



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Electrónica

**“Diseño de los controladores para una silla de ruedas
multifuncional”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención
del título de Ingeniero Electrónico**

Autor: Omar Santiago Alvarado Cando

Director: Dr. Hugo Torres

Cuenca, Ecuador

2011

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que directa o indirectamente han participado para la realización y culminación del mismo. De manera especial a Verónica, Francisco, mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que sin su voluntad nada de esto hubiera sido posible.

A los profesores de la Universidad del Azuay, que han sabido compartir sus conocimientos y de manera especial al Dr. Hugo Torres quien fue mi guía y apoyo en el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

DISEÑO DE LOS CONTROLADORES PARA UNA SILLA DE RUEDAS MULTIFUNCIONAL

La presente tesis tuvo como finalidad desarrollar diferentes tipos de controladores para una silla de ruedas eléctrica, la cual puede ser usada por personas con distintos tipos de discapacidades motoras. Dichos controladores de la silla de ruedas multifuncional son: Palanca/Joystick, teclado, pantalla táctil y soplo/succión.

Para la detección y uso de los sensores de control se desarrolló un sistema integrado mediante un microcontrolador, con el cual, los mandos de la silla de ruedas multifuncional puedan estar conectados todos al mismo tiempo.

ABSTRACT

DESIGN OF THE CONTROLS FOR A MULTIFUNCTIONAL ELECTRICAL WHEELCHAIR

The objective of this project is to develop different types of control for an electric wheelchair, which can be used by the people suffering from distinct motor disabilities. The multifunctional wheelchair controls are; joystick, keyboard, touch screen and suction.

An integrated system with a microcontroller was developed for the detection and use of the control sensors, with which the various multifunctional wheelchair controls can be connected at the same time.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1: DISEÑO DEL HARDWARE DE LOS CONTROLADORES	2
1.1 Pantalla táctil.....	2
1.1.1 Pantalla táctil resistiva (4 cables)	4
1.1.2 Controlador de la pantalla táctil de 4 cables.....	6
1.2 Joystick o palanca analógica.	8
1.3 Mando mediante pulsantes.....	10
1.4 Control mediante soplo y succión	12
1.4.1 Sensor de Presión	12
1.4.1.1 Características de operación	13
1.4.1.2 Características físicas.....	14
1.4.2 Sensor Phidgets	15
CAPITULO 2: DISEÑO DEL HARDWARE PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES	17
2.1 Fuerza requerida para el movimiento de la silla de ruedas.	18
2.1.1 Fuerza requerida en una superficie plana.	18
2.1.2 Fuerza requerida en una superficie inclinada.	20
2.1.3 Selección del motor para la silla de ruedas	22
2.2 Diseño del circuito de potencia	23
2.2.1 Transistor Mosfet tipo incremental	24
2.2.2 Puente H con Transistores Mosfets	28

CAPITULO 3: DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA.....	34
3.1 Microcontrolador PIC 18f4550.....	40
3.2 Conversor Analógico Digital.....	46
3.2.1 Registro de Control ADCON 0.....	48
3.2.2 Registro de Control ADCON1.....	50
3.2.3 Registro de control ADCON 2.....	52
3.2.4 Inicialización del Conversor Analógico/Digital.....	54
3.3 Módulo Enhanced PWM.....	55
3.3.1 Período del PWM.....	57
3.3.2 Duty Cycle del PWM.....	57
3.3.3 Configuración de la salida del PWM.....	57
3.3.4 Inicialización del PWM en modo Full-Bridge.....	60
CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS.....	62
4.1 Resultado de la Rampa de Arranque y Frenado.....	65
4.2 Prueba de la Pantalla Táctil.....	67
4.3 Prueba del Joystick y Pulsantes.....	67
4.4 Prueba del Soplo.....	69
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Pantalla táctil de una PDA accionada por un lápiz.....	3
Figura 2. Diversos usos de las pantallas táctiles.	3
Figura 3. Estructura de una pantalla táctil a 4 cables.....	4
Figura 4. Pantalla táctil usada en la silla multifuncional	5
Figura 5. Conexión de resistencias de una pantalla táctil de 4 cables.....	5
Figura 6. Circuito de interfaz para pantalla táctil de 4 cables	6
Figura 7. Joystick mecánico	8
Figura 8. Joystick analógico.....	9
Figura 9. Conexión del Joystick al Sistema Integrado.....	10
Figura 10. Diagrama y ubicación de los pulsantes de control.....	11
Figura 11. Tipos de pulsantes.....	11
Figura 12. Sensor de Presión MPXV7025DP.....	13
Figura 13. Dimensiones del sensor de presión.....	14
Figura 14. Sensor de Presión Diferencial Phidgets	15
Figura 15. Cable para la conexión del Sensor de Presión Phidgets.	16
Figura 16. Silla de Ruedas Normal	17
Figura 17. Silla de ruedas en una superficie plana.....	19
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre en una superficie plana.....	19
Figura 19. Silla de ruedas en una superficie inclinada.....	20
Figura 20. Diagrama de cuerpo libre en una pendiente	21
Figura 21. Motores usados en la silla de ruedas multifuncional	22
Figura 22. Diagrama de un puente H.	23
Figura 23. Inversión de giro en un puente H.....	24
Figura 24. Mosfet tipo incremental de canal-n.	25
Figura 25. Formación del canal-n virtual en el mosfet incremental.	26
Figura 26. Tiempos de Conmutación del Transistor Mosfet.	27
Figura 27. Mosfet incremental canal-p.	27
Figura 28. Puente H con transistores Mosfets tipo incremental.....	28
Figura 29. Esquema de activación del mosfet.....	29
Figura 30. Avance del motor hacia adelante	31
Figura 31. Avance del motor hacia atrás.....	32

Figura 32. Esquema electrónico del sistema integrado.....	33
Figura 33. Función inicio.....	35
Figura 34. Función interrupción.....	36
Figura 35. Subrutina teclado	37
Figura 36. Subrutina palanca	38
Figura 37. Subrutina táctil.....	39
Figura 38. Configuración de Pines del microcontrolador PIC 18f4550.....	40
Figura 39. Esquema del Timer 0.....	44
Figura 40. Esquema del timer 2.....	45
Figura 41. Diagrama de Bloques del Conversor A/D.....	47
Figura 42. Registro ADCON del PIC18f4550.....	48
Figura 43. Esquema de bits para la selección del canal a convertir.....	49
Figura 44. Registro ADCON1 del PIC18f4550.....	50
Figura 45. Bits para el control del Voltaje de referencia del conversor A/D.....	51
Figura 46. Esquema de bits para la configuración del puerto del conversor A/D.....	51
Figura 47. Esquema de bits del ADCON2.....	52
Figura 48. Valores del reloj del conversor A/D.....	52
Figura 49. Valores para el tiempo de adquisición del conversor A/D.....	53
Figura 50. Tipos de almacenamientos del resultado de conversión.....	53
Figura 51. Registro CCP1CON del PIC18f4550.....	56
Figura 52. Diagrama de bloque del modulo PWM.....	56
Figura 53. Esquema de bits para seleccionar el modo del PWM.....	58
Figura 54. Salida del PWM en modo Full-Bridge.....	59
Figura 55. Aplicación del PWM en modo Full-Bridge.....	60
Figura 56. Posicionamiento de los componentes.....	62
Figura 57. Ruteo de la capa inferior.....	63
Figura 58. Ruteo de la capa superior.....	64
Figura 59. Placa PCB para el control de los motores.....	65
Figura 60. Silla de ruedas prueba.....	66
Figura 61. Pantalla táctil instalada en la silla de ruedas.....	67
Figura 62. Joystick instalado en la silla de ruedas.....	68
Figura 63. Teclado usado en la silla de ruedas.....	68
Figura 64. Dispositivo para realizar el control mediante soplo.....	69

Alvarado Cando Omar Santiago

Trabajo de Graduación

Dr. Hugo Torres

Enero de 2011

**DISEÑO DE LOS CONTROLADORES PARA UNA SILLA DE RUEDAS
MULTIFUNCIONAL**

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al estudio realizado por el CONADIS “Discapacidad en el Ecuador”, la movilización es la limitación más frecuente y las personas no utilizan ayuda técnica. Esto se debe a que una simple silla de ruedas eléctrica no se ajusta a las necesidades de las personas con discapacidades, que muchas no son capaces de mover sus manos.

Es necesario tener una silla de ruedas eléctrica que se pueda adaptar a la mayoría de las necesidades de una persona discapacitada. El objetivo de esta tesis es diseñar diferentes tipos de controladores para que la mayoría de discapacitados puedan moverse en la silla de ruedas multifuncional.

La Silla Multifuncional consta de 4 controles: pantalla táctil, soplo/succión, palanca y teclado. Estos se encuentran conectados a un sistema integrado, permitiendo que todos los controladores sean conectados y desconectados de acuerdo al usuario. Por la tanto, pueden estar uno o todos los controladores conectados a la silla.

El encargado de controlar el sistema integrado es un microcontrolador PIC18f4550, quien adquiere los datos de los mandos, los procesa y activa o desactiva los motores incorporados a la silla multifuncional.

Los motores de la silla de ruedas son de corriente continua, siendo alimentados con baterías secas de 12 voltios. Se necesita dos baterías debido a que los motores son de 24 voltios, aunque este valor de tensión se regula mediante un control de rampa PWM.

CAPITULO 1

DISEÑO DEL HARDWARE DE LOS CONTROLADORES

En este capítulo se trata los diferentes métodos que el usuario tiene para controlar la silla, estos son: pantalla táctil, palanca/joystick, teclado y soplo/succión. El objetivo de estos controladores es facilitar el movimiento de la silla de ruedas eléctrica a casi todas las personas discapacitadas.

Con estos controladores personas con paraplejía y hasta con cuadriplejía completa podrán movilizarse, gracias al sistema multifuncional. A continuación se describe los controladores que posee la silla de ruedas.

1.1 Pantalla táctil

Existen personas que sufren de cuadriplejía, esto es la parálisis de los dos brazos y dos piernas. Estas personas no pueden tener control de una silla de ruedas eléctricas normal, ya que son incapaces de mover un joystick.

Muchas veces la cuadriplejía no es del todo completa, por lo tanto las personas tienen algún movimiento pero este es leve. Las personas que tienen movimiento leve de algún dedo, pueden manejar la silla de ruedas eléctrica con una pantalla táctil.

“Una pantalla táctil es una pantalla que mediante un toque directo sobre su superficie permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo¹”. Este contacto puede realizarse con los dedos, uñas, lápiz u otras herramientas similares.

¹ WIKIPEDIA. 2010. Pantalla Táctil. EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_táctil



Figura 1. Pantalla táctil de una PDA accionada por un lápiz.

Fuente: WIKIPEDIA. 2010. Pantalla Táctil. EEUU. [En Línea]. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_táctil

Las pantallas táctiles son usadas en celulares, equipos de control, equipos médicos, cajeros automáticos, etc. Gracias al gran uso las pantallas táctiles son fácil de adquirir y a precios razonables. Esto se debe a que son más resistentes que los pulsantes y su desgaste es menor, al no tener accionamiento mecánico.



Figura 2. Diversos usos de las pantallas táctiles.

Fuentes: PHONEBLIP; ICPAMERICA. 2006. Pantalla Táctil. EEUU. [En Línea].

Disponible en: [http://phoneblip.com/2006/12/;](http://phoneblip.com/2006/12/)

http://www.icpamerica.com/products/LCD_products/medical_panel_PC/poc_3174.html

La pantalla táctil es la mejor solución para personas cuadripléjicas capaces de mover un dedo. Para controlar la silla de ruedas solo deberán deslizar el dedo en la dirección que desean ir y para detener la silla de ruedas deberán dejar de hacer contacto con la pantalla táctil.

Existen diferentes tipos y tamaños de pantallas táctiles, pero la más usada en el mercado es la pantalla táctil resistiva por su alta fidelidad.

1.1.1 Pantalla táctil resistiva (4 cables)

Este tipo de pantallas constan de dos capas rígidas o flexibles transparentes de material resistivo y separado por una capa delgada de material aislante. El material resistivo se ubica en el contorno de la pantalla que por lo general es de forma rectangular.

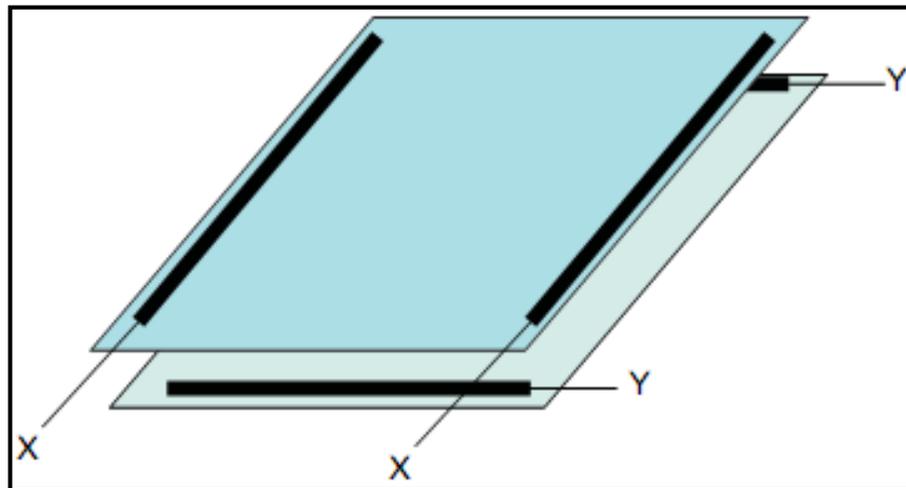


Figura 3. Estructura de una pantalla táctil a 4 cables.

Fuente: ACTEL CORPORATION. 2006. Pantalla táctil 4 cables. EEUU. [En Línea].

Disponible en: http://www.actel.com/documents/Fusion_TouchScreen_AB.pdf

Existen diferentes tamaños de pantallas incluso para sobre montar en una pantalla de computadora. Para el control de la silla no se puede poner una pantalla muy grande, ya que las personas no tienen mucha movilidad con su dedo. Por lo que se optó por una pantalla pequeña, así el recorrido por la misma es rápido, de 8cm de ancho por 5cm de alto, (figura 4).



Figura 4. Pantalla táctil usada en la silla multifuncional

Con la pantalla resistiva a 4 cables se obtiene un arreglo de resistencias, el punto azul representa el lugar donde se hizo contacto en la pantalla, (ver figura 5). El valor de resistencia que se obtenga a la salida, depende de la posición donde se toque en la pantalla. Por lo tanto, para controlar la pantalla se debe realizar mediante partidores de tensión.

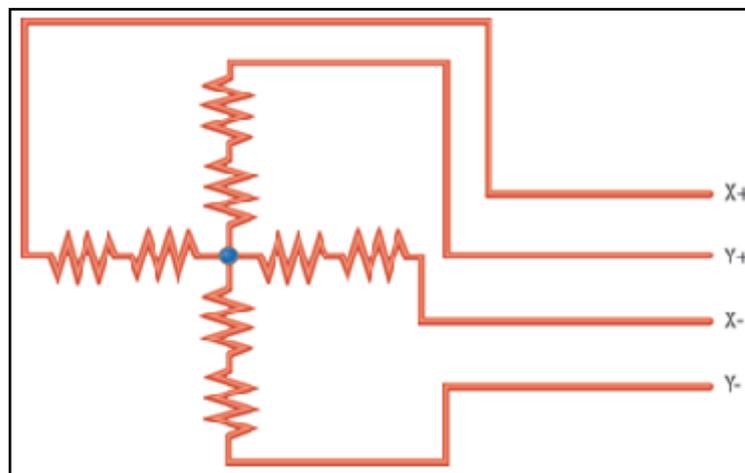


Figura 5. Conexión de resistencias de una pantalla táctil de 4 cables

Fuente: EE TIMES DESING. 2010. Resistencias de una pantalla táctil. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://www.eetimes.com/design/embedded/4006455/Writing-drivers-for-common-touch-screen-interface-hardware>

1.1.2 Controlador de la pantalla táctil de 4 cables

Como se mencionó anteriormente, la manera más sencilla y económica de realizar un controlador para la pantalla táctil es mediante transistores BJT. Los transistores usados fueron 2N3906 y 2N3904, los cuales son de fácil adquisición. El circuito que se implementó fue el siguiente:

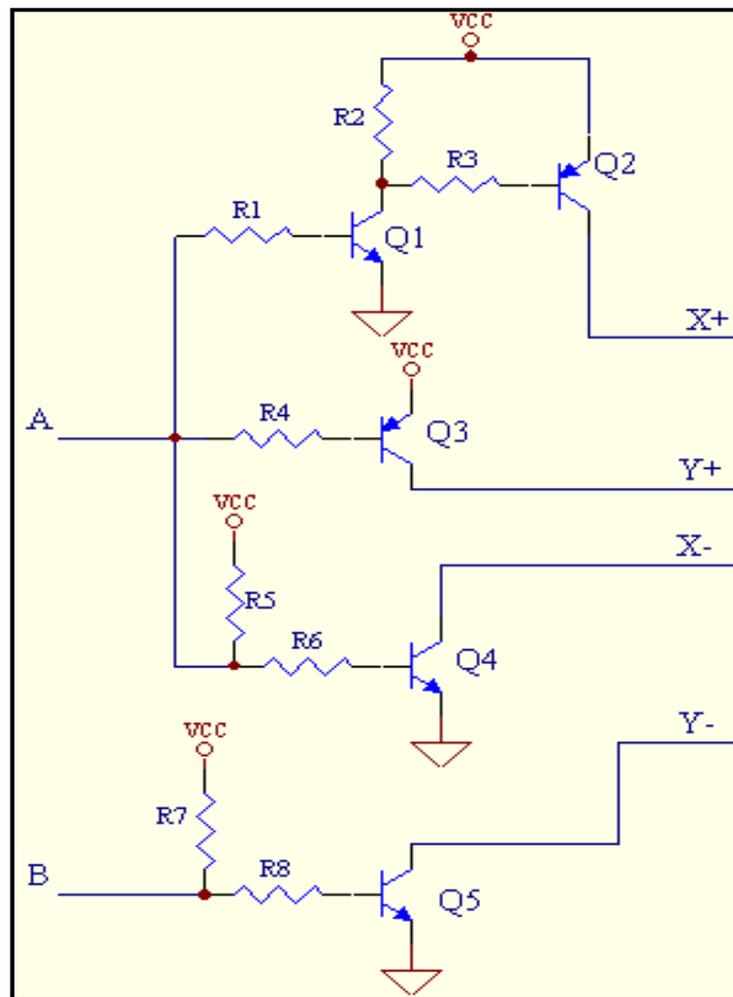


Figura 6. Circuito de interfaz para pantalla táctil de 4 cables

El control de esta interfaz se realiza mediante el PIC18f4550 el cual funciona con 5 voltios. Por lo tanto la alimentación Vcc es igual a 5 voltios, para que así no se tenga que regular el voltaje para este interfaz.

Para obtener el valor de la coordenada en **X**, **X** debe estar a 5V y **-X** a tierra. Cuando se necesita el valor de **Y**, **Y** y **-Y** deben estar conectados a 5V y tierra respectivamente.

Para la adquisición del contacto en la pantalla, **-X** y **-Y** están conectados al conversor analógico digital del microcontrolador. Por lo tanto cuando se necesita el valor de **X** se adquiere mediante **-Y** y cuando se desea el valor de **Y** se obtiene por **-X**.

Los valores de control son los siguientes:

Coordenada a adquirir	A	B
X	0	1
Y	1	0

Tabla 1. Valores para controlador de la pantalla táctil a 4 cables.

En la adquisición del valor de **X**, los transistores Q3 y Q5 entran en saturación por lo que **Y** queda alimentado pudiéndose adquirir el valor en **-Y**. Para obtener el valor de **Y** en **-X** los transistores que entran en saturación son: Q1, Q2 y Q4.

Al alimentar **X** con 5 voltios el valor que se obtiene en **-Y** será de la siguiente manera: si se presiona cerca de **X** el valor será aproximadamente **5V**, pero si se presiona cerca de **-X** el valor será casi cero, puesto que **-X** está conectado a **GND**.

Para el control de la pantalla táctil se usan los bits del puerto E (0 y 1) del PIC. Con esto se puede lograr las combinaciones de la tabla 1. Para adquirir la coordenada donde se hizo contacto, se usa el puerto A del microcontrolador porque aquí se encuentra el conversor analógico digital del mismo. Los canales usados para la pantalla táctil son los pines 2 y 3 (PA,2 y PA,3) conectados a **-X** y **-Y** respectivamente.

1.2 Joystick o palanca analógica.

Este controlador es ideal para personas con paraplejía inferior, lo que significa que la persona puede controlar sus extremidades superiores. Al tener la movilidad en sus brazos y manos estas personas pueden usar una silla de ruedas normal.

El usar en una silla de ruedas normal quiere decir realizar esfuerzo físico durante el movimiento, empujándose en la silla de ruedas. Por esta razón las personas tienden a cansarse y no pueden estar mucho tiempo en movimiento continuo, por lo que se instaló un joystick.

El controlador más usado en el mundo para sillas de ruedas eléctricas es la palanca, gracias a su fácil manejo. Con este controlador el usuario siente mayor libertad de movimiento, debido a la velocidad de reacción del circuito y la persona.

Los joystick pueden ser analógicos o mecánicos. Los mecánicos constan de cuatro pulsantes ubicados en forma de cruz. Por lo tanto, cuando la palanca se mueve hacia arriba activara un solo pulsante, esto sucede de igual manera con el resto de movimientos y pulsantes. A continuación se muestra un joystick mecánico, el cual fue usado en el proyecto “Silla de ruedas controlada por la voz y una palanca”.

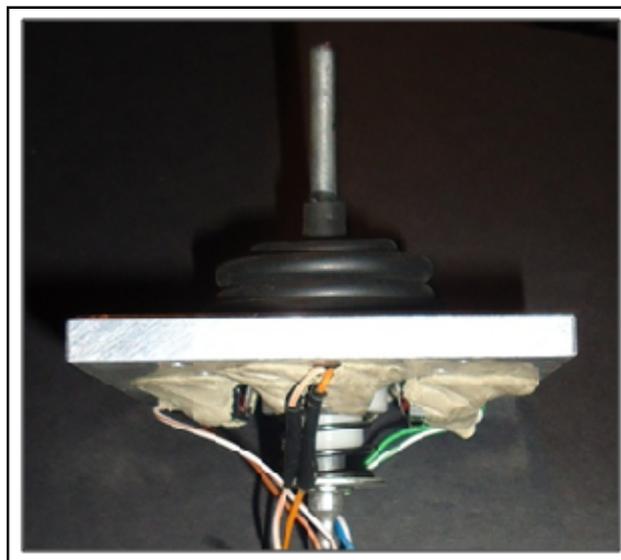


Figura 7. Joystick mecánico

Como se aprecia en la figura 7 es necesario 2 cables por cada pulsantes dando un total de 8 cables, es uno de los motivos por lo que no fue usado en la presente tesis. Otro inconveniente es que todo elemento mecánico tienden a desgastarse con el tiempo, por lo que no se puede realizar movimientos bruscos. El joystick mecánico genera ruido y el contacto no es inmediato, pudiendo generar lecturas falsas por parte del microcontrolador.

Para la silla de ruedas multifuncional se usó una palanca analógica que consta de dos potenciómetros, por lo que son pequeños y efectivos. Al mover el joystick de arriba hacia abajo se mueve un potenciómetro, quedando el otro sin movimiento. Al mover de izquierda a derecha el potenciómetro dos se mueve y el uno queda sin movimiento.



Figura 8. Joystick analógico

Fuente: SEEDSTUDIO. 2010. Joystick analógico. EEUU. [En Línea]. Disponible en:
<http://www.seedstudio.com/depot/playstation2-analog-joystick-p-282.html>

El valor de resistencia de los potenciómetros del joystick analógico es de $10K\Omega$. Para la parte de control se debe tratar que la fuente de alimentación sea de voltaje constante, para que así los valores de los potenciómetros sean siempre los mismos. El circuito que mantiene constante el voltaje se explica en el capítulo 2.

Para la conexión del joystick es necesario realizar un partidor de tensión. Esto se logra alimentando con Vcc los pines de afuera y el del centro conectar al conversor analógico digital del microcontrolador. Al ser dos potenciómetros se necesita dos canales para la adquisición completa de la palanca, estos canales son: puerto A0 y A1 (PA,0 y PA,1).

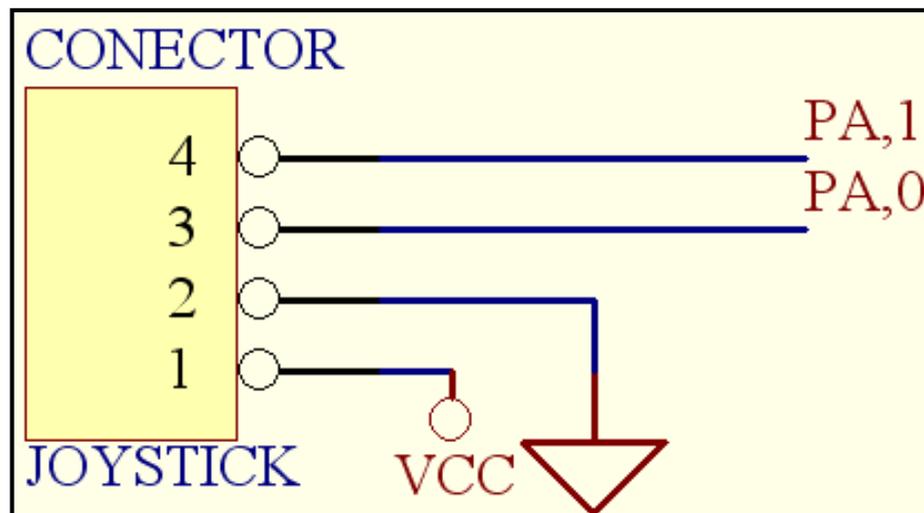


Figura 9. Conexión del Joystick al Sistema Integrado.

Como se observa en el esquema anterior se necesita únicamente 4 cables para la conexión del joystick analógico a diferencia de los 8 en el mecánico.

1.3 Mando mediante pulsantes.

Varias personas no tienen movilidad en sus dedos por lo que una pantalla táctil o palanca electrónica no les sirve. Al ser una silla de ruedas multifuncional que se adapte a casi todas las necesidades de las personas con discapacidad, se debe tener un controlador para estas personas.

Existen personas discapacitadas que no son capaces de tener control sobre una silla de ruedas eléctricas, un ejemplo es una persona ciega y parálitica. Estas personas siempre van a necesitar de otra persona para moverse, por lo que es cansado para quienes ayudan a empujar la silla de ruedas.

Por estas dos razones se diseñó un controlador mediante pulsantes para la silla de ruedas multifuncional. Este controlador consta de 4 pulsantes ubicados en forma de cruz, para facilitar la direccionalidad de la silla de ruedas. Los pulsantes pueden ser de diferentes formas y tamaños de acuerdo a la necesidad del usuario.

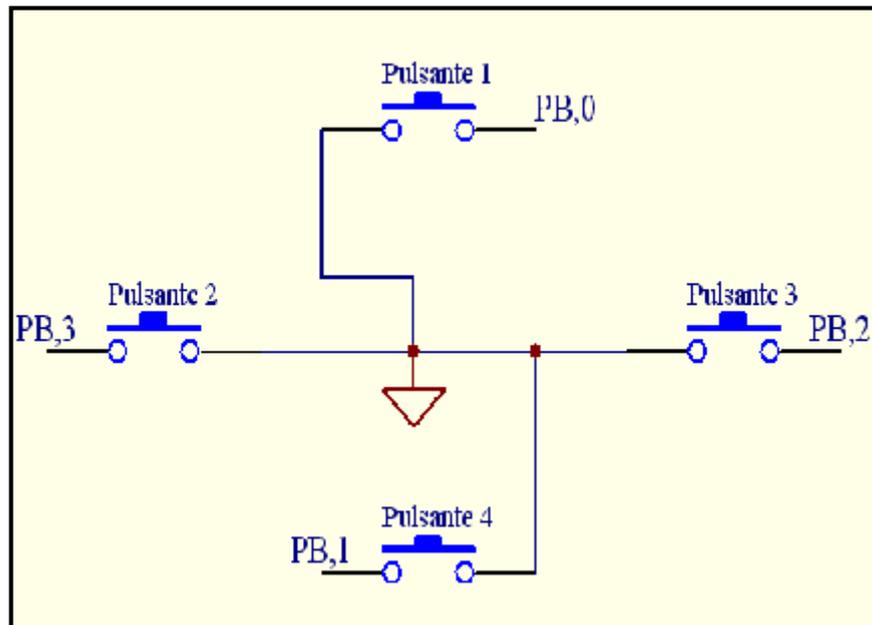


Figura 10. Diagrama y ubicación de los pulsantes de control



Figura 11. Tipos de pulsantes

Fuente: ELECTRA YAMI. 2008. Tipos de Pulsantes. [En Línea]. Disponible en: http://electra-yami.com/2008_05_01_archive.htm

Como se mencionó anteriormente el sistema de pulsantes introduce ruido al microcontrolador, por eso se debe conectar con resistencia de pull-up. Por esta razón están conectados al puerto B del PIC, puesto que este consta con resistencias de pull-up internas.

