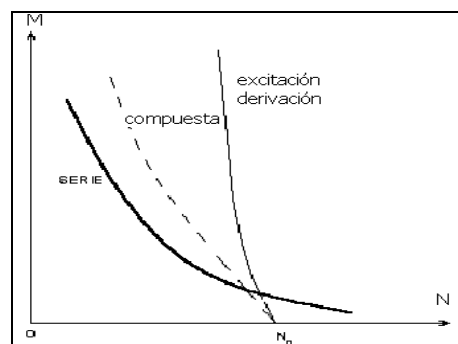


Figura A.4 Comparación de las características mecánicas de tres tipos de motores

COMPARANDO LOS DIFERENTES TIPOS DE MOTORES, encontramos que el motor de derivación no tiene aplicación en



tracción eléctrica debido a su característica “dura” de velocidad. El motor de excitación independiente tiene características similares. El motor compuesto tiene margen de regulación de velocidad superior, pero el más apropiado es el motor serie.

### A.1.2. TIPOS DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Entre los motores de corriente alterna se puede distinguir los siguientes tipos:

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos de anillos deslizantes.
- Motores de jaula de ardilla.

La ecuación de la velocidad de sincronismo de un motor de corriente alterna es:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (\text{A.6})$$

Siendo:

$n_1$  : velocidad de sincronismo (r.p.m.).

$f_1$  : frecuencia de la red (Hz).

$p$  : número de pares de polos.

**Los motores síncronos** giran siempre a la velocidad de sincronismo. Por esto, para regular su velocidad, se debe controlar la frecuencia de alimentación o el número de polos.

La velocidad de un **motor asíncrono** es algo menor que la velocidad de sincronismo. La relación es la siguiente:

$$n = \left(1 - \frac{s}{100}\right) n_1 \quad (\text{r.p.m.}) \quad (\text{A.7})$$

Siendo:

$n$  = velocidad del motor (r.p.m.).

$s$  = deslizamiento (en %).

El deslizante depende de la carga y es otro factor que podemos controlar para regular la velocidad de un motor asíncrono. El par de un motor asíncrono tiene la siguiente expresión:

$$M \approx k \cdot \phi \cdot I_2 \quad (\text{N.m}) \quad (\text{A.8})$$

$$U = k \cdot W \cdot f \cdot \phi \quad (\text{V}) \quad (\text{A.9})$$

Siendo:

$I_2$  : Intensidad rotórica.

$W$  : N° de espiras.

$\phi$  : Flujo.

Un método para aumentar el deslizamiento  $s$  es intercalar resistencias en el circuito rotórico. Otro método de controlar el deslizamiento es inyectar corriente continua en el rotor. Estos métodos sólo pueden aplicarse en motores de anillos deslizante.

Los motores de corriente alterna más usada son los de **jaula de ardilla**. La única forma de regularlos completamente es controlando la tención y la frecuencia de alimentación. Son más robustos y no requieren de mantenimiento alguno.

Las gráficas  $I - n$  y  $M - n$  de un motor de jaula de ardilla de 975 r.p.m. se muestra en la figura A.5. Al disminuir la frecuencia, las curvas se comprimen proporcionalmente en la ordenada de velocidad. Al disminuir la tensión se comprime en la ordenada de par e intensidad.

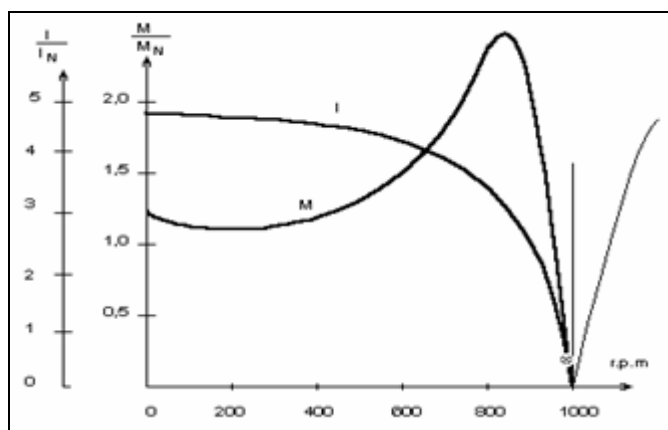


Figura A.5 Grafica característica del motor jaula de ardilla

## **A.2. UNIDAD DE CONTROL Y ETAPA DE POTENCIA**

La unidad de control tiene por misión analizar las señales que llegan de los diferentes sensores y mandos del automóvil, y decide en función de estas, las ordenes que deba suministrar al motor. La misión primordial es la regulación de la velocidad así como la administración de los recursos disponibles.

El diseño de este dispositivo es bastante complejo y suele estar formada por una serie de tiristores o transistores de potencia, la complejidad de la unidad de control va a depender de las funciones que se le atribuyan y del tipo de motor utilizado.

### **A.2.1. Control de un motor de corriente continua**

Para el control de velocidad de un motor de corriente continua, se utilizan circuitos denominados troceadores de los cuales uno de lo más sencillo es el troceador de Morgan de conmutación forzada. La cual permite la variación de la velocidad disminuyendo la tensión de excitación la cual es proporcional a la velocidad de giro.

Otro procedimiento que se puede utilizar para controlar la velocidad es mediante la variación de la tensión mediante el acoplamiento de resistencias variables conectadas en serie.

Entre los diferentes tipos de troceadores de conmutación forzada por voltaje y por corriente tenemos:

- auto conmutación
- por impulso
- por impulso resonante
- complementaria
- por pulso externo

### **A.2.2. Control de un motor de corriente alterna**

La regulación de velocidad en este caso se realiza por medio de la variación de la frecuencia, como se observa en la expresión:

$$n = \frac{60 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \quad (\text{A.10})$$

Donde:

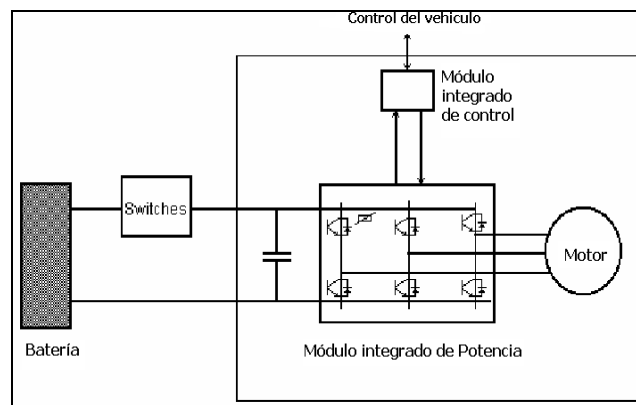
n : velocidad r.p.m.

f : frecuencia Hz.

p : nº de pares de polos

s : deslizamiento

Se puede observar que la velocidad de giro es proporcional a la frecuencia. Por lo tanto, la variación se consigue realizar mediante inversores que actúan sobre la amplitud del pulso (PAM) o sobre la anchura del pulso (PWM). En la figura A.6 se muestra un esquema simplificado del control de un automóvil eléctrico para un motor de corriente alterna.



**Figura A.6** Esquema simplificado del control para un motor de corriente alterna

### A.3. BATERÍAS

Las baterías es la forma básica de almacenamiento de energía en los automóviles eléctricos. El principio básico de funcionamiento se basa en la producción de energía por medio de reacciones químicas de oxidación –reducción que se da en su interior.

Las que actualmente están implantadas en el mercado son las de ácido sulfúrico-plomo, la cual es más utilizada por su producción masiva que hace que se abaraten los costos en gran medida. En la figura A.7 se muestra un esquema de la composición de la batería.

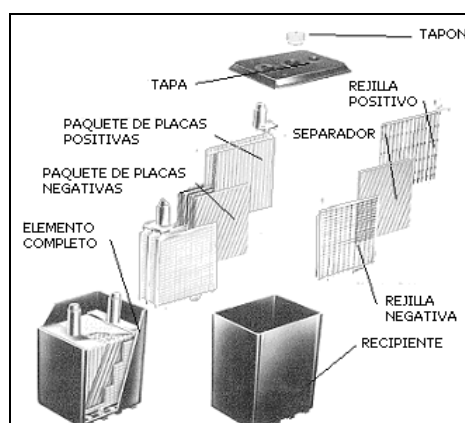


Figura A.7 Composición de la batería

+

Los tapones impiden el derrame del electrolito, facilita la expulsión de gases, proporciona un cierre perfecto y esta dotado de sistema laberinto la cual retiene las gotas de electrolito y facilita la expulsión de gases secos.

Recipiente y tapas se diseñan en función de la duración de los elementos, capacidad de los elementos (adecuado volumen de reserva de electrolito) y además dependen del modelo (que a su vez depende de la aplicación). Usualmente se hacen en polipropileno o en ebonita, de calidad especial anti-impacto.

