



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

***"Diseño y Construcción de Circuito de Potencia
de Vehículo Eléctrico"***

Previo a la obtención del Título de:
TECNÓLOGA EN ELECTRÓNICA

Presentado por:
ADRIANA CANTOS LUCES

GUAYAQUIL - ECUADOR
2011

akcantos@espol.edu.ec

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



PROYECTO DE GRADUACIÓN

Diseño y Construcción de Circuito de Potencia de Vehículo Eléctrico

Previo a la obtención del título de:

TECNÓLOGA EN ELETRÓNICA

Presentado por:

ADRIANA CANTOS LUCES

GUAYAQUIL-ECUADOR

2011

akcantos@espol.edu.ec

AGRADECIMIENTO

Sin ningún lugar a duda, mi agradecimiento total a nuestro Padre Celestial Jehová que día a día me da fortaleza para continuar, en especial esos tres años de vida universitaria que bendijo mi camino y permitió que concluyera con éxito esta etapa de mi vida.

No podría dejar de agradecer a mis padres, de especial manera a mi papá por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, sin duda alguna esto no sería posible sin él, que ha sido un pilar fundamental en mi formación profesional y humana.

A mis eternos profesores y ahora amigos, Lic. Diego Armando Muso y Lic. Camilo Arellano por el apoyo incansable en el proceso de mi formación personal y proceso de graduación.

Finalmente a las autoridades de **PROTEL**, MSc. Eloy Moncayo Triviño y Tecnólogo Edmundo Durán por las facilidades prestadas y los conocimientos brindados para desarrollar el proyecto de la mejor manera.

DEDICATORIA

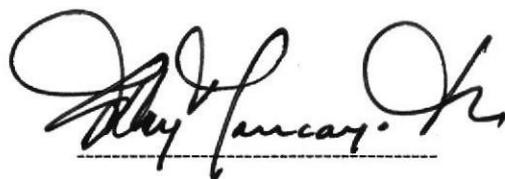
Más que sólo este proyecto de graduación, dedicaré toda mi carrera universitaria a mis padres; Sr. Víctor Hugo Cantos y Sra. Nadia Luces, por toda esa lucha diaria para sacarme adelante, por inculcarme el amor a Dios sobre todas las cosas y el amor al trabajo duro y honrado, gracias a ellos por brindarme la más grata herencia que se puede dejar a los hijos: sus valores y la educación.

Sé que es difícil poder devolver todo lo que han hecho por mí, pero sin duda alguna ellos son el motivo para cada día esforzarme más y sentirme orgullosa de ser el fruto de su unión.

Todo mi trabajo va dedicado a ellos, a toda mi familia y amigos; de manera muy especial a mi gran amigo Saulo Chung por el apoyo incondicional que me brindó en todo el desarrollo del proyecto.

Mi paso por PROTEL no sólo me deja conocimientos técnicos y humanos, sino grandes amigos que estoy segura serán mi fortaleza y mi apoyo en momentos difíciles de mi vida.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



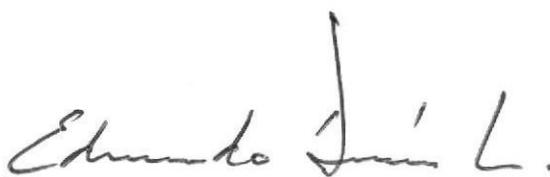
ELOY MONCAYO, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO.



CAMILO ARELLANO, Lic.

PROFESOR VOCAL.



EDMUNDO DURÁN, Trlg.

PROFESOR DELEGADO DEL INTEC.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad de este proyecto Tecnológico de graduación me corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

Adriana Cantos Luces.



.....

RESUMEN

En este proyecto se busca implementar y poner en funcionamiento la tarjeta de potencia de un vehículo que sirva como material didáctico en algunas materias del flujo de las diferentes carreras de PROTEL tales como: "Fundamentos de Robótica", "Electrónica de potencia", "Microcontroladores" entre otras. El objetivo es comenzar un proyecto que podría ser desarrollado en años posteriores por alumnos de PROTEL los cuales podrían agregar funciones a este vehículo para transformarlo en un robot con fines académicos y de aprendizaje para todos.

El proyecto consta básicamente de 3 partes importantes que a su vez se subdividen, en primer lugar el circuito de potencia con control PWM, inversión de giro de los motores y limitador de corriente. La segunda parte consta de un cargador de batería, con sus respectivas baterías de plomo-ácido (dos) de 12 V a 7AH cada una que le permiten poseer independencia al vehículo, y por último la adecuación de los controles del vehículo, controles tales como: on/off, marcha, retro, variación de velocidad y controles independientes para cada motor.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	11
DESARROLLO.....	12
CAPITULO I.....	13
1.1. DESMONTAJE Y LIMPIEZA.....	13
1.2. DESCRIPCIÓN Y DATOS TÉCNICOS.....	14
1.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES.....	15
CAPITULO II.....	16
2.1. TECNOLOGÍA MOSFET.....	16
2.1.1. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN.....	16
2.2. PUENTE H.....	17
2.2.1. TRANSISTORES COMPLEMENTARIOS.....	19
2.2.2. DISEÑO DE PUENTE H.....	20
2.2.2.1. CONSTRUCCIÓN DE PLACA.....	22
CAPITULO III.....	23
3.1. MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO PWM.....	23
3.2. CONTROL DE MOTOR MEDIANTE PWM.....	23
3.3. TL494 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	24
3.3.1. REGULADOR INTERNO DE VOLTAJE.....	25
3.3.2. OSCILADOR.....	25

3.3.3. AMPLIFICADOR DE ERROR.....	25
3.3.4. LIMITADOR DE CORRIENTE.....	25
3.3.5. ETAPA DE SALIDA.....	25
3.4. DISEÑO DE TARJETA DE CONTROL.....	25
3.4.1. CONSTRUCCIÓN DE PLACA.....	27
CAPITULO IV.....	29
4.1. CARGADOR DE BATERIA.....	29
4.1.1. CARGA DE BATERIAS.....	29
4.1.2. LA BATERIA CARGADA.....	29
4.1.3. CAPACIDAD DE UN BATERIA.....	29
4.1.4. AUTONOMÍA.....	31
4.1.5. RESISTENCIA INTERNA DE UNA BATERIA.....	32
4.1.6. INTERCONEXIÓN DE BATERIAS.....	33
4.1.7. BATERIAS A UTILIZAR.....	34
4.2. DISEÑO DE CARGADOR DE BATERIA.....	34
CAPITULO V.....	36
5.1. PANEL DE CONTROL.....	36
5.2. INSTALACIÓN DE TODO EL SISTEMA.....	37
CONCLUSIONES.....	38
RECOMENDACIONES.....	39
ANEXOS.....	40
BIBLIOGRAFIA.....	42

INTRODUCCIÓN

Con el proyecto: *“Diseño y Construcción de Circuito de Potencia de Vehículo Eléctrico”* se intenta poner en práctica conceptos aprendidos en materias tales como “electrónica analógica” y “electrónica de potencia” además de fortalecer los mismo e implementar una tarjeta capaz de brindar el voltaje y corriente necesaria a los motores DC del vehículo. Es necesario mencionar que además pretende brindarle independencia al mismo instalándole un par de batería de ácido-plomo, las mismas que contarán con su respectivo cargador.

El diseño de la tarjeta electrónica para dicho vehículo no sólo se limita a la “potencia” sino también a un control PWM con retroalimentación que permite monitorear constantemente el nivel de corriente en cada motor y lograr una comparación entre dicha señal de salida con otra señal establecida por el circuito, lo cual protegerá a la tarjeta de cualquier exceso de corriente y evitará que sufra algún daño.

A lo largo del proceso de pruebas, fueron varios los resultados obtenidos con distintos componentes combinados para realizar un mismo objetivo, que básicamente se muestra en la FIG. 1 a continuación:

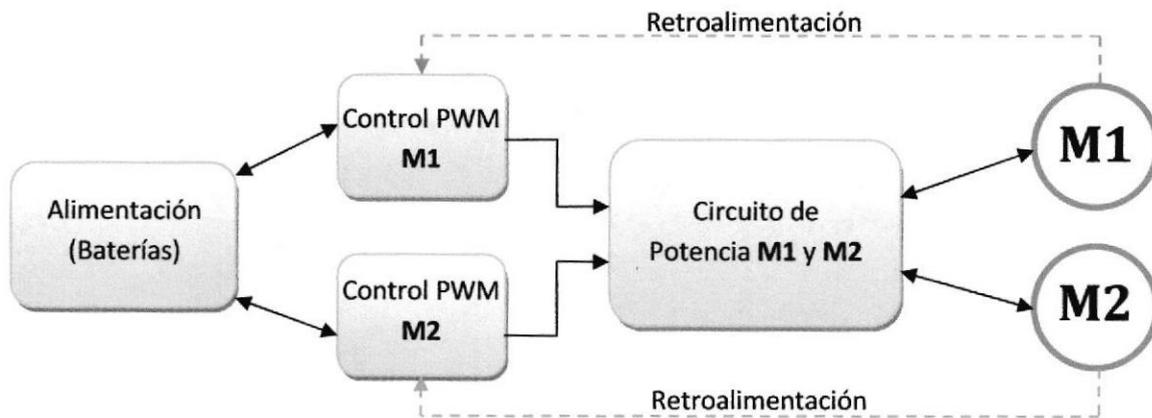


Diagrama de Bloques

FIG. 1

Al final se escogieron los componentes que combinados fueron más eficientes, integrados económicos y que se encontraron en el mercado local, teniendo como resultado tarjetas electrónicas pequeñas y de bajo costo.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, implementar y adecuar el circuito de potencia de un vehículo eléctrico con control PWM, además de brindarle independencia al mismo mediante el diseño de un cargador de batería.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En base a las características de los motores, realizar simulaciones que puedan satisfacer sus requerimientos, con componentes electrónicos tales como transistores que soporten la corriente nominal y el voltaje de los mismos.

- Después del previo estudio en las simulaciones (multisim 10) realizar varias pruebas con los componentes reales en protoboard.
- Diseño y pruebas de limitador de corriente que permita proteger al circuito en caso de excesiva demanda de corriente por parte de los motores.
- Construcción de la placa tanto de potencia como del cargador de batería.
- Conexión del panel de control con tarjetas de control y potencia.
- Pruebas finales y sustentación.