Este sistema de pulsantes puede ser ubicado en la parte trasera de la silla de ruedas, así las personas que ayudan a la movilidad de los discapacitados pueden controlar el movimiento de la misma.

1.4 Control mediante sople y succión

La cuadriplejía es una parálisis completa del ser humano, por lo que estas personas no pueden moverse con ninguno de los controladores antes mencionados. Estas personas solo tienen control de su cabeza.

Para estas personas se incorporó un control mediante sople y succión, este sistema es casi inmune al ruido externo y su efectividad es buena.

1.4.1 Sensor de Presión

“El sensor MPXV7025DP es un transductor piezoresistivo diseñado por Freescale Semiconductor, para ser usado con microcontroladores que posean convertidor A/D. Las aplicaciones son diversas como: Sistemas de respiración, procesos de control y monitoreo del paciente”².

Las características son las siguientes:

- 5.0% de error máximo en temperaturas de 0° a 85°C.
- Ideal para ser usado por microcontroladores y microprocesadores.
- Temperatura Compensatoria de -40° a +125°C.
- Carcasa de termoplástico para montaje superficial.

² FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2009. Sensor de Presión. EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV5004G.pdf

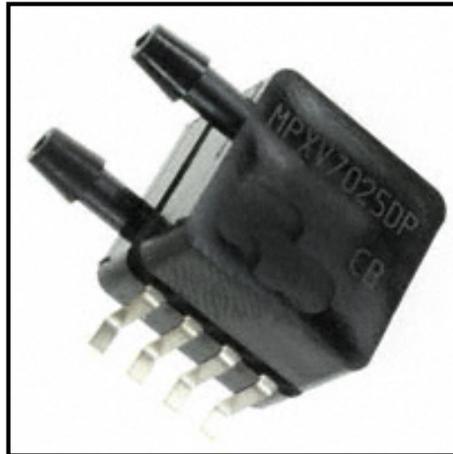


Figura 12. Sensor de Presión MPXV7025DP.

Fuente: PHIDGETS INC. 2009. Sensor de Presión. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://www.highlights.com.ec/site/images/stories/robotica/pressurediffphidgets.pdf>.

1.4.1.1 Características de operación

La siguiente tabla es proporcionada en la datasheet del sensor, para los siguientes valores: $V_{\text{ingreso}} = 5V$ y $T_{\text{ambiente}} = 25^{\circ}C$.

Características	Símbolo	Min.	Typ.	Max.	Unidad
Rango de Presión	P_{OP}	-25	-----	25	kPa
Voltaje de Alimentación	V_s	4.75	5.0	5.25	Vdc
Intensidad de Alimentación	I_O	-----	7.0	10	mAdc
Offset Mínimo de Presión	V_{off}	0.116	0.25	0.384	Vdc
Escala Máxima de Salida	V_{SFO}	4.61	4.75	4.89	Vdc
Tiempo de Respuesta	t_R	-----	1	-----	ms
Tiempo de calibración	-----	-----	20	-----	Ms

Tabla 2. Características de operación del sensor de presión.

Fuente: FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2009. Características de Operación. EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV5004G.pdf

Con las características de operación se puede comprobar que este sensor es ideal para el proyecto. El V_s es el mismo con el que funciona el microcontrolador, al igual que es diseñado para trabajar con este.

Algo que es de suma importancia es el tiempo de respuesta y el tiempo de calibración que es igual a 1ms y 20 ms respectivamente. Este tiempo se debe considerar al momento de diseñar el programa en el microcontrolador para tener una adquisición correcta y eficiente.

1.4.1.2 Características físicas.

Como se puede apreciar en la figura 9 y la tabla 3, tomadas de la datasheet del sensor, la dimensión del sensor es ideal para el sistema integrado que se diseñó.

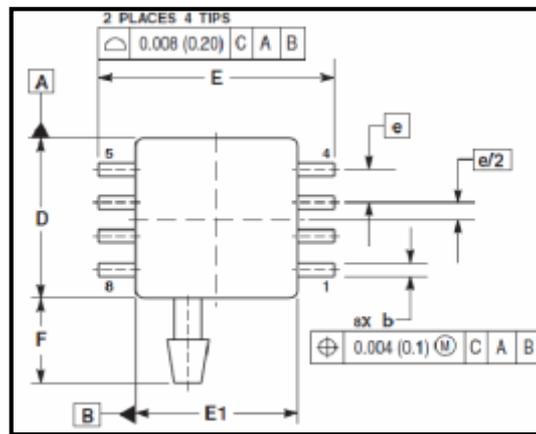


Figura 13. Dimensiones del sensor de presión.

Fuente: FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2009. Dimensiones del sensor de presión. EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV5004G.pdf

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.370	0.390	9.39	9.91
A1	0.002	0.010	0.05	0.25
b	0.038	0.042	0.96	1.07
D	0.485	0.485	11.81	12.32
E	0.680	0.700	17.27	17.78
E1	0.485	0.485	11.81	12.32
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
F	0.240	0.260	6.10	6.60
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.040	0.060	1.02	1.52
M	0.270	0.290	6.86	7.37
N	0.160	0.180	4.06	4.57
P	0.009	0.011	0.23	0.28
T	0.110	0.130	2.79	3.30
H	0°	7°	0°	7°

Tabla 3. Medidas del sensor de presión.

Fuente: FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2009. Medidas del sensor de Presión. EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPXV5004G.pdf

1.4.2 Sensor Phidgets

El sensor de Presión Diferencial MPXV7025DP no se pudo conseguir solo, pero si armado en una placa PCB. Esta placa es diseñada por Phidgets y viene listo para ser conectado al microcontrolador.

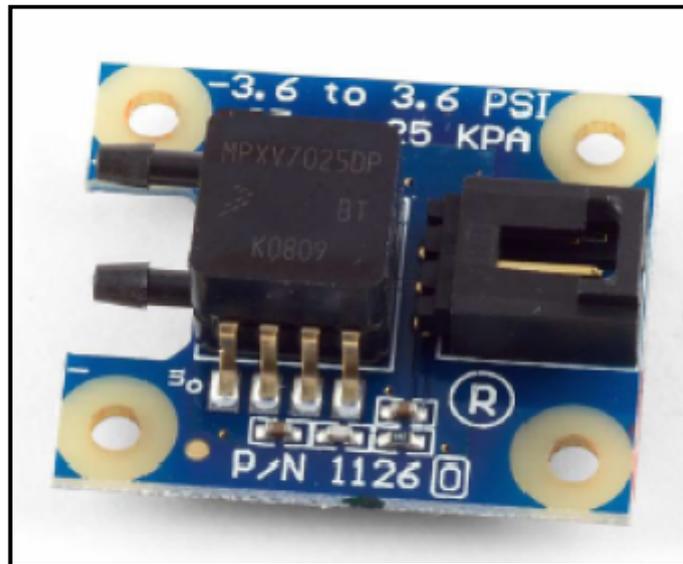


Figura 14. Sensor de Presión Diferencial Phidgets.

Fuente: PHIDGETS INC. 2009. Sensor de Presión. EEUU. [En Línea]. Disponible en:
<http://www.highlights.com.ec/site/images/stories/robotica/pressurediffphidgets.pdf>.

Como se puede apreciar en la figura 11, el sensor usado por Phidgets es el MPXV7025DP por lo que las características son iguales.

- Voltaje de Alimentación: 5 VDC
- Consumo de Corriente: 10mA
- Impedancia de salida: 1 kOhm
- Rango de presión diferencial: -3.6 a +3.6 psi (-25 a +25 kPa)
- Error: 5%
- Diámetro de los puertos de gas: 2.79 a 3.30 mm

La ventaja de este PCB es que viene con cable de interconexión, por lo que facilita la conexión al circuito integrado. Este consta de tres cables (rojo, negro y blanco) y dos conectores hembra de 3 pines.

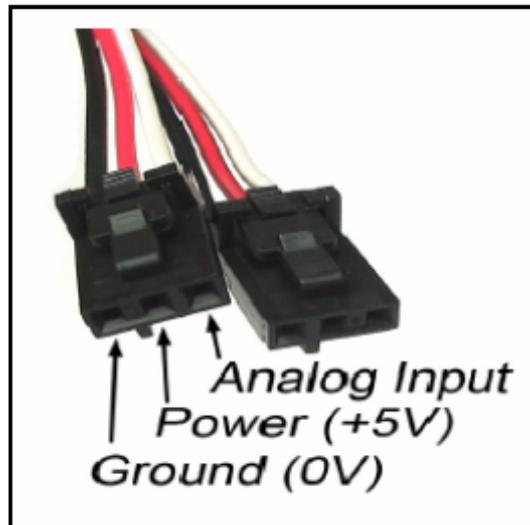


Figura 15. Cable para la conexión del Sensor de Presión Phidgets.

Fuente: PHIDGETS INC. 2009. Sensor de Presión. EEUU. [En Línea]. Disponible en:
<http://www.highlights.com.ec/site/images/stories/robotica/pressurediffphidgets.pdf>.

CAPITULO 2

DISEÑO DEL HARDWARE PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES

Con el afán de reducir costos de producción y tiempo, esta tesis se realizó a partir de una silla de ruedas normal. Esta silla de ruedas está destinada para niños o personas adultas delgadas, el peso de la misma es de 30lb.



Figura 16. Silla de Ruedas Normal

Como este sistema puede ser acoplado a cualquier tipo de silla de ruedas, el peso máximo del usuario es de 220lb. Para saber el peso total a movilizar se debe tomar en cuenta todos los componentes que interfieren en la silla de ruedas. Estos son: silla de ruedas, baterías, motores y peso del usuario.

$$PM = PS + PB + PM + PU_{max} \text{ donde:}$$

PM = Peso máximo a movilizar.

PS = Peso de la silla de ruedas, sin ninguna adaptación.

PB = Peso de las baterías.

PM = Peso de los motores.

PU = Peso máximo del usuario.

$$PM = 30\text{lb} + (2 \times 22)\text{lb} + (2 \times 18\text{lb}) + 220\text{lb}$$

$$PM = 330\text{lb} = 150\text{kg}$$

$$PM = 1470 \text{ N}$$

2.1 Fuerza requerida para el movimiento de la silla de ruedas.

La fuerza que se requiere para mover la silla de ruedas depende de algunos factores. El primero es la superficie en la cual se encuentra la silla, ya que el coeficiente de fricción varía. El segundo factor es la inclinación de la superficie, esto es cuando la silla se encuentra en una subida o bajada. El último factor aunque menos importante es la temperatura ambiente, puesto que los componentes electrónicos disminuyen sus características a temperaturas elevadas.

2.1.1 Fuerza requerida en una superficie plana.

Para determinar la fuerza máxima se realiza mediante diagrama de cuerpo libre (Leyes de Newton).

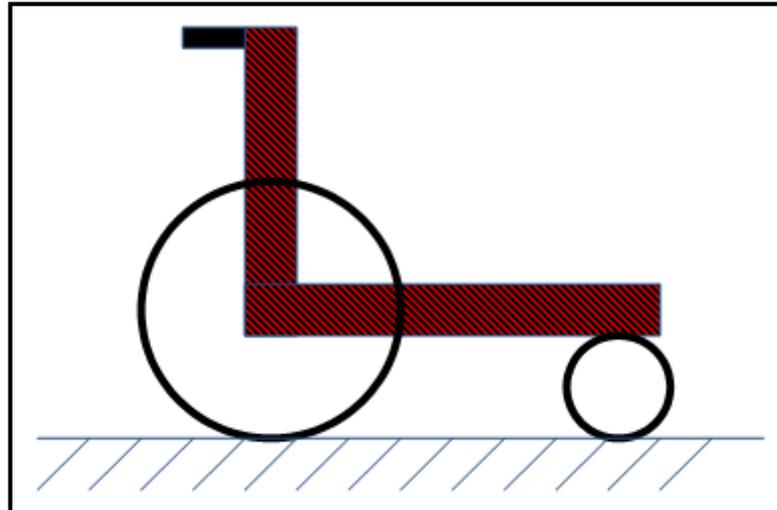


Figura 17. Silla de ruedas en una superficie plana.

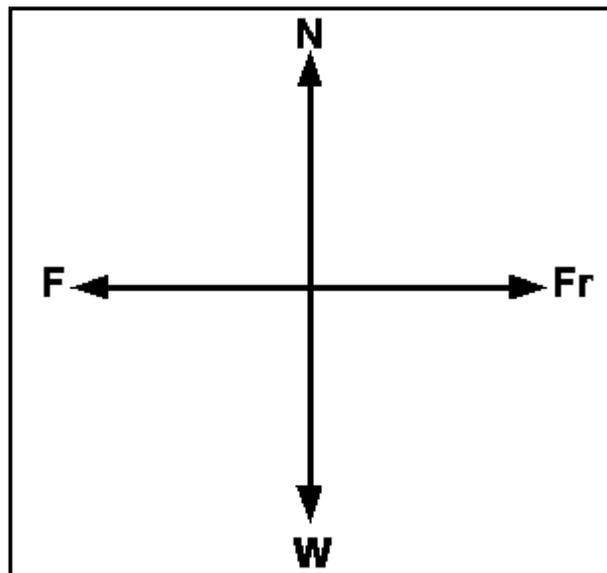


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre en una superficie plana

Del diagrama de cuerpo libre de la silla de ruedas en una superficie plana se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F - F_r = 0$$

$$N - W = 0$$

$$F = u_c \times N$$

$$N = m \times g$$

El coeficiente de fricción cinético de caucho sobre cemento seco es $0,8^3$.

$$F = u_c \times m \times g$$

$$F = 0,8 \times 150 \times 9,8$$

$$F = 1176 \text{ N}$$

2.1.2 Fuerza requerida en una superficie inclinada.

Las rampas para facilitar el acceso a personas discapacitadas al medio físico deben tener una pendiente máxima de $12\%^4$. Se analiza únicamente el caso máximo, $6,8^\circ$, porque es cuando mayor fuerza va a necesitar la silla de ruedas multifuncional. Para pendientes menores la silla no tendría problemas para subir.

Con el valor de $6,8^\circ$ se procede a calcular la fuerza máxima necesaria para subir las rampas, según la norma INEN.

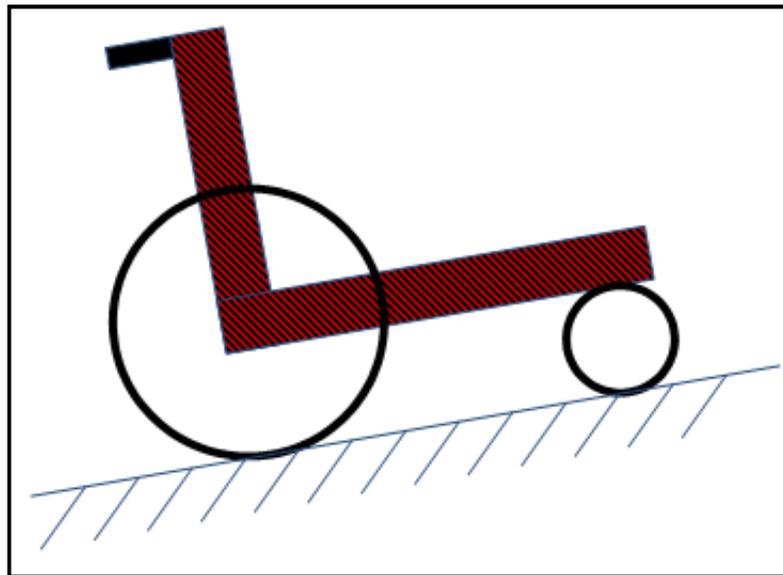


Figura 19. Silla de ruedas en una superficie inclinada

³ WIKIPEDIA. 2011. Fricción. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Fricción>

⁴ CONADIS. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 245. Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios. Rampas fijas. Ecuador. [En Línea]. Disponible en: <http://www.conadis.gob.ec/normas.htm>

Al tener una pendiente el peso total de la silla de ruedas influye en el eje X y en el eje Y por la tanto:

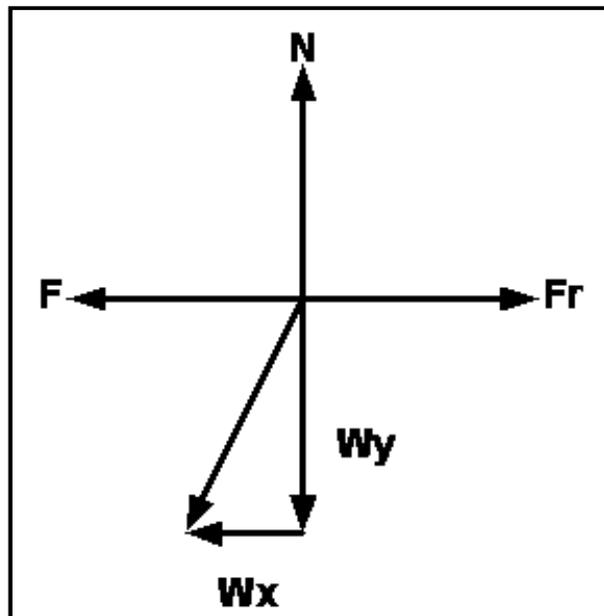


Figura 20. Diagrama de cuerpo libre en una pendiente

$$W_x = W \times \text{Sen } 6,8$$

$$W_y = W \times \text{Cos } 6,8$$

$$W_x = 726,34 \text{ N}$$

$$W_y = 1278,01 \text{ N}$$

Aplicando las leyes de Newton:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F - Fr - W_x = 0$$

$$N - W_y = 0$$

$$F = (u_c \times N) + W_x$$

$$N = W_y$$

$$F_{max} = (0,8 \times 1278,01) + 726,34$$

$$F_{max} = 1748,74 \text{ N} = 178,32 \text{ kgf}$$

2.1.3 Selección del motor para la silla de ruedas

Con el valor de la fuerza máxima y la velocidad máxima de la silla de ruedas se puede calcular la potencia máxima requerida para el movimiento. La velocidad máxima no está estandarizada, por lo que se optó tomar un valor típico del mercado, 1,2m/s.

$$P_{max} = V_{max} \times F_{max}$$

$$P_{max} = 1,2 \times 178,32$$

$$P_{max} = 213,98W$$

Los motores adaptados a la silla de ruedas son de 24V a 125W cada uno, por lo que son suficientes para mover a la silla en la pendiente máxima.



Figura 21. Motores usados en la silla de ruedas multifuncional

2.2 Diseño del circuito de potencia

La forma más confiable para manejar motores de corriente continua es mediante un puente H, su nombre se debe a que el esquema representa una letra H, (ver figura 22).

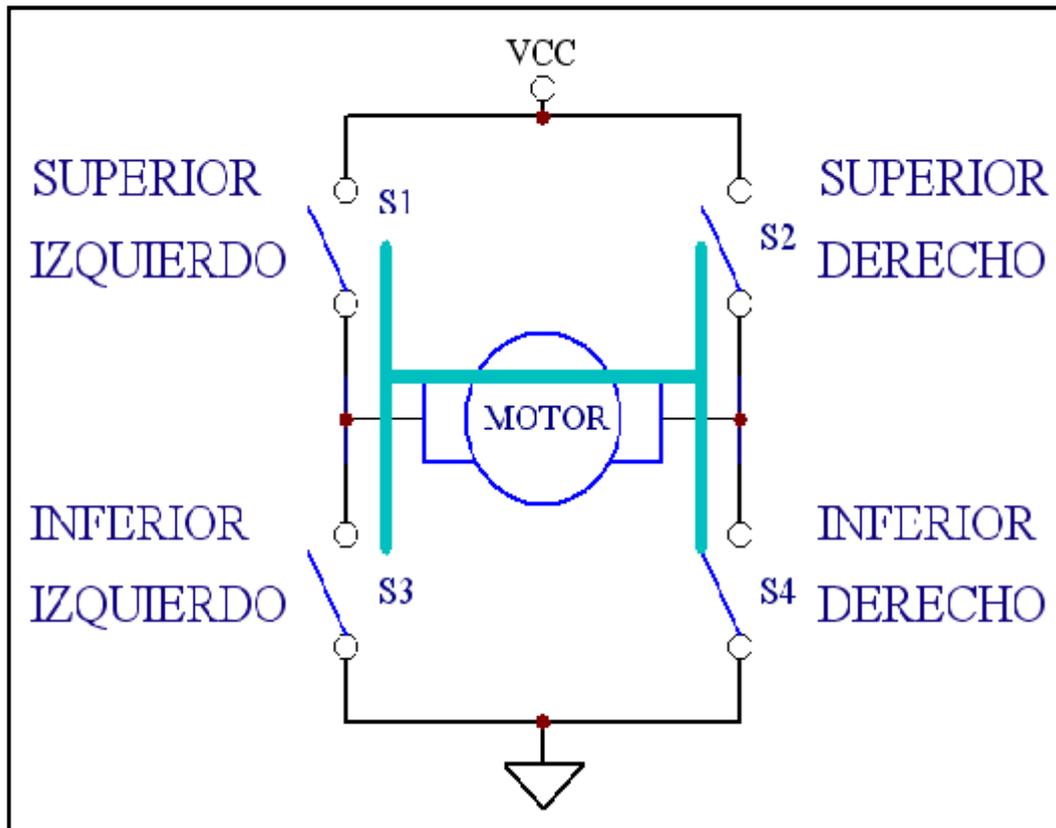


Figura 22. Diagrama de un puente H.

En el diagrama del puente H se puede ver que consta de 4 interruptores conectados a un motor. Con este esquema se puede controlar el sentido de giro del motor, teniendo que activarse dos de los cuatro interruptores de forma correcta.

Para que el motor entre en funcionamiento debe alimentarse con Vcc y GND, esto sucede cuando se activa el lado superior izquierdo (LSI) y el lado inferior derecho (LID). Con esta configuración la corriente circulará en sentido de la línea roja, (ver figura 23). El motor girará en sentido contrario al anterior si se encuentra activado los interruptores S2 y S3, haciendo que la corriente circule en sentido de la línea verde.

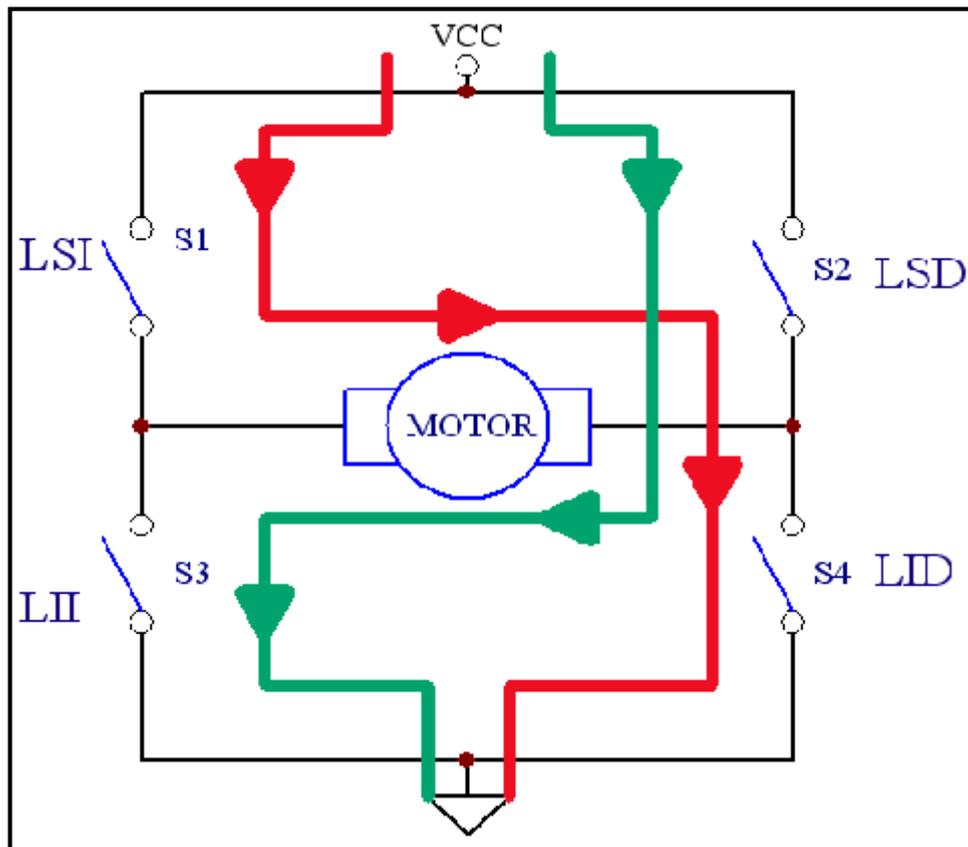


Figura 23. Inversión de giro en un puente H.

Es importante respetar las secuencias anteriormente mencionadas, puesto que si se produce una activación errónea se puede producir un corto circuito. Mientras S1 y S4 están activadas, S2 y S3 deben estar abiertas caso contrario se podrían quemar los componentes electrónicos.

Construir un Puente H con interruptores o relés electromecánicos es poco eficiente debido al desgaste mecánico que estos tienen. Además, no se puede realizar un control de velocidad mediante PWM debido a la repuesta lenta que tienen estos elementos. Por eso se debe buscar un componente electrónico capaz de ser prendido y apagado a alta velocidad.

2.2.1 Transistor Mosfet tipo incremental

“Los transistores mosfets tipo incremental están constituidos por un bloque de material tipo **p** que se forma a partir de una base de silicio denominada sustrato (SS), y es la base sobre la que se construye el dispositivo. Por lo general, este sustrato se

conecta internamente a la terminal de la fuente (S). Los terminales de la fuente (S) y de drenaje (D) están conectados a regiones dopadas-neta mediante contactos metálicos. La capa de SiO_2 aísla la plataforma metálica de la compuerta (G) de la región entre el drenaje y la fuente”⁵.

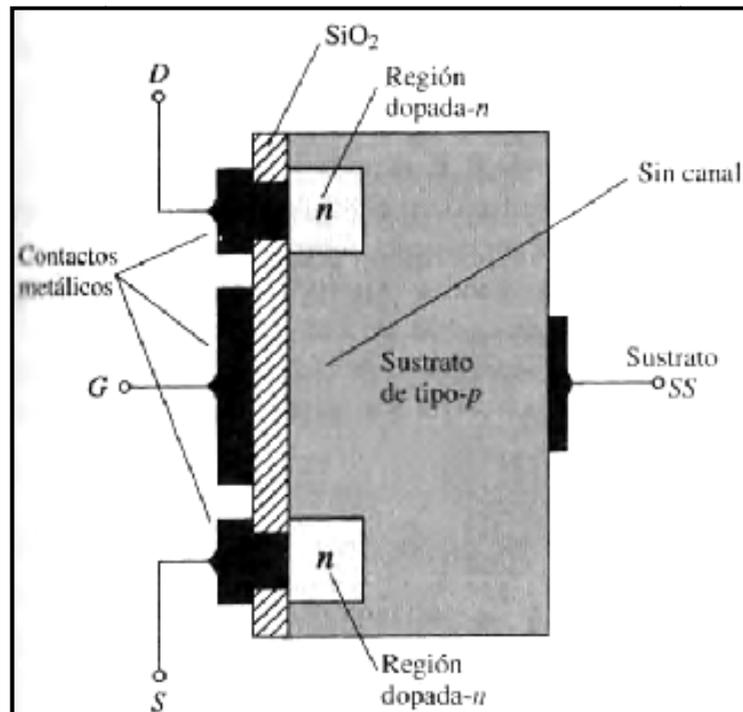


Figura 24. Mosfet tipo incremental de canal-n.

Fuente: BOYLESTAD, Robert. 2003. Electrónica Teoría de Circuitos. Pág: 269

Gracias a la ausencia de un canal-n entre el drenaje (D) y la fuente (S), la corriente, $I_D = 0$ cuando $V_{GS} = 0$. Si V_{DS} tiene cierto voltaje positivo y el terminal SS se conecta directamente a la fuente, como los transistores usados en la silla multifuncional, existirán dos uniones p-n con polarización inversa entre las regiones dopadas-n y el sustrato-p quedando garantizado que I_D sea cero. Por esta razón este transistor es usado para conmutación de circuitos de potencia.

