

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO CON
DETECCIÓN DE COLOR**

EMERSON AGUDELO PRIETO

PABLO ANTONIO GARCES QUINTERO

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.**

2006

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO CON
DETECCIÓN DE COLOR**

**EMERSON AGUDELO PRIETO
PABLO ANTONIO GARCES QUINTERO**

**Proyecto de grado para optar a los títulos de
Tecnólogos Electrónicos**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.**

2006

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 ANTECEDENTES	9
1.2. DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA	11
1.3 JUSTIFICACIÓN	12
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	13
1.4.1 Objetivo General	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	14
1.5.1 Alcances	14
1.5.2 Limitaciones	14
2. MARCO DE REFERENCIA	15
2.1. MARCO CONCEPTUAL	15

2.1.1. Estructura básica del robot móvil.	15
2.1.2. Detección de obstáculos	16
2.1.3. Identificación o detección de color.	16
2.1.4. Control discreto toma de decisión.	17
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO	18
2.3. MARCO TEÓRICO	19
2.3.1. Tipos de Minirobots	20
2.3.2. La estructura de un robot Móvil.	21
2.3.3. Motorización de la ruedas de un robot móvil.	36
2.3.3.1 Motores paso a paso	36
2.3.4. Velocidad del móvil.	39
3.0 LINEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/ SUB – LINEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA.	39
4.0 DESARROLLO DE PROYECTO	40
4.1. Etapa Sensorica.	40

4.1.1 Detección de un obstáculo.	40
4.1.2. Detección de color negro en una superficie.	42
4.2. Etapa de control.	43
4.2.1. Control de los motores con el Driver UCN 5804	45
4.2.2. Motores paso a paso	46
4.3. Prototipo montado en protoboard.	47
5.0 CONCLUSIONES	50
6.0 RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52
ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Estructura básica de un robot móvil	21
Figura 2. Estructura tipo diferencial.	22
Figura 3. Estructura tipo Síncrono.	23
Figura 4. Estructura tipo triciclo.	24
Figura 5. Estructura tipo carro.	24
Figura 6. Grados de libertad x, y, y ángulo del móvil.	25
Figura 7. Estructura básica, con ruedas motrices y rueda loca.	27
Figura 8. Cinemática sin inversión de giro.	27
Figura 9. Cinemática con inversión de giro.	28
Figura 10. Fotorresistencia.	30
Figura 11. Potenciómetro.	31
Figura 12. Resistencia Pull – Up.	31
Figura 13. Switch o llaves	32
Figura 14. Microswitch.	33
Figura 15. Sensores reflectivos de infrarrojo.	34
Figura 16. Sensores de ranura.	34
Figura 17. Sensor de Efecto Hall	35
Figura 18. Esquema de un motor paso a paso de imanes permanentes con cuatro fases.	38
Figura 19. Funcionamiento de un motor paso a paso de reluctancia variable.	38
Figura 20. Interfaz de los sensores	41
Figura 21. Polarización de la Fotorresistencia.	42
Figura 22. Etapa de control	44
Figura 23. Control de los motores con el Driver UCN 5804	46
Figura 24. Motores paso a paso	47

Figura 25. Sensores, Célula Fotorresistiva, circuito integrado UNC5804 y motores Paso a Paso.	48
Figura 26. Circuito Final.	48
Figura 27a). Prototipo en protoboard	49
Figura 27b). Tarjeta del circuito del robot con su estructura.	49

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. Hoja de datos sensor OPB706A.	51
ANEXO B. Hoja de datos comparador de voltaje LM339	55
ANEXO C. Hoja de datos del circuito integrado UCN 5804LB	58

