

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT

TELEMANIPULADO PUESTO A PRUEBA EN

EL CAMPEONATO ECUATORIANO DE ROBOTS 2005”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACIÓN EN ELECTRÓNICA Y

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Presentado por:

SEUNG YONG YOO CHOI

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2007

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por su misericordia y la oportunidad que me ha dado para presentar mi tesis.

A mis padres y hermanos que me apoyaron incondicionalmente con palabras y mostrando cariño.

No podría haber sido posible sin la ayuda, paciencia y soporte de mi director de tesis
Ing. Dennys Paillacho,

Amigos y compañeros que han contribuido de una u otra forma al éxito de mi tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a toda mi familia por ese amor invaluable, incondicional apoyo y alegría que me dan al tenerlos cada momento de mi vida.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

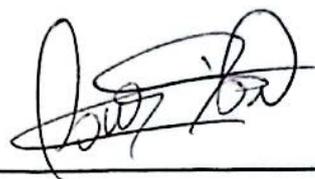


Seung Yong Yoo Choi

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



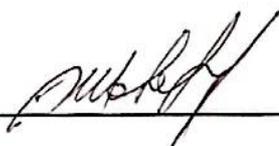
Ing. Holger Cevallos
SUB-DECANO (E) DE LA FIEC



Ing. Dennys Paillacho
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Alberto Manzur
VOCAL PRINCIPAL



Ing. Damián Larco
VOCAL PRINCIPAL

RESUMEN

El proyecto esta dividido en: módulo de transmisión, módulo de control, módulos de potencia y los motores eléctricos.

El módulo de transmisión se encarga de enviar y recibir las señales en FM de tipo PPM.

El módulo de control recibe y procesa estas señales convirtiendo los señales PPM en señales PWM y en señales digitales que después serán amplificadas para ser enviadas hacia los motores eléctricos.

El módulo de potencia, que es el responsable de suministrar y regular la energía eléctrica necesaria a los demás módulos.

Y por último los motores eléctricos que son los encargados de generar movimientos del robot.

El presente trabajo detalla las técnicas utilizadas en la implementación del robot de batalla.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICES	
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ABREVIATURAS	XV
INTRODUCCIÓN	
Descripción del Proyecto	XVII
Objetivos	XVIII
Análisis de costos	XIX
Organización del Proyecto	XX
DESARROLLO	
CAPITULO 1	
BASES TEORICOS	
1.1 Medios de transmision utilizados.....	2
1.1.1 Radio Control	2
1.1.1.1 Transmisor	3
1.1.1.2 Receptor	5
1.1.2 Señal PPM vs señal PWM.....	6
1.1.3 Frecuencia Modulada	8
1.2 Dispositivo de control empleados	9
1.2.1 Microcontrolador 16F876	10
1.2.2 Multiplexor 74LS153	11

1.2.3 Compuerta AND 74LS08 Y CD4081B.....	12
1.2.4 Mosfets IRFZ44N y IRF9540N	13
1.2.5 OPAMPS LM324.....	14
1.3 Motores eléctricos	14
1.3.1 Motores de corriente directa (DC).....	15
1.3.2 Servomotor	17
1.4 Módulo de potencia.....	18
1.4.1 Baterías recargables.....	19
1.4.1.1 Nickel Cadmiun (NiCad).....	20
1.4.1.2 Sellada de GeL	21
1.4.2 Reguladores de voltaje positivo KIA7805	22

C A P I T U L O 2

MÓDULO DE TRANSMISION

2.1 Sistema de comunicación.....	25
2.1.1 Transmisor Futaba T4YF	25
2.1.2 Receptor Futaba R127DF.....	26
2.2 Datos Experimentales.....	27

C A P I T U L O 3

MODULOS DE CONTROL

3.1 Diagrama de bloques del módulo de control.....	30
3.2 Programación del Microcontrolador 16F876	31
3.3 Diseño esquemático de circuito digital y electrónico de control.....	34
3.3.1 Diseño de control digital	35
3.3.2 Diseño de control electrónico	36
3.3.3 Simulaciones de los circuitos	39

3.4 Resultados experimentales	47
C A P I T U L O 4	
MÓDULOS DE POTENCIA	
4.1 Baterías Recargables	53
4.2 Regulador de voltaje KIA7805	55
4.3 Diagrama de bloque de módulos de potencia.....	56
4.4 Resultados experimentales	57
C A P I T U L O 5	
MOTORES ELECTRICOS	
5.1 Motores de Corriente Directa.....	60
5.1.1 Calculos teóricos para el motor	61
5.2 Resultados experimentales	65
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
Futuros trabajos.....	74
El esquemático del nuevo diseño	75
Motor de combustion interna	76
ANEXOS	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Equipo de R/C completo	3
Figura 1.2	Transmisión de la señal FM	4
Figura 1.3	La señal Rf del receptor	5
Figura 1.4	Señal base de PPM.....	6
Figura 1.5	Señal PWM en diferentes porcentajes	7
Figura 1.6	Diagrama de bloques de PIC 16F876	10
Figura 1.7	Diagrama lógica de 74LS153	12
Figura 1.8a	Configuración de IRF9540	13
Figura 1.8b	Configuración de IRFZ44.....	13
Figura 1.9	Diagrama de circuito interno de LM324	14
Figura 1.10	Motor DC típico.....	16
Figura 1.11	Operación del servomotor.....	18
Figura 1.12	Celda de una batería.....	19
Figura 1.13	Batería Ni-Cad	21
Figura 1.14	Batería de Gel sellada	22
Figura 1.15	Regulador de voltaje KIA7805	23
Figura 2.1	Transmisor Futaba T4YF.....	26
Figura 2.2	Receptor Futaba R127DF	27
Figura 2.3	La palanca en posición superior.....	28
Figura 2.4	La palanca en posición central.....	28
Figura 2.5	La palanca en posición inferior.....	28

Figura 3.1 Diagrama de bloques de módulo de control 30

Figura 3.2 La duración de un pulso PPM..... 32

Figura 3.3 Diagrama de flujo de programación del Microcontrolador 33

Figura 3.4 Esquemático del circuito total..... 34

Figura 3.5 Esquemático de control digital 35

Figura 3.6 Circuito de amplificación y puente H..... 37

Figura 3.7 Circuito equivalente a un receptor 40

Figura 3.8a Simulación digital RV1 en posición superior 41

Figura 3.8b Simulación de amplificación de PWM1a (Generador de Pulsos): la salida de Opamp y la salida de AND 41

Figura 3.8c Simulación de amplificación de PWM1b (Tierra): La salida de OPAEP y la salida de AND 42

Figura 3.8d Simulación electrónica del puente H: grafico superior indica el terminal izquierdo del motor y el gráfico inferior indica el terminal derecho del motor 42

Figura 3.9a Simulación digital RV1 en posición central 43

Figura 3.9b Simulación de amplificación de PWM1a (Generador de Pulsos): la salida de Opamp y la salida de AND 43

Figura 3.9c Simulación de amplificación de PWM1b (Tierra): La salida de OPAEP y la salida de AND 44

Figura 3.9d Simulación electrónica del puente H: grafico superior indica el terminal izquierdo del motor y el gráfico inferior indica el terminal derecho del motor 44

Figura 3.10a Simulación digital RV1 en posición inferior	45
Figura 3.10b Simulación de amplificación de PWM1a (Generador de Pulsos): la salida de Opamp y la salida de AND	45
Figura 3.10c Simulación de amplificación de PWM1b (Tierra): La salida de OPAEP y la salida de AND	46
Figura 3.10d Simulación electrónica del puente H: grafico superior indica el terminal izquierdo del motor y el gráfico inferior indica el terminal derecho del motor	46
Figura 3.11a PWM de la palanca en +1 o -1	48
Figura 3.11b PWM de la palanca en +2 o -2	48
Figura 3.11c PWM de la palanca en +2.5 o -2.5	48
Figura 3.11d PWM de la palanca en +3 o -3	48
Figura 3.11e La palanca de transmisor	48
Figura 3.12a La señal amplificada del LM324 de la palanca en +1 o -1	49
Figura 3.12b La señal amplificada del LM324 de la palanca en +2 o -2... ..	49
Figura 3.12c La señal amplificada del LM324 de la palanca en +2.5 o -2.5	50
Figura 3.12d La señal amplificada del LM324 de la palanca en +3 o -3	50
Figura 3.13 Circuito de prueba de IRF9540 y IRFZ44	50
Figura 4.1 Interconexión de las celdas en una batería.....	53
Figura 4.2 La batería Ni-Cad usado en T4YF	53
Figura 4.3 La batería de Gel utilizado en el robot.....	54
Figura 4.4 El regulador KIA7805	55
Figura 4.5 El esquemático del regulador KIA7805	56

Figura 4.6	Diagrama de bloques de módulo de potencia	57
Figura 4.7	Curva de regulación de voltaje KIA7805	58
Figura 5.1	El motor DC utilizado para el robot.....	61
Figura 5.3	Motor en velocidad mínima y sentido de giro horario.....	67
Figura 5.4	Motor en velocidad media y sentido de giro horario	67
Figura 5.5	Motor en velocidad superior y sentido de giro horario.....	67
Figura 5.6	Motor en velocidad mínima y sentido de giro anti-horario	68
Figura 5.7	Motor en velocidad media y sentido de giro anti-horario.....	68
Figura 5.8	Motor en velocidad superior y sentido de giro anti-horario	68
Figura 6.1	Esquemático de proyecto futuro 1	75
Figura 6.2	Esquemático de proyecto futuro 2	76
Figura 6.3	Ciclos de tiempos del motor de combustión interna.....	77
Figura 6.4	Esquemático de proyecto futuro 3	78
Figura 6.5	Esquemático de proyecto futuro 4	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Costos requeridos para la construcción de un microrobot.....	XIX
Tabla 3.1	Cuadro de funciones lógicas de AND.....	36
Tabla 3.2	Cuadro de salidas digitales del PIC 16F876	47
Tabla 3.3	Resultados de la prueba con CD4081	49
Tabla 3.4	Estados del Mosfets con ciertos voltajes en el gate	51
Tabla 4.1	Cuadro de prueba de voltaje de KIA7805	58

ABREVIATURAS

R/C	Radio Control
PPM	Modulación de Pulso Posicional o Proporcional
PWM	Modulación de Ancho de Pulso
FM	Frecuencia Modulada
AM	Amplitud Modulación
PCM	Modulación de Pulso de Código
RF	Radio Frecuencia
HF	Alta Frecuencia
VHF	Muy Alta Frecuencia
PIC	Programable Integrated Control
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
OPAMP	Amplificador Operacional
IC	Circuito Integrado
FI	Frecuencia Imagen
Led	Light Emiter Diode
Vsat	Voltaje de Saturación
Vo	Voltaje de Salida
Vi	Voltaje de Entrada
RV1	Resistencia Variable

INTRODUCCIÓN

En esta sección se describe brevemente la función que tiene cada uno de los elementos que conforman el proyecto. Exponiendo además las bases sobre las cuales se justifica el proyecto y el aporte que este brinda al campo educativo como para incentivar a los jóvenes a crear, investigar y desarrollarse en el campo de la robótica.

El proyecto en su forma global involucra una variedad de tecnologías para la cual se utilizan diferentes herramientas dentro de cada uno de sus componentes, por esta razón se expondrán los objetivos generales que busca el proyecto en conjunto y en forma específica.

Uno de los últimos temas de este capítulo estará relacionado a la especificación de los costos de los equipos necesarios para el diseño y construcción del robot de batalla llamado “Piramibot”, además de la manera cómo ha sido organizado este documento para alcanzar las metas propuestas.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad existen para la comodidad y diversión de la gente los robots, entre las diversiones tenemos robots de batalla, a nivel de América hay estos tipos eventos llamados batalla de robots, el cual se ha popularizado en Estados Unidos y en algunos países sudamericanos.

Para los días 19 a 21 agosto de 2005 se llevó a cabo en la ciudad de Guayaquil el Campeonato Ecuatoriano de Robots 2005 (CER2005), organizado por el Centro de Visión y Robótica (CVR), Institute of Electric and Electronic Engineering (IEEE) - Rama Estudiantil y la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), entre las categorías se puede mencionar: Robot bailarín, Robot seguidor de línea, Prueba de creatividad, Fútbol Robótico Simulado (Simurosot), Fútbol Robótico Real (Mirosot), Categoría libre y Batalla de Robots, las cuales tienen normas previamente establecidas por el comité organizador.

El objetivo de la categoría “Batalla de Robots” es tratar de inhabilitar al robot oponente en un tiempo corto usando las armas que posee cada robots, en una cancha construida especialmente para este tipo de competencia, por lo tanto el robot con el mejor diseño ya sea en la parte de control electrónico y en la parte mecánica triunfaría en esta categoría.

OBJETIVOS

Generales

- Despertar el interés de los estudiantes para que éstos participen de una forma más activa en trabajos de investigación y desarrollo en áreas tales como la robótica.
- Adoptar el método de “aprender jugando”. Esto se debe a que los estudiantes se verán involucrados en un trabajo práctico y teórico.
- Adicionalmente, con el proyecto se promueve el intercambio de experiencias y conocimientos entre los investigadores de la ESPOL e investigadores de otras partes del mundo

Personales

- Diseñar e implementar la parte mecánica del robot.
- Analizar y experimentar con el módulo de transmisión para conocer bien sus funciones y las señales que manejan
- Diseñar e implementar el módulo de control general, capaz de recibir, procesar la información y generar señales digitales y PWM que permitan el movimiento del robot a través de los motores DC.

- Implementar un circuito regulador de voltaje que suministre la energía necesaria a los módulos de recepción, control y los motores.
- Participar periódicamente en los campeonatos de batalla de los robots. Por ejemplo CER2006

ANÁLISIS DE COSTOS

Los costos previstos para cumplir con la construcción del robot y del hardware externo para su programación se describen en la siguiente Tabla 1.1:

Ítem	Descripción	Cd.	P.U.	Total
1	Equipo Completo de R/C Futaba	1	173.85	173.85
2	Microcontrolador PIC16F876	1	9.40	9.40
3	Tarjeta PCB	2	16.00	32.00
4	Motores DC	3	40.00	120.00
5	Cable UTP	2	0.40	0.80
6	Estructuras metálicas	1	174.00	174.00
7	Baterías de gel : 12V y 6V	2	20.00	40.00
8	Mosfets Irfz44n	6	0.70	4.20
9	Mosfets Irf9540	6	1.40	8.40
10	Socket de 14 pines	8	0.10	0.80
11	Lm324	2	0.45	0.90
12	CD4081b	3	0.25	0.75
13	74LS153	1	0.25	0.25
14	Resistencias, capacitores , cristal y otros			15.00
TOTAL				580.35

Tabla 1.1 Costos requeridos para la construcción del Piramibot

ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

Se ha planteado trabajar el diseño del componente electromecánico sobre la base de cuatro módulos principales: recepción, control, motores y potencia

Con esta base y una vez determinadas los módulos principales que conforman el robot, se propone a continuación cual será la estructura de organización de este documento bajo el cual se describe la implementación de cada uno estos módulos.

- En el capítulo 1 se realiza un estudio de bases teóricas en la cual se detalla cada una de los elementos que son utilizados para la implementación o ensamblaje de uno u otro módulo que integran el robot.
- En el capítulo 2 presentamos una base teórica referente a los dispositivos involucrados en el sistema de comunicación entre el transmisor y el receptor de radio control Futaba y sus experimentos realizados.
- En el capítulo 3 se presenta el módulo de control. Esta es la parte esencial del proyecto cuyo elemento principal de este módulo es un microcontrolador, y también se habla de circuito electrónico y digital del sistema, así como la codificación del microcontrolador.

- El capítulo 4 propone el diseño del módulo de potencia que son las baterías. En este se especifica la interconexión entre el dispositivo, la tarjeta de control y los respectivos motores DC.

- En el capítulo 5 se indica el funcionamiento de los motores, y los señales que receptan para control de sentido y velocidad de las mismas

- Por último las conclusiones, recomendaciones y futuros trabajos.

CAPÍTULO I

BASES TEÓRICAS

El inicio de todo proyecto fundamenta su desarrollo principalmente en una base teórica que permita posteriormente su eficaz implementación. Por esta razón antes de emprender con la implementación directa del Piramibot se propone este capítulo con la finalidad de conocer las especificaciones técnicas, las características principales, ventajas y desventajas de los equipos a utilizar en el proyecto. Para esto, Se hará estudio de las posibles soluciones para la implementación de cada uno de los módulos propuestos.

1.1 Medios de transmisión utilizados

Radio Control es el medio de comunicación utilizado en este proyecto para transmitir señales inalámbricamente en una banda de frecuencia entre 2 módulos en forma simplex, es decir un módulo se encarga de enviar las señales y el otro módulo se encarga recibir dichas señales en una vía.

1.1.1 Radio Control

El radio control es el uso de las señales de radio para controlar remotamente otro dispositivo. Consta de 2 partes fundamentales que son: transmisor y receptor

Existen diversas marcas de R/C que son utilizados para control de vehículos terrestres, acuáticos y aéreos, entre las más conocidas se encuentran: Tower Hobbys, Hobby Town USA, Radiotronix Inc, JR Radios y Futaba. Y su precio varía (150 a 350 dólares aproximadamente) dependiendo de señales de codificación tipo y banda de frecuencia y las cantidades de canales de transmisión.

La Figura 1.1 se puede ver una de las primeras generaciones de equipo de R/C completo, el cual consta de transmisor, receptor, servomotores y las baterías recargables.



Figura 1.1 Equipo de R/C completo

1.1.1.1. Transmisor

CONTROL - MODULADOR - RF (Transmisor)

El transmisor de radio control puede dividirse en dos grandes bloques: el primer gran bloque es el que se encarga de generar la señal que codifica los comandos llamado codificador, generador de señal base o modulador y el segundo bloque es el que se encarga de transmitir por radio lo que el codificador le "dice". Conocido como etapa de RF o transmisor de radio.

El Modulador tiene la función de tomar la información que le proveen la posición de las palancas de control o botones de control y producir

una señal codificada. Entre las señales de codificación más usados son: PPM, PCM y PWM.

En la etapa de RF la señal base es la que entra para ser elevada en frecuencia del orden de los KHz al orden de los MHz, esto se hace para poder ser transmitida hasta el receptor

Elevar de frecuencia la señal tiene el propósito de aprovechar las características de las ondas de radio de alta frecuencia (HF) y de muy alta frecuencia (VHF), las cuales se propagan con una muy buena eficiencia y con antenas pequeñas.

En la Figura 1.2 indica la forma como funciona el transmisor.

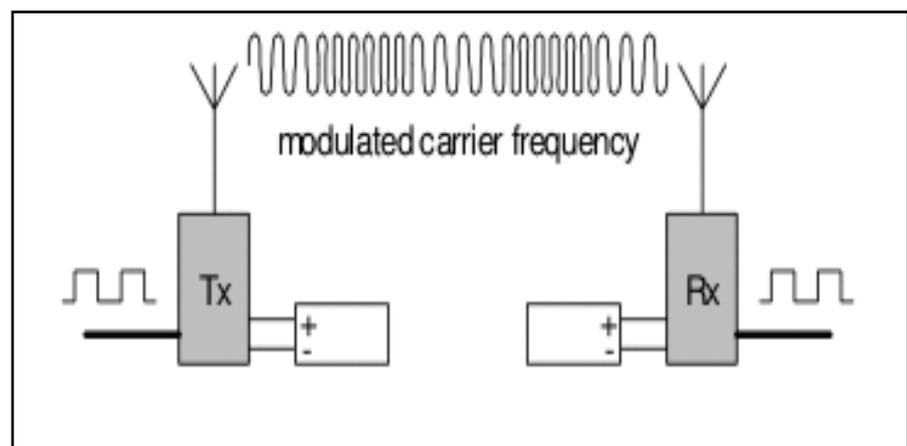


Figura 1.2. Transmisión de la señal FM

1.1.1.2. Receptor

RF (Receptor) - DEMODULADOR – SERVO

Los receptores de radio control no son otra cosa que el tratamiento de la señal en el sentido inverso a la del transmisor.

En la etapa de RF es donde se capta la señal de R/C (ver Figura 1.3) y se procesa a nivel de alta frecuencia. Esta etapa puede ser diseñada para recibir señales en AM o FM, es decir que para poder ser compatible con nuestro transmisor debe recibir en el mismo modo que este.

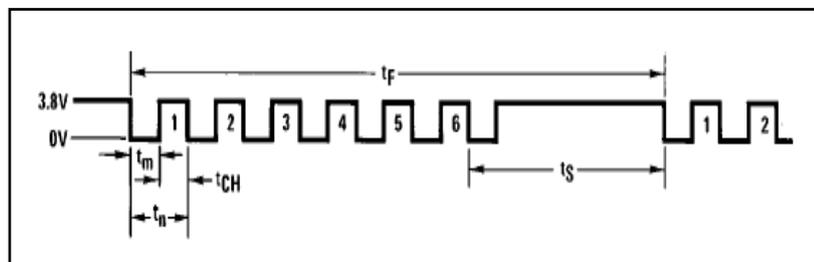


Figura 1.3. La señal Rf de Receptor

En la etapa de Demodulador, una vez que el detector de AM o FM entrega la señal, esta señal es la señal de base, es la misma señal que entrega el modulador en el circuito del transmisor, solo que esta vez en

de inyectarla a la etapa de RF lo que hace es desarmarla hasta su máxima expresión para que sea interpretada por fin por los servos

Como el Demodulador debe detectar el fin de una trama para darle comienzo al principio de una nueva contiene un contador que permite saltar de un canal a otro teniendo en cuenta que la entrada de datos es secuencial. Esta señal ingresa con señal de "clock" para el contador.

El contador necesita que algún dispositivo externo le avise que debe empezar de nuevo (reset). La señal de reset es una señal de entrada para el contador, así también como la de la señal base de R/C, esa señal es externa y es el resultado de una "espera".

1.1.2 La Señal PPM vs La Señal PWM

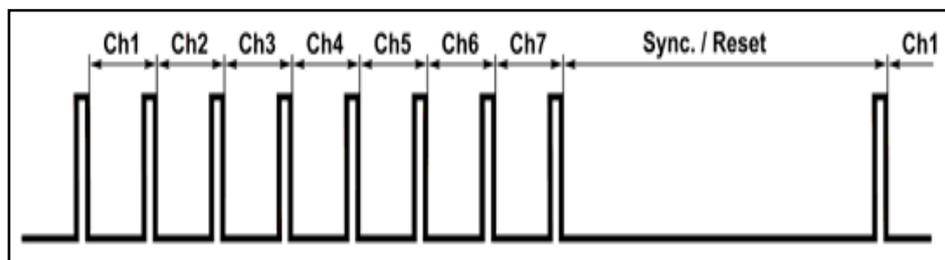


Figura 1.4. Señal base de PPM

En la figura 1.4 se puede observar que se transmiten 7 canales y el tiempo de sincronismo todo en una trama de 20ms, respecto a la cantidad máxima

de canales que se pueden transmitir en este tipo de señal es de 10 canales para un tiempo total de 30ms, la trama nunca debe ser mayor de 30ms porque luego en la reconstrucción para que la entrada el servo

La señal tiene unos estados altos con menos duración que los estados bajos, en cambio la segunda señal (también en PPM) tiene los estados altos mas duraderos; es como si una fuera el "negativo" de la otra, y estas dos señales son ambas validas para la transmisión de PPM ya que todo depende del receptor que se encarga de decodificar del otro lado.

Como desventaja se puede decir que es fácil de interferir y que se produzcan errores en la interpretación de los datos cuando la señal se torna un poco más débil. Los servos pueden dañarse ante pulsos mal interpretados o demasiado largos o demasiado cortos.

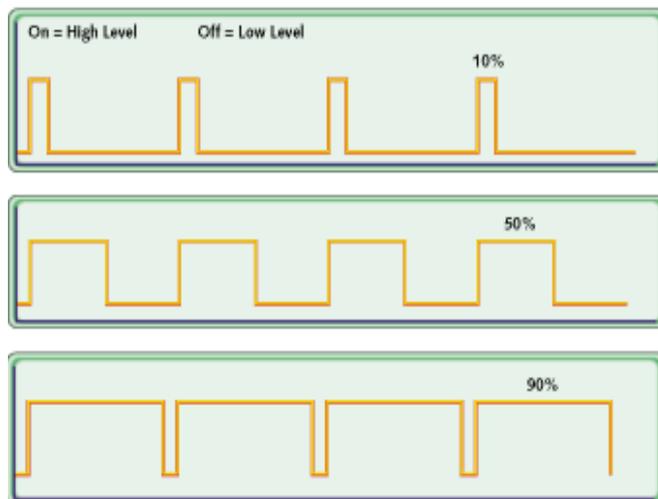


Figura 1.5. Señal PWM en diferentes porcentajes

Se puede observar en la Figura 1.5 igual que señal PPM el señal PWM también constituyes en un tren de pulsos. El señal PWM podría empezar desde frecuencia 0 (estado apagado) y de frecuencia infinita (estado encendido permanente) donde alcanza la máxima velocidad. La señal PWM se utiliza como técnica para controlar circuitos analógicos. El periodo y la frecuencia del tren de pulsos puede determinar la potencia entregada a dicho circuito.