Las conexiones dan rigidez a la batería completa, y evitan roturas por vibraciones, su sección se sobredimensiona para poder ofrecer una conductividad máxima y mínimas pérdidas por el efecto Joule. Las conexiones entre elementos se realizan fundidas en plomo.

Los separadores garantizan el perfecto aislamiento entre placas, evitando la formación de cortocircuitos. Suponen un soporte eficaz de la materia activa negativa, deben poseer cualidades de duración y rendimiento en las condiciones más duras. Están formadas por láminas de plástico microporoso, inalterable por la acción química del ácido sulfúrico.

Los cofres metálicos agrupan a los elementos, están protegidos por pintura epoxi anti-corrosión de ácido sulfúrico.

Las placas negativas son rejilla fundida en aleación de plomo en la que se empasta materia activa. La materia activa usada tiene la propiedad de reducir considerablemente la pérdida de capacidad y recuperar después de la recarga la porosidad del plomo esponjoso. El entramado de la rejilla está estudiado para servir de soporte de la materia activa y conducir la corriente con mínimas pérdidas.



Las placas positivas contienen en los tubos más materia activa que las baterías convencionales (poseen por tanto mayor densidad energética (capacidad/unidad de volumen)). Las rejillas de las placas positivas están formadas por unos vástagos de aleación de plomo que hacen de ejes de los tubos, cuya misión es conducir la corriente y servir de soporte a la materia activa.

Los parámetros utilizados para evaluar los diferentes tipos de acumuladores son:

- densidad de energía (Wh/Kg)
- densidad de potencia (W/Kg)
- vida (duración en ciclos)
- duración de la carga (horas)
- rendimiento energético (%)
- peso/precio/volumen/rendimiento (kg/dólares/cm<sup>3</sup>%)
- tensión de carga
- tensión de descarga
- capacidad

Para la **tensión de carga**, cada elemento tiene una tensión abierta que dependerá del tipo de acumulador. En el caso de un elemento con densidad 1.25, la tensión es de 2.05 voltios. Dicho valor varía con la

temperatura y la densidad del electrolito. Durante el funcionamiento de la batería, en el momento que se somete a carga o descarga, la tensión pasa a ser variable siguiendo unas curvas características.

**La capacidad** de corriente eléctrica que bajo unas condiciones dadas puede suministrar la batería. Se define como: el producto de la intensidad de descarga por el número de horas que dura hasta llegar a un determinado valor de la tensión final. Se expresa en Amperios por horas (Ah), depende de:

- La intensidad de descarga
- La temperatura del electrolito
- El tiempo de descarga
- La densidad del electrolito

**La densidad**, Si el elemento está cargado la lectura de la densidad alcanzan un valor máximo, mientras que este valor es mínimo cuando el elemento está descargado. Las baterías de tracción de par electroquímico ácido-plomo tienen una densidad de 1,250 p.e. cuando están cargadas. Al final de una descarga de 5 horas la densidad toma el valor de 1,140 p.e. y la variación a lo largo de la descarga es lineal.

**El rendimiento** indica la eficiencia de una batería del uso que se hace de ella. El rendimiento se lo puede medir en amperios-horas, la cual se

define como el cociente entre el número de amperios-horas obtenidos durante la descarga y el número de amperios-horas suministrado en la carga. Su valor gira en torno al 90% aunque depende de las condiciones de trabajo que se le imponga.

$$\eta_{Ah} = \frac{Ah_{descarga}}{Ah_{recarga}} \quad (A.11)$$

El rendimiento se lo puede expresar en watios-horas la cual es más importante que el anterior ya que representa el rendimiento energético. Se define como el producto del rendimiento en amperios-horas por el cociente entre la tensión media de descarga en 5 horas y la tensión media en la carga.

$$\eta_{wh} = \frac{\eta_{Ah} * V_{descarga}}{V_{recarga}} \quad (A.12)$$

Es aconsejable que la descarga en cada ciclo no supere el 80%, de otra manera la vida de la batería se puede reducir hasta un 40%.

### A.3.1. Batería existente

Dentro de las baterías existentes en el mercado tenemos:

-Baterías de uso masivo Pb/ácido

- a) plomo tubular abierto
- b) plomo en placas planas (gel electrolítico)

-Batería de uso restringido

a) Ni/Cd

b) Ni/Fe

c) Ni/Mh

d) Ni/Zn

e) Ag/Zn

-Baterías en desarrollo (maquinas batería)

a) Al/ aire

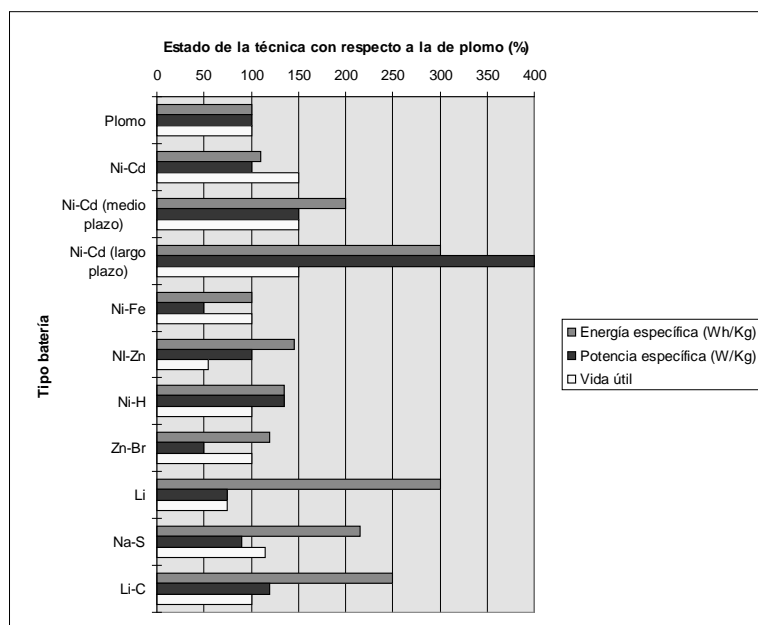
b) Fe/ aire

c) Zn/Br

d) Na/ S

e) Li/ FeS<sub>2</sub>

En la figura A.8 se muestra las características entre diferentes tipos de baterías.



**Figura A.8** Características entre tipos de baterías

Una nueva generación de las **baterías plomo-ácido** es una de las ofertas más interesantes disponibles para los vehículos eléctricos ligeros. Sus principales ventajas son un buen precio y un rendimiento óptimo para desplazamientos no superiores a los 50 km. Además la última generación de baterías plomo-ácido no exige mantenimiento alguno y permiten recarga acelerada. La mayoría de los vehículos eléctricos incorporan baterías de Plomo/ácido porque son las únicas que se producen en serie, lo que abarata los costos. Sin embargo, su peso elevado unido a su baja energía específica, hace que para conseguir una autonomía de 50Km con una velocidad máxima de 70Km/h se necesiten

más de 400Kg de baterías. El período de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas.

El electrolito **níquel-cadmio** es uno de los tipos más utilizados en Europa para los vehículos eléctricos que se comercializan. Además de una vida más larga (tal como acreditan sus fabricantes) respecto a las de plomo-ácido, las baterías de níquel-cadmio ofrecen más autonomía al vehículo. Para preservar mejor su funcionamiento es necesario realizar con frecuencia descargas completas llamadas también profundas. Es necesario añadir agua cada 5.000 o 10.000 kilómetros aproximadamente.

Una de las baterías que más prometen son las de **sodio-cloruro de nitrato** conocidas también por baterías ZEBRA. Estas baterías que trabajan a altas temperaturas son apropiadas, por ejemplo en autobuses que circulen por líneas regulares. En (Suiza) se está construyendo una fábrica para producir pronto estas baterías en serie.

Las baterías de **ion litio** concentran el desarrollo más prometedor en el campo del almacenaje de la energía eléctrica. La eficiencia de estas ha sido esencial en el despegue de la

telefonía móvil. Sin embargo, para su uso en vehículos deben superarse determinados problemas de seguridad y su exagerado costo. Su principal ventaja es su menor peso y su alta capacidad de almacenaje energético. Los expertos aseguran que esta tecnología debe superar muchos escollos todavía para su producción masiva en aplicaciones de tensiones elevadas.

Las baterías **zinc-aire** puede competir en el futuro con las pilas de combustible de hidrógeno. Algunos expertos lo califican como el combustible eléctrico del futuro. Entre sus principales ventajas destaca su facilidad de carga y su alto potencial energético. A diferencia de otros tipo de baterías estas necesitan que el vehículo vaya equipado con un sistema de filtrado e inyección de aire y de un sistema de monitoreo a bordo. Las baterías zinc-aire son del tipo primarias, ósea que una vez agotada la carga no pueden recargarse sino que hay que extraer el zinc y cargarlo fuera de la batería. Sin embargo, la carga del zinc es fácil y rápida. Este tipo de batería puede proporcionar 3 veces más de duración que las de plomo-ácido.