JUSTIFICACIÓN

Ante los crecientes cambios en la tecnología, el evolucionar de los contenidos académicos de nuestra unidad (PROTEL) y acorde a las exigencias del sector industrial y las sugerencias de sus graduados, es indispensable disponer de novedosos materiales didácticos que permitan a los nuevos estudiantes fortalecer su aprendizaje en ciertas materias de formación profesional que aparecen en las mallas curriculares de las carreras de Tecnologías en electrónica, electricidad y mecatrónica.

El proyecto propone el aprendizaje de los principios de la electrónica de una forma muy didáctica, poniendo en práctica lo aprendido en materias tales como electrónica analógica y electrónica de potencia, invitándonos a palpar lo interesante que resulta el aprendizaje de tales materias.

Además, el proyecto sugiere una continuación a las necesidades que se presenten a futuro debido a que deja las puertas abiertas al desarrollo de un control específico de las funciones del vehículo mediante la programación y aplicación de los Microcontroladores, y el hacerlo tan sólo depende de la creatividad e imaginación del futuro programador del vehículo.

Finalmente, el proyecto incentiva a la investigación por parte de los nuevos alumnos de nuestras carreras, e iniciarlos en otros campos importantes tales como la robótica.

DESARROLLO

ACTIVIDADES DEL PROYECTO:

Las actividades del proyecto están divididas en varias etapas que se las describen a continuación:

- ⚡ Desmontaje y limpieza de algunas partes del vehículo que se encontraba en la bodega del PROTEL.
- ⚡ Prueba de funcionamiento de los dos motores encontrados.
- ⚡ Investigación de componentes electrónicos utilizados por el vehículo eléctrico para su funcionamiento.
- ⚡ Simulaciones en multisim 10 con componentes elegidos (que existen en el mercado local) y estudio teórico.
- ⚡ Pruebas físicas con el circuito armado en protoboard.
- ⚡ Construcción de placa de control, potencia y cargador de batería.
- ⚡ Implementación en la estructura del vehículo y puesta en marcha.
- ⚡ Pruebas finales.

CAPITULO I

1.1.- DESMONTAJE Y LIMPIEZA

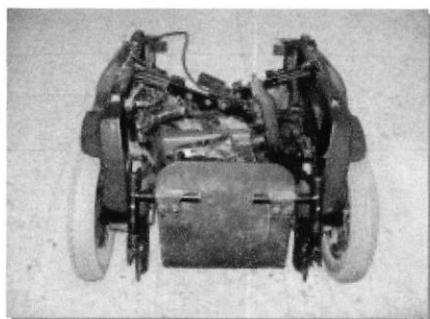
Antes de comenzar el proyecto, se analizaron las posibilidades de reciclar ciertas partes que se encuentran en la bodega de PROTEL, que sirvan para la implementación del vehículo eléctrico propuesto.

Así fue como se encontró la estructura del vehículo antes de comenzar el proyecto:



Equipo Original

FIG. 2



Vista Posterior Equipo Original

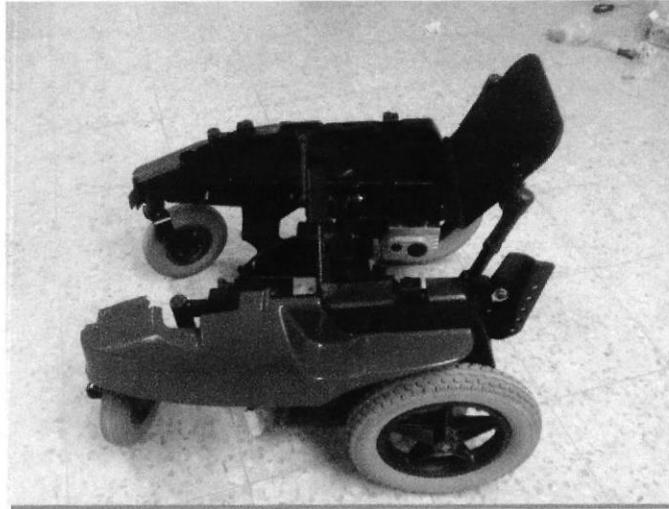
FIG. 3



Estructura metálica Equipo Original

FIG. 4

Estructura modificada y limpia:



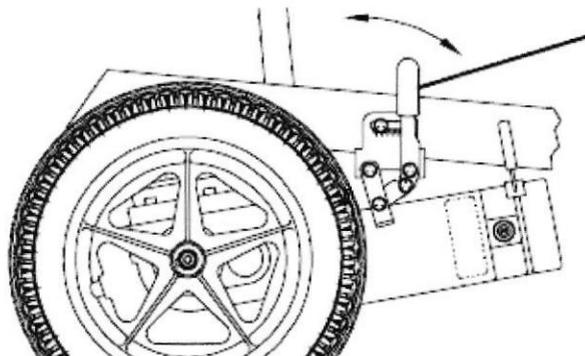
Estructura Modificada

FIG.5

1.2.- DESCRIPCIÓN Y DATOS TÉCNICOS

La estructura cuenta con dos motores DC con las siguientes características técnicas:

- **VOLTAJE:** 24VDC
- **CORRIENTE:** 3.3 A
- **VELOCIDAD:** 110 RPM
- **PART NAME LH MOTOR**
- **PART NUMBER:** 1071570
- **SERIAL NUMBER:** 99014422



Ubicación de motores en el vehículo

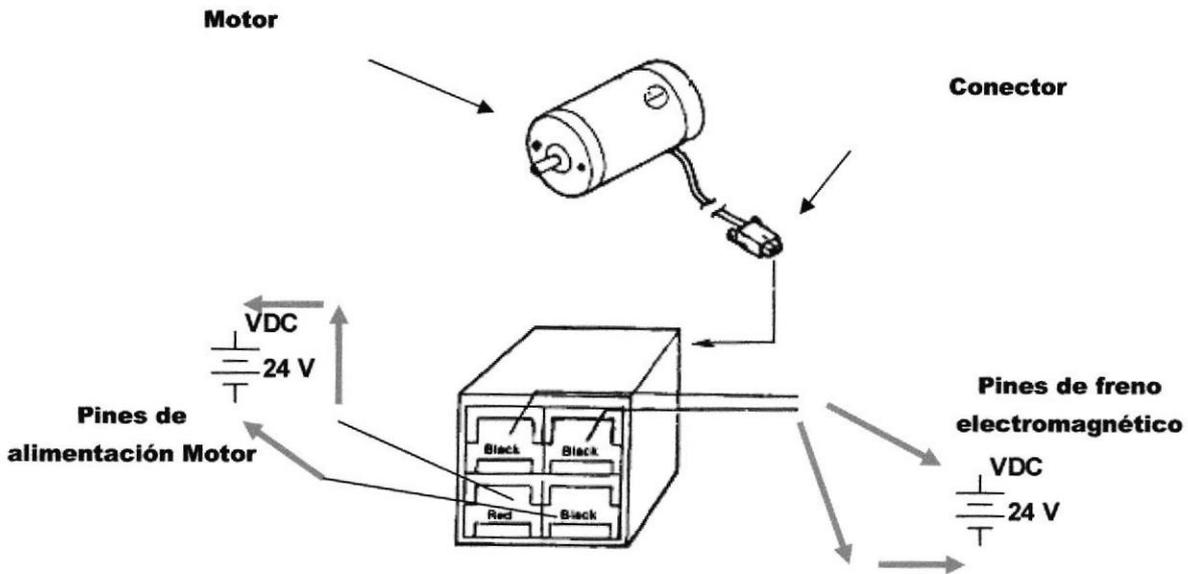
FIG.6

1.3.- PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES

En primera instancia, el problema que se presentó fue la falta de movimiento de los motores al alimentarlos con el voltaje nominal de placa; y en segundo lugar, el desconocimiento de la aplicación que tenían dos cables adicionales que salían de cada motor.

Al desarmar el motor se encontró que se trataba de un freno electromagnético que venía incorporado al mismo, es por eso que con ayuda de una fuente de voltaje adicional se hicieron pruebas energizando el freno, y los resultados obtenidos indicaron que la desactivación de éste tipo de freno se da con $12V_{DC}$ o más.

En conclusión, éste tipo de freno corresponde a un FRENO ELECTROMAGNÉTICO NORMALMENTE ACTIVADO (FRENADO), razón por la cual en las pruebas iniciales los motores no giraban.



Conexión de Motores a Fuente DC

FIG. 7

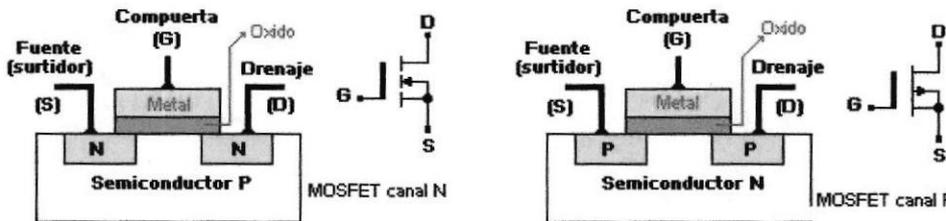
CAPITULO II

2.1.- TECNOLOGÍA MOSFET

MOSFET significa "FET de Metal Oxido Semiconductor" o FET de compuerta aislada, es un arreglo de cientos de transistores integrados en un sustrato de silicio. Cada uno entrega una parte a la corriente total.

Uno de los motivos que impulsó su desarrollo es que los transistores bipolares presentan limitaciones. Es un dispositivo controlado por tensión, extremadamente veloz en virtud a la pequeña corriente necesaria para liberar el canal. Por esta facultad se los usa ampliamente en conmutación. Su velocidad permite diseñar etapas de potencia con mucha mayor eficiencia que los transistores BJT.

Los transistores complementarios de PNP y NPN tienen sus equivalentes en la tecnología MOSFET, que son los llamados CANAL P y CANAL N.



Estructura Interna de Transistores MOSFET's N y P

FIG. 8

2.1.1.- PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

Tanto en el MOSFET de canal N o el de canal P, cuando no se aplica tensión en la compuerta no hay flujo de corriente entre en drenaje (Drain) y la fuente (Source).

