

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACION TECNOLÓGICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MÓVIL GUIADO POR
SENSORES INFRARROJOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
MENCIÓN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**JUAN CARLOS ALTAMIRANO RIVADENEIRA
ROBERTO GERMÁN ORTIZ GARCÍA**

DIRECTOR: ING MBA. PABLO LÓPEZ

Quito, Octubre 2006.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	III
CERTIFICACIÓN	IV
AGRADECIMEINTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
PRESENTACIÓN.....	VIII
CAPÍTULO I: MARCOTEÓRICO	1
1.1. MOTORES DE PASO (PaP).....	1
1.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES PaP.	3
1.1.2. SECUENCIAS PARA MANEJAR MOTORES PASO A PASO UNIPOLARES.....	6
1.1.3. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LOS MOTORES PaP.	9
1.2. EL PIC16F84.	10
1.2.1. ASPECTO EXTERNO DEL PIC 16F84.	11
1.2.2. LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO, EL RELOJ.	12
1.2.3. REINICIALIZACIÓN O RESET.....	12
1.2.4. ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC16F84.	13
1.2.5. EL REGISTRO DE ESTADO.....	19
1.2.6. TEMPORIZADOR/CONTADOR TMR0.	21
1.2.7. EL PERRO GUARDIÁN.	23
1.2.8. LAS PUERTAS DE E/S.....	24
1.2.9. INTERRUPCIONES.....	26
1.2.10. INTERRUPCIÓN POR CAMBIO DE ESTADO EN LAS LÍNEAS RB7, RB4 DE LA PUERTA B.	30
1.2.11. REINICIALIZACIÓN O RESET.....	30
1.3. EMISORES Y DETECTORES DE INFRARROJO.....	30
1.3.1. EL LED.	30
1.3.2. EL FOTOTRANSISTOR.	37
1.3.3. EL OPTOACOPLADOR (LED - FOTOTRASNSISTOR).....	38
1.3.4. EL SENSOR ÓPTICO REFLEXIVO CON SALIDA A TRANSISTOR CNY 70.	39
CAPÍTULO II: DESARROLLO DEL CIRCUITO Y PROGRAMA DE CONTROL.	41
2.1. CIRCUITO DE CONTROL PARA MOTORES PaP.	41
2.1.1. EL DRIVER SAA1042.	41
2.2. CONFIGURACIÓN DE LOS PUERTOS DEL PIC 16F84.....	45
2.3. SENSORES ÓPTICOS CNY70 Y DISPARADORES.	47
2.4. CIRCUITO DE BATERÍA AGOTADA.....	51
2.5. PROGRAMA DE CONTROL.....	53
2.5.1. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	54
2.5.2. EL SOFTWARE DE CONTROL.	54
2.5.3. MUESTRA DEL PROGRAMA DE CONTROL GRAFICAMENTE. .	58

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO Y ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO MÓVIL.....	59
3.1. DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO.....	59
3.2. CONTRUCCIÓN DEL ROBOT MÓVIL.....	60
3.2.1. TREN DE ENGRANAJES Y SISTEMA DE ARRASTRE DEL ROBOT MÓVIL.....	60
3.2.2. SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL ROBOT MÓVIL.....	62
3.2.3. SISTEMA SENSORIAL DEL ROBOT MÓVIL.....	63
3.2.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL ROBOT MOVIL.....	64
3.2.5. PISTA DE PRUEBA.....	65
3.2.6. CONCLUSIONES.....	67
3.2.7. RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	70
ANEXOS No 1.....	71
HOJAS DE DATOS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.....	71
ANEXOS No 2.....	91
DIAGRAMA CIRCUITAL DEL ROBOT MÓVIL GUIADO CON SENSORES INFRARROJOS.....	91
ANEXO No 3.....	93
SOFTWARE DE CONTROL DEL ROBOT MÓVIL.....	93
ANEXO No 4.....	99
DIAGRAMAS DEL CIRCUITO IMPRESO DEL ROBOT MÓVIL.....	99
ANEXO N° 5.....	102
EL ROBOT MÓVIL.....	102

DECLARACIÓN

Nosotros, Altamirano Rivadeneira Juan Carlos, Ortiz García Roberto Germán declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**Juan Carlos Altamirano
Rivadeneira**

Roberto Germán Ortiz García

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Carlos Altamirano Rivadeneira y Roberto Germán Ortiz García, bajo mi supervisión.

Ing Mba. Pablo López

AGRADECIMIENTO

El principal gesto de agradecimiento equitativo, es para Dios y mis padres, cuyos ejemplos diarios son una fuente de inspiración para ser mejor persona. Su apoyo, comprensión, paciencia, cariño y esfuerzo personal han sido imprescindibles para que hoy yo pueda decir que he alcanzado una de las tantas metas de mi vida.

Roberto Ortiz.

Un agradecimiento para toda mi familia pero muy especialmente a mis padres Luis y Marcía, cuya guía e inspiración sirvieron para poder culminar el presente Proyecto. No puedo dejar de mencionar a mi tía Gloria Rivadeneira que con su ayuda desinteresada fue un apoyo importante para culminar unas de las metas propuestas, a todos ellos muchas gracias.

Juan Carlos Altamirano Rivadeneira.

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado al esfuerzo, dedicación, comprensión y cariño que veo en mis padres y las personas que me rodean, porque en ellos he visto el afán de superación que me contagia a seguir luchando por mis ideales, a todos aquellos, gracias.

Roberto Ortiz.

El presente Proyecto está dedicado a una persona muy especial, mi Abuelito Eduardo Rivadeneira que yo sé que le hubiera gustado estar presente en la culminación de este proyecto y para todas aquellas personas que de una u otra forma creyeron en mi.

Juan Carlos Altamirano Rivadeneira.

RESUMEN

El presente proyecto plantea el desarrollo de un prototipo móvil guiado por sensores ópticos de infrarrojo, en este caso los CNY70, que son controlados por el PIC 16F84, cuyo objetivo en conjunto, es la de rastrear un camino negro sobre un fondo blanco, para lograr lo anteriormente mencionado, hemos estructurado los capítulos como detallamos a continuación:

- En el Capítulo I, encontramos toda una referencia teórica, en cuanto tiene que ver al estudio de los motores de pasos, principalmente las secuencias de funcionamiento en paso completo, medio paso, sentido de giro, etc. Además en éste mismo capítulo nos involucramos en el estudio del PIC 16F84 que constituye el cerebro principal del robot móvil y por último hemos estudiado al sensor de infrarrojo CNY 70, para ser aplicado en el desarrollo de éste proyecto.
- En el Capítulo II, encontramos en primera instancia una explicación detallada del circuito electrónico que constituye el hardware de nuestro prototipo móvil, que esta acorde a la segunda fase que contiene éste capítulo, que es el programa de control que hemos elaborado y por lo tanto constituye el software del móvil, éste software es capaz de gobernar a los motores de pasos (giro y arranque), de acuerdo a la información dada por los sensores ópticos de infrarrojo CNY70, permitiéndole seguir el camino negro sobre al fondo blanco al móvil de forma autónoma.
- El Capítulo III, describe la elaboración del circuito impreso y además también se refiere a los aspectos constructivos he instalaciones de los diferentes sistemas del robot móvil, como son el sistema de arrastre, el sistema de dirección y el sistema sensorial y adicional incluimos el diseño de la pista de prueba que deberá recorrer el robot móvil.

PRESENTACIÓN

El proyecto que hemos desarrollado en el argot de la robótica es un microrobot rastreador, en la actualidad existe una gran proliferación del empleo de los microrobots o vehículos con autonomía propia tanto en la industria como en la investigación. Los primeros (industria) tienen un gran impacto en la industria y son por tanto económicamente rentables. Los segundos (investigación) no generan beneficios, pero generan conocimiento y hacen que la microrobótica evolucione.

Al ser capaces de realizar tareas repetitivas de forma más rápida, barata y precisa que el ser humano, la utilización de microrobots se ha vuelto esencial en la vida de muchas personas y empresas.

Dentro de la microrobótica merecen especial consideración los microrobots móviles autónomos en los que la información aportada por su propio sistema sensorial les permite realizar la toma de decisiones a la hora de llevar a cabo una actividad, con la principal virtud de no necesitar ser supervisados por humanos.

Este tipo de microrobots es utilizado en aplicaciones tales como el entretenimiento y la educación, inspección y mantenimiento, investigación y desarrollo, etc.

Es importante resaltar que con el estudio de la microrobótica móvil, se consigue por añadidura el aprendizaje y la asimilación de conceptos de las distintas partes que la conforman como pueden ser la mecánica, electrónica, instrumentación, automatización, programación, etc.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. MOTORES DE PASO (PaP)

Los motores paso a paso (PaP) pueden verse como motores eléctricos sin sistema de conmutación. Típicamente, todas las bobinas del motor están en el estator y el rotor, o un imán permanente o, en el caso de motores de reluctancia variables, un bloque de algún material magnéticamente blando. Toda la conmutación debe ser manejada externamente por el controlador del motor y, habitualmente, los motores y controladores están diseñados para que el motor pueda ser mantenido en una posición o rotar en uno u otro sentido. La mayoría de estos motores pueden ser manejados a frecuencias de audio permitiendo un giro rápido y, con un controlador apropiado, pueden ser arrancados y parados en posiciones controladas.

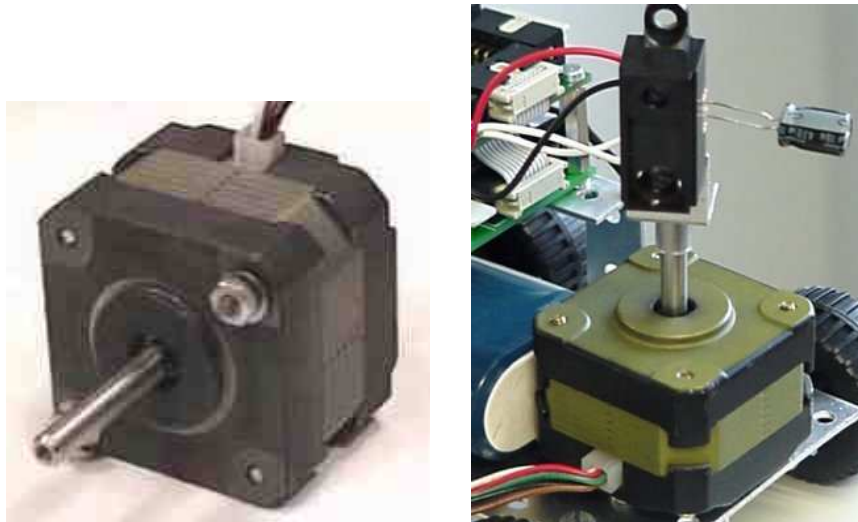


FIGURA 1.1 (Motores de PaP)

Para algunas aplicaciones existe una posibilidad de elección entre el uso de servomotores y de motores PaP. Ambos tipos ofrecen prestaciones similares para posicionamientos precisos, pero difieren en algunos aspectos. Los servomotores requieren sistemas de realimentación analógica. Típicamente, esto involucra un potenciómetro para proporcionar realimentación acerca de la posición del rotor, y alguna circuitería para dirigir corriente a través del motor de forma inversamente proporcional a la diferencia entre la posición actual y la deseada. La elección entre uno u otro tipo de motor dependen fundamentalmente de la aplicación. Por ejemplo, la repetibilidad del posicionado con un motor PaP depende de la geometría del rotor, mientras que en el servomotor generalmente depende de la estabilidad del potenciómetro y de otros componentes del circuito de realimentación.

Los motores PaP pueden ser usados en sistemas simples de control en lazo abierto. Estos son adecuados generalmente en sistemas que operan a bajas aceleraciones con cargas estáticas; el lazo cerrado puede ser esencial para aceleraciones elevadas, particularmente si involucran cargas variables. Si se sobrecarga un motor PaP en un sistema de control de lazo abierto todo el conocimiento acerca de la posición del rotor se pierde y el sistema debe ser reiniciado. Los servomotores no presentan este problema.

Los motores PaP son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° (e incluso hasta de 0.72°), es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° (resolución de un motor PaP).

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición, o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están alimentadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y, por el contrario, quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

1.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES PaP

Los motores PaP se presentan en dos variedades, de **imán permanente** y de **reluctancia variable** (existen también motores **híbridos**, que son indistinguibles de los de imán permanente desde el punto de vista del controlador).

Si el estator del motor tiene tres bobinas, conectadas típicamente como en la figura 1.2, con un terminal común, C, a todas las bobinas, será probablemente un **motor PaP de reluctancia variable**. El conductor común se conecta habitualmente al borne positivo y las bobinas son alimentadas siguiendo una secuencia consecutiva.

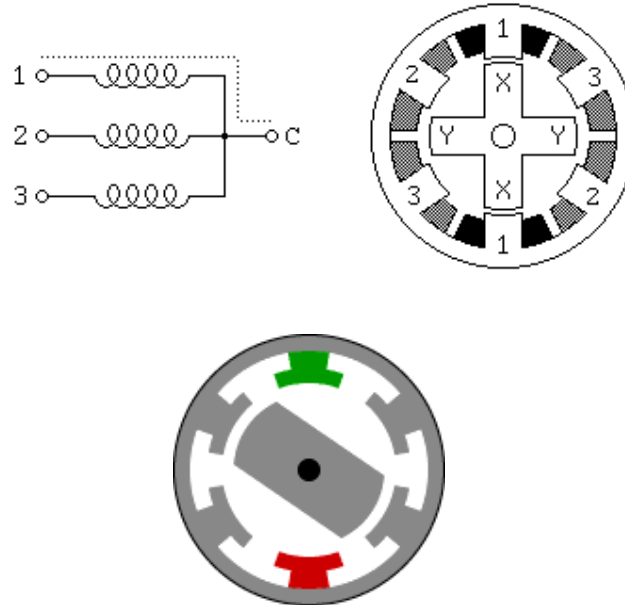


FIGURA 1.2 (Bobinas de los motores PaP)

Estos motores no contienen imanes permanentes. El estator es similar a un motor de C.C de escobillas, sin embargo, el rotor sólo consta de hierro laminado. El par se produce como resultado de la atracción entre las bobinas y el rotor férrico. El rotor forma un circuito magnético con el polo del estator. La reluctancia de un circuito magnético es el equivalente magnético a la resistencia de un circuito eléctrico. Cuando el rotor está alineado con el estator el hueco entre ambos es muy pequeño y en este momento la reluctancia está al mínimo. La inductancia del

bobinado también varía cuando el rotor gira. Cuando el rotor está fuera de la alineación, la inductancia es muy baja, y la corriente aumentará rápidamente. Cuando el rotor se alinea con el estator, la inductancia será muy grande. Esta es una de las dificultades de manejar un motor de esta clase.

Los **motores PaP de imán permanente** son los más usados en robótica. Básicamente, están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes, y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Así, las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador.



FIGURA 1.3 (El rotor del motor PaP)



FIGURA 1.4 (Estator de 4 bobinas de un motor PaP)

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

Bipolar: Estos tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar

un movimiento. Esto hace que la controladora se vuelva más compleja y costosa. Su uso no es tan común como en el caso de los de tipo unipolar.

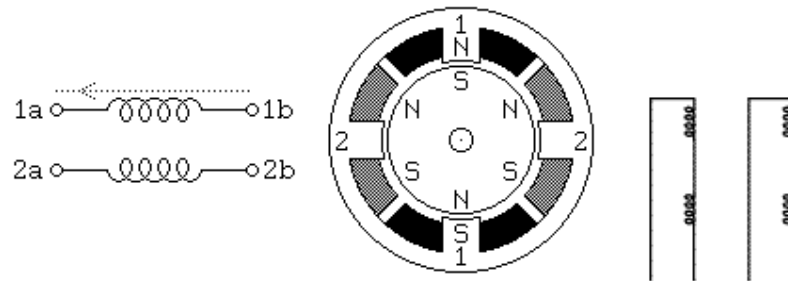


FIGURA 1.5 (Motor PaP bipolar)

Unipolar: Estos motores suelen tener 8, 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.

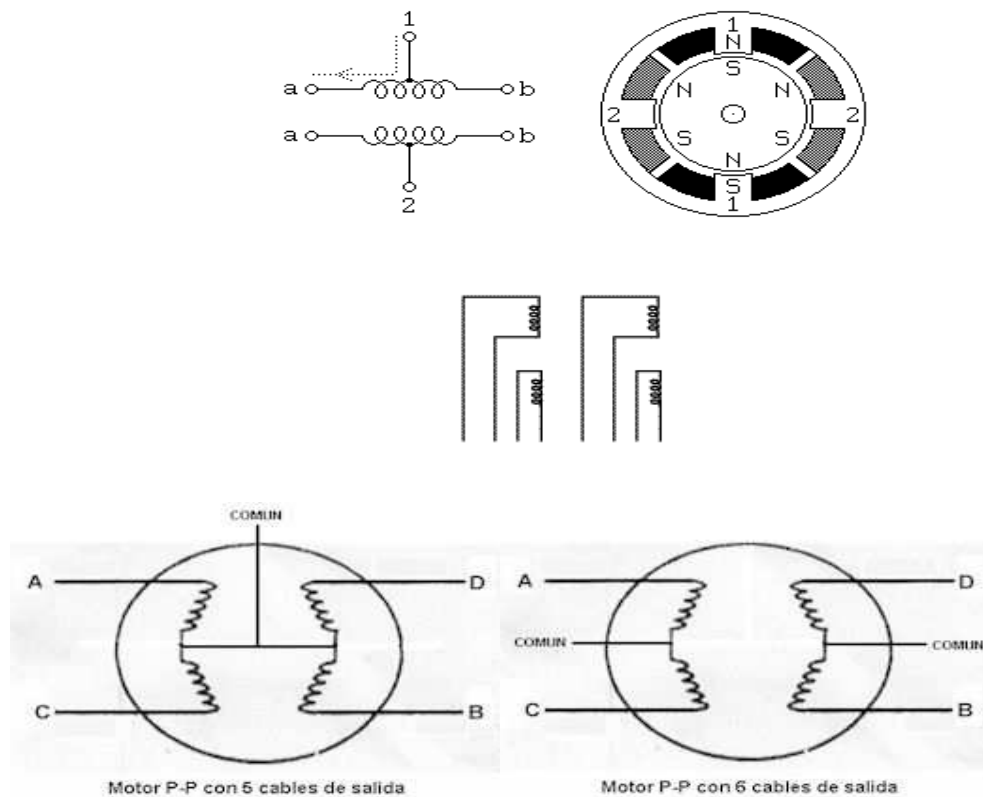


FIGURA1.6 (Motor PaP unipolar)

1.1.2. SECUENCIAS PARA MANEJAR MOTORES PASO A PASO UNIPOLARES

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, que se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1, una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para invertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

- **Secuencia de paso completo doble (normal):** Consiste en tener activado dos bobinas al mismo tiempo, ambas consecutivas, de modo que el eje del motor se oriente hacia el punto medio de ambas bobinas. Ésta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con ésta el motor avanza un paso cada vez y, debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto par de paso y de retención.

TABLA1.1 (Secuencia de paso completo doble).

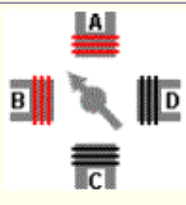
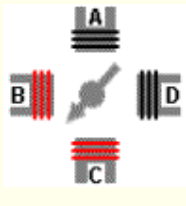
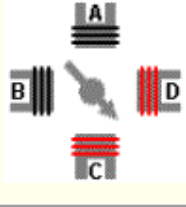
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	

TABLA 1.1 (Continuación)

4	ON	OFF	OFF	ON	
---	----	-----	-----	----	--

- **Secuencia de paso completo básica (*wave drive*):** Consiste en activar cada una de las bobinas de forma independiente, lo que provoca que el eje del motor se oriente hacia la bobina activa. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada el par de paso y de retención es menor.

TABLA 1.2 (Secuencia de paso completo básica)

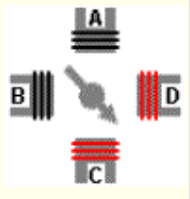
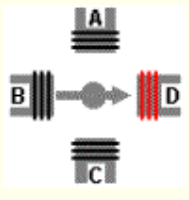
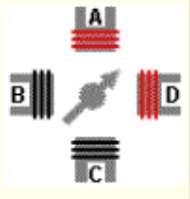
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

- **Secuencia de medio paso:** Si se combinan las secuencias anteriores, el resultado que se obtiene es un paso más corto (de hecho, es la mitad del paso generado en las anteriores) y se sitúa el motor en todas las posiciones de las mismas. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego sólo 1, y así sucesivamente. Como vemos en la tabla 1.3, la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

TABLA 1.3 (Secuencia de medio paso)

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	

TABLA 1.3 (Continuación)

6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

1.1.3. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LOS MOTORES PaP

Estos motores no se caracterizan únicamente por su voltaje. Las siguientes magnitudes caracterizan a un determinado motor PaP:

- **Voltaje:** éste se halla directamente impreso sobre la unidad o se especifica en su hoja de características. A veces es preciso exceder el voltaje nominal para obtener el par deseado, pero ello contribuye a un mayor calentamiento e incluso al acortamiento de la vida del motor.
- **Resistencia:** La resistencia por bobina determina la corriente del estator y, por tanto, afecta a la curva característica del par y a la velocidad máxima.
- **Resolución:** como se ha comentado anteriormente el ángulo girado en cada paso es el factor más importante de un motor PaP a efectos de una aplicación dada. La operación de medio paso dobla el número de pasos por

revolución. Números grados/paso habituales son: 0.72, 1.8, 3.6, 7.5, 15 e incluso 90.

1.2. EL PIC16F84

Es el más sencillo de los micros de su familia, pues carece de conversores A/D y D/A, comparadores lógicos, sólo tiene un temporizador, no tiene gran capacidad de memoria ni muchas líneas de E/S. A pesar de éstas carencias se ha seleccionado porque es práctico, sencillo y económico. Además, dispone de 1 K de memoria de programa EEPROM lo que permite grabar y borrar el programa un gran número de veces sin costo adicional. A continuación se presentan las características más importantes de este microcontrolador:

- Memoria de Programa de 1 K palabras de 14 bits, EEPROM.
- Memoria de Datos RAM de 36 bytes.
- Memoria de Datos EEPROM de 64 bytes.
- Dispone de una pila de 8 niveles para permitir llamadas a subrutinas anidadas.
- Tiene 4 tipos diferentes de interrupciones.
- Un juego reducido y sencillo de 35 instrucciones.
- El encapsulado es de plástico DIP con 18 patillas.
- Permite un rango de frecuencias de trabajo hasta 10 MHz.
- Dispone de temporizador (TMR0), y de perro guardián (WDT).
- Tiene 13 líneas de E/S digitales, divididas en dos puertas (puerta A 5 líneas y puerta B 8 líneas).
- Corriente máxima absorbida por puerta: 80 mA Puerta A y 150 mA puerta B.
- Corriente máxima suministrada por puerta: 50 mA Puerta A y 100 mA puerta B.
- Corriente máxima absorbida por línea: 25 mA.
- Corriente máxima suministrada por línea: 20 mA.
- Voltaje de alimentación (VDD) debe estar entre 2 y 6 V DC.
- Voltaje de grabación de programa (Vpp) debe estar entre 12 y 14 V DC.

1.2.1. ASPECTO EXTERNO DEL PIC 16F84

El PIC 16F84 está fabricado con una tecnología CMOS y encapsulado en plástico con 18 patillas: dos de ellas soportan la tensión de alimentación, otras dos reciben la señal del oscilador externo y otra se utiliza para generar un Reset. Las 13 restantes funcionan como líneas de E/S. En la figura 1.7 se presenta el aspecto externo del PIC y a continuación se comenta muy brevemente la función de cada una de las patas.

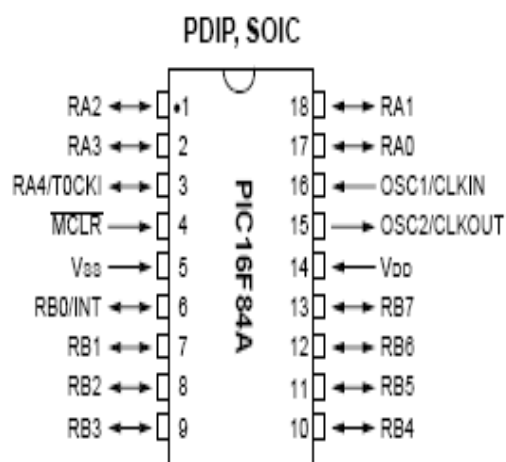


FIGURA 1.7 (Vista externa del PIC16F84).

- VDD: Tensión de alimentación positiva.
- VSS: Tierra o negativo de la alimentación.
- OSC1/CLKIN: Entrada del circuito oscilador externo que marca la frecuencia de trabajo.
- OSC2/CLKOUT: Auxiliar del circuito oscilador.
- MCLR#: Reinicialización o *Reset* del PIC. Se activa a nivel bajo. También sirve para introducir la tensión de grabación VPP.
- RA0 – RA4: Líneas de E/S digitales de la Puerta A. RA4 también sirve para recibir una frecuencia externa para alimentar al temporizador TMR0.
- RB0 – RB7: Líneas de E/S digitales de la Puerta B. RB0/INT también sirve como entrada a una petición de interrupción externa.

1.2.2. LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO, EL RELOJ

Este es el parámetro fundamental a la hora de establecer la velocidad de ejecución de las instrucciones y el consumo de energía. Un ciclo de instrucción se corresponde con 4 ciclos de reloj. Todas las instrucciones del PIC se ejecutan en un ciclo de instrucción, salvo las de salto que necesitan dos. Así pues, funcionando a 10 MHz un ciclo de reloj son 100 ns y por lo tanto un ciclo de instrucción corresponde con 400 ns. La frecuencia de trabajo viene marcada por el oscilador externo. Los PIC admiten cuatro tipos de osciladores:

- **Oscilador RC:** Oscilador de bajo costo formado por una resistencia y un condensador, cuyos valores determinan la frecuencia de oscilación, proporciona una estabilidad mediocre.
- **Oscilador HS:** Basado en un cristal de cuarzo, alcanza una velocidad entre 4 y 10 MHz.
- **Oscilador XT:** Oscilador de cristal o resonador para frecuencias entre 100 KHz y 4 MHz.
- **Oscilador LP:** Oscilador de bajo consumo, con cristal o resonador para frecuencias entre 35 y 200 KHz.