## ANEXO B

### ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA LAS PRESTACIONES EN VEHÍCULOS

En este anexo hacemos un análisis matemático sobre los pasos a seguir para determinar las prestaciones del vehículo. Así como las formulas que se pueden usar para determinar ciertos parámetros importantes para la construcción de un vehículo híbrido.

#### B.1. NEUMÁTICOS

El tipo de neumático a usar en el vehículo, juega un papel importante para los cálculos de autonomía y por esto es necesario saber e identificar el significado de las leyendas impresas en los neumáticos. En la figura B.1 se muestra el significado de esta leyenda.

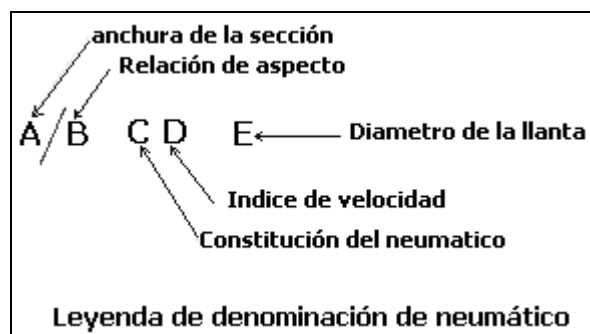


Figura B.1 Leyenda de denominación de neumático



**-Anchura de la sección.-** Anchura de la sección del neumático sin deformar, (mm).

**-Diámetro de llantas.-** Diámetro de la llanta del neumático (pulgadas)(“)

**-Relación de aspecto o perfil.-** Relación entre la altura y la anchura de la sección del neumático. Se expresa en tanto por ciento (%)

$$\text{perfil} = \frac{\text{altura}}{\text{anchura}} \quad (\text{B.1})$$

**-Diámetro exterior de la rueda.-** Factor que depende de la resistencia a la rodadura, usualmente hay dos posibilidades:

R = radial (menor resistencia a la rodadura)

D = diagonal (normalmente para camiones y tractores)

**-Índice de velocidad.-** Nos indica el rango de velocidad para el cual ha sido diseñado el neumático. Existen varias posibilidades en función de la velocidad:

S = Velocidad < 200 Km/h

H = Velocidad hasta 210 km/h

V = Velocidad hasta 240 Km/h

Z = Velocidad >240 km/h

**-Índice de carga.-** Nos indica la carga de presión de inflado del neumático. Para calcular la carga máxima sobre cada una de las ruedas expresada en Kg se aplica la formula siguiente:

$$P_{\max} = 45 * (1.0292)^n \quad \text{donde } n \text{ es el índice de carga} \quad (\text{B.2})$$

- **Radio de la rueda de carga.**- Radio del neumático deformado debido a la carga. Se suele establecer un porcentaje sobre el radio de la rueda sin deformar, que suele estar alrededor del 90 %.

Una vez definido los parámetros de las llantas, procedemos determinar las características principales del neumático del vehículo la cual posee la siguiente leyenda: 175/70 SR 13:

-anchura de la sección = 175 mm.

-diámetro de la llanta = 13"= 330.2 mm.

-relación de aspecto ó perfil = 70% 0.7

-altura de la sección = perfil x altura = 0.7\*175 =122.5 mm.

-diámetro de la rueda = diámetro de la llanta + 2\*altura =  
330.2+2\*122.5= 575.2 mm.

-constitución del neumático = R (radial)

-índice de velocidad = ( S ) para velocidades < 200km/h

-índice de carga = 76

Usando la expresión B.2 calculamos la carga máxima que soporta cada llanta:

$$P_{\max} = 45 * (1.0292)^{76} = 401.04Kg.$$

-radio de la rueda con carga =  $0.9 \cdot 575.2 / 2 = 0.9 \cdot 287.6 = 258.84$  mm.

## B.2. RESISTENCIA AL AVANCE

La resistencia de avance se compone de: resistencia a la rodadura ( $R_r$ ), resistencia aerodinámica ( $R_a$ ) y resistencia a pendientes ( $R_p$ ).

$$R_T = R_r + R_a + R_p \quad (\text{B.3})$$

-Resistencia a la rodadura. Es la debida a la rodadura y producida por la deformación del neumático. La forma de calcular es:

$$R_r = \mu * p \quad (\text{B.4})$$

Donde:

$\mu$  : coeficiente de rodadura

$p$  : peso de vehículo (peso de vacío + carga útil máxima) en Kg.

Este coeficiente de rodadura se puede calcular por dos métodos.

a) criterio valido sólo para velocidades 100 Km/h.

$$\mu = \mu_o + k * v^2 \quad (\text{B.5})$$

Donde:

$\mu_o$  : coeficiente de rodadura dependiente del camino:

Cemento = 0.0125

Empedrado seco	= 0.015
Asfalto	= 0.02 a 0.03
Natural puro	= 0.08
Natural blando	= 0.11
Arenoso	= 0.15 a 0.3

$$K = 0.5 * 10^{-6} * (Km/h)^{-2}$$

v = velocidad en Km/h

b) Por la formula recomendada por la SAE.

$$\mu = \frac{K_1}{100} \left[ 51 + \frac{(55 + 9P_R)}{P_n} + \frac{(85 + 3P_R)}{P_n} * \left( \frac{v}{100} \right)^2 \right] \quad (B.6)$$

Donde:

$K_1$  : coeficiente de constitución del neumático

neumáticos radiales = 0.8

neumáticas diagonales = 1.0

$P_R$  : peso por rueda (Kg)

$P_n$  : presión de los neumáticos en atmósfera ( Kg/cm<sup>2</sup> )

v : velocidad en Km/h.

Resistencia aerodinámica. Es la debida al rozamiento con el aire y producida a altas velocidades. La forma de calcularla es:

$$Ra = \frac{1}{16} * C_x * S * V^2 \quad (B.7)$$

Donde:

$C_x$  : coeficiente de penetración aerodinámica ( 0.3 a 0.4 )

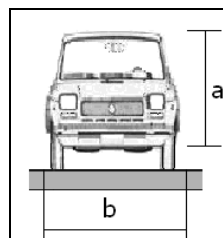
S : superficie frontal del vehículo (m<sup>2</sup>)

V : velocidad en m/s

Cuando el cálculo de la superficie frontal es demasiado costoso de obtener se puede realizar la siguiente aproximación:

$$S = 0.85 * a * b \quad (B.8)$$

En la figura B.2 se muestra las medidas generales para la definición de la superficie frontal.



**Figura B.2** Esquema para la definición de la superficie frontal

Resistencia a las pendientes. Es la debida al superar una pendiente en carreteras. La forma de calcularla es:

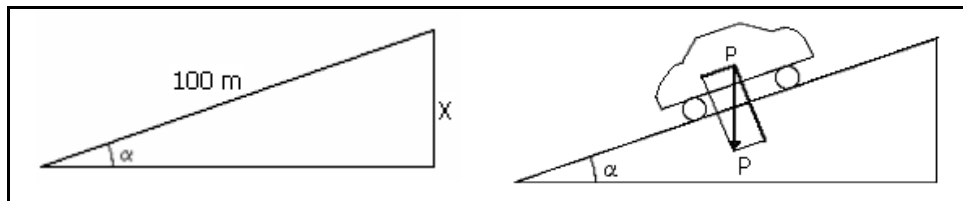
$$R_p = P * \text{sen} \alpha = P * x/100 \quad (B.9)$$

Donde:

P : peso del vehículo (peso en vacío + carga útil máxima) en Kg.

x : pendiente a superar en %

En la figura B.3 se muestra un esquema de la pendiente a superar



**Figura B.3** Determinación de la pendiente superable

La pendiente a superar se establece en un tramo de 100 metros. Así suele denominar como pendiente de x %, al valor de x en un tramo de 100 metros.

### **B.3. POTENCIA NECESARIA**

Es la potencia que es necesario instalar para subir la máxima pendiente a la velocidad máxima. Existen dos alternativas:

1. Calcular la potencia necesaria para subir la máxima pendiente a la velocidad máxima.
2. Definir una velocidad máxima para subir la pendiente máxima, la cual será diferente de la velocidad máxima del vehículo.

La forma de calcular es la siguiente:

$$P_w = \frac{R_T * V}{75 * \eta_T} (CV) \quad (B.10)$$

Donde:

$P_w$  : potencia (CV)

$R_T$  : resistencia al avance total (Kg.)