Las diferencias entre PPM y PWM serían que en PPM la frecuencia no empieza desde cero, además el ancho de pulso es limitado (aproximadamente 0 a 2ms) y por lo tanto hay mayor consumo de energía en PWM que PPM. El PPM es comúnmente usado para controlar los servomotores y el PWM es frecuentemente usado para controlar los motores eléctricos.

1.1.3 Frecuencia Modulada

Es el proceso de codificar información, la cual puede estar tanto en forma digital como analógica, en una onda portadora mediante la variación de su frecuencia instantánea de acuerdo con la señal de entrada. El uso más típico de este tipo de modulación es la radiodifusión en FM.

La modulación de frecuencia requiere un ancho de banda mayor que la modulación de amplitud para una señal modulante equivalente, sin embargo este hecho hace a la señal modulada en frecuencia más resistente a las interferencias. La modulación de frecuencia también es más robusta ante fenómenos de desvanecimiento de amplitud de la señal recibida. Es por ello que la FM fue elegida como la norma de modulación para las transmisiones radiofónicas de alta fidelidad.

Una señal modulada en frecuencia puede ser también usada para transportar una señal estereofónica. Sin embargo, esto se hace mediante multiplexación de los canales izquierdo y derecho de la señal estéreo antes del proceso de modulación de frecuencia.

De forma inversa en el receptor se lleva a cabo la demultiplexación después de la demodulación de la señal FM. Por lo tanto el proceso estereofónico es totalmente ajeno a la modulación en frecuencia propiamente dicha.

1.2 Dispositivos de Control Empleado

Entre los integrados y elementos de control electrónico utilizado se pueden dividir en 2 partes: elementos digitales y elementos electrónicos.

Entre los elementos digitales, que manejan en su gran mayoría voltajes iguales o menores de 5 Voltios en corriente continua únicamente, por ejemplo los elementos utilizados para este proyectos son: 1 PIC 16F876, 74LS153 y el 74LS08 o CD4081B.

Los elementos electrónicos, que manejan desde 3 voltios en adelante que podrían ser de corriente AC y corriente DC que son utilizado para este proyecto son: LM324, IRF9549, IRFZ44N, KIA 7805 Resistencias y Capacitares.

1.2.1 El Microcontrolador 16F876

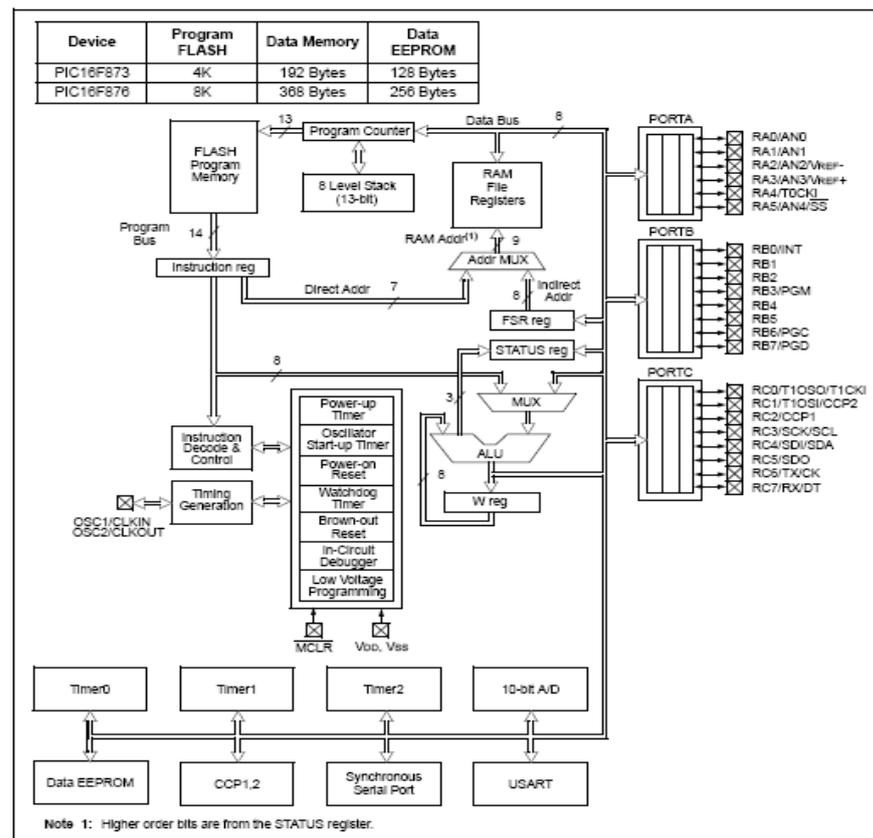


Figura 1.6. Diagrama de bloques de PIC16F876

Este elemento digital es la parte esencial del proyecto, porque este elemento es el que tiene dominio todo el sistema de control. En otras palabras su función principal para el robot es receptor las señales PPM que viene desde el R127DF a través del multiplexor y convertirlas en señales digitales para la dirección de los motores y en señales PWM para la velocidad de motores. En este caso el PIC 16F876 es capaz de generar hasta 2 señales PWM y múltiples salidas digitales de acuerdo con su programación y configuración. En la Figura 1.6 se puede ver como está constituido el microcontrolador 16F876.

1.2.2 El Multiplexor 74LS153

Este elemento digital es el que recibe directamente del R127DF las señales PPM para después transmitir al microprocesador. Sirve también para conversión del dato paralelo a serial y multiplexar desde N líneas a 1 línea en forma rápida, y el promedio de tiempo de propagación desde dato es de 14ns y desde selecciones en 22ns. En la Figura 1.7 se observa el circuito interno del multiplexor.

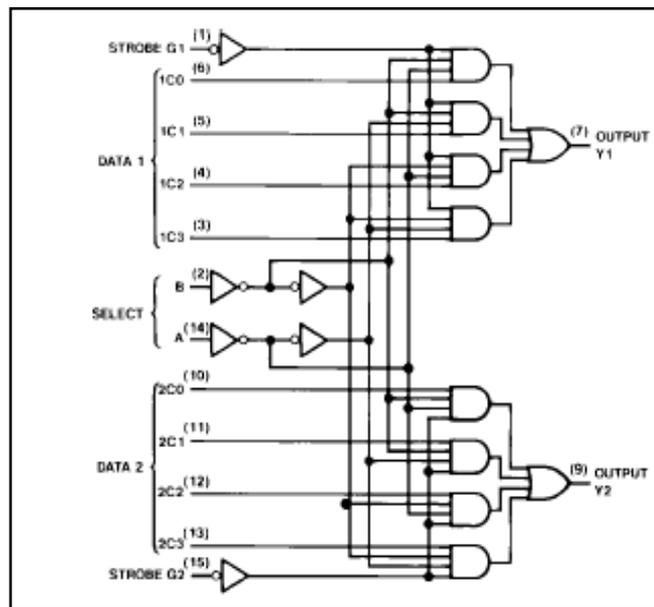


Figura 1.7. Diagrama l3gica de 74LS153

1.2.3 Compuertas AND 74LS08 y CD4081B

Constan de 4 compuertas AND independientes para realizar las funciones l3gicas de comparaci3n, generalmente utilizados en un circuito digital en el caso de 74LS08

Ambos elementos cumplen las mismas funciones, excepto que en CD4081B soporta en sus entradas y salidas voltajes superiores a 5, es decir hasta 20 voltios, adem3s que pueden acoplar 2 fuentes y cambian en las configuraciones de los pines.

1.2.4 IRFZ44N y IRF9540N

Son elementos electrónicos utilizados para controlar las corrientes que circulan entre el Drenador y Surtidor mediante un voltaje aplicado a la compuerta G

Los MOSFETs de potencia también denominados HEXAFETs, ambos MOSFETs son de tecnología de avanzado proceso de conmutación rápido.

Las diferencias entre IRFZ44N y IRF9540N son los siguientes:

- IRFZ44N es de canal N, su corriente I_d es 49A y su voltaje V_{dss} es 55 V su configuración se puede observar en la Figura 1.8a
- IRF9540 es de canal P, su corriente I_d es -23A y su voltaje V_{dss} es -100V su configuración se puede observar en la Figura 1.8b.

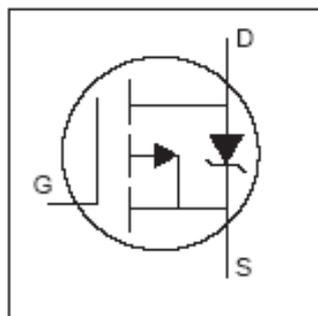


Figura 1.8.a Configuración de IRF9540

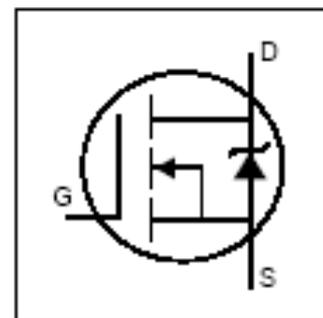


Figura 1.8.b Configuración de IRFZ44

1.2.4 LM324

Este elemento electrónico contiene 4 OPAMPs independientes de alto rendimiento, el cual sirve para amplificar la señal utilizando las diferentes configuraciones de conexiones. En la Figura 1.9 se puede ver el circuito interno del integrado.

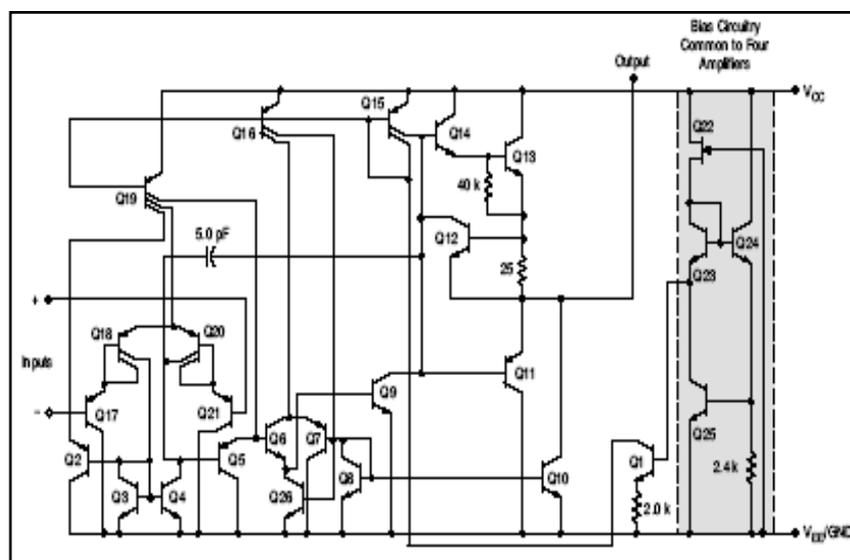


Figura 1.9. Diagrama de circuito interno de LM324

1.3 Motores Eléctricos

Se considera motores eléctricos aquellos dispositivos que mediante aplicación de energía eléctrica en sus terminales se transforma en forma de energía mecánica o cinética.

Se puede clasificar en 2 grandes clases de acuerdo al tipo de energía eléctrica suministrado para generar movimientos y estos son: motores de corriente AC y motores de corriente DC.

Por lo general los motores de corriente AC son de grandes dimensiones, utilizados en la industria, son de mayor consumo de corriente y voltaje; y los motores de corriente DC son de menores dimensiones y por lo tanto de menor consumo de corriente y voltaje

1.3.1 Motores de corriente DC

Los motores DC son comúnmente usados para trabajos pequeños y se acomodan bien a estos propósitos. Aparecen en una gran variedad de formas y tamaños: imán permanente con base de acero, imán permanente sin rotor de acero, magneto permanente sin escobillas, de paso con reluctancia variable, de paso con imán permanente, motores de paso híbridos.

Para las necesidades del robot, un motor DC usualmente funciona a demasiada velocidad y a muy bajo torque. Para cambiar esta característica, un motor DC debe ser reducido mediante un **reductor** de engranajes conectando el eje del motor a una tren de engranajes causa que la salida del eje del tren de engranajes vaya más despacio pero con mayor torque que el eje de entrada. Un tren de engranajes puede ser ensamblado discretamente y

fijado al eje del motor, o un motor DC puede ser comprado con el tren de engranajes preempaquetado dentro de la cápsula del motor.

Estos motores compactos son llamados motores DC con reductor incluido y serán de gran ayuda para trabajar con robots pequeños. Los motores DC con reductor están normalmente basados en un rotor de imán permanente sin hierro para que sean lo más livianos posible. Estos además se los pueden adquirir con un codificador de posición incorporado. La Figura 1.10 muestra un motor DC con reductor.



Figura 1.10 Motor DC con reductor

La mayoría de los motores DC tienen dos terminales eléctricas. Aplicando un voltaje entre las terminales causará que el motor gire en un sentido, mientras que un cambio en la polaridad hará que el motor gire en el otro sentido. La polaridad del voltaje determina la dirección del motor, mientras la amplitud del voltaje determina la velocidad del motor.

1.3.2 Servomotor

Otro tipo de motor DC con más de dos terminales eléctricos es un dispositivo conocido como *servo motor*. Aunque el término *servo motor* es usado en una variedad de contextos, a lo que nosotros nos referiremos es al servo motor DC de tres cables que es a menudo usado para el control de superficie en un modelo de aeroplano o para el manejo de dirección en los carros a control remoto. Este tipo de ensamblaje incorpora un motor DC, un tren de engranajes, límite de parada mas allá del cual el eje no puede girar, un potenciómetro para la retroalimentación de la posición y un circuito integrado para el control de la posición. De los tres cables que salen del motor, uno es de poder, uno es tierra y uno es una entrada de control donde un ancho de pulso (*pulse-width*) modulado señala la posición del servomotor. Un servo motor consiste en un motor DC con reductor incluido, un sensor de posición en el eje y un circuito integrado para su control, todo empaquetado en la cubierta del servo motor.

Los servomotores pueden ser extremadamente compactos y fáciles de controlar, y debido a su producción en masa para la industria de juguetes, son a menudo más baratos que otros motores DC con reductores. Aunque estos tienen una rotación menor a los 360 grados y por consiguiente no son convenientes para robots con ruedas, estos motores a menudo encuentran aplicaciones en los grippers, brazos y patas.

En la Figura 1.11 se puede observar la operación del servomotor, dependiendo del ancho del pulso PPM el eje del servomotor cambia de posición. En 1ms la posición de eje del servomotor es el extremo izquierdo y en 2ms la posición de eje del servomotor es el extremo derecho.

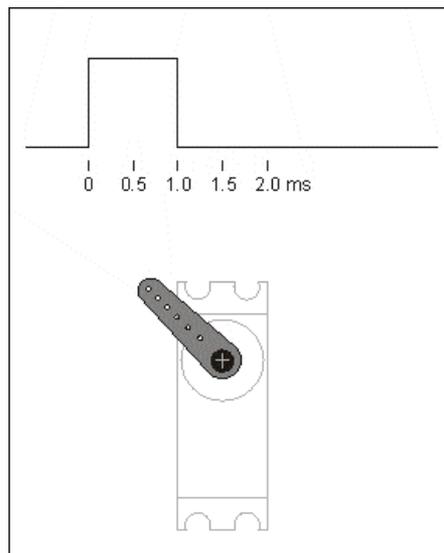


Figura 1.11. Operación de Servomotor

1.4 Módulos de Potencia

Como el módulo de poder está encargado del suministro de energía eléctrica a los demás componentes, se requiere del estudio tanto del tipo de baterías recargables como de los reguladores de voltaje existentes en el mercado. Así, se ha dividido a este apartado en: baterías recargables y reguladores de voltaje.

1.4.1. Baterías recargables

Una batería convencional convierte energía química guardada en energía eléctrica (ver Figura 1.12). Esto se logra a través del flujo de electrones donde quiera que haya una ruta conductiva entre las celdas con electrodos. Los electrones fluyen como un resultado de una reacción química entre las dos celdas con electrodos que están separados por un electrolito. El voltaje provisto por una celda depende del material del electrodo, su área y el material entre los electrodos (electrolito).

Las celdas recargables operan bajo el mismo principio, excepto que la reacción química que ocurre es reversada mientras está siendo cargada. Cuando se conecta a un cargador apropiado, las celdas convierten energía eléctrica en energía química. El proceso se repite cada vez que la celda es descargada y recargada.

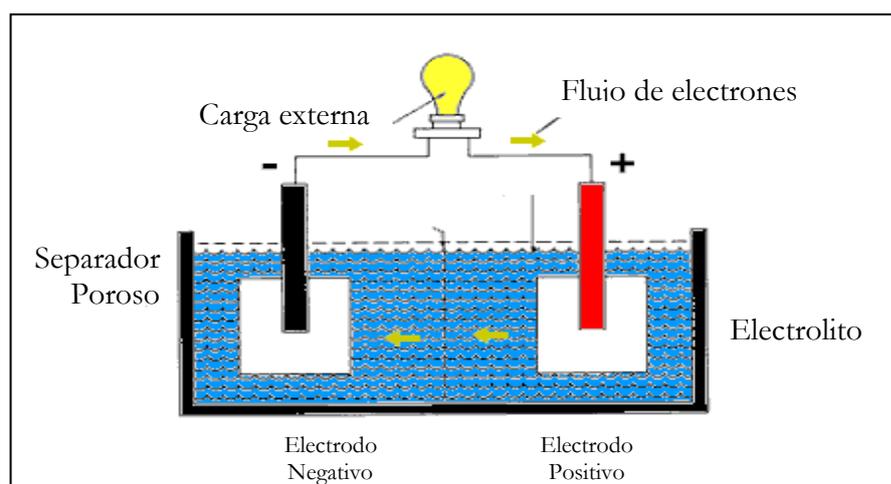


Fig. 1.12 Celda de una batería

Un parámetro que permite medir el rendimiento de una batería es la capacidad (medido en Ah., Amperios por hora o mAh. miliamperios por hora). En términos simples, el voltaje sería la fuerza propulsora de cada uno de los electrones salientes de una batería y la capacidad se relaciona con el número de electrones que puede ser obtenido de ella. Una vez explicado el funcionamiento básico de una batería, veamos los diferentes tipos de celdas existentes.

1.4.1.1 Nickel Cadmiun (NiCd)

Las baterías recargables de NiCd (Figura 1.13) son las más comúnmente utilizadas en aplicaciones del consumidor. Vienen en tamaños similares a las no recargables y tienen un voltaje menor a 1.2V por celda. Su alto costo y elevada tasa de descarga las hacen convenientes para aplicaciones electrónicas de juguetes. Además, de su baja capacidad de almacenamiento de energía, 750mAh, es un inconveniente en el uso de PC portátiles o teléfonos móviles. La baterías de NiCd tienen problemas asociados con el *efecto de memoria* y puede ser recargada entre 200 y 800 veces. El *efecto de memoria* es una propiedad de las baterías, mediante la cual las baterías “recuerdan” cuanta carga fue liberada en descargas previas. Esto da una tendencia de liberar la misma cantidad de energía con cada ciclo de

carga/descarga. Si una batería siempre es descargada a medias antes de ser recargada, la capacidad de uso de la batería se verá reducida.

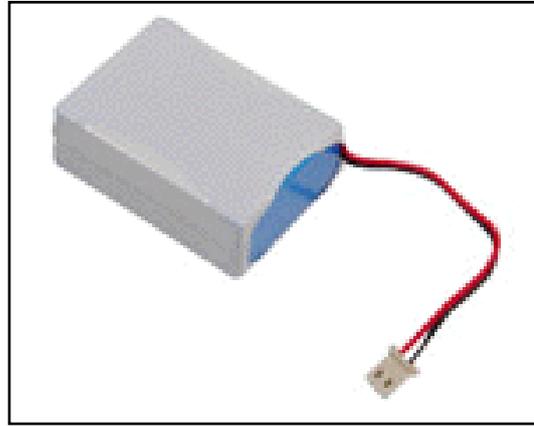


Figura 1.13 Batería NiCd

1.4.1.2 Batería de Gel sellada

Por lo general las baterías recargables de alto amperaje de almacenamiento son acumulador de plomo, es decir necesita de un fluido o ácido para producir una reacción química y generar energía eléctrica.

Las desventajas de estos tipos de batería son por su tamaño y solo se puede colocar de una manera para no derramar el líquido que contiene.

Entonces las baterías de gel sellada, también conocido como batería no derramable sirve para estos casos. Por lo cual los hacen preferible para los robots de batalla.



Figura 1.14. Batería de gel sellada

1.4.1.3 Reguladores de voltaje positivo KIA7805

Los reguladores de voltaje están incrementado su popularidad porque ofrecen ventajas de alta eficiencia de conversión de energía, además su tamaño reducido incrementa la flexibilidad en el diseño de dispositivos. En el proyecto se ha empleado el regulador de voltaje KIA7805 (Figura 1.15.) mantiene a un voltaje fijo de 5 Voltios positivo, pero que además puede ser conectado a componentes externos para obtener voltajes y corrientes de salida ajustables.

A la entrada pueden conectarse hasta 40V por lo que a su salida pueden obtenerse voltajes desde 5V hasta 24V.

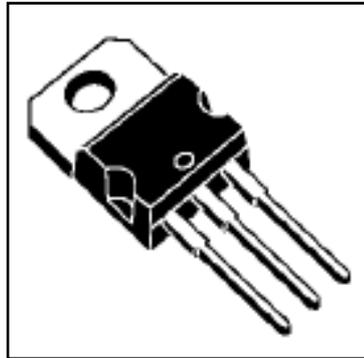


Figura 1.15 Regulador de Voltaje KIA7805

Este tipo de reguladores puede suplir hasta 1A de corriente, pero necesita un disipador de calor para manipular esa cantidad de corriente.

CAPÍTULO 2

MÓDULO DE TRANSMISION

El módulo de transmisión tiene como objetivo principal transmitir la información proveniente del transmisor y enviarla al receptor para que sea procesada. En este capítulo pondrá en detalles de cada uno de los elementos que conforman el módulo de transmisión, que en este caso sería el transmisor y el receptor Futaba que son utilizado para este proyecto. Se hará énfasis datos técnicos de cada elemento para conocer bien las características y funciones del equipo, de esa manera lograr una buena implementación del robot móvil. El equipo de R/C utilizado para el robot no es muy común en nuestro medio debido a su alto costo que representa y muy pocos tienen conocimientos y experiencias en manejo de este tipo de equipo. Finalmente los resultados experimentales que se obtuvieron en las pruebas con este módulo son expuestos al final del capítulo.

2.1 Sistema de Comunicación

Es primordial que exista un correcto sistema de comunicación entre el control remoto y el robot en la batalla de robot. Por un lado, el transmisor es el encargado de dar instrucciones al robot para que genere movimientos. En este caso se ha conseguido un sistema de comunicación R/C utilizado para el control aéreo. El equipo completo de R/C Futaba vienen los siguientes dispositivos: el transmisor, el receptor de la señal, el cargador de las baterías de transmisor y receptor, las baterías recargables y los servomotores

2.1.1 El Transmisor Futaba T4YF

El Transmisor posee 4 canales independientes están distribuidos en forma vertical y horizontal (ver Figura 2.1) y tiene su propio batería recargable de suministro cuyo voltaje de alimentación es 9.6 voltios DC a 600mAh y tiene cristal de 72.950 Mhz.

También posee una antena vertical expandible metálica de 1 metro y 4 interruptores de que permiten cambiar el sentido de giro de los servomotores sin necesidad de desconectarlo y cambiar de polaridad.

Las señales son primeramente modulado o codificado para luego de ser convertidos en señales FM en orden de 72Mhz y por último son enviados al

receptor R127DF. Estas señales varían de acuerdo a los movimientos de las palancas correspondientes de cada canal.



Figura 2.1 Transmisor Futaba T4YF

2.1.2 El Receptor Futaba R127DF

El Receptor tiene capacidad para recibir 7 señales de FM que vienen del transmisor, es decir tiene 7 canales, pero en este caso solo se utilizaría 4 canales provenientes del transmisor T4YF y los 3 canales quedarían libres (Ver Figura 2.2).

También posee una antena flexible de 1mts y un cristal de la misma banda de frecuencia que el transmisor T4YF.

Estas cuatro señales son remodulados y para luego convertirlos en señales PPM que son manejados por los servomotores.

Un problema muy común entre los receptores de conversión simple es la detección de la "frecuencia imagen", para evitar esto existen receptores de doble conversión como el receptor Futaba R127DF donde la señal es tratada de la siguiente manera: Entra la señal por la antena, es mezclada con un oscilador local produciendo una FI (Alta), luego esta FI es amplificada y filtrada para luego ser mezclada con un segundo oscilador local de una frecuencia tal que produce una nueva FI (baja).



Figura 2.2 Receptor Futaba R127DF

2.2 Datos experimentales

T4YF envía 4 señales independientes los cuales reciben en sus respectivos 4 canales del R127DF. Y se pudo observar que las 4 señales son de mismo tipo de señal. Entonces se hizo análisis en una de sus canales capturando su forma de onda en un osciloscopio digital.