1.2.3. REINICIALIZACIÓN O RESET

La entrada MCLR permite reiniciar el estado del PIC, llevándose a cabo dos acciones importantes:

- Se carga un 0 en el Contador de Programa, de forma que después de un Reset siempre se ejecuta la instrucción que está en la posición 0 de la memoria de programa.
- Los registros de estado y control toman un estado conocido y determinado.

1.2.4. ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC16F84

El PIC16F84 incorpora en su procesador tres características avanzadas como son el procesador de tipo RISC, segmentación y arquitectura *Harvard*. Gracias a estas propiedades el PIC16F84 es capaz de ejecutar en un ciclo de instrucción todas las instrucciones, excepto las de salto que necesitan dos ciclos.

En cuanto al juego de instrucciones es muy sencillo, reduciéndose a 35 y también se han simplificado los modos de direccionamiento, reduciéndolos a tres. Además todas las instrucciones tienen el mismo formato con ancho de instrucción de 14 bits, lo que facilita la compactación del código.

La segmentación del procesador permite dividir la ejecución de una instrucción en dos fases: una de búsqueda y otra de ejecución propiamente. De esta forma, estas dos fases se ejecuten simultáneamente sobre dos instrucciones consecutivas: mientras se ejecuta la instrucción N se busca la N+1, obteniendo como resultado final la ejecución de una instrucción en cada ciclo. Esto no puede hacerse en las instrucciones de salto pues no se conoce la siguiente instrucción que se debe ejecutar hasta que se finalice la ejecución de la actual. Por eso se introduce un ciclo vacío y las instrucciones de salto se ejecutan en dos ciclos de instrucción.

Por último, la memoria *harvard* permite acceder de forma simultánea e independiente a la memoria de datos y a la memoria de instrucciones. Esto además permite que cada una tenga el tamaño y formato adecuados. En el PIC16F84 el ancho de la memoria de datos es de 8 bits, mientras que el ancho de la memoria de instrucciones es de 14 bits.

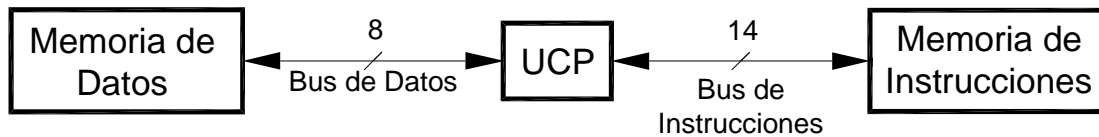


FIGURA 1.8 (Estructura de la memoria harvard)

Otra característica importante es que utiliza el banco de registros de forma intensiva. Como se puede ver en la figura 1.9 la ALU realiza operaciones aritmético lógicas con dos operandos; uno de ellos es siempre el registro de trabajo *W* (*work*) que funciona como el acumulador en los microprocesadores. El otro puede venir, a través del multiplexor (MUX en la figura 1.9), de cualquier registro o incluso del propio código de la instrucción.

El resultado se puede almacenar en cualquier registro incluido *W*, lo que dota de gran flexibilidad a las instrucciones que pueden utilizar cualquier registro como origen o destino.

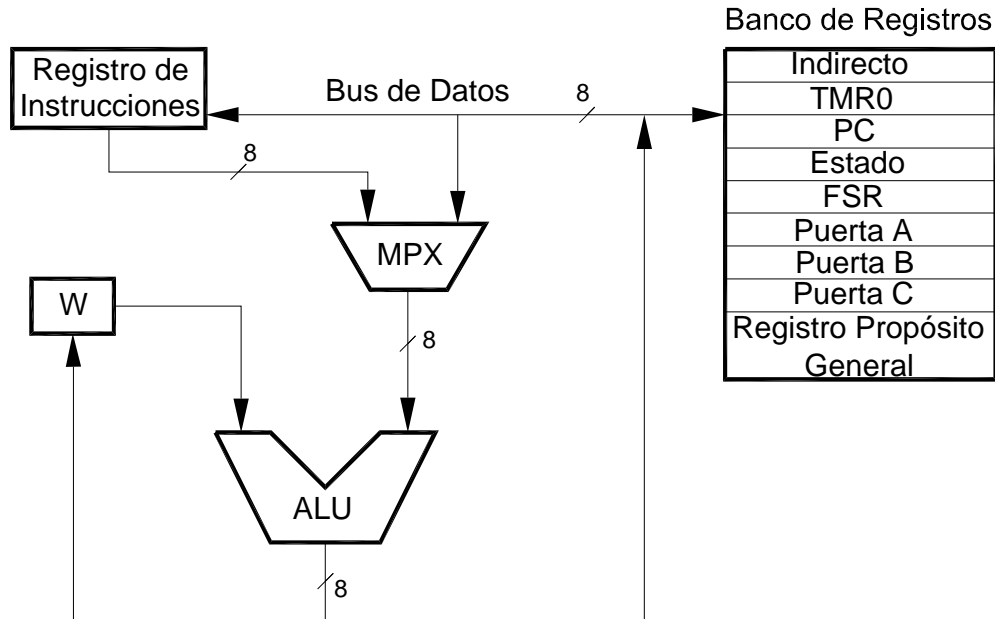


FIGURA 1.9 (Esquema de la conexión de la ALU con la memoria RAM)

La arquitectura interna puede verse en la figura 1.10, que consta de siete bloques fundamentales:

1. Memoria de programa EEPROM de 1K x 14 bits.
2. Memoria de datos formados por dos áreas, una SRAM y una EEPROM.
3. Camino de datos con la ALU de 8 bits y un registro de trabajo W.
4. Recursos conectados al bus de datos, como puertas de E/S, temporizador, etc.
5. Base de tiempos y circuitos auxiliares.
6. Controlador de programa y pila de 8 niveles de profundidad.
7. Direccionamiento directo e indirecto a través de la memoria RAM.

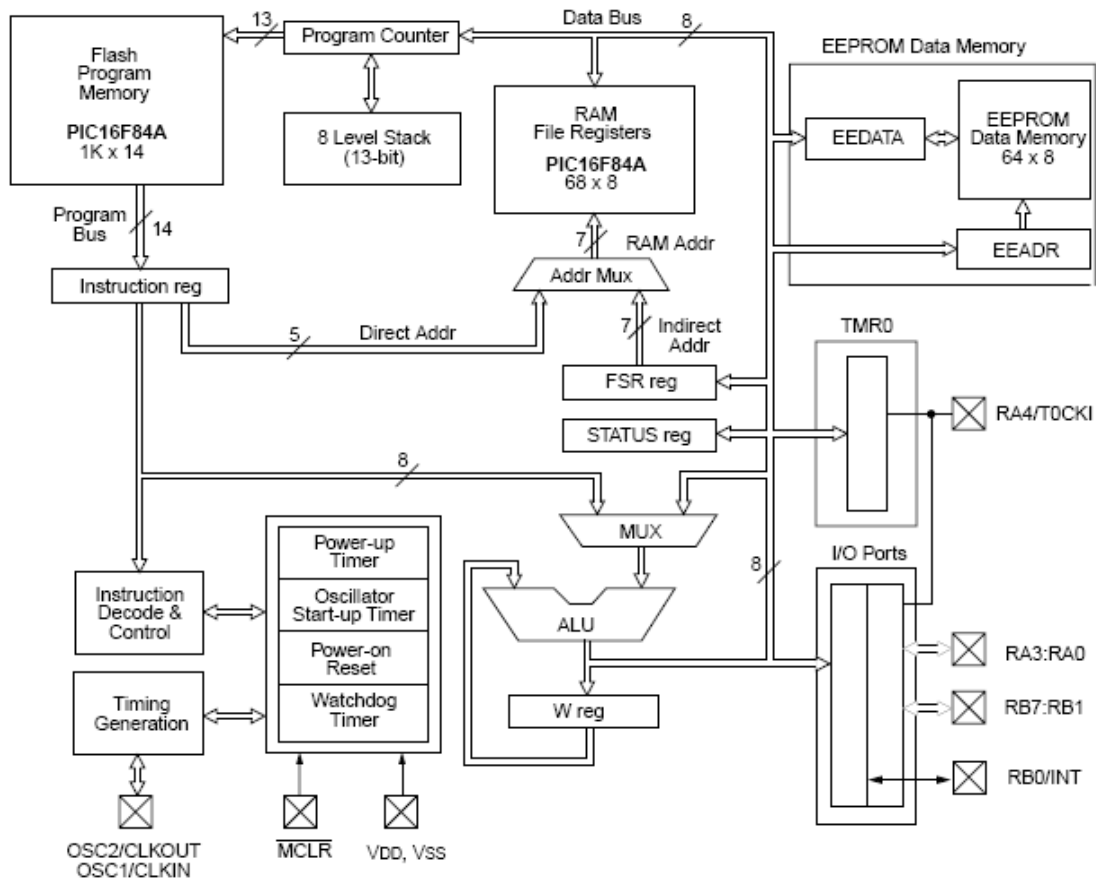


FIGURA 1.11 (Estructura interna del PIC 16F84)

1.2.4.1. MEMORIA DE PROGRAMA

Como ya se ha comentado anteriormente, el PIC16F84 tiene una memoria de programa EEPROM de 1 K posiciones, cada una ellas con 14 bits, por lo que abarca un rango de direcciones de 0000 H a la 03FF H (en total 1024 posiciones).

Por compatibilidad con otros modelos de la familia PIC que pueden tener hasta 8 K de memoria de programa el contador de programa (PC) tiene 13 bits, de los cuales en este caso sólo se consideran los 10 de menor peso.

El PC está implementado sobre un par de posiciones de memoria RAM. Los 8 bits de menor peso se almacenan en el registro PCL y los restantes en el registro PCLATH. Por supuesto, desde el programa no se puede modificar el valor del PC.

Éste sólo cambia de forma automática, bien incrementándose con cada nueva instrucción que se ejecuta o bien mediante las instrucciones de salto y retorno: CALL, GOTO, RETURN, RETLW y RETFIE.

Por otro lado, la pila es una zona independiente de las memorias de instrucciones y datos. Tiene una estructura LIFO con 8 niveles de profundidad, cada uno de 13 bits. Tampoco en este caso existen instrucciones para manejar la pila. La instrucción CALL y las interrupciones, cargan el contenido del PC en el nivel superior de la pila. Las instrucciones RETURN, RETLW y RETFIE, sacan el primer valor de la pila y lo cargan en el PC. No dispone de ningún señalizador para indicar cuando se ha desbordado la pila, sino que funciona como un buffer circular.

1.2.4.2. MEMORIA DE DATOS RAM

La memoria de datos RAM del PIC16F84 dispone de dos zonas diferentes:

- **Área RAM estática o SRAM:** Aquí reside el banco de Registros Específicos (SRF) y el banco de Registros de Propósito General (GPR). El primer banco tiene 24 posiciones de tamaño 1 byte, aunque dos de ellas no son operativas y el segundo 36 bytes.
- **Área EEPROM:** Tiene 64 bytes donde, opcionalmente se pueden almacenar datos que sean importantes y que no se pierdan si se desconecta la alimentación.

La zona de memoria RAM se halla dividida en dos bancos (banco 0 y banco 1) de 128 bytes cada uno de ellos. En el PIC16F84 sólo se hallan implementadas las 48 primeras posiciones de cada banco, de las cuales las 12 primeras (00 H hasta la 0B H) están reservadas a los Registros de Propósito Específico (SFR), que se encargan de controlar el procesador y sus recursos. Algunos de estos registros están duplicados en la misma dirección de los dos bancos para facilitar su acceso,

como INDF, ESTADO, FSR, PCLATH, INTCON, como se puede ver en la figura 1.12.

Las direcciones 7H y 87H no son operativas (figura 1.12). Los 36 registros restantes de cada banco se destinan a Registros de Propósito General (GPR) y en realidad sólo son operativos los 36 del banco 0, pues los del banco 1 se mapean sobre el banco 0. Es decir cuando se hace referencia a un registro general del banco 1, realmente se accede al mismo registro del banco 0.

Para seleccionar el banco al que se quiere acceder se manipula el bit 5 (RP0) del registro de estado. Si RP0 = 1 se accede al banco 1 y si RP0 = 0 se accede al banco 0. Tras un reset se accede automáticamente al banco 0. Esto sólo es importante para los Registros de Propósito Específico.

Los registros SFR se clasifican en dos grupos. En el primero se incluyen aquellos que controlan el núcleo del microcontrolador (ESTADO, OPTION, INTCON, etc.). Y en el otro grupo se incluyen los que caracterizan la operatividad de los recursos auxiliares y periféricos.

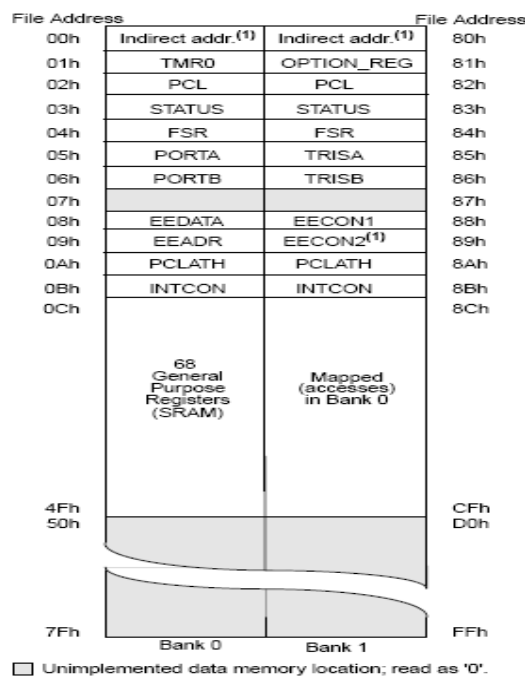


FIGURA 1.12 (Memoria de datos)

1.2.4.3. MODOS DE DIRECCIONAMIENTO

Las instrucciones del PIC16F84 pueden especificar los datos u operandos de tres formas distintas:

- Inmediato.
- Directo.
- Indirecto.

Cuando una instrucción utiliza un dato inmediato (un literal) su valor está incluido en el propio código de la instrucción.

En el direccionamiento directo el operando que utiliza la instrucción en ejecución se referencia mediante su dirección, que viene incluida en el código de la operación. El banco que se debe acceder lo determina en el bit RP0 del registro de ESTADO.

Por último, el direccionamiento indirecto se utiliza cuando una instrucción usa como operando el registro INDF, que ocupa la dirección 0 de ambos bancos. En este caso se accede a la posición que apunta el contenido del registro FSR ubicado en la posición 04 H del área de datos.

1.2.5. EL REGISTRO DE ESTADO

Es un registro de 8 bits en el que se almacenan algunas circunstancias de interés sobre el estado interno del PIC 16F84, y algunas circunstancias que en él han sucedido. Ocupa la dirección 3H tanto en el banco 0 como en el banco 1 de la memoria de datos RAM. Sus bits tienen tres misiones distintas:

1. Avisar de las incidencias del resultado de la ALU (C, DC y Z).
2. Indican el estado de Reset (TO# y PD#, activos a nivel bajo)
3. Seleccionan el banco al que vamos a acceder en la memoria de datos.

Algunos de estos bits no se pueden escribir por lo que la instrucción CLRF ESTADO (limpiar el registro de estado) deja este registro con el valor: 000xx1xx, donde el “x” significa que no cambia. En la figura 1.13 se muestra la estructura interna del registro de estado.

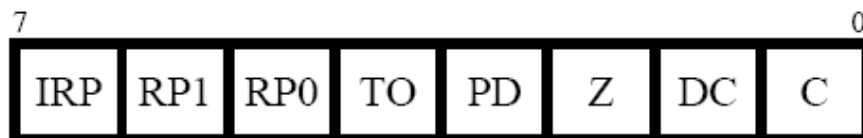


FIGURA 1.13 (Estructura del registro Estado)

A continuación se describe la misión de cada uno de estos bits.

- **C: Acarreo/llevada en el bit de más peso.** Cuando vale 1 indica que se ha producido acarreo en el bit de más peso del resultado al ejecutar las instrucciones *addwf* y *addlw*. También actúa como señalizador de llevada en el caso de una resta *subwf* y *sublw*, pero aquí vale 1 sino hay llevada.
- **DC: Acarreo/llevada en el 4º bit.** Se comporta igual que C pero para el 4º bit del resultado.
- **Z: Cero.** Vale 1 si el resultado de la instrucción anterior ha sido 0.
- **PD: Power Down.** Se pone automáticamente a 1 después de la conexión de la alimentación o al ejecutar la instrucción *clrwdt*. Se pone automáticamente a 0 con la instrucción *sleep*.
- **TO: Time Out.** Se pone automáticamente a 1 después de la conexión de la alimentación o al ejecutar la instrucción *clrwdt* o *sleep*. Se pone a cero cuando se produce el desbordamiento del perro guardián.

- **RP1 – RP0: Selección del bando de direccionamiento directo.** En el PIC16F84 sólo se emplea RP0 por tener sólo dos bancos de memoria, de forma que cuando vale 0 se accede al banco 0 y cuando vale 1 al banco 1.
- **IRP: Selección del banco de direccionamiento indirecto.** Determinan el banco de memoria de datos seleccionado. En el PIC16F84 debe valer siempre 0.

1.2.6. TEMPORIZADOR/CONTADOR TMR0

El dispositivo destinado a controlar los tiempos recibe el nombre de temporizador (timer) y básicamente consiste en un contador ascendente o descendente que determina el tiempo transcurrido entre el valor que se carga y el momento en el que se produce su desbordamiento o paso por cero. El PIC16F84 posee un temporizador/contador de 8 bits llamado TMR0 que puede actuar de dos maneras distintas.

1. Como **contador** de los impulsos que se introducen por la pata RA4/TOCKI; en este caso su misión es contar el número de ciertos acontecimientos externos al PIC. Al llegar al valor FFH se desborda y pasa a 00H, activando un señalizador y/o produciendo una interrupción.
2. Como **temporizador**, cuenta los impulsos de reloj del oscilador interno; en este caso se utiliza para determinar un tiempo fijo, ya que los impulsos tienen una duración conocida que equivale a un ciclo de instrucción (o lo que es lo mismo una cuarta parte del ciclo de reloj). Igual que en el caso anterior cuando se desborda pasa de FFH a 00H, poniendo a 1 un bit señalizador y/o provocando una interrupción.

El TMR0 se comporta como un registro de propósito especial (SFR) ubicado en la dirección 1 del bando 0 de la memoria de datos. Puede ser leído y escrito en cualquier momento al estar conectado con el bus de datos. Cuando funciona como temporizador hay que cargarle con el número de impulsos que se quieren

contar pero expresados en complemento a 2. De esta forma, cuando transcurra el número de impulsos deseado el contador valdrá 00 H activando de esa forma el señalizador TOIF y/o produciendo una interrupción. Se puede leer el contenido del TMR0 en cualquier momento sin detener su cuenta con la instrucción `movf tmr0, w`.

Tanto el temporizador como el perro guardián (que veremos más adelante) necesitan en ocasiones controlar intervalos de tiempos largos. Para esto se dispone de un circuito programable denominado **divisor de frecuencia**, que puede dividir la frecuencia utilizada por diversos rangos.

Para programar el comportamiento del temporizador TMR0, el perro guardián y el divisor de frecuencia se utilizan algunos bits del registro OPTION y de la palabra de configuración que se explican a continuación.

1.2.6.1. EL REGISTRO OPTION

Su función principal es controlar el TMR0 y el divisor de frecuencia. Ocupa la posición 81 H de la memoria de datos (dirección 1 del banco 1). En la figura 1.14 puede verse la composición del registro y a continuación se explica la función de cada uno de sus bits.



FIGURA 1.14 (Estructura del Registro Option)

- **RBP0:** Activa (1) o desactiva (0) las resistencias Pull-up de la puerta B.
- **INTEDG:** Indica cual es el flanco activo de la interrupción externa. Si vale 0 activa el flanco descendente y si vale 1 el ascendente.

- **TOCS:** Tipo de reloj para el TMR0. Si vale 1 activa los pulsos introducidos a través de TOCKI (contador). Si vale 0 se activan los pulsos de reloj interno Fosc/4 (temporizador).
- **TOSE:** Activa el tipo de flanco de la señal TOCKI. Si vale 0 se incrementa el TMR0 cada flanco ascendente. Si vale 1 se incrementa con el flanco descendente.
- **PSA:** Asignación del divisor de frecuencias. Si vale 0 el divisor de frecuencia se asigna al TMR0 y si vale 1 se asigna al WDT.
- **PS2 – PS0:** Indican el valor con el que actúa el divisor de frecuencias, según la siguiente tabla de valores.

TABLA 1.4 (Divisores de frecuencia)

PS2	PS1	PS0	Divisor del TMR0	Divisor del WDT
0	0	0	1 : 2	1 : 1
0	0	1	1 : 4	1 : 2
0	1	0	1 : 8	1 : 4
0	1	1	1 : 16	1 : 8
1	0	0	1 : 32	1 : 16
1	0	1	1 : 64	1 : 32
1	1	0	1 : 128	1 : 64
1	1	1	1 : 256	1 : 128

1.2.7. EL PERRO GUARDIÁN

El perro guardián (WDT) es un contador interno de 8 bits que reinicializa al PIC (es decir provoca un Reset) cuando se desborda. Su control de tiempo es

independiente del TMR0 y puede bloquearse para que no funcione programando un bit WDTE de la palabra de configuración.

Para evitar que se desborde hay que refrescarlo, poniéndole a cero con las instrucciones `clrwdt` y `sleep`. Se debe analizar las instrucciones de la tarea y situar alguna de estas dos instrucciones en sitios estratégicos por los que pase el flujo del programa, antes de que transcurra el tiempo asignado al WDT. De esta forma si el programa se cuelga no se refresca el perro guardián y se produce la reinicialización del sistema.

La instrucción `clrwdt` borra el WDT y reinicia su cuenta. La instrucción `sleep` además deja al sistema en un estado de bajo consumo. Si no se desactiva el perro guardián cuando se entra en el estado de reposo, al terminar la cuenta, provocará un Reset que sacará al micro de dicho estado. En el registro de ESTADO hay un bit denominado TO que pasa a valer 0 después del desbordamiento del WDT.

1.2.8. LAS PUERTAS DE E/S

Una cuestión fundamental en un microcontrolador es su forma de relacionarse con el mundo exterior. En la mayor parte de las aplicaciones a las que están destinados estos dispositivos deben ser capaces de recibir datos del mundo exterior (mediciones de sensores, entradas de usuarios,...) y producir una serie de salidas que indiquen a los distintos periféricos las acciones que deben realizar.

Para poder cumplir estas funciones el PIC16F84 dispone de 13 líneas de E/S digitales, que se corresponden con las trece patas que le quedan libres. Para gestionarlas mejor estas líneas se agrupan en **puertas**, aunque también es posible actuar sobre una línea individual. El PIC16F84 dispone de dos puertas; la **puerta A** que tiene 5 líneas RA0 - RA4, y la **puerta B** con 8 líneas RB0- RB7. La configuración de las puertas se hace mediante unos registros específicos denominados TRISA y TRISB, que ocupan las posiciones 5 y 6 del banco 1 de la memoria de datos.

En estas puertas cada línea puede configurarse independientemente como entrada o como salida, escribiendo un 1 o un 0 respectivamente en el bit correspondiente de estos registros.

Para acceder a ellas tanto en lectura como en escritura existen otros registros denominados PUERTAA y PUERTAB, que ocupan las posiciones 5 y 6 del banco 0 de la memoria de datos. Se pueden leer los datos de entrada de una puerta, siempre que esté configurada como entrada, simplemente accediendo a estos registros, por ejemplo con la instrucción `movfw puertaa`. De la misma forma, se puede escribir un dato en la puerta, siempre que esté configurada como salida, poniéndolo en dicho registro, como por ejemplo `movwf puertaa`. También existen instrucciones para modificar el valor de un bit concreto correspondiente a una línea de una puerta mediante las instrucciones siguientes:

- `Bsf puertaa, bit`: pone a 1 el bit indicado, de esa puerta
- `Bcf puertaa, bit`: pone a 0 el bit indicado de esa puerta.

También existen instrucciones de salto condicionales que chequean el valor de un bit y saltan si vale 1 (`btfs`) o si vale 0 (`btfs`).

Cuando se lee una puerta se recoge el nivel lógico de sus líneas en ese momento. En cuando a la escritura, la información presentada a la salida es siempre la última almacenada en el registro de la puerta correspondiente.

1.2.8.1. PUERTA A

Como ya se ha comentado son 5 líneas de E/S digitales RA0 - RA4, que se pueden configurar independientemente como entradas y salidas, con el registro TRISA, que ocupa la posición 5 del banco 1 de memoria de datos, y a las que se puede acceder con el registro PUERTAA, que ocupa la posición 5 del banco 0 de la memoria de datos.

Las líneas RA0 - RA3 son E/S digitales que admiten niveles TTL a la entrada y CMOS de salida. En cuanto a la línea RA4/TOCKI, multiplexa la función de E/S con la entrada de pulsos externos para el contador TMR0. Cada línea de la puerta A suministra una corriente máxima de 20 mA y si es entrada puede absorber una corriente máxima de 25 mA. La corriente máxima de absorción en la puerta A es de 80 mA y la de suministro de 50 mA.

1.2.8.2. PUERTA B

De la misma forma, la puerta B consta de 8 líneas de E/S digitales RB0 - RB7, que se pueden configurar independientemente como entradas y salidas, con el registro TRISB, que ocupa la dirección 6 del banco 1 de memoria de datos, y a las que se puede acceder con el registro PUERTAB, que ocupa la posición 6 del banco 0 de la memoria de datos.

La línea RB0/INT además de actuar como E/S digital, actúa como pata de solicitud de interrupción externa, cuando esta habilitada esta función programando los bits correspondientes del registro INTCON, que veremos más adelante. Las cuatro líneas de más pero RB4 - RB7, cuando actúan como entradas se las puede programar para generar una interrupción si alguna de ellas cambia su estado lógico. Cuando se lee el valor de estas entradas se compara con el valor anterior que estaba almacenado y si ha cambiado se origina una interrupción y se activa el señalizador RBIF. La línea RB6 también se usa para la grabación serie de la memoria de programa y sirve para soportar la señal de reloj. La línea RB7 constituye la entrada de datos en serie.