$V$  : velocidad (m/s)

$\eta_T$  : rendimiento de la transmisión ( 0.8 a 0.85 )

#### B.4. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Es la relación que nos permite establecer la variación de las velocidades que puede adquirir el vehículo. Se adopta el criterio de cálculo que permite pasar de revoluciones por minutos para la máxima potencia a revoluciones por minuto para máximo par. La velocidad del vehículo la podemos expresar como:

$$v = \omega * R_d \quad (B.11)$$

$$v = n_r * \frac{2\pi}{60} * R_d \quad (B.12)$$

$$v = \frac{n_m}{r_i * r_f} * \frac{2\pi}{60} * R_d \quad (B.13)$$

$$\text{Con} \quad n_m = r_i * r_f * n_r \quad (\text{B.14})$$

Donde:

$v$  : velocidad (m/s)

$R_d$  : radio de la rueda en carga (m)

$n_m$  : número de revoluciones por minuto del motor ( r.p.m )

$n_r$  : número de revoluciones por minuto de la rueda ( r.p.m )

$r_i$  : reducción de la caja de cambios

$r_f$  : reducción del diferencial

La reducción del diferencial o reducción fija se calcula como:

$$r_f = \frac{n_m * 2\pi * R_d}{r_i * v * 60} \quad (\text{B.15})$$

La reducción de la caja de cambios se calculan hacia atrás es decir, desde la última velocidad (velocidad larga) hasta la primera (velocidad corta). Se busca unas relaciones de cambio que permitan la máxima aceleración.

El criterio de cálculo adoptado es calcularla de tal forma que en cada cambio de marcha, el régimen de potencia máxima en la marcha saliente coincida con el régimen de par máximo en la marcha entrante.



Así, el proceso comienza asignando como marcha directa, la última de las velocidades seleccionadas en función del número de marcha con que queremos dotar al vehículo, adoptando entonces el valor de  $r_i = 1$ .

De esta manera se puede calcular la relación del diferencial en el caso de la velocidad máxima, que se producirá en esta marcha. Si denominamos:

$n_2$  : r.p.m. a máxima potencia

$n_1$  : r.p.m. a máximo par

$$R_f = \frac{n_m * 2\pi * R_d}{r_i * v * 60} \quad (\text{B.16})$$

$$R_f = \frac{n_2 * 2\pi * R_d}{r_{\text{arg a}} * v_{\text{max}} * 60} \quad (\text{B.17})$$

$$R_f = \frac{n_m * 2\pi * R_d}{1 * v * 60} \quad (\text{B.18})$$

Las relaciones de transmisión de las otras se calcula de forma que:

r.p.m. [Potencia máxima (marcha  $i$ )] = r.p.m. [Par máximo (marcha  $i+1$ )]

Por lo tanto:

$$n_2 * (v_i) = n_1 * (v_{i+1}) \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_i}{v_{i+1}} \quad (\text{B.19})$$

Con lo que:

$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{v_{i+1}} * \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow r_i = r_{i+1} * \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{B.20})$$

La cual nos da la fórmula para calcular la relación de cada marcha en función de la siguiente y la velocidad máxima para cada unas de las marchas se obtendrán con la expresión siguiente:

$$v_i = \frac{n_2 * 2\pi * R_d}{r_i * r_f * 60} \quad (\text{B.21})$$

## B.5. CURVAS CARACTERÍSTICAS

En este capítulo definimos las curvas características importantes para el análisis y comprensión de ciertos parámetros para la implementación de un vehículo híbrido.

### B.5.1. Curvas característica del motor térmico - eléctrico

Las curvas definen las características del motor seleccionado y representan la potencia y el par para cada valor de la velocidad del motor y permiten evaluar las prestaciones del vehículo. La relación entre potencia y par viene determinada por la fórmula siguiente:

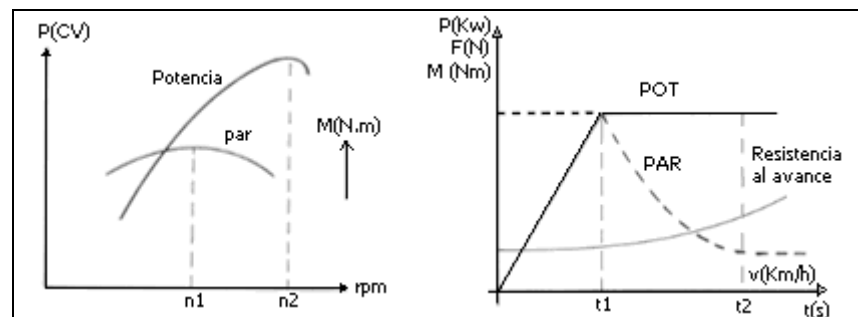
$$Potencia(CV) = \frac{Par(Nm) * Velocidad\_angular(rad / s)}{75} \quad (B.22)$$

Para poder realizar la elección de las prestaciones del vehículo, se elige un motor que la potencia máxima a un número de revoluciones ( $n_2$ ) que a su vez entregará un par máximo a un número de revoluciones ( $n_1$ ).

$$P_w = M_{max} * \frac{n_1 * 2\pi}{60 * 75} \quad (B.23)$$

$$M = P_{wmax} * \frac{60 * 75}{n_2 * 2\pi} \quad (B.24)$$

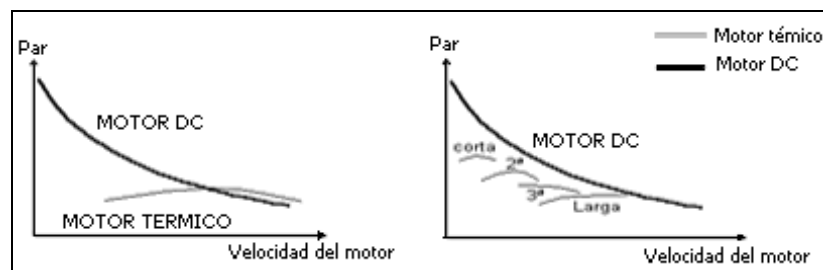
En la figura B.4 se muestra un ejemplo de curva potencia-par para un motor térmico y curvas potencia-par-resistencia al avance en un motor eléctrico.



**Figura B.4** Curva característica potencia-par de un motor térmico y potencia-par resistencia de un motor eléctrico

La diferencia entre un motor eléctrico (por ejemplo motor de corriente continua) y un motor térmico de combustión interna se establece sobre todo en la relación de potencia y par.

El motor eléctrico desarrolla par máximo al arrancar, decreciendo el par a medida que aumenta la velocidad. El motor térmico da par máximo a una determinada velocidad, disminuyendo este par por debajo y por encima de dicha velocidad. Como se muestra en la figura B.5



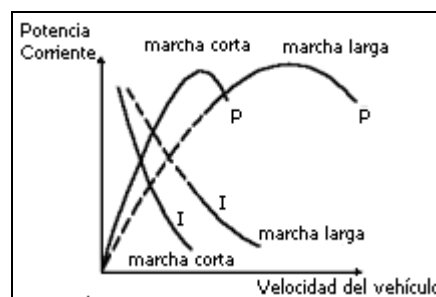
**Figura B.5** Diferencia de las curvas de par para motores eléctricos y térmicos

El motor térmico para aumentar su par a baja velocidad, requiere de un convertidor de par o caja de cambio. El motor eléctrico, si dispone de una batería de alta capacidad, no requiere de este convertidor de par, pues dispone de un par de arranque bastante elevado.

En un automóvil eléctrico, la intensidad de descarga de la batería es proporcional al par producido por el motor (en este caso de corriente continua).

Si la batería es de baja capacidad o su resistencia es elevada, al requerírsele al motor alto esfuerzo de tracción, este demandara más intensidad de la batería, descargándola de forma rápida. Es por ello por lo que en ocasiones para obtener una mayor eficiencia del sistema, se instalan caja de cambios en los automóviles eléctricos para que se reduzca la intensidad de descarga de la batería.

En la figura B.6 se muestra la diferencia potencia de par de arranque de un vehículo eléctrico con caja de cambio.



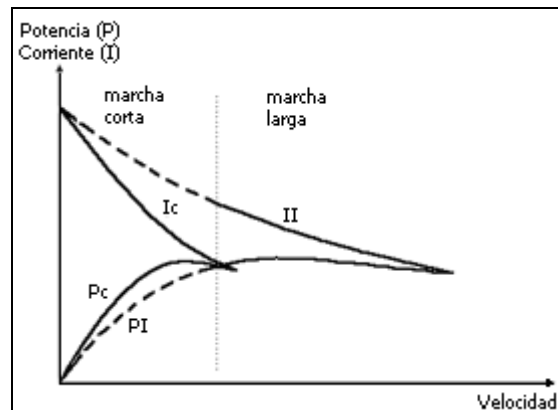
**Figura B.6** Potencia-par para un vehículo eléctrico con caja de cambios mecánica en dos marchas

Se puede realizar transmisiones directa, automática con varias velocidades y transmisión manual de varias velocidades. Sólo la inversión de marcha es preferible realizarla de forma eléctrica.

Los equipos electrónicos de control son suficientes para variar adecuadamente el par y la velocidad de los motores de tracción eléctrica. Sin embargo para motores de alto par y baja velocidad, se requiere una transmisión mecánica de manera que disminuya el consumo de corriente y aumente el margen de velocidad.

