

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



TEC

**Diseño e implementación del sistema de control digital y de potencia para una
motocicleta eléctrica**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Jorge Chavarría Morera

Cartago, Noviembre del 2006

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



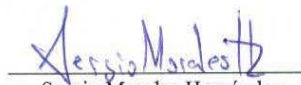
Gabriela Ortiz León

Profesor lector



Juan Carlos Jiménez Robles

Profesor lector



Sergio Morales Hernández

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 27-11-2006

Declaración de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 27-11-2006



Jorge Chavarría Morera

Céd: 2-549-529

Resumen

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), a través del Departamento de Transporte Eléctrico incentiva el uso de los vehículos eléctricos para aprovechar al máximo los recursos energéticos existentes y al mismo tiempo propone una respuesta alternativa para luchar contra la contaminación ambiental de la ciudad capital. Cuenta con una serie de vehículos eléctricos utilizados en las labores diarias de la CNFL como automóviles, motocicletas, bicicletas y autobuses.

Esta tecnología es reciente, por lo que los fabricantes no facilitan mucha información. Es así que surge la necesidad de investigar, diseñar y desarrollar sistemas que puedan sustituir las partes dañadas de estos vehículos, cumpliendo con el funcionamiento adecuado, con sistemas más baratos y desarrollados en el país.

Es por eso que se diseñó e implementó un sistema de control de potencia para un motor de corriente directa de una motocicleta eléctrica, con el cual se controla la velocidad y se chequean una serie de variables para la seguridad del usuario como de la motocicleta.

El sistema se separa en diferentes etapas de potencia, así como un módulo de control digital, mediante un microcontrolador, con lo que se logra monitorear las variables que están bajo observación.

La importancia radica en que la empresa siga impulsando el uso de esta tecnología para que colabore en el desarrollo del país.

Palabras claves: motocicleta eléctrica; control digital; control de potencia; microcontrolador; control de velocidad.

Summary

The Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL by its acronym in Spanish) through the Electrical Transportation Department tries to use electrical vehicles for taking the maximum advantage from the current power resources and at the same time it proposes an alternative answer to fight against the environmental contamination of the capital city. It is equipped with several electrical vehicles which are used in the CNFL's daily labors like automobiles, motorcycles, bicycles and buses.

Due to this is a recent technology, manufacturers do not facilitate much information about it. So that is why we need to investigate, design and develop systems that can replace the damaged parts of these vehicles arises, doing an appropriate vehicle operation with cheaper systems made in the country.

For this reason it was designed and implemented a power control system for a direct current motor of an electrical motorcycle which control the speed and another variables for the user and motorcycle security.

The system is separated in different phases of power, something like a digital module using a microcontroller, with this, the variables that are under observation are checked.

The importance lies in the company continues implementing the use of this technology so as to collaborate with our country's development.

Key words: electrical motorcycle; digital control; power control; microcontroller; speed control.

Dedicatoria

A mi Madre, a mi Padre,
mis hermanas y mi sobrino Saúl.

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por el apoyo brindado y a todos los compañeros y compañeras que nos encontramos en el camino.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	12
1.1 Problema existente e importancia de su solución	12
Capítulo 2: Meta y Objetivos	14
2.1 Meta.....	14
2.2 Objetivo general.....	14
2.3 Objetivos específicos.....	14
Capítulo 3: Descripción detallada de la solución.....	15
3.1 Descripción del hardware	15
3.2 Descripción del software.....	24
Capítulo 4: Análisis de Resultados.....	27
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	42
5.1 Conclusiones	42
5.2 Recomendaciones	43
Bibliografía	44
Apéndices	46
Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología	46
Apéndice A.2 Información sobre la institución	48
A.2.1 Descripción de la empresa	48
A.2.2 Descripción del departamento donde se realizará el proyecto	48
Apéndice A.3 Lista de materiales utilizados.	49
Apéndice A.4 Cálculos matemático de diseño.....	50
Apéndice A.5 Marco Teórico	51
A.5.1 Descripción del sistema.....	51
A.5.2 Antecedentes Bibliográficos	53
A.5.3 Descripción de los principales principios físicos, de software y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.	54
Anexos	68
Anexo B.1 Especificaciones de la motocicleta eléctrica	68

Anexo B.2	Especificaciones del microcontrolador PIC 16F877	70
Anexo B.3	Especificaciones del transistor MOSFET IRFZ40.	71
Anexo B.4	Especificaciones del regulador de voltaje LM317.	72
Anexo B.5	Especificaciones del regulador de voltaje LM338.	73
Anexo B.6	Especificaciones del LM324.....	74
Anexo B.7	Especificaciones del sensor de temperatura LM35.....	75
Anexo B.8	Especificaciones del optoaislador.	76
Anexo B.9	Especificaciones del diodo 12A.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1	Diagrama de bloques general de la solución.....	15
Figura 3. 2	Convertidores cd a cd de 24/12 V y 12/5 V.....	16
Figura 3. 3	Circuito eléctrico de la sección auxiliar de la motocicleta.....	16
Figura 3. 4	Circuito de potencia que controla el giro y velocidad del motor.	19
Figura 3. 5	Circuito Driver2 para activar MOSFET Q1 y Q2.	20
Figura 3. 6	Circuito para manejar el voltaje de compuerta de los transistores Q3 y Q4.....	21
Figura 3. 7	Sensores implementados en el sistema.....	22
Figura 3. 8	Entradas del microcontrolador PIC16F877.	23
Figura 3. 9	Diagrama de flujo del programa del sistema de control digital.	26
Figura 4. 1	Nivel de tensión del banco de baterías.	27
Figura 4. 2	Nivel de tensión del convertidor cd-cd 24V/12V.....	28
Figura 4. 3	Nivel de tensión del convertidor cd-cd 12V/5V.....	29
Figura 4. 4	Valor de la tensión de compuerta de los MOSFET.....	30
Figura 4. 5	Modulación del ancho de pulso al 18% del ciclo de trabajo.	31
Figura 4. 6	Modulación del ancho de pulso al 54% del ciclo de trabajo.	31
Figura 4. 7	Modulación del ancho de pulso al 100% del ciclo de trabajo.	32
Figura 4. 8	Circuito PCB del convertidor cd-cd 24/12 y 12/5.....	33
Figura 4. 9	Convertidor cd-cd de 24V/12V y de 12V/5V.....	34
Figura 4. 10	Circuito PCB del sistema de control digital.	34
Figura 4. 11	Sistema de control digital.	35
Figura 4. 12	Circuito PCB de los circuitos acopladores de señal.....	36
Figura 4. 13	Placa impresa de los circuitos Drivers.	37
Figura 4. 14	Circuito PCB de la placa de potencia.....	38
Figura 4. 15	Placa impresa del circuito de potencia.....	38
Figura 4. 16	Diseño y dimensiones de las cajas para las placas impresas.....	40

Figura 4. 17	Diseño y dimensiones de las cajas para las placas impresas.....	41
Figura A.5. 1	Diagrama de bloques del sistema que tenía la motocicleta.....	51
Figura A.5. 2	Circuito equivalente de un motor cd de excitación independiente.	55
Figura A.5. 3	Convertidor de cd-cd de transistor.....	58
Figura A.5. 4	Formas de onda del voltaje del convertidor.	58
Figura A.5. 5	Elementos de reguladores en modo de conmutación.....	59
Figura A.5. 6	Regulador reductor con iL continua.	61
Figura A.5. 7	Curvas de resistencia – temperatura de los termistores PTC y NTC.....	64
Figura A.5. 8	Esquema de un termopar.	65
Figura A.5. 9	Circuito para medir el voltaje.	66
Figura A.5. 10	Circuito para revisar la corriente.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1	Detalle de la numeración de la figura 3.3.	17
Tabla A.3. 1	Materiales utilizados en el controlador digital y de potencia.....	49

Capítulo 1: Introducción

En esta sección se presentará una descripción del problema encontrado en el Departamento de Transporte Eléctrico de la Compañía Nacional De Fuerza y Luz (CNFL).

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Uno de los problemas en Costa Rica así como a nivel mundial es la escasez de petróleo, materia prima para la elaboración de los combustibles que usan la mayoría de la flota vehicular del país. Esto ha generado varias alzas en los precios de los combustibles, debido al aumento de los precios de los barriles de petróleo en el mundo, influyendo en el costo de la vida en el país.

La continua alza en los precios del petróleo no es el único problema, otro igual o más grave aún que el anterior es la contaminación ambiental que genera el uso de gasolina o diesel. Los vehículos que utilizan estos combustibles liberan gases que son dañinos para la salud de las personas.

Por este motivo la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) intenta, igual que en otros países del mundo, incentivar el uso de vehículos eléctricos con los cuales se eliminaría los problemas de contaminación, se alivianaría los gastos económicos para las personas y el país, además de la independencia internacional ya que la energía utilizada en los vehículos eléctricos es un insumo producido en el país.

En la actualidad CNFL cuenta con automóviles, autobuses, motocicletas y bicicletas eléctricas, con lo que la institución colabora en la estrategia de desarrollo del país, implementando y mejorando la tecnología de vehículos eléctricos.

Entre los vehículos con los que cuenta la institución está una motocicleta modelo DZ4009L de Suncom construida con partes elaboradas en diferentes países como Alemania, Taiwán y los Estados Unidos de Norteamérica (ver Anexo B.1), la cual sufrió una avería en el controlador y no se encuentra operable en estos momentos.

Debido a lo anterior y a que no hay información disponible sobre el controlador dañado, se diseñó un sistema de control y potencia mediante el cual se volvió a poner en funcionamiento la motocicleta, disminuyendo los costos de fabricación y mantenimiento.

La importancia de este proyecto es que la institución sigue incentivando el uso de vehículos eléctricos en el país, mostrando a la población los beneficios que presenta esta tecnología y así vencer el desinterés y la desmotivación de las personas hacia estos vehículos, debido a los costos de reparación y mantenimiento que genera estar adquiriendo los repuestos, como los controladores, desde el extranjero.

Los principales beneficios para la institución con la solución de este proyecto son:

- Bajo costo de fabricación y mantenimiento, debido a que es implementado en la institución.
- Fortalecimiento a las políticas de apoyo a los vehículos eléctricos.
- Fortalecimiento a la promoción de los programas para incentivar el uso de vehículos eléctricos.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

La meta del proyecto es el diseño e implementación del sistema de control de potencia de la motocicleta eléctrica, para que la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) pueda seguir incentivando y contribuyendo al desarrollo del transporte eléctrico en Costa Rica.

2.2 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control de potencia, con dispositivos de seguridad para una motocicleta eléctrica de motor de corriente directa de imán permanente.

2.3 Objetivos específicos

1. Definir las características de funcionamiento de la motocicleta eléctrica.
2. Implementar los circuitos convertidores de CD – CD de 24V/12V y 12V/5V.
3. Implementar el circuito del sistema de control de potencia.
4. Generar el algoritmo del sistema de control digital.
5. Implementar los dispositivos de seguridad requeridos y conexos.

Capítulo 3: Descripción detallada de la solución

3.1 Descripción del hardware

El desarrollo del sistema requirió la implementación de dos convertidores de corriente directa a corriente directa (CD-CD), como se presenta en la figura 3.1. El primero de 24V a 12V, para el sistema auxiliar compuesto por las luces delanteras, trasera, de freno, las direccionales, la bocina y para la detección de la llave. El segundo, un convertidor CD-CD de 12V a 5V para la alimentación del microcontrolador correspondiente al circuito digital TTL, el diagrama se presenta en la figura 3.2.

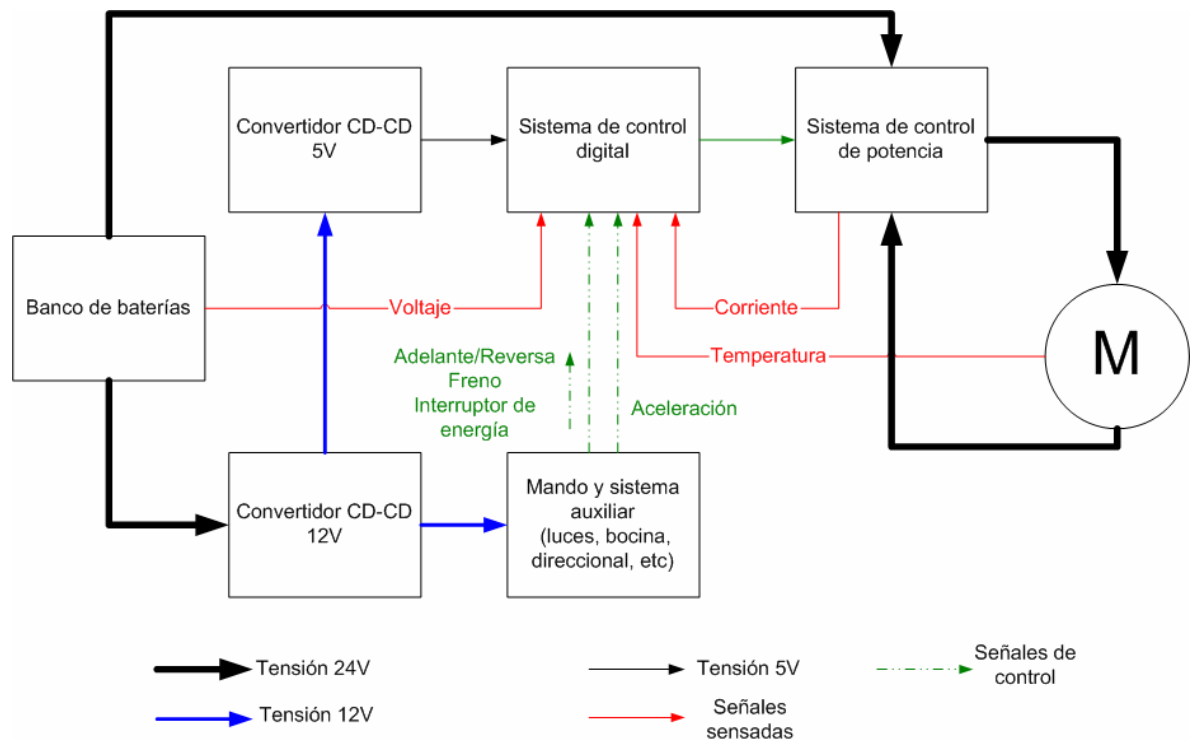


Figura 3. 1 Diagrama de bloques general de la solución.

A partir del banco de batería de 24V se regula la tensión para obtener los 12V mediante un regulador ajustable y un potenciómetro. Lo anterior se utiliza para lograr calibrar en forma óptima la tensión. Para cumplir con los requerimientos del sistema se utiliza una configuración de 2 reguladores LM338K en paralelo, para lograr no solo

los 12V, sino también suministrarle al sistema auxiliar la corriente que consume, menor a los 10 A que entregan los reguladores.

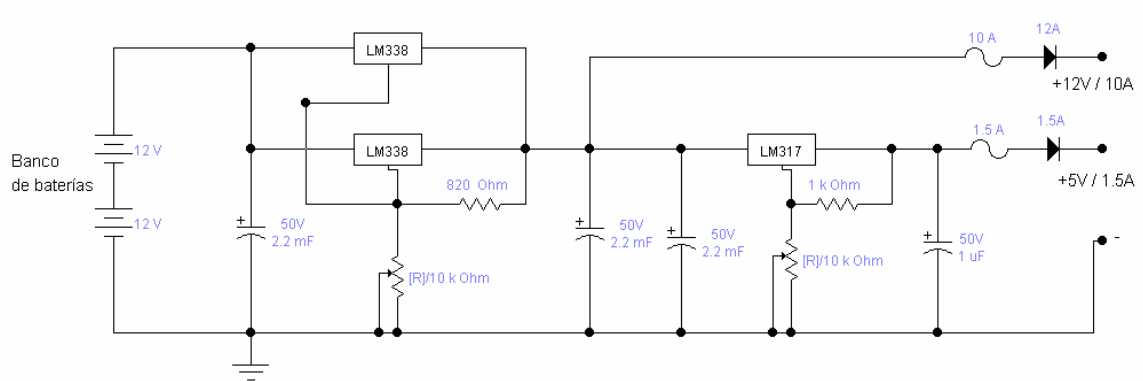


Figura 3.2 Convertidores cd a cd de 24/12 V y 12/5 V.

A partir de éste convertidor cd-cd, se alimenta el sistema auxiliar, pcuyo diagrama eléctrico se muestra en la figura 3.3 y se describe en la tabla 3.1.

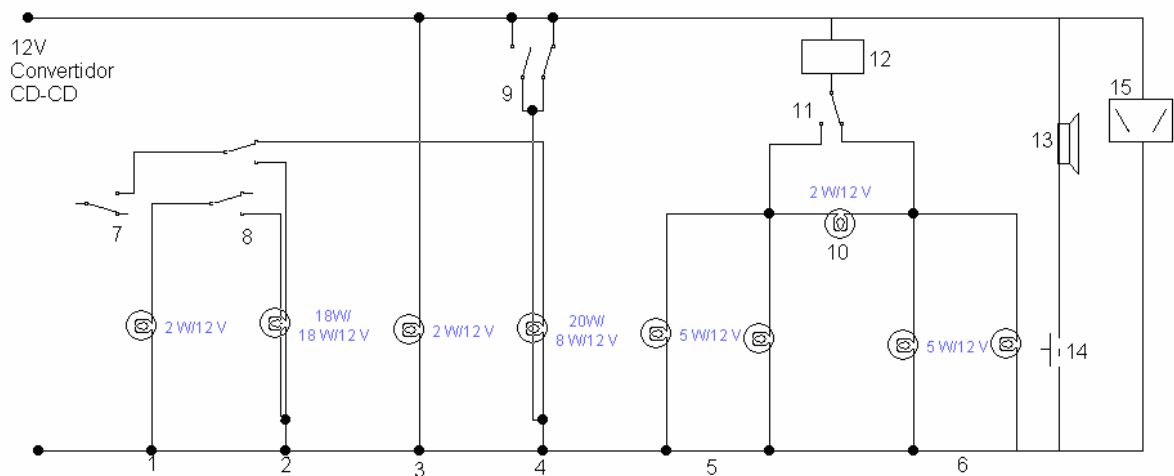


Figura 3.3 Circuito eléctrico de la sección auxiliar de la motocicleta.¹

¹ Tomado de [7].