1.2.9. INTERRUPCIONES

Las interrupciones son desviaciones asíncronas del flujo de control del programa originadas por diversos sucesos, que no están bajo el control de las instrucciones del programa. Estos sucesos pueden ser internos o externos al sistema y en diseños industriales son un recurso muy importante para atender acontecimientos físicos en tiempo real. Cuando se produce una interrupción se detiene la

ejecución del programa en curso, se salva la dirección actual en la pila y se carga el PC con la dirección del Vector de Interrupción que es una dirección reservada de la memoria de código. En el PIC16F84 el Vector de Interrupción está situado en la dirección 0004 H de la memoria de programa, donde empieza la Rutina de Servicio de la Interrupción. En general, en dicha dirección se suele colocar una instrucción de salto incondicional GOTO que salta directamente a la dirección del programa en la que comienza la rutina de servicio de la interrupción.

La rutina de servicio comienza guardando en la memoria de datos los registros específicos que va a emplear y por lo tanto pueden alterar su contenido. Antes del retorno al programa principal se recuperan los valores guardados y se restaura el estado del procesador. Otra cuestión importante es averiguar cual de las posibles causas ha motivado la interrupción en este caso. Para ello se exploran los señalizadores de las fuentes de interrupción que están almacenados en el registro INTCON que se explicará más adelante.

El PIC16F84 posee un bit GIE (Global Interrupt Enable) que cuando vale 0 prohíbe todas las interrupciones. Lo primero que debe hacer la rutina de servicio es poner a 0 este bit para evitar que se aniden interrupciones. En el retorno final de la interrupción (Instrucción RETFIE), GIE pasa a valer 1 automáticamente para permitir de nuevo las interrupciones. Sin embargo, los señalizadores de interrupción no se borran de forma automática y hay que desactivarlos por programa (de no hacerlo así en la siguiente interrupción tendríamos problemas para esclarecer su origen).

1.2.9.1. CAUSAS DE LA INTERRUPCIÓN

El PIC16F84 tiene cuatro posibles causas de interrupción.

1. Activación de la pata RB0/INT.
2. Desbordamiento del temporizador TMR0.
3. Cambio de estado de una de las entradas RB4 - RB7 de la puerta B.
4. Finalización de la escritura en la EEPROM de datos.

Estas solicitudes se atienden siempre que el bit GIE tenga valor 1. Cada una de las fuentes de interrupción anteriores dispone de un señalizador o flag que es un bit que se pone automáticamente a 1 cuando se produce la interrupción. Además cada interrupción tiene también un bit de permiso, que permite o prohíbe la solicitud de esa interrupción.

1.2.9.2. REGISTRO DE CONTROL DE INTERRUPCIÓN INTCON

En este registro se almacenan los señalizadores y los bits de permiso relacionados con las interrupciones. Ocupa la dirección 0BH del banco 0 de la memoria de datos RAM y está duplicado en el banco 1. La figura 1.15 representa la estructura del registro y a continuación se explica la función de cada uno de sus bits.



FIGURA 1.15 (Estructura del Registro INTCON)

- **GIE: Permiso global de interrupciones.** Si está activo (1) permite la solicitud de interrupciones cuyos bits de permiso individuales también lo permitan. Si está a 0 prohíbe todas las interrupciones.
- **EEIE: Permiso de interrupción por fin de escritura en la EEPROM.** Si está a 0 prohíbe esta interrupción y si está a 1 la permite.
- **TOIE: Permiso de interrupción por desbordamiento del TMR0.** Si está a 0 prohíbe esta interrupción y si está a 1 la permite.
- **INTE: Permiso de interrupción por activación de la patilla RB0/INT.** Si está a 0 prohíbe esta interrupción y si está a 1 la permite.

- **RBIE: Permiso de interrupción por cambio de estado en RB4 - RB7.** Si está a 0 prohíbe esta interrupción y si está a 1 la permite.
- **TOIF: Señalizador del desbordamiento del TMR0.** Se pone automáticamente a 1 cuando el TMR0 pasa del valor FF H a 00 H.
- **INTF: Señalizador de activación de la patilla RB0/INT.** Se pone a uno al activarse la patilla RB0/INT, indicando solicitud de interrupción externa.
- **RBIF: Señalizador de cambio de estado en las patillas RB4/RB7.** Se pone a 1 cuando cambia el estado de alguna de estas líneas.

1.2.9.3. INTERRUPTIÓN EXTERNA INT

Esta fuente de interrupción es muy importante para atender acontecimientos externos en tiempo real. Cuando ocurre algún acontecimiento que el microcontrolador debe gestionar se activa la pata RB0/INT y se hace una solicitud de interrupción. De forma automática el bit INTF = 1 y si el bit de permiso INTE = 1 y por supuesto el bit de permiso global GIE valen 1, se puede atender a la interrupción.

1.2.9.4. INTERRUPTIÓN DE DESBORDAMIENTO DEL CONTADOR TMR0

Se produce cuando el TMR0 se desborda y pasa del valor FF H a 00 H. En esta situación el señalizador TOIF se pone automáticamente a 1. Si además, el bit de permiso de esta interrupción TOIE y el bit de permiso global GIE, están puestos a 1 se atiende la interrupción. Si no se recarga el TMR0 sigue contado de 00 H a FF H. En cualquier momento se puede leer o escribir este registro, pero cada vez que se recarga se pierden dos ciclos de reloj. Cuando se recarga con el valor N (en decimal) cuenta un número de ciclos igual a 256 - N.

1.2.10. INTERRUPCIÓN POR CAMBIO DE ESTADO EN LAS LÍNEAS RB7, RB4 DE LA PUERTA B

Esta interrupción está expresamente diseñada para atender la pulsación de una tecla en un teclado matricial conectando dichas señales. En este caso, con cuatro líneas se puede controlar un teclado matricial de 16 teclas. Cada vez que cambia el estado lógico de alguna de estas entradas, el señalizador RBIF se pone a 1 y si los dos bits de permiso RBIE = GIE = 1 se autoriza la interrupción.

1.2.11. REINICIALIZACIÓN O RESET

El PIC16F84 tiene cinco causas por las que se provoca la reinicialización o reset del mismo. Al producirse un reset se carga el valor 000 H (Vector de Reset) en el PC y los registros específicos toman un valor conocido. Las causas que motivan esta situación son las siguientes:

1. Conexión de la alimentación.
2. Activación de la pata MCLR# en funcionamiento normal.
3. Activación de la pata MCLR# en estado de reposo.
4. Desbordamiento del perro guardián en funcionamiento normal.
5. Desbordamiento del perro guardián en el estado de reposo.

1.3. EMISORES Y DETECTORES DE INFRARROJO

1.3.1. EL LED

Este elemento consta de un diodo de unión pn que emite luz cuando se polariza en sentido directo. La luz emitida puede ser invisible (infrarroja) o puede estar comprendida dentro del espectro visible. Las fuentes de luz a semiconductores pueden obtenerse en un amplio margen de longitudes de onda, que se extienden desde la región del ultravioleta cercano, en el espectro electromagnético, hasta la región del infrarrojo lejano, aunque los dispositivos previstos para empleos corrientes están limitados actualmente a longitudes de onda mayores de 500 nm.

Los LEDS utilizados en aplicaciones electrónicas, debido a la respuesta espectral del silicio y a consideraciones de rendimiento, son normalmente diodos emisores de infrarrojos, IRED. Este tipo de diodo es un LED que emite luz invisible en la región del infrarrojo cercano.

El diodo láser es una forma especial de LED o IRED con dimensiones físicas y propiedades ópticas estrechamente controladas en la zona de la unión productora de luz. Esta circunstancia hace posible conseguir una cavidad resonante óptica para la longitud de onda operativa tal, que la realimentación óptico-eléctrica asegure una producción de luz monocromática direccional con un elevado rendimiento. El estrecho e intenso haz virtualmente monocromático y la alta frecuencia de funcionamiento que son características típicas del diodo láser, pueden ser muy ventajosas en aplicaciones tales como fibra óptica, interferometría, sistemas de alineamiento preciso y sistemas de exploración.

La cavidad óptica de precisión es de difícil fabricación y puede originar tensiones en la estructura del cristal del láser que, en caso de producirse, causarán una rápida disminución de la potencia de salida luminosa. Aunque los diodos láser ofrecen unas elevadas prestaciones, son en contrapartida de utilización poco económica y por otra parte su fiabilidad debe comprobarse en cada aplicación.

Las características eléctricas del LED, diodo láser e IRED son similares a las de otros diodos de unión pn en lo que se refiere a presentar una caída de tensión directa ligeramente superior a la de los diodos de silicio y a la reducida tensión de ruptura inversa, como consecuencia de los niveles de dopado requeridos para una eficiente producción.

Al polarizar directamente un diodo LED conseguimos que por la unión PN sean inyectados huecos en el material tipo N y electrones en el material tipo P (figura 1.16); produciéndose, por consiguiente una inyección de portadores mayoritarios.

Cuando estos portadores se recombinan, se produce la liberación de una cantidad de energía proporcional al salto de banda de energía del material semiconductor.

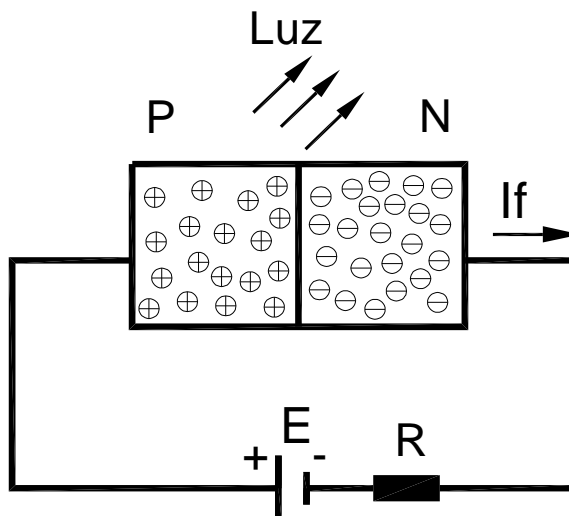


FIGURA 1.16 (El diodo LED)

Una parte de esta energía se libera en forma de luz, mientras que la parte restante lo hace en forma de calor, estando determinadas las proporciones por la mezcla de los procesos de recombinación que se producen.

La energía contenida en un fotón de luz es proporcional a su frecuencia, es decir, su color. Cuanto mayor sea el salto de banda de energía del material semiconductor que forma el LED, más elevada será la frecuencia de la luz emitida.

1.3.1.1. CONTROL DE UN LED

Un LED puede ser activado por corriente continua, por impulsos o corriente alterna.

- Por corriente continua

El circuito típico empleado se mostró en la figura 1.16. El control de la corriente se realiza por medio de la resistencia R y su valor es:

$$R = (E - V_f) / I_f \quad (1.0)$$

Siendo E la tensión de alimentación, V_f la tensión en bornes del LED e I_f la corriente que lo atraviesa. La tensión E debe ser, por lo menos, dos veces la tensión V_f . Para el color rojo, anaranjado y amarillo se recomienda un valor de I_f de 5 a 15 mA, mientras que para el verde se recomienda de 10 a 20 mA. Los parámetros para un LED de color azul son bastante diferentes, ya que presentan una $V_f = 5v$. y una corriente I_f de 60 mA para una intensidad luminosa de 50 mcd.

- En régimen de impulsos

Éste es el método más empleado, ya que el LED presenta una mayor fiabilidad y ofrece las siguientes ventajas frente al método anterior:

La intensidad luminosa puede ajustarse variando la amplitud o el ancho del impulso aplicado. Genera mayor intensidad luminosa para una misma corriente media.

- En corriente alterna

Cuando un diodo LED se conecta a un circuito de alterna hay que prever una protección contra la tensión inversa si se espera exceder el valor máximo de V_r .

1.3.1.2. CARACTERÍSTICAS, FORMATOS Y VARIEDADES DE LOS LED

Los parámetros que caracterizan el funcionamiento de un LED y que sirven de base para la elección del modelo más adecuado para la aplicación concreta a que se le va a destinar, son los siguientes:

- Eficiencia

Es la relación entre la intensidad luminosa emitida, medida en unas unidades denominadas milicandelas (mcd) y la corriente eléctrica en mA que produce dicha radiación.

TABLA 1.5 (Tipos de LED's y su Eficiencia)

Color	Luminosidad (mcd)	Consumo (mA)	Longitu de onda (nm)	Diámetro (mm)	Eficiencia (cd/A)
Rojo	1,25	10	660	3 y 5	0,125
Verde, amarillo y naranja	8	10		3 y 5	0,8
Rojo (alta luminosidad)	80	10	625	5	8
Verde (alta luminosidad)	50	10	565	5	5
Hiper Rojo	3500	20	660	5	175
Hiper Rojo	1600	20	660	5	80
Hiper Verde	300	20	565	5	15
Rojo y verde	40	20		10	2

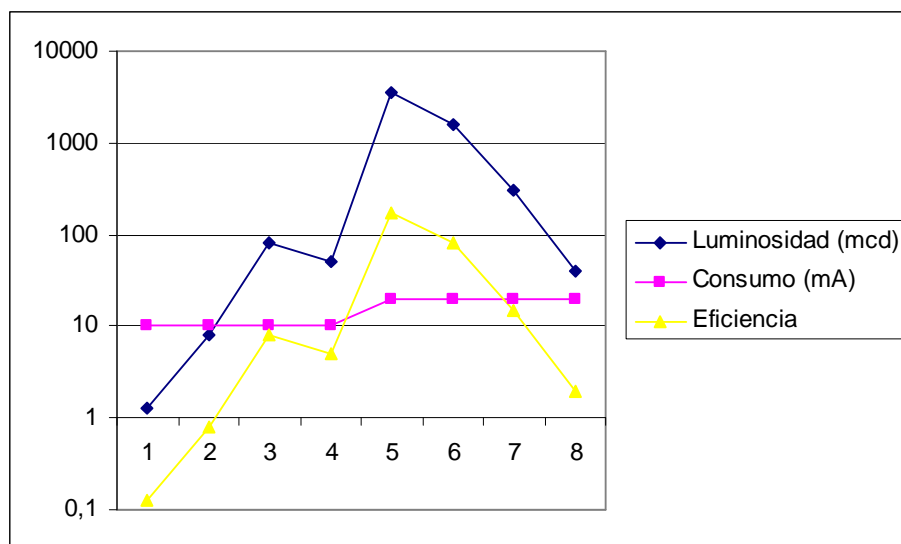


FIGURA 1.17

El color depende de la frecuencia de la radiación, existiendo tres que son los que han estandarizado la mayoría de los fabricantes, se trata del rojo, verde y amarillo-anaranjado. En el caso de LED's de infrarrojos, la radiación no será visible y, por tanto, este factor no existirá.

- La directividad

Está definida por el máximo ángulo de observación de luz que permite el tipo concreto de LED, respecto al eje geométrico del mismo. Este parámetro depende de la forma del encapsulado, así como de la existencia o no de una lente amplificadora incluida en el mismo.

En los modelos de mayor directividad este ángulo es pequeño y tienen la apariencia de producir una intensidad luminosa más elevada que los otros, en los que la luz se reparte sobre una superficie mucho mayor.

Cada modelo de LED dispone de una curva de directividad en la que se representa el nivel de intensidad luminosa en función del ángulo de observación. Esta curva resulta de mucha utilidad para la elección de un modelo determinado.

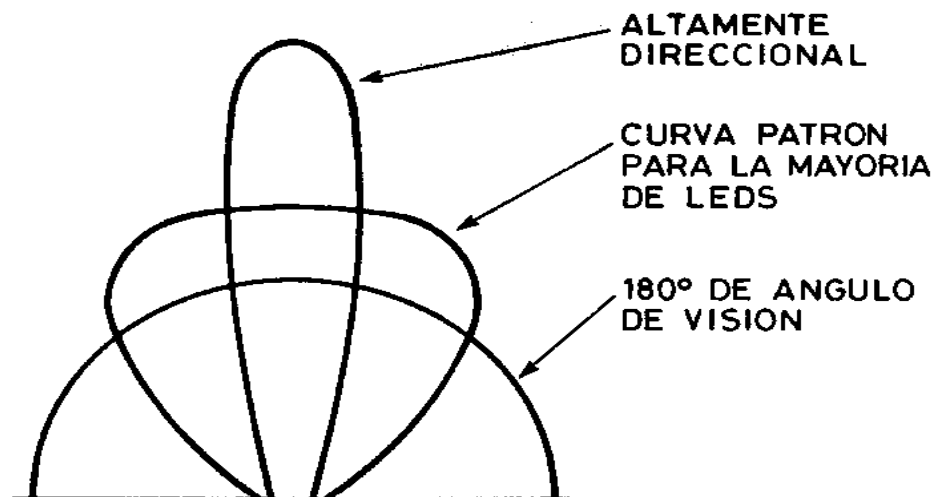


FIGURA 1.18 (Curvas de directividad de los LED's)

- El efecto cristalino

Las lentes de los primeros LEDS fueron diseñadas para permitir el paso de la máxima cantidad de luz en la dirección perpendicular a la superficie de montaje.

Más tarde, la luz producida fue mayor y sus lentes se diseñaron para difundir la luz sobre una amplia área, permitiendo mayores ángulos de visibilidad. Posteriormente aparecieron en el mercado los LEDS de alta luminosidad y una gran variedad de lentes epoxy color rojo fueron incorporadas para difundir la luz en una amplia área de emisión, produciendo una sensación más agradable a la vista que las lentes que concentran la luz en un punto.

La figura 1.19 muestra los efectos de añadir cantidades de difusores rojos al material epoxy de la lente.

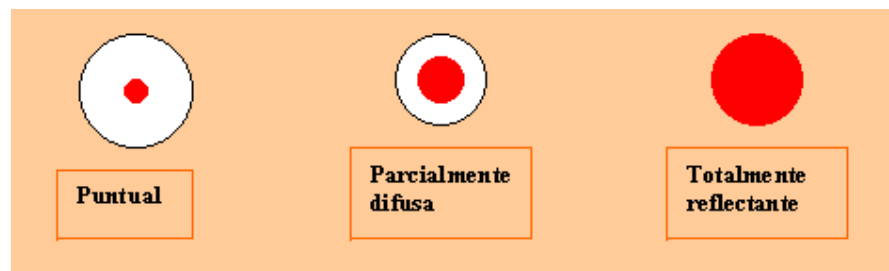


FIGURA 1.19 (Material epoxy de la lente)

- La tensión directa (V_F)

Es el voltaje que se produce entre los dos terminales del LED cuando le atraviesa la corriente de excitación. Esta comprendida entre 1,5 y 2,2 v. para la mayoría de los modelos.

- La corriente inversa (I_r)

Es la máxima corriente que es capaz de circular por el LED cuando se le somete a una polarización inversa. Valores típicos de este parámetro se encuentran alrededor de los 10 μ A.

- Disipación de potencia

Es la fracción de la potencia que absorbe el LED y no transforma en radiación visible, teniéndola que disipar al ambiente en forma de calor. En las aplicaciones clásicas de los LEDs se necesita una resistencia en serie con el mismo, con la misión de limitar la corriente que circula por él.

- Identificación

La indicación de la polaridad de los terminales se realiza haciendo que el terminal que corresponde al ánodo tenga una longitud mayor que el del cátodo. Además, se añade un pequeño aplanamiento en la cápsula en una zona próxima al terminal catódico. Y si no se lo identifica, hay que fijarse en los terminales interiores, uno es más pequeño que el otro. Ese es el ánodo, y como último recurso habría que recurrir al óhmetro. Con el cual se harás dos medidas cambiando las pinzas y si está bien, se obtendrá dos medidas de ohmios: una próxima a cero y otra de un valor óhmico alto.

Como se sabe la polaridad del óhmetro por el manual de instrucciones al hacer la medida que da cero ohmios se sabrá cual es el ánodo.

1.3.2. EL FOTOTRANSISTOR

Un fototransistor es, en esencia, lo mismo que un transistor normal, solo que puede trabajar de 2 maneras diferentes:

- Como un transistor normal con la corriente de base (I_B) (modo común).
- Como fototransistor, cuando la luz que incide en este elemento hace las veces de corriente de base. (I_P) (modo de iluminación).

Se pueden utilizar las dos en forma simultánea, aunque el fototransistor se utiliza principalmente con la patita de la base sin conectar. ($I_B = 0$)

La corriente de base total es igual a corriente de base (modo común) + corriente de base (por iluminación):

$$I_{BT} = I_B + I_P \quad (1.1)$$

Si se desea aumentar la sensibilidad del transistor, debido a la baja iluminación, se puede incrementar la corriente de base (I_B), con ayuda de polarización externa.

El circuito equivalente de un fototransistor, es un transistor común con un fotodiodo conectado entre la base y el colector, con el cátodo del fotodiodo conectado al colector del transistor y el ánodo a la base, figura 1.20

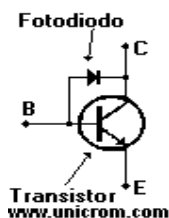


FIGURA 1.20 (Fototransistor)

El fototransistor es muy utilizado para aplicaciones donde la detección de iluminación es muy importante. Como el fotodiodo, tiene un tiempo de respuesta muy corto, solo que su entrega de corriente eléctrica es mucho mayor.

1.3.3. EL OPTOACOPLADOR (LED - FOTOTRASNSISTOR)

El Optoacoplador es un dispositivo que se compone de un diodo LED y un fototransistor (figura 1.21), de manera de que cuando el diodo LED emita luz, ésta ilumine el fototransistor y conduzca. Estos dos elementos están acoplados de la forma más eficiente posible.

La corriente de salida I_C (corriente de colector del fototransistor) es proporcional a la corriente de entrada I_F (corriente en el diodo LED). La relación entre estas dos corrientes se llama "razón de transferencia de corriente" (CTR) y depende de la temperatura ambiente. A mayor temperatura ambiente, la corriente de colector en

el fototransistor es mayor para la misma corriente I_F (la corriente por el diodo LED).

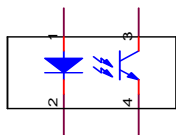


FIGURA 1.21 (Optoacoplador)

La entrada (circuito del LED) y la salida (circuito del fototransistor) están 100% aislados y la impedancia de entrada es muy grande ($10^{13} \text{ M}\Omega$ típico)

El optoacoplador es un dispositivo sensible a la frecuencia y el CTR disminuye al aumentar ésta.

Este elemento puede sustituir a elementos electromecánicos como relés, conmutadores. De esta manera se eliminan los golpes, se mejora la velocidad de conmutación y casi no hay necesidad de mantenimiento.

1.3.4. EL SENSOR ÓPTICO REFLEXIVO CON SALIDA A TRANSISTOR CNY 70

El CNY70 es un sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta donde el emisor de luz y el receptor (figura 1.22), se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo sobre el objeto. La longitud de onda de trabajo es 950nm. El detector consiste en un fototransistor.

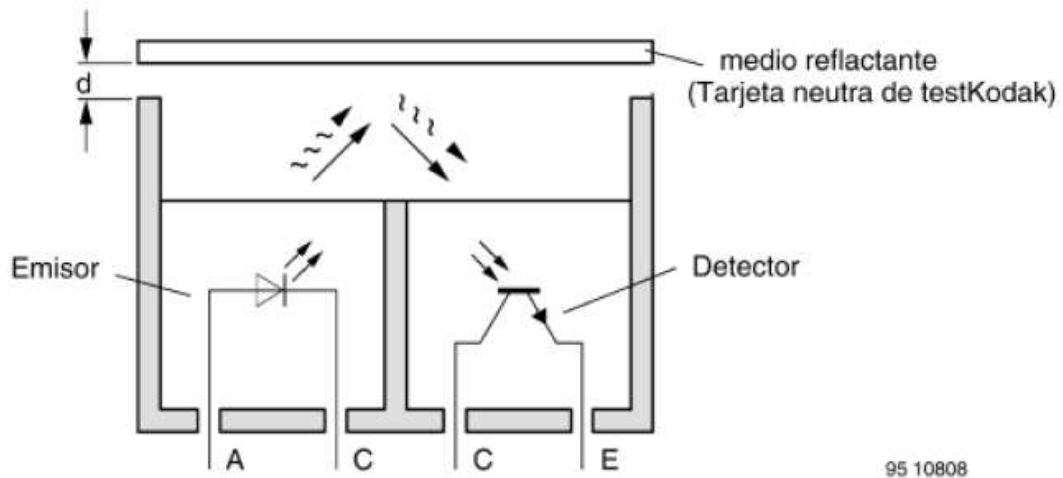


FIGURA 1.22 (El sensor CNY 70)

1.3.4.1. APLICACIONES

Escáner optoelectrónico y detector de movimiento de objetos, lectura de discos codificados etc., (codificador optoelectrónico montado como sensor de cambio de marcha).

CAPÍTULO II

DESARROLLO DEL CIRCUITO Y PROGRAMA DE CONTROL

2.1. CIRCUITO DE CONTROL PARA MOTORES PaP

De lo expuesto anteriormente en el Capítulo I, podemos deducir que un motor paso a paso (PaP) requiere de una determinada secuencia para funcionar correctamente, sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones se pretende que un motor PaP avance pasos en función de una serie de pulsos de control u órdenes de mando a razón de un pulso, un paso o un medio paso, además de otras señales que indiquen sentido de giro, inhibición, etc.

Los puertos del PIC 16F84, pueden dar los pulsos de señalización capaces de controlar al motor PaP, pero no suelen ser capaces de suministrar directamente la corriente necesaria para que el motor gire, ya sea en un sentido o en otro. Este factor debe de ser considerado a la hora de elegir el driver que controle al motor PaP, por esta razón, nosotros hemos elegido el drive SAA1042, por su flexibilidad y compatibilidad con el PIC 16F84.

2.1.1. EL DRIVER SAA1042

El circuito integrado SAA1042, fue diseñado de tal forma que puede inyectar una determinada corriente a las bobinas del motor PaP, para que éste gire óptimamente en el transcurso del tiempo, la figura 2.1 muestra la distribución de pines del driver SAA1042.

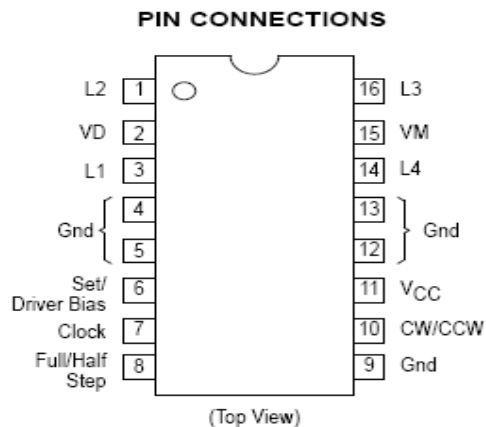


FIGURA 2.1 (Pines del SAA1042).