Lo más aconsejable en un automóvil eléctrico es una transmisión con velocidad variable, que pudiera mantener el consumo de corriente a un nivel mínimo, que suministre el máximo par para la aceleración.

En la figura B.7 se muestra una curva de consumo de potencia frente a la velocidad en un motor eléctrico con una transmisión mecánica.



**Figura B.7** Curvas de consumo y potencia frente a la velocidad en un motor eléctrico con una transmisión mecánica en dos velocidades

El problema proviene de que algunos motores eléctricos a baja velocidad, poseen un consumo muy elevado de corriente al dar pares elevados, lo que se traduce en pérdidas de calor que son proporcionales al cuadrado de la intensidad y producen una reducción de la autonomía del vehículo.

En la figura B.8 la curva muestra esfuerzo velocidad con control completamente electrónico, y en la figura B.9 la curva esfuerzo velocidad con caja automática de tres velocidades y control de campo.

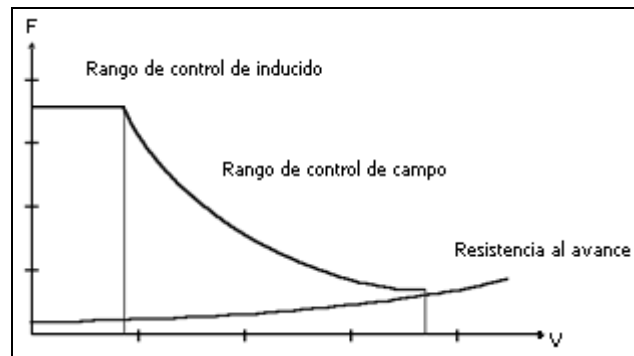


Figura B.8 Curva esfuerzo velocidad con control electrónico

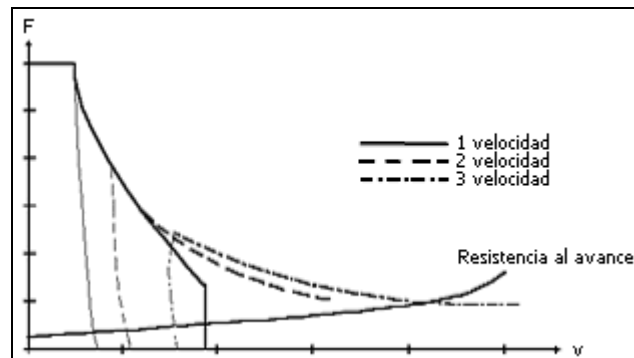


Figura B.9 Curva esfuerzo velocidad con caja automática en tres velocidades y control de campo

### B.5.2. Curva de resistencia al avance

Son las curvas que representa la resistencia al avance del vehículo en función de la velocidad del mismo y de la pendiente superable.

Estas curvas, dado el peso del vehículo se calculan con la ecuación siguiente:

$$R_T = K_1 + K_2 v_2 + K_3 n \quad (\text{B.25})$$



Donde:

$K_1$  : constante que depende de la resistencia a la rodadura

$K_2$  : constante que depende de la resistencia aerodinámica

$K_3$  : constante que depende de la resistencia a la pendientes

$v$  : velocidad del vehículo en m/s

$n$  : pendiente superable en %

La definición de cada una de esta constante es como sigue:

$$K_1 = \mu * P \quad (B.4)$$

$$K_2 = 1/16 * C_x * S * V^2 \quad (B.7)$$

$$K_3 = P/100 \quad (B.9)$$

Donde:

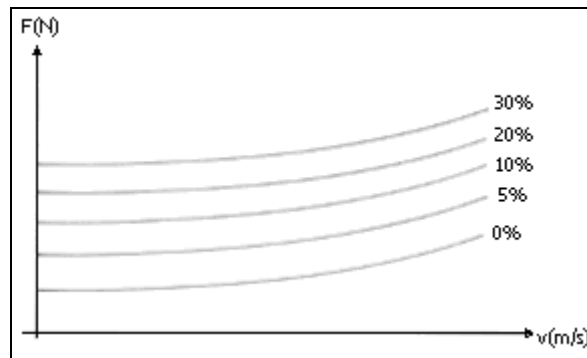
$m$  : coeficiente de rodadura

$P$  : peso del vehículo (Kg)

$C_x$  : coeficiente de penetración aerodinámica

$S$  : superficie frontal del vehículo ( $m^2$ )

En la siguiente figura B.10 muestra las curvas de resistencia al avance en función de la velocidad y la pendiente.

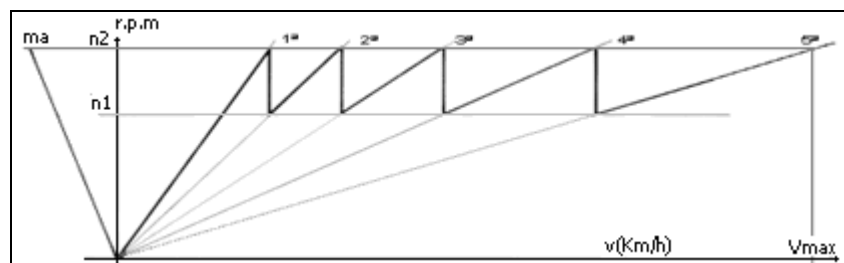


**Figura B.10** Curva de resistencia al avance en función de la velocidad y la pendiente

### B.5.3. Curva de la caja de cambio

Con esta gráfica se pretende representar las revoluciones del motor en función de la velocidad adquirida por el vehículo para cada una de las marchas que se ha diseñado.

Teniendo en cuenta que el diseño de cada marcha se ha realizado para las revoluciones del motor a máxima potencia y a par máximo, el valor ideal de cambio de una marcha a otra viene representado en la línea más gruesa de la figura B.11.



**Figura B.11** Curva representativa de las revoluciones del motor en función de la velocidad adquirida para cada una de las marchas

Integrando la curva de inversa de la aceleración vs velocidad para diferenciar valores de velocidad, se van obteniendo los tiempos en los que alcanza esas velocidades. Como el criterio de diseño es cambiar de marcha al alcanzar el régimen de potencia máxima de la relación saliente para llegar al par máximo de la velocidad entrante, la curva que se obtiene tiene forma casi continua como se ve en la figura B.12:

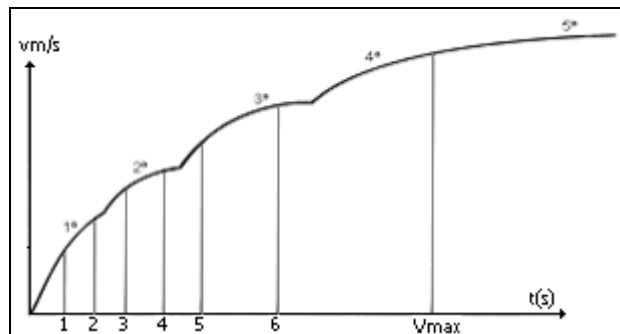


Figura B.12 curva velocidad vs tiempo

## B.6. PASOS A SEGUIR PARA DETERMINAR EL DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Sea un vehículo de unas dimensiones determinada, cuya características principales son:

Peso:  $P$ (kg)

Velocidad	$v(\text{m/s})$
Superficie frontal:	$S(\text{m}^2)$
Coefficiente aerodinámico:	$C_x$
Pendiente superable:	$n(\%)$
Coefficiente de rodadura	$\mu$
Rendimiento de la tracción	$\eta_T$

1. En primer lugar se realiza el cálculo de la resistencia total ( $R_T$ ), que es la suma de la resistencia a la rodadura ( $R_r$ ), aerodinámica ( $R_a$ ), y la superación a pendiente. ( $R_p$ ).

$$R_T = R_r + R_a + R_p \quad (\text{B.3})$$

$$R_r = \mu * P \quad (\text{B.4})$$

$$R_a = 1/16 * C_x * S * v^2 \quad (\text{B.7})$$

$$R_p = P * n / 100 \quad (\text{B.9})$$

2. Una vez calculada la resistencia total al avance se puede calcular la potencia necesaria para el avance del vehículo a una determinada velocidad  $v$ :

$$P_w = \frac{R_T \cdot v}{\eta_T \cdot 75} = \frac{\left( \mu \cdot P + \frac{1}{16} \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 + P \cdot \frac{n}{100} \right) \cdot v}{\eta_T \cdot 75} = f(P) \quad (\text{B.10})$$

3. Para el dimensionamiento de la potencia eléctrica en bornes del motor ( $P_b$ ), es necesario tener en cuenta que el motor eléctrico ha de ser capaz de ceder toda la potencia necesaria para el avance del vehículo. Esta potencia consumida se calcula aplicando el rendimiento eléctrico  $\eta_E$  del motor a la potencia.