Tabla 3.1 Detalle de la numeración de la figura 3.3.²

Número	Sección
1	Luces de noche
2	Luz delantera
3	ON para ignición
4	Luz trasera / de freno
5	Señal de giro izquierdo
6	Señal de giro derecho
7	Interruptor de iluminación
8	Interruptor de luces altas / bajas
9	Interruptor de protección de corte de energía
10	Alerta de direccional
11	Interruptor de direccional
12	Intermitente y timbre
13	Bocina
14	Botón de la bocina
15	Medidor de voltaje

El circuito de control de potencia, es el que maneja la dirección del motor así como el medio por el cual el microcontrolador va a variar la velocidad del motor haciendo uso de la modulación por ancho de pulso o PWM, que está implementado internamente en el microcontrolador como los módulos CCP1 y CCP2. El circuito se presenta en la figura 3.4.

El motor entra en funcionamiento hacia adelante o funcionamiento normal cuando el relé 1 y el banco de transistores Q4 se activan desde el microcontrolador. El microcontrolador activa un transistor MOSFET (Q1), para que la bobina o circuito de control del relé, se energice y así el contacto entre en conducción, ya que es un contacto normalmente abierto. El control de la velocidad se realiza por medio de la modulación de ancho de pulso (PWM) y del banco de transistores Q4. Para el

² Tomado de [7].

funcionamiento hacia atrás se aplica el mismo proceso, solo que es el relé 2, por medio del transistor MOSFET (Q2) y el banco de transistores Q3 los que permiten definir la dirección y controlar la velocidad. Lo anterior se da siempre y cuando el voltaje de la batería este en el rango de trabajo, así como la temperatura de motor.

La velocidad del motor se controla por medio de modulación de ancho de pulso (PWM) y un banco de transistores MOSFET entre los cuales se utiliza un amplificador operacional no inversor de ganancia 2 para aislar la salida del PWM del microcontrolador y amplificar la tensión, abarcando el rango de voltaje de activación del MOSFET de la tensión compuerta - fuente V_{GS} .

Cuando se hace uso del freno, se genera un evento de interrupción mediante el cual se le quita la alimentación al motor y se activan los relés 1 y 2, para que la corriente circule por medio de ellos. En ese momento el diodo de potencia de 70A se polariza en forma inversa por lo que no permite el paso de corriente, protegiendo el banco de baterías.

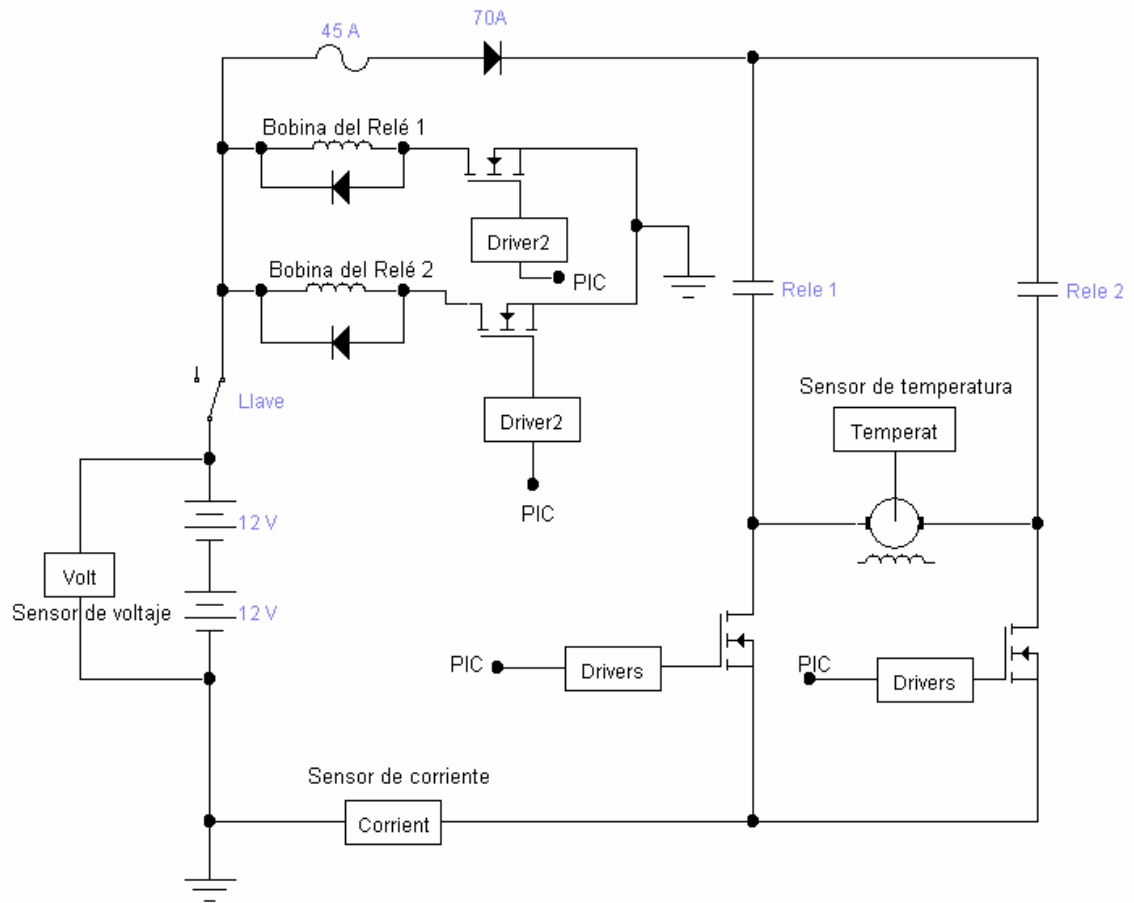


Figura 3. 4 Circuito de potencia que controla el giro y velocidad del motor.

Los transistores MOSFET Q1 y Q2 que activan los relés 1 y 2 respectivamente, se ponen en conducción haciendo uso de un circuito que genera la señal de disparo, llamado Driver2, que alimenta la tensión entre la compuerta y la fuente del transistor, como se presenta en la figura 3.5. El voltaje de compuerta – fuente V_{GS} máximo del transistor es de $\pm 20V$, como se aprecia el anexo B3. Pero con una tensión superior o igual a 10V se asegura que se active en forma satisfactoria, por lo que se utiliza 16V (ecuación 3.1) para activar el transistor conectando también un diodo Zener de 20V para proteger la compuerta del transistor. Estos transistores se activan desde el microcontrolador, aislándolo con un seguidor y un optoacoplador para obtener el voltaje necesario para activar los MOSFET a partir del voltaje del microcontrolador (TTL).

$$V_{GS} = \frac{24 * 20k\Omega}{30k\Omega} = 16V \quad (3.1)$$

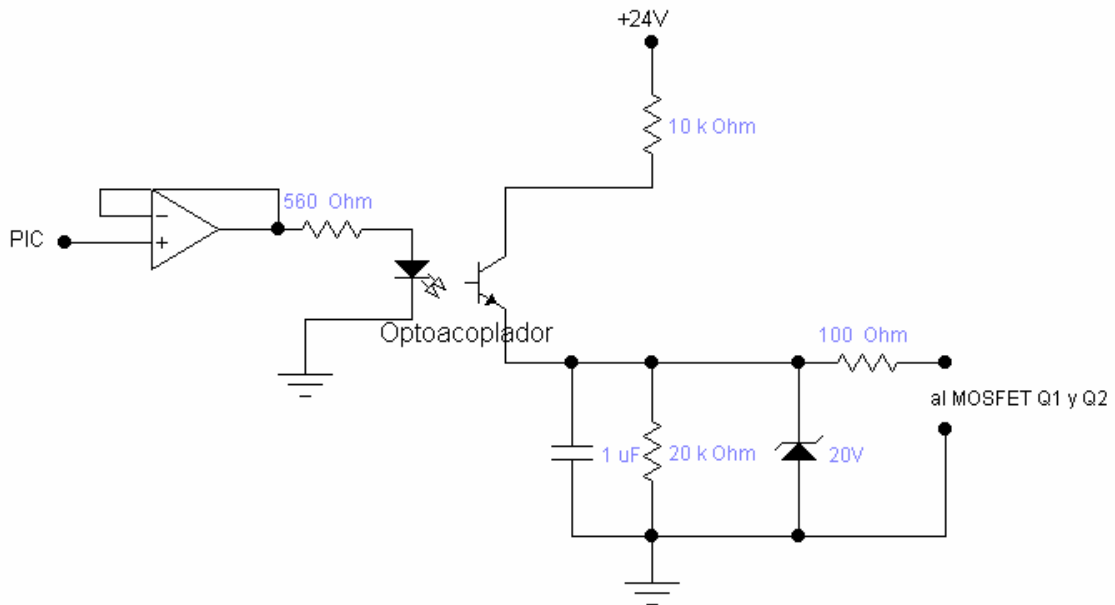


Figura 3. 5 Circuito Driver2 para activar MOSFET Q1 y Q2.

Los bancos de transistores Q3 y Q4 se activan usando el circuito de la figura 3.6, llamado Drivers en la figura 3.4. La señal del PWM del microcontrolador pasa por un amplificador no inversor de ganancia 2, que aísla la salida del microcontrolador y permite la polarización de compuerta-fuente del transistor MOSFET, permitiendo el control de la corriente de drenaje. Se hace uso de diodos Zener de 20V para proteger las compuertas de los MOSFET.

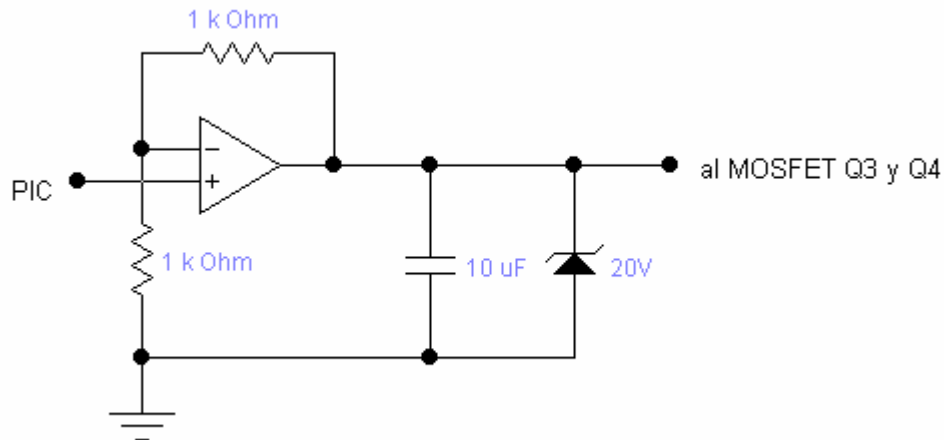


Figura 3. 6 Circuito para manejar el voltaje de compuerta de los transistores Q3 y Q4.

En la figura 3.7 se muestran los sensores que se implementaron para la verificación de tres variables específicas, el voltaje de la batería, la corriente del motor y la temperatura del motor.

El voltaje de la batería, es un divisor de tensión con el que se reduce el voltaje a 5V o nivel TTL (ver la ecuación 3.2). La señal se estabiliza con un capacitor y se aísla por medio de un seguidor de tensión para que sirva de entrada a uno de los canales del convertidor analógico – digital (ADC) del PIC16F877A como se presenta en la figura 3.7(a).

$$V = \frac{26 * 4.8k\Omega}{24.8k\Omega} = 5.03V \quad (3.2)$$

En la figura 3.7(b) se detalla el sensor de corriente, cuya medición se realiza en forma indirecta, tomando el dato del voltaje que origina la corriente del sistema que pasa por un arreglo de tres resistencias de 0.047Ω en paralelo. Se hace uso de la Ley de Ohm que se muestra en la ecuación 3.3.

$$V = I * R \quad (3.3)$$

Como la resistencia equivalente de este arreglo es muy pequeña, el valor del voltaje va a ser pequeño, por lo que se amplifica con una ganancia de aproximadamente 6 (ver ecuación 3.4) para adecuarlo al rango máximo de 5V de la ADC del microcontrolador. El cálculo se muestra en el apéndice A.4.

$$\frac{R_f}{R_i} + 1 = \frac{1000000}{180000} + 1 = 6.55 \quad (3.4)$$

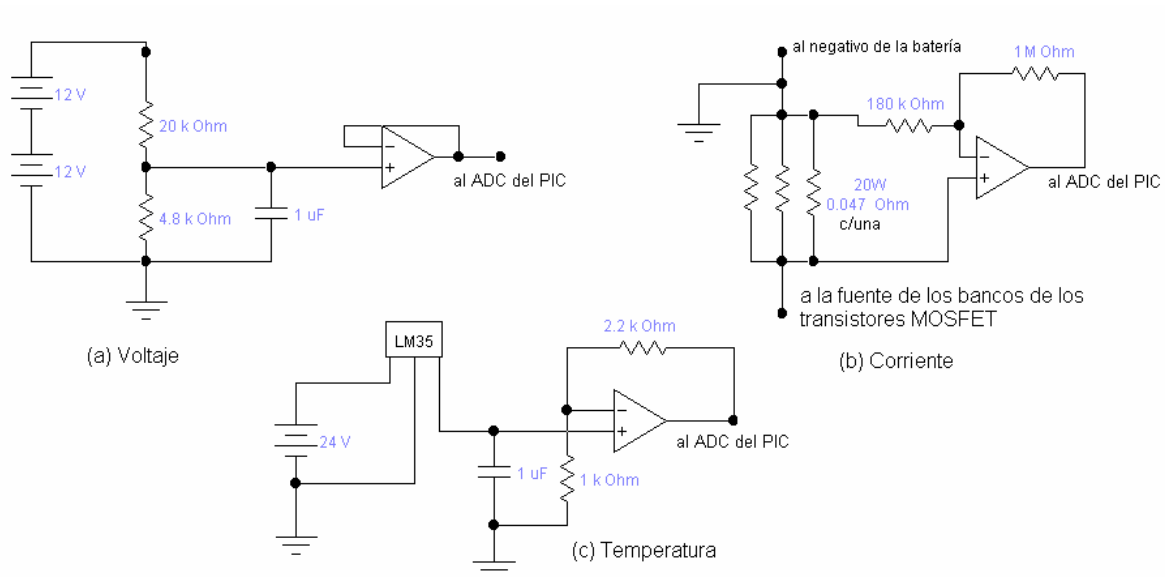


Figura 3. 7 Sensores implementados en el sistema.

El LM35DT es un sensor de temperatura lineal, el cual solo ocupa alimentación y tierra. El rango al que se puede alimentar va de 3 a 30V y varía 10mV/°C. El rango de trabajo es de 0 a 150°C, por lo que el voltaje máximo es de 1500mV. Es por lo anterior que se utiliza un amplificador no inversor de ganancia 3 para ajustarlo al nivel TTL, cuyo cálculo es igual al de la ecuación 3.4; el circuito se puede observar en la figura 3.7(c).

A partir del sistema de mando de la motocicleta, se activa todo el sistema por medio de la llave o interruptor principal de energía. Este interruptor se alimenta de 5V procedentes del convertidor cd-cd de 12V/5V, generando la señal de encendido (ON)

que llega al pin RD7 del microcontrolador. De la misma forma, las señales de adelante y atrás entran al microcontrolador a los pines RD6 y RD5 respectivamente, cuando el usuario lo requiera. El diagrama se observa en la figura 3.8.

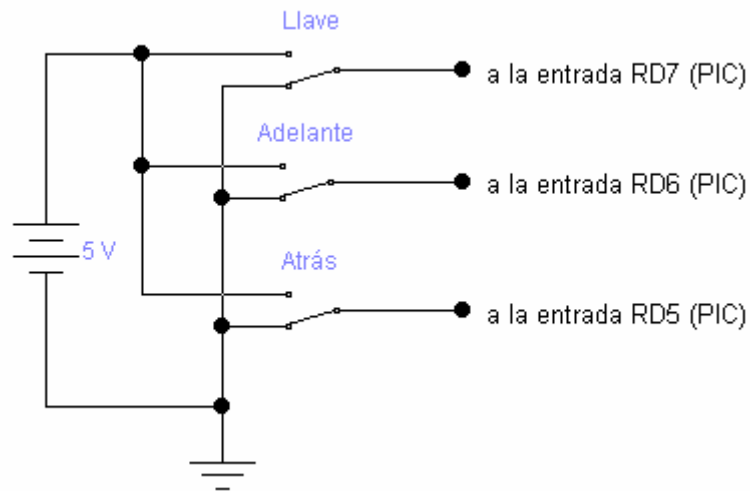


Figura 3. 8 Entradas del microcontrolador PIC16F877.

Las protecciones del sistema se calcularon usando las hojas de datos que proporciona el fabricante, haciendo uso de los valores de la temperatura del encapsulado, como también la temperatura de juntura, así como las resistencias de juntura-encapsulado, juntura-ambiente y encapsulado-disipador, para los disipadores y de las corrientes para los fusibles.

3.2 Descripción del software

En lo correspondiente al software, se utilizó un microcontrolador PIC16F877A de Microchip, cuyo código se generó con el lenguaje PICC, que es el lenguaje C para microcontroladores y se programó con el programa ICprog 4.0.

La figura 3.9 presenta el diagrama de bloques de la programación principal del microcontrolador PIC16F877A. En el cual se puede apreciar que cuando el interruptor principal de energía esté activo, el sistema inicia el proceso. Obtiene los datos de los canales 0, 1 y 2 del convertidor analógico – digital (ADC) que trae incorporado el microcontrolador, para verificar que el voltaje de la batería, la corriente y la temperatura del motor respectivamente, se encuentren en los rangos permitidos y seguros para el sistema y el usuario.

De esa manera el voltaje de la batería debe estar entre los 22V y 24V. Cuando presenten el valor de 22V, esto significa que están en el límite de descarga y se enciende la luz en el tablero de voltaje bajo por medio del pin RD3. Si no está en el rango y más bien es menor de 22V entonces se enciende el tablero la luz de voltaje muy bajo (RD2), para que el usuario proceda a cargar las baterías. De la misma forma con la temperatura, si ésta excede el rango, se activa por medio del pin RD1 del microcontrolador, una luz que indica la situación. Se chequea la corriente que consume el motor para protección del mismo. Lo anterior se hace para advertir al usuario e indicarle que debe revisar la motocicleta, ya que el sistema se detendría si está fuera de los rangos de trabajo.