Si un V_{GS} es positivo, un voltaje inducido atrae a los electrones del sustrato p y los acumula en la superficie, bajo la capa de oxido. Si el V_{GS} es igual o mayor a un

⁵ BOYLESTAD, Robert. 2003. Electrónica Teoría de Circuitos. Pág: 269

voltaje umbral $V_{GS(Th)}$, se acumula una cantidad suficiente de electrones para formar un canal n virtual y la corriente circula del drenaje a la fuente⁶.

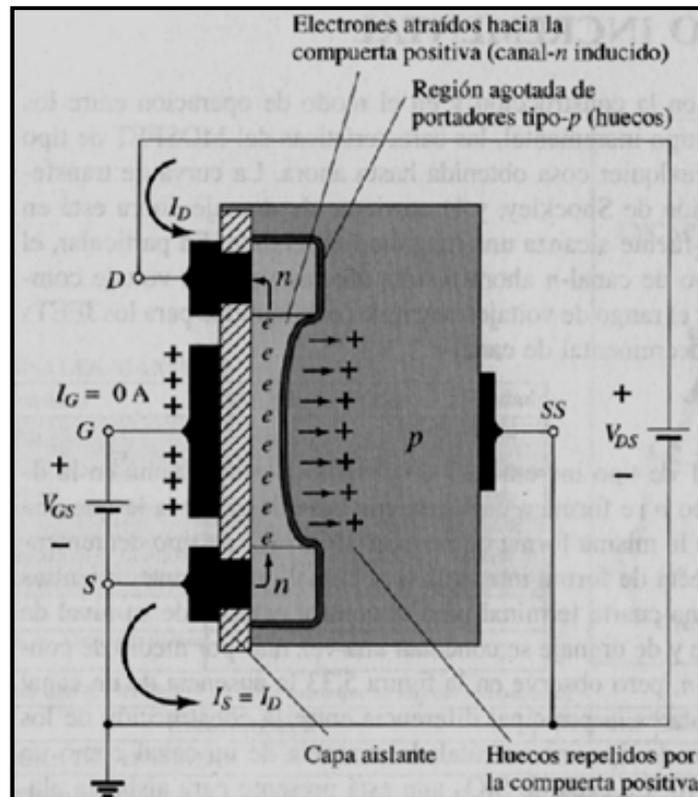


Figura 25. Formación del canal-n virtual en el mosfet incremental.

Fuente: BOYLESTAD, Robert. 2003. Electrónica Teoría de Circuitos. Pág: 271

El Mosfet al igual que la mayoría de componentes electrónicos tiene retrasos de tiempos en la conmutación. En la figura 26 se muestra los tiempos de conmutación típicos ante una onda cuadrada. El retraso de la activación $t_{d(on)}$ es el tiempo requerido para sobrepasar el $V_{GS(Th)}$ y el tiempo de elevación t_r va desde que superó el $V_{GS(Th)}$ hasta el voltaje aplicado al Gate. En la desactivación también se tiene tiempos perdidos, puesto que el mosfet dejará de conducir cuando el V_{GS} se menor al $V_{GS(Th)}$. RASHID, Muhammad; Electrónica de Potencia

⁶ RASHID, Muhammad. 2004. Electrónica de Potencia. Pág 280

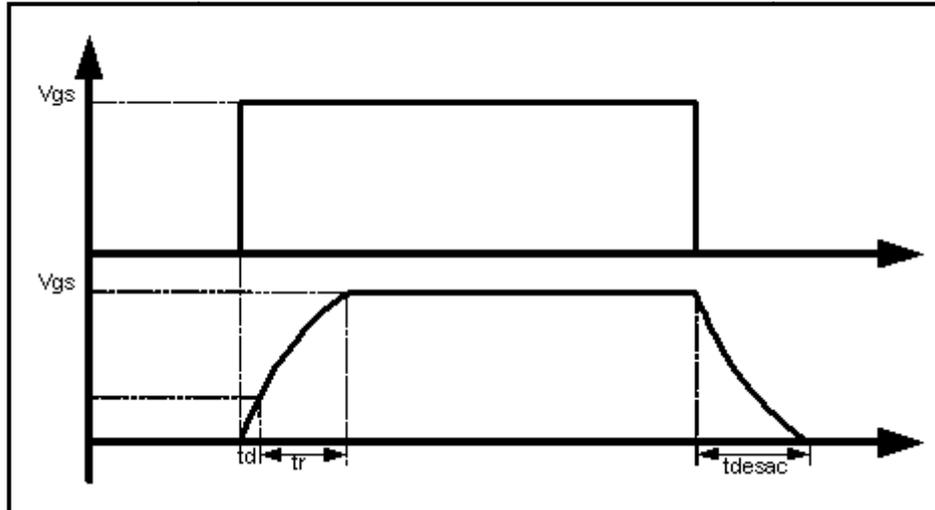


Figura 26. Tiempos de Conmutación del Transistor Mosfet.

Para un transistor mosfet incremental de canal-p las polaridades de V_{DS} , I_D y V_{GS} se invierten. Se mantienen las mismas condiciones para la conmutación del mosfet, así como los tiempos de activación y desactivación.

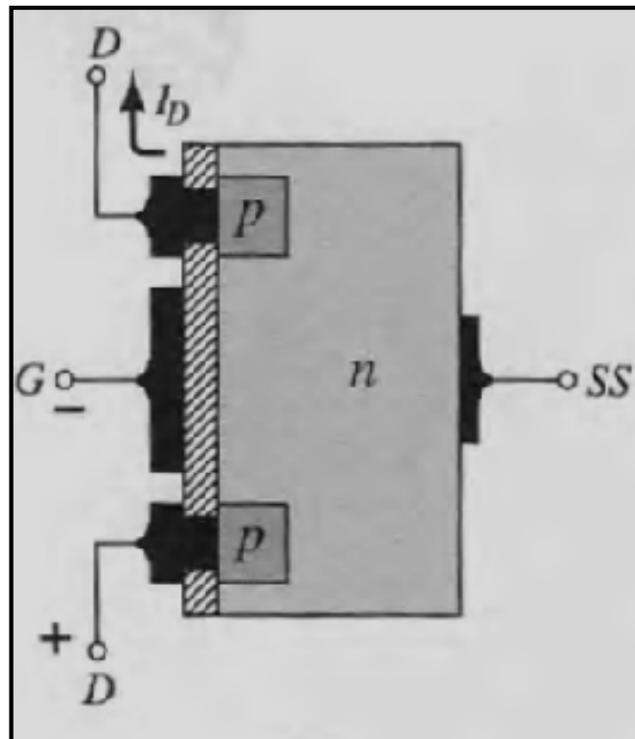


Figura 27. Mosfet incremental canal-p.

Fuente: BOYLESTAD, Robert. 2003. Electrónica Teoría de Circuitos. Pág: 274

2.2.2 Puente H con Transistores Mosfets

Para realizar un puente H capaz de regular la velocidad del motor, se reemplaza los interruptores por transistores mosfets tipo incremental. Se usa mosfets de canal P para la parte superior y canal N para la parte inferior del puente H.

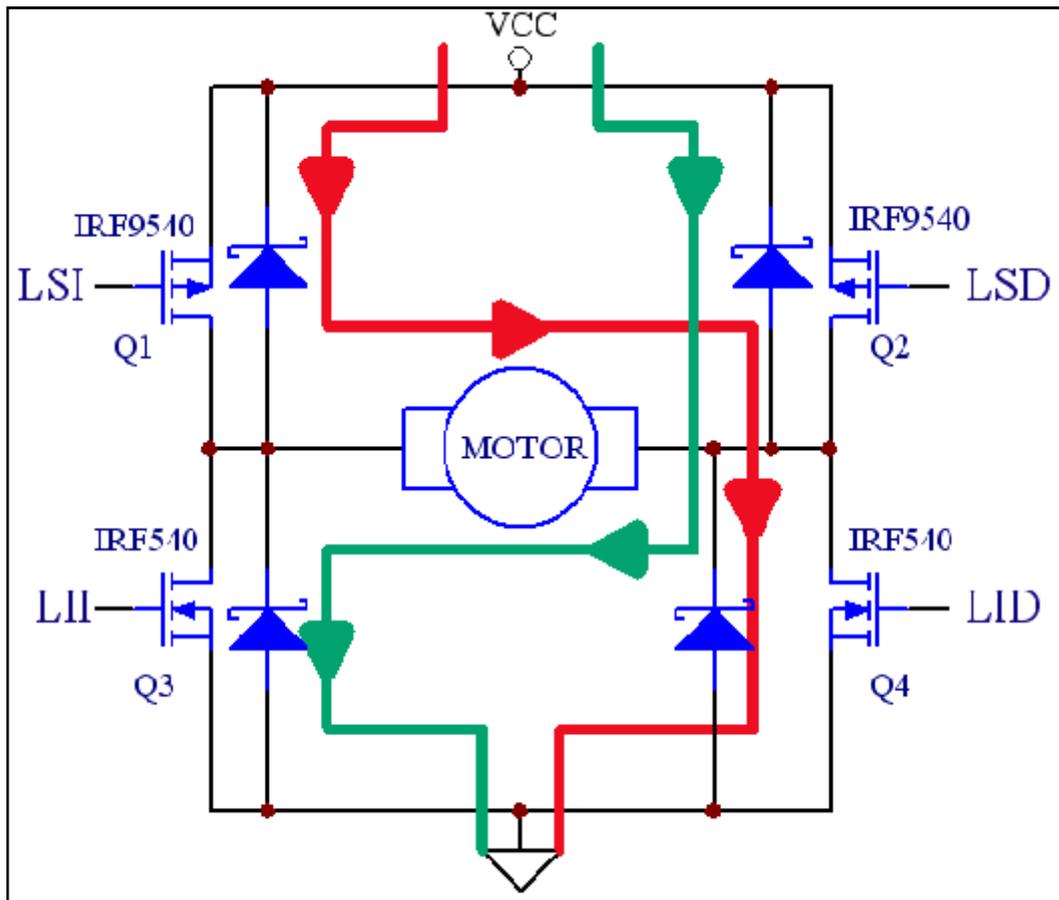


Figura 28. Puente H con transistores Mosfets tipo incremental.

El IRF9540 se encarga de realizar la conmutación en la parte superior, dejando que el IRF540 realice la conexión hacia GND. Al igual que en la figura 24 el sentido en que fluye la corriente depende de que mosfets estén cerrados.

Se seleccionó el IRF9540 por su capacidad de rápida conmutación, soporta una corriente máxima de -23A y posee una resistencia interna de $0,117\Omega$. Estas características le hacen ideal para controlar las ramas superiores del puente H. Para lograr una conmutación efectiva el voltaje de Compuerta respecto a la Fuente deberá

ser más positivo en el orden de 2 a 4V, esto quiere decir que el V_{GS} deberá ser mayor al $V_{GS(Th)}$. Para lograr esto se realiza el siguiente esquema.

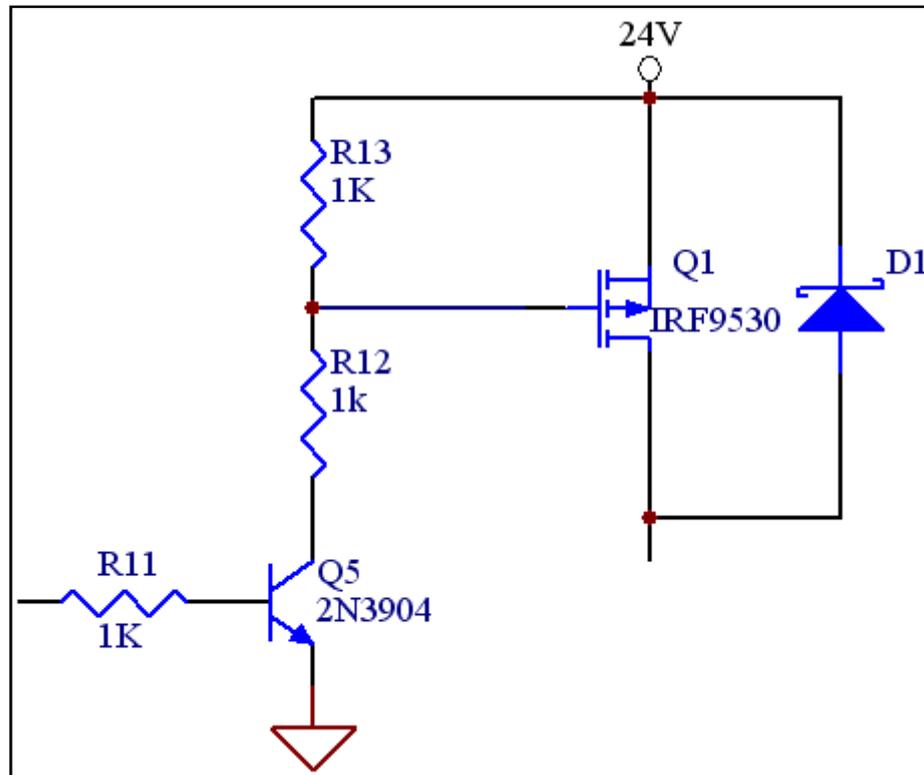


Figura 29. Esquema de activación del mosfet.

Al activar Q5 se forma un partidor de tensión entre R13 y R14. El V_{GS} será la mitad del voltaje de la batería (24V), gracias a que $R13 = R14$, superando al $V_{GS(Th)}$, con esto el transistor mosfet canal-p se activará alimentando al motor con +24V. Este mismo esquema se usa para el transistor mosfet canal-n, el cual alimenta al motor con GND cuando es activado.

Para activar el Mosfet canal-p se debe alimentar con 5V a la resistencia de la base del 2n3904, caso contrario pasa con el mosfet de canal-n que se activa con 0V en la base del transistor BJT. Los transistores BJT están conectados al puerto D del microcontrolador de la siguiente manera:

Lado Superior Izquierdo (LSI) Q1	Puerto D,0
Lado Superior Derecho (LSD) Q2	Puerto D,1
Lado Inferior Izquierdo (LII) Q3	Puerto D,2
Lado inferior Derecho (LID) Q4	Puerto D,3

Tabla 4. Conexión de los transistores BJT al microcontrolador.

Para que el motor DC vaya hacia adelante se debe enviar la siguiente secuencia al puerto D.

Puerto D,0 (RD0)	1
Puerto D,1 (RD1)	0
Puerto D,2 (RD2)	1
Puerto D,3 (RD3)	0

Tabla 5. Valores para activar el motor hacia adelante.

Con los valores de la tabla 5 el motor gira hacia adelante. El RD0 se encarga de activar el transistor Q1 y el RD3 activa el mosfet Q4, esto hará que el corriente fluya en dirección de la línea roja (figura 30). Es importante garantizar que nunca estén activados Q1 y Q2, esto se realiza mediante software en el microcontrolador (Capítulo 3).

El transistor Q4 será prendido y apagado mediante una onda PWM generada por el PIC 18f4550, con lo cual se podrá regular la velocidad del motor. Es importante el uso de los diodos Schottky para suprimir la fuerza contra electromotriz que produce el motor en la inversión de giro, también se debe tener un tiempo muerto antes de cambiar de dirección el motor.

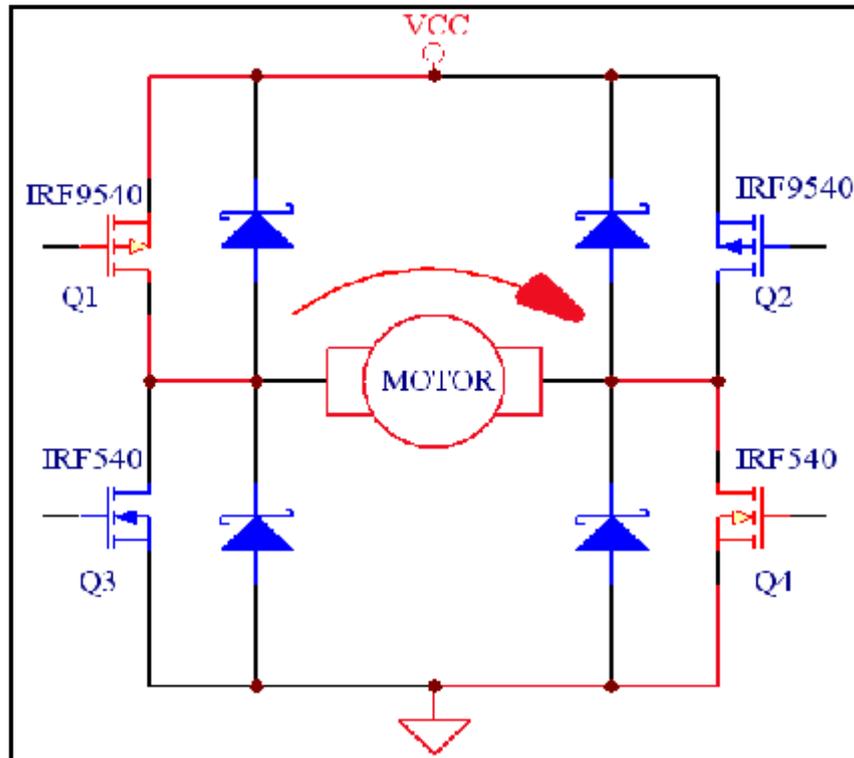


Figura 30. Avance del motor hacia adelante

Para cambiar el sentido de rotación del motor se debe usar la tabla 6. Esta tabla activa los mosfet de color rojo en la figura 31, haciendo que el motor invierta su giro.

Puerto D,0 (RD0)	1
Puerto D,1 (RD1)	0
Puerto D,2 (RD2)	1
Puerto D,3 (RD3)	0

Tabla 6. Valores para activar el motor hacia atrás

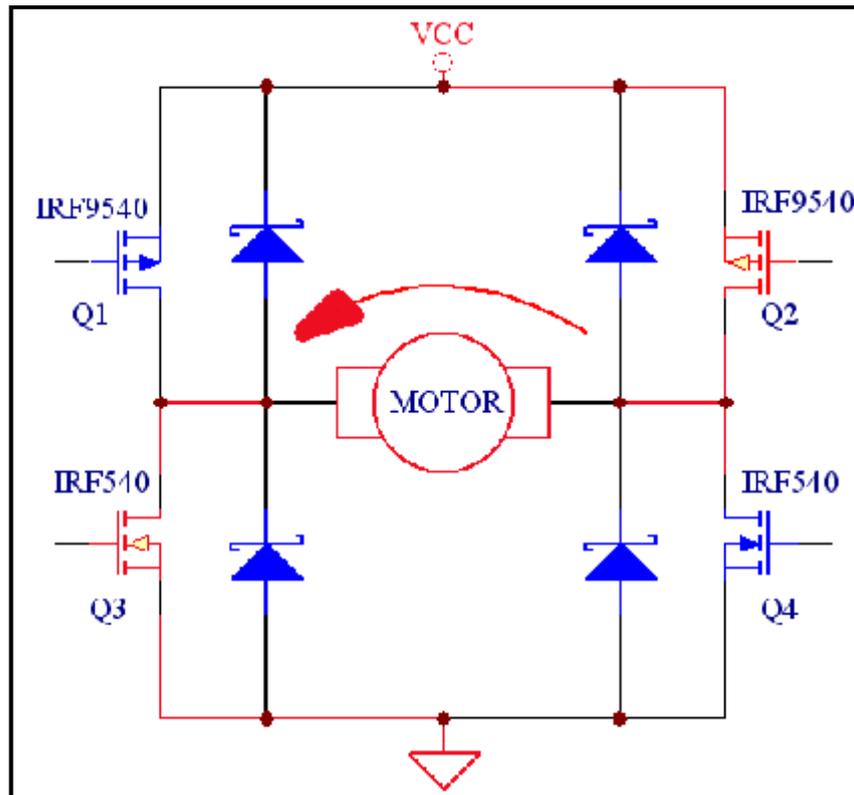
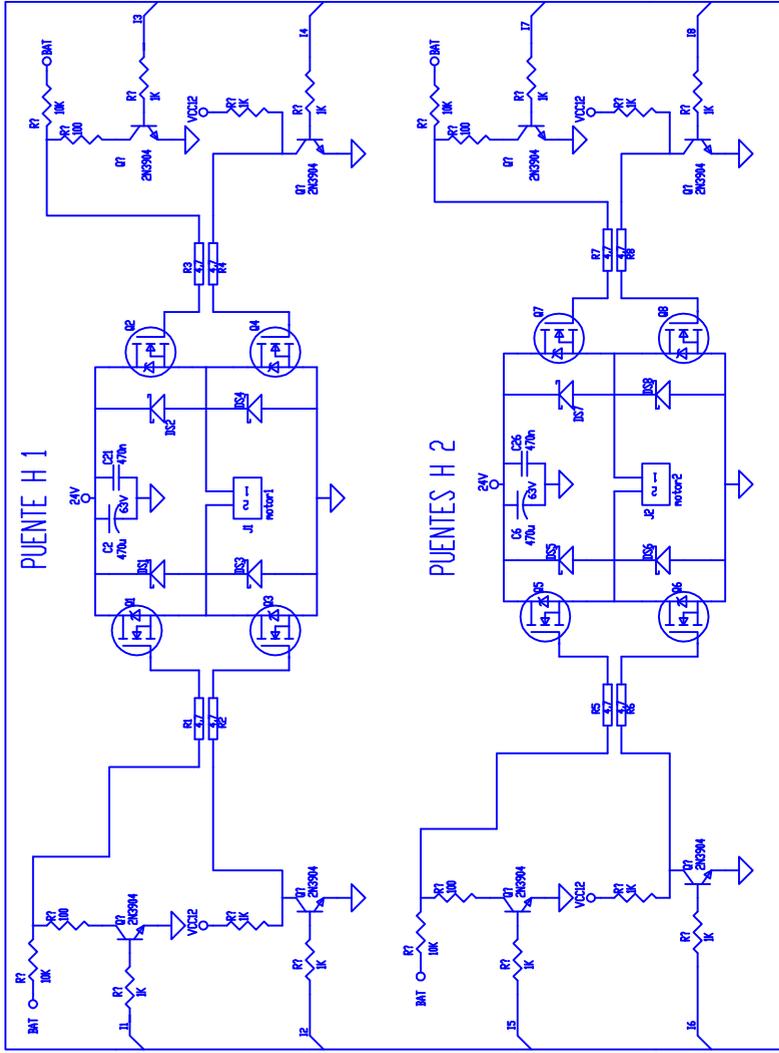


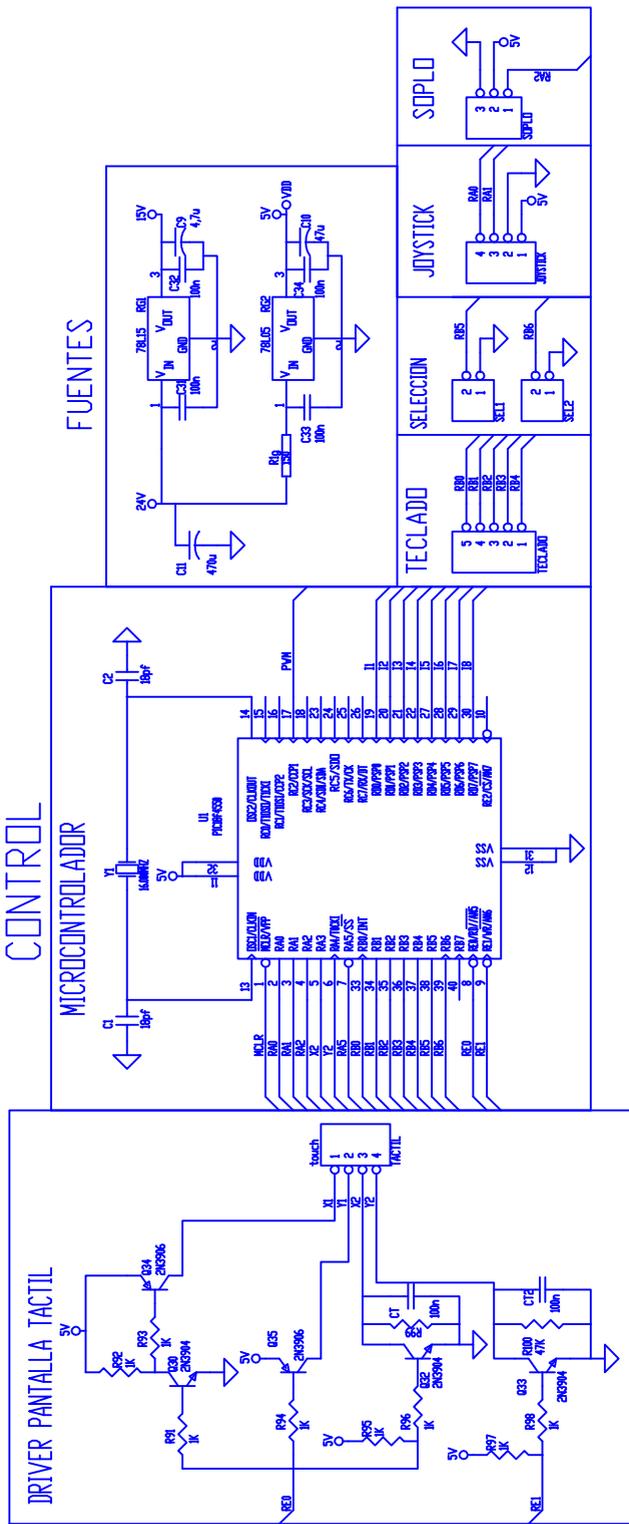
Figura 31. Avance del motor hacia atrás

En la figura 32 se puede apreciar el esquema electrónico completo de la silla de ruedas multifuncional. En el diagrama se puede apreciar los dos puentes H para el control de los motores, así como, la parte del microcontrolador y los sensores.

POTENCIA



CONTROL



CAPITULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

El control de la silla de ruedas fue realizado con un PIC18f4550 que posee las características necesarias para controlar los dispositivos de control y los motores. El PIC se programó en el MPLAB y en lenguaje de bajo nivel, ensamblador.

El PIC se encarga de leer las señales de los dispositivos de entrada: joystick, pantalla táctil, soplo y teclado. Luego de leer los datos activa o desactiva los controladores del puente H. Por lo tanto el microcontrolador se convierte en el cerebro de la silla de ruedas, por lo cual es de suma importancia que su programación esté bien realizada. El programa completo realizado en MPLAB se encuentra en el anexo 1.

El microcontrolador se comunica con los dispositivos de control mediante puertos, estos pueden ser de entrada o salida. Las principales características de los puertos del PIC son las siguientes:

- Pueden manejar hasta 25mA de corriente, con lo cual se pueden activar los transistores 2n3904.
- Las líneas de un puerto pueden ser configurables como entradas o salidas independientes mediante el registro TRIS⁷.
- Mantiene las mismas características constructivas con respecto a otras series de microcontroladores, por lo que la migración no es un problema.
- Todas las líneas tienen protección contra descargas electrostáticas, siendo fácil la manipulación del microcontrolador.

⁷ **Registro TRIS.**- sirve para declarar si un pin es entrada o salida, 1 entrada; 0 salida.

- Algunos puertos poseen resistencias de pull-up dejando que el programador las active o no, con esto se reduce el ruido en los pulsantes y se ahorra espacio en la PCB final.