INTRODUCCIÓN

Diseñar e implementar un robot autónomo que sea capaz de evitar obstáculos e identificar un color determinado y bajo la adquisición de esta señal, poder tomar una decisión propia en el desplazamiento de la superficie al cual el robot está sometido, permite integrar funciones de los sistemas inteligentes, como redes neuronales, los sistemas difusos y los algoritmos genéticos, con sistemas de control convencional de tal forma que se logre formar un sistema de control inteligente autónomo. Las señales o datos adquiridos por el robot en el entorno durante su desplazamiento, a través de sus sensores marcan el comportamiento a seguir del mismo, al relacionarse la percepción y la acción, formando así un sistema autónomo bajo un determinado comportamiento que finalmente es quien describe la inteligencia de dichos sistemas, y nos muestra la robótica como ciencia o conjunto de tecnologías que requiere del movimiento más la inteligencia para generar un comportamiento, simulando o sustituyendo al hombre en el desarrollo de actividades cotidianas o en la producción industrial, cuyo diseño requiere el conocimiento de, estructuras, materiales, física, dinámica, sensores, control y programación.

La robótica se centra en una rama específica de la electrónica produciendo el desarrollo de robots o sistemas robotizados que marcan la industrialización y las tecnologías de punta que gobiernan la sociedad actual del hombre. El diseño y la implementación de un robot capaz de evitar obstáculos y de tomar una decisión reflejando un comportamiento proyecta la visión que las teorías que nutren la electrónica, proporcionan mediante su estudio, y promueven el interés y el desarrollo de nuevas e innovadoras tecnologías o necesidades en la industria y en la sociedad actual que requieran de un desarrollo tecnológico basado en aplicaciones propias de la robótica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

El diseño y la implementación de los robots móviles, han venido creciendo a medida que las aplicaciones se encuentran cada vez más en la sociedad y principalmente en la industria; en donde las tareas más complicadas y de alto riesgo para el hombre están siendo realizadas por robots móviles capaces de tomar decisiones y actuar según esta. En Colombia el desarrollo de la robótica se ha basado en el diseño y la implementación de robots en función del medio, es decir tipo terrestres como vehículos seguidores de líneas de colores, con detección de obstáculos, detección de colores, robots con patas, manipuladores industriales et...también de tipo aéreo, acuático e híbrido y en función del control del movimiento como son los robots autónomos, teleoperados y poliarticulados de uso industrial básicamente. Los diferentes diseños e implementaciones que se han venido desarrollándose son usados hoy en día para realizar tareas sucias, peligrosas difíciles o repetitivas para el hombre, en limpieza de residuos tóxicos, minería búsqueda y rescate de personas, localización de minas terrestres; como también desarrollos en el campo de la medicina, robots controlados por computadoras capaces de realizar cirugías teleoperadas y realizadas por brazos robóticos.

En particular, robots articulados (similares en capacidad de movimiento a un brazo humano) son los más usados comúnmente. Las aplicaciones incluyen soldado, pintado y carga de maquinaria. La Industria automotriz ha tomado gran ventaja de esta tecnología donde los robots han sido programados para reemplazar el trabajo de los humanos en muchas tareas repetitivas.

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El diseño y la implementación de un robot autónomo móvil, que sea capaz de evitar obstáculos y identificar un tono oscuro (color negro) bajo una superficie de tonalidad clara durante su desplazamiento, permite demostrar aplicaciones a necesidades industriales existentes, proyectar recursos roboticos simples a desarrollos relacionados con sistemas difusos, redes neuronales y sistemas de control difuso. ¿Como mediante el diseño y la implementación de un robot autónomo móvil, que sea capaz de tomar una decisión correspondiente a un comportamiento específico, se puede desarrollar una aplicabilidad de la robótica en sistemas de control inteligentes, proyectar esta aplicabilidad a necesidades industriales y simular procesos biológicos de seres vivos, específicamente para la detección de calor, obtención de alimento o la protección de si mismo en el entorno ambiental?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La electrónica pretende ser una herramienta eficaz en la sociedad que cada día requiere de más tecnología para su evolución en la industria, cuyas necesidades son abastecidas, por infinitas aplicabilidades desarrolladas con conceptos electrónicos, procesos de control, automatización y robótica, siendo esto lo que permite generar sistemas de control inteligentes, que sean aplicaciones importantes en necesidades industriales existentes. Mediante el diseño y la implementación de este robot autónomo móvil, capaz de evitar obstáculos y detectar un tono oscuro (color negro) como contraste en una superficie de tonalidad mas clara durante su desplazamiento, se logre, proyectarlas teorías y conocimientos adquiridos, anticipándose a las necesidades industriales existentes; pretendiendo generar interés, cultivar la investigación en áreas de la robótica y sus aplicabilidades, crear soluciones innovadoras a necesidades de todo tipo industrial, donde la tecnología esta cubriendo con las diferentes problemáticas sociales y por medio de este, permitir ver varias aplicabilidades de la robótica, en diferentes ámbitos sociales, aplicabilidades industriales, aplicabilidades domóticas, y desarrollos en sistemas inteligentes; y finalmente llegar a relacionar el diseño de este robot con redes neuronales, y prototipos de seres vivos simulando procesos biológicos, como la detección de calor, obtención de alimento o protección.