Después se toma el dato del canal 3 del ADC, que corresponde a la aceleración de la motocicleta, se revisa el sentido del giro, el cual si es para adelante, activa el relé 1 por medio del transistor Q1 (Pin RB1) que energiza la bobina del relé, también Q4 que esta conformado por un banco de cuatro MOSFET en paralelo, para alivianar las cargas de cada MOSFET, los cuales son manejados

por medio del PWM1 del microcontrolador. Si el sentido de giro es para atrás, se activa el relé 2 por medio de Q2 (Pin RB2) que energiza la bobina. De la misma manera se activa Q3, que es también un banco de cuatro MOSFET en paralelo y controlados por el PWM2.

Cuando se hace uso del freno, se activa la interrupción externa del microcontrolador en la patilla RB0, con lo cual se desactivan todos los transistores que conforman los bancos Q3 y Q4. Se activan Q1 y Q2 para energizar las bobinas de los relés 1 y 2, que permiten la conducción de los contactos para que circule la corriente que queda almacenada en la inductancia del motor o cuando la máquina funcione como generador, para protección del motor.

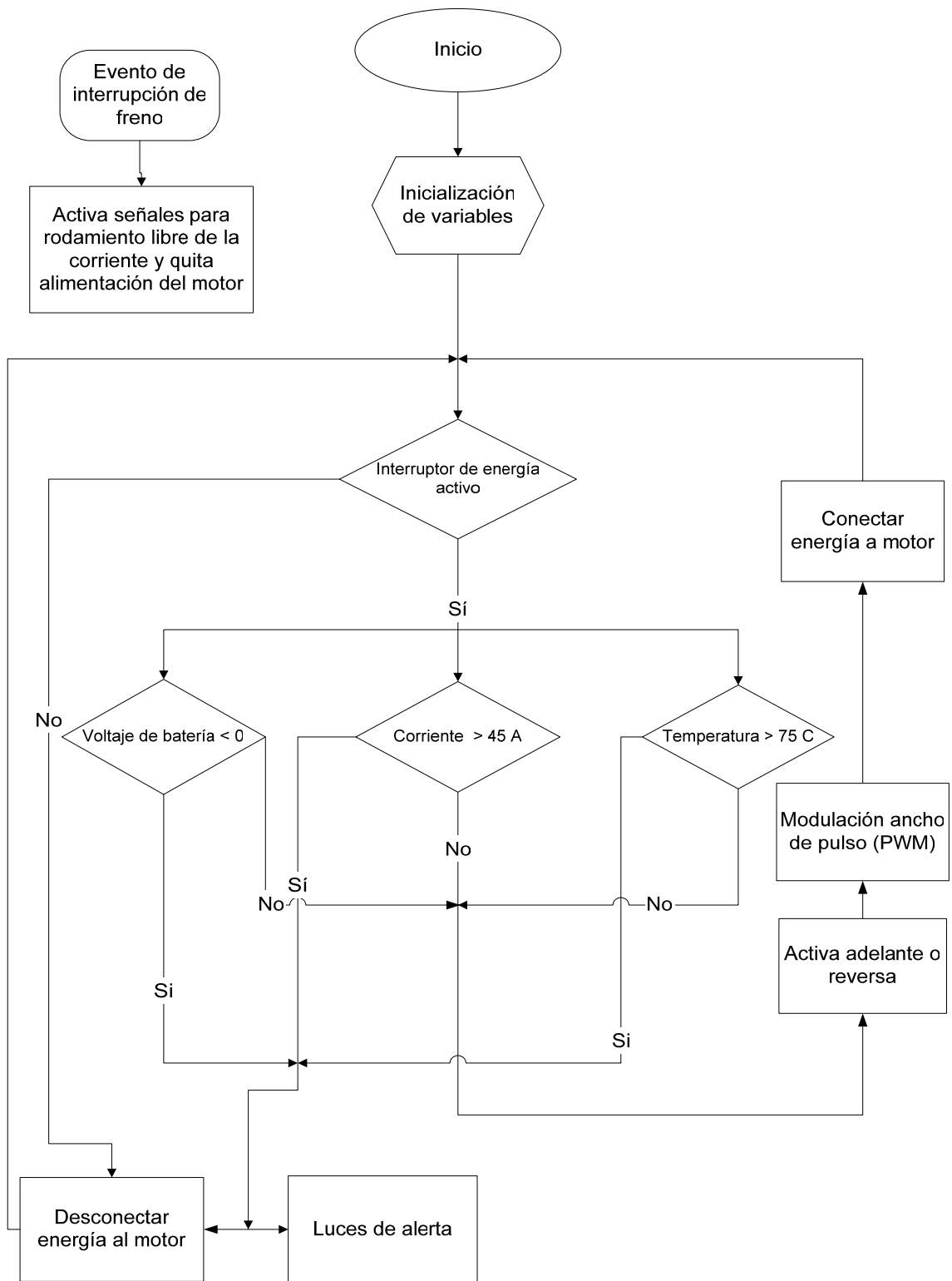


Figura 3. 9 Diagrama de flujo del programa del sistema de control digital.

Capítulo 4: Análisis de Resultados

El resultado más importante que se derivó del desarrollo del sistema de control digital y de potencia ha sido la disminución de costos del controlador en aproximadamente 80% del valor que presentan los controladores en el extranjero. El costo total del sistema fue de ₡ 107 347,28, como se observa en la tabla de A.3.1 ubicada en el apéndice A.3. Este valor comparado con los casi ₡ 500 000,00 que vale un controlador adquirido fuera del país, evidencia un beneficio para la Compañía Nacional de Fuerza y Luz como para el país, bajando el costo de estos sistemas para las motocicletas eléctricas.

El sistema fue elaborado con componentes adquiridos en el país y la fabricación de las placas se realizó en forma artesanal. El sistema se divide en 4 placas como se explicó en la sección anterior.

La figura 4.1 muestra el nivel del banco de baterías de 24V. Esta señal se tomó utilizando un osciloscopio digital marca FLUKE 43B en captura de pantalla y es la tensión que alimenta todo el sistema.

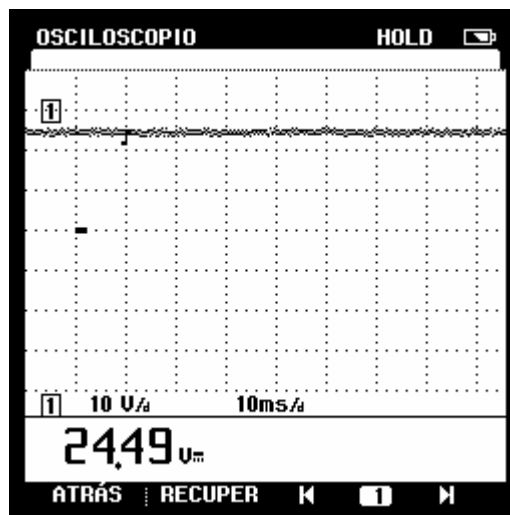


Figura 4. 1 Nivel se tensión del banco de baterías.

Del banco de baterías y a partir del convertidote cd-cd se obtiene 12V con los que se alimenta el sistema auxiliar, por medio del circuito de la figura 3.2. La señal del nivel de los 12V que se obtuvo a partir del osciloscopio digital marca FLUKE 43B que se presenta en la figura 4.2. Este circuito entrega una corriente de 10A, que cubre la demanda del sistema que consume cerca de 7A. El cálculo de ésta corriente se hizo por medio de los valores de potencia y voltaje que aparecen en cada punto del diagrama eléctrico de la figura 3.3, una muestra de estos cálculos se presenta en el punto 1 del apéndice A.4 correspondiente a los cálculos matemáticos de diseño.

La figura 4.3 muestra el nivel de voltaje que alimenta el circuito digital, que se tomó por medio del osciloscopio digital marca FLUKE 43B. Esta señal se obtuvo a partir de los 12V y no directamente de los 24V, para proteger el microcontrolador que maneja lógica TTL de cualquier fluctuación del banco de baterías. Este circuito entrega un máximo de 1.5A con lo que se logra alimentar el microcontrolador y sus entradas que consumen cerca de 1A.

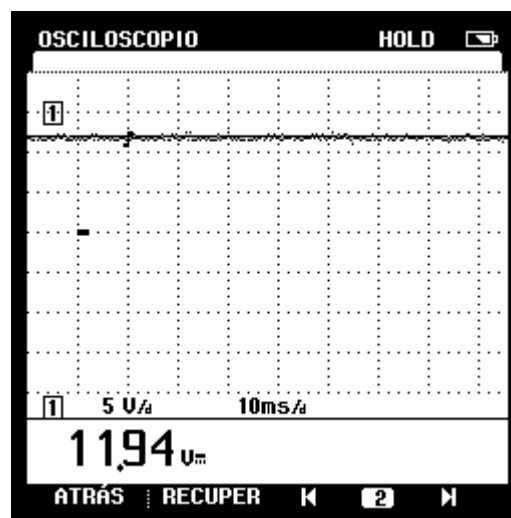


Figura 4. 2 Nivel de tensión del convertidor cd-cd 24V/12V.

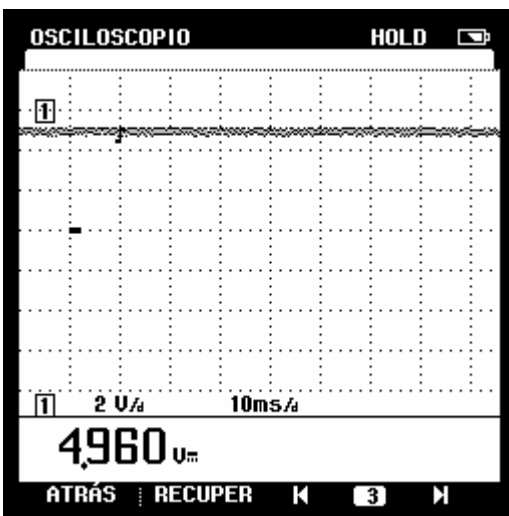


Figura 4. 3 Nivel de tensión del convertidor cd-cd 12V/5V.

Ambos convertidores están protegidos con fusibles y diodos como se muestra en la figura 3.2.

El módulo de control digital es el cerebro del sistema, está conformado por un microcontrolador PIC16F877A, el cual posee convertidor analógico – digital (ADC) y módulos de PWM. Por medio de las entradas del ADC se realiza la verificación de las señales del voltaje de la batería, así como la corriente que consume el motor y la temperatura del mismo.

Cuando esas variables estén en los rangos permitidos, la motocicleta puede entrar en funcionamiento, el cual puede ser hacia delante o también hacia atrás o reversa.

En la figura 4.4 se presenta el nivel de la señal de disparo de las compuertas de los transistores MOSFET Q1 y Q2 que activan los relés 1 y 2 de la figura 3.4, esta gráfica se obtuvo por medio del osciloscopio digital marca FLUKE 43B. Además circuitos similares, activan los transistores que encienden las luces de advertencia

cuando la temperatura es alta, voltaje bajo y voltaje mas bajo. La señal se obtuvo a partir del circuito de la figura 3.5.

Los bancos de los transistores Q3 y Q4 regulan la velocidad del motor y se activan por medio del módulo CCP1 y CCP2 correspondiente a la modulación de ancho de pulso (PWM) interno del microcontrolador. El módulo CCP1 controla el banco de transistores que origina el sentido de giro hacia delante Q4, mientras que el módulo CCP2 controla el banco de transistores Q3 que regula la dirección hacia atrás de la motocicleta, como se puede observar en la figura 3.4.

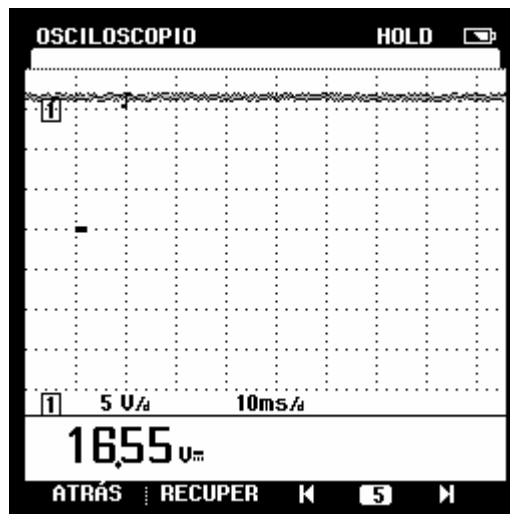


Figura 4. 4 Valor de la tensión de compuerta de los MOSFET.

Estas señales se amplifican antes de llegar a la compuerta de los transistores, para manejar los rangos de activación de la compuerta del transistor y así permitir el paso de la máxima corriente que soporta el transistor. En la figura 4.5 se presenta la señal del PWM al 18% aproximadamente del ciclo de trabajo, la figura 4.6 muestra poco más del 50% del ciclo de trabajo y la figura 4.7 el 100%. Estas señales se tomaron del módulo CCP1 del microcontrolador por medio del osciloscopio digital marca FLUKE 43B.

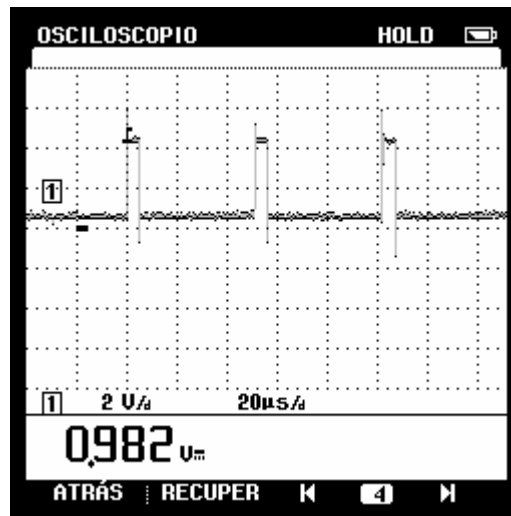


Figura 4. 5 Modulación del ancho de pulso al 18% del ciclo de trabajo.

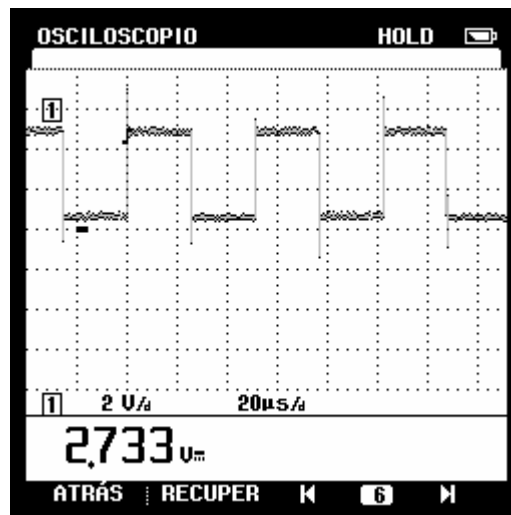


Figura 4. 6 Modulación del ancho de pulso al 54% del ciclo de trabajo.

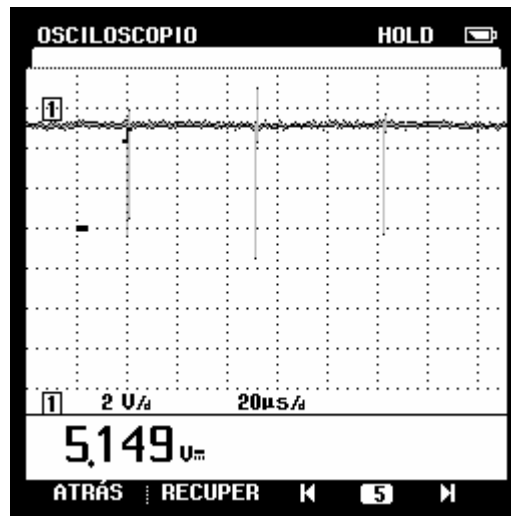


Figura 4. 7 Modulación del ancho de pulso al 100% del ciclo de trabajo.

Todos los circuitos de disparo de los transistores presentan capacitores para no permitir cambios abruptos en el voltaje de compuerta, así como diodos zener de 20V, para que el voltaje de compuerta no sobrepase ese valor, ya que como se puede observar en las hojas de datos del MOSFET IRFZ40 en el anexo B.4, el voltaje de compuerta trabaja en un rango de $\pm 20V$.

Todos los circuitos se agruparon en cuatro placas impresas. Las pistas de estas placas se realizaron por medio del programa ExpressPCB. La figura 4.8 muestra las pistas de la placa que maneja las fuentes de 12V y 5V, este circuito alimenta el sistema auxiliar así como la parte digital del controlador de la motocicleta. La placa se observa en la figura 4.9.

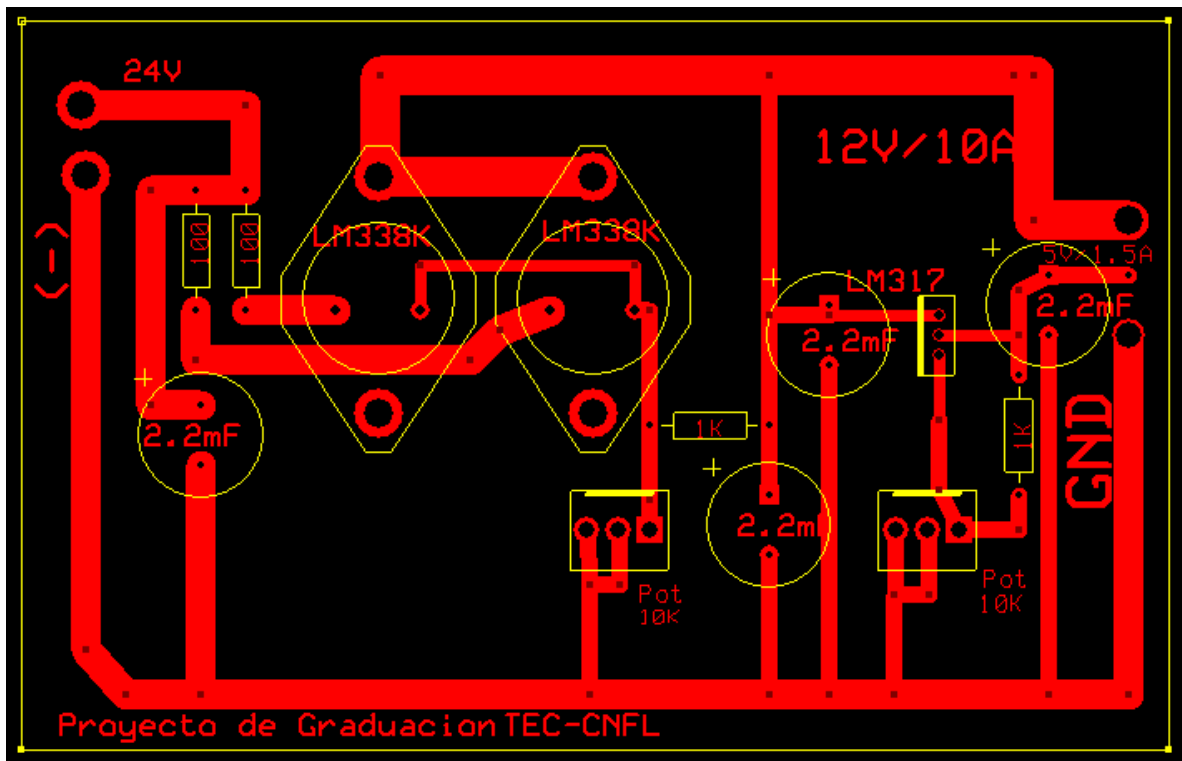


Figura 4. 8 Circuito PCB del convertidor cd-cd 24/12 y 12/5.