Según los experimentos realizados con T4YF (transmisor) y R127DF (receptor) se han obtenidos siguientes gráficos:

Con la palanquita de control en la posición superior (Figura 2.3)..

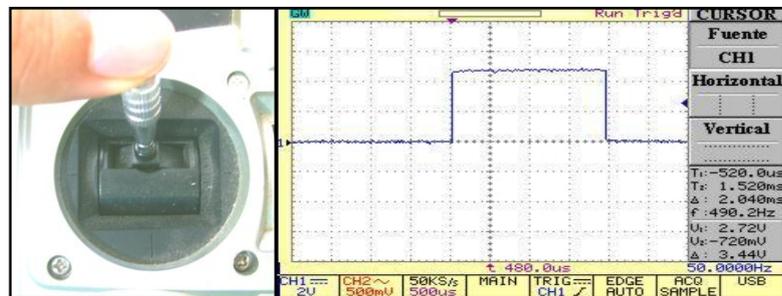


Figura 2.3 La palanca en posición superior

Con la palanquita de control en la posición central (Figura 2.4).

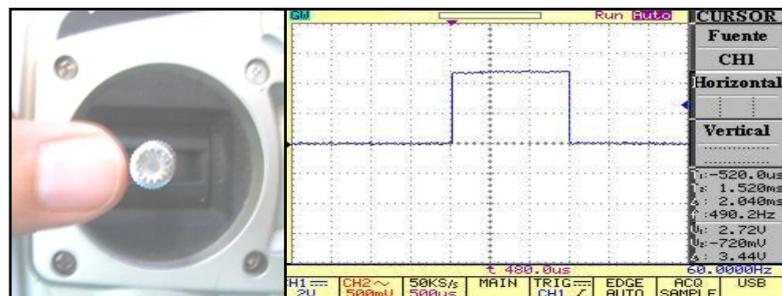


Figura 2.4 La palanca en posición central

Con la palanquita de control en la posición inferior (Figura 2.5).

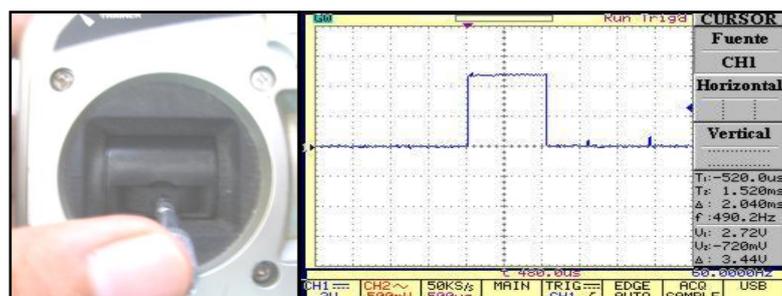


Figura 2.5 La palanca en posición inferior

CAPÍTULO 3

MÓDULO DE CONTROL

Este capítulo presenta el proceso utilizado para la implementación del módulo de control del robot, el cual constituye el punto central de operaciones del mismo. Este módulo es el encargado recibir señales provenientes del transmisor y enviar dichas señales que son procesadas por el Microcontrolador y amplificadas por los OpAmps hacia los motores. Dos submódulos han sido necesarios para su implementación: *Control digital* y *Control electrónico*. Control digital esta encargado de recibir señales PPM y transformar en señales PWM y señales digitales; y Control electrónico es encargado de amplificar las señales de control digital. Resultados experimentales de este módulo son presentados al final del capítulo.

3.1 Diagrama de bloques del Módulo de Control

Como se observa en la Figura 3.1, el módulo de control interactúa con todos los módulos del robot. El módulo de control constituye la parte fundamental del robot, convirtiéndose en un dispositivo capaz de recibir, procesar y generar señales supeditado de la información que le llega desde módulo receptor. En la Figura 3.1 explica en detalle cómo está estructurado el módulo de control.

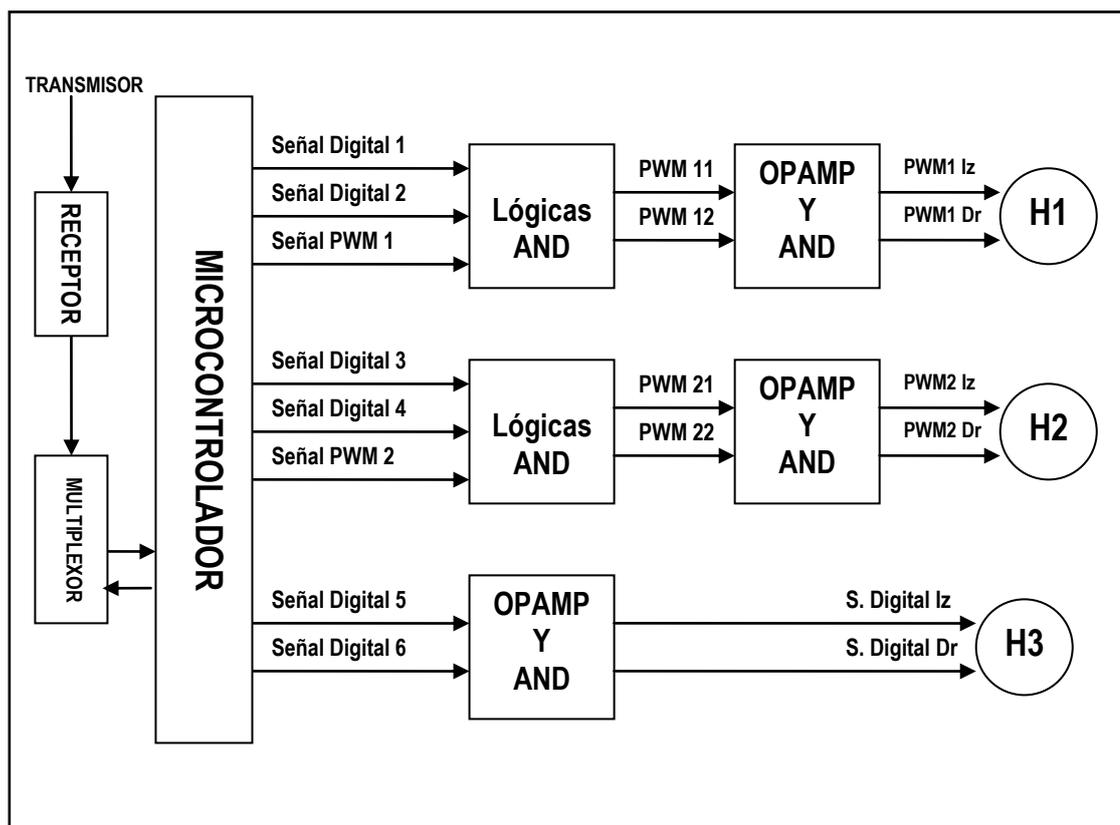


Figura 3.1 Diagrama de bloques del módulo de control

3.2 Programación del Microcontrolador 16F876

La presente sección pretende explicar la lógica del programa a través del diagrama de bloques y el diagrama de flujo para la programación del PIC 16F876, el cual forma parte esencial del módulo de control. Las herramientas utilizadas para programar el microcontrolador son:

- Software de simulación.
- Programador de microcontrolador, y
- Software de programación

Como software de simulación se ha utilizado el *MPLAB ICE (In-Circuit Emulator)* diseñado para la mayoría de los microcontroladores de la familia PIC. Este software provee alta velocidad de simulación y permite ejecutar funciones básicas de ejecución, parada, ejecución paso a paso, etc. Por otro lado, se conoce que el programador oficial de la familia PIC es el *PICSTART Plus*. El software de programación del *PICSTART* viene con el *MPLAB ICE* por tanto no necesita de un software aparte. El método de programación por lo tanto es sencillo: se realiza la codificación ya sea en ensamblador o en C y compilación del código en *MPLAB*, al compilarlo se crea un archivo con extensión *.hex* el cual lo carga en el *IC-Prog*, finalmente lo enviamos a grabar en el PIC por medio del *IC-Prog*. La codificación del microcontrolador, se ha agregado en Anexo 1.

Para la programación del microcontrolador se ha basado en los siguientes datos: el diagrama de bloques del 16F876 (Figura 3.2a), la duración de un ciclo de pulso (Figura 3.2) y el diagrama de flujo (Figura 3.3)

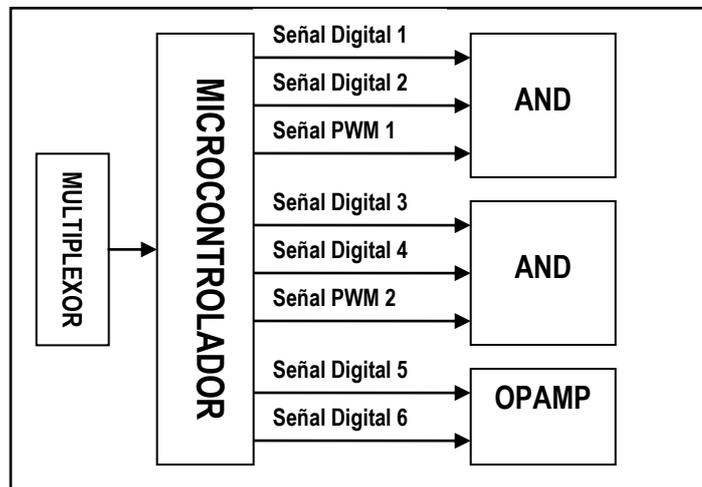


Figura 3.2a Diagrama de bloques de funciones del Microcontrolador

El microcontrolador tiene que recibir los datos provenientes del multiplexor y crear para cada motor 2 señales digitales para la dirección (normal e inversa) y una señal PWM para las diferentes velocidades, a excepción de un motor que va a funcionar con velocidad constante.

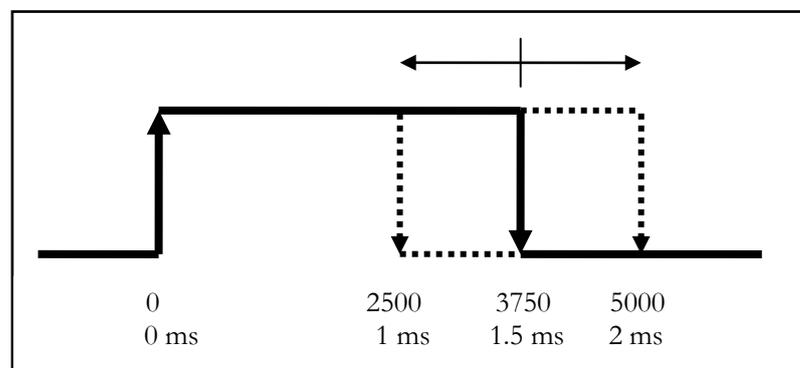


Figura 3.2 La duración de un pulso PPM

El diagrama de flujo

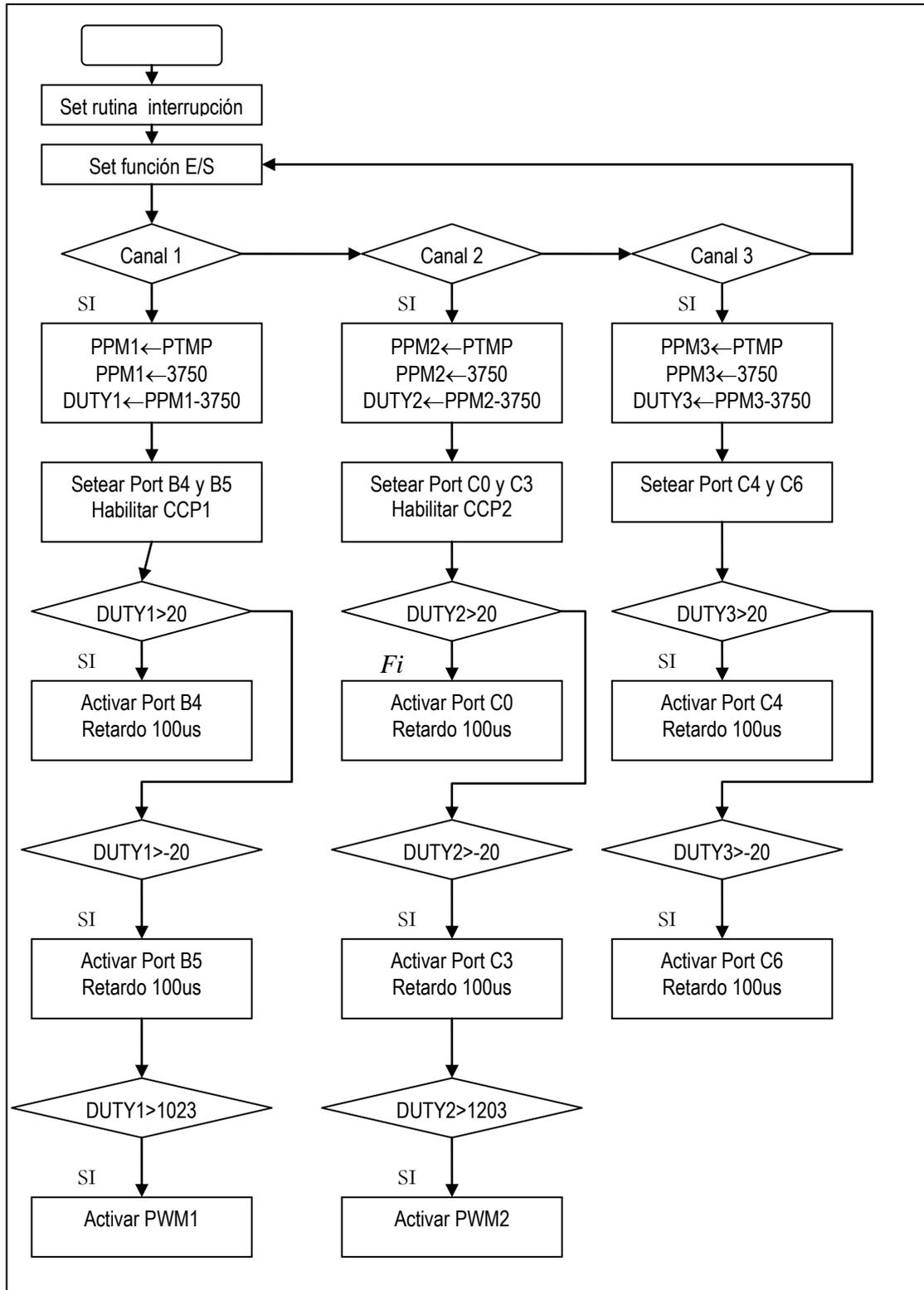


Figura 3.3 Diagrama de Flujo de Programación del Microcontrolador

3.3 Diseño esquemático de circuito digital y electrónico de control

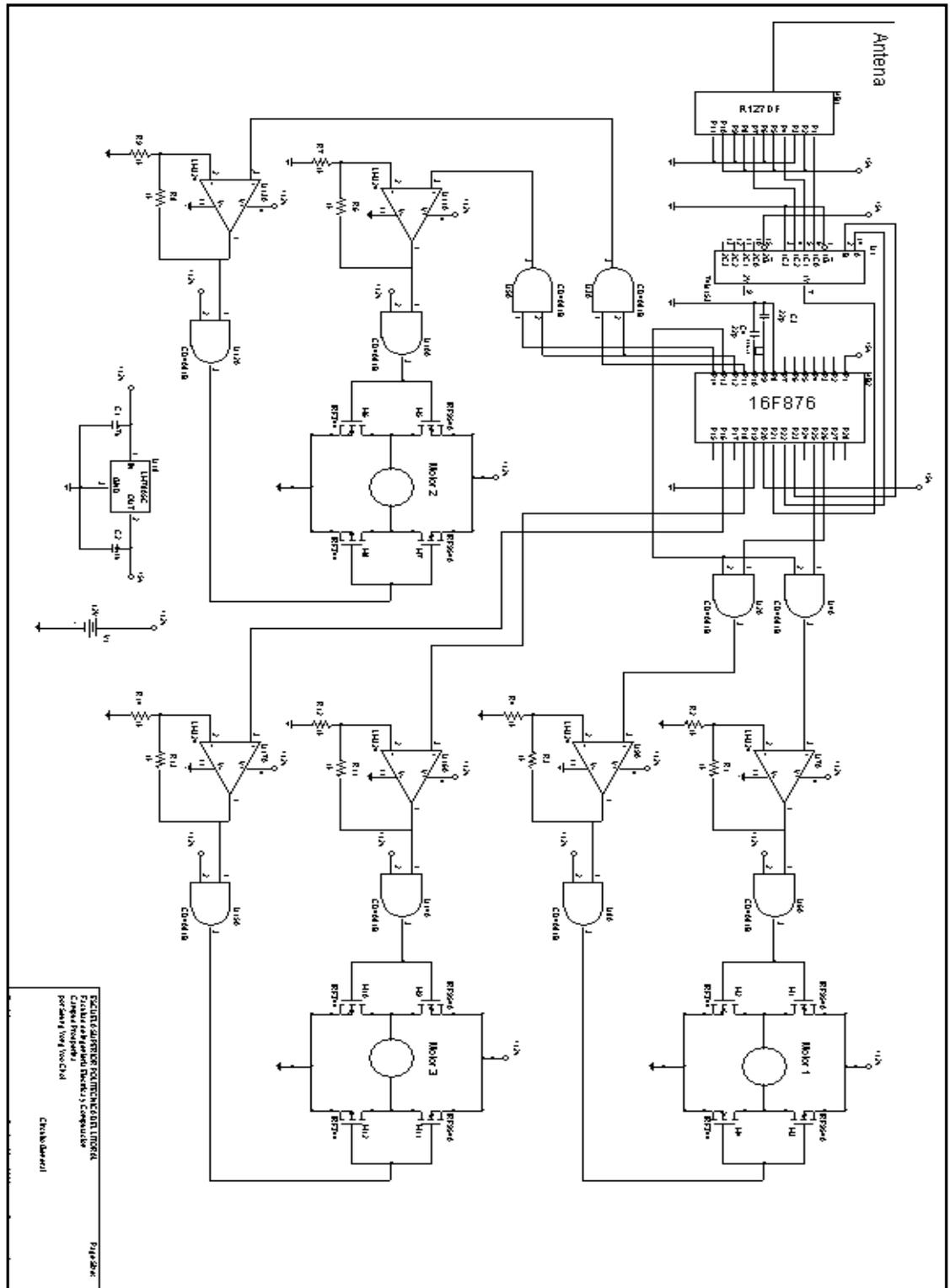


Figura 3.4 El esquemático del circuito total

Se ha hecho los análisis por separados en 2 partes: el diseño esquemático de control digital y el diseño esquemático de control electrónica para facilitar la explicación y tener mejor visión del circuito total. Ver Figura 3.4

3.3.1 Diseño esquemático del circuito digital (simulado en Proteus).

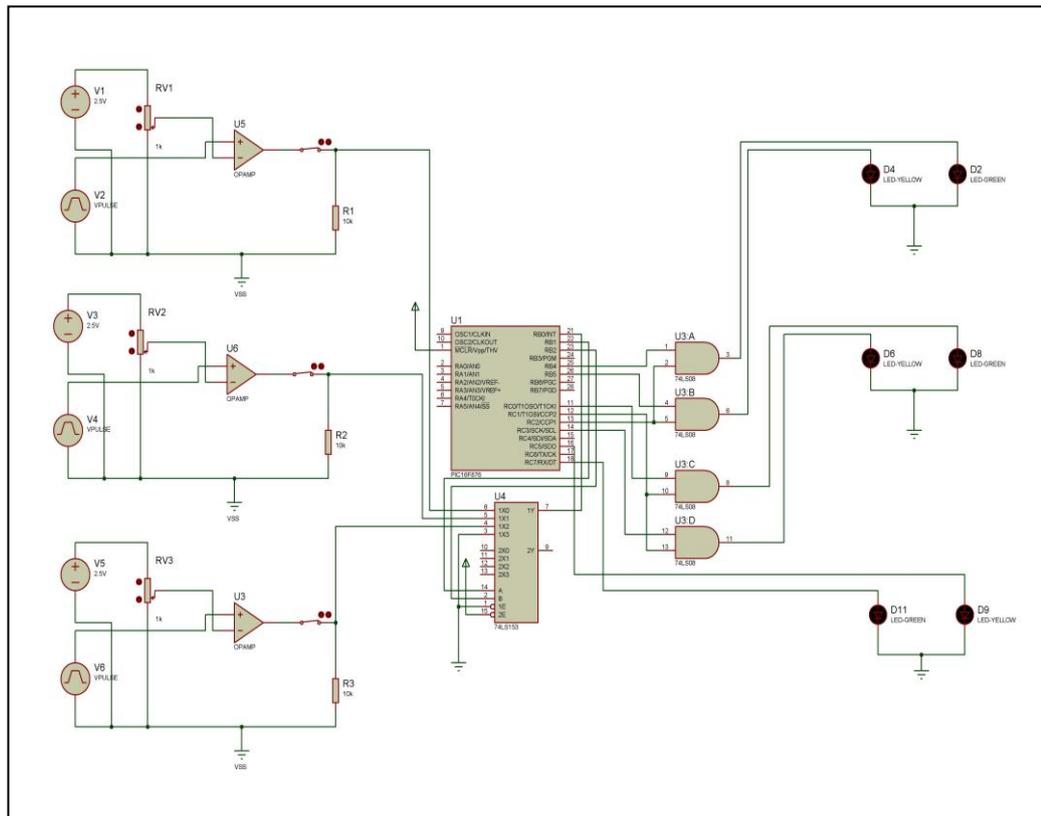


Figura 3.5 Esquemático de control digital

La parte de control digital como se observa en la Figura 3.5 se puede dividir en 3 partes: Selección, Conversión y Comparación.

Selección es encargado de recibir las señales PPM, seleccionarlas y enviarlas al PIC 16F876 para luego ser procesados. El elemento llamado 74LS153 hace que logre este propósito.

En la parte de conversión es encargado recibir las señales que vienen de 74LS153, es decir después de ser seleccionadas mediante un proceso programado en el interior del microcontrolador hace que las señales PPM se transformen en señales PWM y señales digitales.

En la parte de comparación es encargado de comparar señales que salen del microcontrolador 16F876 hacen pasar a través de las puertas AND para comparar señales digitales y señales PWMs. Al final se obtienen solo 2 señales PWM para cada motor y 2 señales digitales para tercer motor sin cambio de velocidad..

Para las puertas AND se ha basado en la Tabla 3.1 para combinar la señal digital y la señal PWM.

Function Table		
Y = AB		
Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

Tabla 3.1 Cuadro de funciones lógica de AND

Y en la salidas se han conectado Leds para simular las salidas de las señales del PIC 16F876 para después estar enlazado con la parte de amplificación electrónica.

3.3.2 Diseño esquemático de parte de control electrónico (Pspice)

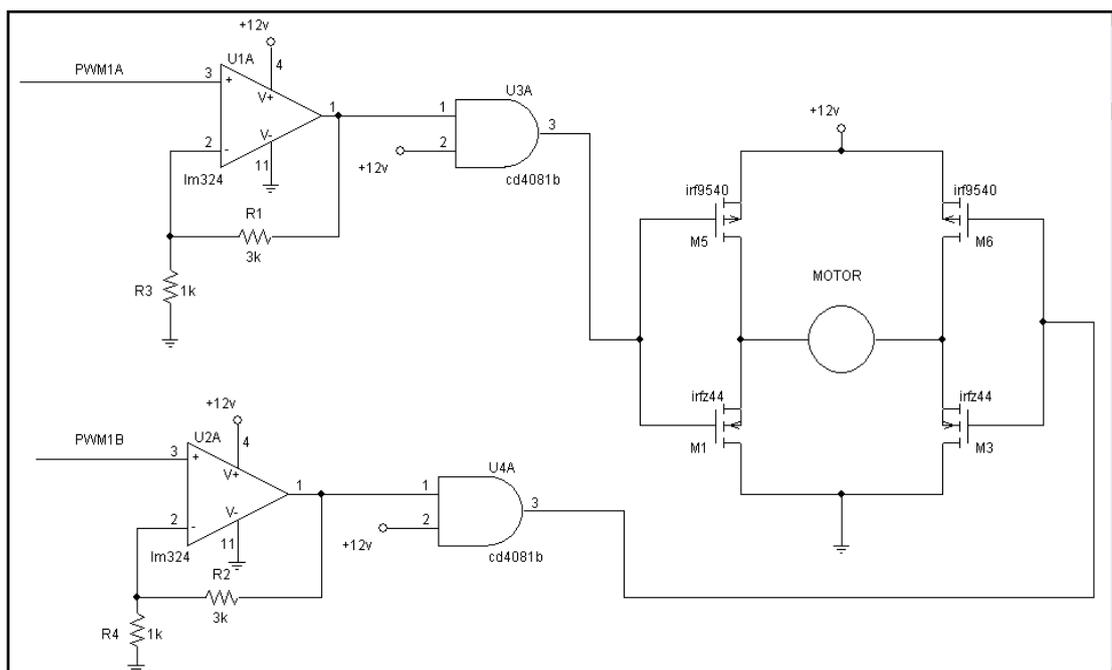


Figura 3.6 Circuito de amplificación y puente H

Este circuito de amplificación (Figura 3.6) es equivalente a otros 2 circuitos de amplificación para el control de motores. Por el cual se ha hecho análisis en uno de los tres.