Las principales funciones encomendadas a este drive son las siguientes:

1. Dirección de rotación del motor: 5V sentido horario y 0V sentido antihorario (Pin 10).
2. Habilitación del driver y por lo tanto del motor PaP: lo haremos por medio de un transistor NPN, que funcione en corte y saturación, conforme indica las hojas de datos del fabricante, eligiendo una RB (R de base), como se indica más adelante. (Pin 6).
3. Generación de una señal de reloj, que es capaz de cambiar el estado de los pines que van conectados a las bobinas del motor PaP, (Pin 7).
4. Generación de medio paso o paso completo del motor PaP, es decir si en el pin 8 existe 5V, el motor PaP, girará medio paso y si en el pin 8 existe 0V, el motor PaP, girará un paso completo, (Pin 8).

Como lo hemos descrito en el punto 2, debemos considerar las especificaciones del fabricante, en cuanto al valor de una resistencia RB que irá conectada a la base del transistor NPN y además el valor de un diodo zener que limitará las tensiones de pico en las bobinas al interrumpir las corrientes que las atraviesan.

Para determinar el valor de R_B , observamos la figura 2.2, extraída de las hojas del fabricante del drive SAA1042.

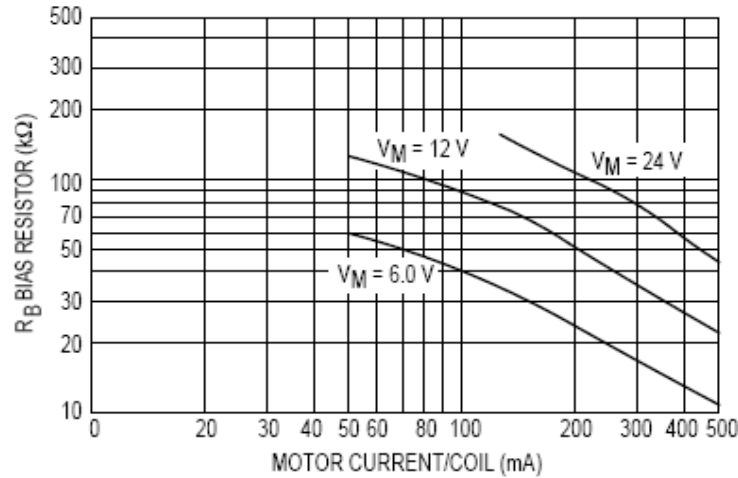


FIGURA 2.2 (Resistencia R_B versus corriente del motor)

Analizamos la figura 2.2, para nuestro caso en el cual tenemos un voltaje de alimentación para el motor PaP $V_M = 6V$ y una corriente de motor PaP $I_m = 500mA$, entonces tenemos una resistencia R_B equivalente a $10K$, aproximadamente.

Ahora analizamos el valor del diodo zener, observando la figura 2.3, extraído de las hojas del fabricante del SAA1042.

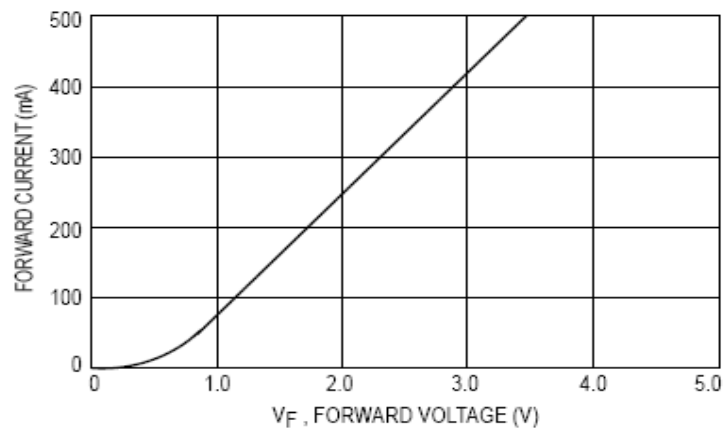


FIGURA 2.3 (Corriente versus Voltaje)

$$V_{\max} = V_m + 6V \quad (2.0)$$

Donde;

- V_m , es el voltaje con el cual va a ir el común de la bobinas del motor, en este caso 6V.
- 6V, voltaje dado por el fabricante que hay que sumarle a V_m .

En base a la ecuación 2.0 tenemos:

$$V_{\max} = V_m + 6V$$

$$V_{\max} = 6V + 6V$$

$$V_{\max} = 12V$$

$$V_z = 6V - V_F \quad (2.1)$$

Donde V_F es el voltaje de los diodos de recirculación que tiene los pines 2 y 15 respectivamente como protección.

Entonces observando en la figura 2.3, para una $I_m=500\text{mA}$ nos da un valor de $V_F=3,5\text{V}$, entonces el valor de V_z , basándonos en la ecuación 2.1 será:

$$V_z = 6V - 3,5V$$

$$V_z = 2,5V$$

Por tanto el diodo zener será de un voltaje aproximado a 2,5 V.

Siguiendo todo lo comentado anteriormente, podemos decir que el drive SAA1042 será alimentado a 5V, manejará un voltaje para el motor PaP igual a 6V inyectando una corriente máxima a las bobinas del motor PaP de 500mA en funcionamiento estático.

El diagrama de conexiones del motor PaP con el drive SAA1042 es el que se muestra en la figura 2.4.

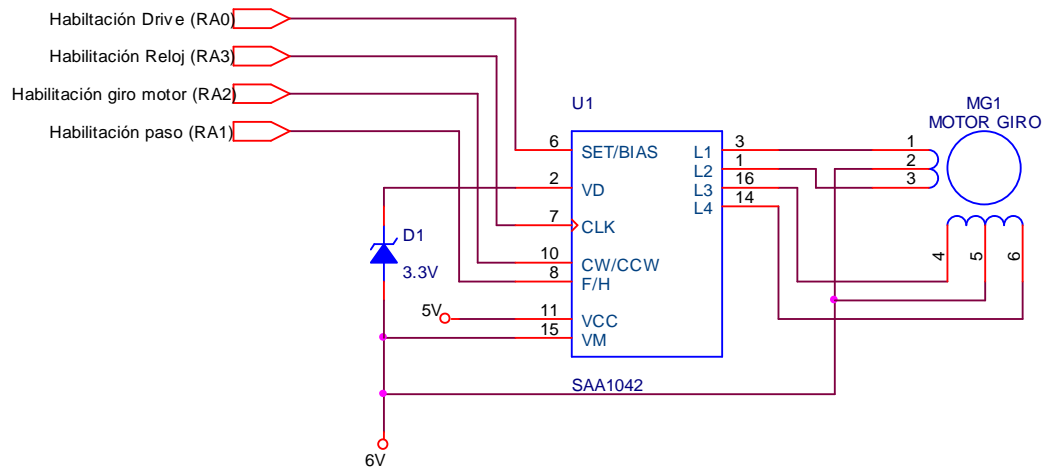


FIGURA 2.4 (Diagrama de conexión del drive SAA1042 y el motor PaP)

2.2. CONFIGURACIÓN DE LOS PUERTOS DEL PIC 16F84

El PIC16F84A estará configurado como se muestra en la figura 2.5.

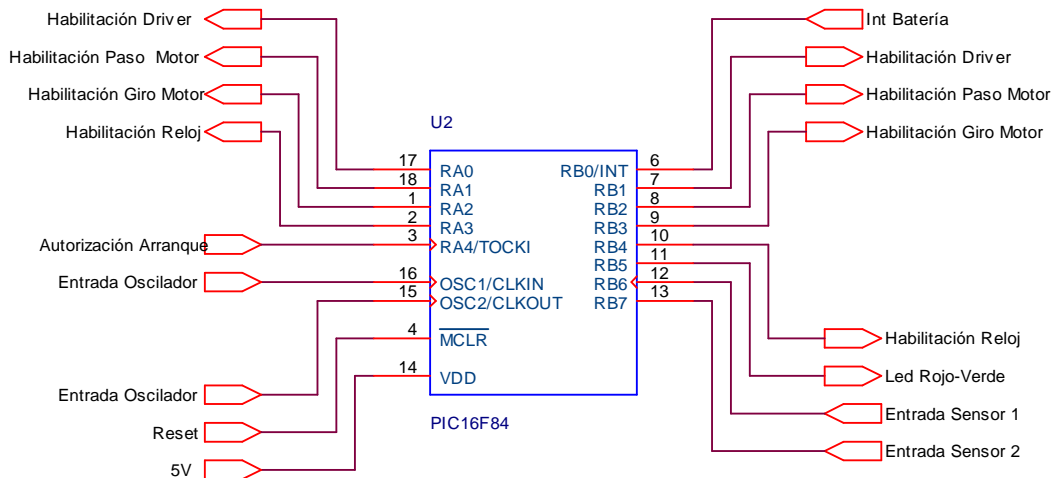


FIGURA 2.5 (Configuración Puertos del PIC 16F84)

- El terminal 4, que es el reset, se configura como reset automático siguiendo las informaciones del fabricante. Se le añadirá un pulsador que hará el reset a nuestra voluntad y un led con su resistencia limitadora como elemento de señalización. El pulsador pondrá a cero voltios el terminal provocando el reset del microcontrolador y encenderá un led verde.
- El terminal 3, que es el llamado RA4/T0CKI, se usará como entrada al contador TM0. El contador se configurará con la entrada para activarse como contador de impulsos de flanco de bajada, por tanto configuraremos una red RC conectada que provocará el flanco de bajada al pulsarse el botón de autorización y tal situación se señalará con un led naranja. Este contador una vez pasado el reset y una vez configurados todos los registros relacionados con él estará preparado para autorizar el funcionamiento del prototipo móvil.
- Los terminales 15 y 16 son los llamados CLKOUT y CLKIN, en los cuales se conectarán los condensadores de 27 pF y el cristal de cuarzo de 4 MHz para hacer oscilar el reloj del microcontrolador.
- El terminal 6, que es el llamado RB0/INT, se configurará como entrada de la interrupción INT. Se posicionarán los registros ligados a ella para actuar en flanco de bajada. Esta interrupción nos informará del estado de las baterías, es decir si las mismas se agotan el PIC 16F84 desconectará los dos motores y permitirá señalar tal situación mediante el parpadeo alternativo de dos leds conectados en la salida RB5.
- El terminal 11, llamado RB5, se configurará como salida para activar dos leds en contrafase, que nos servirán como señalización de cualquier anomalía que queramos advertir.
- El terminal 12 y 13, llamados RB6 y RB7, se configurarán como entradas para recibir el estado de los sensores ópticos.

- Los terminales 2, 1, 18 y 17, llamados RA3, RA2, RA1 y RA0, se posicionarán como salidas para controlar el circuito integrado encargado del funcionamiento del motor de giro. RA3 controla el reloj, RA2 el sentido de giro, RA1 paso completo o medio paso y RA0 la conexión del motor o no.
- Los terminales 10, 9, 8, 7, llamados RB4, RB3, RB2 y RB1, se posicionarán como salidas para controlar el circuito integrado encargado del funcionamiento del motor de arrastre. RB4 controla el reloj, RB3 el sentido de giro, RB2 paso completo o medio paso y RB1 la conexión del motor o no.

2.3. SENSORES ÓPTICOS CNY70 Y DISPARADORES

El sensor CNY 70 está compuesto por un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor, encapsulados en paralelo para hacerlos funcionar por reflexión, el circuito donde se desplazará el móvil será una lámina blanca en la cual se adherirá una cinta de color negro.

La luz emitida será reflejada por el color blanco y absorbida por el color negro, por lo tanto el diodo emisor funciona de forma continua, el fototransistor montado como seguidor de señal recibirá el haz de luz según el color de la superficie. Si el color detectado es blanco el transistor conduce y en el emisor habrá aproximadamente 5V. Si el color detectado es negro el transistor está en corte y la tensión del emisor será de cero voltios aproximadamente.

Para detectar estas variaciones de voltajes en el emisor del fototransistor, que en consecuencia representan el color blanco 1L y color negro 0L, se ha implementado un circuito comparador de voltajes, que permitirá asegurar que en los pines del PIC 16F84 destinados para la lectura de los sensores CNY 70 tengan los valores lógicos de voltaje.

Con lo explicado anteriormente vamos a explicar el circuito comparador que hemos diseñado, consta de dos comparadores (figura 2.6)

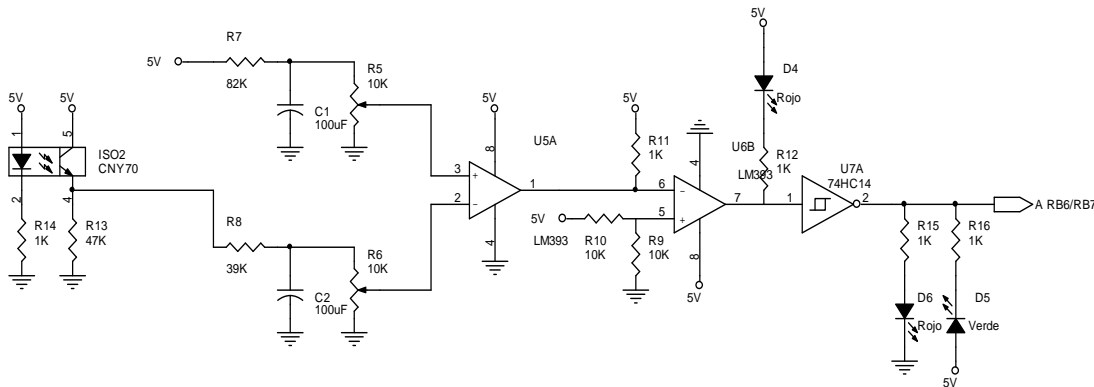


FIGURA 2.6 (Conexión sensores ópticos comparadores y disparadores 74HC14)

Entonces:

I_2 = Corriente de la pata negativa del comparador 1

I_3 = Corriente de la pata positiva del comparador 1

I_e = Corriente de emisor

V_e = Voltaje de emisor

V_2 = Voltaje en la pata negativa del comparador 1

V_3 = Voltaje en la pata positiva del comparador 1

$$V_e = I_e \times R_e$$

$$5 = I_e \times 47K$$

$$I_e = \frac{5}{47K}$$

$$I_e = 106.4 \mu A$$

Con el transistor en saturación (Color blanco).

$$5 = 39K \times I_2 + 10K \times I_2$$

$$I_2 = \frac{5}{39K + 10K} = 102.04 \mu A$$

Entonces I_t (Corriente total).

$$I_t = 106.4\mu A + 102.04\mu A = 208.44\mu A$$

V_x es el voltaje total que cae sobre el potenciómetro R6.

$$5 = 3.97V + V_x$$

$$V_x = 1.02V$$

Si $V_2 = 0.8 V$ y $R_2 = 8k$, entonces se obtiene el siguiente valor para R_1 (Parte del Potenciómetro R6).

$$0.8 = \frac{8K}{8K + R_1} \times 1.02$$

$$R_1 = 2.2K$$

Con el transistor en corte (Color negro).

$$0 = 39K \times 0\mu A + V_x$$

$$V_x = 0V$$

Cálculo del valor del Potenciómetro R5.

V_x , es el voltaje total que cae sobre el potenciómetro R5

$$V_x = \frac{10K}{10K + 82K} \times 5$$

$$V_x = 0.54V$$

$V_3 = 0.4V$ y $R_2 = 7.5K$, entonces se obtiene el siguiente valor para R_1 (Parte del Potenciómetro R5).

$$0.4 = \frac{7.5K}{7.5K + R_1} \times 0.54$$

$$R_1 = 2.63K$$

El primer comparador tiene el terminal 2 (negativo) conectado al emisor del sensor CNY70, por medio de un divisor de tensión (Potenciómetro). El terminal 3 (positivo), está conectado también a un divisor de voltaje (Potenciómetro) cuya finalidad es regular la caída de tensión en las mencionadas patillas de los comparadores de voltaje

Entonces cuando el voltaje en el terminal 2 (negativo) del primer comparador se encuentre en 0,00V, nos indicará que el color detectado por el sensor CNY70 es el negro, porque el transistor se encuentra en corte y por lo tanto el voltaje en el emisor es 0,00V que comparado con el voltaje de referencia 0,4V del terminal 3 (positivo), tendremos a la salida en este comparador un voltaje positivo de saturación del mismo, aproximadamente 5V, para otros valores de voltaje el color detectado por el sensor CNY70 será el blanco.

El segundo comparador es usado como un disparador más rápido. En el terminal 6 (negativo), está conectada la salida del primer comparador. En el terminal 5 (positivo), está conectado un divisor de tensión cuyo valor es de 2,5 voltios. Al cambiar de estado la salida del primer comparador de 0L a 1L, la salida del segundo comparador cambiara de 1L a 0L.

Es decir cuando los sensores CNY70 detecten el color negro, el voltaje de salida del primer comparador será de 5V, como este voltaje es mayor al voltaje referencial 2.5V del segundo comparador, tendremos un voltaje de salida de 0V, permitiendo que el led rojo a la salida del segundo comparador se encienda, indicándonos que se ha censado el color negro, este 0L es filtrado por el circuito disparador 74HC14, que filtra la señal presente en la salida del segundo comparador e invierte la señal.

A la salida del disparador 74HC14 están conectados dos leds en contratase para señalar si el prototipo móvil va bien o mal guiado. El verde nos indicará que va bien y el rojo que va por mal camino, es decir la lógica para seguir la línea será la siguiente:

Un 1L en la salida del disparador 74HC14 y led verde encendido: BIEN

Un 0L en la salida del disparador 74HC14 y led rojo encendido: MAL.

TABLA 2.1 (Comparadores de Voltaje)

	Primer Comparador		Segundo Comparador			
Color	Vin(-)	Vref(+)	Vo ₁	Vin(-)	Vref(+)	Vo ₂
Blanco	0.80	0.40	0L	0	2.5	1L
Negro	0.00	0.40	1L	5	2.5	0L

Nota: Todos los valores están dados en voltios, a excepción de Vo₁ y Vo₂

2.4. CIRCUITO DE BATERÍA AGOTADA

Este circuito es idéntico al anteriormente explicado, consta de dos comparadores, el primero tiene en el terminal 2 (negativo) conectado a un divisor de tensión (Potenciómetro), que se ajustará a la tensión mínima a la cual deseamos que llegue a la batería en su descarga. El divisor de tensión lo hemos ajustamos a 0.3 voltios.

El terminal 3 (positivo) del comparador está conectado a un divisor de tensión (Potenciómetro), cuyo valor lo hemos ajustado 0.4 voltios, al ir descendiendo la tensión de la batería y acercarse a 0,4 voltios el comparador conmutará su salida de 0 voltios a 5 voltios.

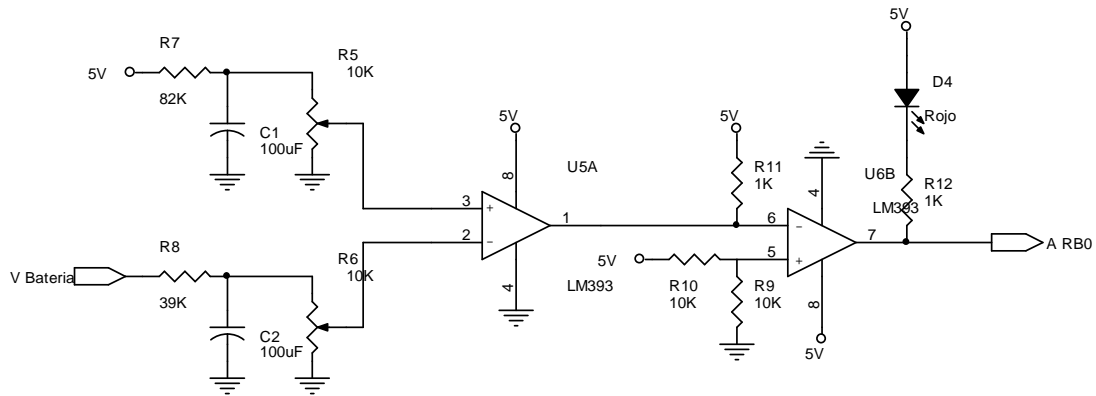


FIGURA 2.7 (Circuito batería agotada)

$V_B = 9.6\text{ V}$, Voltaje en la batería.

V_x , es el voltaje total que cae sobre el potenciómetro R_6

$$V_x = \frac{10K}{10K + 39K} \times 9.6$$

$$V_x = 1.95V$$

Si $V_2 = 0.3$ y $R_2 = 1.5K$, entonces se obtiene el siguiente valor para R_1 (Parte del Potenciómetro R_6).

$$0.3 = \frac{1.5K}{1.5K + R_1}$$

$$R_1 = 8.25K$$

Cálculo del valor del Potenciómetro R_5 .

V_x , es el voltaje total que cae sobre el potenciómetro R_5

$$V_x = \frac{10K}{10K + 82K} \times 5$$

$$V_x = 0.54V$$

$V_3 = 0.4V$ y $R_2 = 7.5K$, entonces se obtiene el siguiente valor para R_1 (Parte del Potenciómetro R_5).

$$0.4 = \frac{7.5K}{7.5K + R_1} \times 0.54$$

$$R_1 = 2.63K$$

En base a estos cálculos se considerara batería agota, cuando su valor llegue a 7.6 V aproximadamente.

El segundo comparador es usado como un disparador más rápido. En el terminal 6 está conectada la salida del primer comparador. En el terminal 5 está conectado un divisor de tensión cuyo valor es de 2,5 voltios. Al ir agotándose la batería hemos dicho anteriormente que la salida del primer comparador pasa a 5 voltios, con lo que la salida del segundo comparador pasa de 5 voltios a 0 voltios.

Este cambio es un flanco de bajada que detecta el microcontrolador en su entrada de interrupción INT y que provoca una interrupción, donde se determina desconectar los dos motores.

El diagrama del circuito de control del robot móvil, se encuentra detallado en su totalidad en el anexo 2.

2.5. PROGRAMA DE CONTROL

En esta sección se va a describir el software que rige el funcionamiento del prototipo móvil. Este programa almacenado en la memoria del PIC 16F84 es el que gobierna las acciones que realiza el vehículo en función de las señales recibidas procedentes del sistema sensorial.

2.5.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

Éste diagrama de bloques representa en sí, cada uno de los sistemas bien definidos que tendrá el robot móvil, que en conjunto cumplirán una sola tarea, la que es, rastrear un camino negro sobre un fondo blanco.

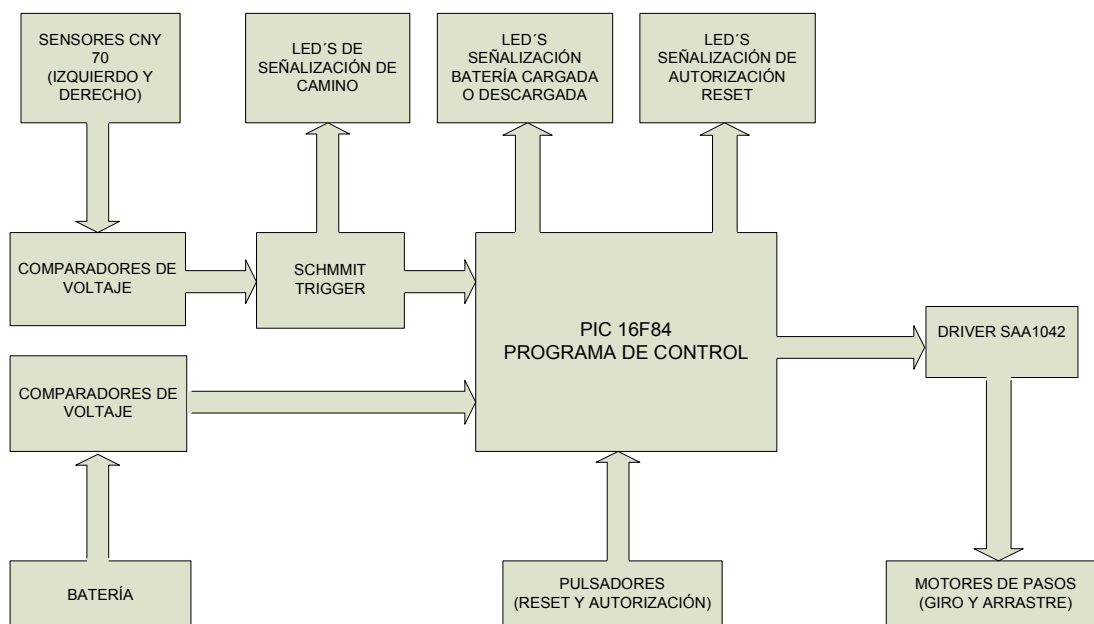


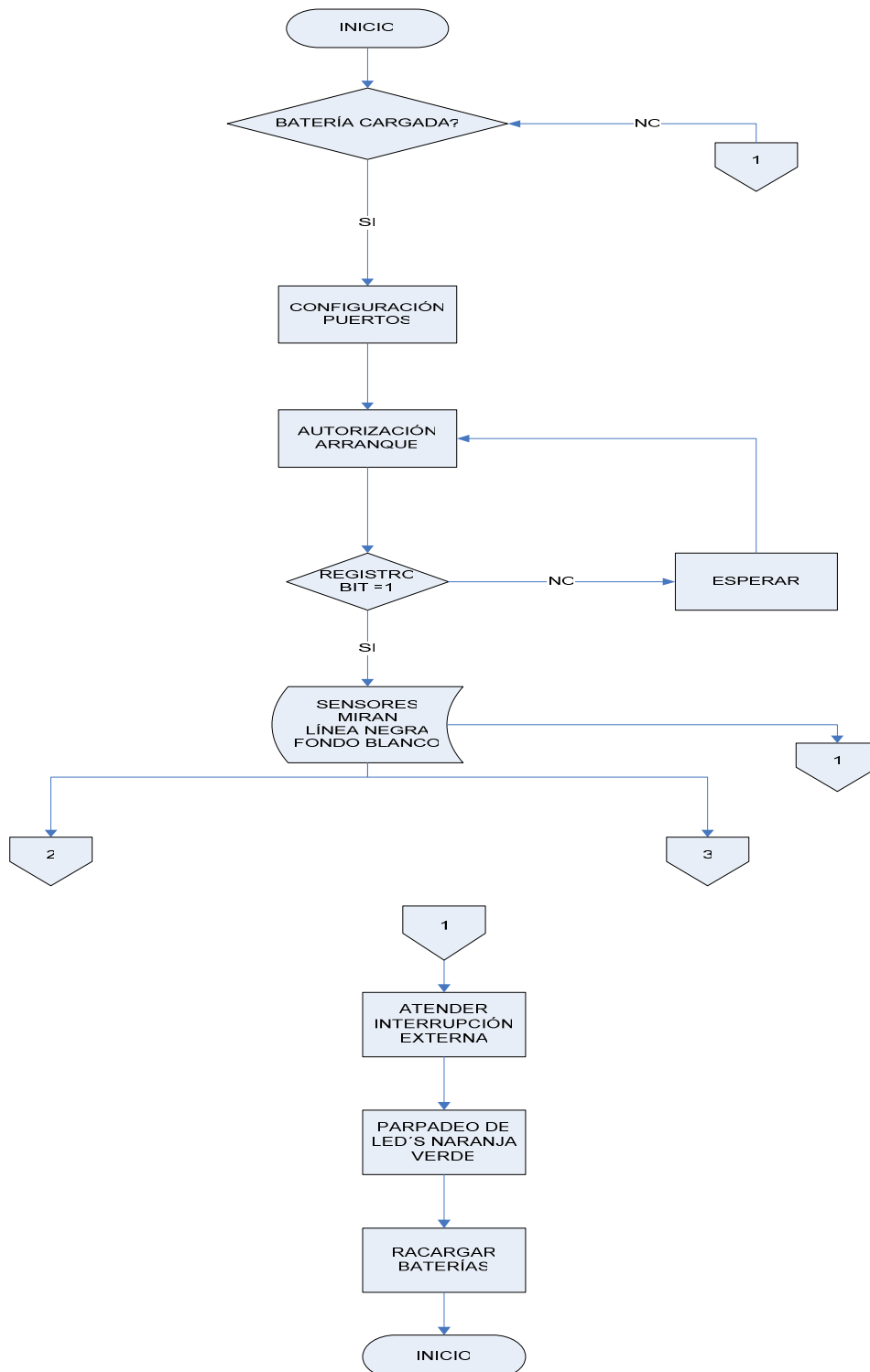
FIGURA 2.8 (Diagrama de bloques)

2.5.2. EL SOFTWARE DE CONTROL

El lenguaje de programación que se ha utilizado para desarrollar el software de control del móvil es el assembler, por tal razón hemos elegido el programa simulador de PIC's, PIC Simulator IDE. Se ha decidido utilizar este programa simulador de PIC's, porque es fácil de utilizar y su entorno es muy familiar para nosotros.