En la figura 4.10 se presenta las pistas de la placa de la parte digital del sistema, compuesta por el microcontrolador y amplificadores operacionales. Estos amplificadores aíslan las entradas y salidas del microcontrolador. Es importante mencionar la separación de los circuitos en cajas diferentes, para aislar los dispositivos más sensibles a los más robustos que van a estar sometidos a un mayor grado de calor y consumo de corriente. La placa se presenta en la figura 4.11.



Figura 4. 9 Convertidor cd-cd de 24V/12V y de 12V/5V.

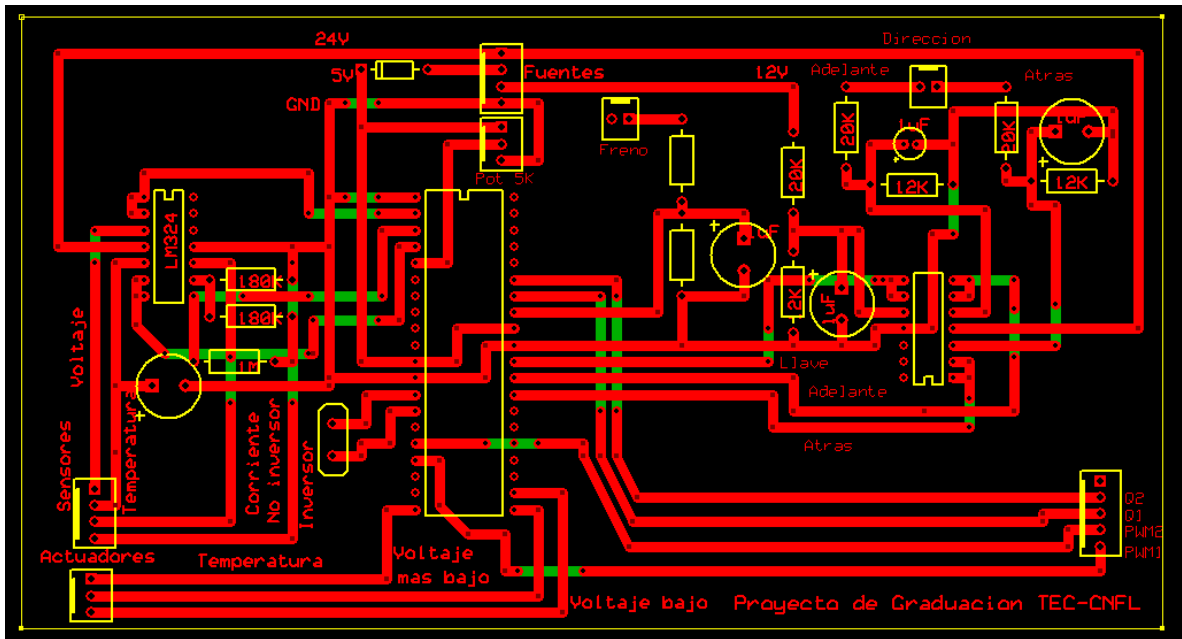


Figura 4. 10 Circuito PCB del sistema de control digital.

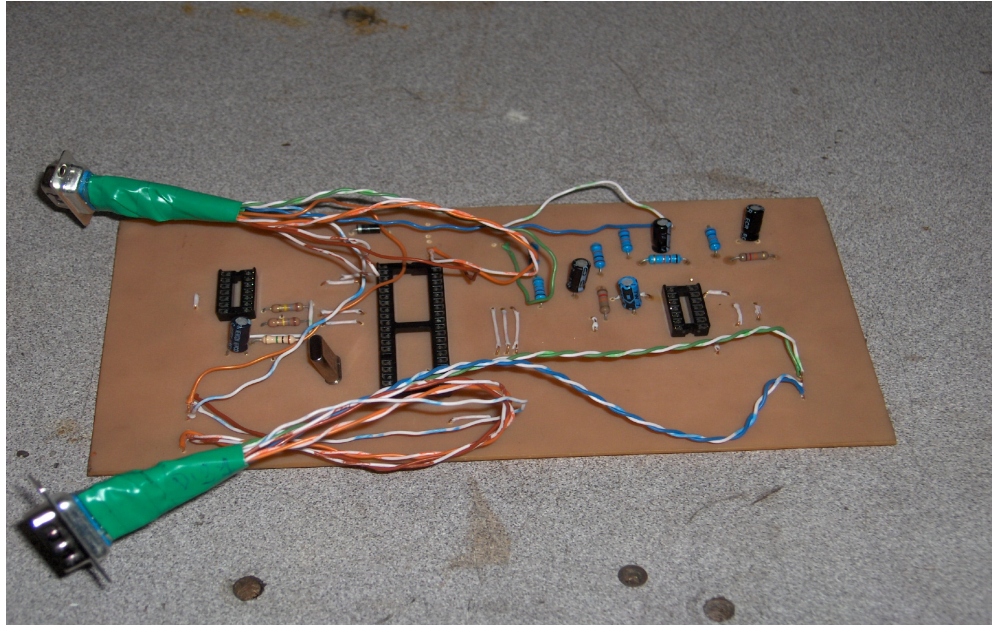


Figura 4. 11 Sistema de control digital.

El sistema de control digital, presenta posteriormente, un sistema acoplador de las señales a revisar y de las señales que accionan los transistores MOSFET. Este sistema esta compuesto por los circuitos Driver y Driver2 que se presentan en las figuras 3.5 y 3.6. Estos circuitos adecuan y estabilizan las señales de disparo de los diferentes MOSFET, Q1 y Q2, que manejan los relés, las señales de advertencia de la motocicleta y los bancos de transistores Q3 y Q4. Las pistas del circuito impreso se presentan en la figura 4.12 y la placa en la figura 4.13.

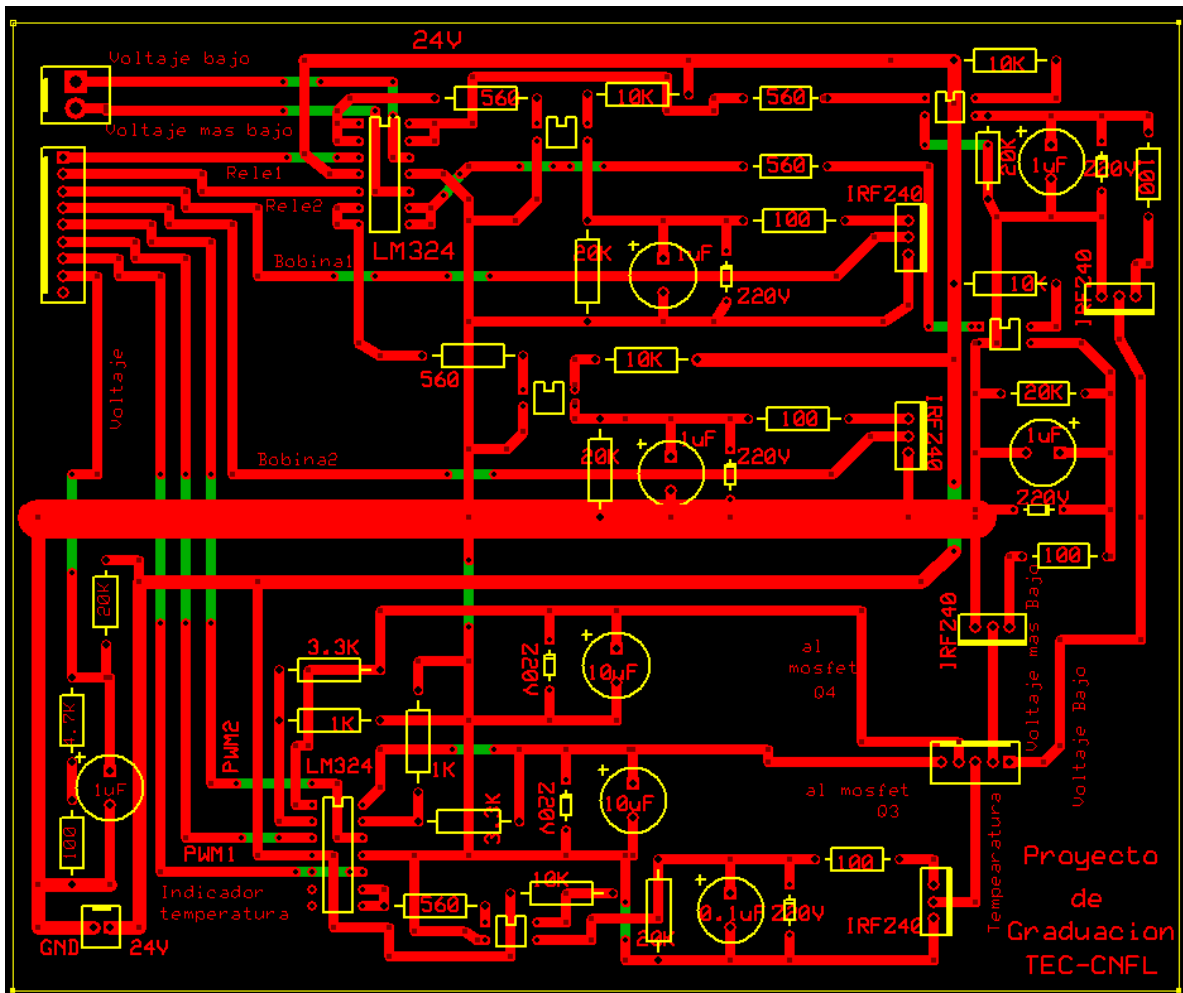


Figura 4. 12 Circuito PCB de los circuitos acopladores de señal.

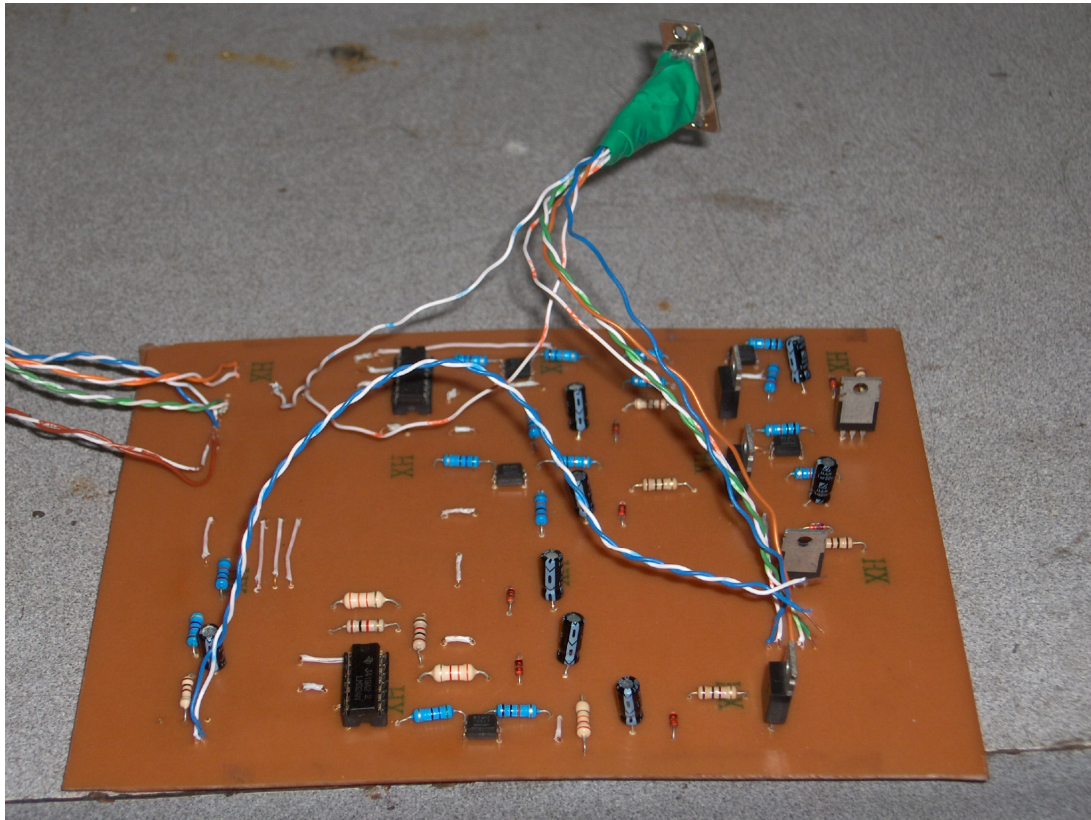


Figura 4. 13 Placa impresa de los circuitos Drivers.

Desde la placa de la figura 4.13, de los circuitos Drivers, las señales de los PWM de los módulos CCP1 y CCP2 del microcontrolador, llegan a la placa de potencia, que está formada por los bancos de transistores Q3 y Q4, como se presenta en la figura 4.15. En la figura 4.14 se presenta las pistas del circuito de potencia.

Esta misma placa contiene las resistencias de 0.047Ω en paralelo, mediante las cuales se va a chequear de forma indirecta la corriente que consume el motor.

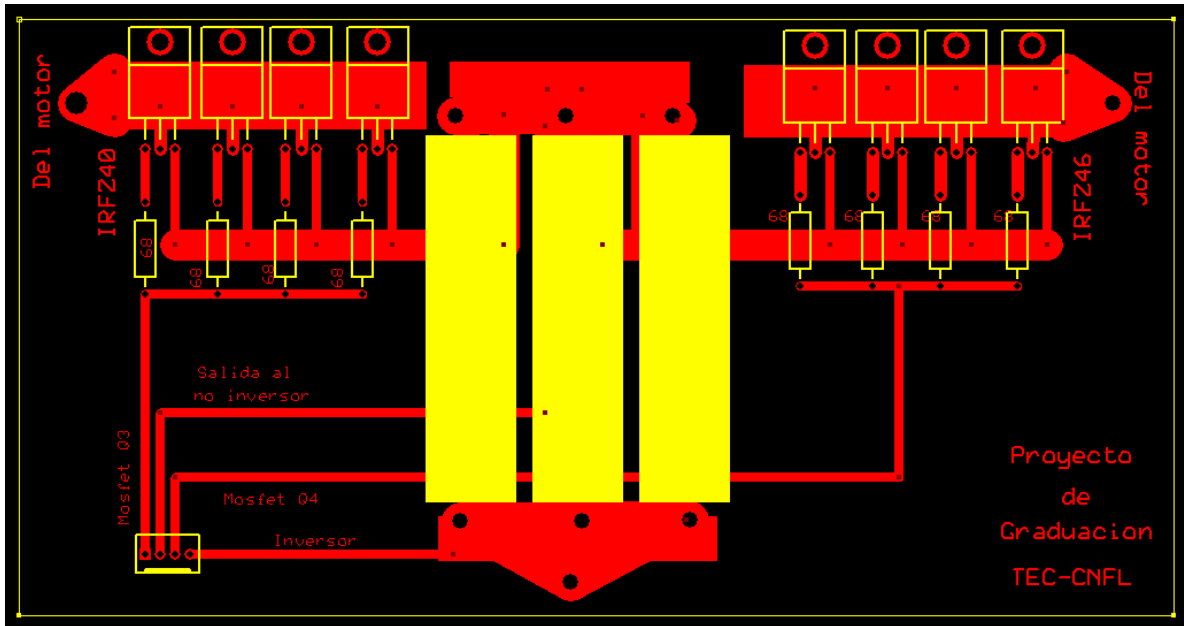


Figura 4. 14 Circuito PCB de la placa de potencia.

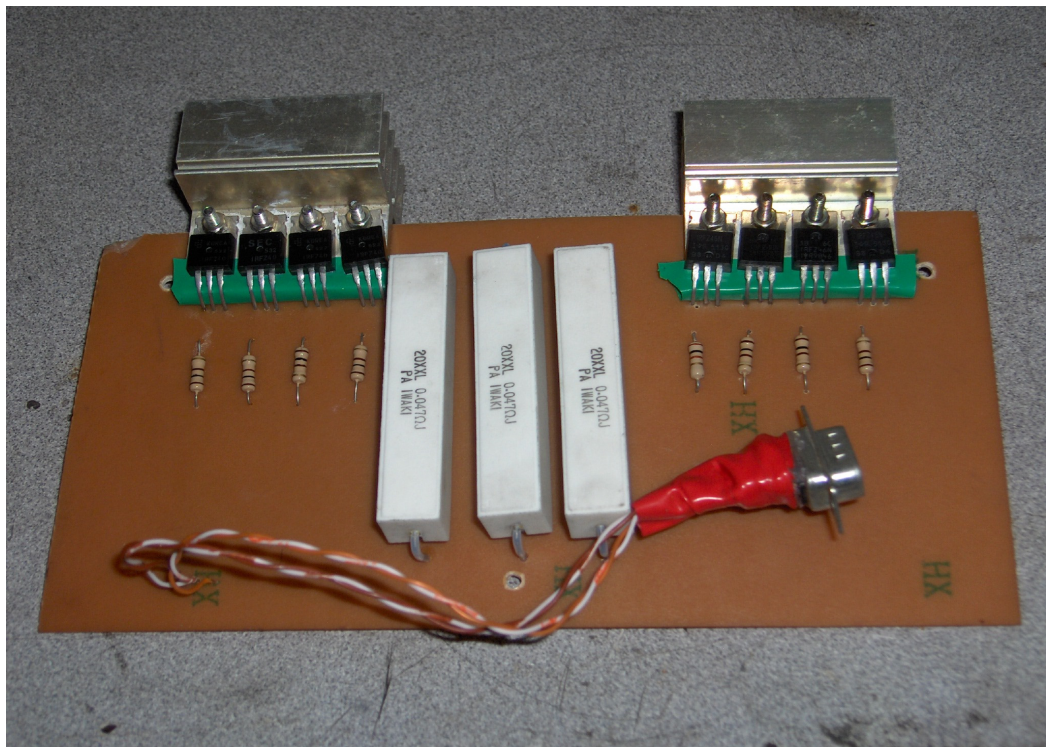


Figura 4. 15 Placa impresa del circuito de potencia.