El programa en el microcontrolador se realiza mediante dos funciones: inicio e interrupción. A continuación se muestra el diagrama de flujo de estas dos funciones:

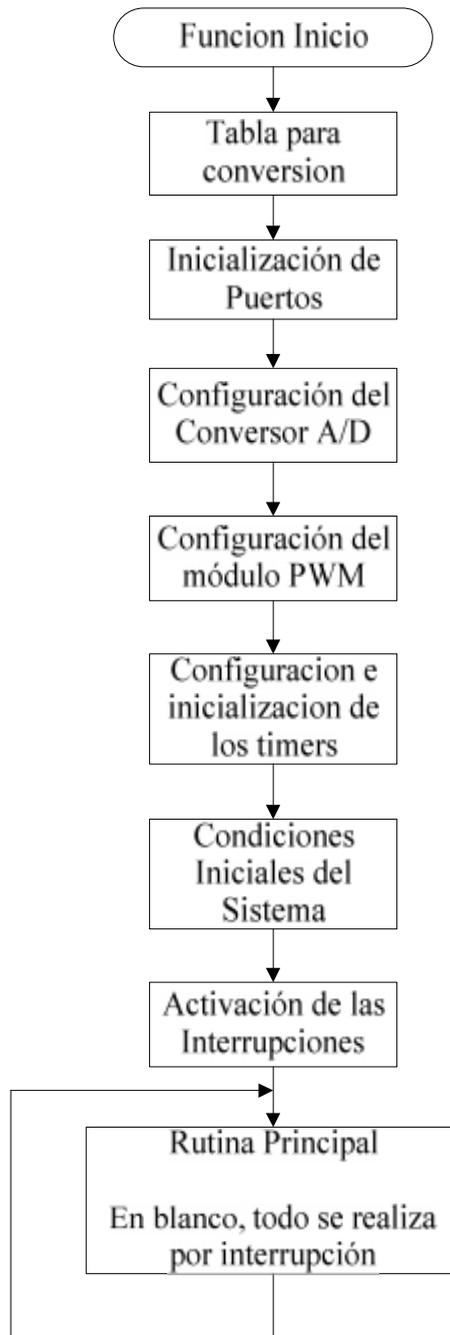


Figura 33. Función inicio

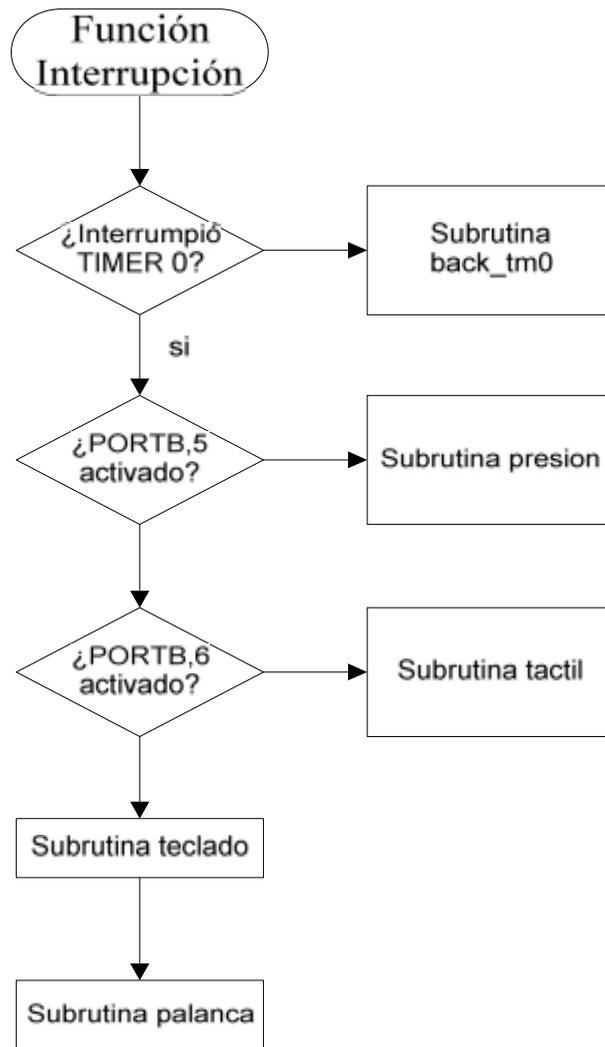


Figura 34. Función interrupción.

La función interrupción consta de 4 subrutinas: teclado, palanca, presión y táctil. Estas subrutinas se encargan del control de cada uno de los mandos de la silla multifuncional.

La subrutina teclado testea el puerto B desde el PORTB,0 al PORTB,3, si uno de los pulsantes estuviera activado el microcontrolador lo reconoce y envía a las subrutinas de dirección.

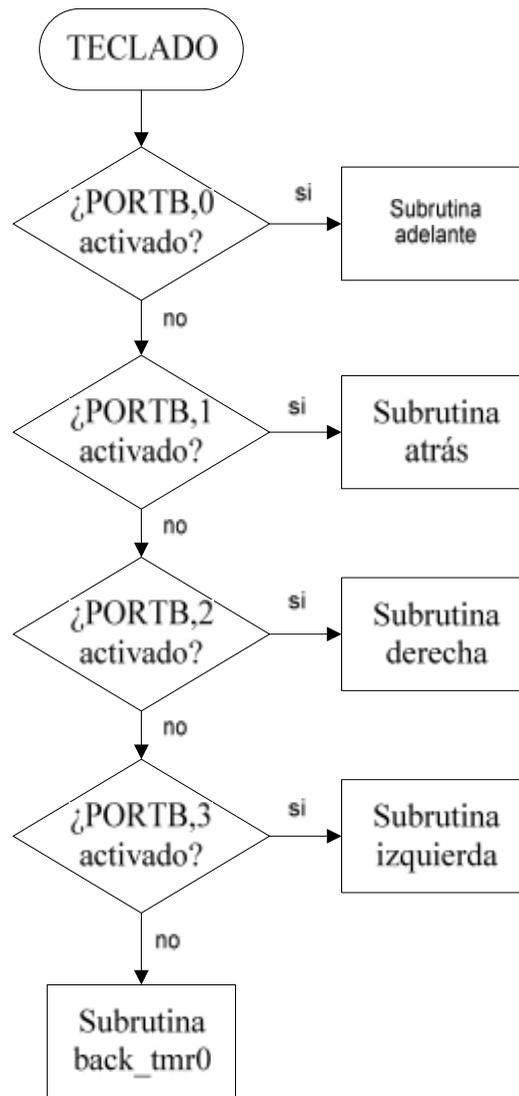


Figura 35. Subrutina teclado

La subrutina palanca activa el convertor analógico digital y adquiere el valor del joystick mediante los pines AN0 y AN1. Estos valores son comparados para luego hacer el llamado de las subrutinas de dirección

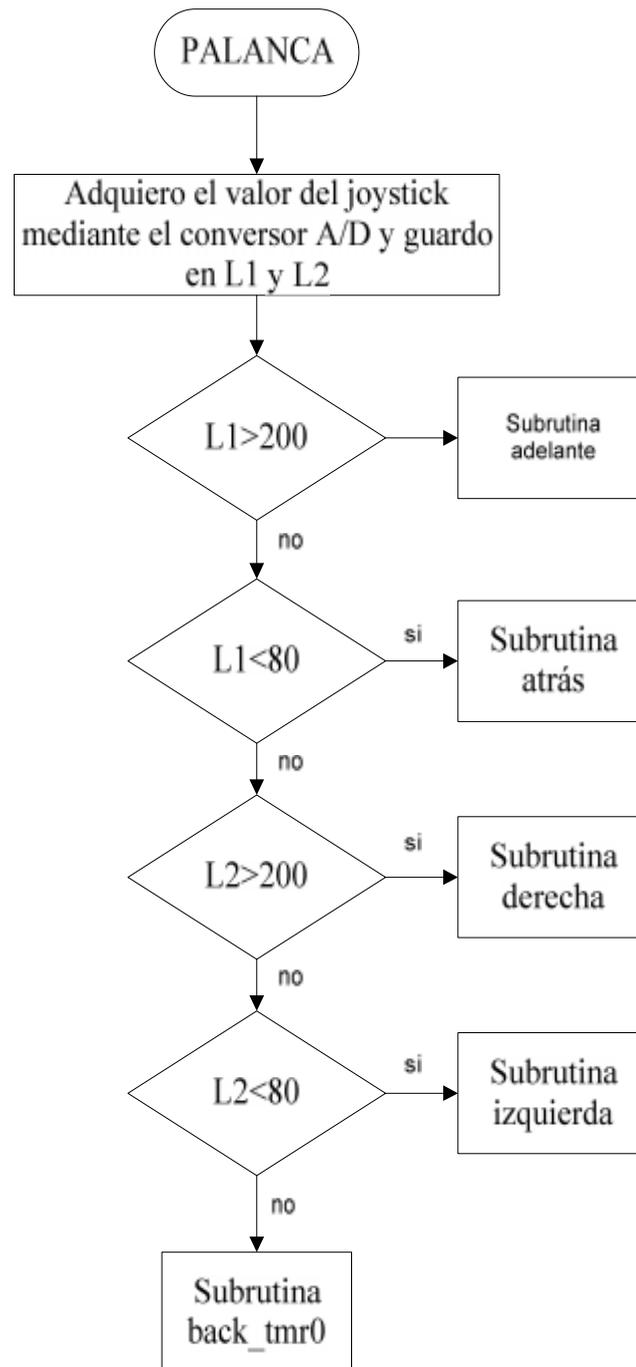


Figura 36. Subrutina palanca

Para la adquisición del valor de la pantalla táctil se realiza mediante el siguiente diagrama de flujo.

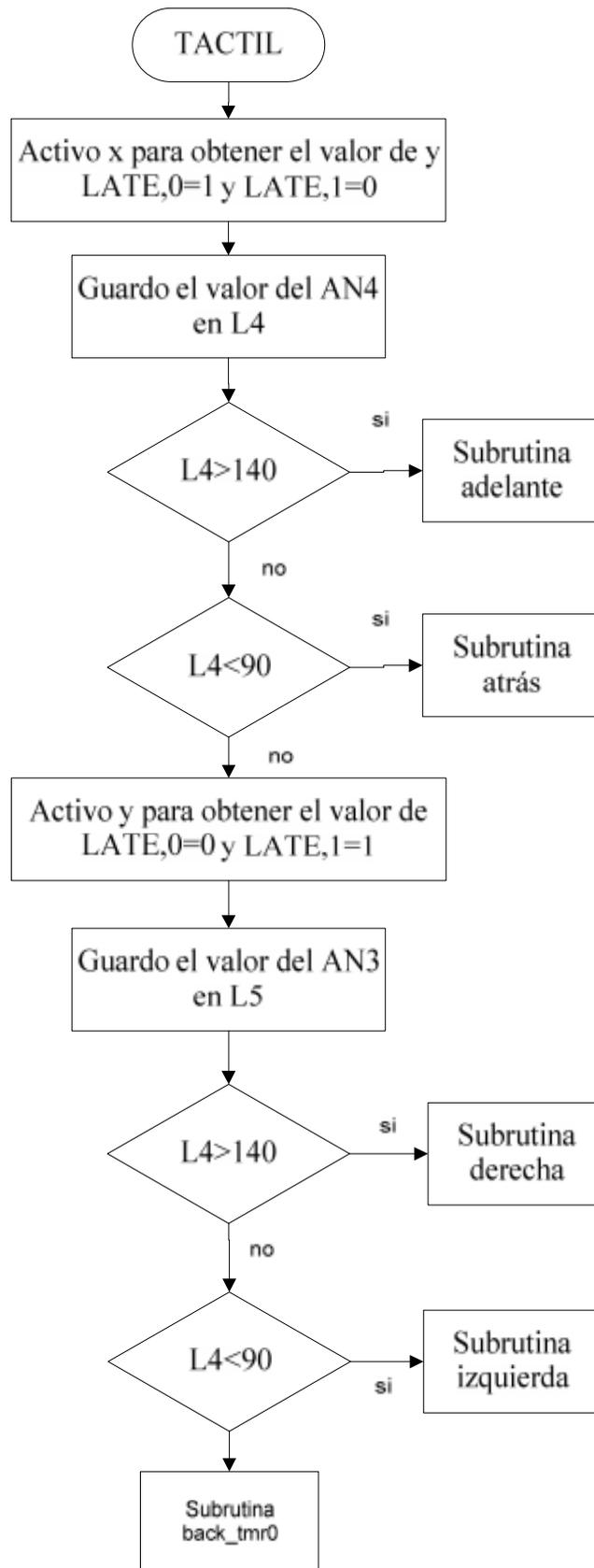


Figura 37. Subrutina táctil.

3.1 Microcontrolador PIC 18f4550

Debido al número de líneas (22) que necesita el sistema de la silla de ruedas se optó por el PIC18f4550 de 40 pines. Este, es de fácil adquisición en el mercado nacional y el precio es asequible.

A continuación se muestra la configuración de pines del microcontrolador, también sus puertos de entrada y salida.

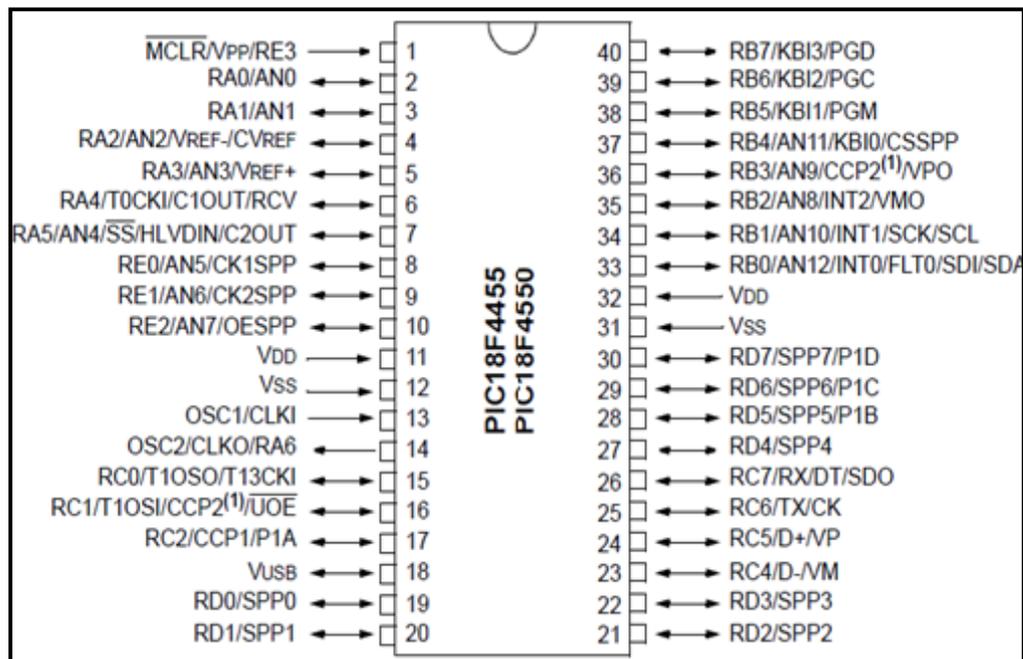


Figura 38. Configuración de Pines del microcontrolador PIC 18f4550.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Configuración de Pines. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

El puerto A es de entrada o salida y puede tener 6 o 7 líneas dependiendo la configuración que se realice al inicio del programa en MPLAB. Este puerto puede ser digital o analógico, ya que comparte funciones con el convertor analógico digital.

Al puerto A se encuentra conectado el joystick, soplo, pantalla táctil y regulación de velocidad, por lo que la inicialización de este será estudiada en conjunto con el convertor analógico digital.

El puerto B es de 8 bit (RB0 – RB7), puede ser entrada o salida dependiendo del valor cargado en el TRISB. Éste puerto consta con resistencias de pull-up internas que pueden ser activas al cargar el \overline{RBPU} (INTCON2,7) con 0. Las resistencias de pull-up son activadas automáticamente cuando todo el puerto es configurado como entrada digital. Lo que le hace ideal para ser conectado a teclados lineales o matriciales, por lo tanto este puerto es ocupado para los pulsantes de la silla de ruedas y el seleccionador de control. La inicialización de este puerto se presenta a continuación:

```

;-----
; Inicialización del puerto B
;-----
clrf          PORTB      ;limpio el puerto B
movlw        b'11111111' ;carga '11111111' al registro W
movwf        TRISB      ;todo el puerto B es entrada Digital
bcf          INTCON2,7  ;activo pull-up del puerto B
;-----

```

El Puerto D está disponible únicamente en los microcontroladores de 40 o más pines. Este puerto es de 8 bits y puede ser configurable como entrada o salida dependiendo del valor cargado en el TRISD. Al igual que el puerto B tiene resistencias de pull-up internas que puede ser activado con el registro RDPU (PORTE<7>). Tres de los pines de este puerto están multiplexados con las salidas P1B, P1C y P1D, del módulo CCP.

La operación de este módulo se verá en la sección 3.2 ya que es el encargado del PWM. El puerto D se encarga de activar los mosfets respectivos para el correcto funcionamiento del puente H, debido a esto el puerto tiene que ser configurado como salida.

```

;-----
; Inicialización de puerto D
;-----
clrf          PORTD      ;limpio el Puerto D

```

```

clrf          TRISD          ;todo el Puerto D es salida
;-----

```

El puerto E es de 4 bits (RE0-RE3) y puede ser configurado como entrada y salida digital. Este puerto es el encargado de controlar la pantalla táctil mediante dos de sus bits (RE0 y RE1), por lo estos pines deben ser configurados como salidas mediante el TRISE.

```

;-----
; Inicialización de puerto E
;-----
clrf          PORTE          ;limpio el Puerto E
movlw        b'11111100'    ;carga '11111100' al registro W
movwf        TRISE          ;RE0 y RE1 son salidas digital
;-----

```

El Pic18f4550 posee múltiples interrupciones ya sea por periféricos internos o externos. “La característica fundamental y ventaja principal del servicio de interrupciones es la inmediatez; lo que significa que pueden eliminarse total o parcialmente los ciclos de consulta”⁸. Esto quiere decir que no debemos estar consultado cada vez en el programa principal si un pulsante fue presionado, esto se realiza con una interrupción dejando así el programa principal lo más corto y eficiente posible. Las interrupciones del timer 0 y 2 fueron usadas en el software de la silla de ruedas multifuncional.

A los timers se los conoce como temporizadores y son los encargados de generar demoras de tiempo muy precisas. El PIC18f4550 posee 4 timers pero como se mencionó anteriormente se usaron solo dos. Estos temporizadores usan el conteo de ciclos de maquinas para generar las demoras, otra posibilidad es la de contar eventos externos a través de un pin específico.

⁸ LEONEL, Pérez; Micro controladores I. Arquitectura Interna y programación de micro controladores 18FXXXX. Pág 57.

A los timers 0 y 2 se los utiliza como contadores de ciclos de máquina, por lo que el valor de la demora depende directamente del oscilador del microcontrolador. El oscilador usado en el PIC es de 16Mhz por lo que un ciclo de máquina va a ser 0.25us aproximadamente.

El Pic18f4550 posee prescaler y postscaler para algunos de los temporizadores. Esto sirve para hacer la demora más larga, puesto que el prescaler es un divisor de frecuencia que se coloca antes del temporizador y el postscaler es un divisor de frecuencia que se coloca después del temporizador. Estos pueden ser activados o no, todo depende de lo que el programador desee.

El timer 0 puede ser de 8 bits o de 16bits, por lo que posee dos registros para almacenar el valor en todo momento de la temporización: **TMR0L** y **TMR0H**. Estos registros son de 8 bits al igual que todos los del PIC18f4550, siendo el TMR0L el que almacena la parte baja del valor del conteo. Por otra parte el TMR0H es el encargado de almacenar la parte alta del conteo, cabe decir que éste registro tendrá valor únicamente cuando se trabaje con 16 bits. También posee un prescaler de 8 pasos programable por software.

El timer 0 puede ser activado o parado mediante el bit 7 del registro **T0CON**. Cuando se para el timer éste no regresa al valor inicial 0x00, sino que se produce una pausa quedando almacenado el último valor del conteo. El timer 0 produce una interrupción cada vez que se desborda, esto quiere decir que pasa del valor 0xff a 0x00. La inicialización de este timer se muestra a continuación.

```

;-----
;                                     Timer 0
;-----
movlw    b'01100000' ; valores para: Habilitar las INT del PIC
movwf    INTCON      ; y la interrupción por desbordamiento del timer 0.
movlw    b'01000111' ; Apago el timer 0.
movwf    T0CON       ; Timer 0 de 8 bits. Prescaler 1:256
clrf     TMR0L       ;limpio el valor del timer 0
clrf     TMR0H

```

El valor del prescaler del timer 0 no puede ser leído o escrito; su valor es cargado mediante el registro T0CON (0-2). Cuando se trabaja sobre el registro TMR0 (clr **TMR0**, movwf **TMR0**, bsf **TMR0**, etc.) automáticamente se limpia el conteo del prescaler quedando en 0x00, pero no cambiara el valor de prescaler asignado mediante el TMR0. A continuación se muestra el esquema del timer 0 en el PIC18f4550.

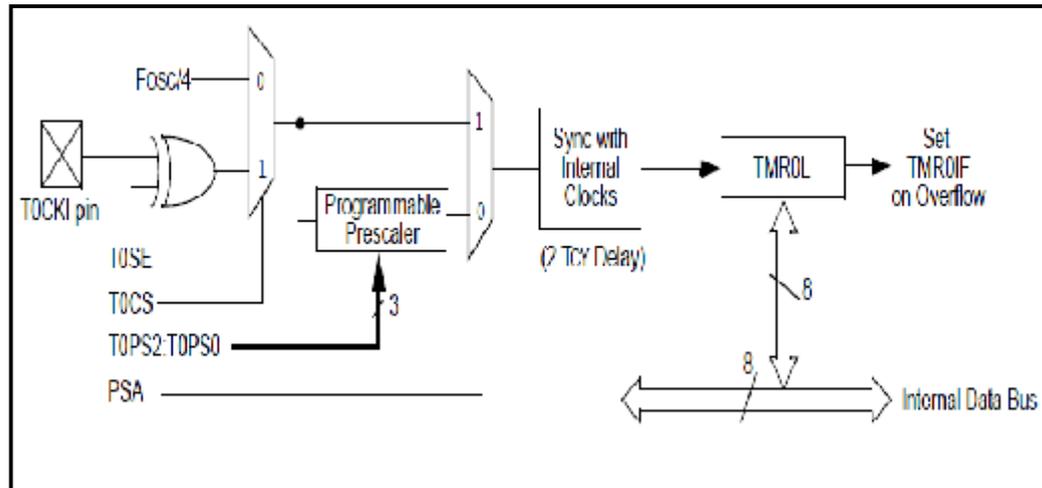


Figura 39. Esquema del Timer 0.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Esquema del Timer. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

El Timer 2 es de 8 bits solamente por lo que posee un solo registro para almacenar el valor del conteo TMR2, el cual puede ser leído y escrito mediante software. El registro de control del timer 2 es el T2CON por el cual podemos configurar al timer 2, en este registro podemos elegir los valores de prescaler postscaler siendo de 3 y 16 pasos respectivamente. A continuación se presenta la configuración del timer 2.

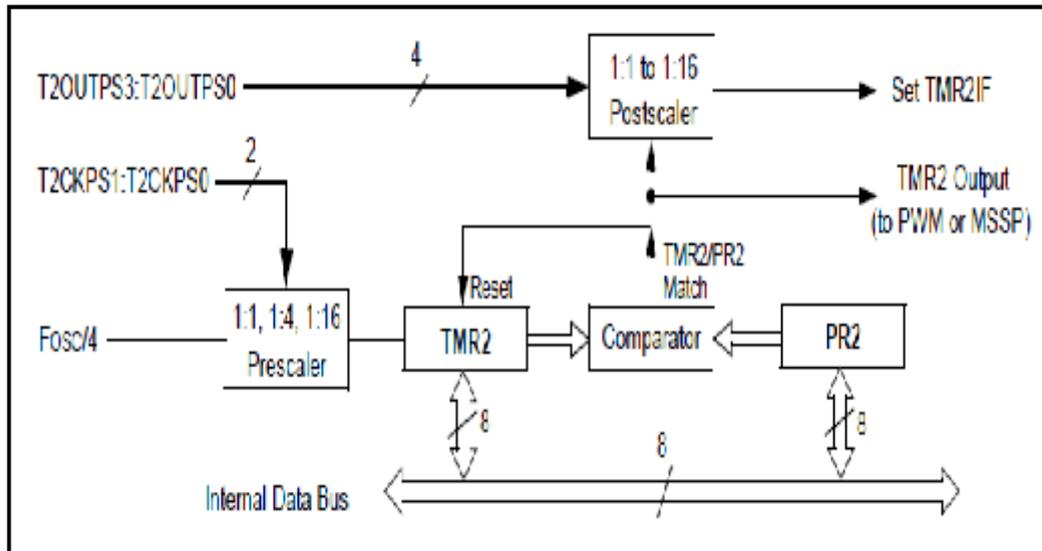


Figura 40. Esquema del timer 2. 138

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Esquema del Timer 2. EEUU. [En Línea].
 Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

El PR2 sirve como período del timer 2, puesto que si el TMR2 es igual al PR2 se produce la interrupción. Este valor influye en el periodo del PWM del microcontrolador, modulación por ancho de pulso, que comparte funciones con el timer 2. El valor del PMR2 es 0xFF por defecto y luego de producirse un reset.

Para inicializar el timer 2 se debe trabajar sobre los registros T2CON y TMR2.

```

;-----
;
;                               Timer 2
;-----
clrf      T2CON                  ;prescaler y postscaler desactivado
clrf      TMR2                  ;TMR2 = 0xff
bsf       PIE1,TMR2IE          ; activo la interrupción por timer 2
;-----

```

Luego de inicializar los periféricos internos del PIC, se activa las interrupciones y se escribe el programa principal del microcontrolador, (ver el siguiente fragmento del programa realizado en el microcontrolador).

```

;-----
;           Inicialización de los timers e interrupciones
;-----
bsf    T0CON,7           ; enciendo timer 0
bsf    T2CON,TMR2ON     ; enciendo timer 2
bsf    INTCON,GIE       ; habilita las interrupciones internas de los
                        ; periféricos del PIC
;=====
;           PROGRAMA PRINCIPAL
;=====
again
        goto    again
;=====

```

El programa principal de la silla de ruedas está vacío, esto se debe a que el programa entero está realizado con interrupciones. Con esto se optimiza los tiempos de consulta del microcontrolador, dejando que estos se realicen por medio de interrupciones.

3.2 Conversor Analógico Digital

Un conversor Analógico Digital (A/D) es el dispositivo encargado de realizar los procesos de muestreo y cuantificación para digitalizar una señal. El PIC 18f4550 posee 13 canales para la conversión A/D. Este módulo permite la conversión de una señal analógica a un número digital de 10 bits.

Este módulo posee cinco registros:

- Registro de resultado parte alta (ADRESH)
- Registro de resultado parte baja (ADRESL)
- Registro de control 0 (ADCON0)
- Registro de control 1 (ADCON1)
- Registro de control 2 (ADCON2)

Estos registros son muy importantes puesto que existe un solo convertidor analógico digital dentro del microcontrolador y mediante estos registros podemos seleccionar que canal se desea convertir. Esto quiere decir que los 10 canales de conversión A/D multiplexan su entrada con el convertidor analógico digital del PIC18f4550, como se ve en la siguiente figura:

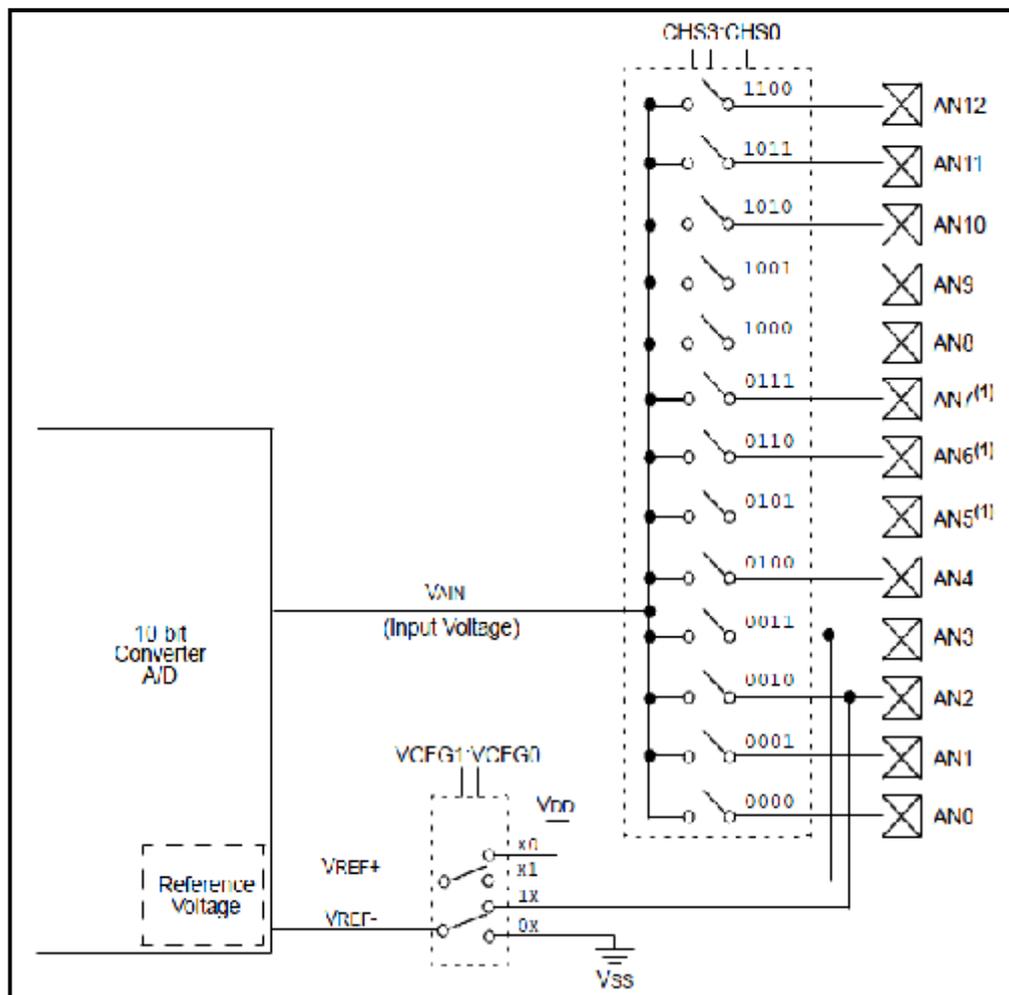


Figura 41. Diagrama de Bloques del Convertor A/D.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Diagrama de Bloques del Convertor. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

Para poder transformar la señal analógica, el convertidor posee un voltaje de referencia superior e inferior, para poder determinar físicamente el rango de conversión. Este rango de conversión puede ser seleccionado mediante software ya sea el voltaje positivo y negativo de la fuente del microcontrolador ($VDD = 5V$ y $VSS = 0$) o el voltaje en los pines RA3 y RA2.