1.4.OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un robot autónomo móvil capaz de evitar obstáculos y de detectar un color negro, identificando un tono oscuro en una superficie plana que es el ambiente del robot de color claro, y con esta información, poder tomar una decisión propia en el desplazamiento sobre la superficie al cual el robot estará sometido, generando una señal que indique que el proceso lógico ha culminado con el detenimiento del robot sobre la misma superficie, al realizar la identificación del color correspondiente.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema autónomo basado en los principios y fundamentos de la robótica móvil, cuya funcionabilidad, bajo la adquisición de una señal determine su comportamiento físico, moverse libremente en un ambiente.
- Implementar una estructura física de un robot móvil como sistema autónomo, junto con los sistemas que lo componen como son, el sistema de movimiento, el sistema de control y el sistema sensorial.
- Realizar la adquisición de una señal que detecta un color negro en una superficie, a través de un sensor posicionado como receptor dentro de la estructura física cuya funcionalidad sea la percepción visual.
- Acondicionar el sistema de movimiento, el sistema sensorial y el sistema de control, relacionando la percepción sensorial, con el movimiento generado básicamente por los motores paso a paso, y estos juntamente con el control lógico.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1. Alcances

El proyecto tiene como fin diseñar e implementar un robot autómatas móvil, basado en los principios y leyes de la robótica móvil, que sea capaz de evitar obstáculos y que permita tomar una decisión previamente controlada por la adquisición de una señal que es definida como un color, detectando un tono oscuro en un fondo claro que será identificado y que determinará el comportamiento en el desplazamiento del robot móvil; siendo acondicionada a los sistemas que componen toda la estructura física y funcional del robot.

Determinar por medio de la robótica móvil, y el desarrollo de la implementación de este robot móvil, la proyección de diversas aplicabilidades que nos permite manejar estos tipos de robots autómatas en la industria, relacionándolos con sistemas ya más complejos como redes neuronales y sistemas de control con lógica difusa.

1.5.2. Limitaciones

Las limitaciones del diseño y implementación del robot móvil, se centran en aspectos técnicos como: La velocidad de desplazamiento, que será de modo reducida, al trabajar el robot bajo una superficie plana de tonalidad clara, la autonomía respecto a su alimentación, y energía que posee para su funcionamiento y también como limitación se menciona la tarea que el robot estará en capacidad de hacer, conformada por funciones simples de evitar obstáculos en su desplazamiento y la identificación de una tonalidad oscura, bajo la una superficie de desplazamiento de tonalidad clara.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO CONCEPTUAL

El diseño e implementación del robot autónomo móvil que sea capaz de evitar obstáculos e identificar un tono oscuro en una superficie de desplazamiento en tono claro, es todo un desarrollo y estudio de las teorías básicas de la robótica y la implementación de sistemas electrónicos tales como el control discreto, los sistemas sensoriales electrónicos y estructuras básicas de mecánica y cinemática.