A los bancos de transistores se le acoplaron disipadores de calor, para protección de cada uno de los MOSFET. Esto es importante ya que con el aumento del calor el rendimiento de los dispositivos disminuye, como por ejemplo en el caso de los MOSFET IRFZ40, a temperatura ambiente puede manejar hasta 50A, pero a 100°C su capacidad de manejo de corriente disminuye a 35A.

Cada una de esas placas impresas se ubica en cajas para seguridad y protección de los sistemas. La figura 4.16 y 4.17 muestra el diseño de cada una las cajas con la correspondiente ubicación y dimensiones del espacio donde se sitúan los puertos, mediante los cuales se interconectan entre sí las placas. Se hace uso de conectores db9 para la interconexión entre los módulos, protegidos por medio de plástico para sellar y evitar las posibles fuentes de ruido existentes, así como las condiciones a la que se puede ver expuesto como lluvia y barro cuando esté en funcionamiento.

Las placas impresas situadas en cada una de las cajas, permitió probar el sistema en su totalidad, haciendo uso del motor de imanes permanentes de la motocicleta al vacío, o sea sin carga, realizando el acople de los módulos de forma efectiva.

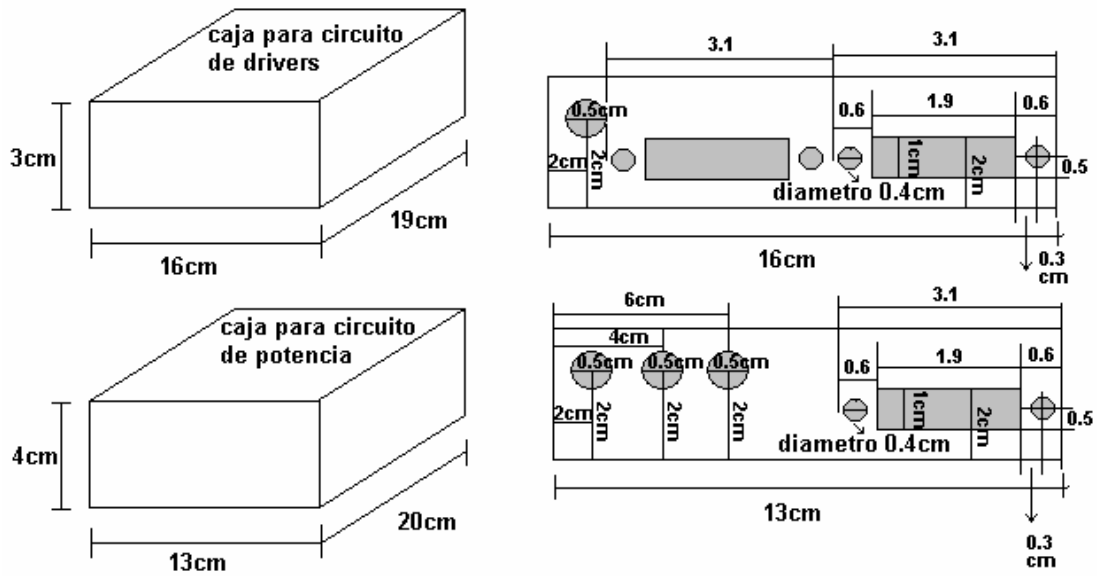


Figura 4. 16 Diseño y dimensiones de las cajas para las placas impresas.

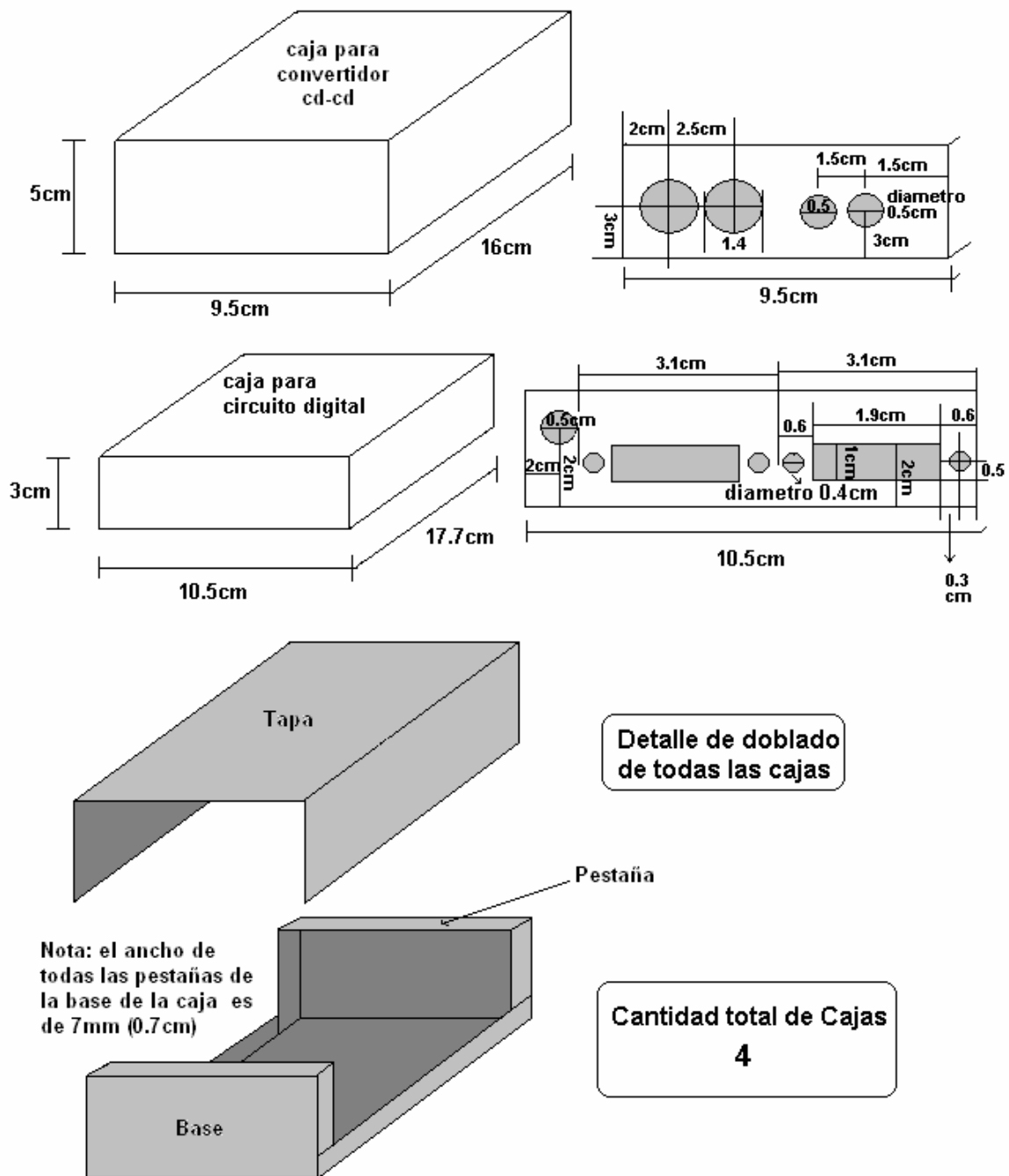


Figura 4. 17 Diseño y dimensiones de las cajas para las placas impresas.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. Se logró alimentar al 100% el sistema auxiliar y el digital por medio de los convertidores cd-cd de 24V/12V y de 12V/5V.
2. El circuito de control digital logró alcanzar el nivel de tensión para el disparo de los 5 transistores MOSFET con lo que se activan los relés y las luces de emergencia.
3. El circuito de control digital controla el sentido de giro del motor, con lo que se implementa adelante y reversa.
4. Los disipadores de calor y los fusibles se dimensionaron a partir de los datos de temperatura y corriente de los componentes para proteger las diferentes etapas de diseño.
5. Se disminuyó los costos del controlador en un 80% con respecto a los controladores disponibles en el extranjero.

5.2 Recomendaciones

1. La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) debe facilitar la compra de materiales y dispositivos electrónicos en el extranjero para así tener más variedad y facilidad a la hora de realizar el diseño y llevar a cabo la implementación de un proyecto determinado.
2. La Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) debe tratar de incentivar más este tipo de tecnología en el país, para que así, se pueda entrar en contacto cada vez más con proyectos de esta índole.

Bibliografía

Libros de Texto:

1. Chapman, S. **“Máquinas Eléctricas”** Tercera edición. McGraw Hill Interamericana S.A., Santa Fé de Bogotá, Colombia: 2000.
2. Coughlin, R, Driscoll, F. **“Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales.”** Quinta edición. Prentice Hall, México: 1999.
3. Fishbane, Paul / Gasiorowicz, Stephen **“Física para ciencias e ingeniería”**, Primera edición, Prentice Hall, México:1994.
4. Liwshitz-Garik, M. / Whipple, C. **“Máquinas de corriente continua”**, Segunda edición, Ediciones Copilco S.A, México: 1991.
5. Pallás, R. **“Sensores y Acondicionadores de Señal”** Tercera edición. Alfaomega Grupo Editor S.A, México: 2001.
6. Rashid M.H. **“Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones”**. Segunda Edición, Prentice Hall, México: 1995.

Manuales:

7. SunCom Co. **“Manual de propietario de motocicleta eléctrica”**. 1998.

Páginas de Internet (revisión de actualización 27/11/2006):

Páginas de la Empresa:

8. <http://www.cnfl.go.cr> 'Esta es la pagina principal de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)', Febrero 2006.
9. <http://www.cnfl.go.cr/proyectos/conservacion/TRANESP/principal.htm> 'Esta es la pagina principal del departamento donde se efectuará el proyecto' Febrero 2006.

Páginas de información:

10. <http://www.mideplan.go.cr/sides/ambiental/29-13.htm> 'En esta página se presenta información sobre los precios de los derivados de petróleo' Marzo 2006.
11. <http://www.mideplan.go.cr/sides/economico/09-01.htm> 'En esta página se muestra información sobre los precios de petróleo' Marzo 2006.
12. http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo_magnetico/ampere/ampere.htm 'Muestra información sobre los campos magnéticos' Febrero 2006.
13. <http://www.ifent.org/Lecciones/PTC/ptc.htm> 'Se muestra información sobre los termistores' Marzo 2006.
14. <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-termopares.htm> 'En esta página se presenta información sobre los termopares' marzo 2006.
15. <http://www.microchip.com> 'En esta página se encuentra información de los precios de los microcontroladores que se pueden utilizar en el proyecto' Setiembre 2006.

Apéndices

Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

A: Unidades de la corriente, amperios.

ADC: siglas en inglés de convertidor analógico – digital (Analogic digital converter).

Banco de baterías: Conjunto de baterías con las cuales se alimenta a todo un sistema eléctrico/electrónico.

Carga: referido a lo que consume fuerza, potencia, corriente o voltaje en un sistema.

CD: siglas en español de corriente directa.

CNFL: siglas en español de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

Disparo(s): referido a los pulsos eléctricos que accionan ha determinado componente electrónico en el sistema.

Estator: parte fija o inmóvil de un motor eléctrico.

Evento: referido a la programación en la cual un procedimiento se activa si ocurre algún suceso específico.

FEM: siglas en español de fuerza electromotriz.

Hardware: denominación técnica referida a la parte física de un circuito o sistema.

Microcontrolador: circuito integrado electrónico, utilizado en el control de todos los demás circuitos del sistema que puede ser programado digitalmente.

MINAE: siglas en español de Ministerio de Ambiente y Energía.

MOPT: siglas en español del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Par: potencia o fuerza que proporciona o no, un motor eléctrico en su movimiento giratorio.

Parámetros: constantes físicas o eléctricas características de un sistema particular tanto de su forma como funcionamiento.

PWM: siglas en inglés de técnica de control por modulación de ancho de pulso (Pulse waveform modulation).

Rotor: parte giratorias de un motor eléctrico o no.

RPM: siglas en español referente a las unidades de la velocidad del motor revoluciones por minuto.

RTD: siglas en inglés de detector de temperatura resistivos.

Rutina: referido a un pequeño programa de computación.

Sensor(es): circuito electrónico que mide u observa el comportamiento de alguna variable física específica.

Software: denominación técnica referida a la parte intangible (programación o lógica de funcionamiento) de un circuito o sistema.

Sun Com: marca registrada de fabricante de motocicletas eléctricas.

Termistor NTC:(Negative Temperature Coefficient) es una resistencia variable, cuyo valor se va decrementando a medida que aumenta la temperatura.

Termistor PTC: (Positive Temperature Coefficient) es una resistencia variable cuyo valor se ve aumentado a medida que aumenta la temperatura.

Termopar: Sensor de temperatura constituido por dos metales o aleaciones diferentes, que detecta el cambio en la temperatura por medio de la diferencia entre los dos metales.

Transductores: circuitos eléctricos o electrónicos de transforman una variable física en su representación eléctrica, y que es utilizado en sensores.

V: Unidades de tensión o voltaje, voltios.

Apéndice A.2 Información sobre la institución

A.2.1 Descripción de la empresa

El proyecto se realizará en la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), que se ubica de la Asamblea Legislativa 200 metros este y 50 metros norte, en el barrio La California, San José. La actividad principal del CNFL es suministrar electricidad en diferentes regiones comerciales y residenciales de la ciudad de San José. El departamento donde se desea desarrollar el proyecto es el Departamento de Transporte Eléctrico.

A.2.2 Descripción del departamento donde se realizará el proyecto

La función principal del Departamento de Transporte Eléctrico de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz es incentivar el uso de los vehículos eléctricos en la sociedad costarricense y con ello colaborar en el desarrollo del país.

Apéndice A.3 Lista de materiales utilizados.

Tabla A.3. 1 Materiales utilizados en el controlador digital y de potencia.

Lista de componentes				
Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total línea
LM324	Amplificadores Operacionales 4	4	268	1072
2761996	Base 40 pines	1	437,6	437,6
860402	Bases 14 pines	4	92	368
	Capacitores 2200uF	4	180	720
	Cristal 20MHz	1	900	900
NTE5879	Diodo rectific 12A	1	2475	2475
NTE6065	Diodo rectific 70A 600V	1	10062	10062
1N4007	Diodo rectific. 2,5A 1000V	3	50	150
	Diodos Zener 20V	8	60	480
740113	Fusible 15A 250V	1	31	31
74003	Fusible 1A 250V	1	19	19
441045	Fusible 45A 500V	1	550	550
	Interruptores 3A 125V	2	339	678
PIC16F877	Microcontrolador	1	6168	6168
MOC3011	Optoacoplador	5	395	1975
711337	Placas para impreso 50 x 50	1	7000	7000
750403	Porta fusible chasis americano	3	242	726
810234	Potenciómetro 10K	3	321	963
810138	Potenciómetro 5K	1	297	297
LM317T	Regulador de voltaje 1,2 - 37V // 1,5A	1	636	636
LM338K	Regulador de voltaje 1,2 - 37V // 5A	2	1915	3830
	Relés	2	15000	30000
	Resistencias 0,047ohm 20W	3	1800	5400
	Resistencias varias 0,5W	25	10	250
LM35DT	Sensor de temperatura	1	2878	2878
	Solución de Percloruro de Hierro	1	3152	3152
IRFZ40	Transistores Mosfet 50A / 50V	9	1060	9540
IRFZ46	Transistores Mosfet 50A / 50V	4	1060	4240
			Sub total	94997,6
			Impuesto de venta 13%	12349,688
			Total	107347,288

Apéndice A.4 Cálculos matemático de diseño

1. Cálculo de corriente que absorbe los elementos del sistema auxiliar:

Luz delantera, punto 2 de la figura 3.3

$$P = VI$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{18}{12} = 1.5A$$

Señal de giro izquierdo, punto 5 de la figura 3.3

$$P = VI$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{5}{12} = 0.416A$$

2. Cálculo de voltaje de compuerta – fuente de los transistores mosfet que activan los relés y las luces de emergencia.

$$V_{GS} = \frac{24 * 20k\Omega}{30k\Omega} = 16V$$

3. Cálculo de la tensión que entra a la ADC desde el sensor de voltaje de la batería.

$$V = \frac{26 * 4.8k\Omega}{24.8k\Omega} = 5.03V$$

4. Cálculo de la tensión del sensor de corriente. (indirectamente)

Máxima corriente = 50A

Tres resistencias de $0.047\Omega \Rightarrow$ en paralelo $\Rightarrow 0.01566\Omega$

$$V = IR = 50 * 0.01566 = 0.783V$$

El voltaje del arreglo de las resistencias 0.783V, por la ganancia del amplificador operacional.

$$0.783 * 6.5 = 5.09V$$

Apéndice A.5 Marco Teórico

A.5.1 Descripción del sistema

En la figura A.5.1 se muestra el diagrama del sistema que poseía la motocicleta eléctrica (SunCom), antes de que el controlador dejara de funcionar y con ello la motocicleta.