Para que circule corriente en un MOSFET de canal N una tensión positiva se debe aplicar en la compuerta. Así los electrones del canal N de la fuente (Source) y el drenaje (Drain) son atraídos a la compuerta (Gate) y pasan por el canal P entre ellos. El movimiento de estos electrones, crea las condiciones para que aparezca un puente para los electrones entre el drenaje y la fuente. La amplitud o anchura de este puente (y la cantidad de corriente) depende o es controlada por la tensión aplicada a la compuerta.

En el caso del MOSFET de canal P, se da una situación similar. Cuando se aplica una tensión negativa en la compuerta, los huecos (ausencia de electrones) del canal P del drenaje y de la fuente son atraídos hacia la compuerta y pasan a través del canal N que hay entre ellos, creando un puente entre drenaje y fuente. La amplitud o anchura del puente (y la cantidad de corriente) depende de la tensión aplicada a la compuerta. Debido a la delgada capa de óxido que hay entre la compuerta y el semiconductor, no hay corriente por la compuerta. La corriente que circula entre drenaje y fuente es controlada por la tensión aplicada a la compuerta.

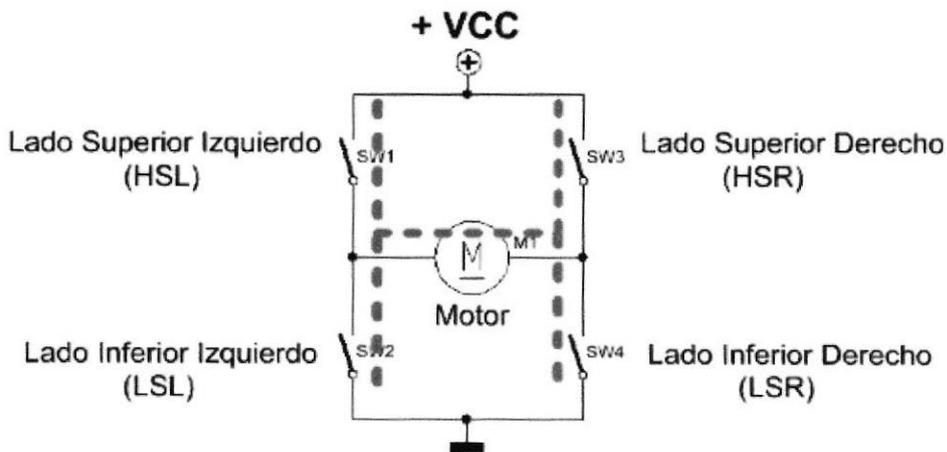
Los transistores MOSFET se pueden dañar con facilidad y hay que manipularlos con cuidado. Debido a que la capa de óxido es muy delgada, se puede destruir con facilidad si hay alta tensión o hay electricidad estática.

2.2.- PUENTE H

Cuando se piensa en desarrollar un sistema que permita el correcto movimiento de algún componente electromecánico (motores) lo más sencillo es recurrir al famoso "PUENTE H" ó "H BRIDGE" ya que este es siempre la solución más rápida en sistemas donde el sentido de giro es una necesidad de operación.

Sin embargo, el mundo real y físico nos presenta incontables dificultades a la hora de operar el puente H. Comenzando por la inercia del sistema mecánico, pasando por la velocidad de respuesta y terminando en el proceso de frenado y detención apropiados, encontramos la mayoría de los inconvenientes que han hecho abandonar a muchos entusiastas que se inician en el mundo de la electrónica robótica y la mecatrónica. Es por ello que es indispensable conocer el funcionamiento teórico del mismo.

Conocido como "*puente completo*", adopta la letra H para su nombre debido a la forma que presenta dentro de un circuito esquemático simplificado, como el que vemos en la FIG. 9. En el centro se encuentra ubicado el motor y en cada "*rama lateral*" ascendente o descendente se ubican los conmutadores que, activados de manera apropiada, brindarán al sistema los movimientos necesarios para que el motor utilizado pueda girar en un sentido u otro. Por supuesto que una letra H del alfabeto no se escribe con las partes superior e inferior unidas, pero en líneas generales, la adopción de esta letra para invocar a este tipo de montaje y conexión es la más apropiada.

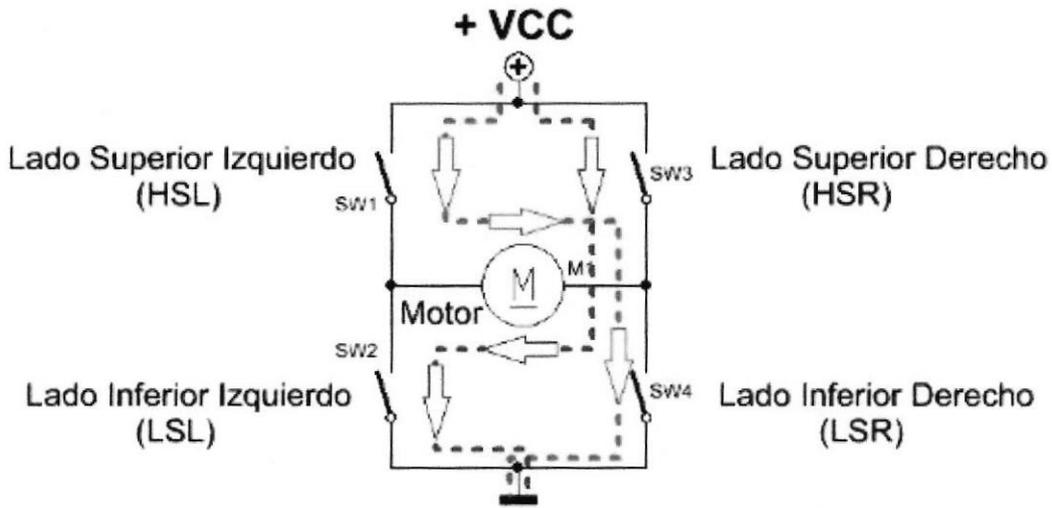


Nota: La letra H queda formada por la ubicación de los conmutadores en el circuito

Puente H básico

FIG. 9

Para conectar el motor y hacerlo girar debemos activar las llaves de conmutación por pares opuestos en lo que respecta a lados y a posición (superior o inferior). Un error en la activación que permita la conexión de elementos superiores e inferiores de un mismo lado provocará una descarga muy rápida y abrupta de la batería que se esté utilizando o, en el peor de los escenarios, destruirá los elementos que forman las llaves conmutadoras. Como vemos en la FIG. 10, para un giro seguro en uno de los dos sentidos, debemos cerrar SW1 y SW4, observando que SW2 y SW3 permanezcan abiertas (líneas rojas). En el caso inverso sería SW2 y SW3 cerradas, mientras que SW1 y SW4 deberán permanecer abiertas (líneas azules).

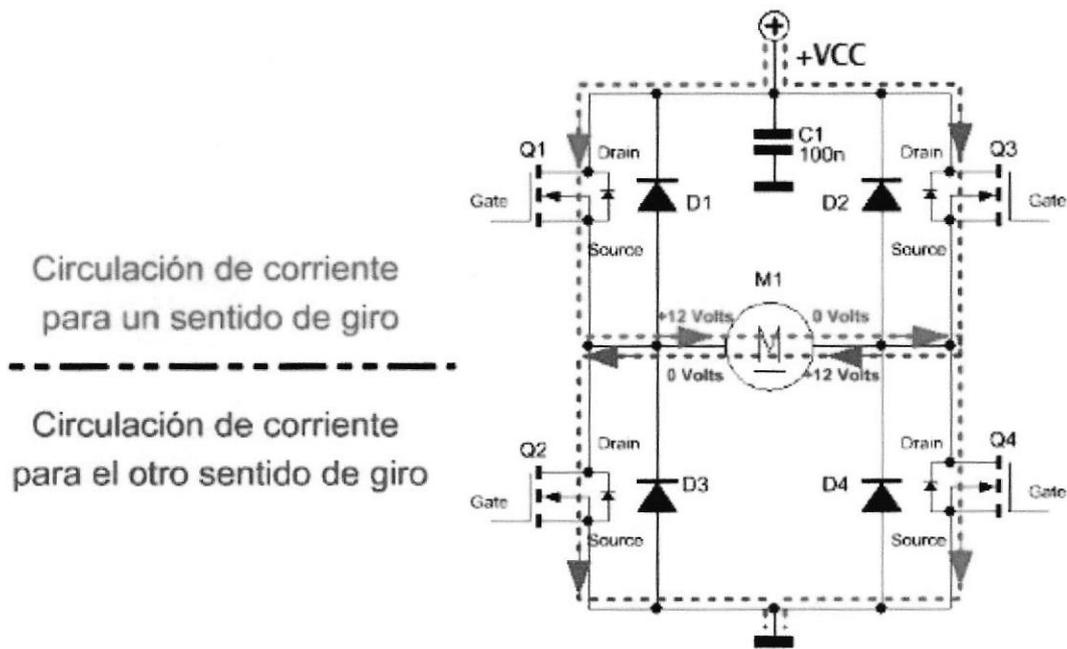


Nota: De acuerdo al apropiado manejo de las llaves conmutadoras, obtendremos todos los movimientos sobre el motor

Flujo de corriente para correcta inversión de giro

FIG. 10

En la actualidad, para operar motores de CC permitiendo un funcionamiento de giro en ambos sentidos se utilizan, en la mayoría de los casos, **circuitos con transistores MOSFET** en lugar de las llaves genéricas SW1 a SW4 mencionadas con anterioridad. Algunos diseñadores prefieren utilizar transistores de canal P para los lados superiores y de canal N para los inferiores (que es el caso del sistema que se utiliza en el proyecto). La ventaja de este concepto de diseño es que las tensiones necesarias para activar los Gates de los transistores de canal P se podrán sacar directamente de la alimentación utilizada para el motor. Si por el contrario utilizamos transistores de Canal N en el lado superior de la H, la tensión necesaria para activar los Gates **deberá provenir de un elevador de tensión** que funcione por encima del valor nominal de alimentación del motor. Observemos la siguiente imagen para comprender este concepto:



Circulación de corriente
para un sentido de giro

Circulación de corriente
para el otro sentido de giro

Nota: Los interruptores reemplazados por transistores MOSFET dentro del puente H y la circulación de corriente para lograr los dos sentidos de giro.