El conversor A/D es capaz de trabajar mientras el microcontrolador se encuentra en modo sleep o de bajo consumo. Para poder operar en modo sleep, el reloj del conversor A/D debe ser derivado del oscilador RC interno, debido a que el oscilador externo se detiene en modo de bajo consumo.

Para el proceso de conversión el PIC18f4550 usa el método de sample and hold en el muestreo, esto es la carga o descarga de un condensador. Para generar el resultado de conversión lo hace mediante muestras sucesivas.

Un reset del dispositivo produce que el conversor analógico digital se apague y cualquier proceso de conversión sea abortado. Los valores de los registros ADRESH y ADRESL seguirán siendo los mismos luego de este evento, por lo que es necesario limpiar estos registros en la inicialización del conversor A/D.

Los registros ADRESH y ADRESL guardan el resultado de la conversión A/D. Cuando la conversión está completa el valor es cargado a los registros ADRESH y ADRESL, también el bit GO/DONE del registro ADCON es puesto a “0” y la bandera de interrupción, ADIF, es puesta en “1”.

3.2.1 Registro de Control ADCON 0

El registro de control ADCON0 permite seleccionar el canal que se desea convertir, iniciar o chequear el fin de la conversión y apagar o encender el conversor A/D. Los bits de este registro se muestran a continuación.

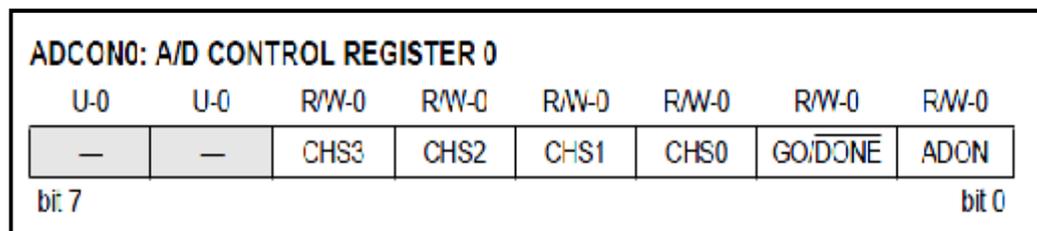


Figura 42. Registro ADCON del PIC18f4550.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Registro ADCON. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

Las funciones individuales del registro ADCON0 se muestra a continuación:

- **Bits 7:6** no son implementados, son leídos como cero.
- **Bits 5:2 (CHS3:CHS0)** sirven para seleccionar el canal que se desea digitalizar de acuerdo a la siguiente tabla.

CHS3:CHS0: Analog Channel Select bits	
0000	= Channel 0 (AN0)
0001	= Channel 1 (AN1)
0010	= Channel 2 (AN2)
0011	= Channel 3 (AN3)
0100	= Channel 4 (AN4)
0101	= Channel 5 (AN5)
0110	= Channel 6 (AN6)
0111	= Channel 7 (AN7)
1000	= Channel 8 (AN8)
1001	= Channel 9 (AN9)
1010	= Channel 10 (AN10)
1011	= Channel 11 (AN11)
1100	= Channel 12 (AN12)
1101	= Unimplemented
1110	= Unimplemented
1111	= Unimplemented

Figura 43. Esquema de bits para la selección del canal a convertir.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Selección del Canal. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

- **Bit 1 (GO/DONE)** señala el estado de la conversión. 1 = la conversión esta en progreso y 0 = la conversión ha terminado.
- **Bit 0 (ADON)** encendido del conversor A/D. 1 = A/D habilitado, 0 = A/D deshabilitado.

Para poder realizar el cambio de canal para la conversión, se ocupa la siguiente tabla por software.

```

;-----
;      Tabla para la selección del canal a convertir
;-----
tab_adcon    addwf    PCL,1
              retlw   B'00000000' ; canal 0 JOYSTICK X
              retlw   B'00000100' ; canal 1 JOYSTICK Y
              retlw   B'00001000' ; canal 2 SOPLO
              retlw   B'00001100' ; canal 3 TACTIL X
              retlw   B'00010000' ; canal 4 TACTIL Y
              retlw   B'00010100' ; canal 5 REG_VELO

return
;-----

```

3.2.2 Registro de Control ADCON1

Este registro permite definir el rango de conversión, esto es el voltaje de referencia que va a ocupar el conversor A/D, bits **VCFG1** y **VCFG2**. También permite seleccionar las combinaciones de canales analógicos y digitales, mediante los bits **PCFG3:PCFG0**.

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0 ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	
—	—	VCFG1	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	
bit 7								bit 0

Figura 44. Registro ADCON1 del PIC18f4550.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Registro ADCON1. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

Como se aprecia en la figura 44 los bits 7 y 6 del **ADCON1** no son implementados, a continuación se describe los bits que si son utilizados de este registro de control.

- **Bits 5:6 (VCFG1:VCFG2)** sirven para seleccionar el voltaje de referencia del conversor A/D. Con el valor “00” se utiliza el voltaje VCC del microcontrolador como referencia, pero con el valor “11” se utiliza el voltaje en los canales 2 y 3

3.2.3 Registro de control ADCON 2

Este registro permite configurar el formato del resultado de conversión, tiempo de adquisición y período de conversión.

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	ACQT2	ACQT1	ACQT0	ADCS2	ADCS1	ADCS0
bit 7							bit 0

Figura 47. Esquema de bits del ADCON2.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Esquema de Bits del ADCON2. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

- **Bits 2:0 (ADCS2:ADCS0)** sirve para definir el período de reloj de conversión, se puede escoger diferentes valores de acuerdo a las necesidades, (ver figura 47).

<p>ADCS2:ADCS0: A/D Conversion Clock Select bits</p> <p>111 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator)</p> <p>110 = FOSC/64</p> <p>101 = FOSC/16</p> <p>100 = FOSC/4</p> <p>011 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator)</p> <p>010 = FOSC/32</p>

Figura 48. Valores del reloj del conversor A/D

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Valores del reloj del conversor. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

- **Bits 5:3 (ACQT2:ACQT0)** determina el tiempo de adquisición del conversor A/D, se tiene diferentes valores de acuerdo al valor de estos bits.

ACQT2:ACQT0: A/D Acquisition Time Select bits
111 = 20 TAD
110 = 16 TAD
101 = 12 TAD
100 = 8 TAD
011 = 6 TAD
010 = 4 TAD
001 = 2 TAD
000 = 0 TAD

Figura 49. Valores para el tiempo de adquisición del conversor A/D

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Valores del tiempo de adquisición. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

- **Bit 7 (ADFM)** configura el formato del resultado de la cuantificación. Al ser un conversor A/D de 10 bits, el resultado se almacena en dos registros: **ADRESH** y **ADRESL**. El orden de almacenamiento depende de la configuración del **ADFM**, si es igual a “1” el resultado es justificado a la derecha caso contrario será justificado a la izquierda.

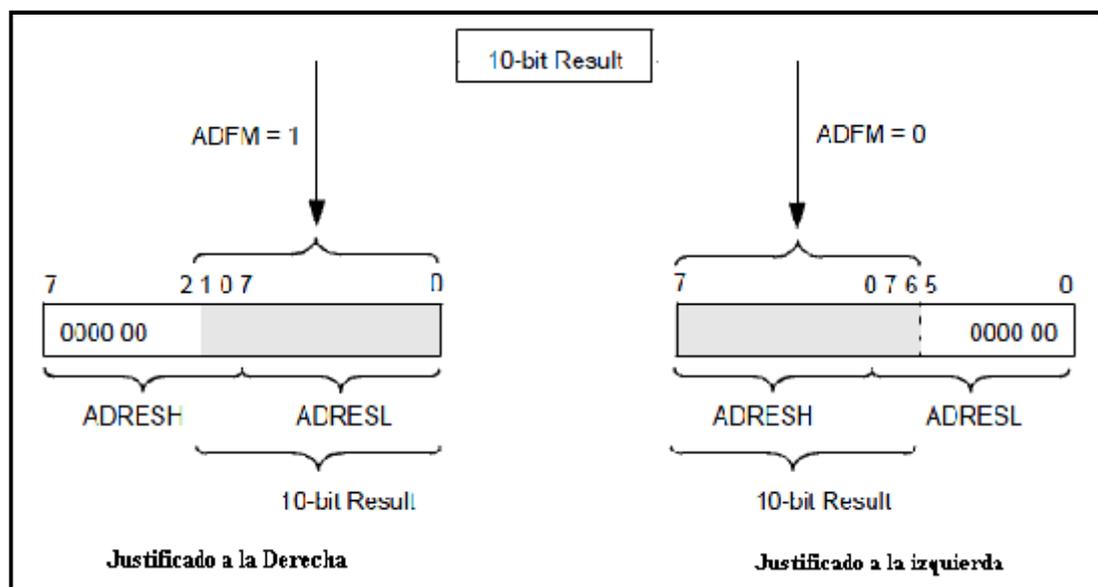


Figura 50. Tipos de almacenamientos del resultado de conversión.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Tipos de Almacenamientos. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

3.2.4 Inicialización del Conversor Analógico/Digital

El conversor analógico digital debe ser inicializado antes del programa principal y antes de comenzar a correr los timers. En la inicialización se selecciona el canal 0 por defecto, como se muestra en el siguiente fragmento de programa.

```

=====
;
;           CONFIGURACION DEL A/D
=====
clrf      ADCON0      ; A/D apagado y selecciono el CANAL0
movlw    B'00001001' ;RA0 RA5 es entrada analógica
movwf    ADCON1      ;Vref = Vcc(5v) y GND
movlw    B'00000010' ; Justificado a la izquierda MSB=ADRESH
movwf    ADCON2      ; TAD=0      F32
bcf      PIE1,ADIE   ; Deshabilito la INT del conversor
bsf      INTCON,PEIE ; Habilito la interrupción.
-----

```

Una vez inicializado el timer 0 se puede adquirir el valor de conversión únicamente del canal 0, por lo que es necesario ir cambiando el valor del ADCON0 como se muestra en el punto 3.2.1. Para esto se realiza el siguiente subprograma.

```

-----
; Adquisición de los canales del conversor A/D. El valor se almacena en las
; variables L1, L2, L3, L4,L5 y L6.
-----
clrf      ch_cont
movlw    0x00
movwf    FSR0L,0
prox_canal
    movf      ch_cont,W
    mullw    2
    movf      PRODL,W
;ESCOJO QUE CANAL DESEO

```

```

call      tab_adcon
movwf    ADCON0
bsf      ADCON0,0 ;enciendo el conversor
call     dem_40us
bsf      ADCON0,1 ;go AD
espera
btfsc   ADCON0,1
        goto   espera
;apago el conversor
movf    ADRESH,W
movwf   INDF0
movf    ch_cont,W
sublw   d'2'
btfsc   STATUS,Z
        goto   compara
incf    ch_cont
incf    FSR0L
goto    prox_canal
;-----

```

3.3 Módulo Enhanced PWM.

El modulo PWM del PIC18f4550 provee salidas adicionales para varias aplicaciones de control. Este módulo puede ser operado en modo estándar o enhanced. Para el control de los puentes H del Motor se ocupó el módulo “enhanced” del microcontrolador

En el modo “enhanced” el módulo PWM ofrece hasta 4 salidas, designadas desde P1A a P1D. El usuario puede elegir la polaridad de estas señales (ya sea activas a alto o bajo). Para configurar este módulo y la polaridad de sus salidas se debe trabajar sobre el registro CCP1CON.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
P1M1	P1M0	DC1B1	DC1B0	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0
bit 7							bit 0

Figura 51. Registro CCP1CON del PIC18f4550.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Registro CCP1CON. EEUU. [En Línea].
 Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

Las funciones individuales del registro CCP1CON se muestran a continuación:

- **Bit 7:6 (P1M1:P1M0)** Configura las salidas del PWM
- **Bit 5:4 (DC1B0:DC1B0)** Duty cycle del PWM, bits 0 y 1
- **Bit 3:0 (CCP1M3:CCP1M0)** selecciona el modo de trabajo del “Enhanced CCP”

Como se puede ver en el diagrama del PWM, todos los registros de control están doble buffer y son cargados al inicio de un nuevo ciclo de PWM para prevenir cualquier señal no deseada en las salidas. Para el manejo de las 4 salidas del PWM, el registro TRIS deberá ser cargado con el valor correcto.

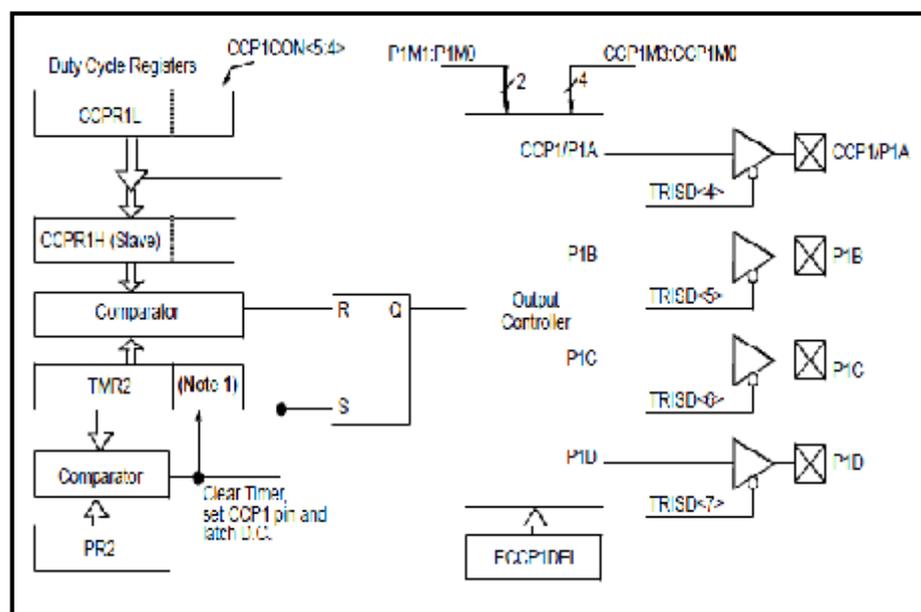


Figura 52. Diagrama de bloque del módulo PWM.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Diagrama de bloque del módulo. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

3.3.1 Período del PWM

El período del PWM se lo carga mediante el registro PR2, pero no depende únicamente de éste. El período puede ser calculado con la siguiente fórmula.

$$PWM_{periodo} = (PR2 + 1) \times 4 \times TOSC \times (TMR2 \text{ prescaler})$$

Cuando el TMR2 es igual al PR2 los siguientes tres eventos suceden:

- TMR2 es limpiado.
- El pin del CCP1 es puesto en 1.
- El duty cycle del PWM es cargado del CCPR1L al CCPR1H.

3.3.2 Duty Cycle del PWM

El duty cycle del PWM se lo carga mediante el registro **CCPR1L** y los bits 4 y 5 del **CCP1CON**. El **CCPR1L** contiene los 8 bits más significativos y los dos menos significativos se encuentran en **CCP1CON<5:4>**. La siguiente ecuación se usa para calcular el duty cycle del PWM.

$$PWM_{duty\ cycle} = (CCPR1L:CCP1CON4:5) \times TOSC \times TMR2preescaler$$

El valor de CCPR1L y CCP1CON<4:5> pueden ser cambiado cuando se desee, pero el valor del duty cycle no cambiara, sino después de que TMR2 sea igual a PR2.

3.3.3 Configuración de la salida del PWM

Los bits P1M1:P1M0 del registro de control CCP1CON permite elegir una de las cuatro configuraciones:

- **Single Output**, el PWM funciona en modo estándar.
- **Half-Bridge Output**, para controlar un sistema de medio puente.

- **Full-Bridge Output (Forward Mode)** controla las 4 ramas de un sistema de Puente H, haciendo que el motor gire hacia adelante.
- **Full-Bridge Output (Reverse Mode)** controla las 4 ramas de un sistema de Puente H, haciendo que el motor gire hacia atrás.

<p>P1M1:P1M0: Enhanced PWM Output Configuration bits</p> <p><u>If CCP1M3:CCP1M2 = 00, 01, 10:</u> xxx = P1A assigned as Capture/Compare input/output; P1B, P1C, P1D assigned as port pins</p> <p><u>If CCP1M3:CCP1M2 = 11:</u> 00 = Single output: P1A modulated; P1B, P1C, P1D assigned as port pins 01 = Full-bridge output forward: P1D modulated; P1A active; P1B, P1C inactive 10 = Half-bridge output: P1A, P1B modulated with dead-band control; P1C, P1D assigned as port pins 11 = Full-bridge output reverse: P1B modulated; P1C active; P1A, P1D inactive</p>

Figura 53. Esquema de bits para seleccionar el modo del PWM.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Bits para seleccionar modo PWM. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

Como se mencionó en el **Capítulo 2** los motores de la silla de ruedas son controlados mediante puentes H. Por lo que se usa la configuración **Full-Bridge** hacia a delante y hacia atrás.

En el modo Full-Bridge 4 pines son usados como salidas, sin embargo, solo dos son activadas al mismo tiempo. En el modo Forward (adelante), el pin P1A es activado continuamente y P1B genera la onda PWM. En el modo Reverse (atrás), el pin P1C es activado continuamente y el pin P1D genera la onda PWM.

Las salidas P1A, P1B, P1C y P1D están multiplexadas con los pines PORTC<2>, PORTD<5>, PORTD<6> y PORTD<7>, respectivamente. Por lo tanto los TRIS de estos bits deben ser limpiados para poder ser usados como salidas.

A continuación se muestra el proceso de activación del modo Forward (adelante) y el modo Reverse (atrás) del Full-Bridge. El número 1 significa que en ese momento el

TMR2 es igual al PR2 y el numero 2 significa que la señal a sido activa, esta señal puede ser activa hacia abajo o alto.

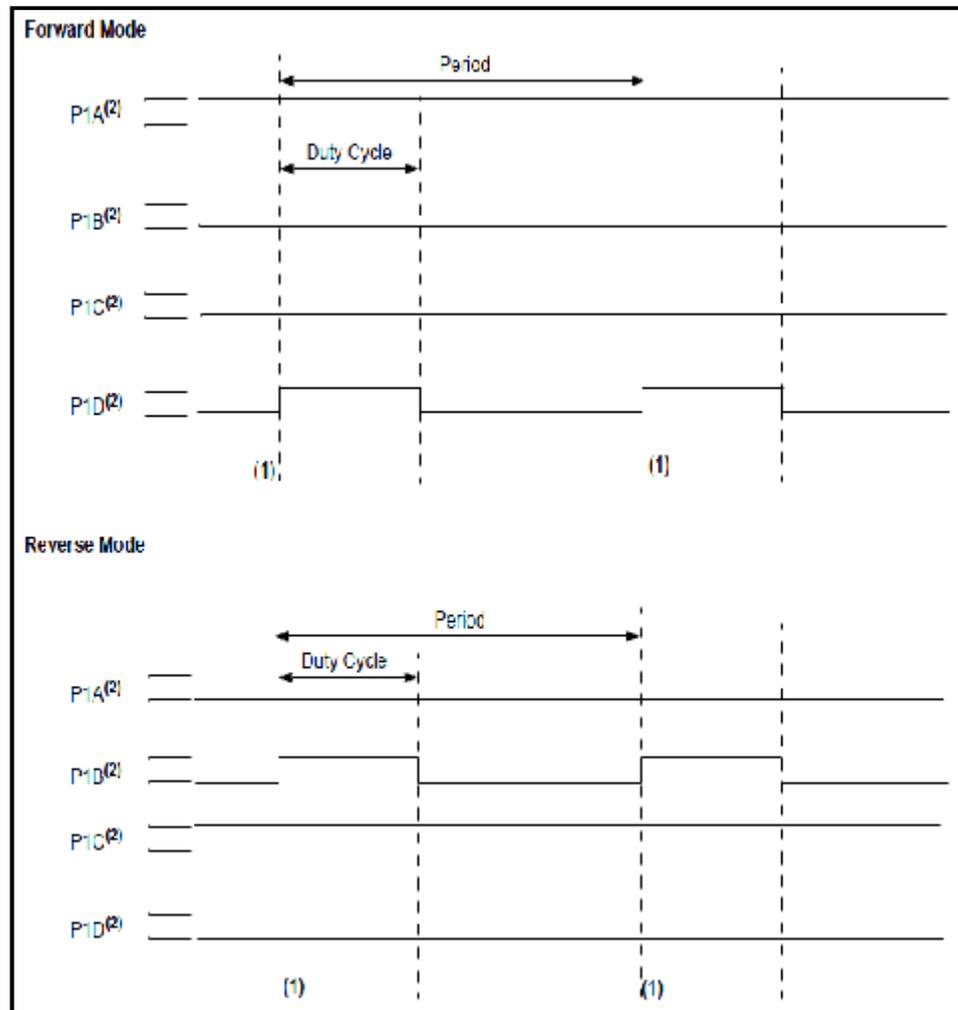


Figura 54. Salida del PWM en modo Full-Bridge.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Salida del PWM. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

Para realizar la conexión del microcontrolador con el puente H, el fabricante recomienda el siguiente esquema.

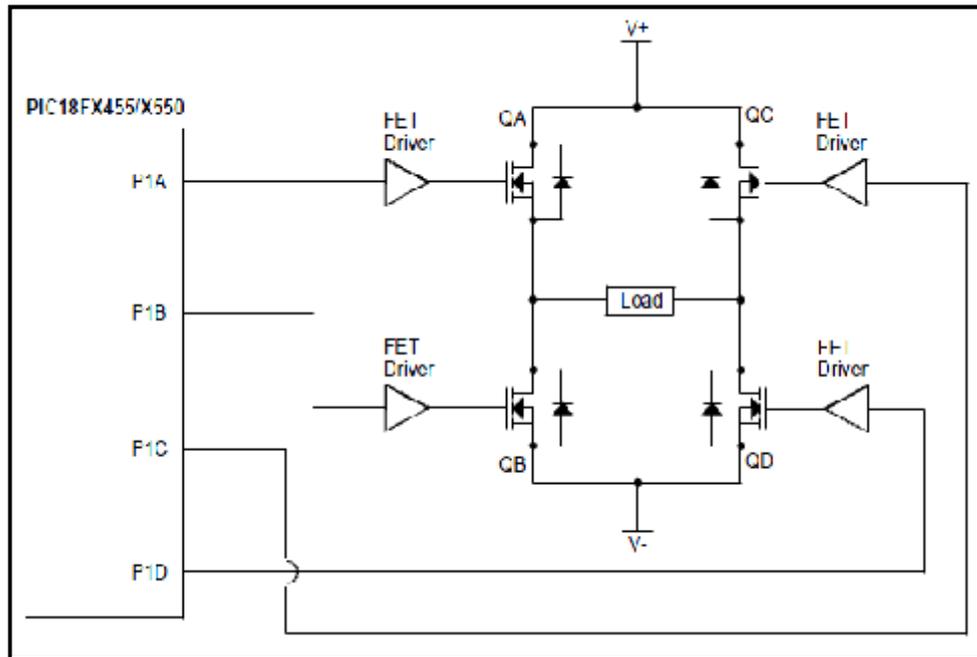


Figura 55. Aplicación del PWM en modo Full-Bridge.

Fuente: MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. Configuración del PWM. EEUU. [En Línea].

Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>

3.3.4 Inicialización del PWM en modo Full-Bridge

En la hoja de datos del PIC18f4550 se describe el procedimiento para la inicialización del PWM, por lo que el fragmento de programa a continuación sigue estos pasos

```

;=====
;          CONFIGURACION DEL PWM
;=====
;PINES DEL PWM COMO ENTRADAS
bsf    TRISC,2    ;P1A
bsf    TRISD,5    ;P1B
bsf    TRISD,6    ;P1C
bsf    TRISD,7    ;P1D
;CARGO EL PR2
movlw   d'249'
movwf   PR2      ;F=1Kh

```

```

;CONFUGURO EL ECCP
movlw    b'01001100' ;FULL-BRIDGE ADELANTE
movwf    CCP1CON    ;PWM
;CARGO EL DUTY CICLO INICIAL
movwf    0x01        ;valor inicial
movwf    CCPR1L
;CONFIGURO EL TIMER2
bcf      PIR1,TMR2IF ;limpio bandera int.
clrf     T2CON        ;limpio T2
clrf     TMR2
bsf      PIE1,TMR2IE ;habilito interrupción
bsf      T2CON,TMR2ON ;enciendo timer
bsf      INTCON,GIE
;HABILITO LAS SALIDAS DEL PWM LUEGO DE UN CICLO DE PWM
WAIT
        btfss    flag_tmr2,0
        goto     WAIT
bcf      TRISC,2      ;P1A
bcf      TRISD,5      ;P1B
bcf      TRISD,6      ;P1C
bcf      TRISD,7      ;P1D
bcf      LATC,2
clrf     LATD
;Y ACTIVO EL ECCPASE
bcf      ECCP1AS,7    ;las salidas ECCP están abiertas
;-----

```

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

La silla de ruedas fue sometida a diferentes tipos de ambientes: internos y externos. Las pruebas se realizaron con todos los controladores, también se probó la rampa de arranque y frenada.

Los diseños de hardware mencionados en los capítulos anteriores, se procedió a realizarlos en una placa electrónica o PCB. A continuación se muestra el diseño realizado en PROTEL 99.

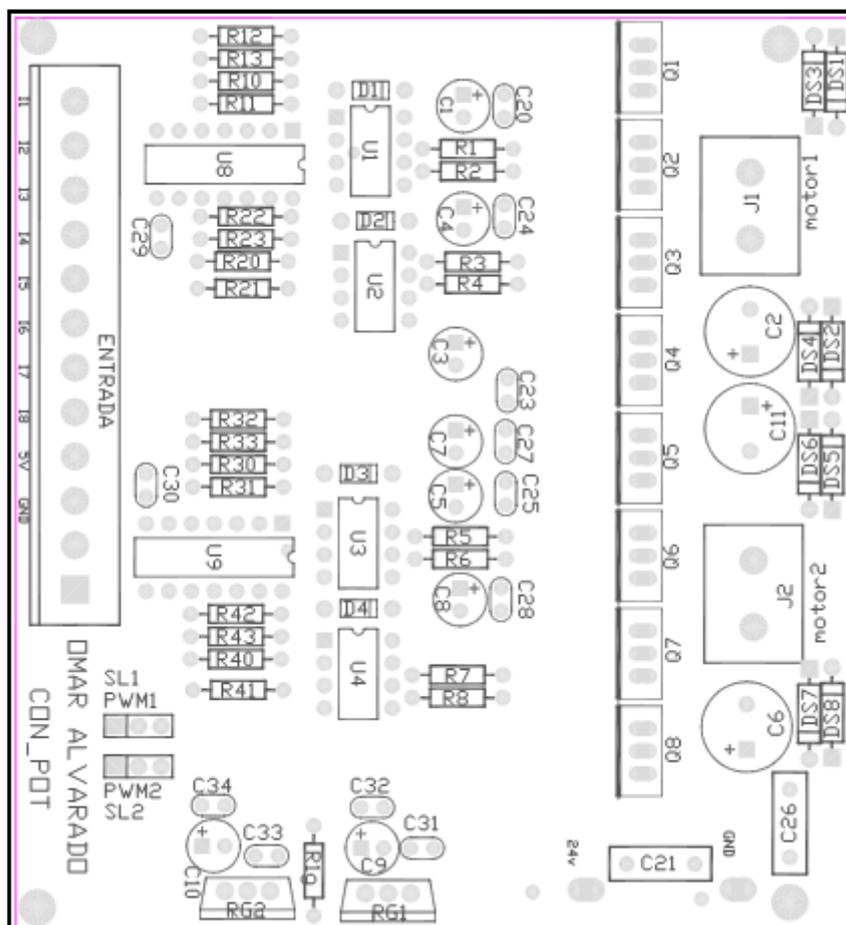


Figura 56. Posicionamiento de los componentes

Para el posicionamiento se separó el PCB en la parte de potencia y la parte de corriente baja. En la parte derecha (figura 55) se puede apreciar los 8 transistores mosfet canal-n que activarán a los motores. En la parte izquierda están los driver que le entregan el suficiente voltaje a los transistores.