El esquemático de control electrónico se puede dividir en 2 partes principales: La amplificación y la puente H

La amplificación de la señal se hace por medio de OpAmps, y la configuración que se ha aplicado es la de multiplicador no inversor como indica la Figura 3.6 y después a través de compuertas AND de alto voltaje para garantizar el voltaje adecuado para los terminales Gates de los Mosfets.

Este circuito de amplificación se aplica ya sea para amplificar señales PWM como señales digitales. Y se ha basado en la siguiente ecuación correspondiente a la configuración de amplificador multiplicador no inversor.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1k \\
 R_2 &= 2k \\
 V_o &= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_i \\
 V_o &= \left(1 + \frac{2k}{1k}\right) \cdot 5 \\
 V_o &= (3) \cdot (5) \\
 V_o &= 15V
 \end{aligned}$$

Pero como V_o no puede superar V_{sat} , el valor de V_o máximo sería 10 Voltios. Mínimo 0 Voltios. Basando en la tabla 3.1 el valor de voltaje máximo llegaría a ser 11.5V (restando 0.5V por la caída en CD4081B).

Y la puente H es uno de las configuraciones de circuito más usados para control de motores. El puente H del proyecto contiene en la parte

superior de la H, 2 Mosfets de canal P y en la parte inferior de la H, 2 Mosfets de canal N. Esto indica que cada vez que hay señal alto en el Gate, ya sea en la izquierda de la H o en la derecha de la H solo se activaría los Mosfets de canal N. Y por lo contrario cada vez que hay señal bajo en el Gate, solo se activaría los Mosfets de canal P. Haciendo que el motor gire por un lado al recibir la señal en el lado izquierdo de la H. Y el sentido contrario al recibir la señal en le lado derecho de la H.

3.3.3 Simulaciones de los circuitos de diseño

Para poder simular el circuito de control digital (Figura 3.5) se ha reemplazado el receptor R127DF por el circuito como muestra en la Figura. 3.7 debido a que el simulador no posee dicho elemento. En cada canal se repite el mismo circuito, en otras palabras se presentan tres circuitos iguales, ya que el módulo receptor tiene 3 canales habilitado en este proyecto. Y las simulaciones se han hecho Proteus 6 y en un solo canal, ya que las simulaciones de otros canales serían iguales.

Al variar el potenciómetro RV1 cambia el ancho de pulso de la señal PPM que equivaldría a palanca de control del transmisor T4YF.

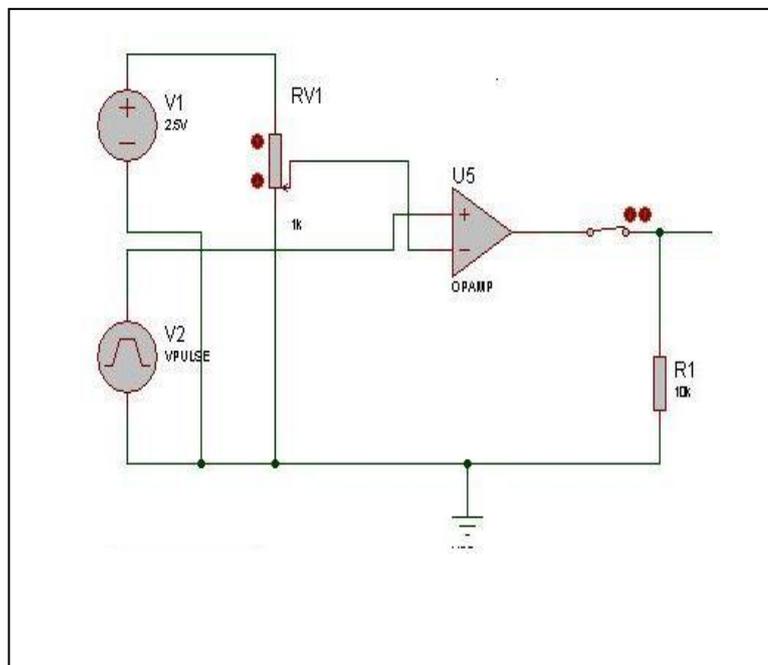


Figura 3.7 Circuito equivalente a un canal del receptor

Y para poder simular el circuito de amplificación de la Figura 3.6 tuvo que hallar el circuito equivalente (*Ver Anexos pagina 95*) Generador de Pulsos en las entradas del OpAmps para asimilar a un señal PWM en PSpice en todas simulaciones de las Figuras 3.8a a Figuras 3.10d.

RV1 en posición superior y un Generador de Pulso en el Opamp Superior

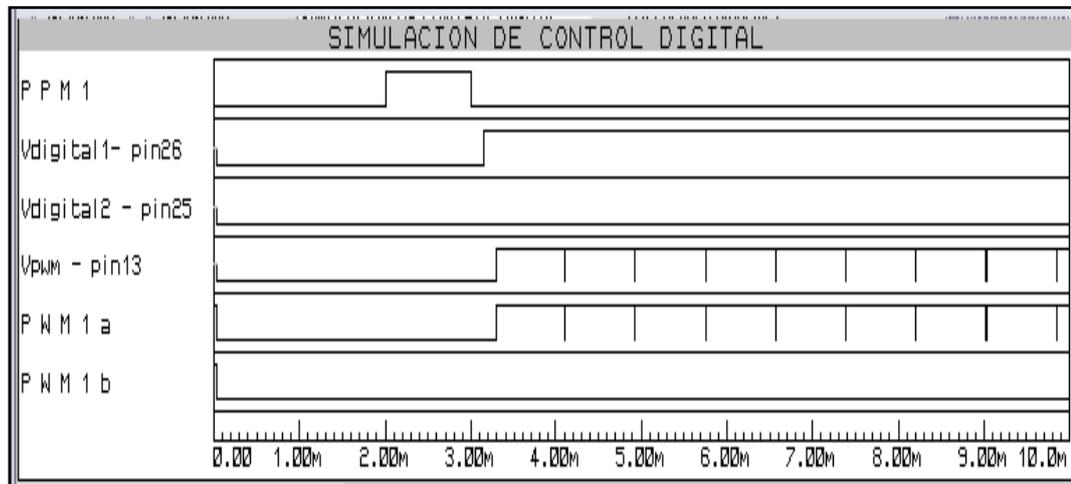


Figura 3.8a Simulación digital RV1 en posición superior

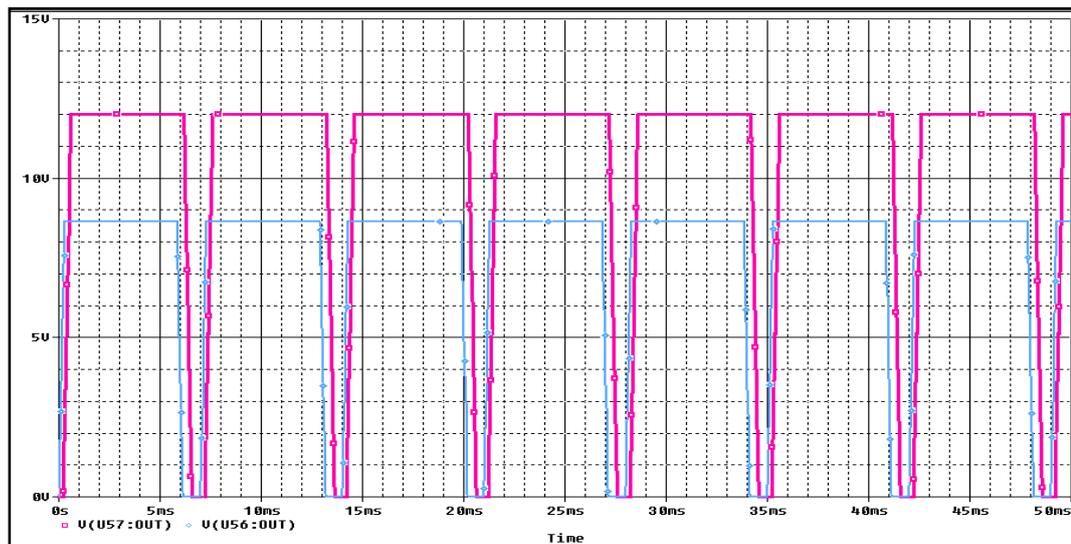


Figura 3.8b Simulación de amplificación de PWM!a (Generador de Pulsos): la salida de Opamp y la salida de AND

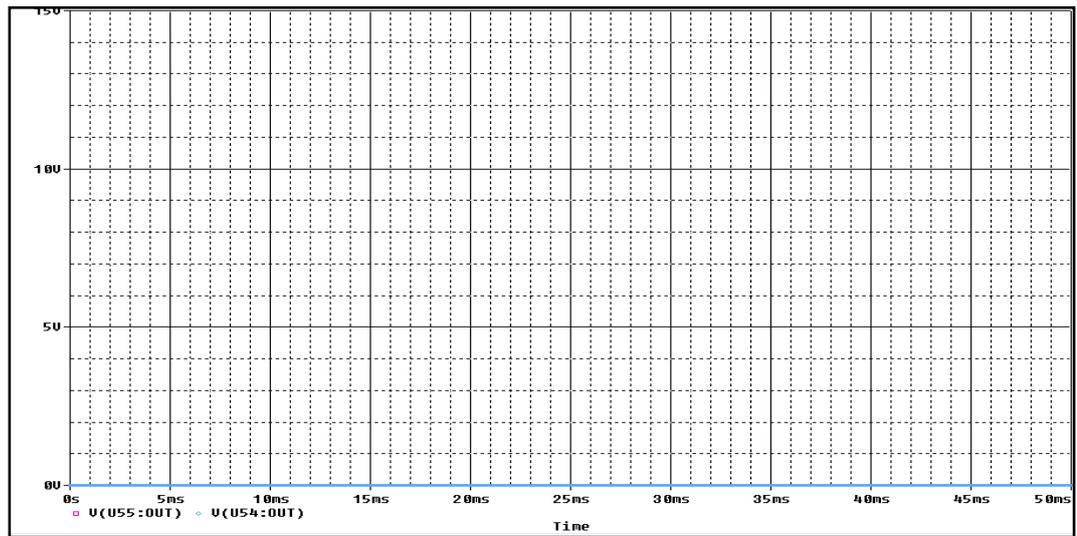


Figura 3.8c Simulación de amplificación de PWM1b (Tierra): la salida de OPAMP y la salida de AND

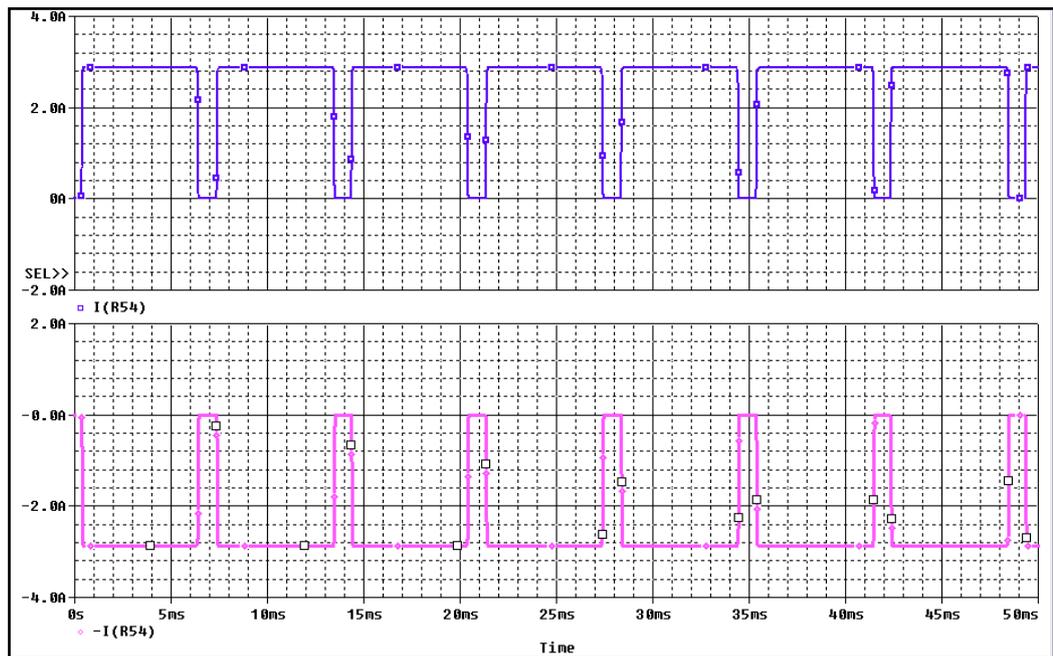


Figura 3.8d Simulación electrónica del puente H: gráfico superior indica el terminal izquierdo del motor y el gráfico inferior indica el terminal derecho del motor

RV1 en posición central y conectado a tierra ambas entradas de Opamps

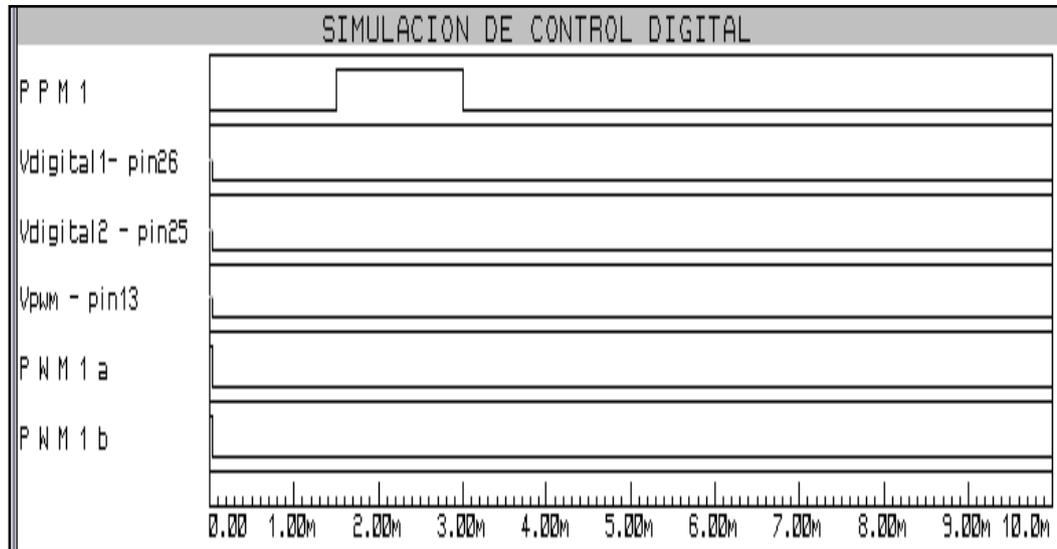


Figura 3.9a Simulación digital RV1 en posición central

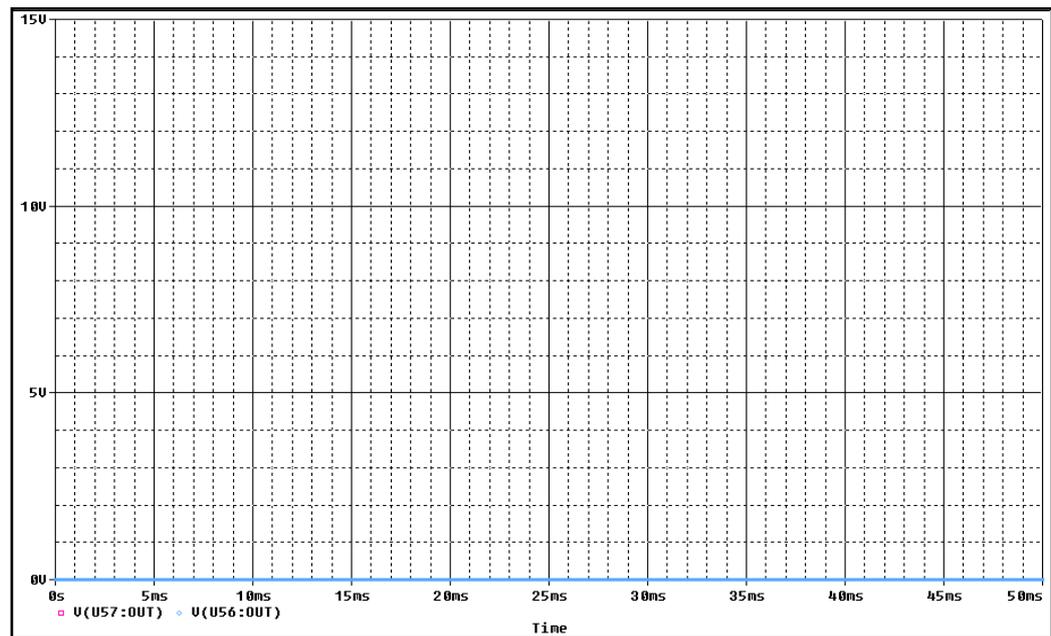


Figura 3.9b Simulación de amplificación de PWM1a (Tierra): la salida de OPAMP y la salida de AND

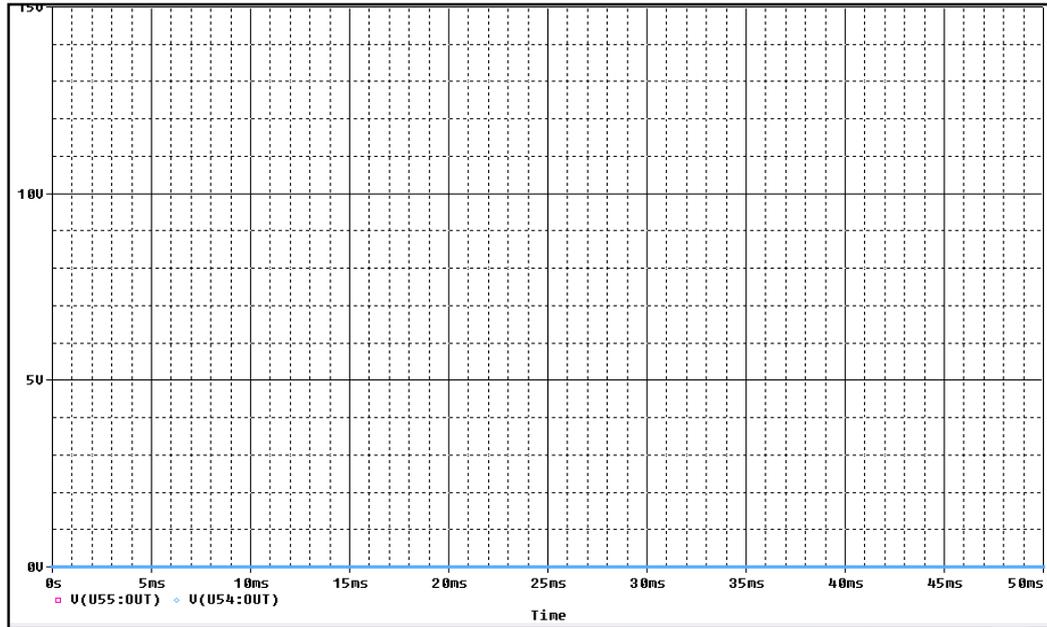


Figura 3.9c Simulación de amplificación de PWM1b (Tierra): la salida de OPAMP y la salida de AND

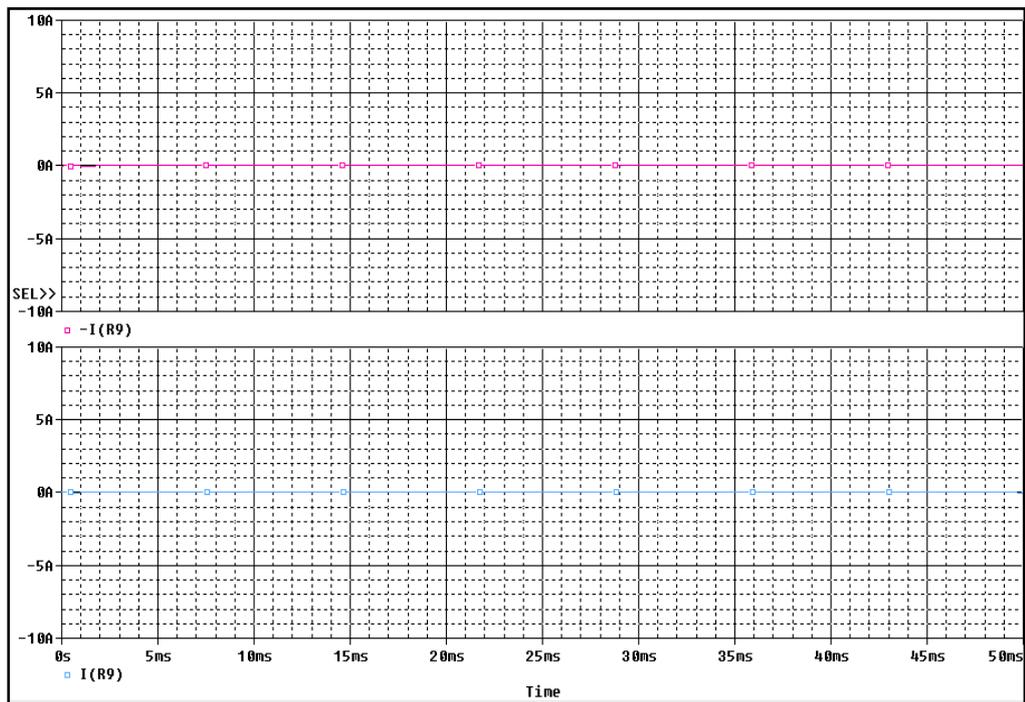


Figura 3.9d Simulación electrónica del puente H: gráfico superior indica el terminal izquierdo del motor y el gráfico inferior indica el terminal derecho del motor

RV1 en posición inferior y un Generador de Funciones en el Opamp inferior

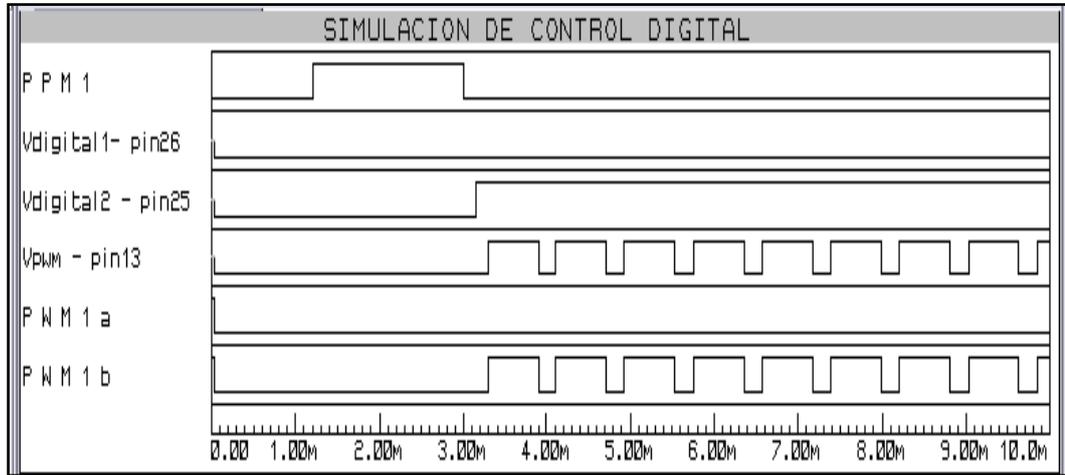


Figura 3.10a Simulación digital 3

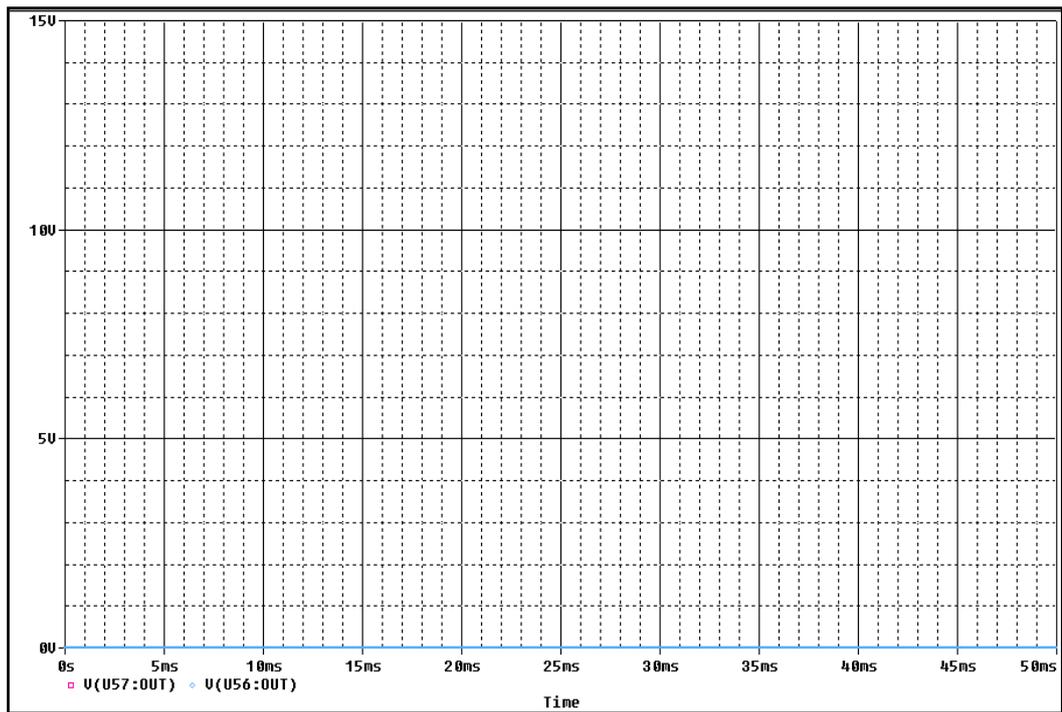


Figura 3.10b Simulación de amplificación de PWM1a (Tierra): la salida de OPAMP y la salida de AND