Puente H con MOSFET's y Flujo de Corriente

FIG. 11

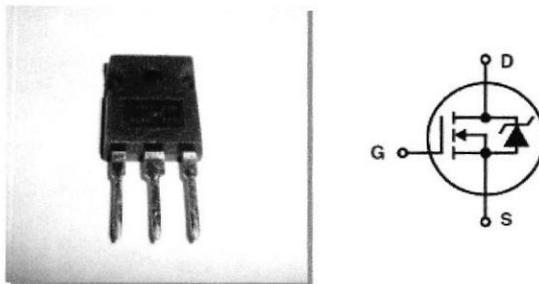
2.2.1.- TRANSISTORES COMPLEMENTARIOS

En el circuito realizado en el proyecto trabajan dos tipos de MOSFET: N-Chanel (canal negativo – Q3 y Q4) y P-Chanel (canal positivo – Q1 y Q2). En el primer caso pasan a modo conducción (activado) mediante un voltaje positivo en la Compuerta y mediante un voltaje negativo para el segundo caso. A continuación se explica brevemente sus características principales:

CANAL "N":

IRFP240

Encapsulado: TO-247



Encapsulado y Simbología IRFP240

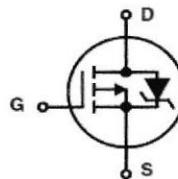
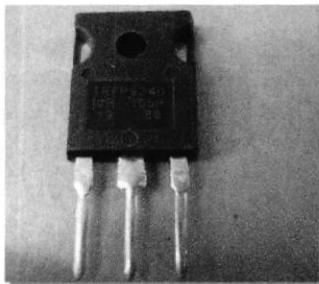
FIG. 12

- Voltaje Drain to Source: 200V (VDS)
- Voltaje Drain to Gate: 200V (VDG)
- Voltaje Gate to Source: +/- 20V (VGS)
- Corriente continua Drain: 20A (ID)
- Corriente Pulsante Drain: 80^a
- Máxima potencia de disipación: 150W (PD)
- Resistencia Drain to Source: Typ= 0.14 Ω Max= 0.18 Ω (RDS)

CANAL P:

IRFP9240

Encapsulado: TO-247



Encapsulado y Simbología IRFP9240

FIG. 13

- Voltaje Drain to Source: -200V (VDS)
- Voltaje Drain to Gate: -200V (VDGR)
- Voltaje Gate to Source: +/- 20V (VGS)
- Corriente continua Drain: -12A (ID)
- Corriente Pulsante Drain: -48A
- Máxima potencia de disipación: 150W (PD)
- Resistencia Drain to Source: Typ= 0.380 Ω Max= 0.500 Ω (RDS)

2.2.2.- DISEÑO DEL PUENTE H

Las resistencias R1, R2, R5 y R6 han sido adicionadas para evitar que el MOSFET se autodestruya. Es muy importante instalar estas resistencias antes de instalar el MOSFET. Estas resistencias permitirán un comportamiento estable del MOSFET y además agregarán una protección contra la estática.

D1 a D4 desvían los picos de tensión negativa provocados por los motores evitando que afecten a los transistores. En el caso de los MOSFET's utilizados en el proyecto ya tienen estos diodos construidos internamente, por lo que no son necesarios.

Rs es una resistencia de alambre de 5W de 0.1 Ω que permitirá sensar la corriente que circula por cada puente H de cada motor.

Modo PARAR:

Cuando $A=0$ y $B=0$, el motor para.

Por el punto A y B no existe ninguna señal, por lo que los transistores Q1 y Q2 están en estado de corte mediante R1 y R2.

Modo ATRAS:

Cuando $A=0$ y $B=PWM$, el motor girará hacia atrás.

Q1 estará en corte. El terminal (-) del motor se conectará a +24V a través de Q2 y a la vez que Q3 se saturará a través de R3. De esta forma el terminal (+) del motor se conectará a masa a través de Q3 lo cual a su vez manda al corte Q4 evitando un corto circuito.

Modo ADELANTE:

Cuando $A=PWM$ y $B=0$, el motor girará hacia adelante.

Q2 estará en corte. El terminal (+) del motor se conectará a +24V a través de Q1 y a la vez Q4 se saturará a través de R4. De esta forma el terminal (-) del motor se conectará a masa a través de Q4 lo cual a su vez manda al corte Q3 evitando un corto circuito.

Modo NO PERMITIDO:

Si $A=PWM$ y $B=PWM$ entonces todos los MOSFET's serán activados o saturados lo cual provocará que toda la corriente de la fuente de alimentación pase a través de ellos destruyéndolos.

Los motores eléctricos producen una gran cantidad de ruido debido a las escobillas o carbones. También producen picos de tensión al parar y más especialmente al cambiar de dirección.

Mediante C1 y C2 se trata de suprimir al máximo los picos de ruido.

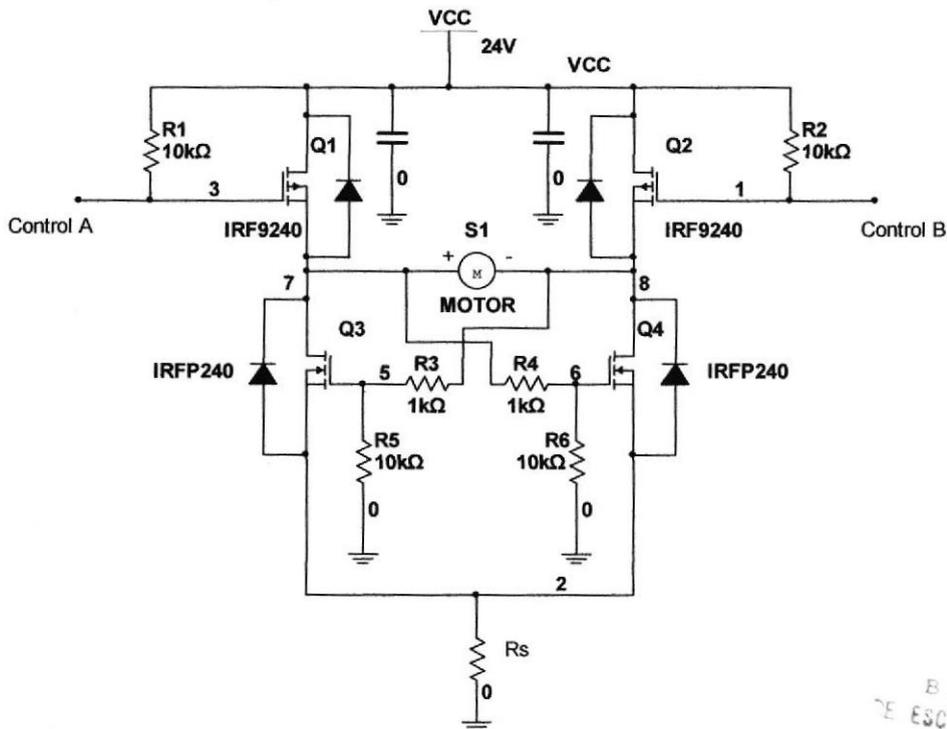


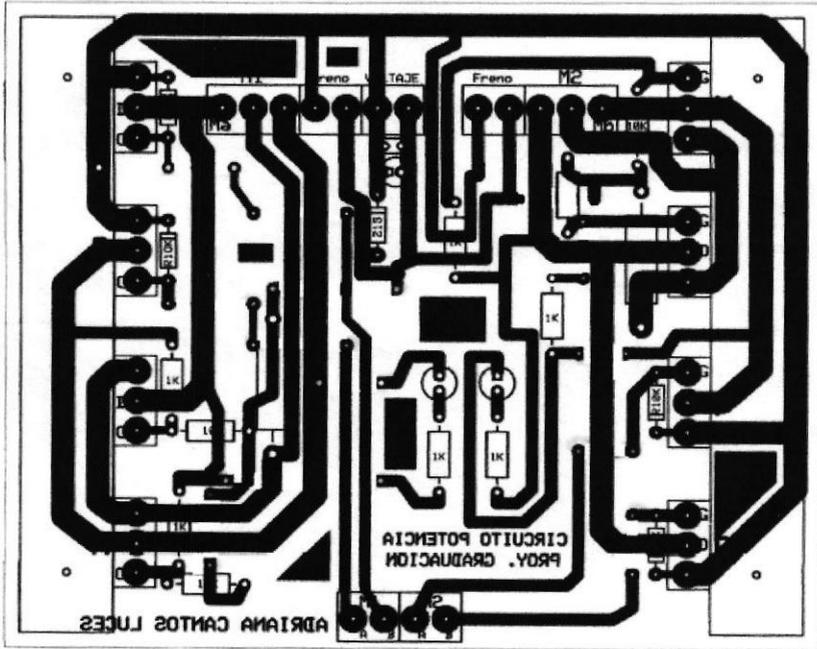
Diagrama Esquemático de Circuito de Potencia de 1 Motor

FIG. 14



2.2.2.1 CONSTRUCCIÓN DE PLACA

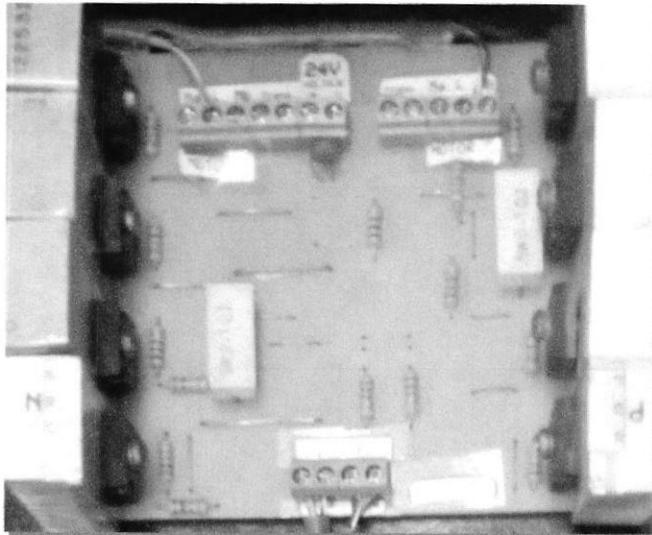
El diseño de la pista de la placa de potencia fue realizado en "Express PCB" y a continuación se muestra el resultado final, cabe recalcar que en una sola tarjeta están incluidos dos puentes como el de la FIG. 14.