En la figura 57 y 58 se puede apreciar el ruteo o conexión de los diferentes componentes del PCB. Las líneas de conexión deben ser lo suficientemente anchas para soportar las corrientes altas que tienen los motores, es por eso que en la parte derecha (Potencia) las líneas de conexión son mucho más anchas que las de la izquierda.

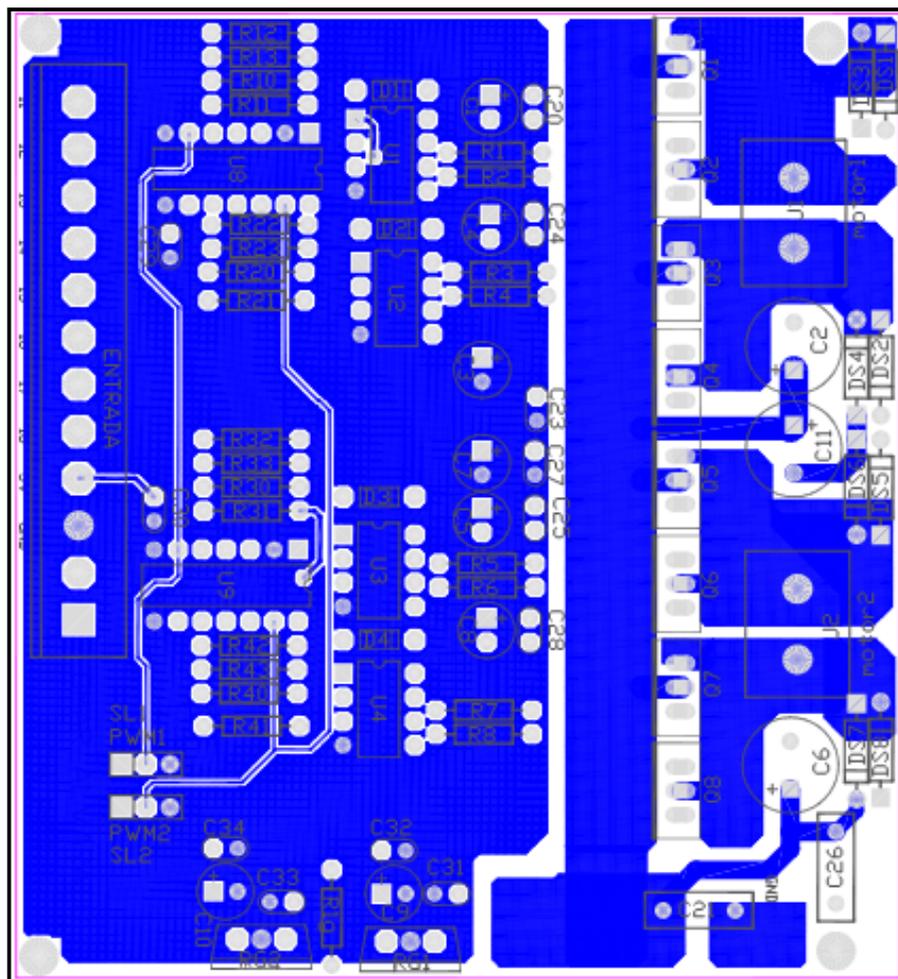


Figura 57. Ruteo de la capa inferior

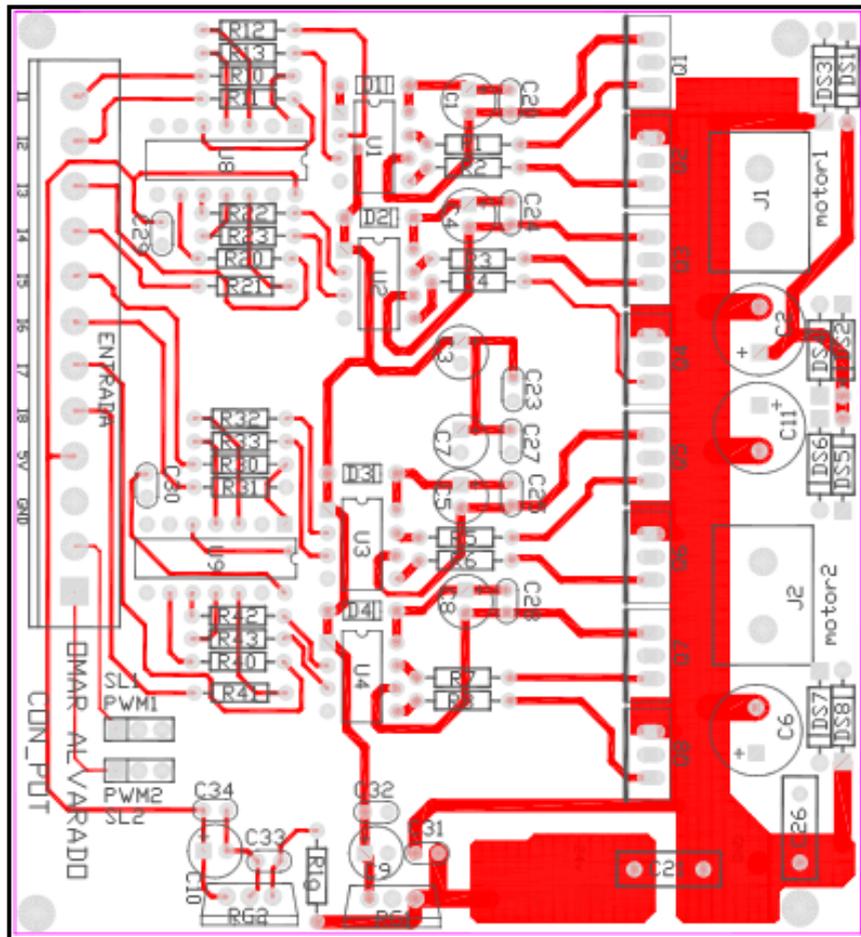


Figura 58. Ruteo de la capa superior.

Debido a la elevada corriente que se maneja al funcionar los dos motores, se debe instalar un disipador de calor para los transistores. Este disipador de calor ayuda a que los transistores no pierdan sus características, como el valor de resistencia de Drain (RD). Este valor aumenta debido a la temperatura, por lo que el disipador de calor es muy importante para el funcionamiento óptimo de la silla de ruedas.

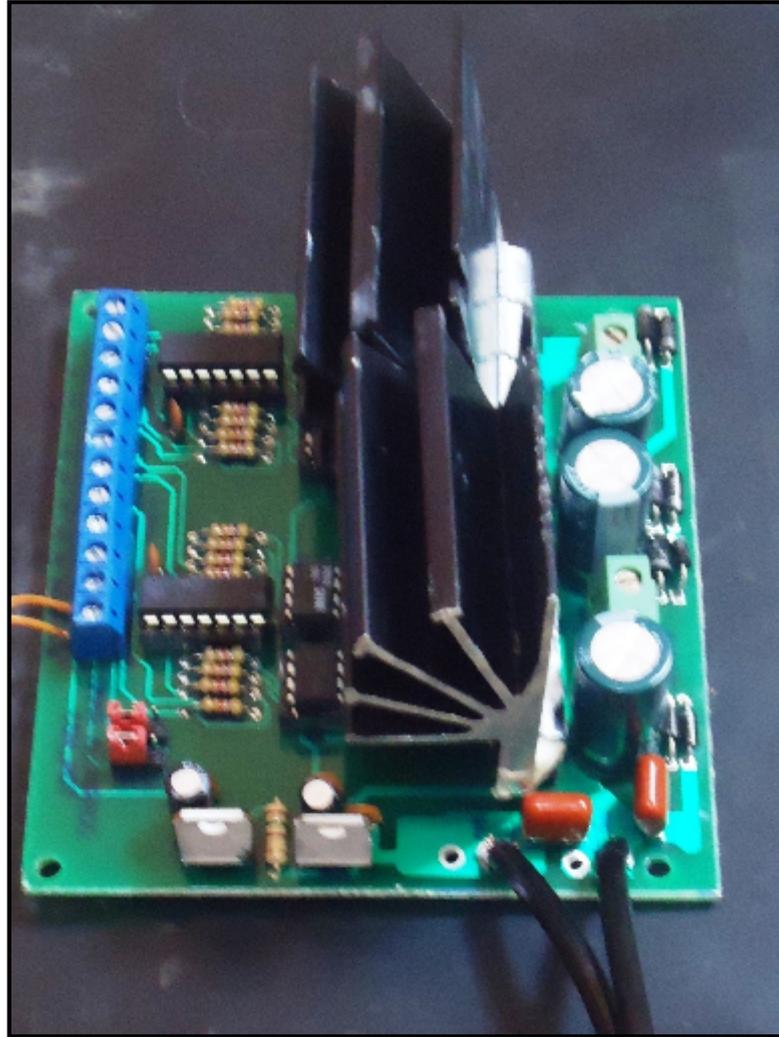


Figura 59. Placa PCB para el control de los motores

4.1 Resultado de la Rampa de Arranque y Frenado

Para una mayor seguridad y confort del usuario se diseñó la silla de ruedas con una rampa de subida para el arranque. Esta rampa proporcionó resultados muy satisfactorios, porque el usuario se mantenía estable al arrancar los motores.

Al no tener todas las características de los motores, se procedió a calibrar la velocidad mínima y la máxima mediante experimentación. El valor mínimo para el CCPR1L del PWM es 150, con este valor se obtiene un voltaje medio de 3.5V a la salida del pin 2 del puerto E (PWM). Este valor se tomó cuando el motor se movía sin efectuar ningún chillido.

Con la velocidad máxima no fue necesario realizar experimentación, puesto que el motor trabaja a su máxima velocidad cuando a su entrada llega 24V. Lo que sucede cuando el CCPR1L es 255, esto es el valor medio del PWM es 5V.

Los motores de la silla de ruedas poseen un sistema de engranajes acoplados de fábrica, por lo que se podría decir que la inercia es casi cero. Por esto al momento que el motor deja de ser alimentado la silla de ruedas para bruscamente su movimiento. Para esto se uso la rampa de frenado, reduciendo el valor del CCPR1L paulatinamente del valor máximo al valor mínimo en un tiempo de 2 segundos.

En un principio se usó la velocidad máxima para realizar los giros de la silla de ruedas, con esto el giro era demasiado rápido, brusco y el usuario no se sentía seguro. Luego se procedió a realizar los giros con la velocidad mínima, pero con esto el giro era demasiado lento. Finalmente se opto por un valor de 200 en el CCPR1L, con lo cual el giro era el adecuado para el usuario, este valor se obtuvo mediante experimentación.



Figura 60. Silla de ruedas prueba

4.2 Prueba de la Pantalla Táctil

La pantalla táctil fue colocada para ser usada por personas incapaces de mover sus muñecas, por lo que al deslizar un dedo por la pantalla táctil podían controlar la silla de ruedas. Este objetivo se logró satisfactoriamente e incluso se pudo controlar la silla con los motores a la velocidad máxima sin mayores inconvenientes.

Este controlador se probó con una persona capaz de mover sus dedos y muñecas, quedando totalmente satisfecha e incluso siendo su controlador preferido. Esto se dio gracias a que el usuario poseía experiencia con pantallas táctiles, como la de los teléfonos celulares.

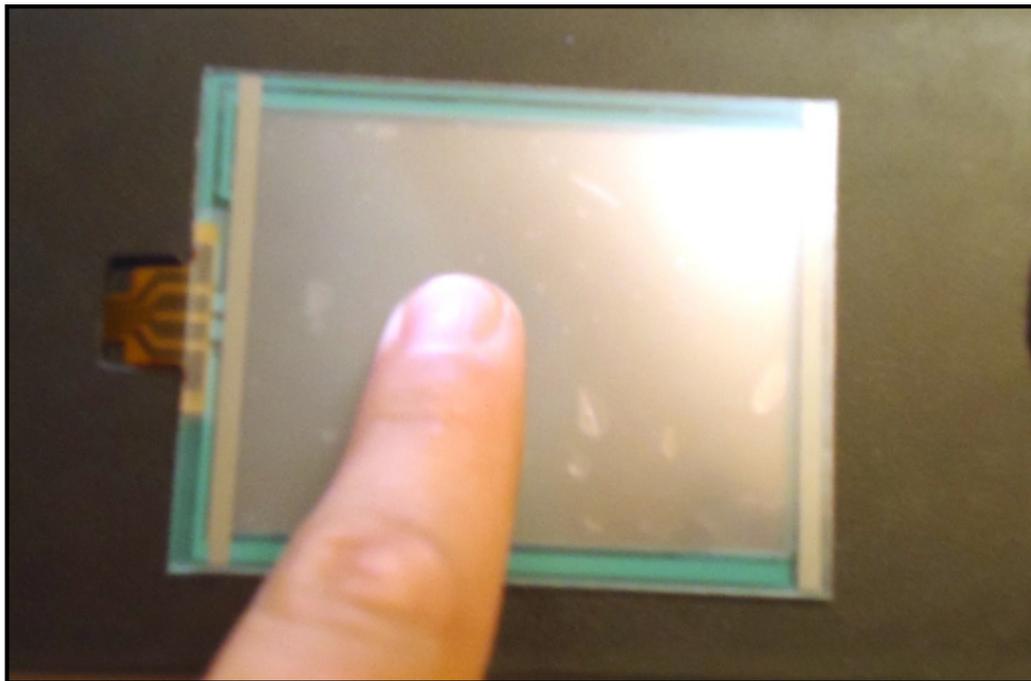


Figura 61. Pantalla táctil instalada en la silla de ruedas.

4.3 Prueba del Joystick y Pulsantes

La palanca es el controlador que usan las sillas de ruedas eléctricas en el mercado, por lo que no se tuvo inconvenientes en ser manejado por los usuarios. Este controlador es el más rápido en cuanto a reacción del microcontrolador, por lo que el usuario puede manejar la silla de ruedas siempre a la máxima velocidad.



Figura 62. Joystick instalado en la silla de ruedas

El teclado fue diseñado para ayudar a los que asisten a las personas parapléjicas, dejando de empujar la silla constantemente para movilizar al discapacitado. Este controlador tuvo una aceptación favorable y el objetivo se cumplió.

Con este controlador la silla de ruedas no puede ser usada a la máxima velocidad porque supera la velocidad de una caminata normal. La velocidad de la silla es casi la mínima.



Figura 63. Teclado usado en la silla de ruedas

4.4 Prueba del Soplo

El controlador de soplo funciona de la siguiente manera:

ADELANTE	1 SOPLO
ATRÁS	1 SUCCION
IZQUIERDA	2 SUCCION
DERECHA	2 SOPLOS
PARO	SOPLO FUERTE

Tabla 7. Valores de soplo/succión para el control de la silla de ruedas

Para que el usuario pueda realizar el control de la silla, con soplo, sin ningún inconveniente es necesario introducir un tiempo prudente para que la persona pueda realizar los soplos o succiones necesarios. Este tiempo es de 4 segundos, por lo que para realizar un giro a la derecha, el usuario deberá soplar dos veces en 4 segundos.

Debido a que el tiempo de accionamiento de la silla de ruedas disminuye, su velocidad deberá ser baja, para así evitar posibles choques o paros tardíos. El valor del CCPR1L es de 195, con esto la velocidad es lo suficientemente, segura para las personas cuádruplégicas.

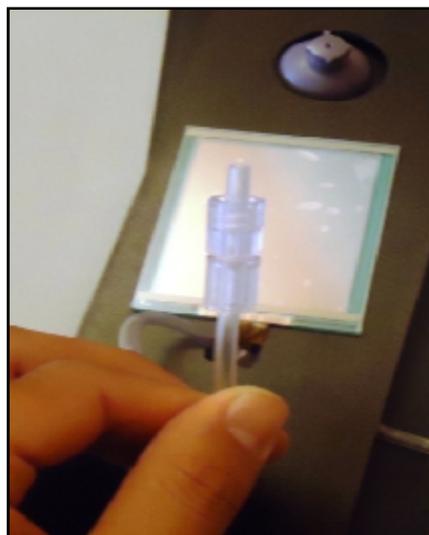


Figura 64. Dispositivo para realizar el control mediante soplo

4.5 Costos

Se presenta una lista de los materiales y su costo en el mercado nacional. Los motores como las baterías son importadas por lo que su precio puede variar de acuerdo al arancel de importación impuesto por el gobierno nacional.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO
2	Motores de CC. 150W	\$280
2	Baterias 50Ah	\$200
1	Cargador de Baterias	\$100
1	Microcontrolador PIC18f4550	\$7
8	Transistores MOSFET	\$32
1	Disipador de Calor	\$10
1	PCB	\$30
1	Modulo Pantalla Táctil	\$100
1	Modulo Palanca	\$60
1	Modulo Soplo/Succión	\$150
1	Modulo teclado	\$30
1	Componentes electrónicos: varios	\$21
	TOTAL_{componentes}	1020

Tabla 8. Costos componentes electrónicos

Los componentes electrónicos varios se encuentran compuestos por resistencias, condensadores, diodos, zócalos, etc., es materiales sencillos y de bajo costo.

Los motores, baterías y la placa electrónica pueden ser montados en cualquier tipo de silla de ruedas, por eso el precio de la misma varía de acuerdo a la necesidad del usuario. El costo de una silla de ruedas típica mas el ensamblaje de los motores es de \$180. Para realizar el costo total del proyecto el valor de la silla de ruedas y se suma con el costo de componentes electrónicos y con el valor de ingeniería.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO
1	Silla de ruedas con montaje del sistema	\$180
1	Componentes Electrónicos	\$1020
1	Mano de obra	\$700
	TOTAL SILLA MULTIFUNCIONAL	\$1900

Tabla 9. Costo de la silla multifuncional

El costo de la silla de ruedas multifuncional varía de acuerdo a los controladores que el usuario necesite. También disminuye el valor si se fabrica silla de ruedas en cantidades elevadas, puesto que estos valores son para una silla de ruedas.

Una silla de ruedas eléctrica con un solo controlador en el mercado internacional oscila entre \$3000 a \$8000 dolores, por lo que la multifuncional es muy económica comparadas con las del mercado.

CONCLUSIONES

- La silla de ruedas multifuncional puede ser utilizada por distintas personas con diferentes limitaciones, facilitando la movilidad de las personas discapacitadas
- El arranque y frenado mediante una rampa ascendente y descendente, respectivamente. Dio mayor confianza al usuario, pues la silla de ruedas multifuncional no realizó arranques y frenados bruscos.
- Los controladores instalados a la silla de ruedas funcionaron satisfactoriamente, y las personas se sintieron seguras al utilizarlos.
- La velocidad de la silla de ruedas no puede ser la misma con todos los controladores, esto se debe a que el tiempo de reacción del sistema no es el mismo. El joystick y teclado son los dispositivos que mayor tiempo de reacción tiene en el microcontrolador, caso contrario sucede con el soplo, que tienen un tiempo de reacción de 4s.
- Todos los controladores se pudieron integrar en un solo sistema. Teniendo dos interruptores de selección para elegir qué controlador se desea usar.
- El controlador por defecto de la silla de ruedas es la palanca y teclado, puesto que son los más rápidos para el microcontrolador y los más comunes en el mercado.
- Los materiales electrónicos usados en la silla de rueda son de fácil adquisición, por lo que este sistema puede ser fabricado sin muchos percances en el medio local.
- Luego de una investigación sobre las sillas de ruedas eléctricas en el mercado, se puede decir que este prototipo es único en el medio nacional e internacional.

RECOMENDACIONES

- Diseñar el sistema integral con dispositivos de montaje superficial, así las dimensiones del PCB se reducirán considerablemente.
- La sonda por donde se realiza el soplo/succión no debe superar los 60cm. Si se necesitara una sonda más larga, se deberá consultar con el fabricante para una configuración adecuada del sensor de presión.
- En el circuito de potencia se debe ocupar siempre disipadores de calor de buena calidad, para así prolongar la vida útil del sistema
- La exposición constante de la pantalla táctil en días soleados, puede dañar la misma. Por lo que se recomienda cubrirla si el usuario está ocupando otro controlador.
- Evitar en lo posible utilizar la silla de ruedas multifuncional en días lluviosos, ya que puede causar daños en el sistema.
- Utilizar siempre baterías de 12V de la misma marca y capacidad, con esto se logra que las baterías se descarguen de forma similar.
- Para evitar posibles fallas se debe realizar inspecciones periódicas en el sistema de la silla de ruedas. Estas inspecciones pueden ser de dos a tres veces en el año.
- Para seguridad del usuario y de la silla de ruedas, se puede implementar un dispositivo de rastreo. Con esto siempre se sabrá en qué lugar está la silla de ruedas y evitar posibles robos.
- El uso del teclado puede ser realizado mediante una comunicación inalámbrica, con esto el asistente de la persona discapacitada tendrá mayor movilidad.

- No se utilizó el sistema de voz por ser demasiado costoso y la efectividad no garantiza el manejo pleno de la silla de ruedas.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BOYLESTAD, Robert L. 2003. Electrónica Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. Octava Edición. Pearson Education. México.
- COUGHLIN, Robert; Driscoll, Frederick. 2000 Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. Sexta Edición. Prentice Hall; México.
- RASHID, Muhammad. 2004 Electrónica de Potencia. Tercera Edición. Prentice Hall. México.
- PÉREZ, Leonel. 2009 Curso de Microcontroladores. Universidad del Azuay.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2007. “Datasheet PIC18F4550”. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632d.pdf>
- PHIDGETS INC. 2009. “Sensor de Presión”. EEUU. [En Línea]. Disponible en: <http://www.highlights.com.ec/site/images/stories/robotica/pressurediffphidgets.pdf>.
- INVACARE CORPORATION. “Products”. EEUU. [En Línea]. Disponible: <http://www.invacare.com/cgi-bin/imhqprd/products-services.jsp>;
- CONADIS. “Discapacidad en el Ecuador”. Ecuador. [En Línea]. Disponible en: <http://www.conadis.gov.ec/investigacion04.htm#2004>.
- DMC CORPORATION. 2010. “Touch Screen Solutions”. EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.dmccoltd.com/english/tecnical/logs/tec20041126_b.asp.

- TYCO ELECTRONICS. 2010. "Touch 4 Wires". EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.elotouch.com/Technologies/compare_resist.asp.
- FREESCALE SEMICONDUCTOR. 2009. "MPXV7025 Datasheet". EEUU. [En Línea]. Disponible en: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX4115A.pdf.

ANEXO 1

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR.

```

;*****
; SILLA DE RUEDAS MULTIFUNCIONAL SILA MF_1
; Versión: 1.0
; Este programa controla la silla de ruedas multifuncional 1.0
;*****
; Controladores:
; El joystick y teclado funcionan por defecto
; Para ocupar el sopro/succión se selecciona medianteSELEC_1
; La pantalla táctil se activa mediante SELEC_2
;*****

list p=18f4550
#include <p18f4550.inc>

;=====
; ZONA DE DECLARACION DE SIMBOLOS Y VARIABLES.
;=====
; PARA EL DATO ADQUIRIDO DEL CONVERTOR A/D

L1      equ 0X00    ; palanca_X
L2      equ 0X01    ; palanca_y
L3      equ 0X02    ; sopro/succión
L4      equ 0X03    ; tactil_x
L5      equ 0X04    ; tactil_y
L6      equ 0X05    ; control_velocidad

; PARA GUARDAR EL ESTADO DEL SISTEMA EN LA INTERRUPCION

BSR_TEMP equ 0X06
STATUS_TEMP equ 0X07
W_TEMP      equ 0X08

; MULTIPLICADORES Y CONTADORES DE DEMORA

M1      equ 0x09
M2      equ 0x0a
cont1   equ 0x0b
cont2   equ 0x0c
cont3   equ 0x0d

; CONVERTOR ANALOGICO/DIGITAL

ch_cont      equ 0x0e    ; contador de canales del A/D

; BADERAS Y CONTADORES

flag_tmr2   equ 0x0f
flag_h      equ 0x10
flag_sopro  equ 0x11
flag_cond   equ 0x12
flag_seguir equ 0x13
cont_sopro  equ 0x14

```

```

cont_succ    equ 0x15
cont_int     equ 0x16
cont_pwm     equ 0x17
cont_cond    equ 0x18
cont_cond1   equ 0x19
cont_cond2   equ 0x1a
cont_cond3   equ 0x1b

;=====
; vectores (int y reset)
;=====

org 0
    goto inicio
org 0x18
    goto interrupt    ; vector de IT (baja prioridad)

;=====
; TABLAS
;=====
; tabla para la selección del canal a ser convertido

tab_adcon    addwf PCL,1

                retlw B'00000000'    ;canal 0 JOYSTICK_X
                retlw B'00000100'    ;canal 1 JOYSTICK_Y
                retlw B'00001000'    ;canal 2 SOPLO
                retlw B'00001100'    ;canal 3 TACTIL_X
                retlw B'00010000'    ;canal 4 TACTIL_Y
                retlw B'00010100'    ;canal 5 VELOCIDAD

                return

;=====
; Configuración del sistema
;=====
inicio
;=====
; CONFIGURACION DEL A/D
;=====

    clrf    ADCON0        ; AD apagado y selecciono el AD0
    movlw  B'00001010'    ; RA0 RA4 es entrada analógica
    movwf  ADCON1        ; Vref= VCC y GND
    movlw  B'00000010'    ; MSB=ADRESH
    movwf  ADCON2        ; TAD=0    F32
    bcf    PIE1,ADIE    ; DESHABILITO LA INT_DEL A/D

```

```
bsf    INTCON,PEIE    ; Enable peripheral interrupts
```

```
-----
;
;          Puertos (entrada / salida)
;-----
;
;          inicialización de puerto A
;-----
```

```
clrf   PORTA
movlw  b'11111111'
movwf  TRISA
```

```
-----
;
;          inicialización de puerto B
;-----
```

```
clrf   PORTB
movlw  b'11111111'
movwf  TRISB    ;rb<7:4> salidas, rb<3:0> entradas
bcf    INTCON2,7 ;pull ups del puerto B
```

```
-----
;
;          inicialización de puerto C
;-----
```

```
clrf   PORTC
clrf   LATC
bcf    TRISC,0    ;lado high 2
```

```
-----
;
;          inicialización de puerto D
;-----
```

```
clrf   PORTD    ;limpio el puerto D
clrf   TRISD    ;RD(7:0) son salidas digitales
```

```
-----
;inicialización de puerto E
;-----
```

```
clrf   PORTE
bcf    TRISE,0   ;RE0 salida digital
bcf    TRISE,1   ;RE1 salida digital
clrf   LATC
```

```
=====
;
;          Temporizadores
;=====
```

```
bcf    RCON,7
```

```
-----
;
;          Timer 0
;-----
```

```

movlw b'01100000'
movwf INTCON
movlw b'01000111'
movwf T0CON
clrf TMR0L
clrf TMR0H

```

```

;-----
;          CONFIGURACION DEL PWM
;-----

```

```

; PINES DEL PWM COMO ENTRADAS

```

```

bsf      TRISC,2      ;P1A
bsf      TRISD,5     ;P1B

```

```

; CARGO EL PR2

```

```

movlw    0XFF
movwf    PR2          ;F=1Kh

```

```

;CONFUGURO EL ECCP

```

```

movlw    b'00000011' ;delay band
movwf    ECCP1DEL    ;retraso entre los 2 PWM
movlw    b'10001100' ;HALF-BRIDGE
movwf    CCP1CON
movwf    d'150'
movwf    CCPR1L

```

```

;CONFIGURO EL TIMER2

```

```

bcf      PIR1,TMR2IF ;limpio bandera int.