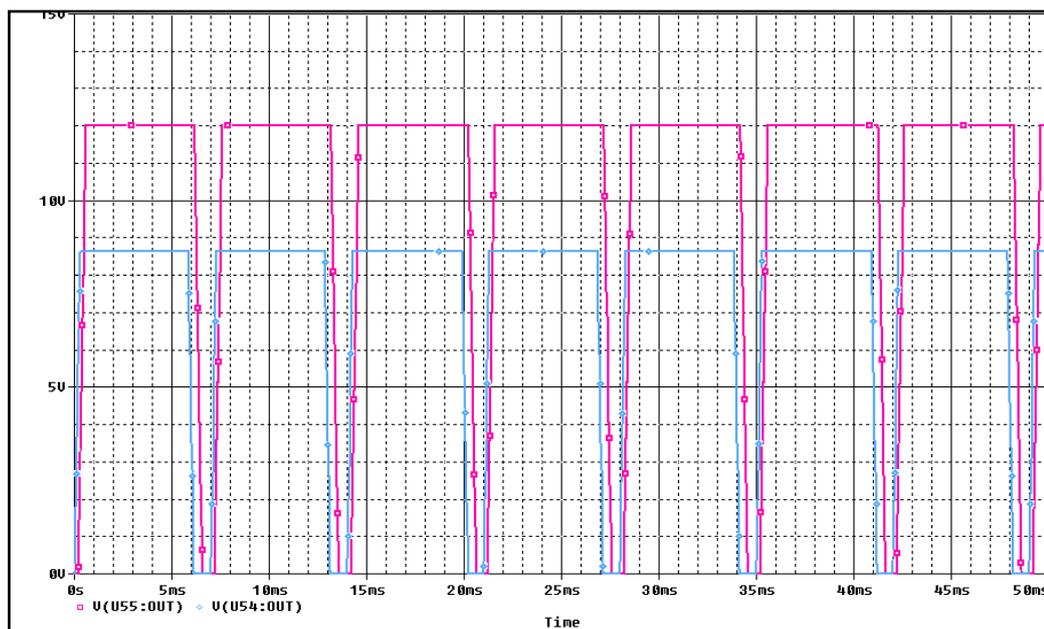


Figura 3.10c Simulación de amplificación de PWM1b (Generador de Pulsos): la salida de OPAMP y la salida de AND

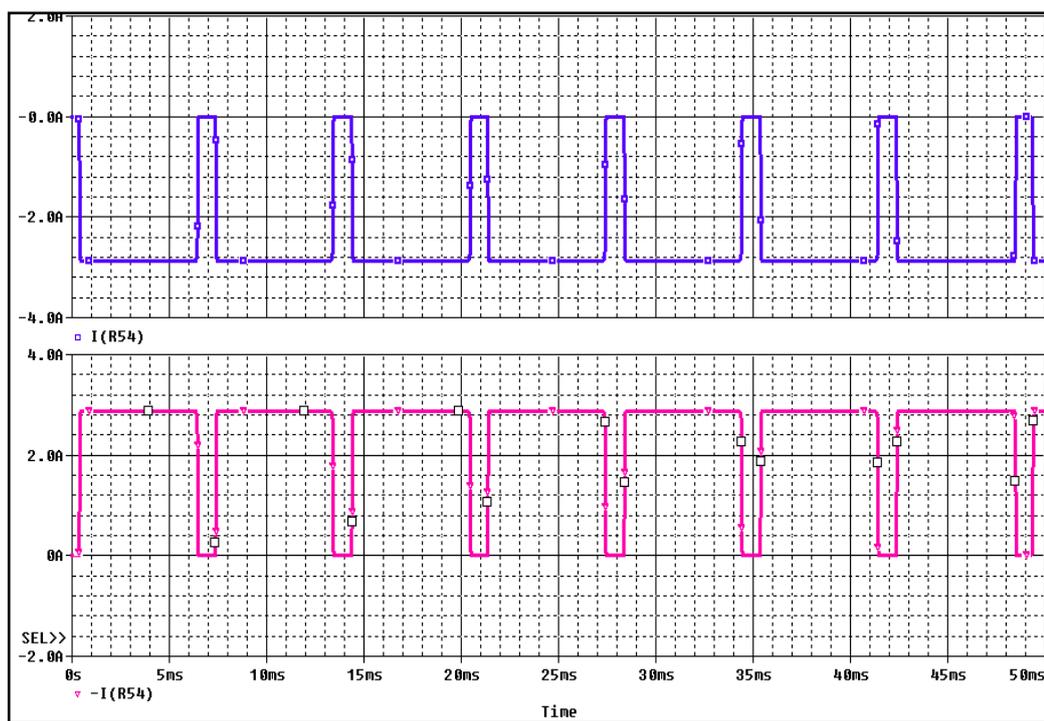


Figura 3.10d Simulación electrónica del puente H: grafico superior indica el terminal izquierdo del motor y el gráfico inferior indica el terminal derecho del motor

3.4 Resultados Experimentales

Se ha hecho algunas pruebas experimentales con el microcontrolador 16F876, con el OpAmp y con los Mosfets. A continuación hay detalles de dichos experimentos.

En el PIC 16F876 se ha podido ver los siguientes resultados en la Tabla 3.2:

Datos de las señales digitales

No. Canal	Posición de palanca	Pin11	Pin14	Pin16	Pin18	Pin25	Pin26
1	Limite Superior	L	L	L	L	L	H
	Superior	L	L	L	L	L	H
	Centro	L	L	L	L	L	L
	Inferior	L	L	L	L	H	L
	Límite Inferior	L	L	L	L	H	L
2	Limite Superior	L	H	L	L	L	L
	Superior	L	H	L	L	L	L
	Centro	L	L	L	L	L	L
	Inferior	H	L	L	L	L	L
	Límite Inferior	H	L	L	L	L	L
3	Limite Superior	L	L	H	L	L	L
	Superior	L	L	L	L	L	L
	Centro	L	L	L	L	L	L
	Inferior	L	L	L	L	L	L
	Límite Inferior	L	L	L	H	L	L

Tabla 3.2 Cuadro de salidas digitales de PIC 16F876
H = Alto L = Bajo

En cuantos a la señal de PWM1 o PWM2 es capturado en el osciloscopio y se puede ver en los siguientes gráficos (Figuras 3.11a a Figuras 3.11d) cambiando de posiciones la palanca del transmisor como lo indica la figura 3.11e

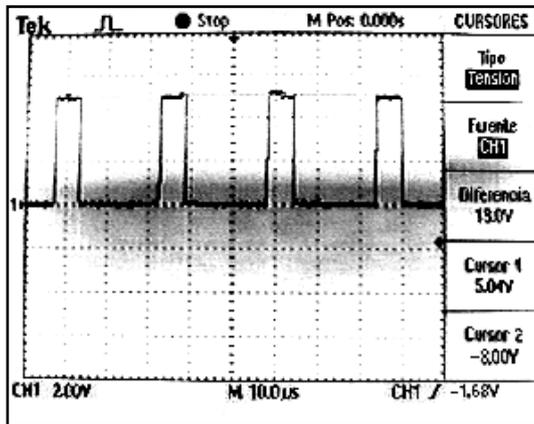


Fig. 3.11a. PWM de la palanca en +1 o -1

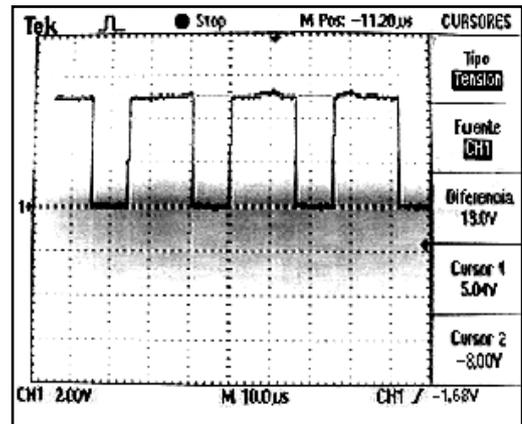


Fig. 3.11b PWM de la palanca en +2 o -2

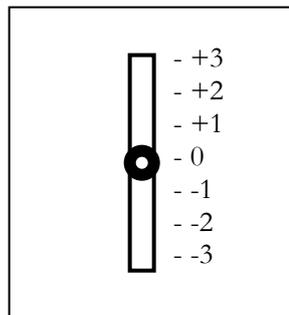


Figura 3.11e. La palanca del transmisor

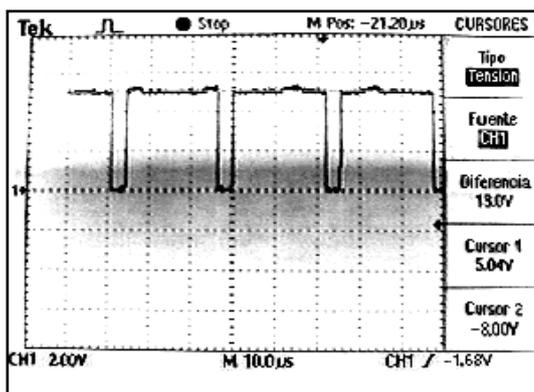


Fig 3.11c. PWM de la palanca en +2.5 o -2.5

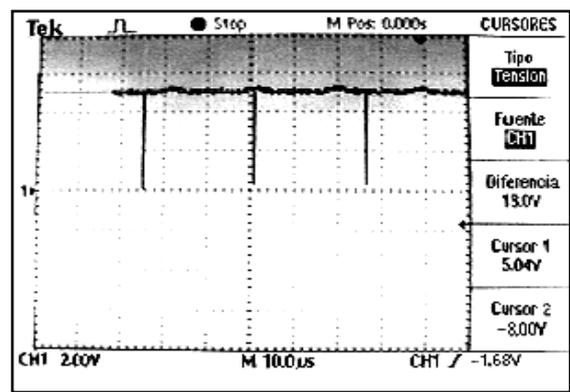


Fig.3.11d PWM de la palanca en +3 o -3

En el caso de CD4081B se hizo pruebas de acuerdo con la tabla 3.1 y conectando en una de sus 2 entradas 12 Voltios que vendría ser valor lógico alto. Y menores de 10 voltios valor lógico bajo. Y se ha podido comprobar lo siguiente.

Entrada de Señal (10-11,9)Vdc	Entrada fijo 12Vdc	Salidas
L	H	L
H	H	H

Tabla 3.3 Resultado de la prueba con CD4081B

En el caso de OpAmp LM324 se ha podido ver la ganancia de voltajes en el Osciloscopio y son los siguientes gráficos: Figura 3.12a , Figura 3.12b, Figura 3.12c y Figura 3.12d

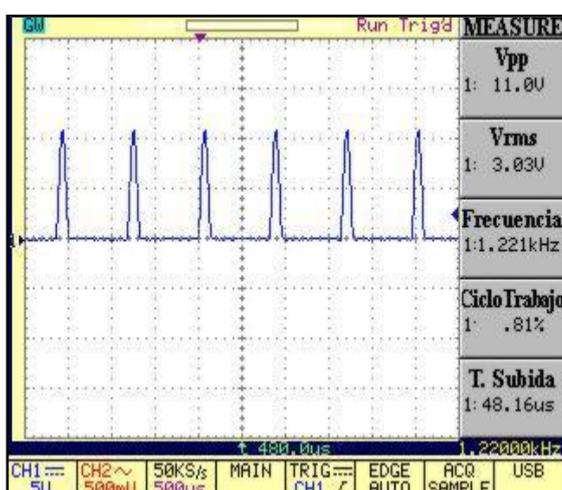


Fig. 3.12a Señal amplificada del LM324
Palanca de transmisión en +1 o -1

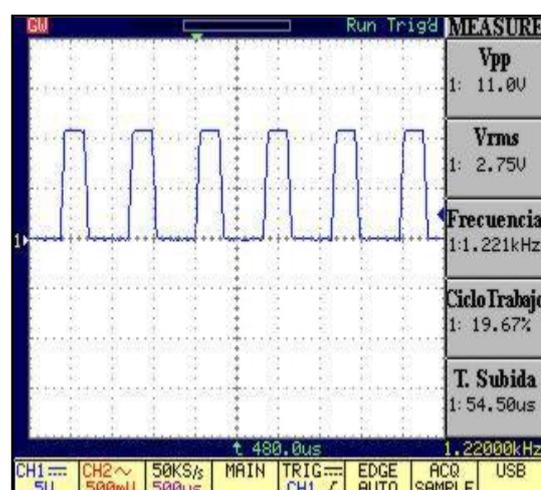


Fig. 3.12b Señal amplificada del LM324
Palanca de transmisión en +2 o -2

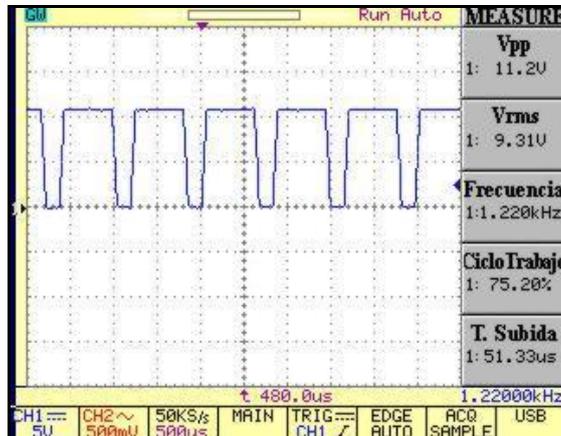


Fig. 3.12c Señal amplificada del LM324
Palanca de transmisión en +2.5 o -2.5

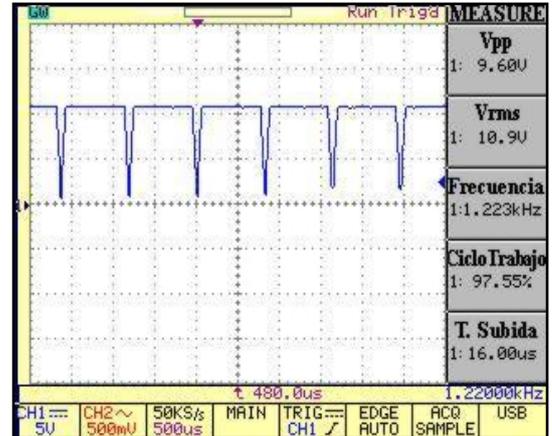


Fig. 3.12d Señal amplificada del LM324
Palanca de transmisión en +3 o -3

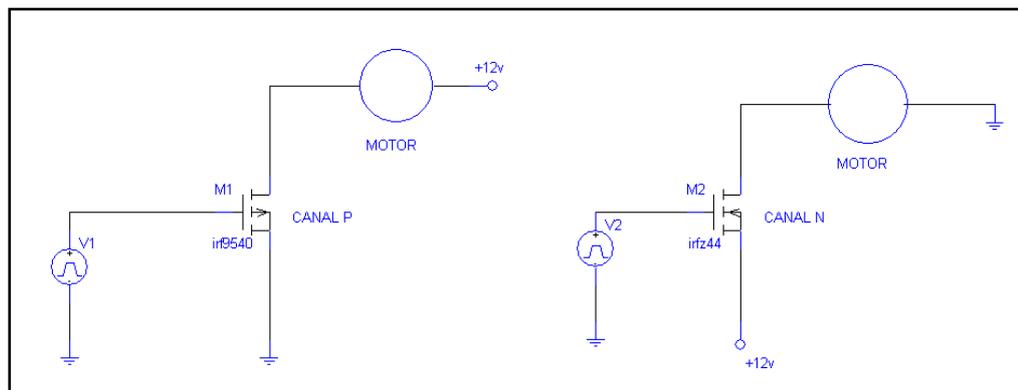


Figura 3.13 Circuito de prueba de IRF9540 y IRFZ44

Según el circuito de la Figura 3.13 se pudo comprobar después de algunas pruebas que la diferencia que existe entre el Mosfet de canal N y el Mosfet de canal P .El de canal N tiene que aplicar voltaje alto en el Gate para que la

corriente conduzca entre Drenador y Surtidor mientras el del canal P tiene que aplicar voltaje bajo en el Gate para que la corriente conduzca entre Drenador y Surtidor.

Mediante la prueba realizada con el esquemático de la Figura 3.13 se obtuvo siguiente información, tal como indica la Tabla 3.4

Tipo de Mosfet	Vcc (V)	Vgate = tierra	Vgate < Vcc	Vgate = Vcc	Vgate > Vcc+2
IRFZ44	12	N.C.C.	N.C.C.y se calienta	C.C.	N.C.C.
	18	N.C.C	N.C.C y se calienta	C.C	N.C.C
IRF9540	12	C.C.	N.C.C y se calienta	N.C.C.	N.C.C
	18	C.C.	N.C.C y se calienta	N.C.C.	N.C.C

Tabla 3.4 El estado del Mosfet con ciertos voltajes en el Gate
N.C.C.= No circula corriente entre Drenador y Surtidor
C.C.= Circula corriente entre Drenador y Surtidor

CAPÍTULO 4

MÓDULO DE POTENCIA

La tarea principal del módulo de potencia es garantizar el correcto abastecimiento de energía a cada uno de los módulos del robot. Para ello se requiere de un diseño robusto que permita suplir el voltaje necesario a los demás módulos. Uno de los pilares fundamentales en el desarrollo de este módulo lo conforman el diseño del sistema regulador y la selección de la batería.

El sistema regulador tiene como principal componente un regulador de voltaje. Entre los reguladores de voltaje existentes hay el KIA7805, Lm7805 que brindan una excelente regulación de voltaje DC, son de bajo costo y de tamaño reducido.

Baterías recargables como las de NiMH, NiCad y Li-Ion ofrecen una alta capacidad lo que se traduce en un alto tiempo de operación. Sin embargo, las celdas de NiMH y NiCad pierden paulatinamente su capacidad (en operaciones de carga y descarga)

debido a un fenómeno mediante el cual las baterías “recuerdan” cuanta carga fue liberada en descargas previas (*efecto de memoria*).

4.1 Características de las baterías recargables

Una batería NiCad puede contener una o más celdas electroquímicas ensambladas juntas para proveer energía. La forma en que se conectan estas celdas determina el voltaje de la batería como se muestra en la Figura. 4.1

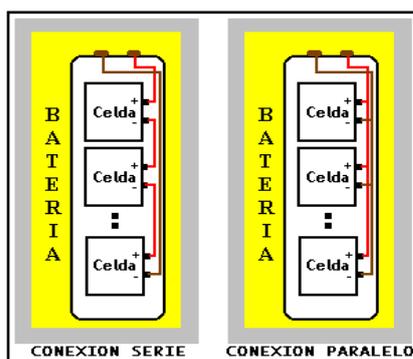


Figura 4.1 Interconexión de las celdas en una batería

La batería que se ha utilizado para el transmisor puede proveer hasta 600mAh.

En la Figura 4.2 se presenta el tipo de batería NiCad.



Figura 4.2 Batería Ni-Cad usada en T4YF

La batería de gel sellada no derramable es normalmente usado en las alarmas domiciliarias, empresarial e industrial para que la memoria no se borre, ni que el circuito se resetee, por lo general son más grandes que NiCad y son de mayor voltaje y amperaje. Es de 12 Voltios y 5 Amperios por hora, una de las ventaja que tiene la batería es que se puede usar en cíclicamente con 14.4 a 15 Voltios y uso temporal con voltaje de recarga de 13.5 a 13.8 Voltios. En la Figura 5.5 presenta la batería sellada utilizada para el proyecto del robot

Para el robot del proyecto se ha utilizado este tipo de batería para suministro de energía directo para el circuito electrónico de control y para los motores.



Figura 4.3 Batería de Gel utilizada para el robot

4.2 Regulador de voltaje positivo KIA7805

El KIA7805 es un regulador de voltaje que opera mediante la conmutación de voltaje. Puede suministrar +5V a su salida y manejar corrientes de 1A con voltajes de entrada de hasta 40V. Una de sus características principales es la gran variedad de topologías de conexión en las que puede ser utilizado. La topología de regulador reductor es de gran utilidad para el diseño por las prestaciones que presenta a la hora de regular voltaje de salida sin descuidar el suministro de corriente necesario para los módulos. La Figura 4.4 muestra el regulador KIA7805

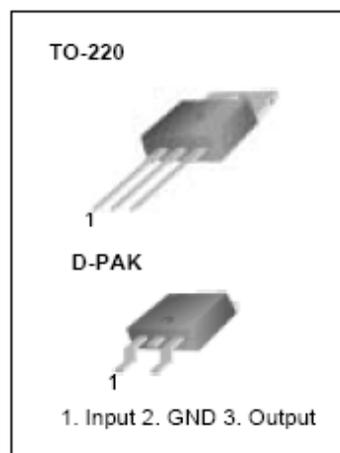


Figura 4.4 Regulador KIA7805

El esquemático de regulación de voltaje

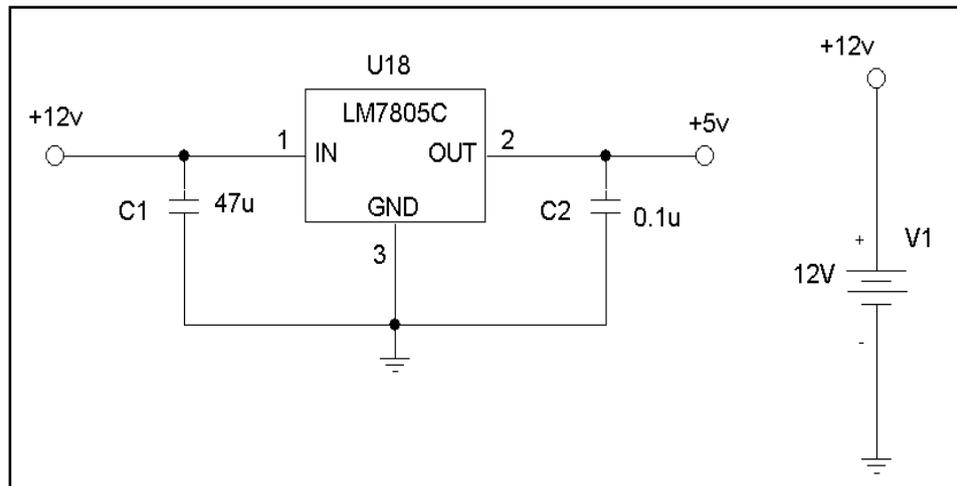


Figura 4.5 El esquemático del regulador KIA7805

4.3 Diagrama de bloques del módulo de potencia

En este apartado vamos a definir la relación que debe mantener el módulo de potenciar con los demás módulos del componente electromecánico.

Como se observa en la Figura 6.4 el módulo de potencia interactúa con todos los módulos del componente. Esta interacción se da en un solo sentido con

líneas de abastecimiento de energía saliendo hacia los demás módulos y sin ninguna línea de entrada al módulo de potencia.