Nota: La placa tiene un tamaño de 10x12cm
PCB de tarjeta final de Potencia

FIG. 15

A continuación se muestra la placa ya construida:



Tarjeta de potencia instalada en el vehículo

FIG. 16

CAPITULO III

3.1.- MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO PWM

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de *pulse-width modulation*) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

D es el ciclo de trabajo

τ es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T es el período de la función

3.2. CONTROL DE MOTOR MEDIANTE PWM

La regulación por ancho de pulso de un motor de CC está basada en el hecho de que si se recorta la CC de alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (habilita corriente) y baja (cero corriente) del ciclo de la onda cuadrada. Controlando esta relación se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable.

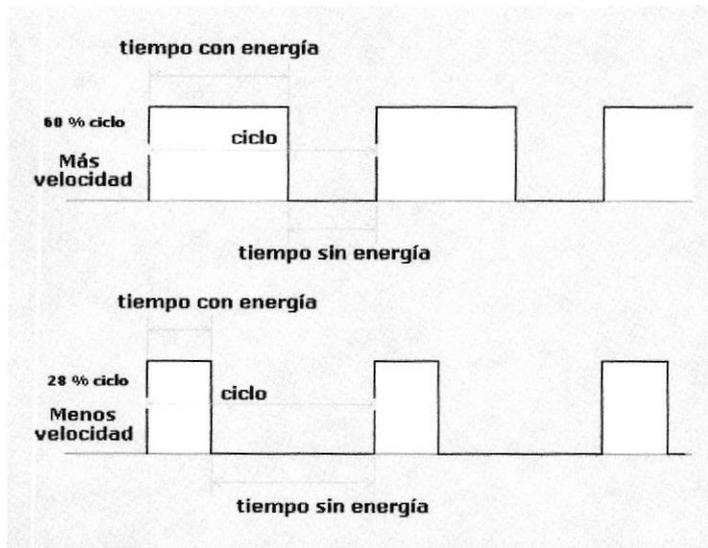


Diagrama de Tiempo de una Señal Cuadrada

FIG. 17

3.3. TL494 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El modulador por ancho de pulso (PWM: Pulse Width Modulation), es implementado por medio de un circuito integrado TL494. El TL494 es en Regulador Modulador de Ancho de Pulso; en la FIG. 18 se muestra el diagrama a bloques del encapsulado.

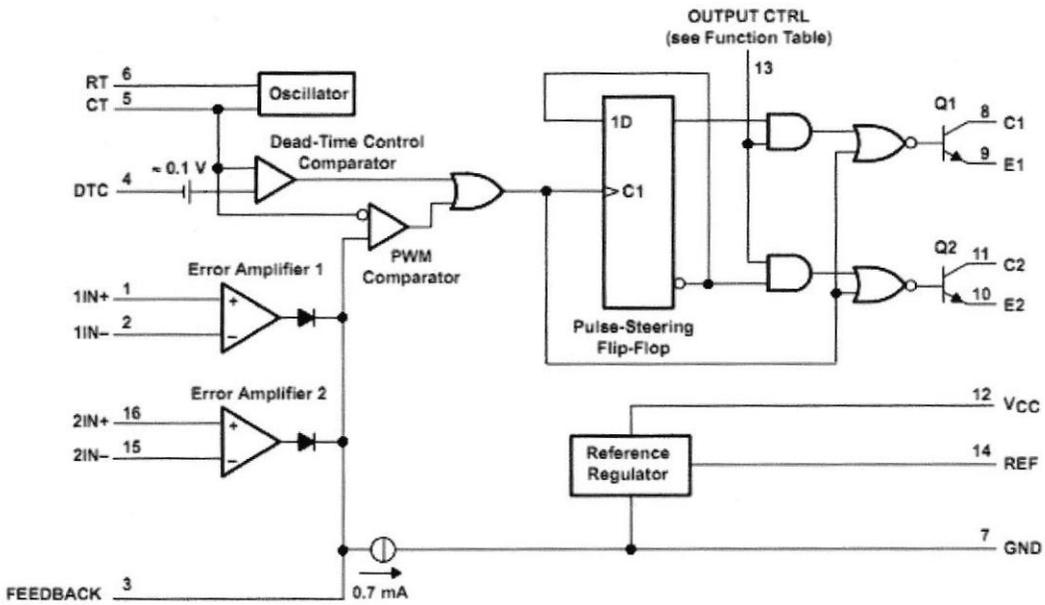


Imagen obtenida de la hoja de datos del integrado

FIG.18

Datos técnicos más relevantes:

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	-	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	-	-	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	-0.3	-	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	-	-	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	-	-	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	k Ω
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μF
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

Datos técnicos de TL494

FIG.19

3.3.1.- Regulador interno de voltaje

El TL494 tiene un voltaje de referencia de 5V con precisión de +/-1%, este voltaje alimenta los circuitos internos de el dispositivo y puede ser utilizado como referencia externa.

3.3.2.- Oscilador

La frecuencia del oscilador es establecida mediante una resistencia R_t y un capacitor C_t externos. La salida del oscilador provee las señales para disparar un flip-flop interno, el cual direcciona la información del PWM a las salidas, y un pulso de borrado para apagar ambas salidas durante las transiciones para asegurar que no ocurran condiciones cruzadas. El ancho del pulso de borrado, o tiempo muerto, es controlado por el valor del capacitor C_t .

3.3.3.- Amplificador de error

Es un amplificador de entrada diferencial. Su ganancia es nominalmente de 86 dB, es colocada ya sea por retroalimentación o con carga a la salida. Ésta carga de salida puede ser resistiva solamente o resistiva y reactiva.

3.3.4.- Limitador de corriente

La función del amplificador limitador de corriente es manejar la salida del amplificador de error y tomar control del ancho de pulso. La salida del ciclo de trabajo es disminuida en un 25% aproximadamente cuando un voltaje sensado de límite de corriente de 200mV es aplicado entre las terminales +IN2 y -IN2. Un incremento del voltaje sensado, de aproximadamente un 5%, da por resultado un ciclo de trabajo del 0%.

3.3.5.- Etapa de salida

Las salidas del dispositivo son 2 transistores NPN, la capacidad de manejo de corriente de los transistores es de hasta 200mA. Estos transistores tienen emisores y colectores abiertos.

3.4.- DISEÑO DE TARJETA DE CONTROL

A continuación se muestra el diseño implementado, teniendo como base el integrado descrito en el subcapítulo anterior, el mismo como ya se describió posee un amplificador de error en los pines 15 y 16 que nos servirán para limitar la corriente que circulará por los motores.



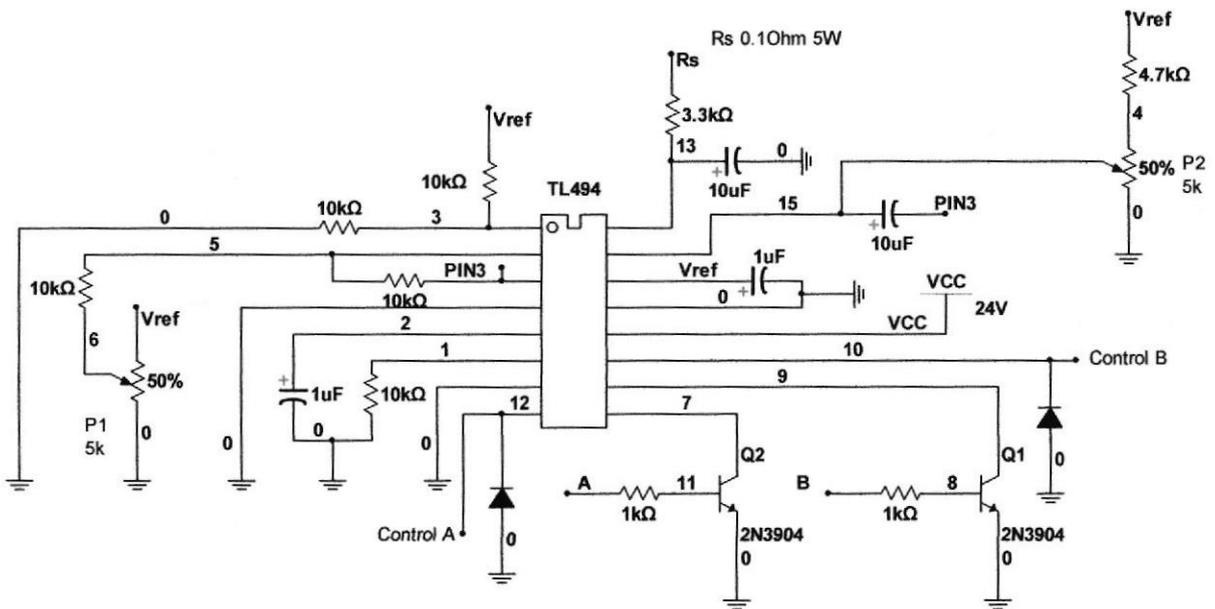


Diagrama Esquemático Circuito de Control de 1 Motor
FIG. 20

En los pines 1 y 2 existe una configuración de restador con el Amplificador de error interno en el integrado que permiten hacer el crecimiento de la resistencia de P1 directamente proporcional a la velocidad del motor, es decir este potenciómetro es el que regula el PWM.

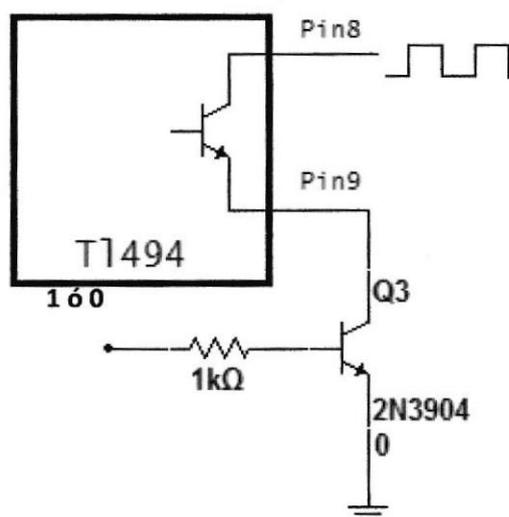
En el pin 5 y 6 se encuentra el juego RC necesarios para provocar la oscilación (señal diente de sierra), la frecuencia de esta señal depende única y exclusivamente del valor de los mismo, en el caso de nuestro diseño C1: 1uF y R: 10K lo que da una frecuencia de 100Hz, esto está dado por la siguiente fórmula:

$$f = 1/RC$$

El PWM generado se verá reflejado en los pines 8 y 11 respectivamente, pero sólo estarán activados según el estado (corte o saturación) en el que se encuentren los transistores externos colocados en los pines 9 y 10. Obviamente los transistores no se saturarán si antes en su base no existe una señal alta, o una corriente necesaria que les permita saturarse.