```

```

;-----
; CONFIGURO PARA OBTENER UN P MAS LARGO EN EL PWM
;-----

```

```

movlw    b'01111011'
movwf    T2CON
clrf     TMR2
bsf      PIE1,TMR2IE ;habilito interrupción
bsf      T2CON,TMR2ON ;enciendo timer
bsf      INTCON,GIE

```

```

;HABILITO LAS SALIDAS DEL PWM

```

```

WAIT

```

```

btfss   flag_tmr2,0
        goto WAIT

```

```

bcf      TRISC,2      ;P1A
bcf      TRISD,5     ;P1B
bcf      LATC,2
bcf      LATD,5
bcf      ECCP1AS,7   ;las salidas ECCP están abiertas

```

```

=====
;
;Inicia Timer0
=====

    bsf T0CON,7                ;enciendo timer 0

;INICIALIZO BANDERAS Y CONTADORES
clrf  flag_soplo
clrf  flag_h
clrf  flag_cond
clrf  cont_cond
clrf  cont_cond1
clrf  cont_cond2
clrf  cont_cond3
clrf  cont_soplo
clrf  cont_succ
clrf  cont_pwm
clrf  cont_int
clrf  ch_cont
clrf  L6
movlw d'100'
movwf  CCPR1L
movwf  L1
movwf  L2
movwf  L3
movlw d'150'
movwf  L4
movwf L5

=====
;PROGRAMA PRINCIPAL
=====

again

    ;el programa se realiza
    ;mediante interrupciones

    goto again

=====
;
;SUBROUTINA DE ATENCION A LAS INTERRUPCIONES
=====
interrupt
    MOVWF W_TEMP
    MOVFF STATUS, STATUS_TEMP
    MOVFF BSR, BSR_TEMP
    btfsc PIR1,TMR2IF
        goto pwm_int
    btfss INTCON,TMR0IF
        goto back_tmr0

```

```

;-----
;   ACTIVACION PARA LA CARGA DEL CONDENSADOR
;-----

```

```

    btfsc flag_cond,0
        incf cont_cond
    movf cont_cond,W
    sublw d'2'
    btfsc STATUS,Z
        call condensador
    btfsc flag_cond,3
        incf cont_cond3
    movf cont_cond3,W
    sublw d'2'
    btfsc STATUS,Z
        call condensador3
    btfsc flag_cond,1
        incf cont_cond1
    movf cont_cond1,W
    sublw d'2'
    btfsc STATUS,Z
        call condensador1
    btfsc flag_cond,2
        incf cont_cond2
    movf cont_cond2,W
    sublw d'2'
    btfsc STATUS,Z
        call condensador2

```

```

;-----
;   ¿CONTROLADOR DE LA SILLA?
;-----

```

```

    btfss PORTB,5
        goto presion
    btfss PORTB,6
        goto tactil

```

```

;-----
;   DETECCION DEL TECLADO
;-----

```

```

    btfss PORTB,0
        goto adelanteL
    btfss PORTB,1
        goto atras
    btfss PORTB,2
        goto derecha
    btfss PORTB,3
        goto izquierda

```

```

;-----
;   ADQUISICION DE LOS VALORES DEL JOSTICK Y SOPLO
;-----

```

```

        clrf      ch_cont,W
        movlw    0x00
        movwf    FSR0L,0
prox_canal
        movf     ch_cont,W
        mullw   2
        movf     PRODL,W
        call    tab_adcon
        movwf    ADCON0 ;canal a ser convertido
        bsf     ADCON0,0 ;prendo el conversor
        call    dem_40us ;demora para comenzar la conversión
        bsf     ADCON0,1 ;realizo la conversión
wait_ad
        btfsc   ADCON0,1 ;¿Se terminó la conversión?
                goto wait_ad
        movff   ADRESH,INDF0 ;guardo el valor A/D en L1 y L2
        movf    ch_cont,W
        sublw   d'1' ;adquiero dos canales
        btfsc   STATUS,Z
                goto palanca
        incf    ch_cont
        incf    FSR0L
        goto    prox_canal

```

```

;-----
;          ATENCION AL TIMER 2
;-----

```

```

pwm_int
        bsf     flag_tmr2,0
        goto    back_tmr2

```

```

;-----
;          SALIDA DEL TIMER 0
;-----

```

```

back_tmr0
        bcf     INTCON,TMR0IF
        bsf     T0CON,7
        goto    no_it

```

```

;-----
;          SALIDA DEL TIMER 2
;-----

```

```

back_tmr2
        bcf     PIR1,TMR2IF

```

```

;-----
;          SALIDA DE INTERRUPCION
;-----

```

```

no_it
    MOVFF BSR_TEMP, BSR
    MOVF W_TEMP, W
    MOVFF STATUS_TEMP, STATUS
    retfie

;*****
;
;           SUBROUTINA PALANCA
;*****

palanca
    bcf      ADCON0,0
    movlw   d'200'
    CPFSLT  L1
        goto adelante
    movlw   d'50'
    CPFSGT  L1
        goto atras
    movlw   d'200'
    CPFSLT  L2
        goto derecha
    movlw   d'50'
    CPFSGT  L2
        goto izquierda

stoptac
    call    dec_paro
    clrf   LATD
    btfsc  flag_h,0
        call dem_1s
    btfsc  flag_h,1
        call dem_1s
    bcf    flag_h,0
    bcf    flag_h,1
    movlw d'100'
    movwf CCPR1L
    clrf   cont_cond
    clrf   flag_cond
    goto  back_tmr0

;*****
;
;           SUBROUTINA SENSOR DE PRESION
;*****

presion
    bcf    T0CON,7
    ;¿HUBO SOPLO O SUCCION?
    btfsc  flag_soplo,0
        incf  cont_int
    ;¿PASO EL TIEMPO PARA SOPLO/SUCCIONAR?
    movf   cont_int,W
    sublw  d'90'

```

```

    btfsc STATUS,Z
        goto com_soplo
;ADQUIERO EL VALOR DEL SENSOR DE PRESION
    movlw    b'00001000'
    movwf    ADCON0
    bsf      ADCON0,0
    call     dem_40us
    bsf      ADCON0,1
wait_ad2
    btfsc    ADCON0,1
        goto wait_ad2
    bcf      ADCON0,0
    movff    ADRESH,L3
    movlw    d'80'
    CPFSGT   L3
        goto succion
    movlw    d'150'
    CPFSGT   L3
        goto sinsoplo
    movlw    d'200'
    CPFSLT   L3
        goto paro
;
SE REALIZO UN SOPLO
    btfss    flag_soplo,7
        goto back_tmr0
    bsf      flag_soplo,0
    incf    cont_soplo
    bcf      flag_soplo,7
    goto    back_tmr0

;*****
;
SUBROUTINA SUCCION
;*****

succion
    btfss    flag_soplo,7
        goto back_tmr0
    bsf      flag_soplo,0
    incf    cont_succ
    bcf      flag_soplo,7
    goto    back_tmr0

;*****
;
SUBROUTINA COM_SOPLO
;*****

com_soplo
    movlw    d'190'
    movwf    CCPR1L
    clrf    cont_int
    bcf      flag_soplo,0

```

```

movf      cont_soplo,W
sublw    d'1'
btfsc    STATUS,Z
        goto adelante2
movlw    d'1'
CPFSLT   cont_soplo
        goto derecha2
movf      cont_succ,W
sublw    d'1'
btfsc    STATUS,Z
        goto atras2
movlw    d'1'
CPFSGT   cont_succ    ;SALTA SI ES MAYOR
        goto paro
goto izquierda2

```

```

;*****
;
;          SURUTINA SIN SOPLO
;*****

```

sinsoplo

```

bsf      flag_soplo,7
btfsc    flag_seguir,0
        goto adelante
btfsc    flag_seguir,1
        goto atras
btfsc    flag_seguir,2
        goto derecha
btfsc    flag_seguir,3
        goto izquierda
goto     back_tmr0

```

```

;*****
;
;          SUBRUTINA PANTALLA TACTIL
;*****

```

tactil

```

bcf      T0CON,7
bcf      LATE,1
bsf      LATE,0
call     dem_100ms
call     dem_100ms
movlw    b'00010000'
movwf    ADCON0
bsf      ADCON0,0
call     dem_40us
bsf      ADCON0,1
wait_tac
btfsc    ADCON0,1
        goto wait_tac
bcf      ADCON0,0

```

```

        movff      ADRESH,L5

;TACTIL Y
        movlw     d'200'
        CPFSLT   L5
            goto   izquierda
        movlw     d'80'
        CPFSLT   L5
            goto   eje_x
        movlw     d'15'
        CPFSLT   L5
            goto   derecha

;ACTIVO Y PARA OBNTENER X
eje_x
        bcf      LATE,0
        bsf      LATE,1
        call     dem_100ms
        call     dem_100ms
        movlw    b'00001100'
        movwf    ADCON0
        bsf      ADCON0,0
        call     dem_40us
        bsf      ADCON0,1
wait_tac2
        btfsc    ADCON0,1
            goto  wait_tac2
        bcf      ADCON0,0
        movff    ADRESH,L4

;TACTIL X
        movlw     d'200'
        CPFSLT   L4
            goto   adelante
        movlw     d'80'
        CPFSLT   L4
            goto   stoptac
        movlw     d'15'
        CPFSLT   L4
            goto   atras
        goto     stoptac

;=====
;
;                SUBROUTINA ADELANTE
;=====
adelante2
        bsf      flag_seguir,0
        bcf      flag_soplo,0
        clrf    cont_soplo
        clrf    cont_succ
        clrf    cont_int

```

adelante

```

bsf    flag_cond,0
btfsc  flag_h,0
       call wait_inv
btfsc  flag_h,1
       goto inc_vel
bcf    LATD,1
bcf    LATD,2
bcf    LATD,5
bcf    LATD,6
bsf    LATD,0
bsf    LATD,3
bsf    LATD,4
bsf    LATD,7

```

;ACTIVO BANDERA ADELANTE Y DESACTIVO BANDERA ATRAS

```

bsf    flag_h,1
bcf    flag_h,0
goto   inc_vel

```

```

=====
;
;                SUBROUTINA ATRAS
;
=====

```

atras2

```

bsf    flag_seguir,1
;LIMPIO BANDERAS Y CONTADORES SOPLO/SUCCION
bcf    flag_soplo,0
clrf   cont_soplo
clrf   cont_succ
clrf   cont_int

```

atras

```

movlw   d'110'
movwf   CCPR1L
bsf     flag_cond,3
btfsc   flag_h,1
       call  wait_inv
btfsc   flag_h,0
       goto back_tmr0
bcf     LATD,0
bcf     LATD,3
bcf     LATD,4
bcf     LATD,7
bsf     LATD,1
bsf     LATD,2
bsf     LATD,5
bsf     LATD,6
bsf     flag_h,0
bcf     flag_h,1
goto    inc_vel

```

```

=====
;
;                               SUBROUTINA DERECHA
;
=====

```

derecha2

```

    bsf    flag_segur,2
    bcf    flag_soplo,0
    clrf   cont_soplo
    clrf   cont_succ
    clrf   cont_int

```

derecha

```

    movlw   d'110'
    movwf   CCPR1L
    bsf     flag_cond,1
    btfsc   flag_h,0
           call wait_inv
    btfsc   flag_h,1
           goto back_tmr0
    bcf     LATD,1
    bcf     LATD,2
    bcf     LATD,5
    bcf     LATD,6
    bcf     LATD,4
    bcf     LATD,7
    bsf     LATD,0
    bsf     LATD,3
    bsf     flag_h,1
    bcf     flag_h,0
    goto    back_tmr0

```

```

=====
;
;                               SUBROUTINA IZQUIERDA
;
=====

```

izquierda2

```

    bsf    flag_segur,3
    bcf    flag_soplo,0
    clrf   cont_soplo
    clrf   cont_succ
    clrf   cont_int

```

izquierda

```

    movlw   d'110'
    movwf   CCPR1L
    bsf     flag_cond,2
    btfsc   flag_h,0
           call wait_inv
    btfsc   flag_h,1
           goto back_tmr0
    bcf     LATD,1
    bcf     LATD,2
    bcf     LATD,5

```

```

bcf      LATD,6
bcf      LATD,0
bcf      LATD,3
bsf      LATD,4
bsf      LATD,7
bsf      flag_h,1
bcf      flag_h,0
goto    back_tmr0

```

```

=====
;
;          SUBROUTINA PARO
;
=====

```

paro

```

clrf    flag_h
clrf    flag_seguir
clrf    flag_soplo
clrf    cont_int
clrf    cont_soplo
clrf    cont_succ
call    dec_paro
bcf     LATD,5
bcf     LATD,0
bcf     LATD,1
bcf     LATD,2
bcf     LATD,3
bcf     LATD,4
bcf     LATD,6
bcf     LATD,7
movlw   d'100'
movwf   CCPR1L
call    dem_100ms
call    dem_100ms
goto    back_tmr0

```

```

=====
;
;          ADELANTE LENTO
;
=====

```

adelanteL

```

movlw   d'120'
movwf   CCPR1L
bsf     flag_cond,0
btfsc   flag_h,0
        call wait_inv
btfsc   flag_h,1
        goto back_tmr0
bcf     LATD,1

```

```

    bcf     LATD,2
    bcf     LATD,5
    bcf     LATD,6
    bsf     LATD,0
    bsf     LATD,3
    bsf     LATD,4
    bsf     LATD,7
    bsf     flag_h,1
    bcf     flag_h,0
    goto   back_tmr0

```

```

=====
;
;               SUBROUTINA INC_VEL
;
=====

```

```

inc_vel
    movf   CCPR1L,W
    sublw  d'180'
    btfsc  STATUS,Z
           goto back_tmr0
    incf   cont_pwm
    movf   cont_pwm,w
    sublw  d'4'
    btfss  STATUS,Z
           goto back_tmr0
    incf   CCPR1L
    clrf   cont_pwm
    goto   back_tmr0

```

```

=====
;
;               SUBROUTINA DEC_VEL
;
=====

```

```

dec_vel
    movf   CCPR1L,W
    sublw  d'100'
    btfsc  STATUS,Z
           goto back_tmr0
    decf   CCPR1L
    goto   back_tmr0

```

```

=====
; SUBROUTINA PARA DECREMENTAR LA VELOCIDADHASTA EL PARO
;
=====

```

```

dec_paro
    movlw   d'100'
    CPFSGT  CCPR1L
           return
    decf   CCPR1L
    call   dem_5ms

```

goto dec_paro

```

=====
;
;           SUBROUTINA INVERSION
;
=====

```

```

wait_inv
    clrf    PORTD
    call    dem_1s
    return

```

```

=====
;
;           SUBROUTINA PARA CARGAR EL CONDENSADOR
;
=====

```

```

condensador
    bcf     PORTD,0
    bcf     PORTD,3
    bcf     PORTD,4
    bcf     PORTD,7
    call    dem_40us
    ;para cargar el condensador
    bsf     PORTD,2
    bsf     PORTD,1
    bsf     PORTD,5
    bsf     PORTD,6
    call    dem_40us
    ;PONGO HACIA ADELANTE
    bcf     PORTD,1
    bcf     PORTD,2
    bcf     PORTD,5
    bcf     PORTD,6
    call    dem_40us
    bsf     PORTD,0
    bsf     PORTD,3
    bsf     PORTD,4
    bsf     PORTD,7
    clrf    flag_cond
    clrf    cont_cond
    return

```

```

condensador3
    bcf     PORTD,1
    bcf     PORTD,2
    bcf     PORTD,5
    bcf     PORTD,6
    call    dem_40us
    bsf     PORTD,0
    bsf     PORTD,3
    bsf     PORTD,4
    bsf     PORTD,7

```

```

call    dem_40us
bcf     PORTD,0
bcf     PORTD,3
bcf     PORTD,4
bcf     PORTD,7
call    dem_40us
bsf     PORTD,1
bsf     PORTD,2
bsf     PORTD,5
bsf     PORTD,6
clrf    flag_cond
clrf    cont_cond3
return

```

condensador2

```

bcf     PORTD,0
bcf     PORTD,3
bcf     PORTD,4
bcf     PORTD,7
call    dem_40us
;para cargar el condensador
bsf     PORTD,2
bsf     PORTD,1
bsf     PORTD,6
bsf     PORTD,5
call    dem_40us
bcf     PORTD,1
bcf     PORTD,2
bcf     PORTD,5
bcf     PORTD,6
call    dem_40us
bsf     PORTD,4
bsf     PORTD,7
clrf    flag_cond
clrf    cont_cond2
return

```

condensador1

```

bcf     PORTD,0
bcf     PORTD,3
bcf     PORTD,4
bcf     PORTD,7
call    dem_40us
;para cargar el condensador
bsf     PORTD,2
bsf     PORTD,1
bsf     PORTD,6
bsf     PORTD,5
call    dem_40us
bcf     PORTD,1

```

```

bcf      PORTD,2
bcf      PORTD,5
bcf      PORTD,6
call     dem_40us
bsf      PORTD,0
bsf      PORTD,3
clrf     flag_cond
clrf     cont_cond1
return

```

```

=====
;
;          subrutinas de demora (otorgadas por L. Pérez)
;
=====

```

;DEMORA DE 5.32 ms

```

dem_5ms  movlw d'60'
          movwf M1          ;parametro a cargar en contadores
          movlw d'5'
          movwf M2          ;parametro a cargar en contadores
          call demora       ;demora de 47us
          return

```

```

-----
;
;          DEMORA DE 1s aprox
;
-----

```

```

dem_1s   movlw d'102'-
          movwf M1          ;parametro a cargar en contadores
          movlw d'128'
          movwf M2          ;parametro a cargar en contadores
          call demora       ;demora de 1 seg
          return

```

```

-----
;
;          DEMORA DE 1.64MS (1640 US)
;
-----

```

```

dem_1640us movlw d'46'
            movwf M1          ;parametro a cargar en contadores
            movlw d'1'
            movwf M2          ;parametro a cargar en contadores
            call demora       ;demora de 47us
            return

```

```

-----
;
;          DEMORA DE 100ms
;
-----

```

```

dem_100ms movlw d'100'
            movwf M1          ;parametro a cargar en contadores
            movlw d'15'
            movwf M2          ;parametro a cargar en contadores
            call demora       ;demora de 47us
            return

```

```

;-----
;
;               DEMORA DE 50ms
;-----

dem_50ms    movlw d'67'
            movwf M1           ; parámetro a cargar en contadores
            movlw d'14'
            movwf M2           ; parámetro a cargar en contadores
            call demora        ;demora de 47us
            return

;-----
;
;               DEMORA DE 47US
;-----

dem_40us    movlw d'8'
            movwf M1           ;parámetro a cargar en contadores
            movlw d'1'
            movwf M2           ;parametro a cargar en contadores
            call demora        ;demora de 47us
            return

;-----
;
;               Subrutina de DEMORA para métrica general
;-----

demora      movf M1,w
            movwf cont1
            movwf cont2
            movf M2,w
            movwf cont3

loop        decfsz cont1
            goto loop
            movf M1,w
            movwf cont1
            decfsz cont2
            goto loop
            movf M1,w
            movwf cont2
            decfsz cont3
            goto loop
            ;fin del proceso, retorna al programa principal
            return

end

```

ANEXO 2

INTEGRATED SILICON PRESSURE SENSOR DATASHEET

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPXV7025 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 5.0% Maximum Error Over 0° to 85°C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Temperature Compensated Over -40° to +125°C
- Thermoplastic (PPS) Surface Mount Package
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Available in Differential and Gauge Configurations

MPXV7025 Series

-25 to 25 kPa (-3.6 to 3.6 psi)
0.2 to 4.7 V Output

Application Examples

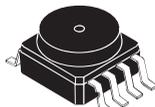
- Respiratory Systems
- Process Control
- Patient Monitoring
- Remote Monitoring Devices

ORDERING INFORMATION									
Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Small Outline Package (MPXV7025 Series)									
MPXV7025GC6U	Rails	482A		•		•			MPXV7025G
MPXV7025GC6T1	Tape & Reel	482A		•		•			MPXV7025G
MPXV7025GP	Trays	1369		•		•			MPXV7025GP
MPXV7025DP	Trays	1351			•		•		MPXV7025DP
Small Outline Package (Media Resistant Gel) (MPVZ7025 Series)									
MPVZ7025GC6T1	Tape & Reel	482A		•		•			MPVZ7025G
MPVZ7025GC6U	Rails	482A		•		•			MPVZ7025G
MPVZ7025GP	Trays	1369		•		•			MPVZ7025GP
MPVZ7025G6T1	Tape & Reel	482	•				•		MPVZ7025G
MPVZ7025G6U	Rails	482	•				•		MPVZ7025G
MPVZ7025DP	Trays	1351			•		•		MPVZ7025DP

SMALL OUTLINE PACKAGE



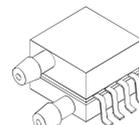
MPXV7025GC6U/T1
MPVZ7025GC6U/T1
CASE 482A-01



MPVZ7025G6U/T1
CASE 482-01



MPXV7025GP
MPVZ7025GP
CASE 1369-01



MPXV7025DP
MPVZ7025DP
CASE 1351-01

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$. Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet electrical specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	-25	—	25	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	I_o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{off}	0.116	0.25	0.384	Vdc
Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSO}	4.610	4.75	4.890	Vdc
Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSS}	—	4.5	—	Vdc
Accuracy	—	—	—	± 5.0	$\%V_{FSS}$
Sensitivity	V/P	—	90	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁶⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{o+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁷⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁸⁾	—	—	± 0.5	—	$\%V_{FSS}$

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.
- Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Maximum Ratings

Table 2. Maximum Ratings⁽¹⁾

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	P_{max}	200	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	-40 to +125	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.

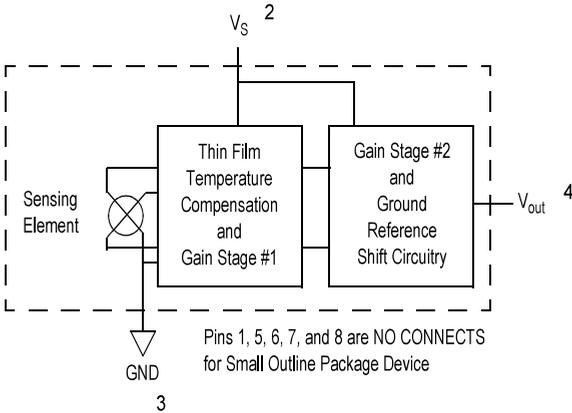


Figure 1. Integrated Pressure Sensor Schematic

On-chip Temperature Compensation and Calibration

The MPXV7025 series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Figure 2 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output

curves are shown for operation over a temperature range of 0° to 85°C using the decoupling circuit shown in Figure 3. The output will saturate outside of the specified pressure range.

Figure 3 shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

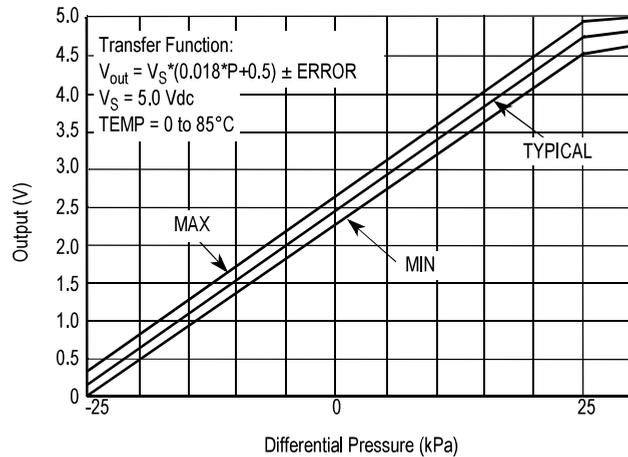


Figure 2. Output versus Pressure Differential

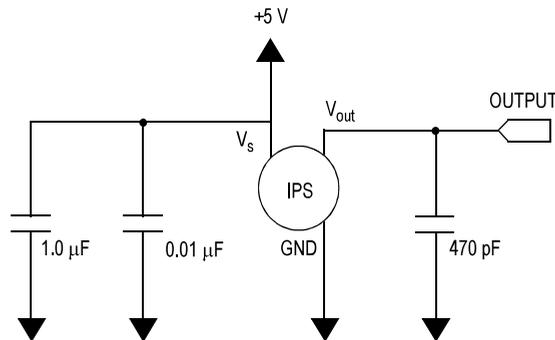


Figure 3. Recommended Power Supply Decoupling and Output Filtering

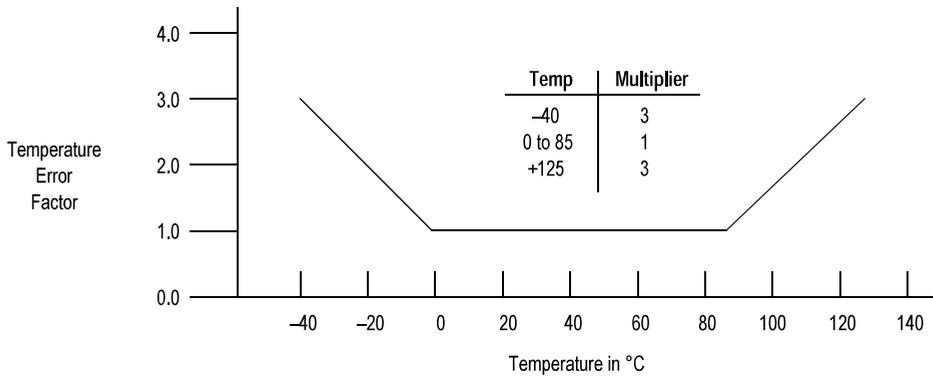
(For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.)

Transfer Function

Nominal Transfer Value: $V_{out} = V_S (P \times 0.018 + 0.5)$
 $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.018 \times V_S)$
 $V_S = 5.0 \text{ V} \pm 0.25 \text{ Vdc}$

Temperature Error Band

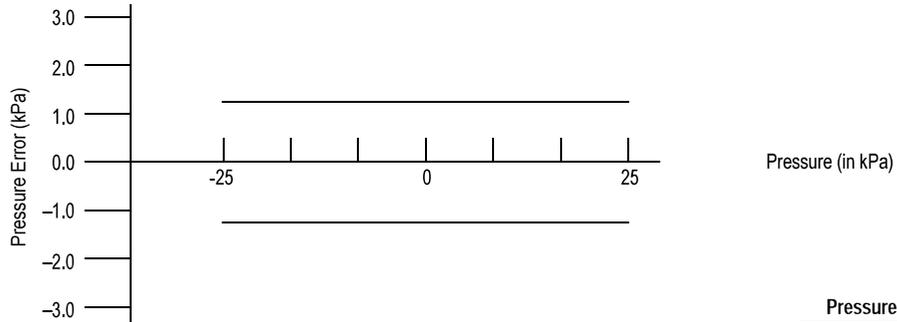
MPXV7025 SERIES



NOTE: The Temperature Multiplier is a linear response from 0° to -40°C and from 85° to 125°C.

Pressure Error Band

Error Limits for Pressure



Pressure	Error (Max)
-25 to 25 (kPa)	±1.25 (kPa)

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Freescale designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing fluorosilicone gel which protects the die from harsh media. The pressure

sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P1 > P2$.

The Pressure (P1) side may be identified by using the following table:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPXV7025GC6U/C6T1, MPVZ7025GC6U/T1	482A	Side with Port Attached
MPXV7025GP, MPVZ7025GP	1369	Side with Port Attached
MPXV7025DP, MPVZ7025DP	1351	Side with Part Marking
MPVZ7025G6U/T1	482	Side with Part Marking

MINIMUM RECOMMENDED FOOTPRINT FOR SURFACE MOUNTED APPLICATIONS

Surface mount board layout is a critical portion of the total design. The footprint for the surface mount packages must be the correct size to ensure proper solder connection interface between the board and the package. With the correct

footprint, the packages will self align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.