Para empezar a explicar la programación del PIC 16F84 que constituye el cerebro del móvil, en primera instancia hemos realizado un diagrama de flujo (Figura 2.9), que a continuación vamos a explicar para que el lector tenga una idea más

precisa del como va a funcionar y a reaccionar el software del prototipo móvil en una situación real.



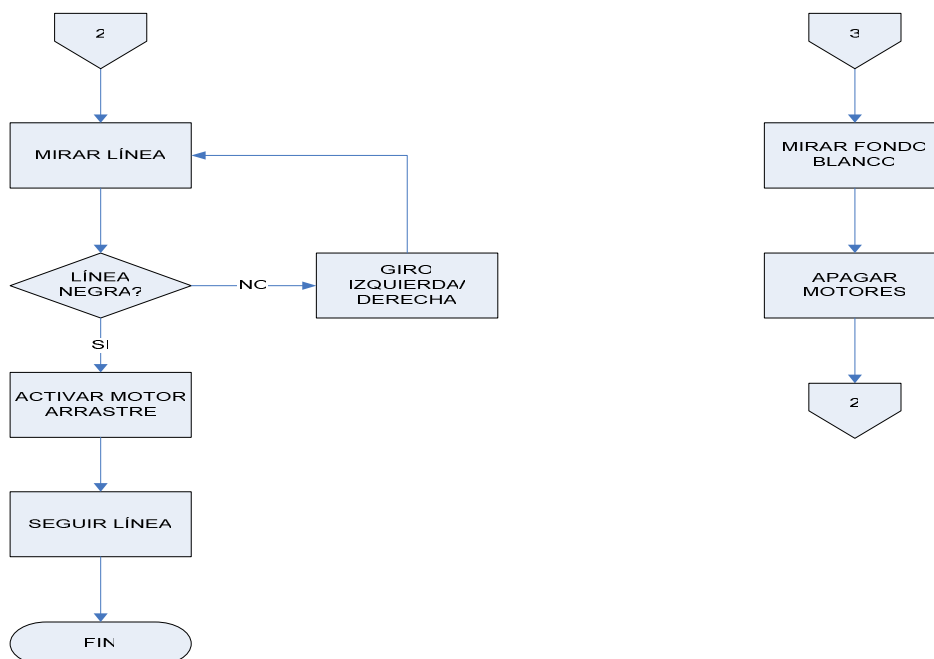


FIGURA 2.9 (Diagrama de Flujo del Software de Control)

En la primera fase de la programación del PIC 16F84, se realizan todas aquellas configuraciones que tienen que ver con los puertos del PIC, de acuerdo a las necesidades del hardware (figura 2.5) y además también se configura todos aquellos registros que utilizará el PIC 16F84, como son el registro ESTADO, el registro OPTION, el registro INTCON, para que de esta forma le permita al móvil atender la autorización de arranque y la detección de su batería baja, todo lo mencionado anteriormente controlado por interrupciones programadas en el PIC y además que también le faculten a recibir información de los sensores ópticos de infrarrojo CNY70 que en consecuencia controlan a los motores de paso (giro y arrastre), permitiendo al prototipo móvil desplazarse por el camino negro sobre fondo blanco y así conseguir el objetivo planteado en el desarrollo de este proyecto.

Ahora bien, explicaremos lo que sucedería con el prototipo móvil en una situación real, basándonos en el diagrama de flujo de la figura 2.9, como se dijo anteriormente el PIC 16F84 y por consecuencia el móvil está en la capacidad de verificar el estado de la batería, comprobando el estado del pin 6 del PIC, si éste

pin está en un valor de 0L, automáticamente el PIC atenderá la interrupción externa, provocada por el bajo estado de la batería, mostrándonos de forma visual mediante el parpadeo de los led's (Rojo, Verde), conectados en contratase al pin 11.

Estos led's parpadea a un periodo de 500ms, según la temporización que hemos programado en el PIC, indicándonos que hay que recargar la batería para empezar a ejecutar las demás instrucciones, sucede todo lo contrario cuando la batería está cargada, es decir no existe el parpadeo de los led's conectados al pin 11.


Superado el estado de la batería, se prosigue a configura los demás registros de propósito general (SFR's) a ser utilizados en las diferentes temporizaciones de las rutinas y subrutinas, también se configuran todos los puertos que dispone el PIC 16F84 de acuerdo a necesidades del hardware (figura 2.5) y los registros que permiten o prohíben las interrupciones.

Para autorizar al prototipo móvil ha realizar su trabajo de rastrear la línea negra sobre el fondo blanco, se utiliza un registro de propósito general en este caso lo hemos nombrado BIT, si este registro se carga con 1H, el móvil está autorizado a desplazarse por el camino negro, caso contrario, si el mencionado registro se encuentra cargado con 0H, el móvil esperará la orden de autorización.

Si el móvil ha sido autorizado entonces los puertos RB6 y RB7 que reciben el estado de los sensores ópticos de infrarrojos CNY70, deciden la orientación izquierda o derecha de la llanta guía del móvil, los sensores infrarrojos se comportan como se muestra en la tabla 2.1.

TABLA 2.1 (Comportamiento de los sensores ópticos de infrarrojo)

S2	S1	DISPARADOR	RB7	RB6	ACCIÓN
0	0		1	1	Seguir Línea
0	1		1	0	Giro Izquierda
1	0		0	1	Giro Derecha

1	1		0	0	Detener (Fondo Blanco)
---	---	---	---	---	------------------------

En el caso de que la batería del móvil se agotara en el proceso del rastreo de la línea negra, el puerto RB6 pasará a un estado de 0L, indicándole al PIC 16F84 que atienda una interrupción externa proveniente de la batería, (sucede igual como se describió en el numeral 2.4), entonces los led's que están conectados al puerto RB5 empezarán a titilar a un periodo de 500ms, indicándonos de forma visual que el estado de la batería esta agotada, para superar el estado de batería agotada hay que cambiar o recargar la batería del móvil.

2.5.3. MUESTRA DEL PROGRAMA DE CONTROL GRAFICAMENTE

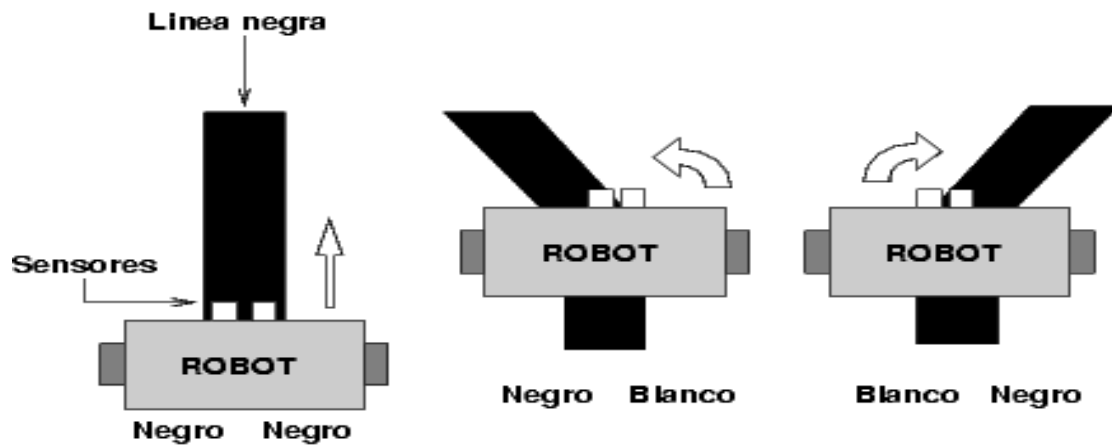


FIGURA 2.10

En la figura 2.10, podemos entender con más claridad el propósito de los sensores ópticos de infrarrojo CNY 70 que vienen a ser los ojos del móvil, es así que cuando los sensores derecho e izquierdo leen **negro**, el robot móvil debe avanzar, cuando llega una curva a la izquierda, uno de los sensores se saldrá y el otro permanecerá dentro de la línea, leyéndose **negro-blanco**, en ese caso el robot móvil girará hacia la izquierda y cuando haya una curva hacia la derecha, los sensores leen **blanco-negro**, por lo que el robot móvil girará hacia la derecha, de esta manera se desplazará el robot móvil siguiendo el camino negro del circuito en el cual esta actuando.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO Y ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO MÓVIL

3.1. DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

Cuando ya hemos logrado el diseño óptimo del circuito de control (anexo 2) y además de eso lo hemos probado en un protoboard el funcionamiento del circuito, a continuación viene el diseño del circuito impreso, como el diagrama del circuito de control tiene un buen número de elementos electrónicos (resistencias, condensadores, leds, etc.), hemos decidido realizar un circuito impreso a dos caras como se puede ver en el anexo 4.

Para realizar el diseño del circuito impreso hemos utilizado un programa ruteador que viene en el paquete del software PROTEL, que para nosotros es bastante familiar, puesto que ya hemos trabajado con este software obteniendo buenos resultados. A continuación mostramos la tarjeta del circuito impreso con todos sus elementos soldados y lista para ser probada.

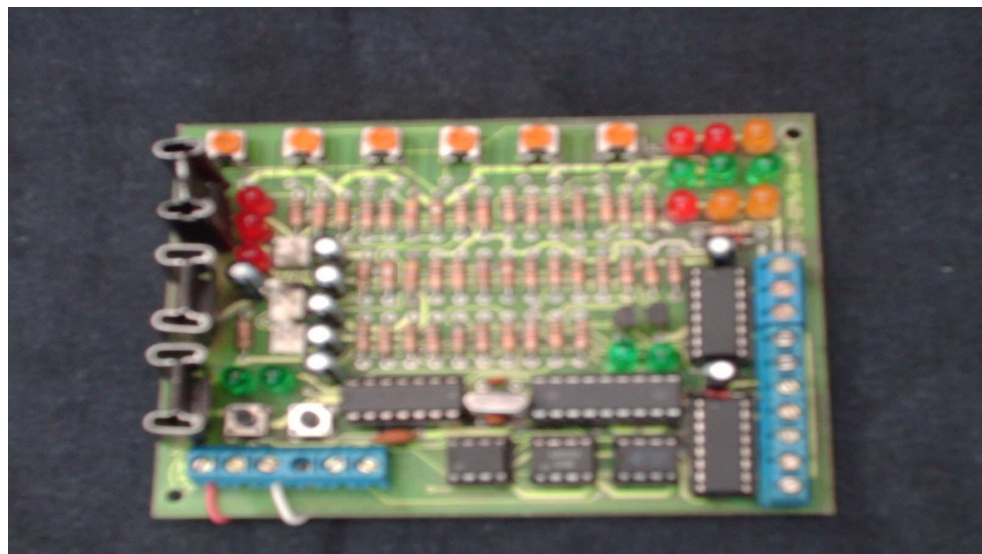


FIGURA 3.1 (Tarjeta de control del robot móvil)

3.2. CONTRUCCIÓN DEL ROBOT MÓVIL

3.2.1. TREN DE ENGRANAJES Y SISTEMA DE ARRASTRE DEL ROBOT MÓVIL

Primero definiremos lo que son los engranajes, en general, son cilindros con resaltos denominados dientes, conformando ruedas dentadas (Figura 3.2), las que permiten, cuando giran, transmitir el movimiento de rotación entre sus árboles o ejes colocados a una distancia relativamente reducida entre sí. Esta transmisión se realiza mediante la presión que ejercen los dientes de una de las ruedas, denominada motora sobre los dientes de la otra rueda, denominada conducida, cuando engranan entre ambas, estando durante el movimiento en contacto varios dientes sin choques ni interferencias que lo impidan o entorpezcan.

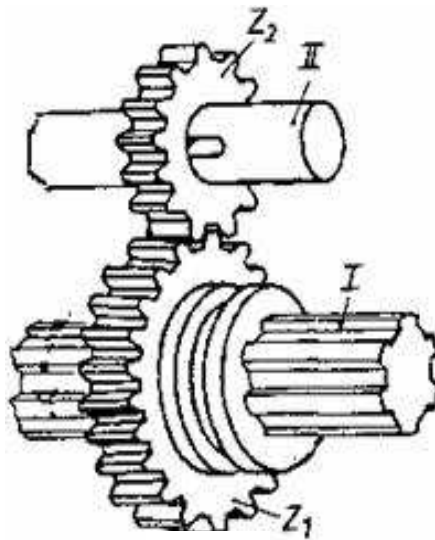


FIGURA 3.2 (Engranajes)

Ahora bien, el motor es el dispositivo que hace moverse al robot móvil y su movimiento de rotación ha de transmitirse a las ruedas. Esto se consigue mediante la transmisión, que está formada en nuestro caso por un tren de engranajes (piñón, engranaje loco y corona), el piñón está unido al motor y la

corona directa a las ruedas.

Pero para que el motor de arrastre, venza la resistencia inicial y desplace al robot móvil, hay que considerar la relación de dientes de la corona y el piñón del motor. Para lograr lo anteriormente mencionado, hay que disminuir el número de vueltas de las ruedas con relación a las vueltas que da el piñón del motor, a ésta relación se la denomina relación de desmultiplicación.

Para conseguir la desmultiplicación se utiliza una corona que tenga más dientes que el piñón, por ejemplo, en nuestro caso estamos utilizando un piñón de 13 dientes y una corona de 80, al dividir 13 entre 80 obtenemos $1/6$ aproximadamente, que indica que por cada vuelta que dé el motor las ruedas darán $1/6$ de vuelta. En este caso se dice que la relación de desmultiplicación es de 6:1, que son las vueltas que ha de dar el motor para que las ruedas den 1 vuelta. Dicho de otro modo: cada giro del motor se reduce en 6 veces y en la misma proporción aumenta la fuerza, por lo tanto si expresamos la desmultiplicación en fórmula, tendríamos:

$$\text{Desmultiplicación final} = (\text{N}^\circ \text{ de dientes corona} / \text{N}^\circ \text{ de dientes piñón})$$

Con lo anteriormente desarrollado hemos conseguido que nuestro robot móvil venza la fuerza inicial, porque la fuerza con la que girarán las ruedas será de 6 veces más la fuerza con la que gira el piñón del motor y además también hemos logrado armar el sistema de arrastre que impulsará y desplazará al robot móvil por la trayectoria que indicará el sistema de dirección del mismo.

A continuación se muestra en la figura 3.3 el conjunto tren de engranajes y sistema de arrastre de nuestro robot.

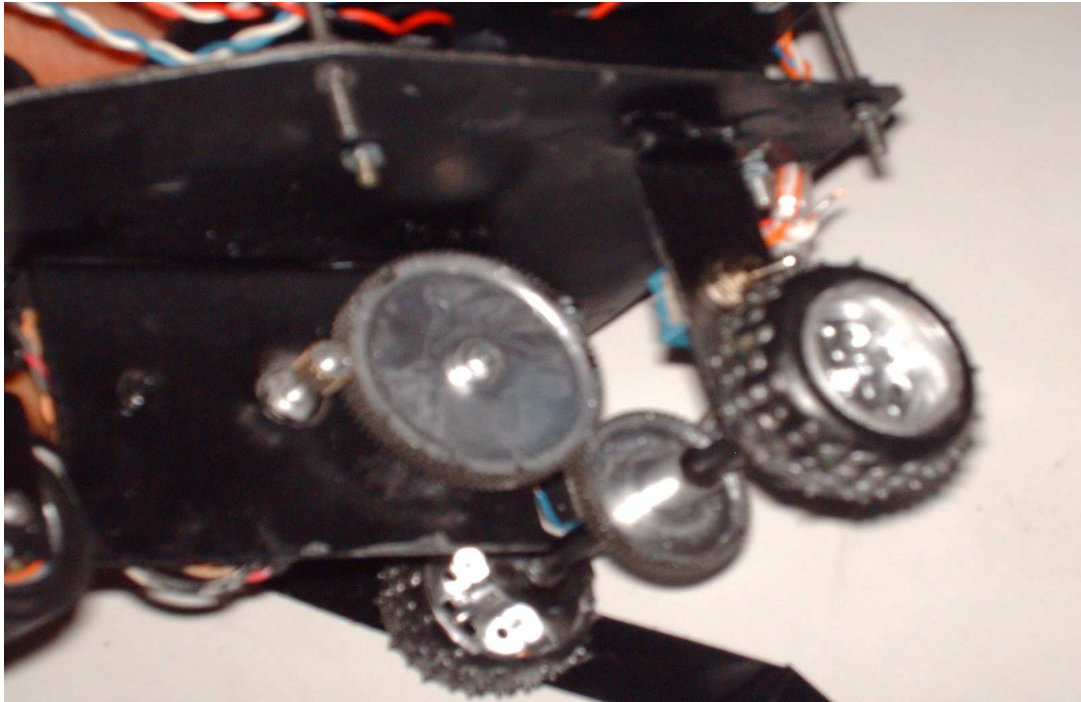


FIGURA 3.3 (Conjunto engranajes y sistema de arrastre del robot móvil)

3.2.2. SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL ROBOT MÓVIL

El sistema de dirección es el más simple posible. Para poder transmitir el movimiento del motor a la rueda de dirección, de la forma más directa, se realiza una unión entre el eje del motor con el eje de la estructura de la rueda mediante un alargamiento que se ajuste con los ejes de cada uno. El motor va en la superficie superior proyectando su eje al suelo perpendicularmente.

La rueda va sujeta en una estructura en forma de “ U “, de tal manera que le permita girar libremente hacia la izquierda o la derecha y además le permita rodar con la menor resistencia posible al momento que perciba el impulso de las llantas traseras, la conformación de este sistema de direccionamiento se puede apreciar en la figura 3.4.

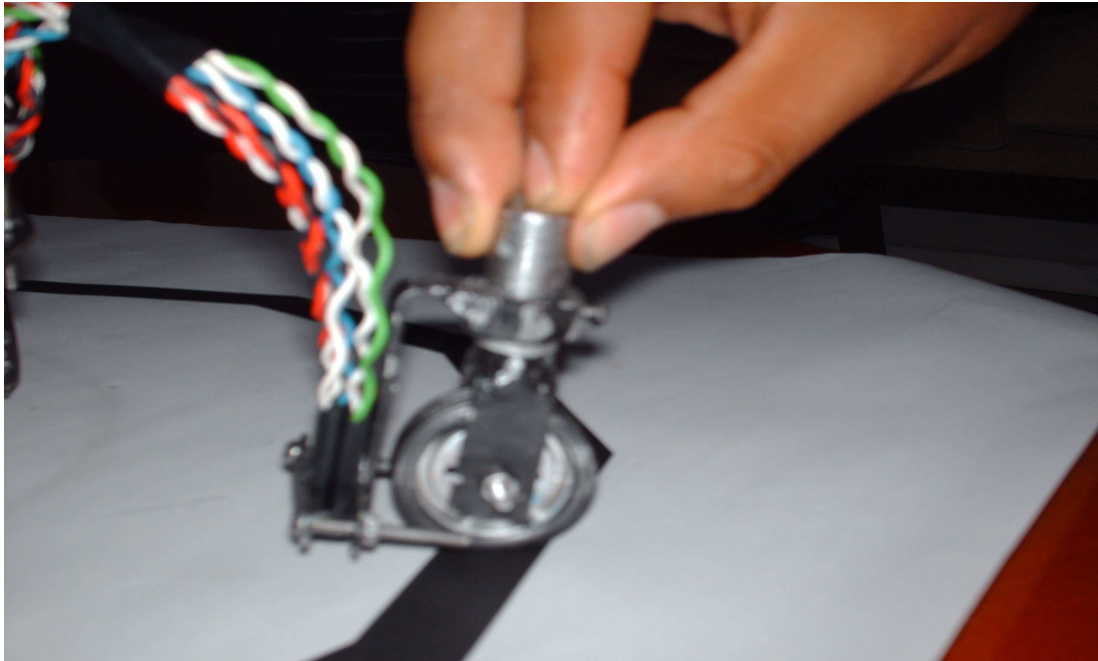


FIGURA 3.4 (Sistema de direccionamiento del robot móvil)

3.2.3. SISTEMA SENSORIAL DEL ROBOT MÓVIL

El sistema sensorial del robot móvil está conformado por dos sensores ópticos infrarrojos CNY70, los cuales van en la parte delantera del móvil a una distancia de separación de la llanta guía de aproximadamente 4 mm. y además también se consideró la distancia sugerida por el fabricante desde la superficie a los sensores, esta distancia es de 3mm, de esta forma se garantiza que los sensores distingan los colores blanco y negro, permitiendo al robot móvil seguir la pista.

A continuación mostramos la fotografía del sistema sensorial del robot móvil:

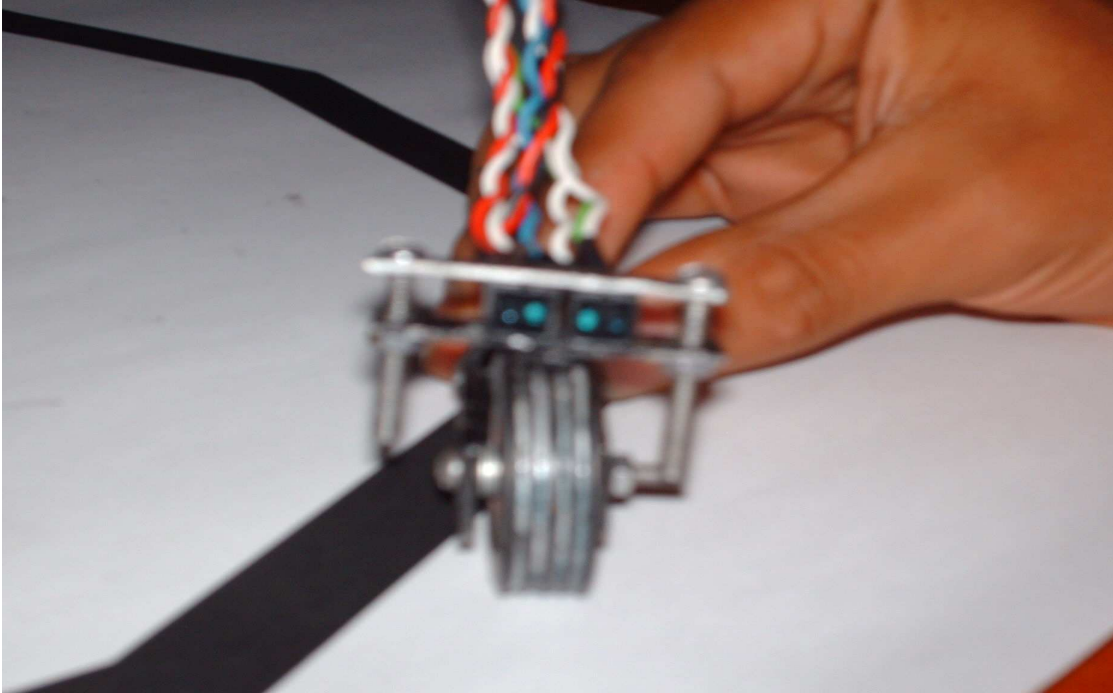


FIGURA 3.5 (Sistema sensorial del robot móvil)

3.2.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL ROBOT MOVIL

La fuente de alimentación esta constituida por ocho pilas recargables cada una de 1.2 V a 250 mA, conectadas en serie las cuales sirven para alimentar a todo el circuito del robot móvil.

El diagrama de conexión de las pilas recargables es el que se muestra a continuación.

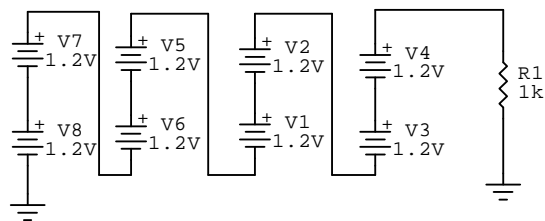


FIGURA 3.6 (Diagrama de conexión de las baterías)



FIGURA 3.7 (Baterías montadas en el robot móvil)

3.2.5. PISTA DE PRUEBA

La pista la hemos diseñado en AutoCad, tomando en cuenta el ancho de los dos sensores ópticos de infrarrojo CNY70 que es de alrededor de 1.7 cm, entonces hemos decidido dibujar el ancho de la pista de 2 cm, para evitar que los dos sensores se salgan al mismo tiempo del camino negro en las curvas, con el ancho de la pista considerado anteriormente garantizamos que el robot móvil recorra la pista sin inconvenientes.