$$P_b = \frac{P_w}{\eta_E} = f(P) \quad (\text{B.26})$$

4. Una vez conocida la potencia que debemos tener del motor, es posible determinar la energía cedida por las baterías ( $E_{bt}$ ), sin más que tener en cuenta el tiempo que es usada esa potencia.

$$E_{bt} = P_b \cdot t = f(P, t) \quad (\text{B.27})$$

5. La autonomía del vehículo ( $A$ ) a una velocidad dada se puede calcular en función del tiempo de utilización de la potencia del motor ( $t$ ) como:

$$A = v \cdot t \Rightarrow t = \frac{A}{V} \quad (\text{B.28})$$

Con lo que la expresión de la energía cedida por las baterías se puede expresar:

$$E_{bt} = P_b \cdot t = P_b \cdot \frac{A}{v} = f(P, A) \quad (\text{B.29})$$

6. Estudiando el funcionamiento de la batería se ha de considerar otros rendimientos que provienen del proceso de carga ( $\eta_c$ ) y descarga ( $\eta_d$ ) de la batería. Si se añade estos rendimientos al cálculo que habíamos realizado de la energía cedida por las baterías obtendremos la energía que debe poseer nuestra batería ( $E_{bt}^0$ )

$$E_{bt}^0 = \frac{E_{bt}}{\eta_c \cdot \eta_d} = f(A, P) \quad (\text{B.30})$$

7. Conociendo el valor de la energía que es necesaria para el accionamiento del vehículo, se calcula el peso de dichas baterías ( $P_{bt}$ ), teniendo en cuenta el valor de la densidad de energía de la batería ( $d_E$ ), cuyo valor va a depender del tipo de par electrolítico que estamos utilizando.

$$P_{bt} = \frac{E_{bt}^0 (Wh)}{\partial E (Wh / Kg)} = f(P, A) \quad (\text{B.31})$$

8. Con objeto de tener en cuenta que se pudiera producir una descarga profunda de la baterías si se llevara al límite el valor de la autonomía del vehículo, se realiza un sobredimensionamiento de la batería ( $\eta_{dp}$ ) para que de esta manera, el valor de la energía capaz de utilizar nuestro vehículo sea entre un 80% y un 90% de la energía que posee la propia batería. Así queda:

$$P_{bt}^0 = \frac{P_{bt}}{\eta_{dp}} = f(P, A) \quad (\text{B.32})$$

9. Se puede definir ahora el concepto de autonomía específica ( $A_e$ ), que es la expresión de la autonomía del vehículo en función sólo del peso del vehículo. Es decir, son los kilómetros recorridos por kilogramo de batería. Se puede expresar como:

$$A_e = (Km / Kg) = \frac{A}{P_{bt}} = f(P) \quad (\text{B.33})$$

10. El cálculo de la capacidad de la batería se realiza teniendo en cuenta la tensión de trabajo del motor.

$$C_{Ah} = \frac{E_{Total}}{V} \quad (\text{B.34})$$

## B.7. Estudio de Ciclos de funcionamiento

Para estudiar el comportamiento de los vehículos en diferentes situaciones, se han diseñados tipos de ciclos de funcionamiento que pretende simular el comportamiento real del vehículo. Así tenemos los ciclos urbanos, en donde se incluye las aceleraciones, arranque, frenadas y paradas con una mayor frecuencia así como una velocidad irregular. Uno de los ciclos consta de los siguientes periodos:

1° aceleración, 2° velocidad constante, 3° desaceleración, 4° frenada, 5° reposo.

Si nuestro vehículo se somete a un nuevo ciclo de carretera, donde después de adquirir la velocidad crucero de 60 km/h, permanece en ella durante 90 km. procedemos hacer los análisis de autonomía donde se conoce el ciclo la cual se muestra en la figura B.7 con los datos experimentales referente a este ciclo, conociendo además que la densidad de energía de la batería es de 30 wh/Kg.

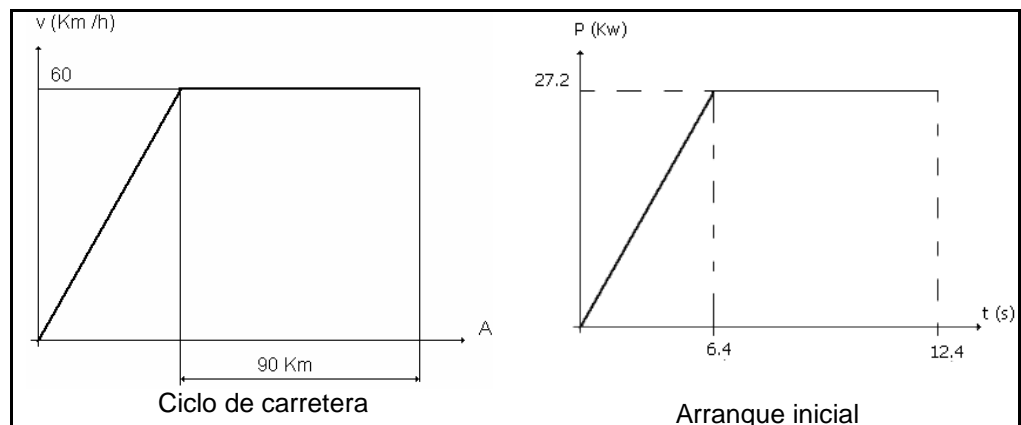


Figura B.13 ciclo de carretera del vehículo

Aceleración: 0 a 30 Km/h      6.4 s       $P_w = 27.2$  Kw (rampa)

Aceleración: 30 a 60 Km/h      6 s       $P_w = 27.2$  Kw (rectangular)

$V_{\text{cruce}}: 60$  Km/h

Tiempo de ciclo:  $(12.4 + t_{cr})$  s

Longitud de ciclo: 90.000 m



Usando los datos del problema anterior visto en el capítulo 3 tenemos:

$$P = 750\text{kg.}$$

$$\eta_t = 85 \% \text{ ( rendimiento de tracción )}$$

$$\mu = 0.018$$

$$\eta_E = 87 \% \text{ ( rendimiento del motor )}$$

$$C_x = 0.38$$

$$A = 90 \text{ Km}$$

$$S = 1.78\text{m}^2$$

Según los datos del enunciado, el vehículo arranca hasta alcanza la velocidad de 60 Km/h y permanece en ella hasta el final del trayecto (90Km), por lo que no habrá que repetir el ciclo. Sin embargo hay que calcular el tiempo que dura la parte del cruce. Esto lo hacemos usando la expresión B.28

$$A = v * t_{cr} \quad \text{donde} \quad t_{cr} = A/v = 90/60 = 1.5 \text{ horas.}$$

Calculando la resistencia total al avance usando la expresión B.3 tenemos:

$$R_T = R_r + R_a + R_p$$

(Como no dan datos, suponemos  $R_p = 0$ )

$$R_T = P*\mu + 1/16* C_x* S * v^2$$

$$R_T = 750*0.018 + 0.0625*1.78*(16.66)^2$$

$$R_T = 13.50 + 30.87 = 44.37 \text{ kg.}$$

Para el cálculo de la potencia en bornes del motor a la velocidad de 60 km/h. usamos la expresión B.10

$$P_b = \frac{R_T \cdot v \cdot 735}{\eta_r \cdot \eta_E \cdot 75} = \frac{44.37 \cdot 16.66 \cdot 735}{0.85 \cdot 0.87 \cdot 75} = 9796.08 \text{ W.}$$

Para calcular la energía total consumida, primero calculamos la energía consumida en la aceleración, y para esto usamos los datos del ciclo de carretera visto en la figura B.17

$$E_{\text{aceleración}} \text{ de 0 a 30 Km/h} = \frac{1}{2} \cdot P_1 \cdot t_1 = 0.5 \cdot 27200 \cdot 6.4 = 87040 \text{ ws.}$$

$$E_{\text{aceleración}} \text{ de 30 a 60 Km/h} = P_1 \cdot (t_2 - t_1) = 27200 \cdot (12.4 - 6.4) = 163200 \text{ ws}$$

$$E_{\text{aceleración}} \text{ de 0 a 60 Km/h} = 87040 + 163200 = 250240 \text{ ws.}$$

Como hay que tener en cuenta el rendimiento del motor eléctrico:

$$E_{\text{aceleración}} = E_{\text{aceleración}} \text{ de 0 a 60 Km/h} / \eta_E = 250240 / 0.87 = 287632 \text{ ws.} = 79.89 \text{ wh}$$

A continuación procedemos a calcular la energía consumida en el viaje a velocidad crucero usando la expresión B.28

$$E_{\text{crucero}} = P_b \cdot t_{\text{cr}} = 9796.08 \cdot 1.5 = 14694.12 \text{ wh}$$