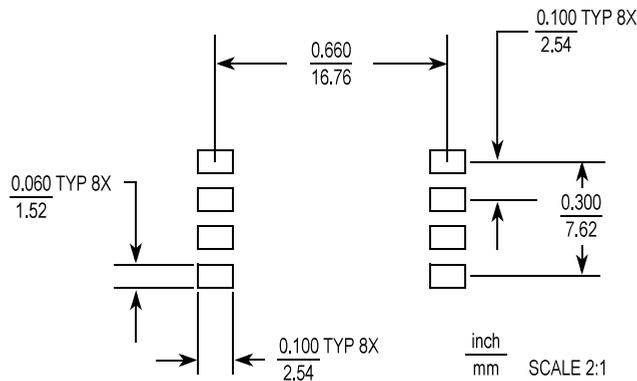
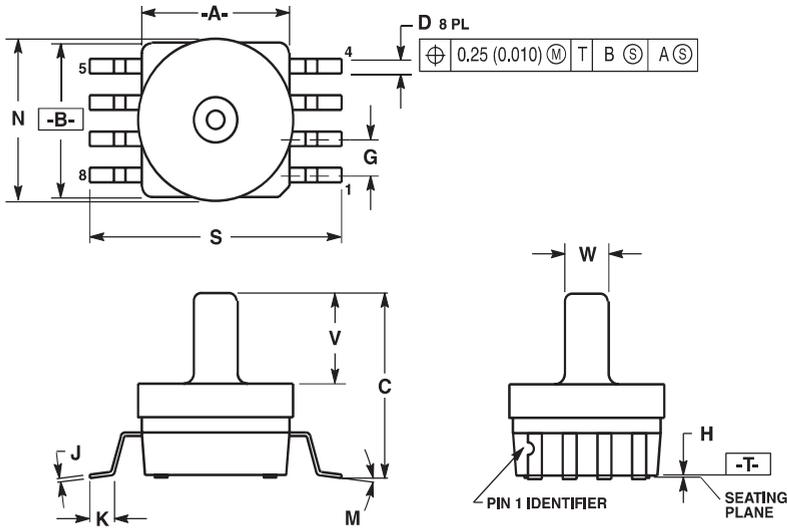


Figure 4. Small Outline Package Footprint

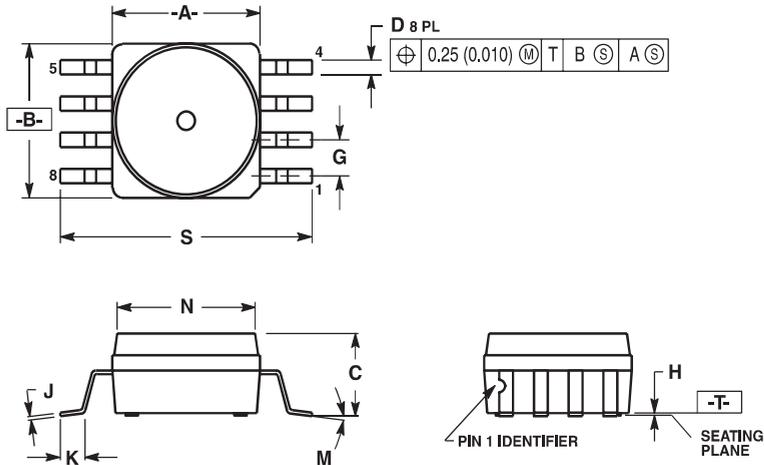
PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
 5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.500	0.520	12.70	13.21
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0"	7"	0"	7"
N	0.444	0.448	11.28	11.38
S	0.709	0.725	18.01	18.41
V	0.245	0.255	6.22	6.48
W	0.115	0.125	2.92	3.17

**CASE 482A-01
 ISSUE A
 SMALL OUTLINE PACKAGE**

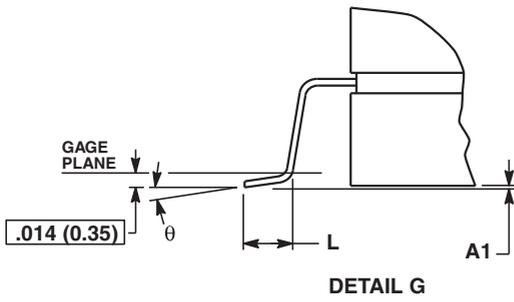
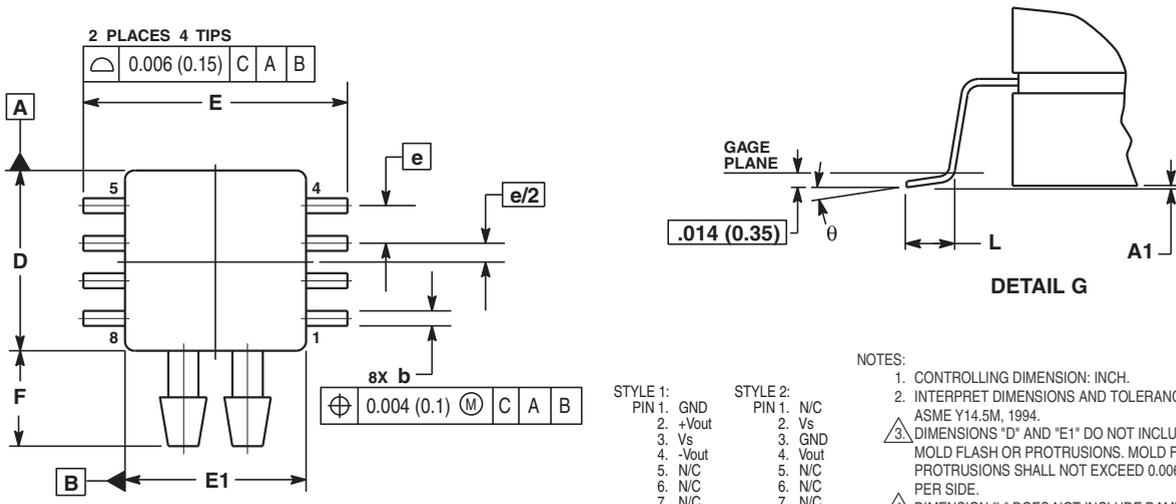


- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
 5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

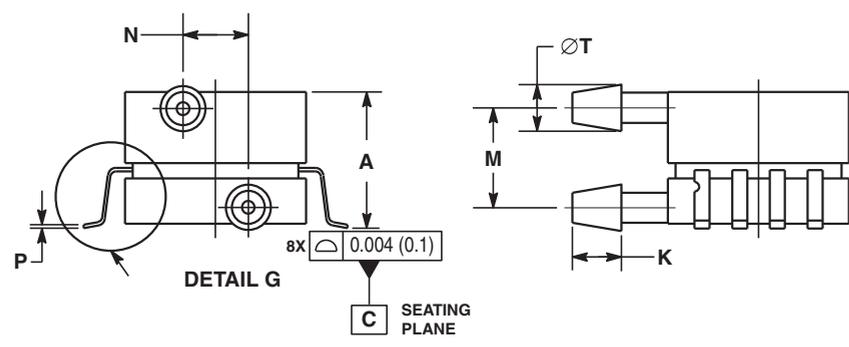
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.212	0.230	5.38	5.84
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0"	7"	0"	7"
N	0.405	0.415	10.29	10.54
S	0.709	0.725	18.01	18.41

**CASE 482-01
 ISSUE O
 SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



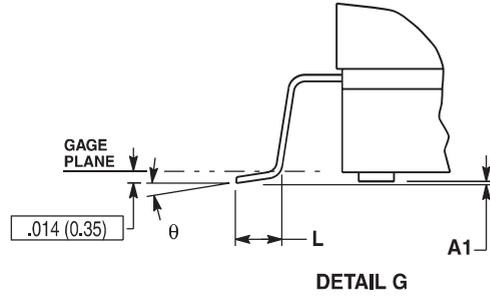
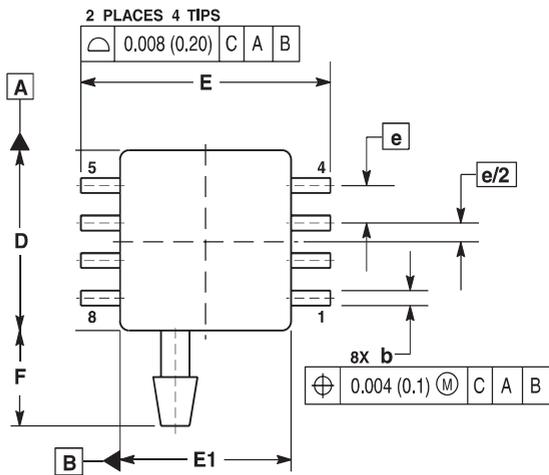
- NOTES:
1. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M, 1994.
 3. DIMENSIONS "D" AND "E1" DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.006 (0.152) PER SIDE.
 4. DIMENSION "b" DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.008 (0.203) MAXIMUM.



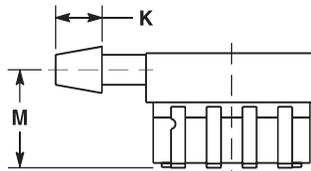
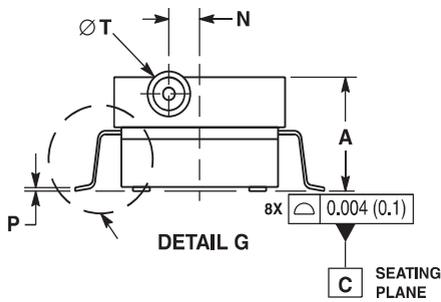
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.370	0.390	9.39	9.91
A1	0.002	0.010	0.05	0.25
b	0.038	0.042	0.96	1.07
D	0.465	0.485	11.81	12.32
E	0.680	0.700	17.27	17.78
E1	0.465	0.485	11.81	12.32
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
F	0.240	0.260	6.10	6.60
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.040	0.060	1.02	1.52
M	0.270	0.290	6.86	7.37
N	0.160	0.180	4.06	4.57
P	0.009	0.011	0.23	0.28
T	0.110	0.130	2.79	3.30
θ	0°	7°	0°	7°

CASE 1351-01 ISSUE O SMALL OUTLINE PACKAGE

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M, 1994.
 3. DIMENSIONS "D" AND "E1" DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.006 (0.152) PER SIDE.
 4. DIMENSION "b" DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.008 (0.203) MAXIMUM.



DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.300	0.330	7.11	7.62
A1	0.002	0.010	0.05	0.25
b	0.038	0.042	0.96	1.07
D	0.465	0.485	11.81	12.32
E	0.717 BSC		18.21 BSC	
E1	0.465	0.485	11.81	12.32
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
F	0.245	0.255	6.22	6.47
K	0.120	0.130	3.05	3.30
L	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0.270	0.290	6.86	7.36
N	0.080	0.090	2.03	2.28
P	0.009	0.011	0.23	0.28
T	0.115	0.125	2.92	3.17
θ	0°	7°	0°	7°

CASE 1369-01 ISSUE O SMALL OUTLINE PACKAGE

How to Reach Us:

Home Page:
www.freescale.com

Web Support:
<http://www.freescale.com/support>

USA/Europe or Locations Not Listed:
Freescale Semiconductor, Inc.
Technical Information Center, EL516
2100 East Elliot Road
Tempe, Arizona 85284
1-800-521-6274 or +1-480-768-2130
www.freescale.com/support

Europe, Middle East, and Africa:
Freescale Halbleiter Deutschland GmbH
Technical Information Center
Schatzbogen 7
81829 Muenchen, Germany
+44 1296 380 456 (English)
+46 8 52200080 (English)
+49 89 92103 559 (German)
+33 1 69 35 48 48 (French)
www.freescale.com/support

Japan:
Freescale Semiconductor Japan Ltd.
Headquarters
ARCO Tower 15F
1-8-1, Shimo-Meguro, Meguro-ku,
Tokyo 153-0064
Japan
0120 191014 or +81 3 5437 9125
support.japan@freescale.com

Asia/Pacific:
Freescale Semiconductor China Ltd.
Exchange Building 23F
No. 118 Jianguo Road
Chaoyang District
Beijing 100022
China
+86 010 5879 8000
support.asia@freescale.com

For Literature Requests Only:
Freescale Semiconductor Literature Distribution Center
P.O. Box 5405
Denver, Colorado 80217
1-800-441-2447 or +1-303-675-2140
Fax: +1-303-675-2150
LDCForFreescaleSemiconductor@hibbertgroup.com

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale Semiconductor products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits or integrated circuits based on the information in this document.

Freescale Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in Freescale Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals", must be validated for each customer application by customer's technical experts. Freescale Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescale Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Freescale Semiconductor product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Freescale Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Freescale Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Freescale Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part.

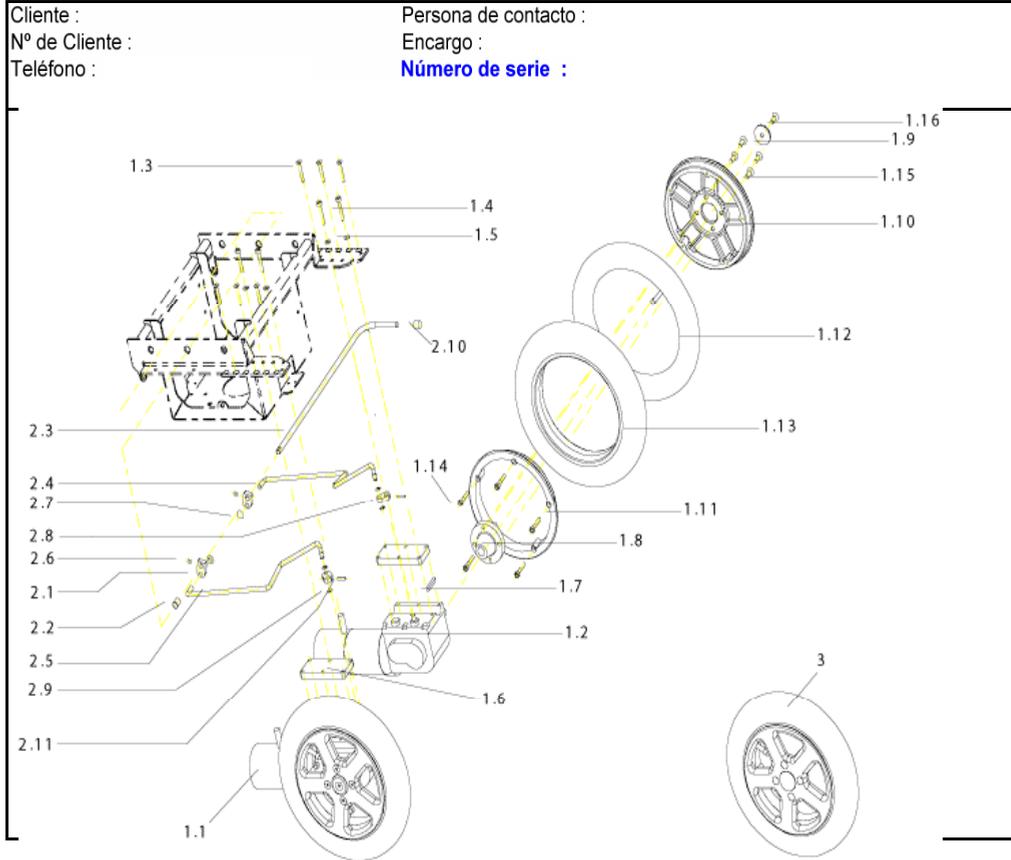
Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.

© Freescale Semiconductor, Inc. 2009. All rights reserved.



ANEXO 3

MOTOR INVACARE DATASHEET

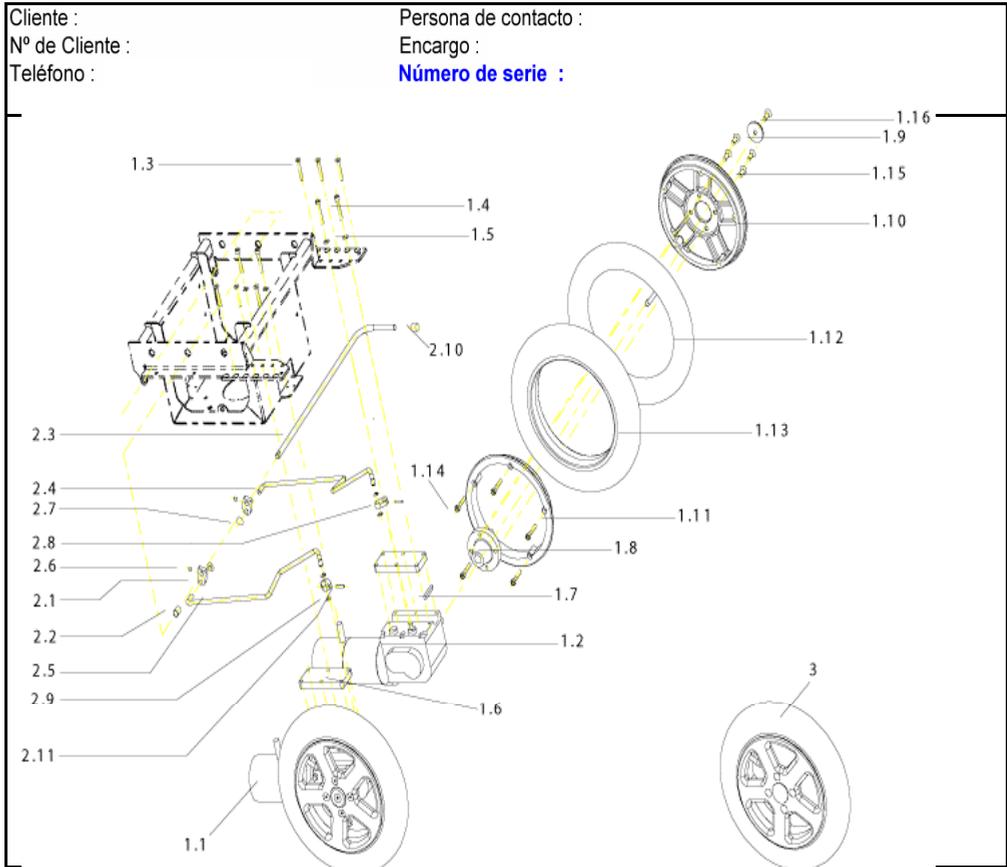


Núm	Cantid	Referencia	Descripción
1	1	N353003	CONJUNTO COMPLETO DE MOTOR
1.1	1	P00050	MOTOR DERECHO
1.2	1	P00049	TORNILLO HEXAGONAL
-	-		¡En FWD usar para el lado izquierdo el ACCIONAMIENTO DR... y para el lado derecho el ACCIONAMIENTO IZQDA (P00049)!
1.3	6	D60096	TORNILLO DE CABEZA CÓNICA CON INTERIOR HEXAGONAL M6 X 4...
1.4	4	D50120	TORNILLO CON INTERIOR HEXAGONAL M6 X 40; GALVANIZADO
1.5	4	G00110	ARANDELA 6,4 X 12,5 X 1,6
1.6	2	N351002	PLACA DE SEPARACIÓN MOTOR, PLANA 116 X 50 X 12
1.7	1	N23004	LLAVE A 6 X 6 X 40
1.8	2	N322007	BUJE RUEDA
1.9	2	Z122014	ARANDELA 39
1.10	2	Z121007.P92	LLANTA PARTE EXTERIOR 1,5 J X 8" ; CROMADA
1.10	2	Z121007.P40	LLANTA 1,5 J X 8" (CUERPO DE LLANTA EXTERIOR); NEGRO
1.11	2	Z121008.P92	LLANTA PARTE INTERIOR 1,5 J X 8" CROMADA
1.11	2	Z121008.P40	LLANTA 1,5 J X 8" (CUERPO DE LLANTA INTERIOR); NEGRO
1.12	2	M12004	CÁMARA 12 1/2 X 2 1/4 M. 87 TR, NEGRO
1.13	2	M11005	CUBIERTA 12 1/2 X 2 1/4; GRIS
1.14	10	D50117	TORNILLO CON INTERIOR HEXAGONAL M6 X 35; GALVANIZADO
1.15	8	D60183	TORNILLO DE CABEZA CÓNICA CON INTERIOR HEXAGONAL M8 X 2...
1.16	2	D60200	TORNILLO M8 X 30-8.8 PB
-	2	P09299	CARBONO MOTOR STORM
2	1	N352001	CONJUNTO MECANISMO DE DESEMBRAGUE PARA RUEDAS DELANTERA...
2.1	2	N352003.89	CHAPA DE TUBO DESEMBRAGUE MOTOR 10 M DERECHA
2.2	1	0461950	RESORTE PARA ENGANCHE CON RETORNO

Twister / Twister Junior



Edición
01 / 2005



Núm	Cantid	Referencia	Descripción
2.3	1	N352006.89	PALANCA REDONDA 10 MM
2.4	1	N352009.89	TUBO DE EMBRAGUE REDONDO 8 MM IZQUIERDA
2.5	1	N352008.89	TUBO DE EMBRAGUE REDONDO 8 MM DERECHA
2.6	4	D70188	TORNILLO M6 X 8
2.7	2	K32397	EMBELLECEDOR STARLOCK 8 MM
2.8	2	N352007.89	CHAPA DE PALANCA DE DESEMBRAGUE DEL MOTOR 8MM IZQUIERDA
2.9	4	G90091	ARANDELA PARA DIÁMETRO DE ARBOL DE 7 A 9 MM
2.10	1	L01032	TAPÓN PARA TUBO DE 10MM
2.11	2	J30006	PASADOR DE AJUSTE 4 X 16
3	2	1417965	RUEDA 12-1/2" X 2-1/4" NEGRO / GRIS CPL.

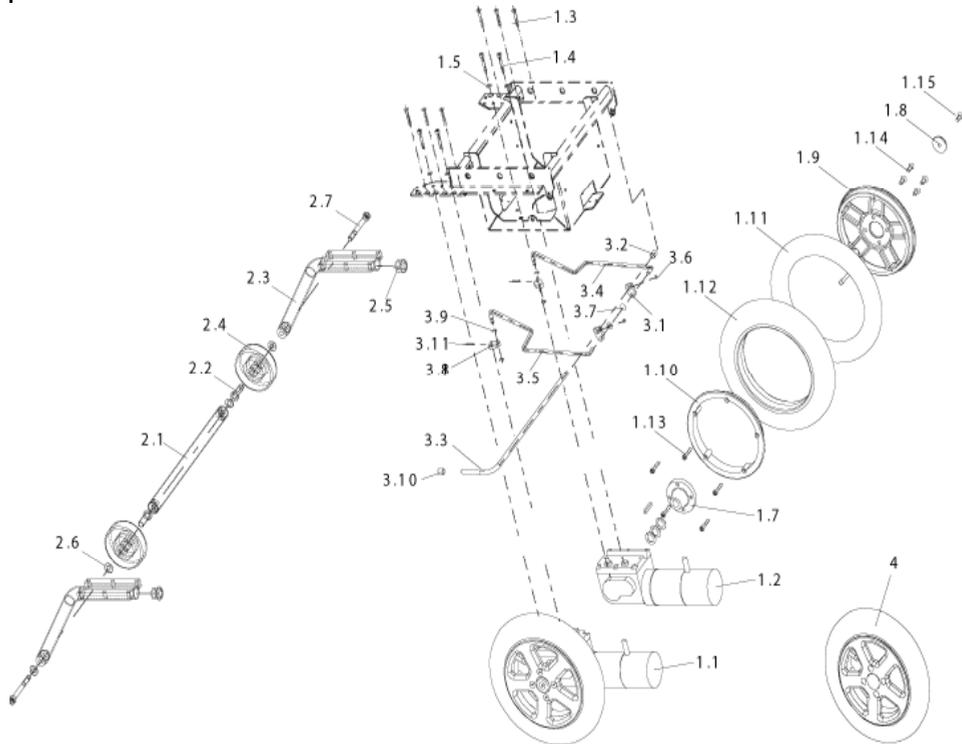
Twister / Twister Junior



Edición

Cliente :
 Nº de Cliente :
 Teléfono :

Persona de contacto :
 Encargo :
 Número de serie :



Núm	Cantid	Referencia	Descripción
1	1	N353004	CONJUNTO MOTOR RUEDAS DIRECTRICES
1.1	1	P00050	MOTOR DERECHO
1.2	1	P00049	TORNILLO HEXAGONAL
1.3	6	D60096	TORNILLO DE CABEZA CÓNICA CON INTERIOR HEXAGONAL M6 X 4...
1.4	4	D50120	TORNILLO CON INTERIOR HEXAGONAL M6 X 40; GALVANIZADO
1.5	4	G00110	ARANDELA 6,4 X 12,5 X 1,6
1.6	1	N23004	LLAVE A 6 X 6 X 40
1.7	2	N322007	BUJE RUEDA
1.8	2	Z122014	ARANDELA 39
1.9	2	Z121007.P92	LLANTA PARTE EXTERIOR 1,5 J X 8" ; CROMADA
1.9	2	Z121007.P40	LLANTA 1,5 J X 8" (CUERPO DE LLANTA EXTERIOR); NEGRO
1.10	2	Z121008.P92	LLANTA PARTE INTERIOR 1,5 J X 8" CROMADA
1.10	2	Z121008.P40	LLANTA 1,5 J X 8" (CUERPO DE LLANTA INTERIOR); NEGRO
1.11	2	M12004	CÁMARA 12 1/2 X 2 1/4 M. 87 TR, NEGRO
1.12	2	M11005	CUBIERTA 12 1/2 X 2 1/4; GRIS
1.13	10	D50117	TORNILLO CON INTERIOR HEXAGONAL M6 X 35; GALVANIZADO
1.14	8	D60183	TORNILLO DE CABEZA CÓNICA CON INTERIOR HEXAGONAL M8 X 2...
1.15	2	D60200	TORNILLO M8 X 30-8.8 PB
-	2	P09299	CARBONO MOTOR STORM
2	1	N395002	CONJUNTO ANTI VUELCOS
2.1	1	N310004.P14	TUBO TRANSVERSAL PARA RUEDAS ANTIVUELCO
2.2	2	F322062.89	CILINDRO.RD 10 X 0,95 X 31,5
2.3	2	N310009.P14	TUBO DE SOPORTE PARA RUEDAS ANTI VUELCO
2.4	2	M14906	RUEDA ANTIVUELCO VG80/24-GL10-SS
2.5	2	L01008	TAPÓN PALETA SL 22

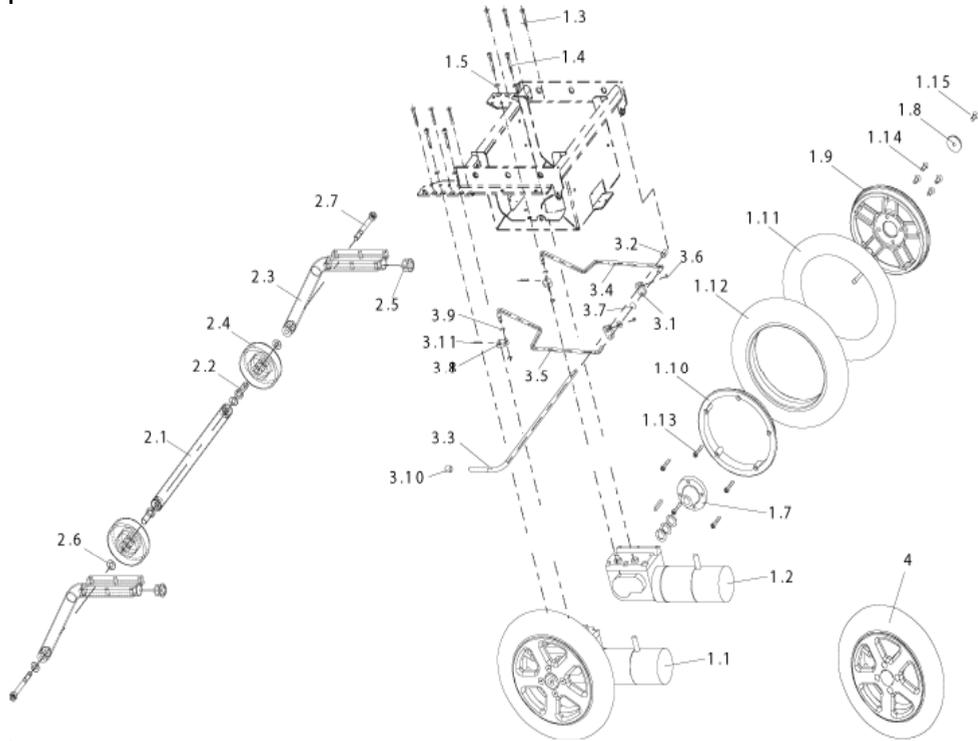
Twister / Twister Junior



Edición
 01 / 2005

Cliente :
 Nº de Cliente :
 Teléfono :

Persona de contacto :
 Encargo :
 Número de serie :



Núm	Cantid	Referencia	Descripción
2.6	4	G00107	ARANDELA 8,4 X 17 X 1,6
2.7	2	D50106	TORNILLO CON INTERIOR HEXAGONAL M8 X 70
3	1	N352002	MECANISMO DE DESEMBRAGUE (RWD) COMPLETO.
3.1	2	N352003.89	CHAPA DE TUBO DESEMBRAGUE MOTOR 10 M DERECHA
3.2	1	0461950	RESORTE PARA ENGANCHE CON RETORNC
3.3	1	N352006.89	PALANCA REDONDA 10 MM
3.4	1	N352005.89	BARRA DE ACOPLAMIENTO IZQUIERDA
3.5	1	N352004.89	BARRA DE ACOPLAMIENTO DERECHA
3.6	4	D70188	TORNILLO M6 X 8
3.7	2	K32397	EMBELLECEDOR STARLOCK 8 MM
3.8	2	N352007.89	CHAPA DE PALANCA DE DESEMBRAGUE DEL MOTOR 8MM IZQUIERDA
3.9	4	G90091	ARANDELA PARA DIÁMETRO DE ARBOL DE 7 A 9 MM
3.10	1	L01032	TAPÓN PARA TUBO DE 10MM
3.11	2	J30006	PASADOR DE AJUSTE 4 X 16
4	2	1417965	RUEDA 12-1/2" X 2-1/4" NEGRO / GRIS CPL.

Twister / Twister Junior



Edición
 01 / 2005