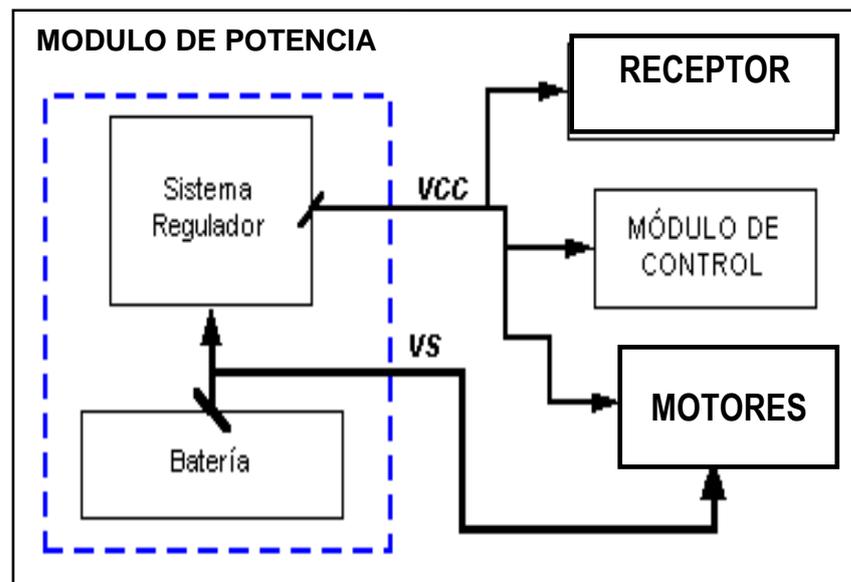


Figura 4.6 Diagrama de bloques de módulo de potencia

4.4 Resultados experimentales

Se ha hecho pruebas con el regulador de voltaje KIA 7805 aplicando el circuito de la Figura 4.5 y se obtuvo los siguientes resultados

Se ha aplicado en el pin1 (V_i) diferentes voltajes y se ha presentado siguientes respuestas en el pin3 (V_o) como indica la Tabla 4.1 y la Figura 4.7

Voltaje de entrada V_i[Voltios]	Voltaje de salida V_o[Voltios]
1.5	0.51
3	1.81
6	4.80
12	5.00
18	5.00
24	5.00

Tabla 4.1 Pruebas de voltajes de KIA7805

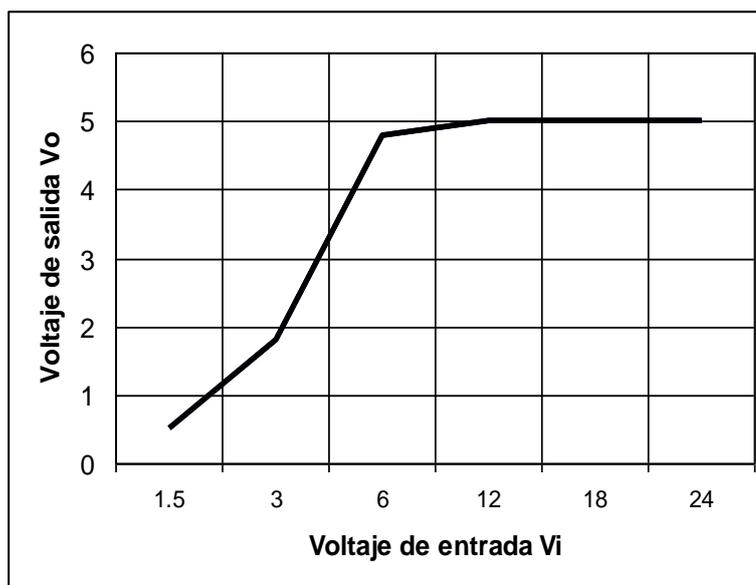


Figura 4.7. Curva de regulación de voltaje KIA7805

CAPÍTULO 5

MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos constituye el “brazo ejecutor” del robot, por ser éste el encargado de dar movimiento a las ruedas del robot. Este movimiento depende de las señales de movimiento enviados desde el transmisor hacia el receptor. Las señales de movimiento son capturadas por el receptor del robot y enviados al módulo de control, el cual los procesa y además genera señales que finalmente puedan ser entendidas por los motores, para que éste produzca el movimiento en las ruedas. El sentido de giro y la velocidad de los motores dependen de la polaridad en sus terminales y el tiempo de encendido y apagado llamado “los pulsos electrónicos”. Los motores por su parte convierten la energía eléctrica en energía mecánica produciendo el movimiento de las ruedas, Existen los integrados controladores de motores DC como por ejemplo el L293 y L298 que permiten el manejo de motores DC de baja potencia. También se presentan unos cálculos teóricos basados en los resultados experimentales de los

motores con el fin de conocer su torque, potencia y corrientes que consumen. En este capítulo se detalla las funciones de los motores.

5.1 Motores de Corriente Directa (DC)

De acuerdo a los análisis previos realizados, se propuso la utilización de tres motores DC, el cual se caracteriza por su reducido tamaño y su facilidad para manejarlo. De esta forma, los motores tipo tornillo sin fin son usados en este proyecto (Figura 5.1.) Además se propone el uso de los Mosfets para controlar los motores que son capaces de manejar motores DC.

Los motores utilizados para este fin son generalmente aplicados en los alza vidrios eléctricos de los autos de full equipo o de lujo. Son de baja velocidad debido a los engranajes interiores y por ende de mayor torque que es una de las ventajas que presentan este tipo de motores. Una desventaja es que no son motores de uso continuo, es decir son de tiempo corto de uso por el recalentamiento.

Estos motores están unidos con llantas de caucho a través de barras redondas que brindan el sistema de tracción del robot.

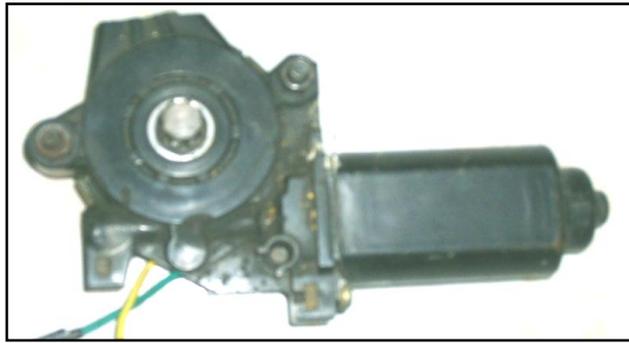


Figura 5.1 El motor DC utilizado para el robot

5.1.1 Cálculos teóricos basados en las especificaciones del motor

Para los cálculos teóricos para su medición, estos cálculos están basados en las propiedades físicas y especificaciones técnicas del robot. indicados en la Tabla 5.1 y Tabla 5.2.

Descripción	Símbolo	Valor
Masa del robot	m	51,03 Kg.
Radio de la llanta	R	6,75 cm
Radio del eje	Ro	1 cm
Coefficiente de fricción estática entre la llanta y el suelo	Us	0.7
Resistencia en la armadura del motor	r	4 Ω

Tabla 5.1 Propiedades físicas del robot.

Torque.- Para calcular el mínimo torque [27] que requiere el motor para vencer el estado de inercia del robot haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

Fuerza de fricción estática F_s ,

$$F_s = U_s * m * g \quad (5.1)$$

donde U_s es el coeficiente de fricción estática entre la llanta y el suelo, m la masa del robot y g la aceleración de la gravedad.

Fuerza de fricción de rodamiento F ,

$$F = F_s * R_0 / R \quad (5.2)$$

donde r_0 es el radio del eje del motor, y r el radio de la llanta.

Sustituyendo (5.1) en (5.2),

$$F = U_s * m * g * R_0 / R \quad (5.3)$$

Torque en un eje del motor (considerando la caja de engranajes) TG ,

$$TG = (1 / 2) * F * R \quad (5.4)$$

$$TG = (1 / 2) * U_s * m * g * R_0 \quad (5.5)$$

De la ecuación (5.5) y de los datos iniciales mostrados en la Tabla 5.1 y en la Tabla 5.2 se puede ver que el torque en el eje del motor es:

$$TG = (1 / 2) (0.7) (5.103 \text{ Kg}) (9.8 \text{ m/seg}^2) (0.001 \text{ m})$$

$$TG = 17.5 \text{m N-m}$$

Potencia.- Para el cálculo de la energía requerida por los motores, se puede utilizar la ecuación básica para el consumo de potencia:

$$P = V * I \quad (5.7)$$

Para el uso de esta ecuación considerando el supuesto de que la alimentación del voltaje normalmente no varía con el tiempo, es decir, se mantiene constante (12V). La corriente a través del motor puede ser calculada empleando una de las *ecuaciones transductoras* para los motores:

$$T = KM * I \quad (5.8)$$

donde T es el torque total del motor, KM es la constante del torque e I es la corriente a través del motor.

Despejando la corriente a través del motor,

$$I = T / KM \quad (5.9)$$

El torque total en el motor es,

$$T = TM + To \quad (5.10)$$

Donde TM es el torque de la carga y To el torque inherente a la fricción.

Así mismo se puede aplicar la ecuación (5.8) para el cálculo de To :

$$To = KM * Io \quad (5.11)$$

Donde I_0 es la corriente sin carga del motor.

Luego, reemplazando la ecuación (5.11) en (5.10) y el resultado de esto en (5.9) obtiene la siguiente ecuación:

$$I = TM/KM + I_0 \quad (5.12)$$

De la ecuación (5.12) y haciendo uso de las especificaciones del motor en la Tabla 5.2 vemos que la demanda de corriente originada por un motor es de:

$$I = [(17.5\text{m Nm}) / (6.3\text{m Nm/A})] + (1.85 \text{ A})$$

$$I = 1.96 \text{ A}$$

Remplazando valores en la ecuación (5.7):

$$P = 12 \text{ V} * 1.96 \text{ A} = 23.52 \text{ Watts}$$

es la potencia requerida por cada motor.

Velocidad.- Finalmente para a estimar la máxima velocidad de rotación del motor.

Aplicando la ley de voltaje de Kirchoff's a un circuito para un motor simple, la siguiente ecuación:

$$V = I * r + E \quad (5.13)$$

donde V es el voltaje administrado por una fuente de voltaje, R es la resistencia de la armadura del motor y E es el voltaje provocado por el campo electromagnético (“*Beck-emf*”). Una relación importante entre el voltaje provocado por el campo electromagnético (E) y la velocidad angular del motor (w) está dada por la siguiente *ecuación transductora* [27] para los motores DC:

$$E = KV * w \quad (5.14)$$

Donde KV es una constante producida por el campo electromagnético.

Reemplazando la ecuación (5.14) en (5.13) y despejando w tenemos que:

$$w = (V - I * r) / KV \quad (5.15)$$

De la fórmula (5.15) se puede calcular que la velocidad de rotación del motor es:

$$w = (12 \text{ V} - 1.96 \text{ A} * 40 \text{ } \Omega) / (0.66 \text{ V/1000 rpm}) = 6303 \text{ rpm}$$

5.2 Resultados Experimentales

En el presente apartado se hizo algunas pruebas con la finalidad de conocer de manera más precisa ciertos parámetros de medición que caracterizan el robot. Los parámetros a medir serán la masa del robot, diferentes tipos de corrientes del motor y la velocidad lineal máxima que este alcanza.

Masa.- Para la obtención de la masa del robot hemos utilizado una balanza digital. La masa obtenida es 51.03 Kg

Máxima velocidad lineal.- Para la medición de la máxima velocidad lineal que alcanza el robot se utilizó un cronómetro y se hizo referencia a 2 puntos de una determinada distancia, una de las cuales marca la salida y la otra ubicada a una distancia determinada (d), marca la llegada. Con los datos de distancia recorrida y tiempo empleado la ecuación cinemática de la velocidad es : $v = d / t$.

$$d = 5 \text{ m}$$

$$t = 4.02 \text{ seg}$$

$$v = 5 \text{ m} / 4.02 \text{ seg}$$

$$v = 1.24 \text{ m/seg}$$

Corrientes medidos en el motor: Se ha hecho algunas medidas con el multímetro y el osciloscopio para analizar el comportamiento del motor en diferentes circunstancias.

Con el multímetro se ha detectado los siguientes como indica la Tabla 5.2:

Estado del motor	Corriente de pico máximo [Amperio]	Corriente estable [Amperio]
Sin carga	2.8	1.85
Con carga	6.3	5.2
Rotor bloqueado	16.5	16.5

Tabla 5.2 Diferentes corrientes medidos en el motor

Y con el Osciloscopio digital los siguientes gráficos (Figura 5.3 a Figura 5.8):

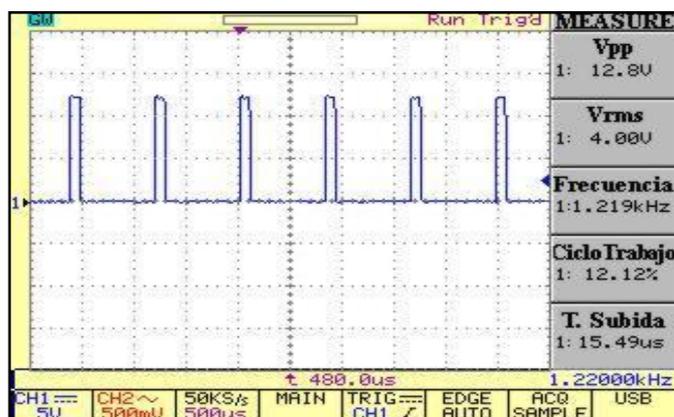


Figura 5.3 Motor en velocidad mínima y el sentido de giro horario

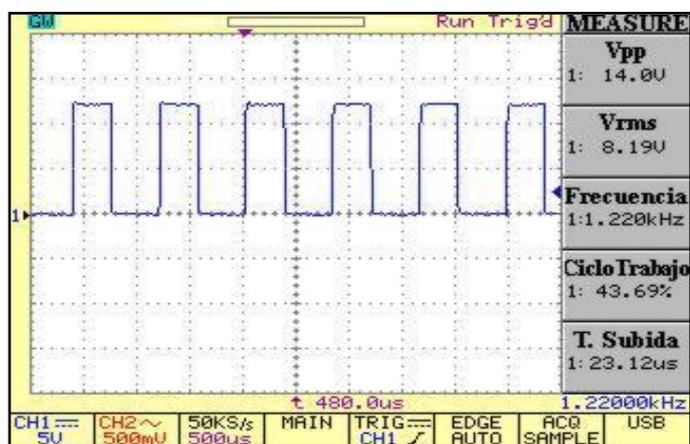


Figura. 5.4 Motor en velocidad media y el sentido de giro horario

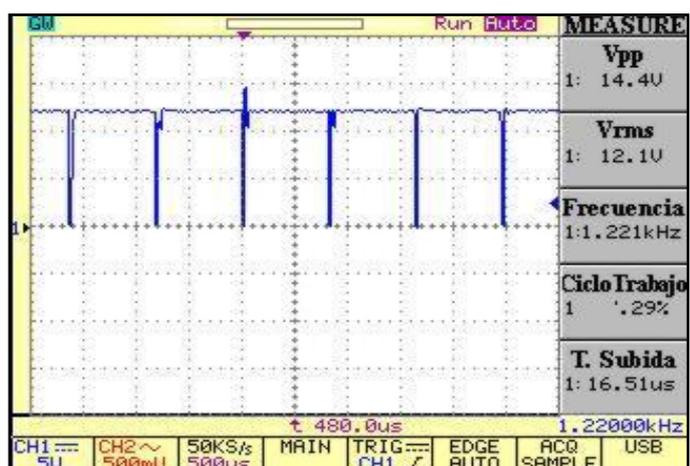


Figura 5.5 Motor en velocidad superior y el sentido de giro horario

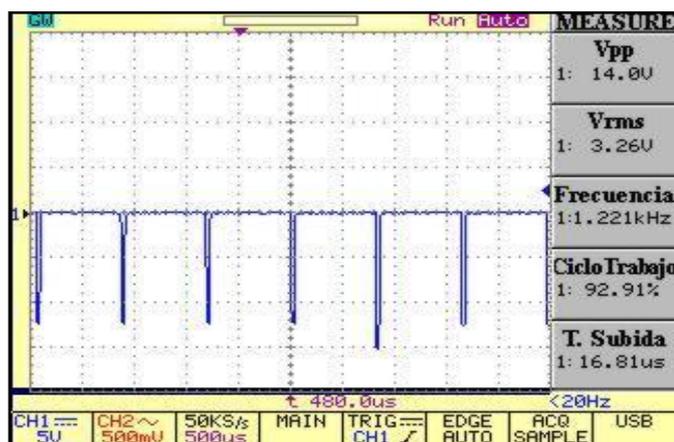


Figura 5.6 Motor en velocidad mínima y el sentido de giro anti-horario

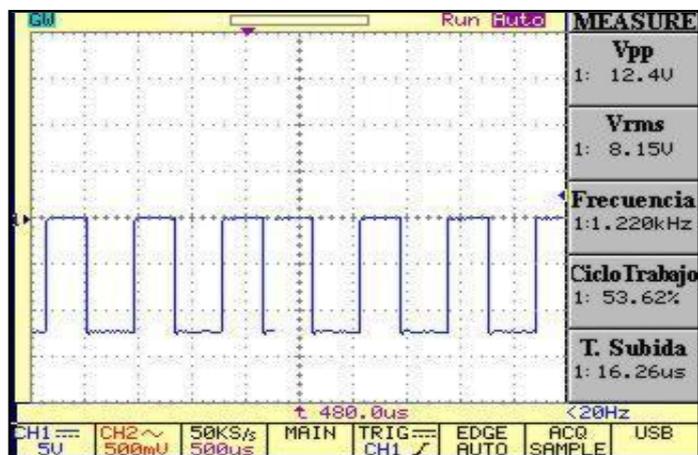


Figura 5.7 Motor en velocidad media y el sentido de giro anti-horario

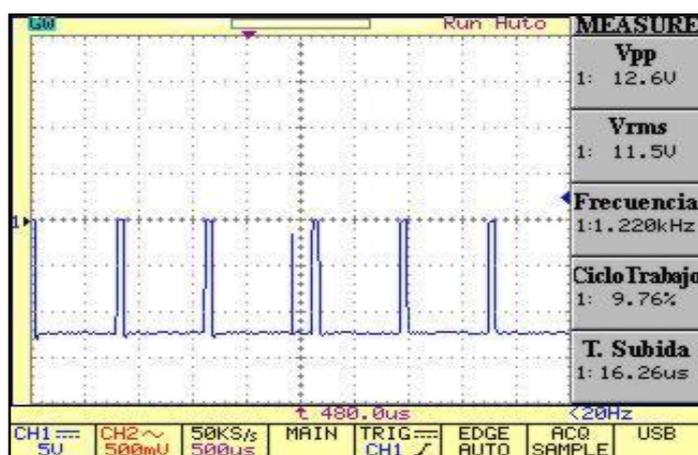


Figura 5.8 Motor en velocidad superior y el sentido de giro anti-horario

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Este capítulo concluye la función básica de cada uno de los módulos propuestos para la implementación del robot y pruebas en el campo de juego. Se sugieren algunos futuros trabajos que podrían realizarse ya sea con el objetivo de mejorar las soluciones desarrolladas o de utilizar estas técnicas para ejecutar otro tipo de aplicaciones.

El proyecto propuesto corresponde a la segunda generación de robots, pues el programa que permite su control se ejecuta mediante la elección de secuencias de movimiento a través de botones o a través de palancas de control y pretende lograr el diseño y construcción de un robot móvil capaz de desenvolverse en un ambiente dedicado a la batalla de robot.

Su desarrollo representa una excelente experiencia de aprendizaje en el campo de la robótica; el hecho de construir un robot capaz de competir en eventos organizados como el CER2005 constituye una tarea compleja que involucra varios conceptos dentro de diferentes campos del conocimiento, además implica cumplir una serie de reglas y normas impuestas por este organismo para poder participar en competencias internacionales. Por ello, para la implementación del robot nos regimos en el estándar propuesto por dicho organismo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema de R/C con frecuencia FM de 72Mhz ha sido el más eficiente, porque se ha podido observar durante el evento CER2005 organizado en Guayaquil fallas en otros sistemas de comunicación, la gran mayoría ha usado R/C de los juguetes de corto alcance y muy restringido por su poca funcionalidad.
- Mientras mayor es el rango de frecuencia de transmisión mejor es la comunicación entre el transmisor y el receptor.
- Dado a las pruebas realizadas, es mejor encender o energizar el transmisor primero y después el receptor, debido a que puede quedar señales remanentes del medio ambiente en el receptor y que el robot reaccione antes de que envíe las señales desde el transmisor.

- El receptor tiene antena flexible por lo cual hay que dejar expuesto al aire libre para poder recibir mejor la señal, porque al estar encerrado dentro de una caja de control se formaría una Jaula de Faraday, haciendo que la comunicación se quede interrumpida o aislada.

- El tiempo de duración del cada pulso de señal PPM es muy corta y hace que sea difícil observar en un osciloscopio común y por lo tanto había que observar en un osciloscopio digital de alta frecuencia.

- El circuito de control implementado en este proyecto funcionaría para cualquier robot que use motores de 12V a 18V y hasta 23A de consumo, que use señal PPM en transmisión y que tenga el fuente de poder o potencia máxima de 20V.

- Así mismo mientras mayor cantidad de canales de comunicación (Transmisor y Receptor) se puede agregar múltiples funciones y mejor desempeño del robot pero necesitarían un circuito de control con mayor complejidad y mayor cantidad de elementos.

- El microcontrolador PIC 16F876 es elemento esencial y constituye el cerebro del robot porque es el que hace mayor cantidad de funciones, es decir se encarga de recibir, procesar y traducir las señales para después enviarlas a diferentes elementos. Y lo tanto todo el circuito de control dependería del microcontrolador.

- La implementación del circuito del control hubiera sido mucho más fácil y simple, si hubiera podido conseguir los elementos llamados “Drivers” como son: L298(DC Motor Driver) de mayor potencia, TD430(Power Mosfet Driver), HIP4081(H Bridge Driver), LT1161(Mosfet Driver), etc. Los cuales son inexistentes en el mercado del Ecuador.

- En el proyecto se ha implementado un circuito equivalente a estos elementos mencionado anteriormente y que sean existentes en el mercado del Ecuador, para proporcionar a los terminales Gates de los Mosfets del puente H el voltaje y corriente adecuado para el funcione los Mosfets.

- Se pudo comprobar que las operaciones de los elementos electrónicos reales no son muy similares a los elementos de los simuladores como es el caso de LM324 y CD4081 en Pspice.

- Los Mosfets son elementos caros y son muy delicados en cuanto a los voltajes que deben suministrar en la compuerta(Gate), en caso contrario el Mosfet no opera en voltajes muy al limites ni muy bajos al limite , hay casos donde el Mosfet se quema disipando altas temperaturas en cuestión de segundos.

- Se comprobó que los reguladores de voltaje tiene voltaje mínimo y máximo de operación y el voltaje de entrada siempre tiene que ser siempre 2 voltios o más superior al voltaje de salida.

- Lo ideal para el robot es conseguir unos motores de alta efectividad, en otras palabras de mayor torque y velocidad angular, pero por lo general son de alto torque y menor velocidad o de mayor velocidad y menor torque.

- Por lo general los motores DC son de alta velocidad, pero no son de uso continuo sino de uso temporal, porque disipa mucho calor. A menos que tengan una buena sistema de refrigeración.

- Para el montaje y diseño mecánico del robot se requirió de conocimientos en mecánica, como son la estática, resistencia de los materiales, diseño de piezas sólidas, etc.

FUTUROS TRABAJOS

Durante el evento de batalla de los robots (CER2005) auspiciado por primera vez por el ESPOL, se ha podido ver las fallas técnicas que presentaban algunos robots de esta categoría, entre ellos se puede hablar: la parte de comunicación, la parte mecánica y sobre todo la parte de control. Pero las experiencias y conocimientos de un equipo extranjero (Brasil) se hacían notar superando a los otros robots que son nuevos en este tipo de evento. Esto nos impulsa a mejorar y para estar en competencia con otros robots. Entonces aquí se han hecho propuestas para mejorar el diseño del robot.

El diseño y construcción del robot de batalla es una propuesta que abarca algunos campos de aplicación. Cada uno de sus módulos aporta con soluciones de diseño que fácilmente pueden extenderse para formar parte de otros sistemas electrónicos o mecánicos mucho más complejos. En esta sección se sugieren futuros trabajos que se puede emprender tomando como base la propuesta aquí presentada. Se puede mencionar entonces algunos elementos de hardware que podrían adicionarse al robot para fortalecer su diseño en el futuro:

- Utilizar otros tipos de motores o de mejor eficiencia en la parte de tracción del robot.
- Aprovechar las canales libres del R/C para implementar más funciones de ataque y defensa.
- Mejorar el circuito de control habilitando más puertos de salida, en otras palabras modificar la programación del microcontrolador.
- Agregar nuevos módulos mecánicos pero controlado por impulsos electrónicos como son : motor de combustión, sistema neumática
- En cuestiones mecánicas, utilizar materiales duros para brindar la protección a la parte de control y livianos para no sobrepasar el peso máximo establecido.

El esquemático del nuevo diseño

Para el nuevo diseño que será modificado el diseño original habilitando 2 salidas digitales del microcontrolador 16F876 y aprovechando el 4to canal libre del R/C Futaba.

Eso puertos habilitarse son de Rb1 y Rb2 que corresponde los pines 23 y 22 respectivamente. Estos dos puertos de salida tendrían salidas digitales para activar algún dispositivo de impulso electrónico que serán conectadas a través de los relays de 5 voltios.

Los cuales estarán enlazados finalmente con los mosfets de canal N para luego energizado continuamente al ingresar un pulso en alto y desenergizado al ingresar un pulso en bajo.