Una vez calculada la energía de aceleración y crucero, procedemos a sumarlas para de esta manera, tener la energía total consumida:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{ciclo}} = E_{\text{aceleración}} + E_{\text{crucero}} = 79.89 + 14694.12 = 14774.01 \text{ wh}$$

Con este resultado, podemos calcular el peso de las baterías que se requiere para que el vehículo cumpla con el ciclo de carretera propuesto. Conociendo la densidad de energía de la batería para una descarga en 5 horas:

$$d_E = 30 \text{ wh/Kg}$$

Y conociendo el tiempo de descarga de la batería del vehículo con el ciclo dado:

$$t_{\text{descarga}} = 1 \text{ h } 30'$$

Para esa batería, su capacidad en descarga de 1 h 30' corresponde a un 78% de la capacidad de descarga en 5 horas, reemplazamos los datos en la expresión B.31

$$P_{bt} = \frac{E_{Total}}{dE} = \frac{14774.01}{30 * 0.78} = 631.36 \text{ Kg.}$$

Para prevenir descarga profundas de la batería, se sobredimensiona con un factor de  $\eta_{dp} = 90\%$  y para esto podemos usar la expresión B.32

$$P_{bt}^0 = \frac{P_{bt}}{\eta_{dp}} = \frac{631.36}{0.9} = 701.51 \text{ Kg.}$$

El cálculo de la capacidad de la batería se realiza teniendo en cuenta la tensión de trabajo del motor. Si suponemos un motor trabajando a una tensión  $V = 36$  voltios, la capacidad de la batería será:

$$C_{Ah} = \frac{E_{Total}}{V} = \frac{14774.01 \text{ wh}}{36 \text{ v}} = 410.38 \text{ Ah}$$

## ANEXO C

### GLOSARIO DE TERMINOS.

#### A.

**ACELERADOR.**\_ Controla la cantidad de aire-combustible entrando al motor

**ÁCIDO DE LA BATERÍA.**\_ Solución de ácido sulfúrico y agua usada en las baterías de automóviles

**ALTERNADOR.**\_ Aparato acoplado por banda que produce un flujo de corriente alterna (AC) convirtiéndola en corriente directa (DC)

**AISLADOR.**\_ Es el material que ofrece una oposición a la corriente eléctrica

**ARMADURA.**\_ Parte envolvente de un aparato eléctrico tal como un estator de un motor o un generador

**ATERORIZANDO.**- Conectando un lado del circuito eléctrico al chasis, cuerpo o motor suministrando una trayectoria para que la batería complete el circuito

#### B.

**BATERÍA.**\_ Aparato electroquímico que almacena electricidad

**BIELA.**\_ Pieza de metal rígida que transmite la fuerza entre el pistón y el cigüeñal

**BOBINA.**\_ Dispositivo que incrementa el voltaje de la batería al nivel necesitado para producir una chispa en la cámara de combustión

**BOMBA DE ACEITE.**\_ Mecanismo que fuerza al aceite lubricante bajo presión hacia el motor

**BUJÍAS.**\_ Elemento metálico aislado con porcelana que conduce un alto voltaje a través de los electrodos para incendiar la mezcla aire combustible

**BRAZO DE ROTULAS.**\_ Diseño de bola y soporte que permite la rotación en todas las direcciones usado en suspensiones y sistemas de dirección

### **C.**

**CARBURADOR.**\_ Aparato que mezcla el aire y el combustible para generar la combustión en la cámara del motor

**CARROCERÍA.**\_ Componentes metálicos soportados del cuerpo del vehículo y del motor y son soportadas por la suspensión

**CAPACITORES.**\_ Desempeñan muchas funciones importantes en los circuitos de regulación, entre ellas tenemos:

- La supresión de las descargas en arco entre los contactores de los relés cuando estos se abran en los circuitos de Corriente continua
- La reducción al mínimo de la fluctuación o rizado de la tensión es decir la estabilización o filtrado de la onda de tensión en los circuitos de CC rectificadas
- La obtención del necesario retardo para el funcionamiento de los relés

**CICLO DE CUATRO TIEMPOS.**\_ Motor que requiere cuatro tiempos en cada pistón (admisión, compresión, ignición y escape) para completar un ciclo de potencia a través de la combustión

**CIGÜEÑAL.**\_ Elemento que convierte el movimiento de los pistones en movimiento de rotación

**CILINDRO MAESTRO.**\_ Unidad del sistema hidráulico de frenos que fuerza al líquido de frenos hacia los cilindros en las llantas

**CIRCUITO PROTECTOR.**\_ Switch protector del circuito eléctrico que puede cortar el flujo de corriente si éste es excesivo

**CORRIENTE ELECTRICA.**\_ Es un flujo de electrones que circulan a través de un conductor

**CONDENSADOR.**\_ Aparato dentro del distribuidor que absorbe los saltos de electricidad y previene arcos eléctricos en los platinos

**CONTACTORES.**\_ Se utilizan para realizar las funciones de arranque y parada de diversos receptores. La mejor manera de describir un contactor es como un interruptor de accionamiento electromagnético. Se compone de juego de contactos fijos y un juego de contacto móviles que se cierran por el efecto de tracción de un electroimán. Para que funcione el contactor es necesario aplicar a la bobina del electroimán una tensión del valor correcto. Cuando es aplicada la tensión, los contactores se cierran, y cuando deja de ser aplicada la tensión, los contactos se abren

**CONDUCTOR ELECTRICO.**\_Es el material que no ofrece oposición al paso de la corriente eléctrica

**CORRIENTE CONTINUA O DIRECTA.**\_Es aquella en la cual el valor del voltaje permanece constante y la corriente fluye en la misma dirección

**CRUCETAS.**\_ Elemento que permite el acoplamiento entre dos flechas donde una de ellas puede tener un ángulo con respecto de otra

**CHÁSIS.**\_ Estructura, caja de velocidades, dirección y suspensión de un auto

**D.**

**DATOS DE LA PLACA DE UN MOTOR.**\_Marca del motor, serie, tipo, voltaje, intensidad, potencia, número de fases, factor de potencia, RPM, frecuencia y clase de conexión

**DIODO DE POTENCIA.**\_ Permiten que la corriente sólo fluya en una dirección, por lo que tienen la habilidad de convertir la corriente alterna en corriente directa pulsante

En operaciones a DC, los diodos se puede colocar en paralelo con las bobinas para reducir lo altos voltajes inductivos durante la conexión

**DIFERENCIAL.**\_ Unidad de transmisión que permite que una rueda gire más rápido que la otra durante una vuelta (la rueda exterior debe avanzar más que la interior debido al mayor radio de giro)

**DISTRIBUIDOR.**\_ Dispositivo eléctrico de switcheo que controla la producción y distribución de las cargas de alto voltaje a las bujías en la secuencia correcta

**DOBLE TRACCIÓN.**\_ Vehículos diseñados para que sus dos ejes tengan tracción

## **E.**

**ELECTRÓLITO.**\_ Mezcla de ácido sulfúrico y agua en una batería que ayuda a producir y almacenar electricidad

**EFICIENCIA DE UN MOTOR.**\_Relación de la potencia de entrada y de salida

## **F.**

**FILTRO DE ACEITE.**\_ Filtro reemplazable el cual remueve las partículas extrañas del aceite

**FRENO HIDRAÚLICO.**\_ Freno que es activado por el fluido movido bajo presión; actualmente muchos automóviles emplean este sistema

**FRENOS DE DISCO.**\_ Sistema de frenado que emplea un disco de acero que gira y un "caliper" que contiene las balatas movidas por un cilindro para producir la acción de frenado

**FRENOS DE TAMBOR.**\_ Sistema de frenado en el cual la potencia de frenado se aplica por la fricción que hacen a las balatas sobre la superficie interna del tambor



**FUERZA ELECTROMOTRIZ.**\_ F.E.M. es la variación de flujo con respecto al tiempo

**G.**

**GENERADOR.**\_ Aparato electromagnético que convierte la energía mecánica en electricidad

**M.**

**MONÓXIDO DE CARBONO.**\_ Gas incoloro, inodoro y tóxico emitido en los gases productos de la combustión símbolo químico CO

**MOTOR UNIVERSAL.**\_Es un motor serie que puede ser operado aproximadamente a la misma velocidad y rendimiento que uno de C. D. o C. A. de aproximadamente el mismo voltaje

**MÚLTIPLE DE ESCAPE.**\_ Elemento que conduce los gases productos de la combustión de las válvulas de escape al tubo de escape

**P.**

**PÉRDIDA DE POTENCIA.**\_ Condición de un motor que ocurre cuando uno o más cilindros no producen potencia

**PUESTA A PUNTO.**\_ Proceso de chequeo, reparación y ajuste de varios componentes de la ignición y sistema de combustible para obtener el máximo desempeño del motor

**PLATINOS.**\_ Par de contactos dentro del distribuidor que abren y cierran el circuito primario de ignición controlando la carga y la descarga de la bobina