Los pines 8 y 11 irán directamente a los Gates de los MOSFET's de canal P que se encuentran en el puente H, es decir que dependiendo de la señal alta o baja que se envíe a los transistores externos el motor conectado al puente H girará en un sentido o el otro.

Para explicarlo de mejor manera a continuación se muestra la FIG.21



Nota: Solo si existe un alto en la base en transistor de control externo se saturará y permitirá al pin 9 conectarse a tierra, así en el pin 8 existirá PWM

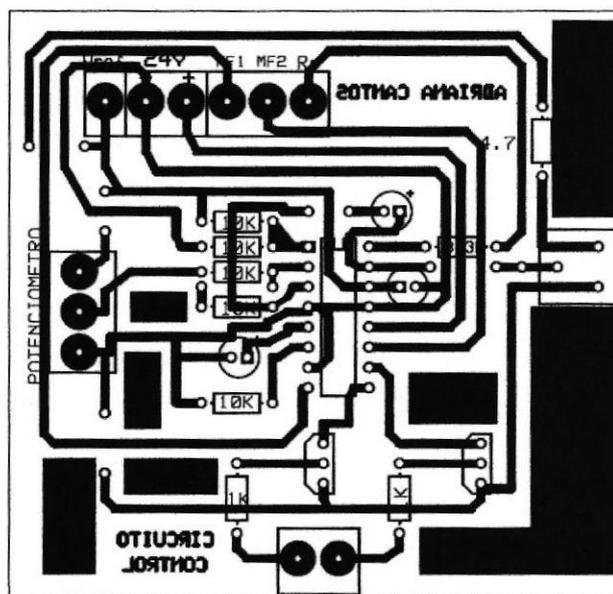
Diagrama de conexión de transistor de control con pines del TL494

FIG. 21

El pin 14 es el voltaje de referencia, para alimentar circuitos internos, pero también nos sirve como voltaje de referencia en los divisores de voltaje de los potenciómetros. En cuanto a la configuración de los pines 15 y 16 son las entradas del amplificador de error que servirá de limitador de corriente, la pin 16 entrará la señal que es sensada en la R_s conectada a los sources de los transistores MOSFET's de canal N del puente. Al pin 15 por su parte se le referirá un voltaje que será dado por el P2.

3.4.1.- CONSTRUCCIÓN DE PLACA

El diseño de la pista de la placa de control fue realizado en "Express PCB" y a continuación se muestra en la FIG.21 el resultado final, cabe recalcar que las placas fueron diseñadas por separado, es decir una placa de control para cada puente H.

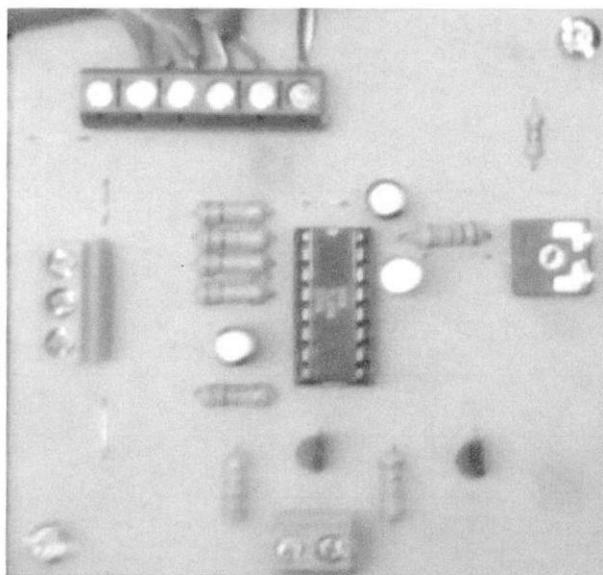


Nota: La placa tiene un tamaño de 7.5 x 7.7cm

PCB de tarjeta final de Control

FIG.22

A continuación se muestra la placa ya construida



Tarjeta de control instalada en el vehículo

FIG.23

CAPITULO VI

4.1.- CARGADOR DE BATERIA

Es fundamental que el vehículo posea independencia por lo que se hace necesario contar con baterías instaladas en el mismo que puedan ser conectadas a un cargador cuando sea necesario.

Lo que también se hacer urgente es conocer más sobre las baterías, sobre el principio básico de carga y cómo alargar su vida útil.

A continuación se lo describe:

4.1.1.- CARGA DE BATERÍAS

La mejor acción para prolongar la vida útil de una batería, es la práctica de una adecuada recarga. El uso cotidiano, nos dice que existen dos métodos de carga: Carga rápida y Carga lenta.

La carga rápida es nociva, pues provoca calor y eleva la temperatura al interior de la batería. Esto genera daños irreversibles. *La carga rápida es, casi siempre, una recarga superficial.*

La carga lenta permite que la batería recupere plenamente su capacidad y no provoca gasificación excesiva.

Regla práctica para la recarga: iniciar la operación a una corriente en amperios equivalente a 1/10 de la capacidad. Ejemplo: para una batería de 75 A-h, se debe iniciar con una corriente de 7 u 8 amperios.

4.1.2.- LA BATERÍA CARGADA

El voltaje óptimo de una batería 100% cargada, debe estar en el rango de 12.50 a 12.95 voltios. El voltaje depende también del tipo de batería y de la tecnología empleada para su manufactura. Por ejemplo, las baterías "Libre de Mantenimiento", tienen un voltaje un poco mayor que las de tipo convencional.

Una batería "vive" más, si se mantiene cargada, tanto si está instalada, como si se conserva almacenada. Al irse descargando una batería, sobre la superficie de las placas se va formando una sustancia llamada sulfato de plomo.

Una recarga oportuna, remueve el sulfato y deja la batería nuevamente 100% apta para el servicio.

Si la batería se deja mucho tiempo en estado descargada, el sulfato se adhiere fuertemente y ya no puede removerse. La batería entonces pierde la capacidad de acumular energía y ya no es útil.

4.1.3.- CAPACIDAD DE UNA BATERÍA

A la cantidad de energía que puede almacenar una batería, se le conoce con el nombre de capacidad (algunos le llaman el amperaje).

La capacidad se mide en Amperios-hora (A-h). El conocimiento de los A-h de una batería, nos permite seleccionar el modelo adecuado para una determinada instalación.

La capacidad de una batería depende de la velocidad con la cuál entrega su energía.

Por ejemplo: supongamos una batería nueva y totalmente cargada, que se instala en un auto. Se procede a encender el auto digamos unas diez veces seguidas. Al intentar el onceavo arranque, éste no se produce.

La conclusión lógica es que la batería se descargó, es decir, entregó toda su energía. Sin embargo, si retiramos esa misma batería y le conectamos un televisor, lograremos su funcionamiento sin ningún inconveniente. Quiere decir, que la batería, todavía tiene energía.

La razón es: al encender el motor de un auto, la batería entrega alto amperaje, en un periodo corto. En cambio con el equipo TV, la batería entrega bajo amperaje, en un periodo prolongado.

"La capacidad, varía según la forma en que se extraiga la energía. Si la corriente es muy alta, la capacidad disminuye. Si la corriente es pequeña, la capacidad crece".

Por ello, se hizo necesario definir un estándar para medir la capacidad. El mismo recibe el nombre de ratio, que es el tiempo especificado para medir los Amperios-hora de una batería.

Existen diversos ratios:

20 horas, para batería de uso automotriz.

10 horas para baterías de uso en motocicleta.

100 horas, para baterías en uso solar o fotovoltaico.

20 horas para batería de uso estacionario. Se emplean también los ratios de: 10 horas, 5 horas, etc.

¿Qué significa la capacidad?

Supongamos una batería de 50 A-h de capacidad, medidos a un ratio de 20 horas. Lo anterior significa que ésta batería, entrega, 2.5 Amperios durante 20 horas. Esto es:

$2.5 \text{ Amperios} \times 20 \text{ horas} = 50 \text{ Amperios-hora}$

¿La batería puede entregar más corriente que los 2.5 amperios anotados en el ejemplo?

La respuesta es sí.

¿La batería, puede entregar 50 amperios, durante 1 hora?

50 Amperios x 1 hora = 50 Amperios-hora.

La respuesta es no. Se obtendrán los 50 A-h, sólo para un valor de descarga de 2.5 amperios por hora.

Para descargas mayores a 2.5, la batería entrega menos capacidad, ya que la descarga es más rápida. Digamos, a unos 50 amperios de descarga, la batería entregará esta corriente por unos 24 minutos (o su equivalente a 0.4 horas). A este valor de descarga, la nueva capacidad será:

50 Amperios x 0.4 horas = 20 A-h

¿Hay entonces contradicción en el valor de la capacidad de una batería? No. Lo que ocurre, es que la cantidad de energía que entrega la batería, se ve afectada por la forma de extraer la energía: Altas corrientes o bajas corrientes. Para el ejemplo anterior, 50 amperios es una corriente alta para una batería de 50 A-h y por tanto la capacidad disminuye.

La capacidad de una batería, debe ser siempre acompañada por el ratio al cual se hace la medida. De no especificarse el valor del ratio, se asume que este es de 20 horas. El ratio, permite comparar las capacidades de las baterías de diversos fabricantes.

4.1.4.- AUTONOMÍA

El tiempo durante el cual una batería mantendrá un equipo en funcionamiento, recibe el nombre de Autonomía. Este tiempo, dependiendo del consumo del equipo y de la capacidad de la batería, puede ser de unos pocos minutos, pero también puede alcanzar varias horas.

* Supongamos que conectamos un foco de 40 watts y 12 voltios a una batería cuya Capacidad es 120 A-h.

¿Durante cuánto tiempo, el foco de 40 watts se mantendrá encendido por la batería?

Forma práctica para el cálculo de la Autonomía:

Primero:

Calculemos los watts-hora de la batería. Esto se hace, multiplicando la Capacidad por el voltaje. Entonces, para nuestro ejemplo es:

(120 A-h) x (12 voltios) = 1440 watts-hora

Segundo:

Los watts-hora, es la cantidad de potencia que puede entregar la batería. El valor arriba calculado es el teórico. Una batería no entrega toda la potencia almacenada en ella. Se utiliza un factor, para calcular los watts-hora "reales". Usualmente se utiliza 0.6 como factor.