La teoría de la robótica nos lleva a interpretar lo fundamental de comportamiento del robot, la electrónica nos permite el desarrollo del proyecto como tal y la interacción de las dos hace posible, la implementación de una aplicabilidad mas para las necesidades industriales. La implementación de este proyecto se debe tener en cuenta los siguientes bloques constituyentes y desarrollados bajo los principios y leyes de la robótica, y los sistemas electrónicos:

2.1.1. Estructura básica del robot móvil.

La estructura básica de un robot móvil, permite generalizar el cuerpo, la conformación del robot, sus dimensiones y sus componentes exteriores e interiores. Se describe la forma como el robot realiza desplazamiento, los componentes, como motores y ruedas, capaces de ejercer la fuerza con que el desplazamiento se ejecutará, teniendo en cuenta, el modulo de alimentación que el sistema debe proporcionar los componentes capaces de ejercer el desplazamiento.

También describe la forma de percepción y adquisición de variables del entorno, por medio de sensores, la forma como se debe procesar estos datos obtenidos de

los sistemas sensoricos y su condicionamiento propio de esta señal. Finalmente nos muestra, la capacidad de decisión que adopta el robot, por intermedio del modulo de control, el cual es manejado a través de electrónica discreta.

2.1.2. Detección de obstáculos

El robot móvil será capaz de evitar obstáculos, sabiendo que la distancia a partir de la cual el robot detecta la pared durante su desplazamiento y toma la decisión de cambiar de rumbo. La naturaleza del obstáculo es de importancia para el sensor de percepción, como lo puede ser el color, la forma o el material, quienes se convierten en informaciones acerca del obstáculo que el robot puede detectar, sin embargo en este caso la idea es siempre que se detecte el obstáculo el robot lo evitará.

El color y el material son parámetros relacionados a determinados tipos de sensores, quienes utilizan la luz como medio de transporte de la información percibida o independiente.

2.1.3. Identificación o detección de color.

El robot bajo su autonomía, presenta un comportamiento en la evasión de obstáculos, al encontrar o identificar un tono oscuro en medio del desplazamiento sobre la superficie de tono claro, manifiesta otro comportamiento, generando su detención. El funcionamiento de lo anterior se debe a la presencia de un sensor de color cuyas características de funcionamiento son propias para la clase de entorno, al que se somete el robot y cuya tarea es la de detectar correctamente el tono oscuro y en ese momento detenerse e indicarlo por medio de una señal lumínica (led ON)

2.1.4. Control discreto toma de decisión.

El control, discreto hace parte de la toma de decisión del robot , basado en la adquisición de los datos por medio de los sensores, su procesamiento y acondicionamiento , que finalmente nos generan los comportamientos del robot. Este control discreto esta basado en un comparador de señal, compuertas lógicas, que determinaran la señal de salida, acondicionada por amplificadores idóneos para el tratamiento de esta señal y finalmente actuar sobre los motores para detener el desplazamiento.

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

La robótica se rige por las leyes propuestas por Isaac Asimov clasificadas como: ley cero, ley uno, ley dos y ley tres.

- La ley Cero: Un Robot no debe atentar contra la humanidad, o, por inacción, permitir que la humanidad sea lastimada.
- Ley uno: Un robot no lastimará a un ser humano, o, por inacción, permitir que un humano sea lastimado, a menos que esto viole una ley de mayor jerarquía.
- Ley dos: Un robot debe obedecer órdenes dadas por humanos, excepto cuando estas órdenes entran en conflicto con una ley de mayor jerarquía.
- Ley tres: Un robot debe proteger su propia existencia si no entra en conflicto con una ley de mayor jerarquía.

2.3. MARCO TEÓRICO

La Robótica es la rama de la inteligencia artificial que estudia los sistemas automáticos capaces de establecer una interacción directa con el mundo físico. Hace parte de un conjunto de tecnologías que prometen resolver problemas que son difíciles, aburridos o peligrosos para el hombre, con un avance considerable desde sus inicios, hoy en día se consiguen en el comercio manipuladores programables, robots que caminan, aprenden e interactúan entre si, como también se ha hecho grandes avances en los componentes de los robots, en visión , sensores , materiales y algoritmos de control, el diseño de estos requiere, conocer de estructuras, materiales , dinámica, actuadores, sensores control y programación.