La pista de prueba que recorrerá el robot móvil es la siguiente:

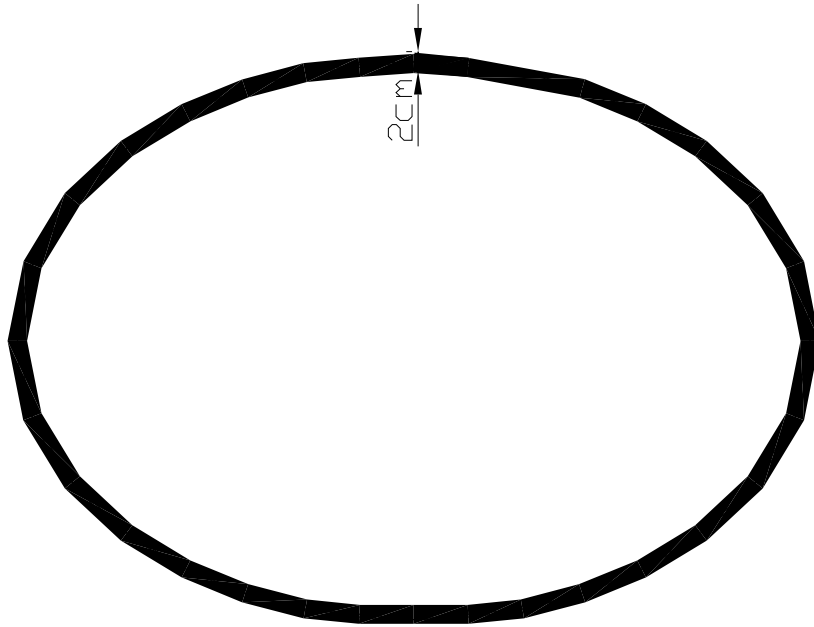


FIGURA 3.8 (Pista de prueba para el robot móvil)

3.2.6. CONCLUSIONES

- Se logró construir la estructura necesaria para montar los motores PaP, sensores infrarrojos, baterías y la placa electrónica, los cuáles en conjunto permiten al móvil rastrear una línea negra sobre un fondo blanco.
- Con el estudio del sensor óptico de infrarrojo CNY 70, hemos logrado adecuarlo a nuestro proyecto de tal manera que montado en la estructura del móvil le permite a éste distinguir el color negro del blanco, guiándolo por el camino trazado.
- Con el estudio de las características de los motores PaP, se logró elegir el driver mas adecuado para el control de dichos motores e implementarlos como un motor de arrastre y el otro de dirección.
- Hemos logrado desarrollar un programa para el PIC 16F84, con una lógica sencilla, ayudados con el software de simulación que facilitó en cierta forma el desarrollo del programa para el control de los motores PaP y sensores ópticos de infrarrojo CNY 70.
- Determinamos que el espesor de la pista no influye en el reconocimiento del camino que sigue el móvil, así como también que cualquier otro color que no sea negro, los sensores CNY 70 lo reconocerán como blanco.

3.2.7. RECOMENDACIONES

- Hacer el desplazamiento del móvil más rápido, para lo cual se debería implementar un motor de corriente continua, para sustituir el motor PaP de arrastre, cuya velocidad sea controlada por PWM a través de un PIC que permita mediante su programación controlar este parámetro.
- Hacer que el móvil sea capaz de esquivar obstáculos que se encuentren dentro del camino a seguir, implementado sensores de ultrasonido y por consiguiente modificando en parte la programación del PIC.
- Realizar la programación del PIC en un lenguaje diferente, como por ejemplo el lenguaje Basic, C, Visual C, etc, que quizá facilite la misma, simplificando el programa de aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

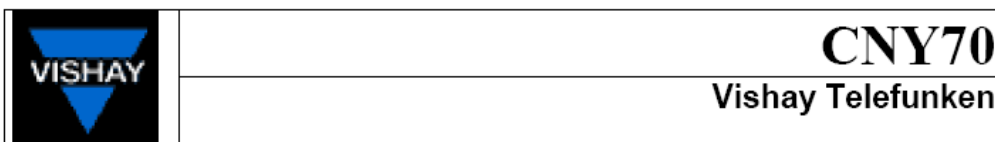
- Angulo Usategui. José M. (2000). *Robótica Práctica*. Editorial Paraninfo. México.
- Angulo Usategui. José M. (2000). *Microcontroladores diseño práctico de aplicaciones*. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Ollero Aníbal. (2001). *Robótica, manipuladores y robots móviles*. Editorial Marcobo. España.

PÁGINAS WEB

- http://perso.wanadoo.es/luis_ju/pic3/pic3_04.html (Interrupciones del PIC 16F84).
- http://perso.wanadoo.es/luis_ju/sensor/ir.html (Emisión y recepción de infrarrojos).
- <http://www.x-robotics.com/sensores.htm> (Sensores).
- http://www.uhu.es/manuel_sanchez/tutoriales/protel99/protel99.html (Tutoriales PROTEL).
- <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm> (Motores de Pasos).
- <http://fai.unne.edu.ar/contenido/4ENGRANAJES.htm> (Engranajes)
- <http://www.microchip.com> (PIC 16F84)
- redraven.garcia-cuervo.com/zip/68HC11_Acc_ENC_CNY70.pdf(Sensor CNY 70)
- <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM393.pdf>(Comparador del voltaje LM393)
- http://www.learobotics.com/personal/ricardo/articulos/diodos_led/index.html (Diodo LED's)

ANEXOS

ANEXOS No 1
HOJAS DE DATOS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS

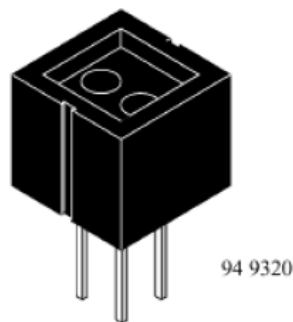


El Sensor Óptico reflexivo con salida a Transistor

Descripción

El CNY70 es un sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta donde el emisor de luz y el receptor se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo sobre el objeto.

La longitud de onda de trabajo es 950nm. El detector consiste en un fototransistor.



Aplicaciones

Escáner optoelectrónico y detector de movimiento de objetos es decir, sensor de índice, lectura de discos codificados etc., (codificador optoelectrónico montado como sensor de cambio de marcha)

Características

La construcción compacta con distancia de del centro-a-centro de 0.1 "

(pulgadas) entre emisor y receptor

No necesita ningún ambiente especial

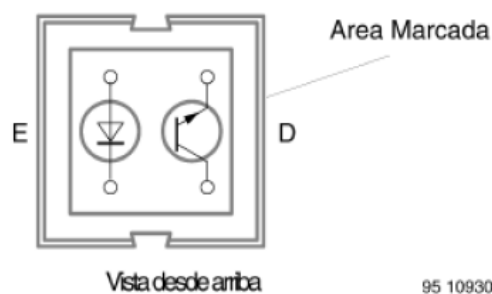
Señal de salida alta

El coeficiente de temperatura bajo

Detector provista de filtro óptico

El ratio de corriente de transferencia

(CTR) típico es del 5%



Indicaciones de Medida

Código	Distancia del sensor	Comentarios
CNY70	0,3 mm	

Valores máximos absolutos

Entrada (Emisor)				
Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Valor	Unidades
Tensión Inversa		V_R	5	V
Corriente Directa		I_F	50	mA
Corriente directa de Sobretensión	$T_p < 10 \mu s$	I_{FSM}	3	A
disipación de Potencia	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	P_V	100	mW
Temperatura de la unión		T_j	100	$^\circ C$

Salida (Detector)				
Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Valor	Unidades
Tensión Colector Emisor		V_{CEO}	32	V
Tensión Colector Emisor		V_{ECO}	7	V
Corriente de Colector		I_C	50	mA
Disipación de Potencia	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	P_V	100	mW
Temperatura de la unión		T_j	100	$^\circ C$

Acoplamiento				
Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Valor	Unidades
Disipación total del potencia	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	P_{tot}	200	mW
Rango de temperatura ambiente		T_{amb}	-55 a +85	$^\circ C$
Rango de temperatura de almacenamiento		T_{stg}	-55 a + 100	$^\circ C$
Temperatura de soldadura		T_{sd}	260	$^\circ C$

Características Eléctricas ($T_{amb} = 25^\circ C$)

Entrada (Emisor)						
Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Corriente Directa	$I_F = 50 \text{ mA}$	V_F		1.25	1.6	V

Salida (Detector)						
Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Tensión Colector Emisor	$I_C = 1 \text{ mA}$	V_{CEO}	32			V
Tensión Colector Emisor	$I_F = 100 \mu A$	V_{ECO}	5			V
Corriente de fuga	$V_{CE} = 20V, I_F = 0, E = 0$	I_{CEO}			200	nA

Acoplamiento						
Parámetro	Condiciones de Test	Símbolo	Min	Typ	Max	Unidades
Corriente de Colector	$V_{CE} = 5V, I_F = 20 \text{ mA}, D = 0.3 \text{ mm}$ (figura 1)	$I_C^{(1)}$	0.3	1.0		mA
Corriente cruzada de	$V_{CE} = 5V, I_F = 20$ (figura 1)	$I_{CX}^{(2)}$			600	nA
Tensión Colector Emisor de saturación	$I_F = 20 \text{ mA}, I_C = 0,1 \text{ mA}, d = 0.3 \text{ mm}$ (figura 1)	$V_{Cesat}^{(1)}$			0.3	V

(1) Medido con 'la tarjeta de prueba neutra de Kodak' el lado blanco con 90% de difusor reflectante

(2) Medido sin medio reflector

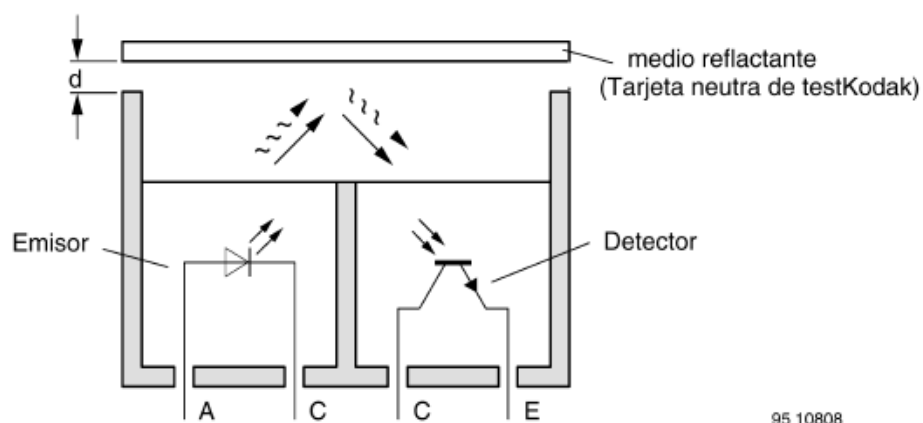


Figura 1.- Circuito de Test

Nuestras Notas de Aplicación:

Como ya hemos visto el CNY70 tiene cuatro pines de conexión que se corresponden con el emisor, colector del transistor y al ánodo y cátodo del diodo emisor, en la figura de las vistas donde se indica "Área Marcada", se muestra la inscripción con letras blancas del fabricante. Se pueden utilizar cualquiera de los siguientes montajes para su utilización que permiten obtener a la salida un nivel alto o un nivel bajo respectivamente cuando están activados por la reflexión del haz infrarrojo.

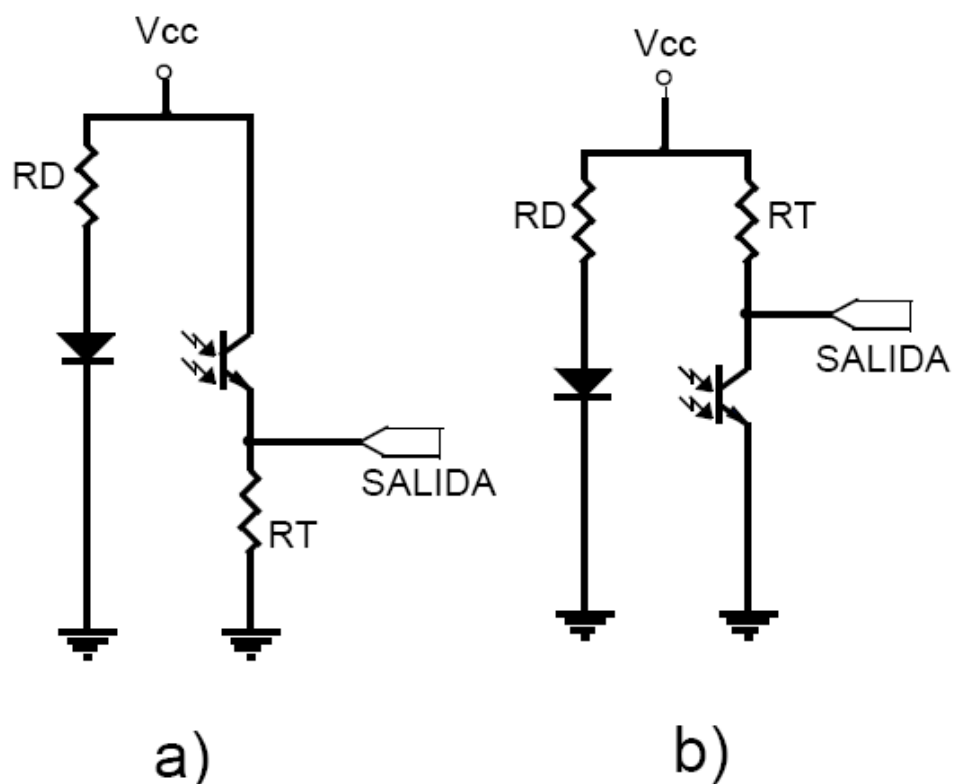
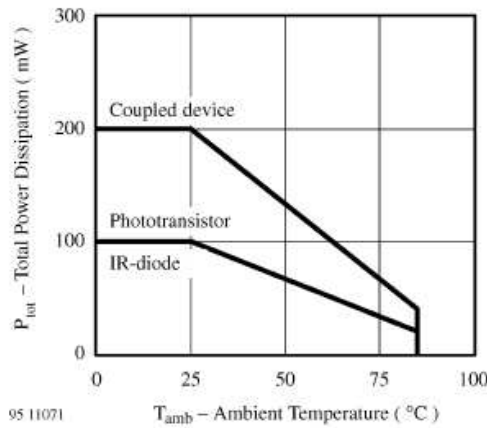


Figura 2.- Circuitos de aplicación

El circuito (a) entrega a la salida un nivel bajo cuando no refleja el haz infrarrojo y un nivel alto cuando encuentra un material sobre el que refleja el haz. El circuito (b) entrega un nivel alto cuando el haz no refleja y un nivel bajo cuando se detecta un material reflectante. Si la señal se quiere introducir a un microcontrolador es conveniente hacer pasar las salidas a través de un circuito trigger schmitt que conforme las señales.

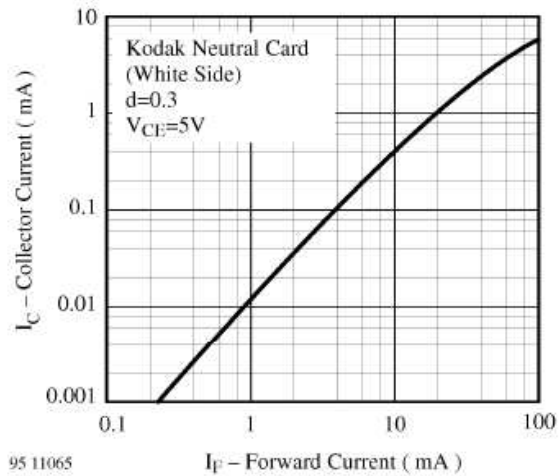
Otra posibilidad es conectar la salida a una entrada analógica. De este modo, mediante un convertor A/D se pueden obtener distintos valores. Esto permite la detección dinámica de blanco y negro (muy útil cuando el recorrido presenta alteraciones en la iluminación). Pero también, si empleamos el sensor con objetos de distintos colores o escalas de grises, establecer un mecanismo para la detección de los mismos, determinando los valores marginales que separan unos colores de otros. Esto permite emplear el sensor para alguna aplicación donde la detección del color sea necesaria.

Características Típicas ($T_{amb} = 25^{\circ}C$, si no se especifica otra)



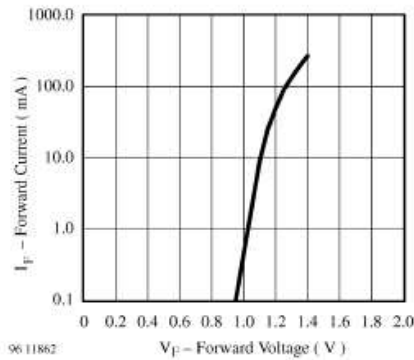
95 11071

Figura 3.- Disipación total de potencia vs. A temperatura ambiente



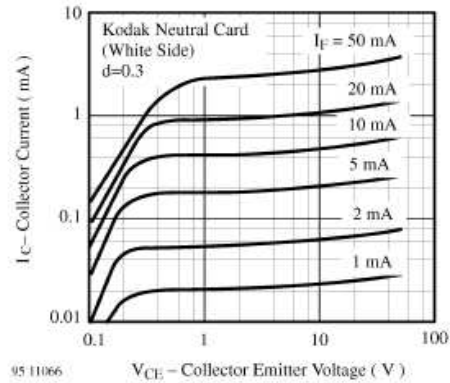
95 11065

Figura 6.- Corriente de colector vs. Corriente directa



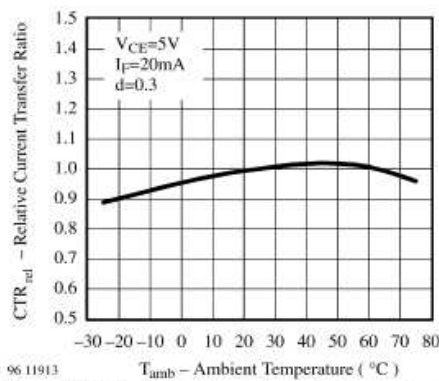
96 11862

Figura 4.- Corriente directa vs. Tensión directa



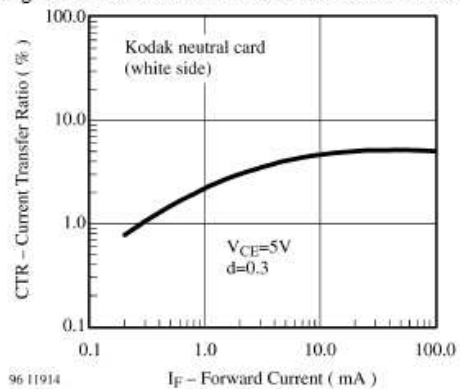
95 11066

Figura 7.- Corriente de colector vs. Tensión Colector Emisor



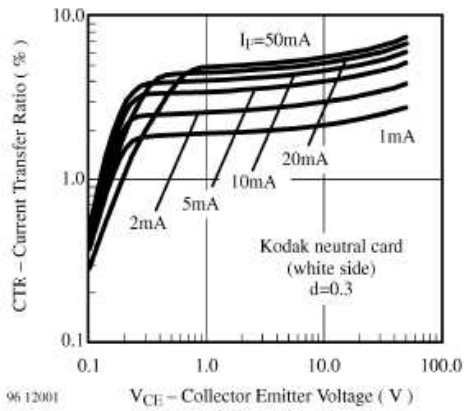
96 11913

Figura 5.- Relación de transferencia de corriente relativa vs. Temperatura ambiente



96 11914

Figura 8.- Relación de transferencia de corriente vs. Corriente directa.



96 12001 **Figura 9.- Relación de corriente de transferencia vs. Tensión Colector Emisor**

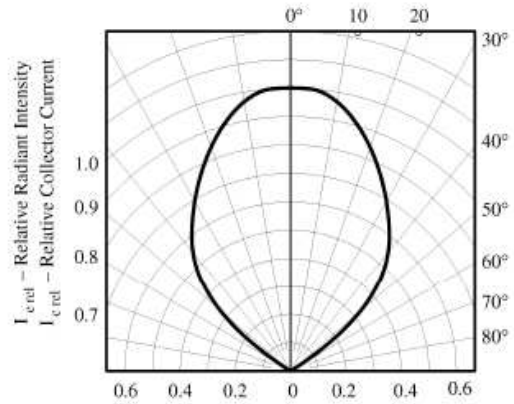
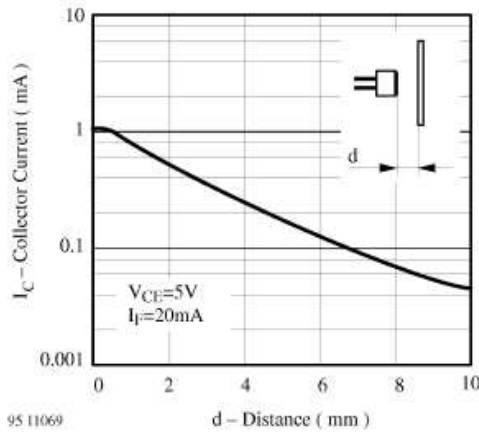
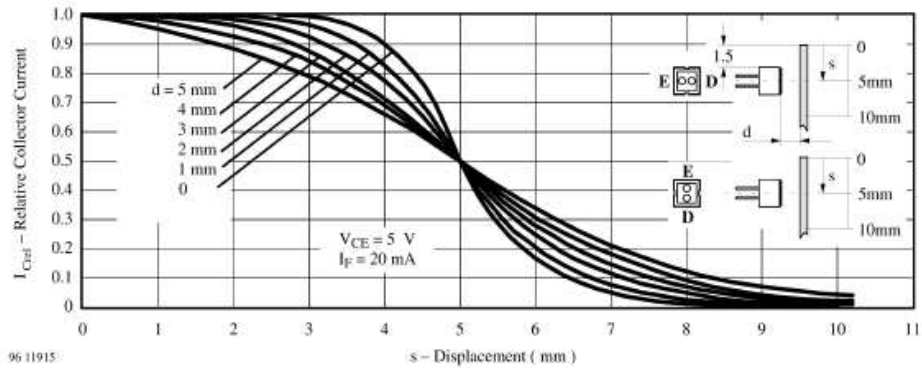


Figura 11.- Intensidad Radiante Relativa/ Corriente de Colector vs. Separación



95 11069 **Figura 10.- Corriente de Colector vs. Distancia**



96 11915 **Figura 12.- Relación de corriente de colector vs. Separación**



Order this document by SAA1042/D

SAA1042

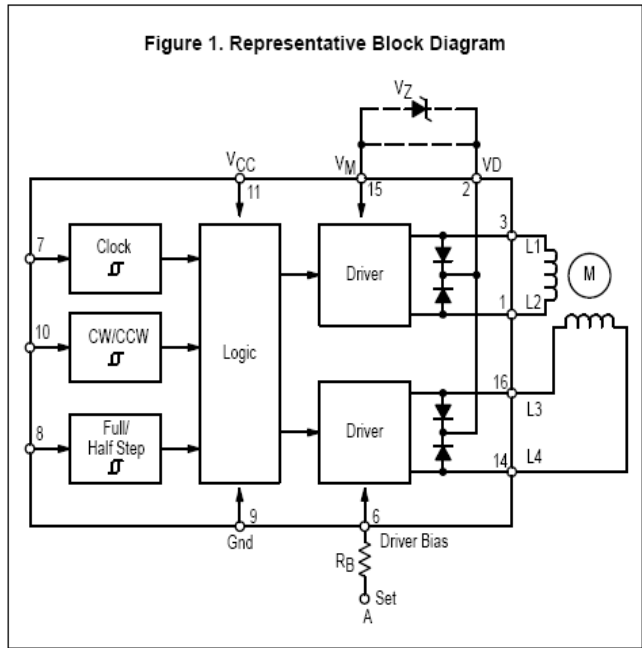
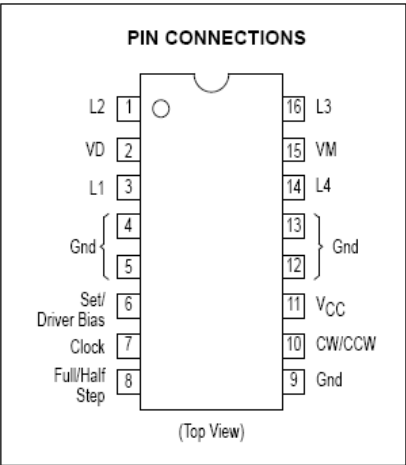
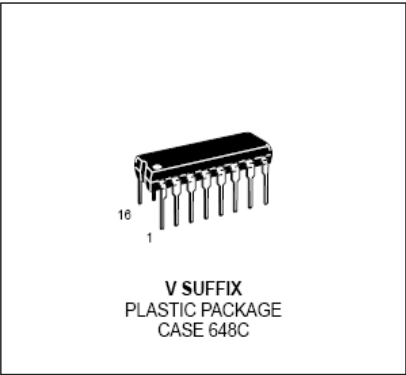
Stepper Motor Driver

The SAA1042 drives a two-phase stepper motor in the bipolar mode. The device contains three input stages, a logic section and two output stages. The IC is contained in a 16 pin dual-in-line heat tab plastic package for improved heatsinking capability. The center four ground pins are connected to the copper alloy heat tab and improve thermal conduction from the die to the circuit board.