Tercero:

Watts-hora reales = watts-hora teórico x 0.6 = 864 watts-hora

Cuarto:

Para calcular cuántas horas, se mantendrá encendido el foco, se dividen los watts-hora reales, entre la potencia del foco. El resultado será número de horas de autonomía. Horas de Autonomía = watts-hora reales / watts del foco. O sea: $864 / 40 = 21.6$ horas. En otras palabras, 21 horas y 36 minutos.

Estamos hablando de funcionamiento continuo. Si el foco se usa por tramos, o sea un día 4 horas, el segundo otras cuatro y así sucesivamente, la autonomía crece un poquito, debido a que la batería reposa y recupera su voltaje durante las "paradas". Quizás para nuestro caso de foco de 40 watts, la autonomía pudiera llegar a unas 23 horas.

Se puede usar éste método, para cualquier batería de plomo-ácido y para cualquier artefacto o equipo que conecte a la batería. Puede incluso ser un arreglo de baterías en conexión serie o en paralelo. La forma de cálculo es la misma.

4.1.5.- RESISTENCIA INTERNA DE UNA BATERÍA

Una batería, está compuesta de placas, electrolito y contactos intercelda. Todos esos elementos intervienen en el valor de la resistencia interna.

El valor de resistencia interna, no es constante a lo largo de la vida de una batería. Inicialmente es muy bajo, pero a medida que la batería envejece, va incrementándose su valor.

Al incrementarse la Capacidad de una batería, se reduce el valor de la resistencia interna. ¿Por qué? Pues debido, a que los contactos intercelda de las baterías más grandes, son de mayor espesor, por tanto la corriente circula con más facilidad. El incremento del número de placas, disminuye también el valor de la resistencia.

Para una batería, a medida que se incremente el valor de la resistencia, la capacidad en Amperios-hora disponible en ella disminuye.

4.1.6.- INTERCONEXIÓN DE BATERÍAS

Serie: El voltaje de la conexión, es la suma de los voltajes de cada batería. Si tenemos por ejemplo tres baterías de 12 voltios y 100 A-h, la conexión en serie, dará un arreglo de 36 voltios y 100 A-h

Paralelo: El voltaje de la conexión, es el mismo de cada batería. Lo que se incrementa es la capacidad. Si tenemos las mismas tres baterías del caso anterior, al conectarlas en paralelo se obtendrá 12 voltios y 300 A-h.

Cuando las baterías se conectan en paralelo, el voltaje se mantiene. Lo que se logra es incrementar la Capacidad (A-h) y el Poder de Arranque (CCA).

En una conexión de baterías en paralelo, la capacidad del arreglo, es la suma de las capacidades de cada batería individual. El Poder de Arranque del arreglo, es la suma de los Poderes de Arranque de cada batería individual.

Ejemplo: Si tenemos la batería de modelo PT88 de características:

Voltaje: 12V

Capacidad: 88 A-h a 20 horas rate.

Reserva de Capacidad: 155 minutos.

Poder de Arranque: 630 amperios.

Si conectamos dos de estas baterías en paralelo, tenemos como resultante un arreglo de las siguientes características:

Voltaje: 12V

Capacidad: $88 + 88 = 176$ A-h

Reserva de Capacidad: $155 + 155 = 310$ minutos.

Poder de Arranque: $630 + 630 = 1260$ amperios.

Para aplicaciones de tipo estacionario, si con una batería tenemos una autonomía de 1 hora, con dos baterías en paralelo y bajo las mismas condiciones de servicio, podemos doblar el tiempo de autonomía. Cuando estas dos baterías en paralelo se conectan a un cargador y leemos en el amperímetro del cargador una corriente de carga digamos de 10 amperios, entonces cada batería está recibiendo 5 amperios.

* Las condiciones para conectar dos baterías en paralelo son:

- Baterías de la misma "edad".
- Baterías de la misma capacidad.
- Por su puesto baterías del mismo voltaje.

* Recomendaciones a seguir cuando se trata del conexionado de baterías:

- Se deben interconectar baterías del mismo voltaje y la misma capacidad.
- No deben mezclarse baterías nuevas, con baterías usadas.
- Previo al conexionado, verificar el estado de carga de cada batería.

4.1.7.- BATERIAS A UTILIZAR

Las baterías que se utilizarán en el proyecto serán dos baterías en serie de plomo-ácido de 12 Voltios a 7 Amperios/horas, como se muestra en FIG. 11.



Batería de 12V/7AH

FIG. 24

4.2.- DISEÑO DEL CARGADOR DE BATERIA

El cargador de baterías está compuesto por la etapa de rectificación conformada por un puente rectificador de 8 Amperios y su respectivo filtro, seguido de la etapa de regulación y estabilización de voltaje DC, esa función la cumple el LM338K un potenciómetro y una resistencia, la última etapa está compuesta por un indicador led rojo que será el encargado de apagarse cuando la batería esté totalmente cargada, además de las resistencias de potencia que cumplen con la función de limitar la corriente con la que se cargará la batería, estas pueden ser intercambiadas por otras, para así poder decidir con cuantos amperios/horas las baterías se cargarán.

Listado de materiales:

- Transformador 120V/24V 5 Amperios
- Puente rectificador 5 Amperios
- Capacitor electrolítico 4700uf 35V
- LM338K con su respectivo disipador
- Resistencia 2.2k Ω
- Resistencia 200 Ω
- Resistencia 1k Ω
- Capacitor electrolítico 370uf 35V
- Capacitor cerámico 10nf
- 4 diodos rectificadores de propósito general 1N4007
- Potenciómetro 5k Ω
- 2 diodos leds indicadores
- 1 BC557A
- 1 panel amperimétrico tipo galvanómetro 5Amperios DC
- 3 Resistencias de 10 Ω a 10 W o las resistencias que se elijan de acuerdo al ritmo de carga



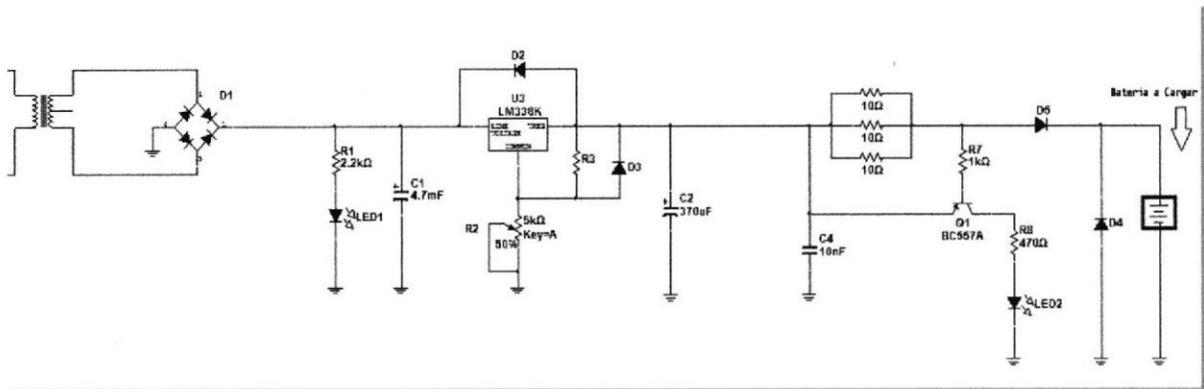
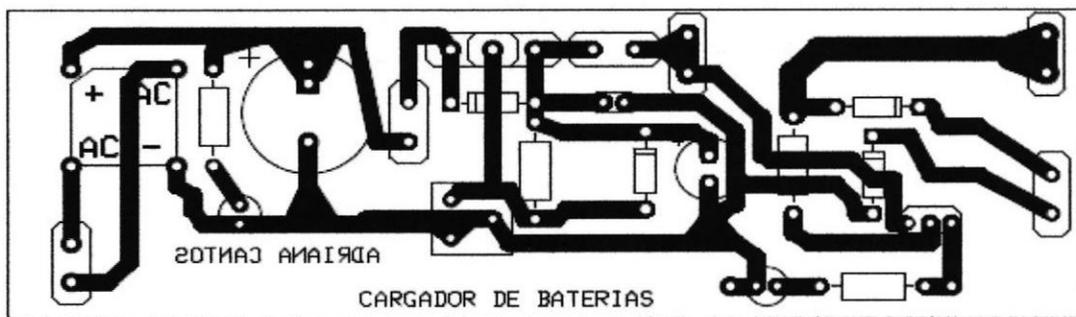


Diagrama Esquemático de cargador de baterías
FIG. 25

A continuación se muestra el diseño PBC del cargador:



Diseño PBC cargador de batería.
FIG. 26

Instalación final y presentación del cargador:

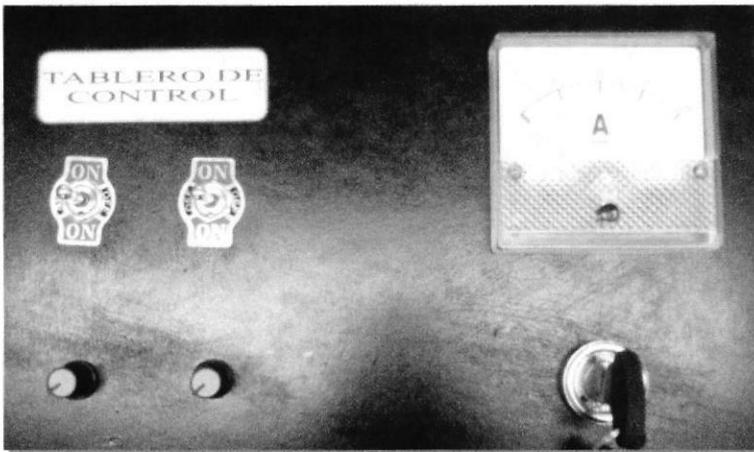


Cargador de baterías Instalado
FIG. 27

CAPITULO V

5.1.- PANEL DE CONTROL

Como se había mencionado en los objetivos del proyecto el control de cada motor debía ser independiente, es por ello que el panel diseñado cubre estas necesidades, dándole total independencia de un motor a otro. Como vemos a continuación el tablero consta de un amperímetro tipo galvanómetro que indica cuanta corriente está consumiendo el sistema en su totalidad (ambos motores) un ON/OFF general y los controles independientes de regulación de velocidad y sentido de giro de cada motor.