Existen dos grupos de robots: Los robots fijos y los robots móviles. Lo fundamental de un robot móvil es el desplazamiento en un entorno conocido o desconocido, por lo tanto es, necesario conocer la posición del robot en su universo de manera precisa o relativa según la aplicabilidad y el comportamiento.

2.3.1. Tipos de Minirobots

La investigación actual, a nivel mundial en minirobots se puede clasificar en tres líneas:

- **Minirobots programables:** Estos minirobots contienen un microprocesador o un microcontrolador, el diseñador programa un conjunto de comportamientos o tareas que el robot debe ejecutar de acuerdo a las lecturas de sus sensores.
- **Minirobots BEAM:** Son conocidos como minirobots no programables, estas máquinas utilizan electrónica analógica y un diseño mecánico adecuado para producir un comportamiento emergente (no programado) inteligente. Esta línea de

trabajo no utiliza microcontroladores o microprocesadores. Como alternativa a la robótica tradicional el profesor Rodney Brooks del MIT¹ ha construido varios robots basados en la idea que una maquina puede entender su entorno por la dinámica estímulo – respuesta. Esto significa que, estos robots no tienen un modelo interno complejo del mundo, simplemente reaccionan a cambios del ambiente. La suposición BEAM es que los procesadores no son necesarios, y simples circuitos electrónicos acoplados con diseños mecánicos inteligentes pueden producir dispositivos que puedan sobrevivir en ambientes reales. La filosofía BEAM es muy sencilla, se busca diseñar minirobots donde una estructura mecánica adecuada y estética, acoplada con electrónica análoga produzca comportamientos inteligentes en base a estímulo – respuesta, cuyo objetivo fundamental es, evolucionar pequeños robots con circuitos análogos y alimentados en lo posible con energía solar, estos robots reaccionan a estímulos del medio sin programaron alguna.

- **Microrobots Cibernéticos:** Se busca controlar pequeños seres vivos con circuitos electrónicos acoplados, esto permite explorar la sensibilidad de los sensores biológicos y de los actuadores biológicos (Sistema motor y patas)²

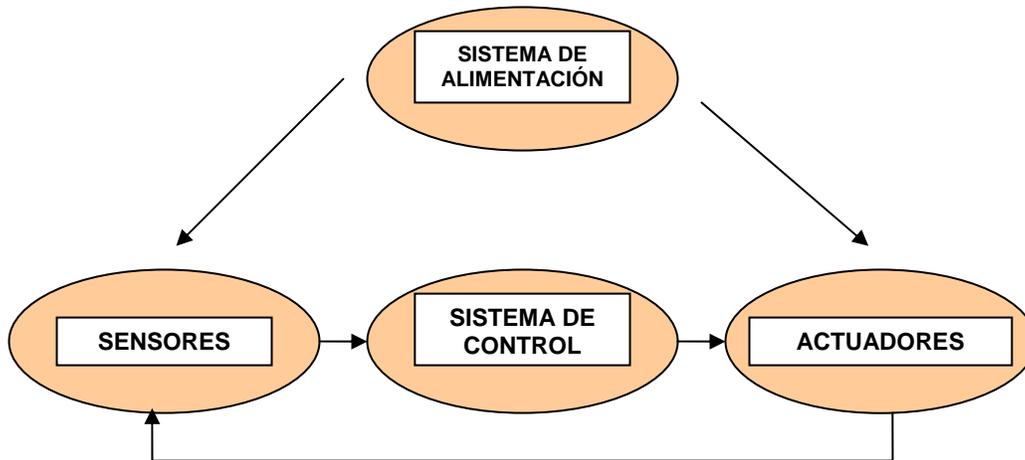
2.3.2. La estructura de un robot Móvil.

Un robot móvil se conforma con cuatro funciones específicas: El sistema de alimentación, la locomoción o actuadores, la percepción o sistemas sensóricos y los sistemas de control que determinan básicamente la decisión. Ver figura 1.

¹ Instituto Tecnológico de Massachussets. [Internet] [consultado 5 Agosto de 2006. Hora 10:00 a.m.]. Disponible en < <http://members.fortunecity.es/cibernetica/robotica.htm> >

² DELGADO, Alberto. Inteligencia Artificial y minirobots. Colombia Bogotá: Ecoe Ediciones, 2000, p 196.