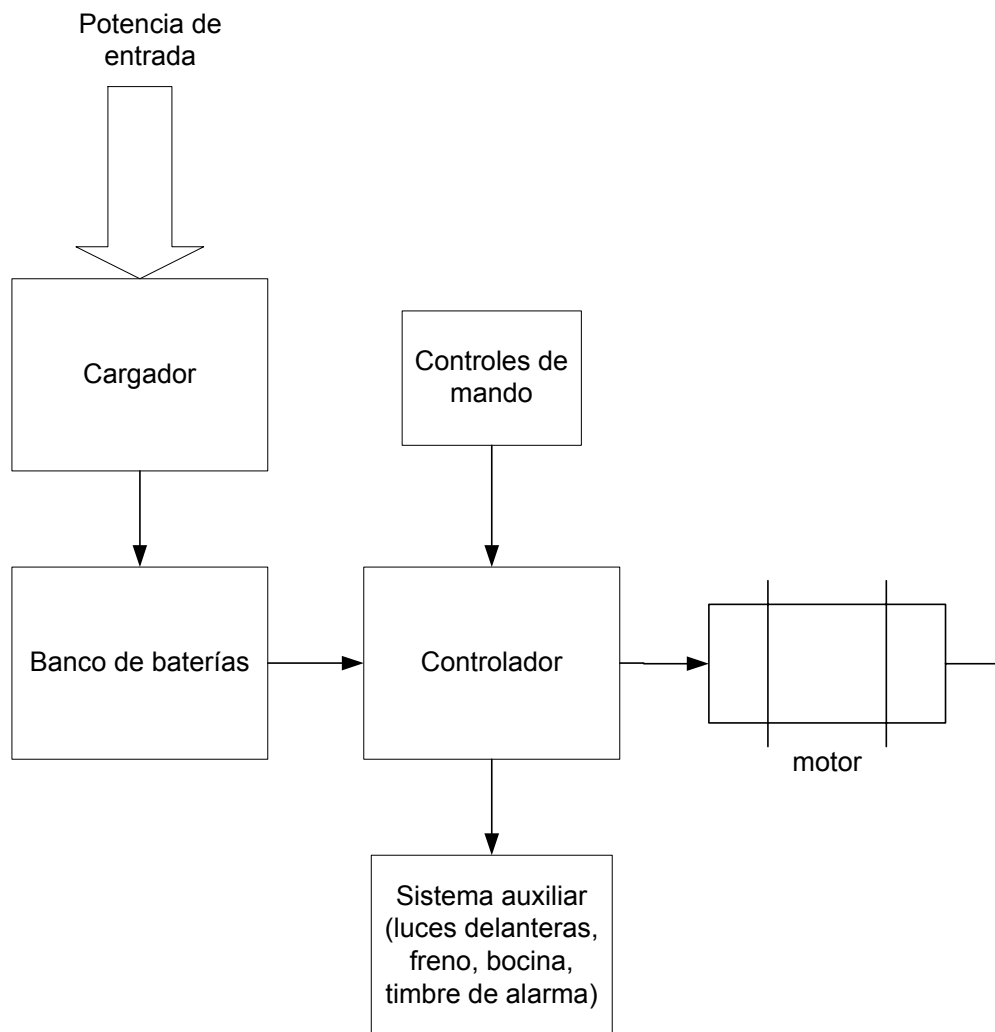


Figura A.5. 1 Diagrama de bloques del sistema que tenía la motocicleta.

El sistema consta de varias partes de las cuales no se tiene mucha información, ya que no es facilitada por los fabricantes. Solo del motor y la motocicleta como tal se mencionan algunos datos, el resto de las partes solo mencionan donde fueron hechas, como se puede apreciar en el anexo B.1.

Pero a grandes rasgos, presenta un cargador de baterías, hecho en Taiwán, el cual la única función es tomar corriente eléctrica de una red eléctrica ya sea doméstica o comercial, para recargar las baterías.

También presenta un banco de baterías compuesto por dos baterías de 12 V_{CD}, hechas en los Estados Unidos de Norteamérica, de alta eficacia, totalmente selladas, no necesitan mantenimiento y especialmente diseñadas para scooters eléctricos.

El controlador es el eje central del sistema, por medio de éste, se ejercía el control para el correcto funcionamiento de la motocicleta. Elaborado con partes de Taiwán, el fabricante no brinda mayor información sobre estos controladores. Se conoce las características externas que posee como la capacidad de controlar el funcionamiento del motor y de sincronizar los bloques de mando y el sistema auxiliar de luces y bocinas. Otras funciones importantes que desempeñaba el controlador que se cita en el manual de propietario de la motocicleta son:

- Si el voltaje de la batería está negativo, el controlador corta la energía y enciende luz de alerta.
- Evita que la corriente exceda un valor máximo predeterminado.
- Protege el motor de sobrecalentamiento, al desconectar la energía y encender luz de alarma, si la temperatura excede el valor máximo predeterminado.
- Corta la energía del motor cuando frena

El control de mando lo conforman botones para encender la luz delantera, las direccionales, el interruptor principal de energía, palancas de freno, acelerador y el botón de bocina. Estas luces y bocinas son las que conforman el sistema auxiliar, que es el que advierte al conductor alguna anomalía en la motocicleta, brinda seguridad al conductor con la luces en las noches y avisa a los demás choferes las acciones de frenado y giro que el conductor de la motocicleta realiza en determinado momento.

Por último está el motor, que es el que permite el movimiento de la motocicleta, es un motor CD de imán permanente de 24 V, 45 A y alcanza hasta 550 rpm.

A.5.2 Antecedentes Bibliográficos

Las motocicletas eléctricas, así como todo tipo de vehículo eléctrico, forman parte de las nuevas tecnologías, mediante las cuales el mundo toma un giro hacia la conservación del medio ambiente, sin olvidar la parte económica, la cual también provocó el iniciar a desarrollar esta tecnología.

Por ser tan reciente, esta tecnología sufre constantes variaciones día con día y los pocos fabricantes que existen en el mundo tienen todas sus investigaciones y antecedentes electrónicos reservados, por lo que se dificulta encontrar información específica sobre el tema.

Es una tecnología que le puede traer beneficios al mundo y por estar en sus inicios, su implementación y configuración tiene una apertura total, con lo que se le puede dar características particulares a un determinado sistema.

A.5.3 Descripción de los principales principios físicos, de software y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.

A.5.3.1 Motores eléctricos

Los motores eléctricos permiten convertir la energía eléctrica en energía mecánica, siendo uno de los elementos más importantes en procesos industriales así como en el área de los transportes. Las leyes básicas que nos permiten comprender el funcionamiento de un motor eléctrico son:

1. Ley de inducción de Faraday
2. Ley de Kirchhoff del circuito eléctrico.
3. Ley de Ampère.
4. Ley de Biot Savart.

Ley de Kirchhoff

Es de las leyes básicas e importantes relacionadas con los temas aplicados a las áreas eléctrica y electrónica. Usadas en mallas o circuitos eléctricos cerrados, establece que la suma de todos los voltajes aplicados es igual a la suma de todas las caídas de voltaje en las resistencias, como se muestra en la ecuación A.5.1.

$$\sum V = \sum IR \quad (\text{A.5.1})$$

En la ecuación anterior también se aplica la Ley de Ohm, ley básica en cuanto a circuitos electrónicos y eléctricos se refiere. La ecuación A.5.2 muestra dicha ley, con la que se interpreta que en un elemento resistivo el voltaje o caída de tensión es proporcional a la corriente que circula por esa resistencia.

$$V = IR \quad (\text{A.5.2})$$

A partir de las leyes numeradas anteriormente, cuando a un motor, por ejemplo un motor de cd de excitación independiente, cuyo circuito equivalente se muestra en la figura A.5.2, se le aplica una corriente de campo i_f , en el circuito de armadura, fluye una corriente i_a con lo que el motor desarrolla una fuerza contraelectromotriz y un torque a una velocidad determinada para que se equilibre con el torque de la carga.

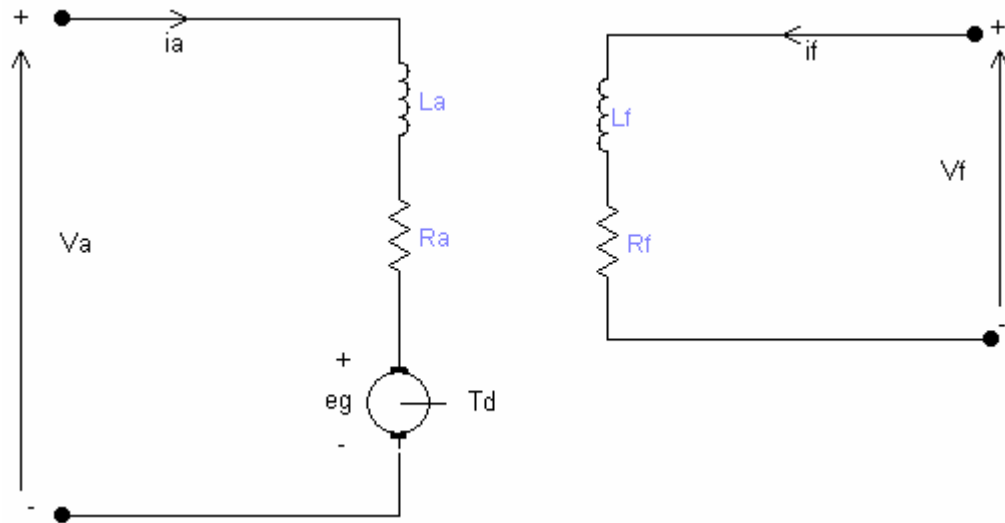


Figura A.5.2 Circuito equivalente de un motor cd de excitación independiente.

La fuerza contraelectromotriz del motor se representa

$$e_g = K_v \omega i_f \quad (\text{A.5.3})$$

y el par o torque que desarrolla el motor es

$$T_d = K_t i_f i_a \quad (\text{A.5.4})$$

donde K_v es constante de voltaje,

ω velocidad del motor y

K_t es la constante de par motor.

La potencia que desarrolla el motor se expresa en la ecuación A.5.5

$$P_d = T_d \omega \quad (\text{A.5.5})$$

La velocidad de un motor de excitación independiente se puede calcular a partir de la ecuación A.5.6.

$$\omega = \frac{V_a - R_a I_a}{K_v I_f} \quad (\text{A.5.6})$$

De la ecuación anterior, la velocidad del motor se puede controlar variando el voltaje de armadura V_a , método que se conoce como control de voltaje, también modificando la corriente de campo I_f , al que es llamado control de campo y por último para una corriente fija I_f , cambiando la corriente de armadura I_a .

Cuando se realiza un control de velocidad en un motor cd, este se puede utilizar en vario modos. Para efecto de este proyecto, dos modos son los utilizados, que es su funcionamiento como motor y como freno regenerativo.

Como motor, la fuerza contraelectromotriz E_g del motor es menor que el voltaje de alimentación en la armadura V_a , con las corrientes de armadura y campo positivas como se aprecian en la figura A.5.2 y desarrollando un par o torque que permita llegar al equilibrio con el par presentado por la carga.

Cuando está en el modo de freno regenerativo, el motor funciona como generador induciendo una fuerza contraelectromotriz E_g que es mayor que el voltaje de alimentación de la armadura V_a . La corriente de campo se mantiene positiva, pero la corriente de armadura es negativa con respecto a la corriente I_a del circuito de la figura A.5.2, para así devolver energía cinética a la fuente de alimentación.

Otro punto que considerar en los motores es el arranque, ya que en esa situación el motor cd, que presenta una resistencia baja, puede recibir una corriente alta, mayor que la corriente nominal a plena carga, con lo que el motor puede sufrir daños a pesar que esta expuesto solo un breve instante. Por esto es necesario un circuito de protección para limitar la corriente en el instante de arranque, como una resistencia en serie con el inducido, sin que esta resistencia quede de manera permanente en el circuito porque generaría pérdidas y provocaría una caída en la característica par – velocidad del motor, por un aumento en la carga.

Motor de imán permanente

Los motores de imán permanente funcionan de forma parecida a los motores de polos salientes, con la diferencia que en el rotor no hay un bobinado de campo y este se genera montando imanes permanentes sobre el rotor. Las ecuaciones para los motores de polos salientes se pueden aplicar a los motores de imán permanente, suponiendo constante el voltaje de excitación V_f . La eliminación de la bobina de campo, de la alimentación en cd y de los anillos colectores reduce las pérdidas del motor y su complejidad. Un motor de imán permanente (PM) puede ser alimentado a partir de una corriente rectangular o senoidal. Los motores alimentados por corriente rectangular, tienen la mayoría de las aplicaciones en los propulsores de baja potencia. Por lo contrario los motores alimentados por corriente senoidal, proporcionan un par motor más suave, y sus aplicaciones radican en los propulsores de alta potencia.

A.5.3.2 Convertidor de Corriente Directa a Corriente Directa

Un convertidor cd-cd también se conoce como un pulsador o un regulador de conmutación, en la figura A.5.3 aparece un pulsador de transistor. El voltaje promedio de salida se controla mediante la variación del tiempo de conducción t , del transistor Q_1 , como se aprecia en la figura A.5.4. Si T es el período de corte, entonces:

$$t_1 = \delta * T \tag{A.5.7}$$

Donde δ se conoce como el ciclo de trabajo del pulsador.

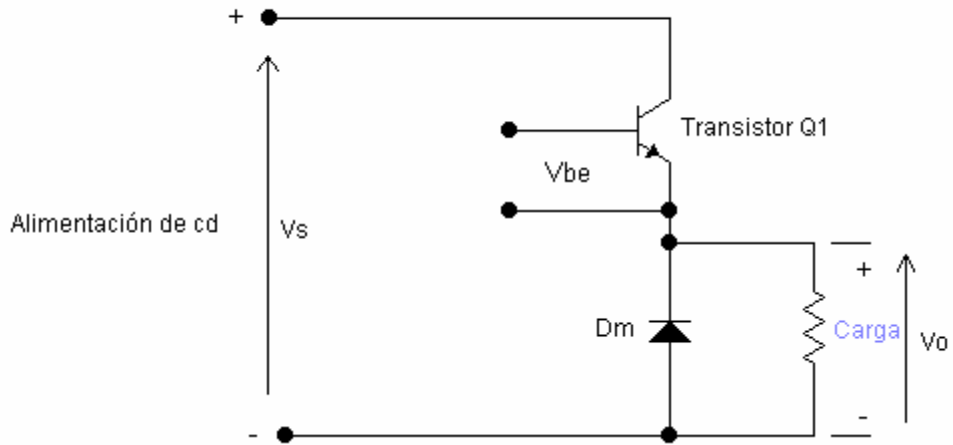


Figura A.5. 3 Convertidor de cd-cd de transistor.³

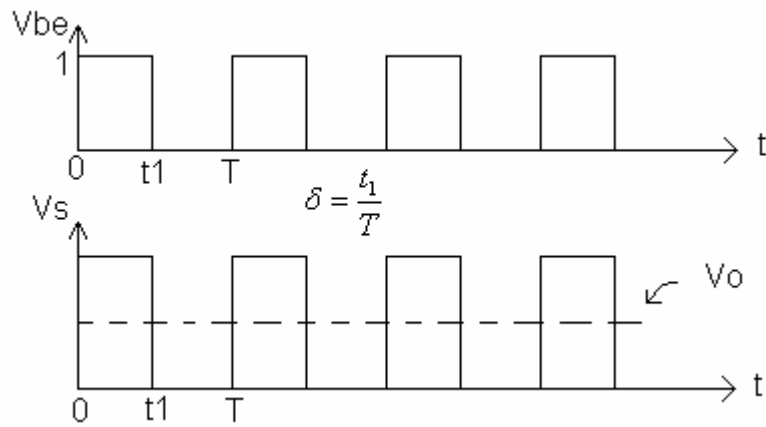


Figura A.5. 4 Formas de onda del voltaje del convertidor.⁴

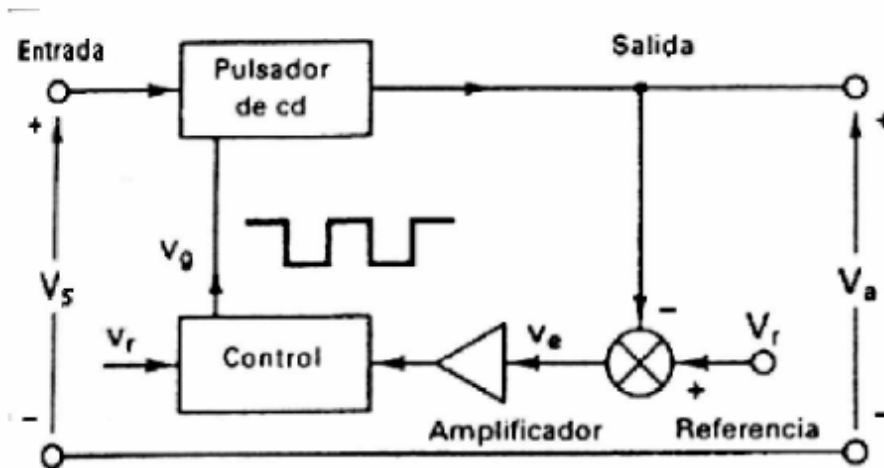
Reguladores en modo de conmutación

Los convertidores de cd se pueden utilizar como reguladores en modo de conmutación para convertir un voltaje cd no regulado, a un voltaje de salida de cd

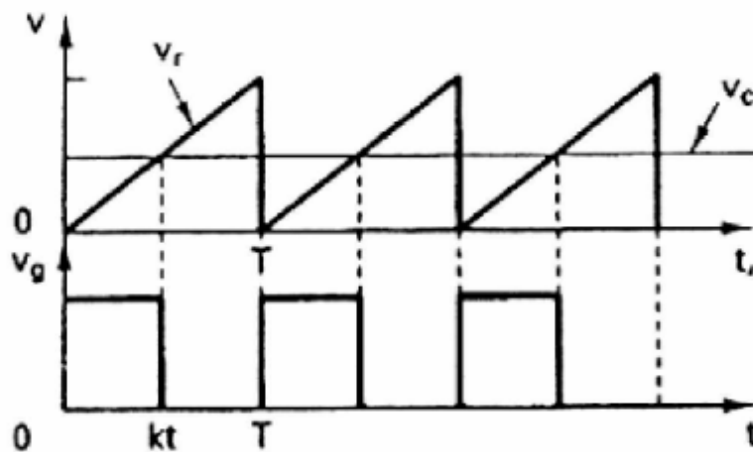
³ Tomado de [5]

⁴ Tomado de [5]

regulado. La regulación se consigue mediante la modulación de ancho de pulso (PWM) sin variación de frecuencia, y el dispositivo de conmutación por lo general es un BJT, MOSFET o IGBT de potencia. La figura A.5.5 muestra los elementos de los reguladores en modo de conmutación.



(a) Diagrama de bloque



(b) Señales de control

Figura A.5. 5 Elementos de reguladores en modo de conmutación.⁵

Entre las topologías básicas de los reguladores conmutados tenemos los reguladores reductores.

⁵ Tomado de [6]

Reguladores reductores

En un regulador reductor el voltaje promedio de salida V_a , es menor que el voltaje de entrada V_s . La operación del circuito se puede dividir en dos modos. Como se describe en Rashid, 1995 el modo 1 empieza cuando se conecta el transistor Q1 en $t = 0$. La corriente de entrada, que se eleva, fluye a través del inductor L, del capacitor de filtro C y de la resistencia de carga R. El modo 2 empieza cuando se desconecta el transistor Q1 en $t = t_1$. El diodo de marcha libre D_m conduce debido a la energía almacenada en el inductor y la corriente del inductor continúa fluyendo a través de L, C, la carga y el diodo D_m . La corriente del inductor se abate hasta que en el siguiente ciclo el transistor Q1 se vuelve a activar. Los circuitos equivalentes y las formas de onda se muestran en la figura A.5.6.