El esquemático será el siguiente como indica la Figura 6.1:

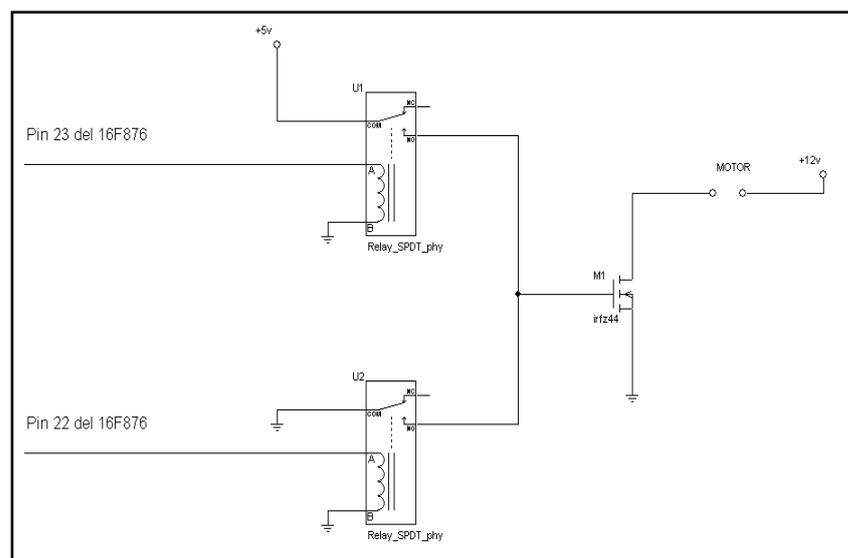


Figura 6.1 Esquemático proyecto futuro1

En caso de que sea energizado por un tiempo controlado por el usuario sería siguiente como indica la Figura 6.2.

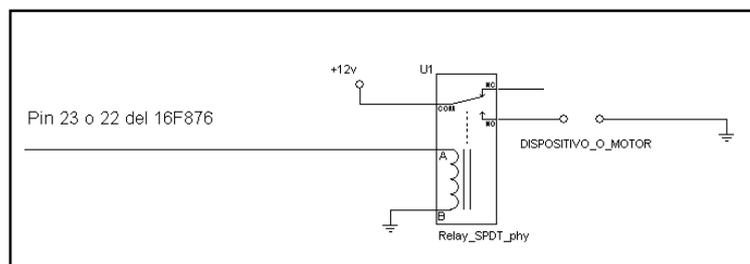


Figura 6.2 Esquemático anexo 2

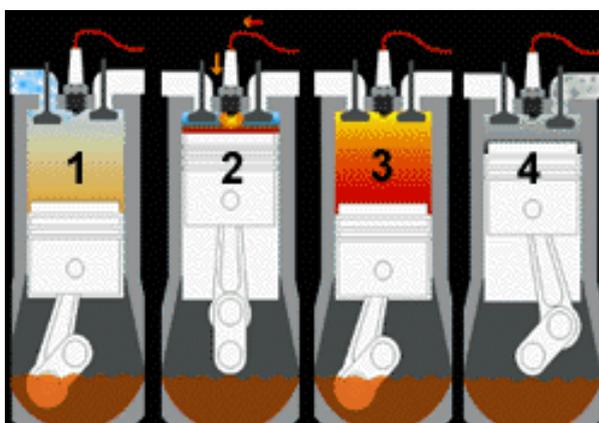
Motor de combustión

Se denomina motor de combustión a una máquina capaz de transformar en energía mecánica la energía química proveniente de las sustancias adecuadas, denominadas combustibles.

Cuando la combustión se produce dentro de un recinto cerrado se denominan motores de combustión interna, normalmente utilizados en automóviles, motos, etcétera. También existen motores de combustión externa, que son los que mueven los aviones jet, de propulsión a chorro, a reacción, o más vulgarmente llamados "reactores".

En los de combustión interna tanto de ciclo Otto (cuatro tiempos) como en los de dos tiempos la explosión/inflamación se produce dentro de un recinto cerrado, denominado cámara de combustión, que tiene una parte móvil (en los motores más comunes se trata del pistón) que se desplaza

dentro del cilindro con un movimiento lineal (como si fuera una bala dentro del cañón). El pistón está unido a un mecanismo de biela-cigüeñal para transformar el movimiento lineal en giratorio. En estos motores el aire y el combustible pueden venir mezclados desde el exterior, o bien puede entrar sólo aire y producirse la mezcla dentro de la propia cámara de combustión, a este tipo se le conoce como inyección directa.



*Fig 6.3. Ciclos de tiempos del motor de combustión interna:
1.- Admisión. 2.- Compresión. 3.- Explosión. 4.- Escape.*

Su encendido puede ser electrónico o mecánico, ya que debido a sus mecanismos no generan movimientos propios necesitan de un impulso. En cuanto al encendido electrónico existe un dispositivo llamado motor de arranque. En cuanto al encendido mecánico se lo hace manualmente haciendo girar por medio de cordón que le da impulso al rotor. Su apagado es por lo general electrónico haciendo un cortocircuito por medio de un interruptor.

En el trabajo futuro, se podría adaptar un motor de combustión y el esquemático para la manipulación del motor sería siguiente (Figura 6.4):

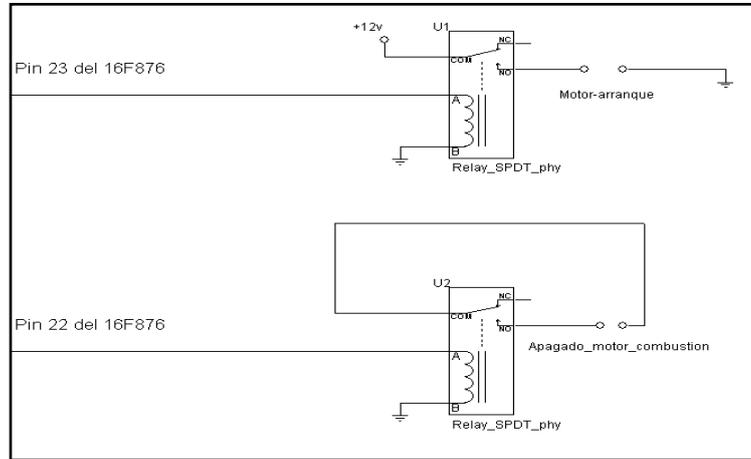


Figura 6.4 Esquemático anexo 3

Si el motor del arranque es de mayor consumo del corrientes sería el siguiente esquemático Figura 6.5

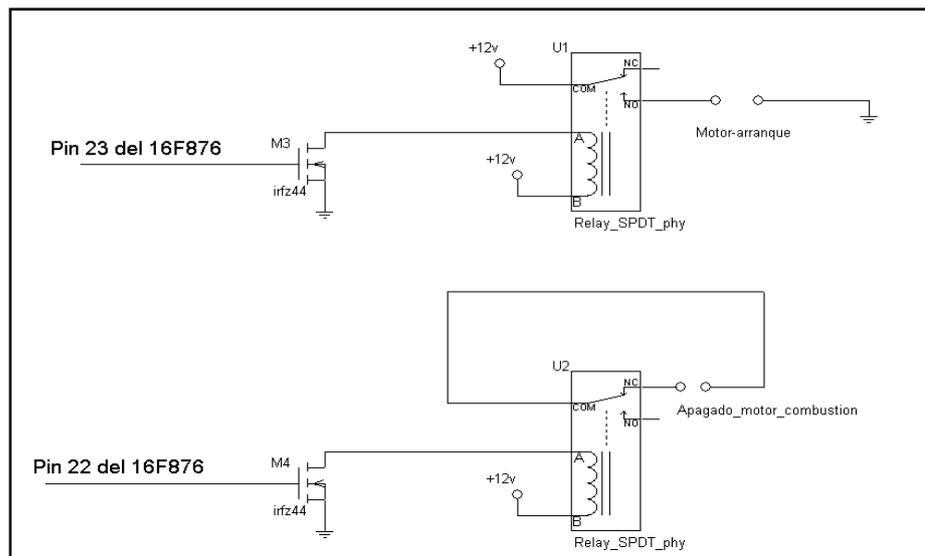


Figura 6.5 Esquemático anexo 4

ANEXOS

- **CÓDIGO FUENTE DEL PIC16F876**
- **DISEÑOS MECANICO**
- **FOTOS DEL PIRAMIBOT Y CER2005**
- **PCB DE CIRCUITO DE CONTROL**
- **CIRCUITO EQUIVALENTE PARA
SIMULACIONES EN PSPICE**

CODIGO FUENTE DEL CONTROL MAESTRO Programado en C

<pre> LIST P=16F876a ;define processor #include <P16F876a.INC> ITMP0 EQU 0X20 ITMP1 EQU 0X21 ITMP2 EQU 0X22 ITMP3 EQU 0X23 ITMP4 EQU 0X24 ITMP5 EQU 0X25 ITMP6 EQU 0X26 ITMP7 EQU 0X27 ITMP8 EQU 0X2F I EQU 0X2D J EQU 0X2E DUTY1L EQU 0X2F DUTY1H EQU 0X30 DUTY2L EQU 0X31 DUTY2H EQU 0X32 DUTY3L EQU 0X33 DUTY3H EQU 0X34 PPM1L EQU 0X35 PPM1H EQU 0X36 PPM2L EQU 0X37 PPM2H EQU 0X38 PPM3L EQU 0X39 PPM3H EQU 0X3A PTMPL EQU 0X3B PTMPH EQU 0X3C TMP0 EQU 0X77 TMP1 EQU 0X78 TMP2 EQU 0X79 TMP3 EQU 0X7A TMP4 EQU 0X7B ORG 0 MOVLW 0 </pre>	<pre> MOVWF PCLATH GOTO MAIN ;L007A NOP ;***** RUTINA DE INTERRUPCION***** MOVWF ITMP8 SWAPF STATUS,W CLRF STATUS MOVWF ITMP1 MOVF PCLATH,W MOVWF ITMP0 CLRF PCLATH MOVF FSR,W MOVWF ITMP2 MOVF TMP0,W MOVWF ITMP3 MOVF TMP1,W MOVWF ITMP4 MOVF TMP2,W MOVWF ITMP5 MOVF TMP2,W MOVWF ITMP6 MOVF TMP2,W MOVWF ITMP7 BCF STATUS,7 BCF STATUS,5 BTFSS INTCON,4 GOTO NO_INT ;L001D BTFSC INTCON,1 GOTO INT_EXT ;L0030 ;L001D NO_INT MOVF ITMP2,W MOVWF FSR MOVF ITMP3,W MOVWF TMP0 MOVF ITMP4,W MOVWF TMP1 MOVF ITMP5,W </pre>
---	--

```

MOVWF TMP2
MOVF ITMP6,W
MOVWF TMP2
MOVF ITMP7,W
MOVWF TMP2
MOVF ITMP0,W
MOVWF PCLATH
SWAPF ITMP1,W
MOVWF STATUS
SWAPF ITMP8,F
SWAPF ITMP8,W
RETFIE
.*****
;
;**FUNCION DE INT_EXT Y SELECCION DE
CANAL ****

;L0030
INT_EXT
    BCF PCLATH,3
    BCF PCLATH,4
        BSF STATUS,5
    BTFSS TMR0,6 ;OPTION, SI INTEDG ==1
    GOTO STEP2 ;L003C
;STEP1
    BCF STATUS,5
    CLRF TMR1H
    CLRF TMR1L
    BSF STATUS,5
    BCF TMR0,6 ;OPTION, INTEDG =0
    GOTO OUT_EXT ;L0075
;L003C
STEP2
    BCF STATUS,5 ;PTMP <-- TMR1
    MOVF TMR1H,W
    MOVWF TMP2
    MOVF TMR1L,W
    MOVWF TMP0
    MOVF TMR1H,W
    SUBWF TMP2,W
    BTFSC STATUS,2
    GOTO L01 ;L0047
    BSF STATUS,5
    GOTO STEP2 ;L003C
;L0047
L01 MOVF TMP0,W
    MOVWF PTMPL
    MOVF TMP2,W
    MOVWF PTMPH

    BSF STATUS,5 ;INTEDG = 1
    BSF TMR0,6 ;OPTION
    ;**** SELECCION DE CASO *****
    BCF STATUS,5
    MOVF I,W
    XORLW 0
    BTFSC STATUS,2

GOTO CASO0 ;L0059
XORLW TMR0
BTFSC STATUS,2
GOTO CASO1 ;L005E
XORLW 3
BTFSC STATUS,2
GOTO CASO2 ;L0063
GOTO OUTSEL ;L0068
.*****
;
;L0059
CASO0 MOVF PTMPH,W ;PPM1 <-- PTMP
    MOVWF PPM1H
    MOVF PTMPL,W
    MOVWF PPM1L
    GOTO OUTSEL ;L0068
;L005E
CASO1 MOVF PTMPH,W ;PPM2 <-- PTMP
    MOVWF PPM2H
    MOVF PTMPL,W
    MOVWF PPM2L
    GOTO OUTSEL ;L0068
;L0063
CASO2 MOVF PTMPH,W ;PPM3 <--
PTMP
    MOVWF PPM3H
    MOVF PTMPL,W
    MOVWF PPM3L
    ;GOTO L0068
;L0068
OUTSEL INCF I,F ;SI I==3
    MOVF I,W ;I=0
    SUBLW 3
    BTFSC STATUS,2
    CLRF I
    MOVLW 0xF0
    ANDWF PORTB,F ;SEND I TO PORT B
    BCF STATUS,0
    RLF I,W
    MOVWF J
    MOVF J,W
    IORWF PORTB,F
    BSF STATUS,5
;L0075
OUT_EXT
    BCF STATUS,5
    BCF INTCON,1
    BCF PCLATH,3
    BCF PCLATH,4
    GOTO NO_INT ;L001D
.*****
;
;L007A
MAIN
    CLRF FSR
    MOVLW 0x1F
    ANDWF STATUS,F
    BSF STATUS,5

```

```

BSF  ADCON0,0
BSF  ADCON0,1
BSF  ADCON0,2
BCF  ADCON0,3
MOVLW 7
MOVWF CCPR2H
BCF  STATUS,5
;***** INICIALIZANDO VARIABLES *****
CLRF  I
CLRF  J
CLRF  DUTY1L
CLRF  DUTY1H
CLRF  DUTY2L
CLRF  DUTY2H
CLRF  DUTY3L
CLRF  DUTY3H
MOVLW 0xA6
MOVWF PPM1L
MOVLW 0xE
MOVWF PPM1H      ;PPM1 <-- 3750
MOVLW 0xA6
MOVWF PPM2L
MOVLW 0xE
MOVWF PPM2H      ;PPM2 <-- 3750
MOVLW 0xA6
MOVWF PPM3L
MOVLW 0xE
MOVWF PPM3H      ;PPM3 <-- 3750
CLRF  PTMPL
CLRF  PTMPH

;*****
;
BSF  STATUS,5      ;NO PORTS
ANALOGS
BSF  ADCON0,0
BSF  ADCON0,1
BSF  ADCON0,2
BCF  ADCON0,3
BCF  STATUS,5
BCF  ADCON0,0
;*****
;
BCF  SSPCON,5 ;NO SPI
MOVLW 0
MOVWF SSPCON
BSF  STATUS,5
MOVWF SSPCON
;*****
;
MOVF  TMR0,W      ;SET WACHT DOG
TIMER
ANDLW 0xC0      ;WDT = 288ms
MOVWF TMR0
MOVLW PIR1
MOVWF TMP0
MOVLW 7
BCF  STATUS,5
CLRF  TMR0

MOVLW 0x81
MOVWF FSR
MOVF 0,W
ANDLW 0xF0
IORLW 7
MOVWF 0
CLRWDT
MOVF 0,W
ANDLW 0xF7
BTFSC TMP0,3
ANDLW 0xF0
IORWF TMP0,W
MOVWF 0

;*****
;
MOVLW 0x95      ;SET TIMER1 INT
MOVWF T1CON      ;T1 DIV 2
;*****
;
MOVLW 0      ;SET TIMER 2
MOVWF TMP1      ;DIV 16
IORLW 6      ;SET 255 = 0xFF
MOVWF T2CON      ;1 DESBORDE
MOVLW 0xFF
BSF  STATUS,5
MOVWF T2CON
;*****
;
BCF  STATUS,5      ;SET CCP1 Y CCP2
BCF  PORTC,2      ;COMO PWM
MOVLW 0X0C
MOVWF CCP1CON
BCF  PORTC,1
MOVWF CCP2CON
;*****
;
MOVLW 7      ;SET COMPARATOR
BSF  STATUS,5 ;COMO NO HABILITADO
MOVWF CCPR2H
MOVF PORTA,W
CLRWDT
MOVLW 0x10
MOVWF TMP0
;L00D8
L02  DECFSZ TMP0,F
GOTO L02      ;L00D8
MOVF CCPR2H,W
BCF  STATUS,5
BCF  PIR2,6
;*****
;
BSF  STATUS,5      ;SET TRIS PORT
MOVLW 0
MOVWF PORTA
MOVLW 1
MOVWF PORTB
MOVLW 0
MOVWF PORTC
BCF  STATUS,5
CLRF  PORTA

```

```

CLRF PORTB
CLRF PORTC
,*****
BSF INTCON,4 ;HABILITANDO
INTERRUPTS
MOVLW 0xC0
IORWF INTCON,F
,*****
;L00EC
INFINITO
CLRWDT
,***** PPM 1 *****
,*****
MOVLW 0xA6 ;DUTY1 <-- PPM1 - 3750
SUBWF PPM1L,W
MOVWF DUTY1L
MOVF PPM1H,W
MOVWF DUTY1H
MOVLW 0xE
BTFSS STATUS,0
MOVLW 0xF
SUBWF DUTY1H,F
,*****
BTFSC DUTY1H,7 ;SI DUTY > 20
GOTO L04 ;L0106
MOVF DUTY1H,F
BTFSS STATUS,2
GOTO L03 ;L00FF
MOVF DUTY1L,W
SUBLW 0x14
BTFSC STATUS,0
GOTO L04 ;L0106
,*****
;L00FF
L03 BCF PORTB,5 ;DIR ADELANTE
CLRWDT
MOVLW 0xA6 ;SET B5 0
MOVWF TMP0
;L0103
DL1 DECFSZ TMP0,F ;RETARDO DE 100us
GOTO DL1 ;L0103
BSF PORTB,4 ;SET B5 1
,*****
;L0106
L04 BTFSS DUTY1H,7 ;SI DUTY <-20
GOTO L05 ;L0119
MOVF DUTY1H,W
SUBLW 0xFF
BTFSS STATUS,0
GOTO L05 ;L0119
BTFSS STATUS,2
GOTO L06 ;L0112

```

```

MOVF DUTY1L,W
SUBLW 0xEB
BTFSS STATUS,0
GOTO L05 ;L0119
,*****
;L0112
L06 BCF PORTB,4 ;DIR ATRAS
CLRWDT ;SET B4 0
MOVLW 0xA6
MOVWF TMP0
;L0116
DL2 DECFSZ TMP0,F ;RETARDO DE 100us
GOTO DL2 ;L0116
BSF PORTB,5 ;SET B5 1
;L0119
,*****
L05 MOVF DUTY1H,W ;VALOR ABS DE
MOVWF TMP2 ;DUTY1
MOVF DUTY1L,W
BTFSS DUTY1H,7
GOTO L07 ;L0127
MOVF DUTY1L,W
SUBLW 0
MOVWF TMP0
CLRF TMP2
MOVF DUTY1H,W
BTFSS STATUS,0
INCFSZ DUTY1H,W
SUBWF TMP2,F
MOVF TMP0,W
;L0127
L07 MOVWF DUTY1L
MOVF TMP2,W
MOVWF DUTY1H
,*****
BTFSC DUTY1H,7 ;SI DUTY1 < 20
GOTO L08 ;L0133
MOVF DUTY1H,F
BTFSS STATUS,2
GOTO L09 ;L0135
MOVF DUTY1L,W
SUBLW 0x13
BTFSS STATUS,0
GOTO L09 ;L0135
;L0133
L08 CLRF DUTY1H ;DUTY1 <-- 0
CLRF DUTY1L
,*****
;L0135
L09 BTFSC DUTY1H,7 ;SI DUTY1 > 1020
GOTO L10 ;L0146
MOVF DUTY1H,W

```

```

SUBLW 2
BTFSC STATUS,0
GOTO L10 ;L0146
XORLW 0xFF
BTFSS STATUS,2
GOTO L11 ;L0142
MOVF DUTY1L,W
SUBLW 0xFC
BTFSC STATUS,0
GOTO L10 ;L0146
;L0142
L11 MOVLW 3 ; DUTY <-- 1023
MOVWF DUTY1H
MOVLW 0xFF
MOVWF DUTY1L

.*****
;L0146
L10 MOVF DUTY1H,W ; SET PWM1
DUTY
MOVWF TMP2 ; CON
DUTY1
MOVF DUTY1L,W
MOVWF TMP1
RRF TMP2,F
RRF TMP1,F
RRF TMP2,F
RRF TMP1,F
RRF TMP2,F
RRF TMP1,F
RRF TMP2,F
MOVWF CCP1L
RRF TMP2,F
RRF TMP2,W
ANDLW 0x30
MOVWF TMP0
MOVF CCP1CON,W
ANDLW 0xCF
IORWF TMP0,W
MOVWF CCP1CON

.*****
;
.***** PPM2 *****
;
.*****
;
MOVLW 0xA6 ; DUTY2 <-- PPM2 - 3750
SUBWF PPM2L,W
MOVWF DUTY2L
MOVF PPM2H,W
MOVWF DUTY2H
MOVLW 0xE
BTFSS STATUS,0
MOVLW 0xF
SUBWF DUTY2H,F
.*****
;
BTFSC DUTY2H,7

```

```

GOTO L12 ;L0172
MOVF DUTY2H,F ; SI DUTY2 > 20
BTFSS STATUS,2
GOTO L13 ;L016B
MOVF DUTY2L,W
SUBLW 0x14
BTFSC STATUS,0
GOTO L12 ;L0172
.*****
;L016B
L13 BCF PORTC,3 ; DIR ADELANTE
CLRWDT
MOVLW 0xA6
MOVWF TMP0
;L016F
DL3 DECFSZ TMP0,F ; RETARDO DE 100 us
GOTO DL3 ;L016F
BSF PORTC,0

.*****
;L0172
L12 BTFSS DUTY2H,7 ; SI DUTY2 < -20
GOTO L14 ;L0185
MOVF DUTY2H,W
SUBLW 0xFF
BTFSS STATUS,0
GOTO L14 ;L0185
BTFSS STATUS,2
GOTO L15 ;L017E
MOVF DUTY2L,W
SUBLW 0xEB
BTFSS STATUS,0
GOTO L14 ;L0185

.*****
;L017E
L15 BCF PORTC,0 ; DIR ATRAS
CLRWDT
MOVLW 0xA6
MOVWF TMP0
;L0182
DL4 DECFSZ TMP0,F ; RETARDO 100us
GOTO DL4 ;L0182
BSF PORTC,3

.*****
;L0185
L14 MOVF DUTY2H,W ; VALOR ABS DE
MOVWF TMP2 ; DUTY2
MOVF DUTY2L,W
BTFSS DUTY2H,7
GOTO L16 ;L0193
MOVF DUTY2L,W
SUBLW 0
MOVWF TMP0
CLRF TMP2

```

```

MOVF DUTY2H,W
BTFSS STATUS,0
INCFSZ DUTY2H,W
SUBWF TMP2,F
MOVF TMP0,W
;L0193
L16    MOVWF DUTY2L
MOVF TMP2,W
MOVWF DUTY2H

.*****
,
BTFSC DUTY2H,7    ; SI DUTY2 < 20
GOTO L17          ;L019F
MOVF DUTY2H,F
BTFSS STATUS,2
GOTO L18          ;L01A1
MOVF DUTY2L,W
SUBLW 0x13
BTFSS STATUS,0
GOTO L18          ;L01A1
;L019F
L17    CLR F DUTY2H    ; DUTY2 <--
0
CLR F DUTY2L

.*****
,
;L01A1
L18    BTFSC DUTY2H,7    ; SI DUTY 2
> 1020
GOTO L19          ;L01B2
MOVF DUTY2H,W
SUBLW 2
BTFSS STATUS,0
GOTO L19          ;L01B2
XORLW 0xFF
BTFSS STATUS,2
GOTO L20          ;L01AE
MOVF DUTY2L,W
SUBLW 0xFC
BTFSS STATUS,0
GOTO L19          ;L01B2
;L01AE
L20    MOVLW 3
MOVWF DUTY2H      ; DUTY2 <--
1023
MOVLW 0xFF
MOVWF DUTY2L

.*****
,
;L01B2
L19    MOVF DUTY2H,W    ; SET PWM2
CON DUTY2
MOVWF TMP2        ;
MOVF DUTY2L,W
MOVWF TMP1
RRF TMP2,F