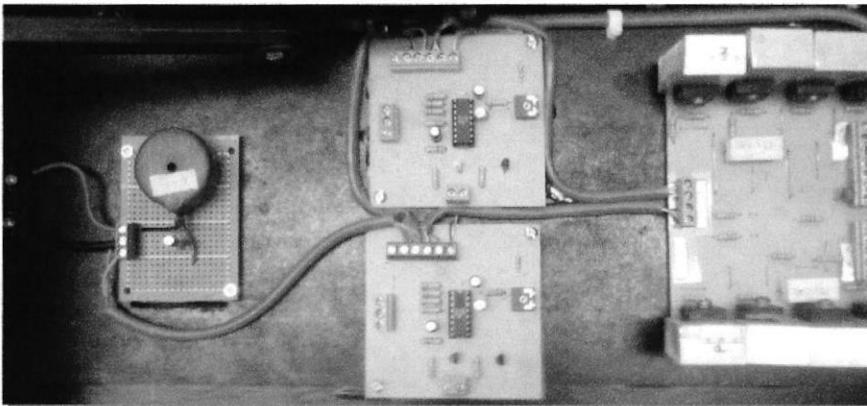


Tablero de control

FIG. 28

5.2.- INSTALACIÓN DE TODO EL SISTEMA

Lo que resta por hacer es la instalación e implementación de cada una de las tarjetas en el vehículo.



Tarjetas de Control y Potencia Interconectadas

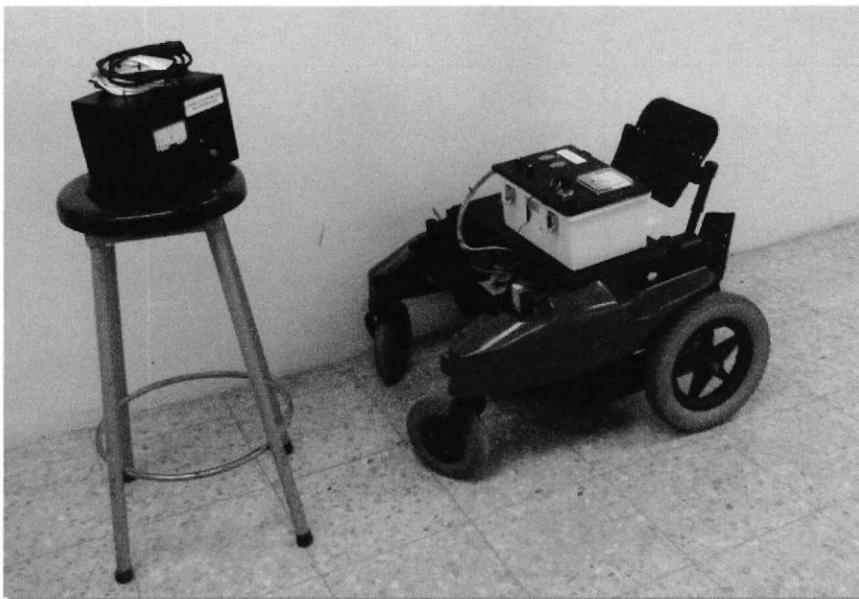
FIG. 29

A continuación se muestran algunas imágenes de la instalación final del proyecto:



Trabajo final: tarjetas montadas en el interior del vehículo

FIG. 30



Cargador de Baterías y Vehículo Eléctrico

FIG. 31

CONCLUSIONES

1. Al finalizar el proyecto la conclusión principal es haber logrado el objetivo de diseñar e implementar el circuito de que permite controlar los motores de vehículo eléctrico de forma independiente utilizando componentes que se encuentran en el mercado local y optimizando los recursos ya existentes.
2. El proyecto también permitió poner en práctica todo lo aprendido en el proceso de formación para la obtención de título además de aplicar una formación básica que es el "auto aprendizaje" para así obtener los mejores resultados en diseño.
3. Se logró sintetizar el diseño de la placa control con un solo circuito integrado (TL494), lo que permitió reducir el número de componentes que participan en la misma de gran manera, abaratando considerablemente los costos del proyecto.
4. Se dejó las puertas abiertas para la continuación y desarrollo del proyecto y el estudio del mismo, lo que favorecerá en gran número a los nuevos estudiantes de electrónica de la unidad.

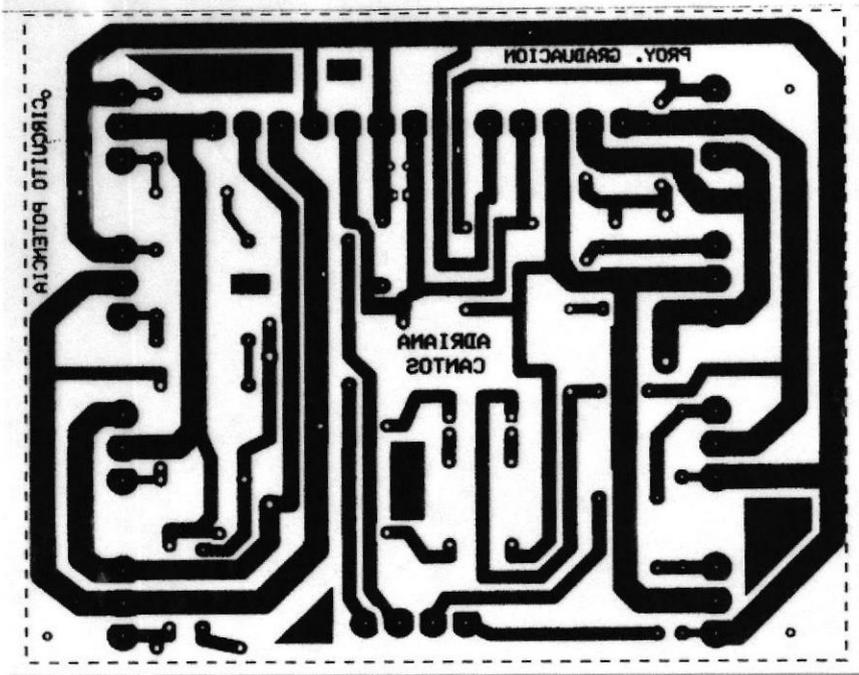
RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia que el proyecto sea desarrollado en clases futuras de materias tales como Electrónica de Potencia, Robótica o Microcontroladores, lo que permitirá el mejor funcionamiento de vehículo convirtiéndolo así en un robot que cumpla una función específica que dependerá del programa desarrollado por los nuevos estudiantes.
2. Se recomienda también que las baterías del vehículo sean utilizadas con regularidad, lo que permitirá que las mismas posean una vida útil más prolongada, además de cargarlas adecuadamente.
3. Por último es conveniente que se monitoree constantemente el funcionamiento del sistema que se lo continúe desarrollando y que se incentive al estudiante a que se auto eduque haciendo pruebas y prácticas de laboratorio utilizando el circuito del vehículo aquí implementado.

ANEXOS

Anexo 1.-

Circuito impreso de tarjeta de potencia sin referencia de componentes:

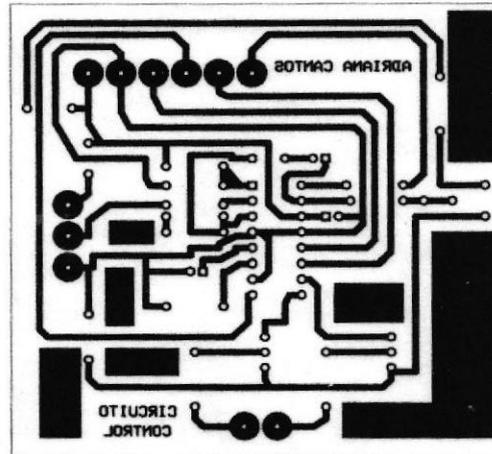


Pistas de placa de Potencia en Acetato

FIG. 32

Anexo 2.-

Circuito impreso de tarjeta de control sin referencia de componentes:

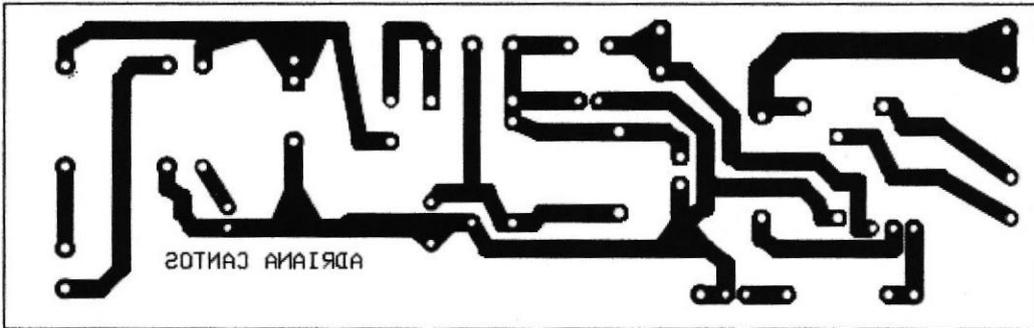


Pistas de placa de Control en Acetato

FIG. 33

Anexo 3.-

Circuito impreso de tarjeta de cargador de baterías sin referencia de componentes:



Pistas de placa de Cargador de Baterías en Acetato

FIG. 34

BIBLIOGRAFÍA

Estructura y características técnicas de los motores:

Invacare Storm Series-Ranger 2 RWD Owner's Manual

Conceptos y principios de funcionamiento de Puente H:

<http://www.neoteo.com/puente-h-con-mosfet-para-motores-cc.neo>

Características técnicas de transistores complementarios de CANAL N Y CANAL P:

<http://www.nteinc.com/specs/2300to2399/pdf/nte2376.pdf>

<http://www.oup.com/us/pdf/microcircuits/students/mos/IRFP9240.pdf>

Conceptos de Modulación por Ancho de Pulso:

http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos

Características técnicas del TL494:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tl494.pdf>

Conceptos y principios de las baterías y su manera correcta de carga:

<http://energicentro.blogspot.com/2007/08/batera-cargada-tanto-para-aplicaciones.html>

<http://energicentro.blogspot.com/2007/08/el-amperaje-de-una-batera-la-cantidad.html>

<http://bateriasyenergia.blogspot.com/>