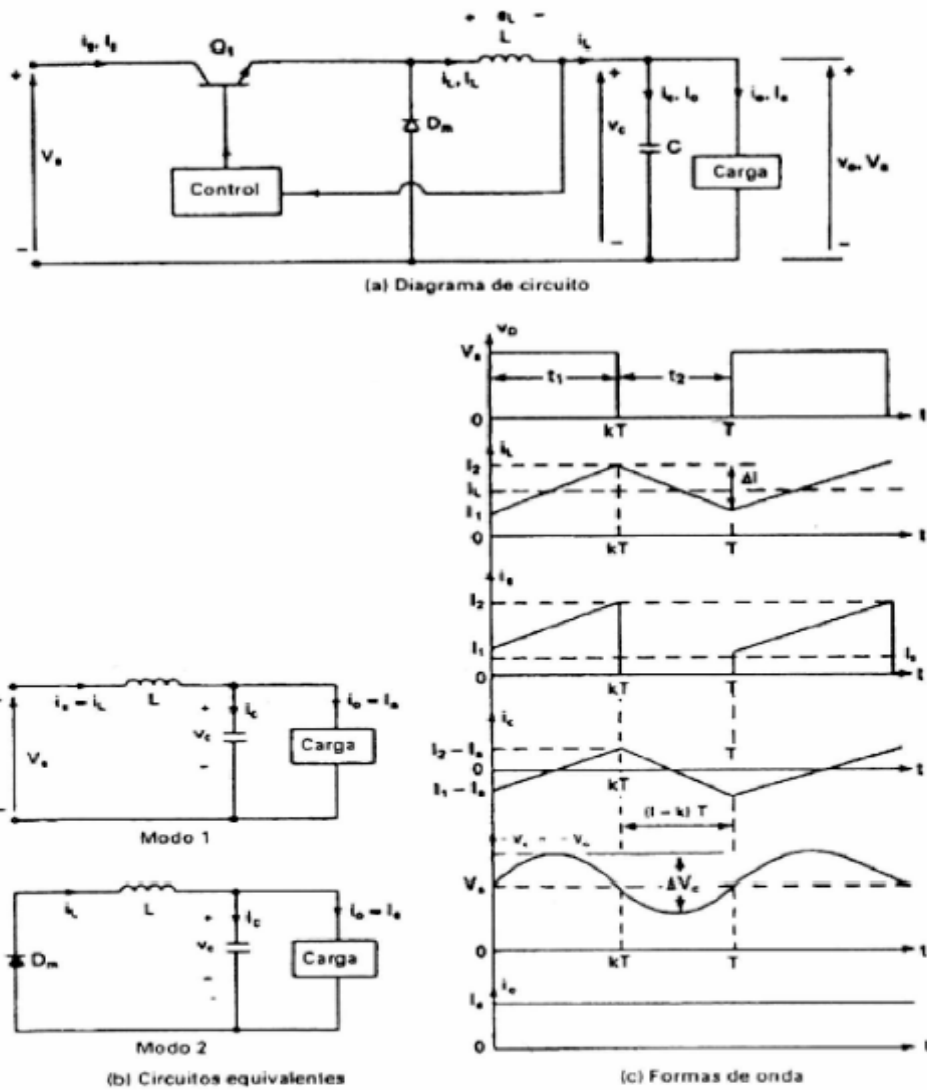


Figura A.5. 6 Regulador reductor con i_L continua.⁶

El regulador reductor presenta la facilidad que para su operación requiere de un solo transistor, es sencillo y tiene una alta eficiencia, mayor del 90%. La corriente de inducción limita el di/dt de la corriente de carga. Además como la corriente de entrada es discontinua requiere generalmente de un filtro suavizante de entrada. Proporciona una polaridad de voltaje de salida y corriente unidireccional de salida y para seguridad requiere de un circuito de protección en caso de un posible cortocircuito a través de la trayectoria del diodo.

⁶ Tomado de [6]

A.5.3.3 Sensores de Temperatura

Un sensor es un dispositivo que convierte una señal física, del medio, en una señal eléctrica, para poder ser utilizada en diferentes sistemas o procesos industriales así como en diferentes actividades del desarrollo diario como en el área de los transportes.

La temperatura produce una señal térmica, la cual es importante revisar en máquinas o dispositivos que se encuentran en operación para brindarles el mantenimiento necesario, así como tomar las medidas de seguridad que se requieran en situaciones de operación anormales.

Toda máquina o dispositivo tiene un rango de temperatura en el cual ejerce su trabajo de manera eficiente, resultando problemático para el equipo o el usuario, si la temperatura sobrepasa los límites mayor o menor del rango de operación. Es por este motivo que se pueden encontrar diferentes tipos de sensores de temperatura como termopares, termistores, detectores de temperatura resistivos entre otros.

Los detectores de temperatura resistivos, también conocidos como RTD por sus siglas en inglés, resistance temperature detector, se fundamenta en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Al aumentar la temperatura aumenta las vibraciones de los átomos alrededor de la posiciones de equilibrio con lo que se dispersan más los electrones y reduce la velocidad media lo que produce un aumento en la resistencia con la temperatura, como se aprecia en la ecuación A.5.8

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \dots + \alpha_n T^n) \quad (\text{A.5.8})$$

donde R_0 es la resistencia a la temperatura de referencia

T el incremento de la temperatura respecto a la referencia

α_1 es el cambio de resistividad

Entre las ventajas está que su sensibilidad es 10 veces mayor que los termopares, alta repetibilidad, estabilidad, exactitud y bajo costo. La ecuación A.5.9 muestra su aproximación lineal

$$R = R_0(1 + \alpha T) \quad (\text{A.5.9})$$

Los termistores son resistencias variables con la temperatura, pero se diferencian de los RTD, porque ellos se basan en semiconductores y no en conductores. Cuando presenta un coeficiente de temperatura negativo se le llaman NTC (Negative Temperature Coefficient), la resistencia disminuye con el aumento de la temperatura, y PTC (Positive Temperature Coefficient) para los coeficientes de temperatura positivos, que presenta un aumento en la resistencia conforme aumenta la temperatura. El funcionamiento de éstos se basa en la variación del número de portadores debido a la variación de las resistencias de los semiconductores a causa del aumento o disminución de la temperatura.

Para algunos NTC la variación de la resistencia presenta forma exponencial como se muestra en la ecuación A.5.10.

$$R_T = R_0 \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (\text{A.5.10})$$

donde

R_0 es la resistencia a 25°C o cualquier otra temperatura de referencia

T_0 es la temperatura de referencia expresada en kelvins

B temperatura característica del material.

La figura A.5.7 muestra la comparación entre los termistores PTC y NTC de las curvas de la resistencia respecto a la temperatura.

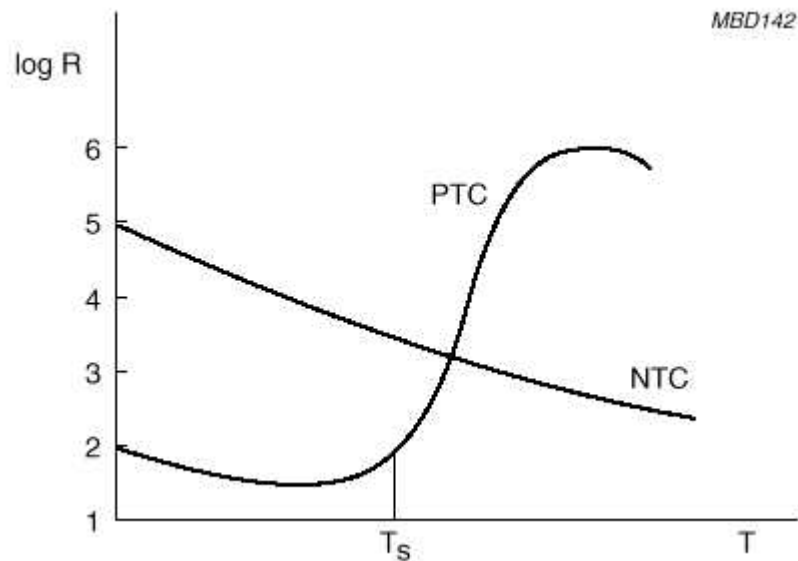


Figura A.5. 7 Curvas de resistencia – temperatura de los termistores PTC y NTC.⁷

Los termistores presenta ventajas respecto a los RTD como alta sensibilidad, alta resistencia, tamaño y costo bajo, con constante de tiempo pequeña, pero con la gran desventaja que su comportamiento no es lineal y es más bien exponencial como se muestra en la ecuación A.5.10 y en la figura A.5.7.

Los termopares constan de dos metales o aleaciones diferentes unidos por una juntura como lo muestra la figura A.5.8. Uno de los extremos se conecta donde se desea medir la temperatura y el otro se usa como referencia. La diferencia de temperatura entre las dos terminales produce un cambio de tensión mediante el cual se detecta la variación de la temperatura del lugar u objeto que se esta monitoreando.

⁷ Tomado de [14]

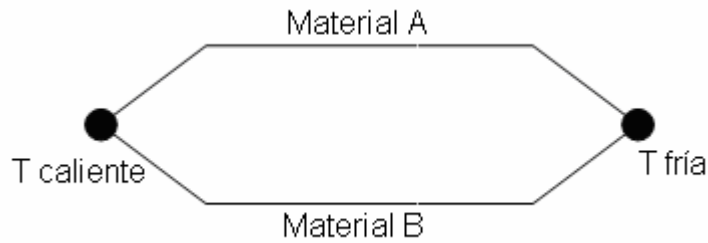


Figura A.5. 8 Esquema de un termopar.

Entre las limitaciones que presentan los termopares es que presenta un comportamiento no lineal de la señal de tensión como se observa en la siguiente ecuación.

$$E_{AB} = C_1(T_1 - T_2) + C_2(T_1^2 - T_2^2) \quad (\text{A.5.11})$$

donde T_1 y T_2 son temperaturas absolutas de cada unión

C_1 y C_2 constantes que dependen de los materiales A y B

También presenta la inconveniencia de que dependiendo del medio donde se desea medir, se debe escoger los metales o las aleaciones para que éstos no sean dañados ya que quedan expuestos al medio y pueden influir en forma negativa en las mediciones. Otra fuente de posible error es que se debe mantener una temperatura de referencia fija, la cual si varía, va a producir variaciones en la medición de la otra unión.

Entre las ventajas tiene la capacidad de medir altas temperaturas con un rango de -270°C a 3000°C , según Pallás 2001. Posee alta fiabilidad, mayor exactitud que las RTD a bajas temperaturas y una alta velocidad de respuesta.

Un tipo de sensor encapsulado es el LM35, el cual presenta un rango de trabajo de -55°C a 150°C , con una precisión calibrada de un 1°C . Tiene una salida lineal con una relación de 10mV por grado centígrado. Su encapsulado presenta la alimentación que va de 4V a 30V, tierra y el voltaje de salida que es proporcional a la

temperatura revisada. Por esas características, además del bajo costo que presenta, es uno de los sensores que se puede utilizar en la implementación del proyecto, al compararlo con las características de los otros sensores de temperatura que se presentan en este mismo apartado.

A.5.3.4 Sensores de voltaje y corriente

El chequeo del voltaje se puede realizar por medio del circuito que se presenta en la figura A.5.9, donde se utiliza un divisor de tensión para reducir el voltaje de manera que se pueda trabajar en forma digital, además de un capacitor C para obtener el voltaje promedio como se aprecia en la ecuación A.5.12.

$$V_c = \frac{1}{C} \int i_c dt + V_c(t=0) \quad (\text{A.5.12})$$

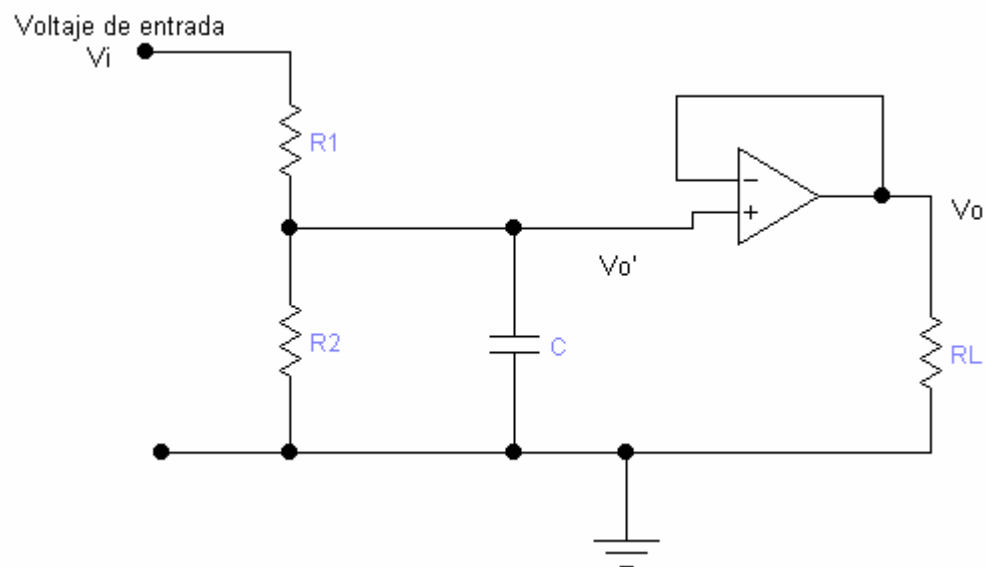


Figura A.5. 9 Circuito para medir el voltaje.

La configuración de las resistencias y el capacitor lleva a obtener una función de transferencia que se presenta en la ecuación A.5.13.

$$\frac{V_0'}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 * C} \frac{1}{\left(\frac{1}{R_2 / R_1 * C} + j\omega \right)} \quad (\text{A.5.13})$$

Se usa también un seguidor de tensión que posee ganancia unitaria, para aislar la impedancia entre la entrada y la salida debido a que el amplificador operacional presenta una impedancia de entrada de $2\text{M}\Omega$ como se presenta en el anexo B.6.

El chequeo de corriente se realiza de forma indirecta, a través del voltaje que produce la corriente a revisar. Para ello se utiliza una resistencia cercana a la unidad para que la relación entre el voltaje y la corriente sea prácticamente uno, como se muestra en la ecuación A.5.14 que no es más que aplicar la ley de ohm.

$$\begin{aligned} V &= IR \Rightarrow R = 1\Omega \\ V &= I \end{aligned} \quad (\text{A.5.14})$$

A partir de esta tensión se aplica un circuito igual al del chequeo de tensión, como se puede observar en la figura A.5.10.

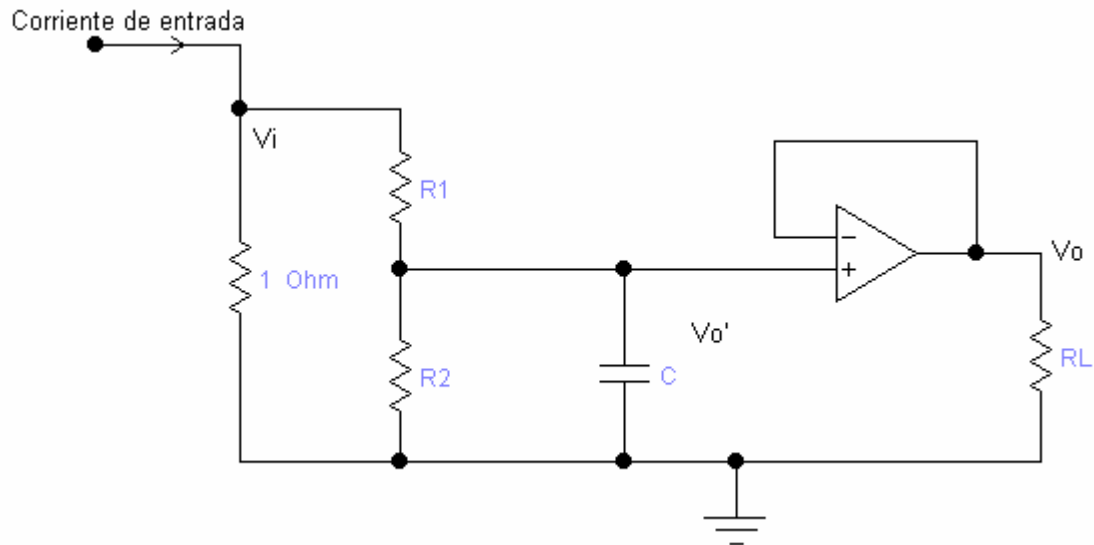


Figura A.5. 10 Circuito para revisar la corriente.

Anexos

Anexo B.1 Especificaciones de la motocicleta eléctrica⁸

Especificaciones

Modelo	DZ4009L (SCM5)
Medidas	
Largo	1670 mm
Ancho	700 mm
Altura	1100 mm
Altura hasta el asiento	800 mm
Distancia entre ejes de las 2 llantas	1200 mm
Rango de velocidad	0 ~ 40 km/h
Velocidad máxima	< 40 km/h
Carga máxima	75 kg (incluyendo el conductor)
Pendiente máxima para ascender	>4°30'
Rango de viaje	50 km (scooter nuevo, calle en buenas condiciones, 20km/h constante, 75 kg de carga)
Peso del scooter	68 kg (excluyendo las baterías)
Motor	
Tipo	Motor trasero CD imanes permanentes de Tierras Raras
Modelo	138SYX001-J1
Voltaje	24 V
Corriente	45 A
Energía	800 W
Eficiencia	>75%
Rotación	550 rpm
Batería	Hecha en EEUU
Modelo	Eficacia alta, totalmente sellada, no necesita mantenimiento, diseñada especialmente para scooters eléctricos
Tipo	G12V38Ahx2 baterías
Llanta	
Medida (delantera)	3.00 – 10.00 4PR

⁸ Tomado de [7]

(trasera)	3.00 – 10.00 4PR
Cargador	Hecho en Taiwán
Caja de carrete	Hecho en Taiwán
Conector de la batería	Hecho en EEUU
Armazón de distribución del cable principal	Hecho en Alemania
Luz delantera	Hecho en Taiwán
Controlador	Partes de Taiwán
Relé	Hecho en Reino Unido o Taiwán

Anexo B.2 Especificaciones del microcontrolador PIC 16F877⁹



28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

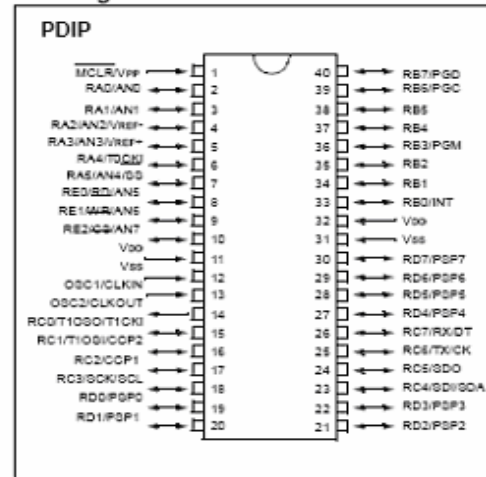
Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory
- Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
- Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73/874/876/877
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and

Oscillator Start-up Timer (OST)

- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming¹ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 μ A typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI¹ (Master/Slave mode) and I²C
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for

⁹ Tomado de [15]

Anexo B.3 Especificaciones del transistor MOSFET IRFZ40.