- Drive Stages Designed for Motors: 6.0 V and 12 V: SAA1042V
- 500 mA/Coil Drive Capability
- Built-In Clamp Diodes for Overvoltage Suppression
- Wide Logic Supply Voltage Range
- Accepts Commands for CW/CCW and Half/Full Step Operation
- Inputs Compatible with Popular Logic Families: MOS, TTL, DTL
- Set Input Defined Output State
- Drive Stage Bias Adaptable to Motor Power Dissipation for Optimum Efficiency

STEPPER MOTOR DRIVER

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
SAA1042V	T _J = -30° to +125°C	Plastic DIP

SAA1042

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	SAA1042V	Unit
Clamping Voltage (Pins 1, 3, 14, 16)	V_{clamp}	20	V
Over Voltage ($V_{\text{OV}} = V_{\text{clamp}} - V_M$)	V_{OV}	6.0	V
Supply Voltage	V_{CC}	20	V
Switching or Motor Current/Coil	I_M	500	mA
Input Voltage (Pins 7, 8, 10)	$V_{\text{in clock}}$ $V_{\text{in Full/Half}}$ $V_{\text{in CW/CCW}}$	V_{CC}	V
Power Dissipation (Note 1)	P_D	2.0	W
Thermal Resistance, Junction-to-Air	θ_{JA}	80	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	θ_{JC}	15	$^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature Range	T_J	-30 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

NOTE: 1. The power dissipation (P_D) of the circuit is given by the supply voltage (V_M and V_{CC}) and the motor current (I_M), and can be determined from Figures 3 and 5. $P_D = P_{\text{drive}} - P_{\text{logic}}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Pin(s)	Symbol	V_{CC}	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current	11	I_{CC}	5.0 V 20 V	— —	— —	3.5 8.5	mA
Motor Supply Current ($I_{\text{Pin 6}} = -400 \mu\text{A}$, Pins 1, 3, 14, 16 Open) $V_M = 6.0 \text{ V}$ $V_M = 12 \text{ V}$ $V_M = 24 \text{ V}$	15	I_M	5.0 V 5.0 V 5.0 V	— — —	25 30 40	— — —	mA
Input Voltage, High State	7, 8, 10	V_{IH}	5.0 V 10 V 15 V 20 V	2.0 7.0 10 14	— — — —	— — — —	V
Input Voltage, Low State		V_{IL}	5.0 V 10 V 15 V 20 V	— — — —	— — — —	0.8 1.5 2.5 3.5	
Input Reverse Current, High State ($V_{\text{in}} = V_{\text{CC}}$)	7, 8, 10	I_{IR}	5.0 V 10 V 15 V 20 V	— — — —	— — — —	2.0 2.0 3.0 5.0	μA
Input Forward Current, Low State ($V_{\text{in}} = \text{Gnd}$)		I_{IF}	5.0 V 10 V 15 V 20 V	-10 -25 -40 -50	— — — —	— — — —	
Output Voltage, High State ($V_M = 12 \text{ V}$) $I_{\text{out}} = -500 \text{ mA}$ $I_{\text{out}} = -50 \text{ mA}$	1, 3, 14, 16	V_{OH}	5.0 – 20 V	— —	$V_M - 2.0$ $V_M - 1.2$	— —	V
Output Voltage, Low State $I_{\text{out}} = 500 \text{ mA}$ $I_{\text{out}} = 50 \text{ mA}$		V_{OL}	5.0 – 20 V	— —	0.7 0.2	— —	
Output Leakage Current, Pin 6 = Open ($V_M = V_D = V_{\text{clamp max}}$)	1, 3, 14, 16	I_{DR}	5.0 – 20 V	-100	—	—	μA
Clamp Diode Forward Voltage (Drop at $I_M = 500 \text{ mA}$)	2	V_F	—	—	2.5	3.5	V
Clock Frequency	7	f_c	5.0 – 20 V	0	—	50	kHz
Clock Pulse Width	7	t_w	5.0 – 20 V	10	—	—	μs
Set Pulse Width	6	t_s	—	10	—	—	μs
Set Control Voltage, High State Low State	6	—	—	V_M —	— —	— 0.5	V

SAA1042

INPUT/OUTPUT FUNCTIONS

Clock — (Pin 7) This input is active on the positive edge of the clock pulse and accepts Logic '1' input levels dependent on the supply voltage and includes hysteresis for noise immunity.

CW/CCW — (Pin 10) This input determines the motor's rotational direction. When the input is held low, (OV, see the electrical characteristics) the motor's direction is nominally clockwise (CW). When the input is in the high state, Logic '1', the motor direction is nominally counter clockwise (CCW), depending on the motor connections.

Full/Half Step — (Pin 8) This input determines the angular rotation of the motor for each clock pulse. In the low state, the motor will make a full step for each applied clock pulse, while in the high state, the motor will make half a step.

V_D — (Pin 2) This pin is used to protect the outputs (1, 3, 14, 16) where large positive spikes occur due to switching the motor coils. The maximum allowable voltage on these pins is the clamp voltage (V_{clamp}). Motor performance is improved if a zener diode is connected between Pin 2 and 15, as shown in Figure 1.

The following conditions have to be considered when selecting the zener diode:

$$\begin{aligned} V_{\text{clamp}} &= V_M + 6.0 \text{ V} \\ V_Z &= V_{\text{clamp}} - V_M - V_F \end{aligned}$$

where: V_F = clamp diodes forward voltage drop
(see Figure 4)

$$V_{\text{clamp}}: \leq 20 \text{ V for SAA1042V} \leq 30 \text{ V for SAA1042AV}$$

Pins 2 and 15 can be linked, in this case $V_Z = 0 \text{ V}$.

Set/Bias Input — (Pin 6) This input has two functions:

- 1) The resistor R_B adapts the drivers to the motor current.
- 2) A pulse via the resistor R_B sets the outputs (1, 3, 14, 16) to a defined state.

The resistor R_B can be determined from the graph of Figure 2 according to the motor current and voltage. Smaller values of R_B will increase the power dissipation of the circuit and larger values of R_B may increase the saturation voltage of the driver transistors.

When the "set" function is not used, terminal A of the resistor R_B must be grounded. When the set function is used, terminal A has to be connected to an open-collector (buffer) circuit. Figure 7 shows this configuration. The buffer circuit (off-state) has to sustain the motor voltage (V_M). When a

pulse is applied via the buffer and the bias resistor (R_B), the motor driver transistors are turned off during the pulse and after the pulse has ended, the outputs will be in defined states. Figure 6 shows the Timing Diagram.

Figure 7 illustrates a typical application in which the SAA1042 drives a 12 V stepper motor with a current consumption of 200 mA/coil. A bias resistor (R_B) of 56 k Ω is chosen according to Figure 2.

The maximum voltage permitted at the output pin is $V_M + 6.0 \text{ V}$ (see Maximum Ratings table), in this application $V_M = 12 \text{ V}$, therefore the maximum voltage is 18 V. The outputs are protected by the internal diodes and an external zener connected between Pins 2 and 15.

From Figure 4, it can be seen that the voltage drop across the internal diodes is about 1.7 V at 200 mA. This results in a zener voltage between Pins 2 and 15 of:

$$V_Z = 6.0 \text{ V} - 1.7 \text{ V} = 4.3 \text{ V}.$$

To allow for production tolerances and a safety margin, a 3.9 V zener has been chosen for this example.

The clock is derived from the line frequency which is phase-locked by the MC14046B and the MC14024. The voltage on the clock input is normally low (Logic '0'). The motor steps on the positive going transition of the clock pulse.

The Logic '0' applied to the Full/Half input (Pin 8) operates the motor in Full Step mode. A Logic '1' at this input will result in Half Step mode. The logic level state on the CW/CCW input (Pin 10), and the connection of the motor coils to the outputs determines the rotational direction of the motor.

These two inputs should be biased to a Logic '0' or '1' and not left floating. In the event of non-use, they should be tied to ground or the logic supply line, V_{CC} .

The output drivers can be set to a fixed operating point by use of the Set input and a bias resistor, R_B . A positive pulse to this input turns the drivers off and sets the logic state of the outputs.

After the negative going transition of the Set pulse, and until the first positive going transition of the clock, the outputs will be:

$$L1 = L3 = \text{high and } L2 = L4 = \text{low, (see Figure 6)}.$$

The Set input can be driven by a MC14007B or a transistor whose collector resistor is R_B . **If the input is not used, the bottom of R_B must be grounded.**

The total power dissipation of the circuit can be determined from Figures 3 and 5:

$$P_D = 0.9 \text{ W} + 0.08 \text{ W} = 0.98 \text{ W}.$$

The junction temperature can then be computed using Figure 8.

SAA1042

Figure 2. Bias Resistor R_B versus Motor Current

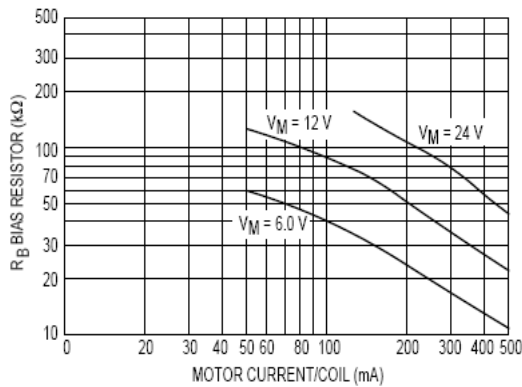


Figure 3. Drive Stage Power Dissipation

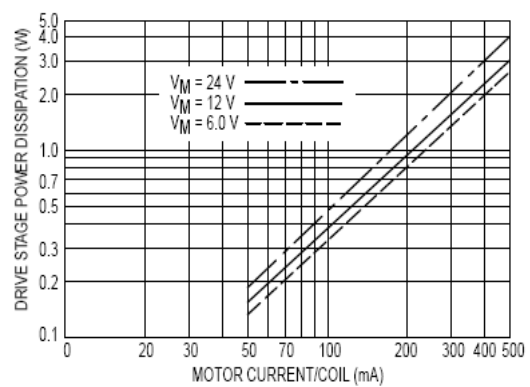


Figure 4. Clamp Diode Forward Current versus Forward Voltage

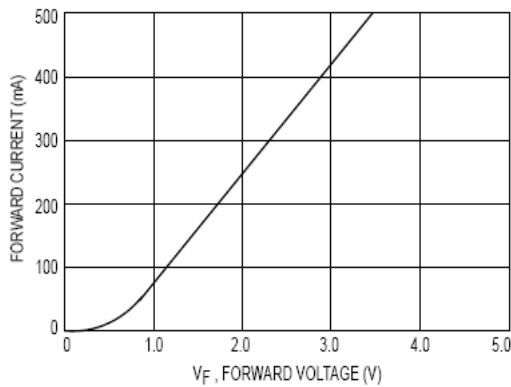


Figure 5. Power Dissipation versus Logic Supply Voltage

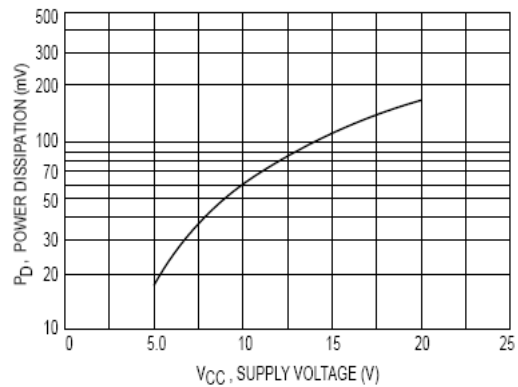
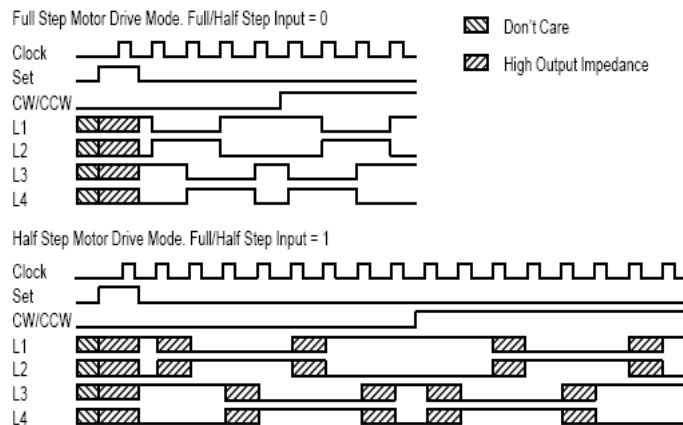


Figure 6. Timing Diagram



SAA1042

Figure 7. Typical Application
Selectable Step Rates with the Time Base Derived from the Line Frequency

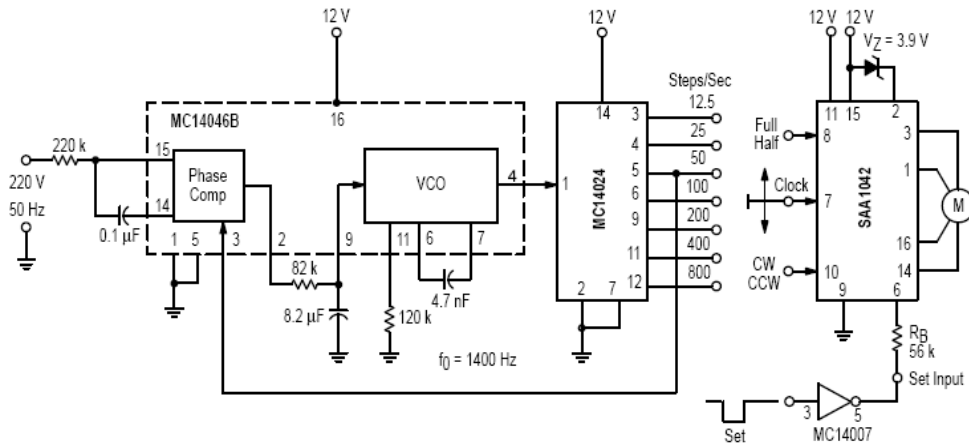
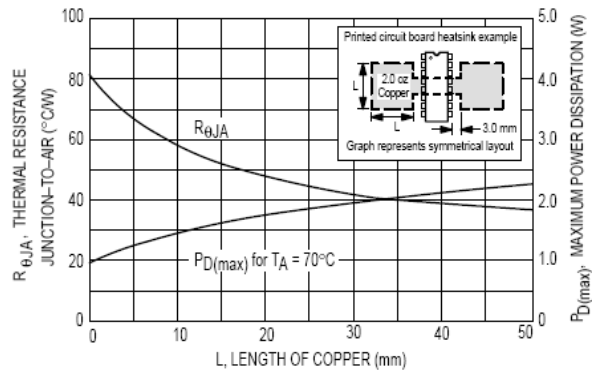


Figure 8. Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length



LM2903/LM2903I, LM393/LM393A, LM293/LM293A

Dual Differential Comparator

Features

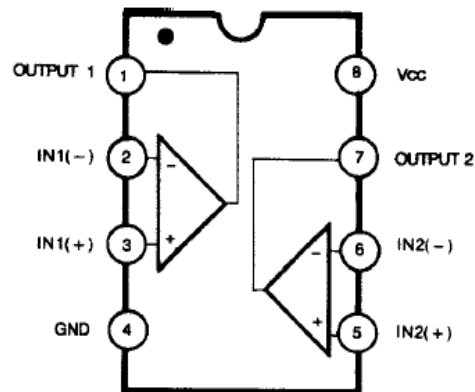
- Single Supply Operation: 2V to 36V
- Dual Supply Operation: $\pm 1V$ to $\pm 18V$
- Allow Comparison of Voltages Near Ground Potential
- Low Current Drain 800 μA Typ.
- Compatible with all Forms of Logic
- Low Input Bias Current 25nA Typ.
- Low Input Offset Current $\pm 5nA$ Typ.
- Low Offset Voltage $\pm 1mV$ Typ.

Description

The LM2903/LM2903I, LM393/LM393A, LM293/LM293A consist of two independent voltage comparators designed to operate from a single power supply over a wide voltage range.



Internal Block Diagram



Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM293A/LM393A			LM293/LM393			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	± 1	± 2	-	± 1	± 5	mV
		$V_{CM} = 0$ to $1.5V$ Note 1	-	-	± 4.0	-	-	± 9.0	
Input Offset Current	I_{IO}		-	± 5	± 50	-	± 5	± 50	nA
		Note 1	-	-	± 150	-	-	± 150	
Input Bias Current	I_{BIAS}		-	65	250	-	65	250	nA
		Note 1	-	-	400	-	-	400	
Input Common Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$		0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V
		Note 1	0	-	$V_{CC} - 2$	0	-	$V_{CC} - 2$	
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$	-	0.6	1	-	0.6	1	mA
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$	-	0.8	2.5	-	0.8	2.5	
Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 15K\Omega$ (for large $V_{O(P-P)}$ swing)	50	200	-	50	200	-	V/mV
Large Signal Response Time	T_{LRES}	$V_I = \text{TTL Logic Swing}$ $V_{REF} = 1.4V$, $V_{RL} = 5V$, $R_L = 5.1K\Omega$	-	350	-	-	350	-	nS
Response Time	T_{RES}	$V_{RL} = 5V$, $R_L = 5.1K\Omega$	-	1.4	-	-	1.4	-	μS
Output Sink Current	I_{SINK}	$V_{I(-)} \geq 1V$, $V_{I(+)} = 0V$, $V_{O(P)} \leq 1.5V$	6	18	-	6	18	-	mA
Output Saturation Voltage	V_{SAT}	$V_{I(-)} \geq 1V$, $V_{I(+)} = 0V$	-	160	400	-	160	400	mV
		$I_{SINK} = 4mA$ Note 1	-	-	700	-	-	700	
Output Leakage Current	$I_{O(LKG)}$	$V_{I(-)} = 0V$, $V_{I(+)} = 1V$	-	0.1	-	-	0.1	-	nA
		$V_{O(P)} = 30V$	-	-	1.0	-	-	1.0	μA

NOTE 1

LM393/LM393A: $0 \leq T_A \leq +70^\circ C$

LM2903: $-40 \leq T_A \leq +85^\circ C$

LM2903I: $-40 \leq T_A \leq +105^\circ C$

LM293/LM293A: $-25 \leq T_A \leq +85^\circ C$

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM2903/LM2903I			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	±1	±7	mV
		V _{CM} = 0 to 1.5V	Note 1	±9	±15	
Input Offset Current	I _{IO}		-	±5	±50	nA
		Note 1	-	±50	±200	
Input Bias Current	I _{BIAS}		-	65	250	nA
		Note 1	-	-	500	
Input Common Mode Voltage Range	V _{I(R)}		0	-	V _{CC} -1.5	V
		Note 1	0	-	V _{CC} -2	
Supply Current	I _{CC}	R _L = ∞, V _{CC} = 5V	-	0.6	1	mA
		R _L = ∞, V _{CC} = 30V	-	1	2.5	
Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 15KΩ (for large V _{O(P-P)} swing)	25	100	-	V/mV
Large Signal Response Time	T _{LR}	V _I = TTL Logic Swing V _{REF} = 1.4V, V _{RL} = 5V, R _L = 5.1KΩ	-	350	-	nS
Response Time	T _{RES}	V _{RL} = 5V, R _L = 5.1KΩ	-	1.5	-	μS
Output Sink Current	I _{SINK}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V, V _{O(P)} ≤ 1.5V	6	16	-	mA
Output Saturation Voltage	V _{SAT}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V	-	160	400	mV
		I _{SINK} = 4mA	Note 1	-	700	
Output Leakage Current	I _{O(LKG)}	V _{I(-)} = 0V, V _{O(P)} = 5V	-	0.1	-	nA
		V _{I(+)} = 1V, V _{O(P)} = 30V	-	-	1.0	μA

Note 1LM393/LM393A: 0 ≤ T_A ≤ +70°CLM2903: -40 ≤ T_A ≤ +85°CLM2903I: -40 ≤ T_A ≤ +105°CLM293/LM293A: -25 ≤ T_A ≤ +85°C

Typical Performance Characteristics

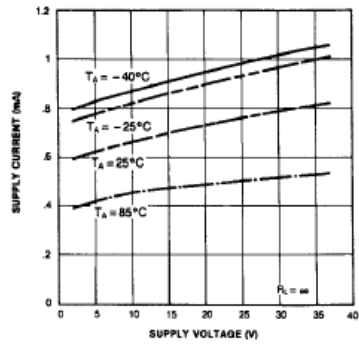


Figure 1. Supply Current vs Supply Voltage

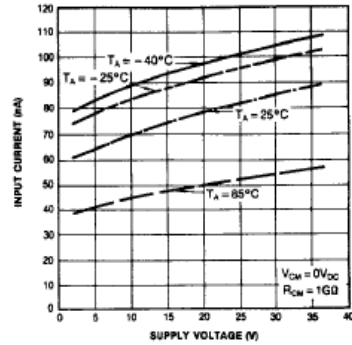


Figure 2. Input Current vs Supply Voltage

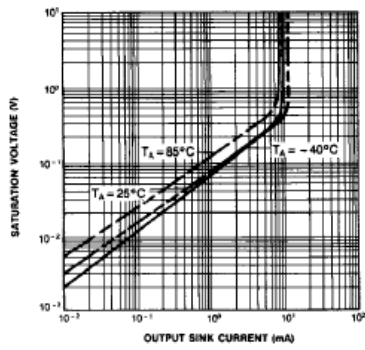


Figure 3. Output Saturation Voltage vs Sink Current

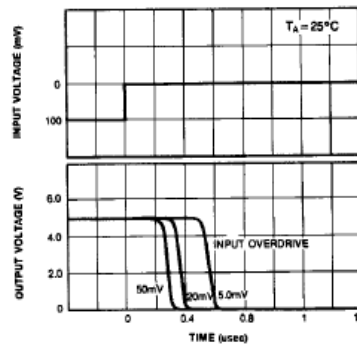


Figure 4. Response Time for Various Input Overdrive-Negative Transition

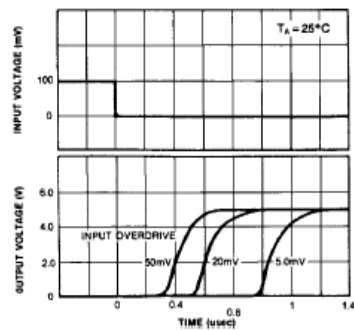


Figure 5. Response Time for Various Input Overdrive-Positive Transition



PIC16F84A

18-pin *Enhanced* Flash/EEPROM 8-Bit Microcontroller

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F84A
- Extended voltage range device available (PIC16LF84A)

High Performance RISC CPU Features:

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single cycle except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 1024 words of program memory
- 68 bytes of data RAM
- 64 bytes of data EEPROM
- 14-bit wide instruction words
- 8-bit wide data bytes
- 15 special function hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
 - External RB0/INT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB<7:4> interrupt on change
 - Data EEPROM write complete

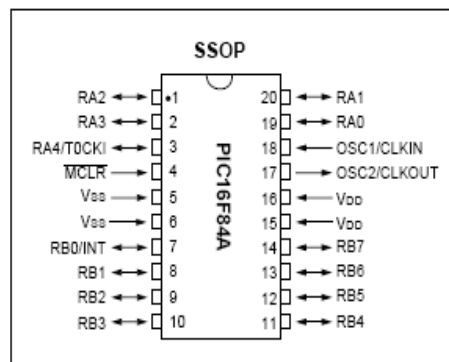
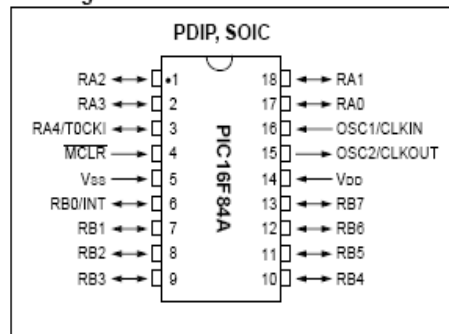
Peripheral Features:

- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
 - 25 mA sink max. per pin
 - 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Special Microcontroller Features:

- 1000 erase/write cycles *Enhanced* Flash program memory
- 1,000,000 typical erase/write cycles EEPROM data memory
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options

Pin Diagrams



CMOS *Enhanced* Flash/EEPROM Technology:

- Low-power, high-speed technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range:
 - Commercial: 2.0V to 5.5V
 - Industrial: 2.0V to 5.5V
- Low power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 15 μ A typical @ 2V, 32 kHz
 - < 0.5 μ A typical standby current @ 2V

PIC16F84A

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device-specific information for the operation of the PIC16F84A device. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023), which may be downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

The PIC16F84A belongs to the mid-range family of the PICmicro™ microcontroller devices. A block diagram of the device is shown in Figure 1-1.

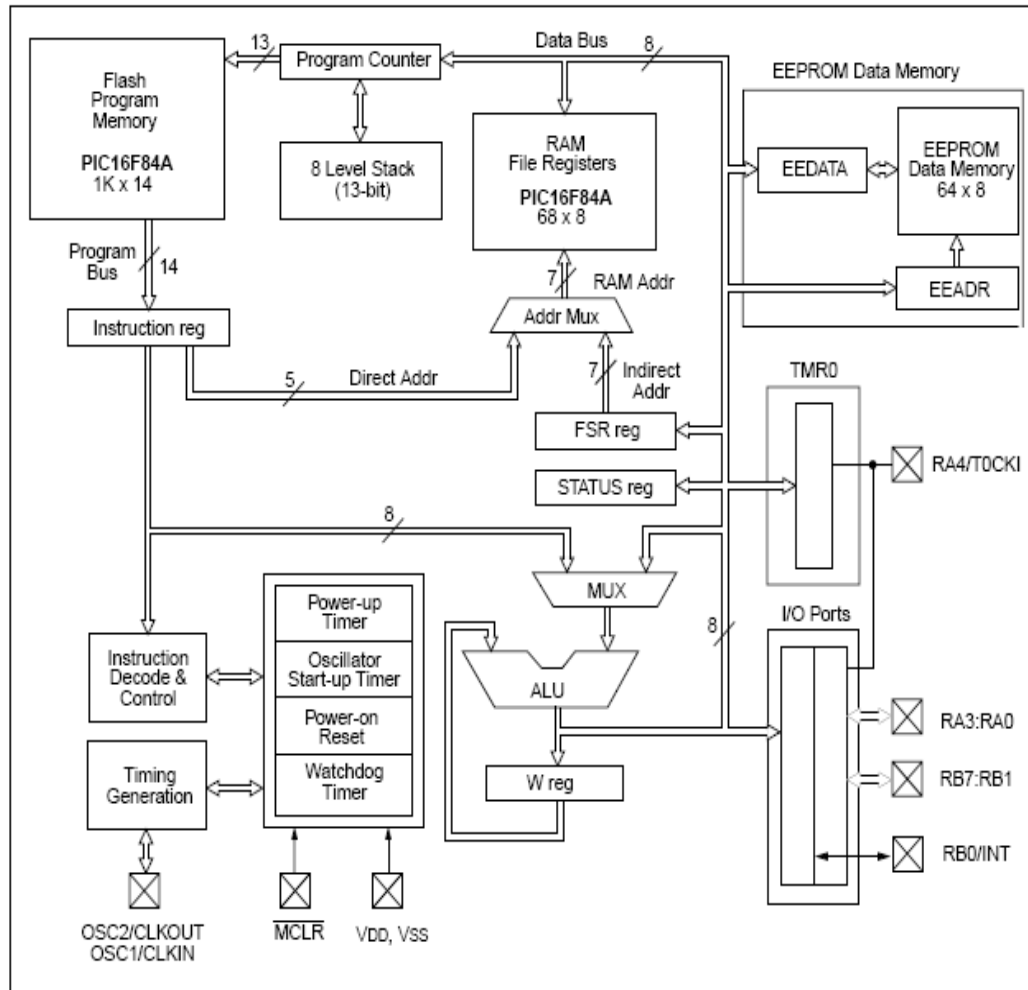
The program memory contains 1K words, which translates to 1024 instructions, since each 14-bit program memory word is the same width as each device instruction. The data memory (RAM) contains 68 bytes. Data EEPROM is 64 bytes.