```

```

RRF TMP1,F
RRF TMP2,F
RRF TMP1,F
RRF TMP2,F
MOVF TMP1,W
MOVWF CCP2R2L
RRF TMP2,F
RRF TMP2,W
ANDLW 0x30
MOVWF TMP0
MOVF CCP2CON,W
ANDLW 0xCF
IORWF TMP0,W
MOVWF CCP2CON
.*****
,
.***** PPM 3 *****
,
.*****
MOVLW 0xA6        ;DUTY3 <-- PPM3 -
3750
SUBWF PPM3L,W
MOVWF DUTY3L
MOVF PPM3H,W
MOVWF DUTY3H
MOVLW 0xE
BTFSS STATUS,0
MOVLW 0xF
SUBWF DUTY3H,F

.*****
,
BTFSC DUTY3H,7    ;SI DUTY3 > 20
GOTO L21          ;L01DE
MOVF DUTY3H,F
BTFSS STATUS,2
GOTO L22          ;L01D7
MOVF DUTY3L,W
SUBLW 0x14
BTFSS STATUS,0
GOTO L21          ;L01DE

.*****
,
;L01D7
L22    BCF PORTC,6
CLRWD T
MOVLW 0xA6
MOVWF TMP0
;L01DB
DL5    DECFSZ TMP0,F
GOTO DL5          ;L01DB
BSF PORTC,4

.*****
,
;L01DE
L21    BTFSS DUTY3H,7    ;SI DUTY3 < -20
GOTO L23          ;L01F1
MOVF DUTY3H,W

```

```

SUBBLW 0xFF
BTFSS STATUS,0
GOTO L23 ;L01F1
BTFSS STATUS,2
GOTO L24 ;L01EA
MOVF DUTY3L,W
SUBBLW 0xEB
BTFSS STATUS,0
GOTO L23 ;L01F1

.*****
;
;L01EA
L24 BCF PORTC,4 ;DIR ATRAS
    CLRWDT
    MOVLW 0xA6
    MOVWF TMP0
;L01EE
DL6 DECFSZ TMP0,F ;RETARDO 100us
    GOTO DL6 ;L01EE
    BSF PORTC,6

.*****
;
;L01F1
L23 MOVF DUTY3H,W ;VALOR ABS DE
    DUTY3
    MOVWF TMP2
    MOVF DUTY3L,W
    BTFSS DUTY3H,7
    GOTO L25 ;L01FF
    MOVF DUTY3L,W
    SUBBLW 0
    MOVWF TMP0
    CLRF TMP2
    MOVF DUTY3H,W
    BTFSS STATUS,0
    INCFSZ DUTY3H,W
    SUBWF TMP2,F
    MOVF TMP0,W
;L01FF
L25 MOVWF DUTY3L
    MOVF TMP2,W
    MOVWF DUTY3H

.*****
;
    BTFSC DUTY3H,7 ; SI DUTY3 > 600
    GOTO L26 ;L0216
    MOVF DUTY3H,W
    SUBBLW 1
    BTFSC STATUS,0
    GOTO L26 ;L0216
    XORLW 0xFF
    BTFSS STATUS,2
    GOTO L27 ;L020F
    MOVF DUTY3L,W
    SUBBLW 0x58

    BTFSC STATUS,0
    GOTO L26 ;L0216

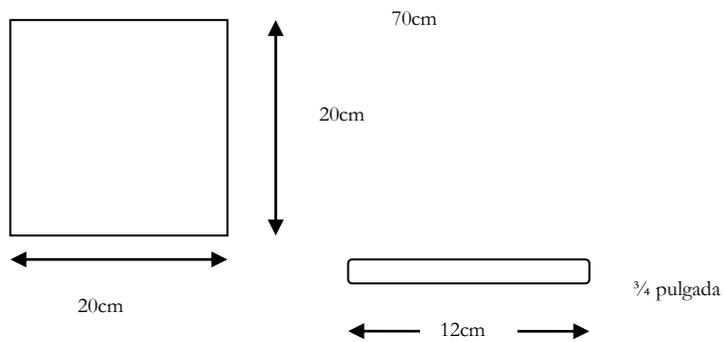
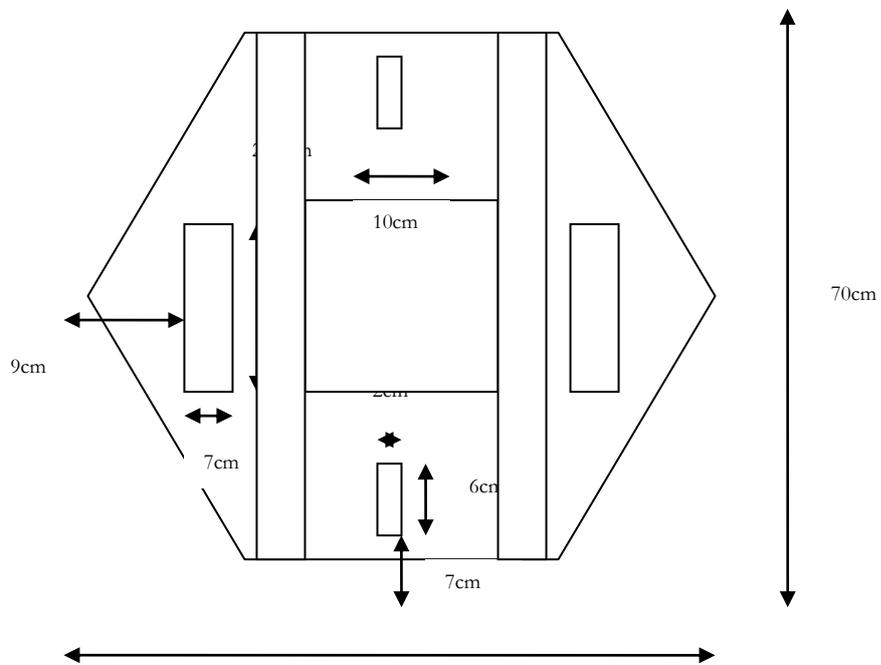
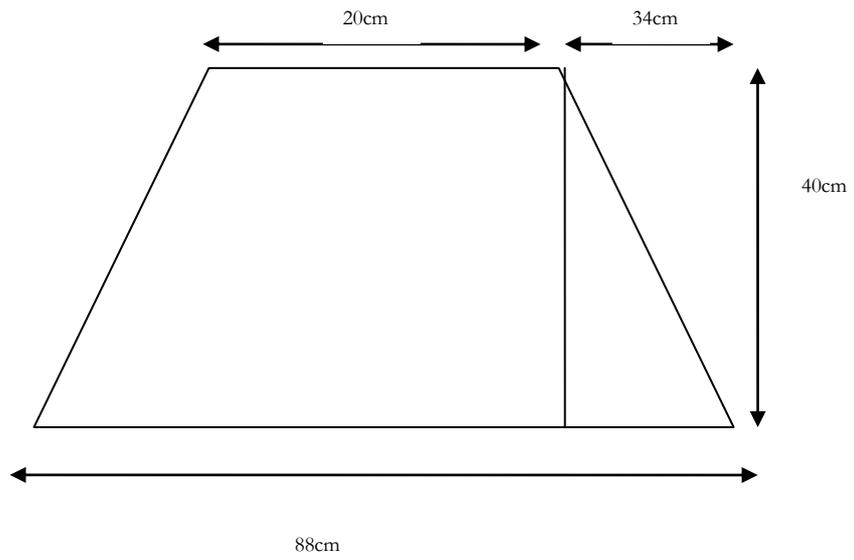
.*****
;
;L020F
L27 BTFSS PORTC,4 ; SI DIR ADELANTE
    GOTO L28 ;L0212
    BSF PORTC,7
;L0212
L28 BTFSS PORTC,6 ;SI DIR ATRAS
    GOTO INFINITO ;L0215
    BSF PORTC,5
;L0215
    GOTO INFINITO ;L0218
;L0216
L26 BCF PORTC,5
    BCF PORTC,7
L0218 GOTO INFINITO ;L00EC
    SLEEP
    END

;2007: 1F77

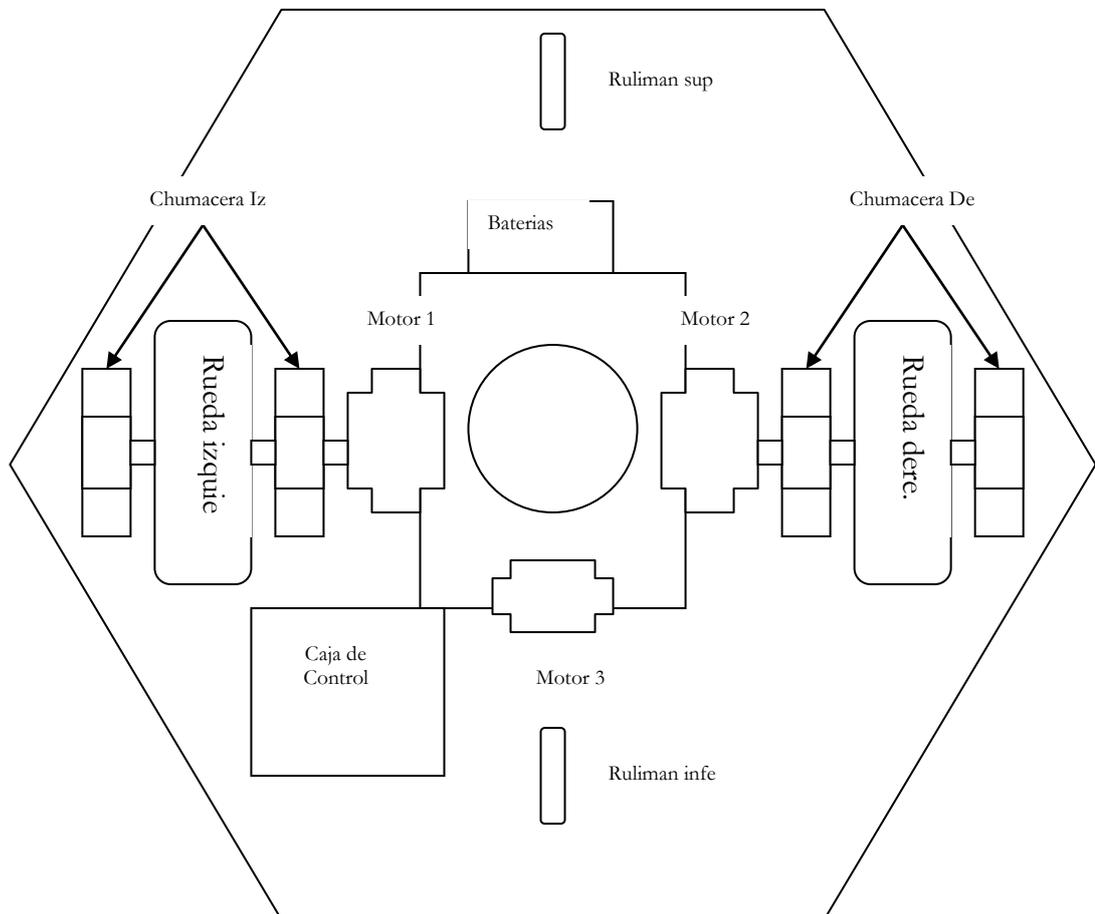
```



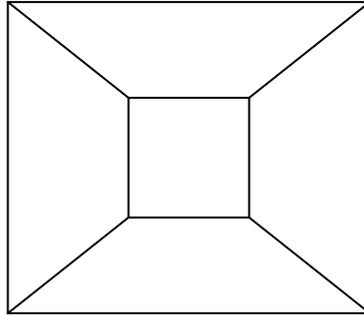
DISEÑOS MECÁNICO



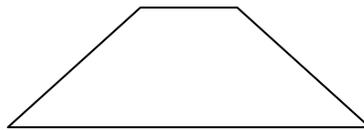
UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS



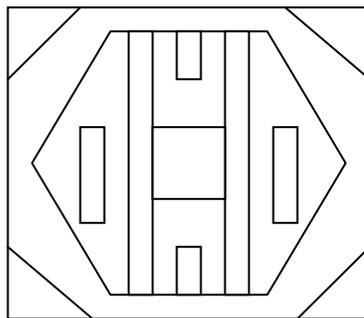
VISTAS DEL ROBOT



VISTA SUPERIOR

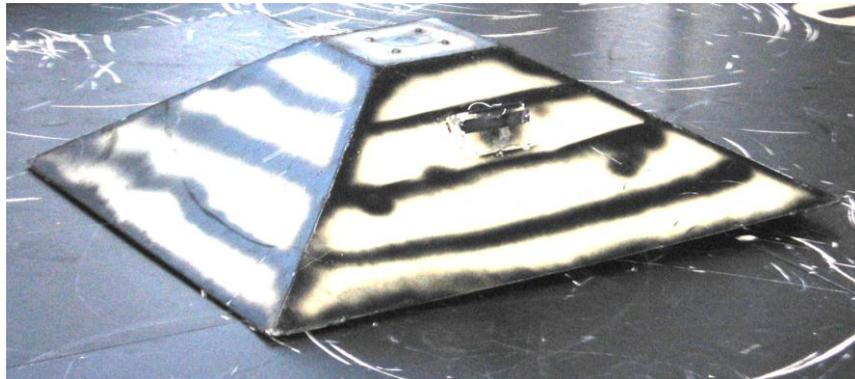


VISTA FRONTAL
Y
VISTA LATERAL



VISTA INFERIOR

FOTOS DEL PIRAMIBOTS, OTROS ROBOTS DE BATALLA Y CER2005



PIRAMIBOT

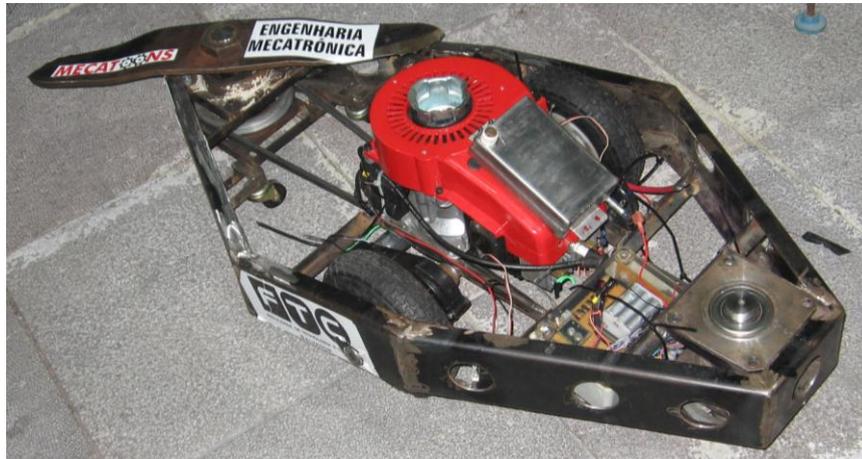


PIRAMIBOT EN ACCION



CANCHA DE BATALLA DEL ROBOTS

OTROS ROBOTS DE BATALLA DE ROBOTS



ROBOT DE MECATOON 1 (BRASIL)



ROBOT DE UPS "OROBOT" (CUENCA)



DEMONBOT (IEEE-ESPOL)



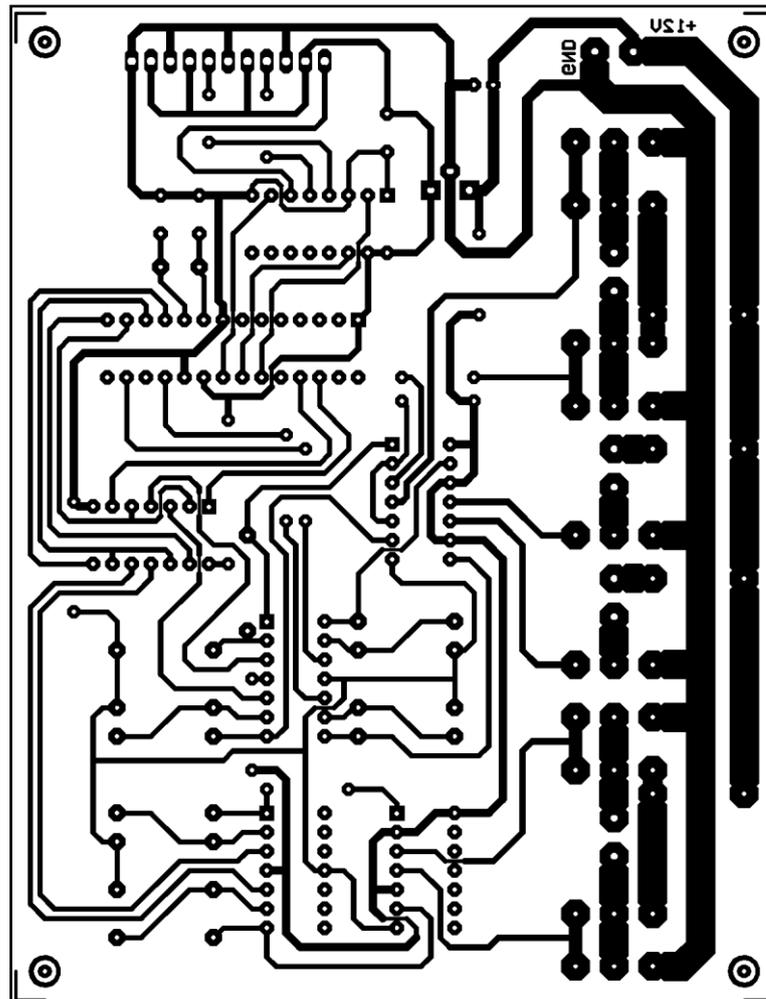
POTENCIA MECÁNICA (FIMCP-ESPOL)



ROBOT DE MECATOON 2 (BRASIL)

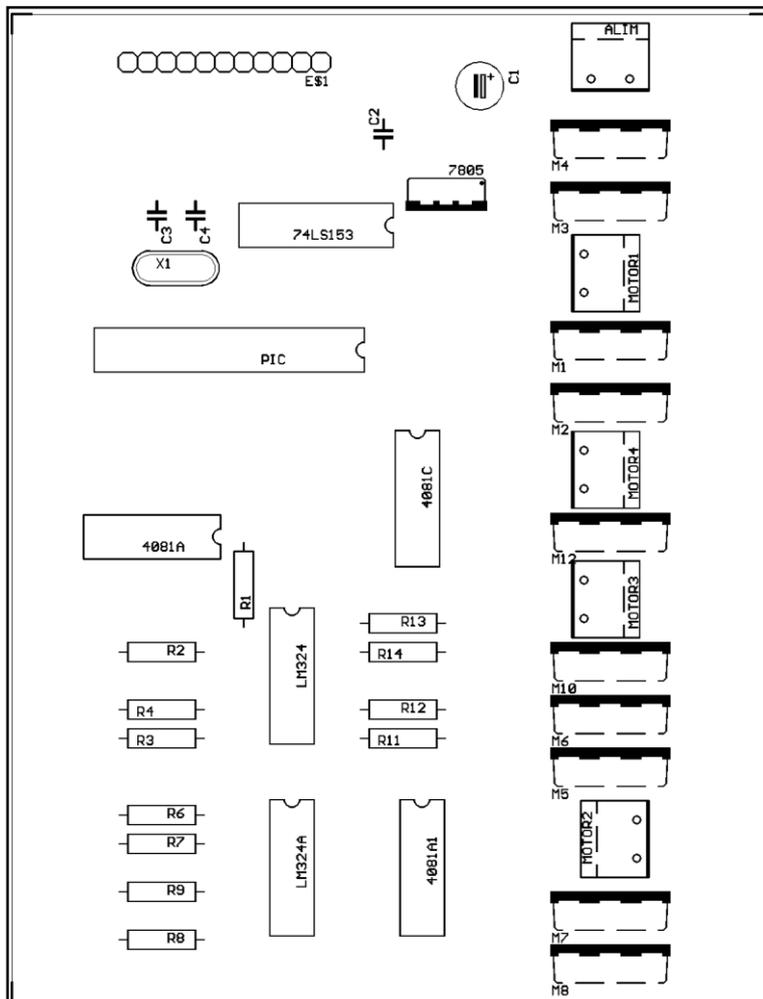
PCB DE CIRCUITO DEL CONTROL

Lado anverso



PCB con los elementos

Lado inverso



ALIM: 1 (GND), 2 (+ 12V)

M2, M4, M6: IRFZ44N

M8, M10, M12: IRFZ44N

M1, M3, M5, M7: IRF9540N

R1, R3, R5, R7: 4KΩ

R9, R11, R13: 4KΩ

R2, R4, R6, R8: 1KΩ

R10, R12, R14: 1KΩ

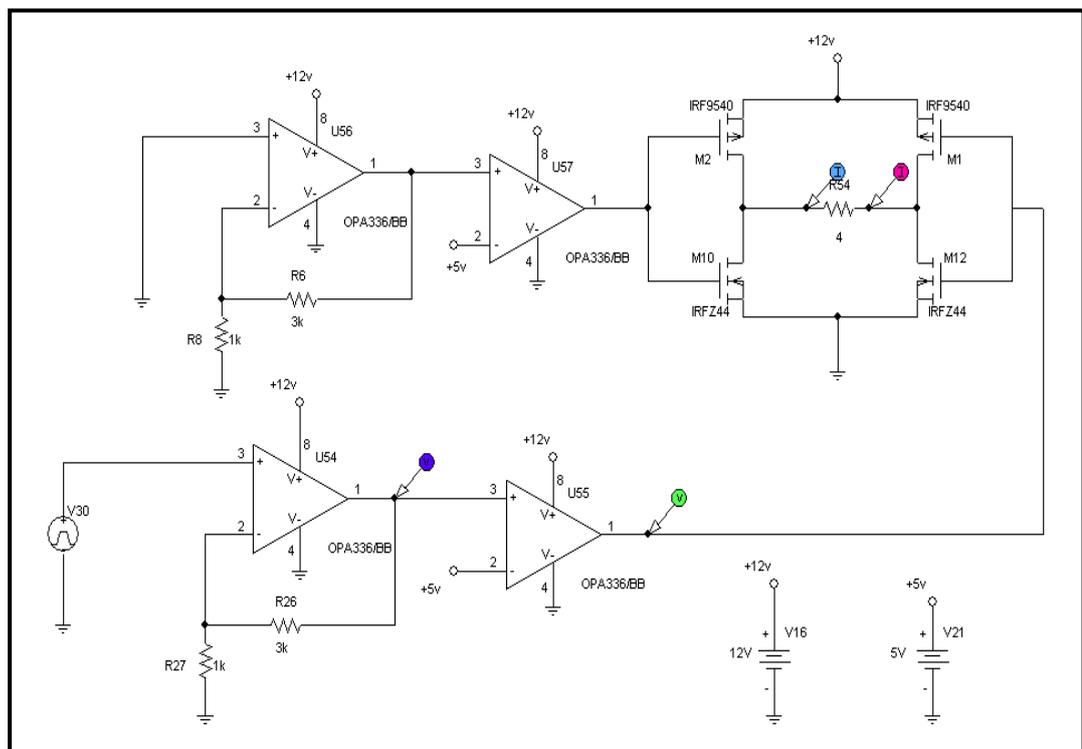
C1: 47μF 50V

C2: 0.1μF 50V

C3 Y C4: 22pF

X1: Cristal de 20Mhz

CIRCUITO EQUIVALENTE PARA LA SIMULACION DE LA PARTE ELECTRÓNICA



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Microchip, *PIC1687X DataSheet*, 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers.

- [2] Fairchild, *Dual 1-of-4 Line Data Selectors/Multiplexers DataSheet*, Agosto 1986, Revisado en 2000, <http://www.fairchildsemi.com>

- [3] Texas Instruments, *CMOS AND GATES DataSheet*, Revisado septiembre 2003, Dallas, Texas 75265

- [4] ON Semiconductors, *Single Supply Quad Operational Amplifier DataSheet*, Phoenix, Arizona 85082-1312 USA, <http://onsemi.com>

- [5] International Rectifier, *HEXAFET Power MOSFET DataSheet*, PD – 91303B, 233 Kansas St, El Segundo, California, 90245. <http://www.irf.com>

- [6] International Rectifier, *HEXAFET Power MOSFET DataSheet*, PD – 91437B, 233 Kansas St, El Segundo, California, 90245. <http://www.irf.com>

- [7] Futaba, Digital Proportional R/C system, *Instruction Manual FM 4 Channels for Aircraft 4YF*, Futaba Corporation, Chiba, Japan, Abril de 2003

- [8] Archer, E. Knowlton & R. M. Shoop, *Standard Handbook for Electrical Engineers*, Editorial Labor, S.A., Tomo 1, 8va Edicion, Barcelona Madrid, 1982.

- [9] Eugene, A. Avallone, Theodore Barmeister III., *Manual del Ingeniero Mecánico*, Mc Graw-Hill, Tomo 2, 9na Edición, Colombia, 1995.
- [10] J, C. Duez & G, Avelera., *Electrónica Aplicada 2*, Editorial Trillas, S.A. Av 5 de Mayo 43- 105, México 1, DF. 26 de Febrero, 1979.
- [11] Donald, G. Fink & H, Wayse B. *Manual de Ingeniería Eléctrica*, Mc Graw-Hill, Tomo 3, 13va Edición, México Junio, 1996.
- [12] “Different types of rechargeable batteries”.
http://www.intelligentbatteries.com/battery_tips.asp?CallFrom=Index&,
Intelligent Batteries Inc., Junio 1999.
- [13] Gordon McComb, *The Robot Builder Bonanza*, McGraw-Hill, Segunda Edición, 2001.
- [14] Joseph L. Jones, Anita M. Flynn, Bruce A, Seiger, *Mobile Robots Inspiraions to Implementation, A K Peters Natick, Massachussets*, Segunda Edición, 1999.