IRFZ40
IRFZ40FI

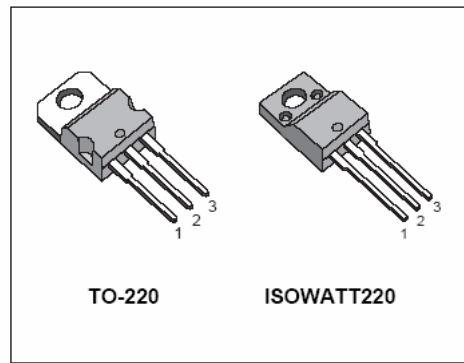
N - CHANNEL ENHANCEMENT MODE POWER MOS TRANSISTORS

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRFZ40	50 V	< 0.028 Ω	50 A
IRFZ40FI	50 V	< 0.028 Ω	27 A

- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.022 Ω
- AVALANCHE RUGGED TECHNOLOGY
- 100% AVALANCHE TESTED
- REPETITIVE AVALANCHE DATA AT 100°C
- LOW GATE CHARGE
- HIGH CURRENT CAPABILITY
- 175°C OPERATING TEMPERATURE

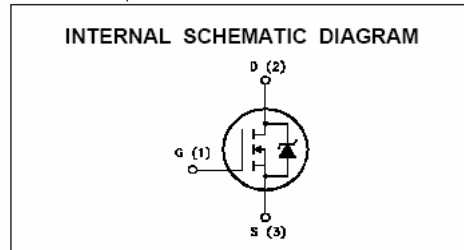
APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- SOLENOID AND RELAY DRIVERS
- REGULATORS
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- AUTOMOTIVE ENVIRONMENT (INJECTION, ABS, AIR-BAG, LAMPDRIVERS, Etc.)



TO-220

ISOWATT220



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRFZ40	IRFZ40FI	
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	50	50	V
V _{DGR}	Drain- gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	50	50	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20		V
I _D	Drain Current (cont.) at T _c = 25 °C	50	27	A
I _D	Drain Current (cont.) at T _c = 100 °C	35	19	A
I _{DM} (*)	Drain Current (pulsed)	200	200	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _c = 25 °C	150	45	W
	Derating Factor	1	0.3	W/°C
V _{ISO}	Insulation Withstand Voltage (DC)	—	2000	V
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 175		°C
T _j	Max. Operating Junction Temperature	175		°C

(*) Pulse width limited by safe operating area

Anexo B.4 Especificaciones del regulador de voltaje LM317.



July 2004

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential volt-

age, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

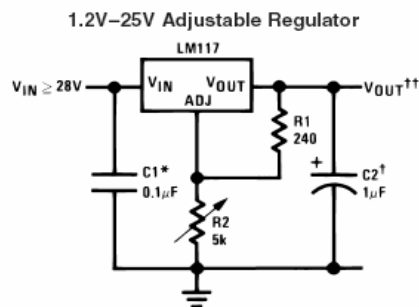
Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications



00906301

Full output current not available at high input-output voltages

*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

†Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1μF to 1000μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger\dagger V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages



SOT-223

TO-252

00906354

Scale 1:1

Anexo B.5 Especificaciones del regulador de voltaje LM338.



**LM138/238
LM338**

THREE-TERMINAL 5-A ADJUSTABLE VOLTAGE REGULATORS

- GUARANTEED 7A PEAK OUTPUT CURRENT
- GUARANTEED 5A OUTPUT CURRENT
- ADJUSTABLE OUTPUT DOWN TO 1.2V
- LINE REGULATION TYPICALLY 0.005% /V
- LOAD REGULATION TYPICALLY 0.1%
- GUARANTEED THERMAL REGULATION
- CURRENT LIMIT CONSTANT WITH TEMPERATURE
- STANDARD 3-LEAD TRANSISTOR PACKAGE

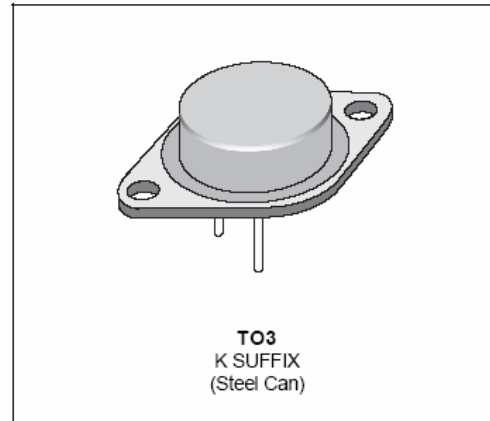
DESCRIPTION

The LM138/LM238/LM338 are adjustable 3-terminal positive voltage regulators capable of supplying in excess of 5A over a 1.2V to 32V output range. They are exceptionally easy to use and require only 2 resistors to set the output voltage. Careful circuit design has resulted in outstanding load and line regulation comparable to many commercial power supplies. The LM138 family is supplied in a standard 3-lead transistor package.

A unique feature of the LM138 family is time-dependent current limiting. The current limit circuitry allows peak currents of up to 12A to be drawn from the regulator for short periods of time. This allows the LM138 to be used with heavy transient loads and speeds start-up under full-load conditions. Under sustained loading conditions, the current limit decreases to a safe value protecting the regulator. Also included on the chip are thermal overload protection and safe area protection for the power transistor. Overload protection remains functional even if the adjustment pin is accidentally disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated far from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators. Besides replacing fixed regulators or discrete designs, the LM238 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to input differential is not exceeded.

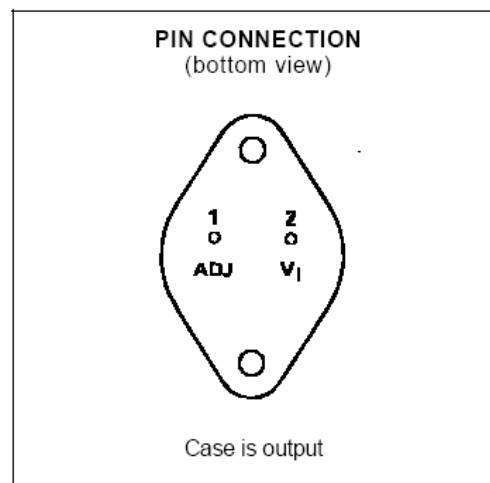
The LM138/LM238/LM338 are packaged in standard steel TO-3 transistor packages. The LM138 is rated for operation from -55 °C to 150 °C, the LM238 from -25 °C to +150 °C and the LM338 from 0 °C to +125 °C.



ORDER CODE

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
		K
LM138	-55 °C to +150 °C	•
LM238	-25 °C to +150 °C	•
LM338	0 °C to +125 °C	•

EXAMPLE: LM138K



Anexo B.6 Especificaciones del LM324.



CA124, CA224, CA324, LM324, LM2902

Data Sheet

May 2001

File Number 796.5

Quad, 1MHz, Operational Amplifiers for Commercial, Industrial, and Military Applications

The CA124, CA224, CA324, LM324, and LM2902 consist of four independent, high-gain operational amplifiers on a single monolithic substrate. An on-chip capacitor in each of the amplifiers provides frequency compensation for unity gain. These devices are designed specially to operate from either single or dual supplies, and the differential voltage range is equal to the power-supply voltage. Low power drain and an input common-mode voltage range from 0V to V+ -1.5V (single-supply operation) make these devices suitable for battery operation.

Part Number Information

PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0124E	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CA0124M (124)	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15
CA0124M96 (124)	-55 to 125	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15
CA0224E	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
CA0224M (224)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
CA0324E	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
CA0324M (324)	0 to 70	14 Ld SOIC	M14.15
CA0324M96 (324)	0 to 70	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15
LM324N	0 to 70	14 Ld PDIP	E14.3
LM2902N	-40 to 85	14 Ld PDIP	E14.3
LM2902M (2902)	-40 to 85	14 Ld SOIC	M14.15
LM2902M96 (2902)	-40 to 85	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15

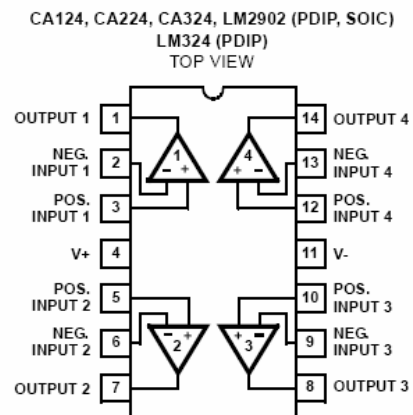
Features

- Operation from Single or Dual Supplies
- Unity-Gain Bandwidth 1MHz (Typ)
- DC Voltage Gain 100dB (Typ)
- Input Bias Current 45nA (Typ)
- Input Offset Voltage 2mV (Typ)
- Input Offset Current
 - CA224, CA324, LM324, LM2902 5nA (Typ)
 - CA124 3nA (Typ)
- Replacement for Industry Types 124, 224, 324

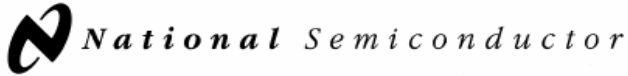
Applications

- Summing Amplifiers
- Multivibrators
- Oscillators
- Transducer Amplifiers
- DC Gain Blocks

Pinout



Anexo B.7 Especificaciones del sensor de temperatura LM35.



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

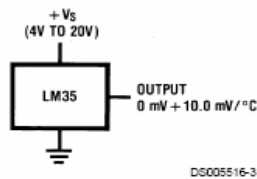
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10 with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

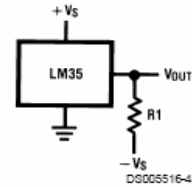
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



DS005516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Anexo B.8 Especificaciones del optoaislador.



NTE3098 Optoisolator Phototransistor ^w/NPN Transistor Output

Description:

The NTE3098 consists of a phototransistor optically coupled to a gallium arsenide infrared emitting diode in a single 4-Lead DIP type package.

Features:

- Collector-Emitter Voltage: $V_{CEO} = 55V$ Min
- Current Transfer Ratio: $I_C/I_F = 100\%$ Min
- Isolation Voltage: $BV_S = 5000V_{rms}$ Min

Absolute Maximum Ratings: ($T_A = +25^\circ C$ unless otherwise specified)

LED

Forward Current, I_F	60mA
Derate above $39^\circ C$	$0.7mA/^\circ C$
Pulse Forward Current (100 μs Pulse, 100pps), I_{FP}	1A
Power Dissipation, P_D	100mW
Derate above $25^\circ C$	$1mW/^\circ C$
Reverse Voltage, V_R	5V
Junction Temperature, T_J	$+125^\circ C$

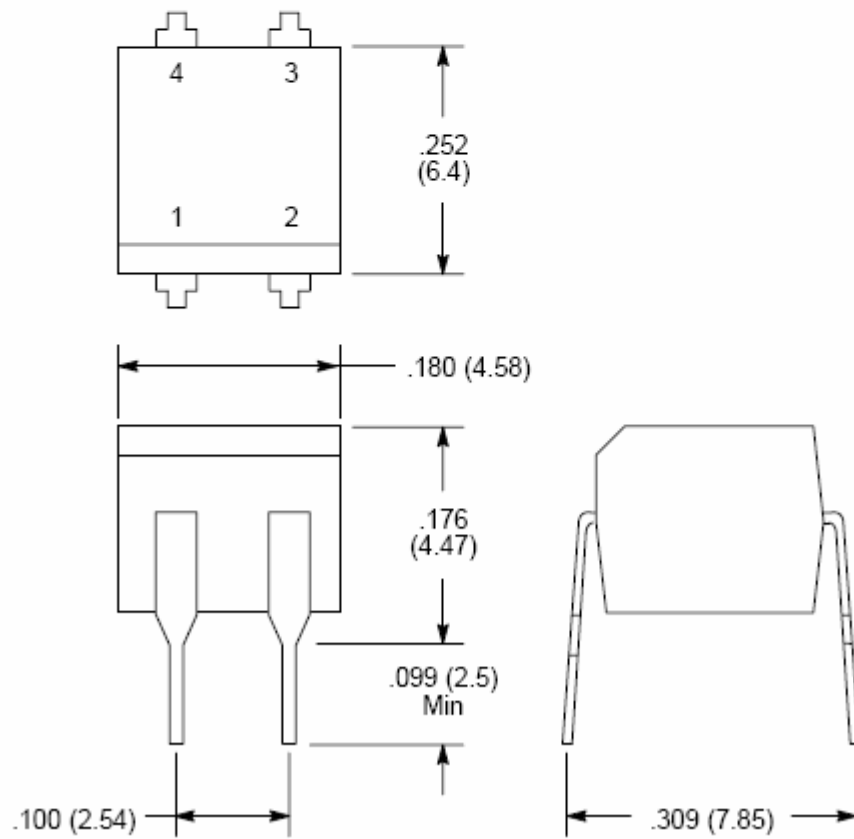
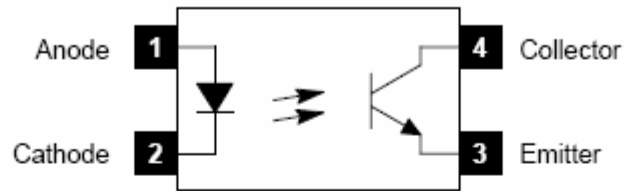
DETECTOR

Collector-Emitter Voltage, V_{CEO}	55V
Emitter-Collector Voltage, V_{ECO}	7V
Collector Current, I_C	50mA
Collector Power Dissipation, P_C	150mW
Derate above $25^\circ C$	$1.5mW/^\circ C$
Junction Temperature, T_J	$+125^\circ C$

COUPLED

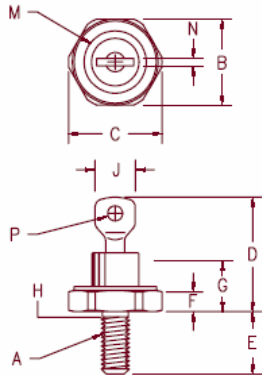
Total Package Power Dissipation, P_T	250mW
Derate above $25^\circ C$	$2.5mW/^\circ C$
Isolation Voltage (AC, 1 min., $RH \leq 60\%$), BV_S	$5000V_{rms}$
Storage Temperature Range, T_{stg}	-55° to $+150^\circ C$
Operating Temperature Range, T_{opr}	-55° to $+100^\circ C$
Lead Temperature (During Soldering, 10sec), T_L	$+260^\circ C$

Pin Connection Diagram



Anexo B.9 Especificaciones del diodo 12A.

Silicon Power Rectifier S/R204 Series



Notes:

- 10-32 UNF3A
- Full threads within 2 1/2 threads
- Standard Polarity: Stud is Cathode
Reverse Polarity: Stud is Anode

Dim.	Inches		Millimeter		Notes
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	
A	---	---	---	---	1
B	.424	.437	10.77	11.10	
C	---	.505	---	12.82	
D	.600	.800	15.24	20.32	
E	.422	.453	10.72	11.50	
F	.075	.175	1.91	4.44	
G	---	.405	---	10.29	
H	.163	.189	4.15	4.80	2
J	---	.310	---	7.87	
M	---	.350	---	8.89	Dia
N	.020	.065	.510	1.65	
P	.070	.100	1.78	2.54	Dia

D0203AA (D04)

Microsemi Catalog Number Standard	JEDEC Numbers	Peak Reverse Voltage
*S20410	1N1199, 1N1199A, 1N1199B 1N1200, 1N1200A, 1N1200B	50V 100V
*S20420	1N1201, 1N1201A, 1N1201B 1N1124,A, 1N1202, 1N1202A, 1N1202B 1N1125,A, 1N1203, 1N1203A, 1N1203B	150V 200V 300V
*S20440	1N1126,A, 1N1204, 1N1204A, 1N1204B 1N1127,A, 1N1205, 1N1205A, 1N1205B	400V 500V
*S20460	1N1128,A, 1N1206, 1N1206A, 1N1206B	600V
*S20480		800V
*S204100		1000V
*S204120		1200V

*Change S to R in part number for Reverse Polarity
For JEDEC numbers add R to part number for Reverse Polarity NOTE: The Reverse Polarity For the A & B versions may be listed as RA or RB instead of AR or BR

- Glass Passivated Die
- Low Forward Voltage
- 250A Surge Rating
- Glass to metal seal construction
- V_{RRM} to 1200V

Electrical Characteristics

Average forward current	$I_F(AV)$ 12 Amps	$T_C = 170^\circ C$, half sine wave, $R_{\theta JC} = 2.5^\circ C/W$
Maximum surge current	I_{FSM} 250 Amps	8.3ms, half sine, $T_J = 200^\circ C$
Max $I^2 t$ for fusing	$I^2 t$ 260 A ² s	
Max peak forward voltage	V_{FM} 1.2 Volts	$I_{FM} = 30A; T_J = 25^\circ C^*$
Max peak reverse current	I_{RM} 10 μA	$V_{RRM, T_J} = 25^\circ C$
Max peak reverse current	I_{RM} 1.0 mA	$V_{RRM, T_J} = 150^\circ C^*$
Max Recommended Operating Frequency	10kHz	

*Pulse test: Pulse width 300 μsec . Duty cycle 2%

Thermal and Mechanical Characteristics

Storage temperature range	T_{STG}	-65°C to 200°C
Operating junction temp range	T_J	-65°C to 200°C
Maximum thermal resistance	$R_{\theta JC}$	2.5°C/W Junction to Case
Mounting torque		25-30 inch pounds
Weight		.16 ounces (5.0 grams) typical