## **R.**

**RADIADOR.**\_ Componente del sistema de enfriamiento que disipa el exceso de calor de la máquina

**REGULADOR.**\_ Aparato eléctrico que limita la salida del alternador al nivel de voltaje predeterminado

**REGULADOR DE VOLTAJE.**\_ Aparato que previene una sobrecarga de voltaje a la batería por parte del generador o alternador

**RESORTE HELICOIDAL.**\_ Suspensión consistente de una barra de acero en forma de espiral

**RESISTENCIA.**\_ Es la propiedad que tiene un material de oponerse a la corriente eléctrica (I)

**RINES DE PISTÓN.**\_ Bandas metálicas que son colocadas en ranuras alrededor del pistón para proveer un sello entre el pistón y la pared del cilindro

**RÓTULA.**\_ Componente del sistema de dirección que mueve los brazos de dirección

## **S.**

**SOLENOIDE.**\_ Es otro tipo de contactor, en este contactor los contactos son accionados por el extremo superior del núcleo magnético de un

solenoides. Cuando es excitado el solenoide, el núcleo es atraído hacia su interior elevando así verticalmente los contactos hasta encontrar los contactos fijos

**SUSPENSIÓN.**\_ Sistema de resortes, brazos, amortiguadores y componentes relacionados que unen el cuerpo del vehículo y estructura a sus ruedas y ejes

**T.**

**TACÓMETRO.**\_ Instrumento que mide la velocidad del motor en revoluciones por minuto

**TAPA DEL DISTRIBUIDOR.**\_ Parte superior aislada del distribuidor con una terminal de entrada al centro para el cable de la bobina y una serie de cables de bujías

**TIEMPO.**\_ Regulación de los impulsos de tal manera que la chispa ocurra en el preciso instante de la ignición

**TIEMPO DE IGNICIÓN.**\_ Posición del pistón (en grados) relativos al punto muerto superior (PMS) en el cual la bujía incendia la mezcla de combustible

**TIRISTORES.**\_ Tienen la misma función que la de un diodo pero la diferencia es que para permitir el paso de la corriente esta lo hace de forma controlada

**TORQUE.**\_ Fuerza que permite hacer un giro medida en Newton-metro o en libras-pié

**TRANSMISIÓN.**\_ Sistema de engranes, flechas y otros componentes que multiplican el torque de la máquina y permite al motor operar a una velocidad eficiente

**TRANSFORMADOR.**\_Es una máquina que se encarga de variar el voltaje o la corriente, ya sea transformándola de alta a baja o al contrario

**TREN MOTRIZ.**\_ Todos los componentes que transmiten potencia entre el motor y las ruedas incluyendo el clutch, transmisión flecha cardán, diferencial, etc.

**TUBO DE ESCAPE.**\_ Tubo que lleva los gases del múltiple de escape al convertidor catalítico, al mofle o silenciador

## **V.**

**VÁLVULA.**\_ Elemento mecánico diseñado para abrir o cerrar el flujo de gases o de mezcla aire combustible

**VELOCÍMETRO.**\_ Instrumento que mide la rotación de la flecha de mando que indica la velocidad del vehículo

**VISCOSIDAD.**\_ Resistencia que opone una sustancia a moverse

**VOLTIMETRO.**\_ Instrumento eléctrico usado para medir el voltaje en un circuito

## **Z.**

**ZAPATAS.**\_ Placas de metal curvo que soportan las balatas en el sistema de frenos de tambor

## ANEXO D

### SIMBOLOGÍA

A : Área transversal

B : Densidad de campo magnético

H : Intensidad de campo magnético

I : Corriente

N : Número de vueltas

R : resistencia

$\Phi$  : Flujo magnético

$\eta$  : Rendimiento

## ANEXO E

### ABREVIATURAS

$A_2$  : terminal de la armadura del motor eléctrico

$A_1$  : terminal de la armadura del motor eléctrico

B- : terminal del troceador que se conecta al polo negativo de la batería

B+ : terminal del troceador que se conecta al polo positivo de la batería

C : Común

$C_x$  : Coeficiente de penetración aerodinámica

$C_{Ah}$  : Capacidad de la batería

D : Diámetro de alambre

$D_1$  : diodo de frenado del troceador  $A_f$  : Área efectiva

DC : Corriente directa

$E_A$  : Voltaje de armadura

E : Espesor del papel aislante

$E_{Total}$  : Energía del vehículo

f.m.m. : Fuerza magnetomotriz

f.e.m. : Fuerza electromotriz

h : Longitud de arrollamiento

N : N° de r.p.m del motor

n : Número de capas de alambre

$N_f$  : Número de vuelta de la bobina de campo

$P$  : Peso del vehículo

$P_b$  : Potencia en los bornes del motor eléctrico

$P_{in}$  : Potencia de entrada

$P_{prom.}$  : Potencia promedio

$R_A$  : Resistencia de armadura

$R_s$  : Resistencia de la bobina de campo

$R_r$  : resistencia a la rodadura

$R_T$  : Resistencia total al avance

$R_f$  : Resistencia de la bobina de campo

$S_2$  : terminal de la bobina de campo del motor eléctrico

$S_1$  : terminal de la bobina de campo del motor eléctrico

$S$  : superficie frontal del vehículo

$I_a$  : corriente de armadura

$I_d$  : Intensidad de campo

$I_L$  : Corriente de línea

$I_S$  : Corriente de bobina de campo serie

$T_L$  : Torque de carga

$T_e$  : Torque eléctrico

$V$  : velocidad del vehículo

$V_f$  : Voltaje de alimentación

$V_T$  : Voltaje de la fuente

$K$  : Constante del motor para el torque

$K_s$  : constante de la bobina de campo

$w$  : Ancho de arrollamiento

$W_{alm}$  : Energía almacenada

$W_{in}$  : Energía de entrada

$W_{out}$  : Energía de salida

$W_m$  : Velocidad angular

$\Phi_d$  : Flujo magnético inducido

$\mu$  : Coeficiente de rodadura



## BIBLIOGRAFÍA

- Croft Terrel, **Tratado de Electricidad Práctica**, 4<sup>ta</sup> Edición traducida al español, México DF, 1940, pp. 124-298. Editorial Continental S.A. Biblioteca Central de Ingeniería ESPOL.
- Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Mássachussets, **Circuitos magnéticos y transformadores**, 1<sup>ra</sup> Edición, New York, 1943, pp. 114-121, John Wiley & Sons, Inc. Biblioteca Central de Ingeniería ESPOL.
- Giacosa Dante, **Motores Endotérmicos**, 3<sup>ra</sup> Edición traducida al español, Barcelona, 1970, pp. 1-20 120-128 158-162 201-230, Editorial Científico-Médica, Biblioteca Central de Ingeniería ESPOL.
- Nasar S.A. y Unnewehr L.E., **Electromecánica y Máquinas Eléctricas**, 1<sup>ra</sup> Edición traducida al español, México DF, 1982, pp 143-157, Editorial Limusa Biblioteca Central de Ingeniería ESPOL.
- A.M.Jungreis, A.W.Kelley, **Adjustable Speed Drive for Residential Applications**, IEEE Trans. Industry Applications, vol. 31, n<sup>o</sup>6 pp 1315-1322, 1995.
- Bruno Maurice, **ST62 Microcontrollers drive home appliance motor technology**, SGS-THOMSON MICROELECTRONICS AN885, 1996.
- Gordon R. Slemon, **Achieving a Constant Power Speed Range for PM Drives**, IEEE Trans. Industry Applications, vol. 31, n<sup>o</sup>2 pp 368-370, 1995.
- L.Xu,L.Ye,L.Zhen,A.El-Antably, **A New Design Concept of Permanent Magnt Machine for Flux Weakening Operation**, IEEE Trans. Industry Applications, vol. 31, n<sup>o</sup>2 pp 373-378, 1995.
- S.Ogasawara, H. Akagi, **An Approach to Position Censorless Drive for Brushless dc Motors**, IEEE Trans. Industry Applications, vol. 27, n<sup>o</sup>5 pp 928-933, 1991.
- X. Durbecq, **Control by a Triac for an Inductive Load How to Select a Suitable Circuit**, SGS-THOMSON MICROELECTRONICS AN308, 1989.

- **Manual técnico del vehículo SEAT 127.** Pagina de Internet. [www.wefer.com/seat](http://www.wefer.com/seat).
- ABOUT.COM (2002) **History of Electric vehicles.** Pagina de Internet. <http://inventors.about/library/weekly/aacarselectrica.htm>.
- MATTHEW P. THIEL, BRIANL. SWENSON, AND GLENNR.BOWER, **the Development of the University of Wisconsin`s Parallel Hybrid-Electric Aluminum Intensive Vehicle**, página de internet. [www.cae.wisc.edu/~vehicle/tech report](http://www.cae.wisc.edu/~vehicle/tech report).