There are also 13 I/O pins that are user-configured on a pin-to-pin basis. Some pins are multiplexed with other device functions. These functions include:

- External interrupt
- Change on PORTB interrupt
- Timer0 clock input

Table 1-1 details the pinout of the device with descriptions and details for each pin.

FIGURE 1-1: PIC16F84A BLOCK DIAGRAM



PIC16F84A

TABLE 1-1 PIC16F84A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP No.	SOIC No.	SSOP No.	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	16	16	18	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	15	15	19	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR	4	4	4	I/P	ST	Master clear (reset) input/programming voltage input. This pin is an active low reset to the device.
RA0	17	17	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. Can also be selected to be the clock input to the TMR0 timer/counter. Output is open drain type.
RA1	18	18	20	I/O	TTL	
RA2	1	1	1	I/O	TTL	
RA3	2	2	2	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	3	3	3	I/O	ST	
RB0/INT	6	6	7	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0/INT can also be selected as an external interrupt pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Serial programming clock. Interrupt on change pin. Serial programming data.
RB1	7	7	8	I/O	TTL	
RB2	8	8	9	I/O	TTL	
RB3	9	9	10	I/O	TTL	
RB4	10	10	11	I/O	TTL	
RB5	11	11	12	I/O	TTL	
RB6	12	12	13	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7	13	13	14	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
VSS	5	5	5,6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	14	14	15,16	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = Input/Output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
 Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F84A

2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into two areas. The first is the Special Function Registers (SFR) area, while the second is the General Purpose Registers (GPR) area. The SFRs control the operation of the device.

Portions of data memory are banked. This is for both the SFR area and the GPR area. The GPR area is banked to allow greater than 116 bytes of general purpose RAM. The banked areas of the SFR are for the registers that control the peripheral functions. Banking requires the use of control bits for bank selection. These control bits are located in the STATUS Register. Figure 2-1 shows the data memory map organization.

Instructions `MOVF` and `MOVF` can move values from the *W* register to any location in the register file ("F"), and vice-versa.

The entire data memory can be accessed either directly using the absolute address of each register file or indirectly through the File Select Register (FSR) (Section 2.4). Indirect addressing uses the present value of the *RP0* bit for access into the banked areas of data memory.

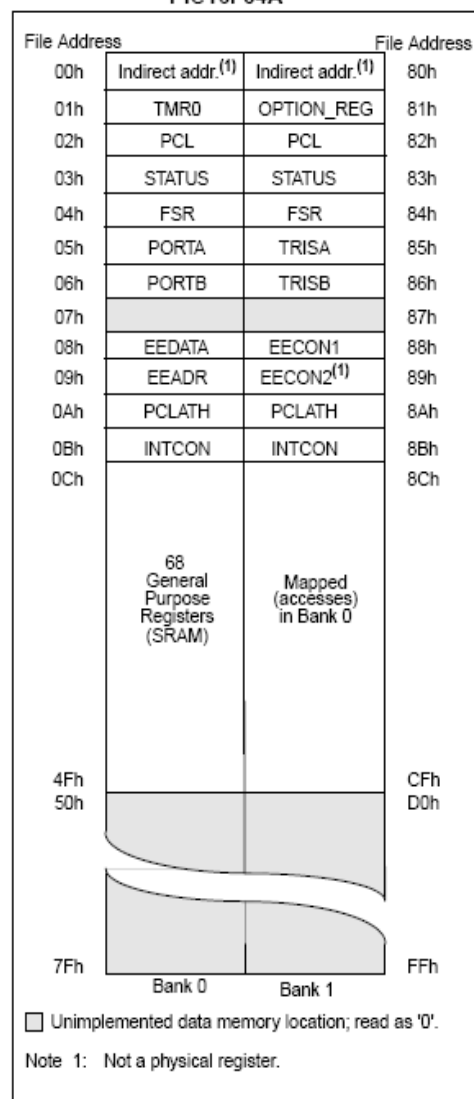
Data memory is partitioned into two banks which contain the general purpose registers and the special function registers. Bank 0 is selected by clearing the *RP0* bit (*STATUS*<5>). Setting the *RP0* bit selects Bank 1. Each Bank extends up to 7Fh (128 bytes). The first twelve locations of each Bank are reserved for the Special Function Registers. The remainder are General Purpose Registers implemented as static RAM.

2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

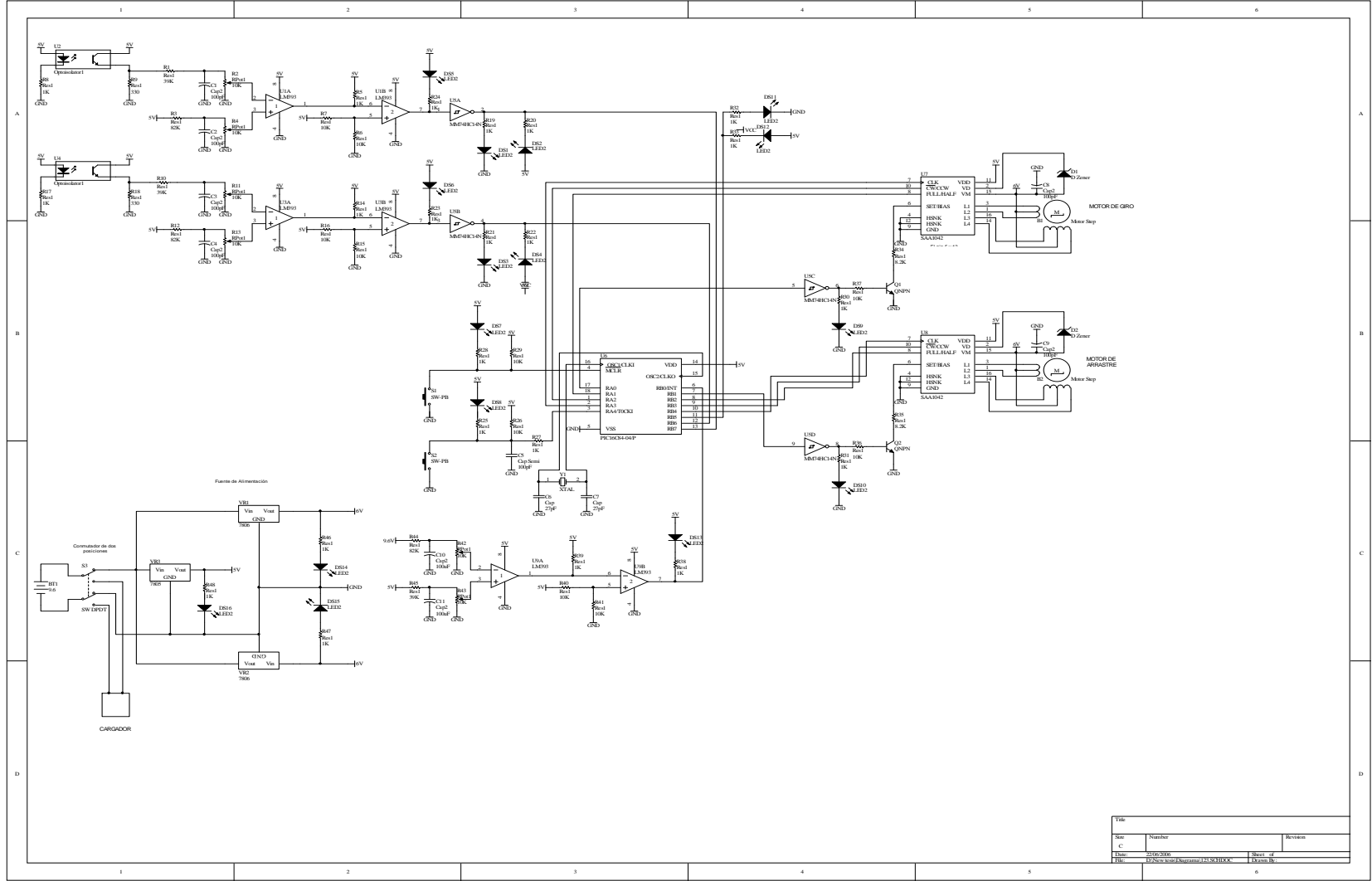
Each General Purpose Register (GPR) is 8 bits wide and is accessed either directly or indirectly through the FSR (Section 2.4).

The GPR addresses in bank 1 are mapped to addresses in bank 0. As an example, addressing location 0Ch or 8Ch will access the same GPR.

FIGURE 2-1: REGISTER FILE MAP - PIC16F84A



ANEXOS No 2
DIAGRAMA CIRCUITAL DEL ROBOT MÓVIL GUIADO
CON SENSORES INFRARROJOS



Título			
Nº	Revisión	Revisión	
C			
Fecha	2020-2020	Dibujado	11/2020
Diseño	10/2020	Revisado	11/2020

ANEXO No 3
SOFTWARE DE CONTROL DEL ROBOT MÓVIL

; PROGRAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL GUIADO POR SENSORES
OPTICOS DE INFRARROJO CNY70.

; AUTORES:
; JUAN ALTAMIRANO
; ROBERTO ORTIZ

; AÑO: 2006

```

TEMP1 EQU 0x0c ;Registros de propósito general
TEMP2 EQU 0x0d ;Registros de propósito general
TEMP3 EQU 0x0e ;Registros de propósito general
TEMP4 EQU 0x0f ;Registros de propósito general
TEMP5 EQU 0x10 ;Registros de propósito general
TEMP6 EQU 0x11 ;Registros de propósito general
TEMP7 EQU 0x12 ;Registros de propósito general
TEMP8 EQU 0x13 ;Registros de propósito general
TEMP9 EQU 0x14 ;Registros de propósito general
TEMP10 EQU 0x15 ;Registros de propósito general
BIT EQU 0x16 ;Registros de propósito general

org 0x00 ;Inicio del programa
goto inicio ;Salta etiqueta inicio
org 0x04 ;Apunta a vector de interrupción
goto ISR ;Salta etiqueta rutina de servicio de interrupciones
org 0x05 ;Apunta a vector de inicio desde donde se escribe el
programa

inicio: clrf intcon ;Limpiamos el registro intcon

```

;CONFIGURACIÓN PUERTO A

```

bsf status, rp0; ;Accedo al banco 1
bsf option,07 ;Activo resistencias pull up de la puerta
movlw 10h ;Cargo el w con 10000, (RA0,RA1,RA2,RA3=
salidas)RA4=entrada
movwf trisa ;Defino las salidas y entradas anteriores

```

;CONFIGURO PUERTO B

```

movlw 0c1h ;Cargo el w con 11000001
(RB1,RB2,RB3,RB4,RB5=salidas) y (RB6,RB7=entradas)
movwf trisb ;Defino salidas y entradas anteriores

```

;CONFIGURO MOTOR DE ARRASTRE

```

bcf status, rp0 ;Accedo al banco 0
bsf portb,1 ;Pongo 1L al pin 6 del controlador, desabito el drive
bsf portb,2 ;Pongo 1L al pin 8 del controlador, el motor gira medio
paso
bcf portb,3 ;Pongo 0L al pin 10 del controlador, giro motor horario
bcf portb,4 ;Pongo 0L al pin 7 del controlador, un pulso al clk
bcf portb,5 ;Encendido led Rojo/Verde

```

```

;*****
;
;CONFIGURO MOTOR DE GIRO
;*****
;
                bsf    porta,0        ;Pongo 1L al pin 6 del controlador, desabilito el drive
                bsf    porta,1        ;Pongo 1L al pin 8 del controlador, el motor girara medio
                paso
                bcf    porta,2        ;Pongo 0L al pin 10 del controlador, giro del motor horario
                bcf    porta,3        ;Pongo 0L al pin 7 del controlador, un pulso al clk

;*****
;
;CONFIGURO EL TMR0 COMO CONTADOR
;*****
;
                bsf    status,rp0     ;Accedo al banco 1
                movlw  38h            ;cargo el w con 00111000
                movwf  Option         ;El TMR0 sera contador,flanco descendente
                bcf    status,rp0     ;Accedo al banco 0
                movlw  0ffh          ;Cargo el w con ffh
                movwf  TMR0          ;Muevo el valor ffh al registro TMR0
                bsf    intcon,gie     ;Habilito interrupciones globales
                bsf    intcon,inte    ;Habilito permiso de interrupción externa
                bsf    intcon,t0ie    ;Habilito permiso de interrupción por el TMR0

;*****
;
;PROGRAMA PRINCIPAL
;*****
;
esperar:        bcf    BIT,0          ;Limpio el bit menos significativo del registro BIT
                btfs  BIT,0          ;Si el registro BIT=0, no se autoriza al movil, caso contrario
                se autoriza
                goto  esperar        ;Espera autorización
                goto  mirar         ;Permite a los sensores ver la línea negra o el fondo
                blanco

mirar:          btfs  portb,6        ;Si RB6=0, salto una instrucción (fondo blanco)
                goto  mirarL        ;Voy a la etiqueta mirarL
                btfs  portb,7        ;Si RB7=0, voy a la siguiente instrucción (fondo blanco)
                call  offM          ;Voy a la subrutina de apagado de motores
                goto  mirarL        ;Voy a la etiqueta mirarL

mirarL:        btfs  portb,6        ;Si RB6=1, salto una instrucción (línea negra)
                call  giro          ;Voy etiqueta giro
                btfs  portb,7        ;Si RB7=1, salto una instrucción (línea negra)
                call  giro          ;Voy etiqueta giro
                bsf    portb,5        ;Prendo led verde
                call  seguir        ;Sigo
                call  clockA        ;Voy a subrutina de clockA
                goto  mirarL        ;Regreso a mirar la línea

giro:          btfs  portb,6        ;Si RB6=0, salto una instrucción (fondo blanco)
                call  izq           ;Voy a subrutina de giro izquierda
                btfs  portb,7        ;Si RB7=0, salto una instrucción (fondo blanco)
                call  der           ;Voy a subrutina de giro derecha
                goto  mirar         ;Ir a la etiqueta mirar
                return            ;Retorno de la subrutina

offM:          bsf    porta,0        ;Pongo 0L en RA, para deshabilitar el motor de giro
                bsf    portb,1        ;Pongo 0L en RB1, para deshabilitar el motor de arrastre

```



```

call    BLINK      ;Ir a la etiqueta BLINK
bcf     portb,5    ;Pongo 0L en PB5
call    BLINK      ;Ir a la etiqueta BLINKq
bsf     portb,5    ;Pongo 1L en PB5
call    BLINK      ;Ir a al etiqueta BLINK
goto    BATERIA   ;Ir etiqueta BATERIA
return  ;Rotorno

INTtimer: bcf     intcon,t0ie ;Desabilito permisos de int TRM0
          bcf     intcon,t0if ;Pone a 0 la flang del TRM0
          call    BLINKT      ;Ir a la etiqueta BLINK
          bsf     portb,5     ;Pongo 1L en PB5
          bsf     BIT,0       ;Pongo a 1L el bit menos significativo del registro BIT
          retfie             ;Retorna de la interrupción (GIE=1)

;*****
;TEMPORIZACIONES.
;*****
;TEMPORIZACIÓN, INDICADOR DE BATERIA BAJA.
;(255*3)=765 ciclos
;(765+6)*217=167307 ciclos
;(167307+9)*3=501948 ciclos
;Retardo= 501.948ms
;Si ocurre la interrupción por batería baja, los led parpadean cada 500ms aproximadamente.
;*****

BLINK:    movlw  0xD9      ;carga w=217
          movwf  TEMP1     ;Muevo el w a la localida TEMP1
          movlw  0x03      ;Cargo w =3
          movwf  TEMP2     ;Muevo el w a la localidad TEMP2
          clrf   TEMP3     ;Limpio localidad TEMP3
tiempo:   decfsz TEMP3, 1  ;Decrementa TEMP3 y si es 0 salta
          goto  tiempo     ;volver a tiempo
          decfsz TEMP1, 1  ;Decrementa TEMP1 y si es 0 salta
          goto  tiempo     ;Salto a tiempo
          decfsz TEMP2,1  ;Decrementa TEMP2 y si es 0 salta
          goto  tiempo     ;Volver a tiempo
          return          ;Retorno de la subrutina

;*****
;TEMPORIZACIÓN DEL TM0, ARRANQUE DEL MOVIL.
;(255*3)=765 ciclos
;(765+6)*217=167307 ciclos
;(167307+9)*6=1003896 ciclos
;Retardo=1.003s
;Es decir el móvil iniciara a trabajar después de 1 seg de haber ocurrido la interrupción por el TM0.
;*****

BLINKT    movlw  0xD9      ;carga w=217
          movwf  TEMP4     ;Muevo el w a la localida TEMP4
          movlw  0x6       ;Cargo w=6
          movwf  TEMP5     ;Muevo el w a la localidad TEMP5
          clrf   TEMP6     ;Limpio localidad TEMP6
tiempo1:  decfsz TEMP6, 1  ;Decrementa TEMP6 y si es 0 salta
          goto  tiempo1    ;volver a tiempo1
          decfsz TEMP4, 1  ;Decrementa TEMP4 y si es 0 salta
          goto  tiempo1    ;Volver a tiempo1
          decfsz TEMP5,1  ;Decrementa TEMP5 y si es 0 salta
          goto  tiempo1    ;Volver a tiempo1

```

```

return                ;Retorno de la subrutina

.*****
;
;TEMPORIZACIÓN MOTOR DE GIRO
;(255*3)=765 ciclos
;(765+6)*8=6168 ciclos
;Retardo=6,168 ms
;Es decir el motor de paso, dara un paso cada 6,168 ms.
.*****

clockGT:      movlw  0x08      ;Carga w=255
              movwf  TEMP7    ;Muevo el w a la localida TEMP7
              clrf   TEMP8    ;Limpio localidad TEMP8
tiempo2:      decfsz TEMP8, 1  ;Decrementa TEMP8 y si es 0 salta

              goto   tiempo2  ;Volver a tiempo2
              decfsz TEMP7, 1  ;Decrementa TEMP7 y si es 0 salta
              goto   tiempo2  ;Volver a tiempo2
              return          ;Retorno de la subrutina

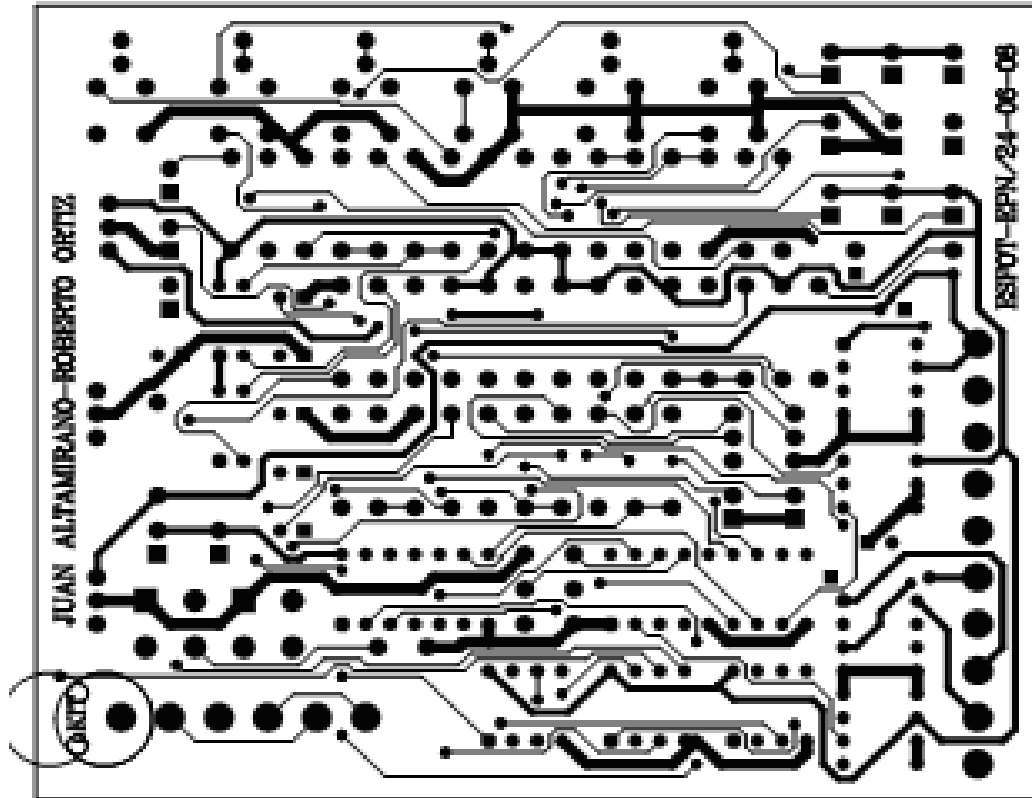
.*****
;
;TEMPORIZACIÓN MOTOR DE ARRASTRE.
;(255*3)=765 ciclos
;(765+6)*8=6168 ciclos
;Retardo=6,168 ms
;Es decir el motor de paso de arrastre, dará un paso cada 6,168 ms.
.*****

clockAT:      movlw  0x08      ;Carga FF
              movwf  TEMP9    ;Muevo el w a la localida TEMP9
              clrf   TEMP10   ;Limpio la localidad TEMP10
tiempo3:      decfsz TEMP10, 1 ;Decrementa TEMP10 y si es 0 salta
              goto   tiempo3  ;Volver a tiempo3
              decfsz TEMP9, 1 ;Decrementa TEMP9 y si es 0 salta
              goto   tiempo3  ;Volver a tiempo3
              return          ;Retorno de la subrutina

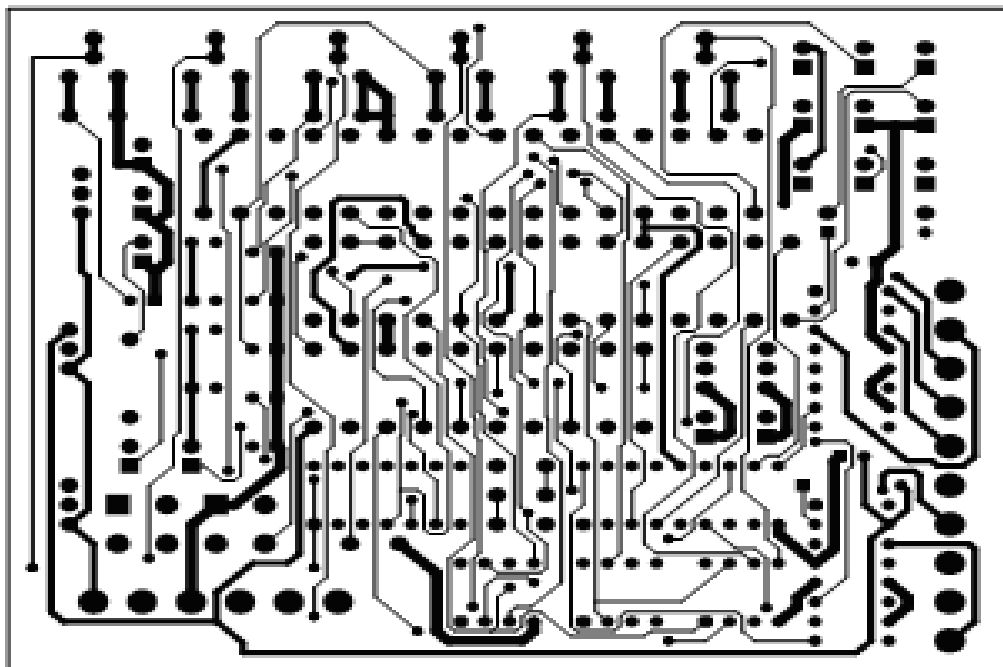
              END            ;Fin del programa

```

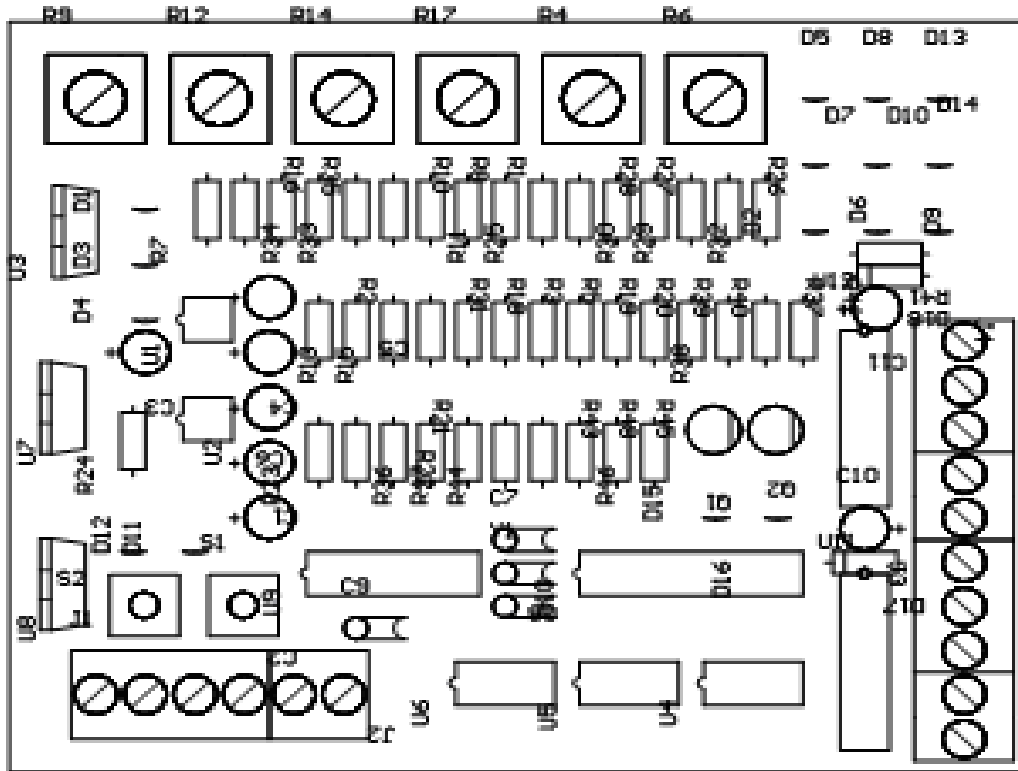
ANEXO No 4
DIAGRAMAS DEL CIRCUITO IMPRESO DEL ROBOT
MÓVIL



Pistas del lado de arriba



Pistas del lado de abajo



Distribución de los elementos en la placa impresa

**ANEXO N° 5
EL ROBOT MÓVIL**