Figura 1. Estructura básica de un robot móvil



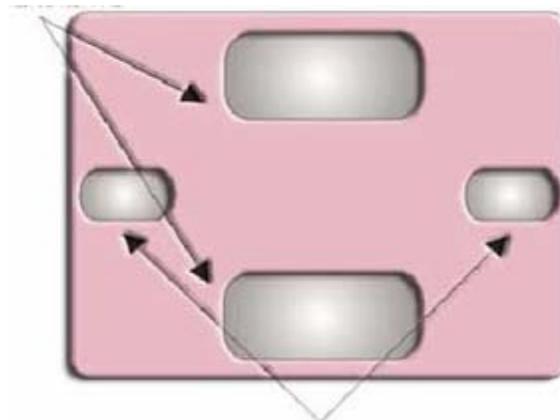
La locomoción o actuadores: La locomoción se basa en dos partes, la que realiza el apoyo sobre el medio en el que se desplazará el robot y la que permite su propulsión, en donde cabe mencionar los motores y los diferentes sistemas que generen el desplazamiento. Estos medios de desplazamientos son de gran variedad, por lo que es conveniente aplicar un tratamiento diferente, de acuerdo al desplazamiento del robot, ya sea por el suelo o dentro de un determinado medio, en la locomoción existen tres puntos importantes en el manejo del desplazamiento que son el desplazamiento en línea recta ideal para robots con ruedas, giros y translaciones en múltiples direcciones y planificación de trayectorias y navegación. Parte de la locomoción del robot, refiriéndose al desplazamiento bajo una superficie, consta de dos clases de robots; los robots con ruedas u orugas y los robots con desplazamiento articulado. En los robots que utilizan ruedas para el desplazamiento, el cambio de dirección se consigue variando la velocidad de los motores encontrados en cada una de las ruedas

laterales, o variando la orientación de las ruedas. Los robots móviles se clasifican bajo la disposición de las ruedas motrices y directrices expuestas a continuación:

- **Diferencial:** Se componen de 2 ruedas en un eje común, cada rueda se controla independientemente, puede realizar movimientos en línea recta, en arco y sobre su propio eje de contacto de rodamiento, requiere de una o dos ruedas adicionales para balance o estabilidad., para lograr el movimiento en línea recta requiere que las dos ruedas de tracción giren a la misma velocidad. Ver figura 2.

Figura 2. Estructura tipo diferencial.

Ruedas de tracción independientes



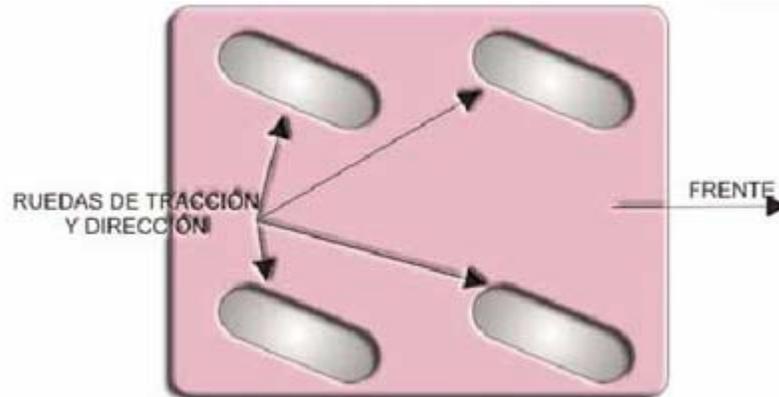
1 o 2 ruedas para estabilidad sin tracción.

Fuente: [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

- **Síncrono:** Todas las ruedas se mueven al mismo tiempo, para el avance y vuelta. Las ruedas siempre apuntan en la misma dirección, para dar vuelta giran sobre su propio eje de apoyo manteniendo la posición del frente del robot, evita

inestabilidades y pérdida de contacto diferencial, pero presentan el inconveniente de complejidad mecánica. Ver figura 3.

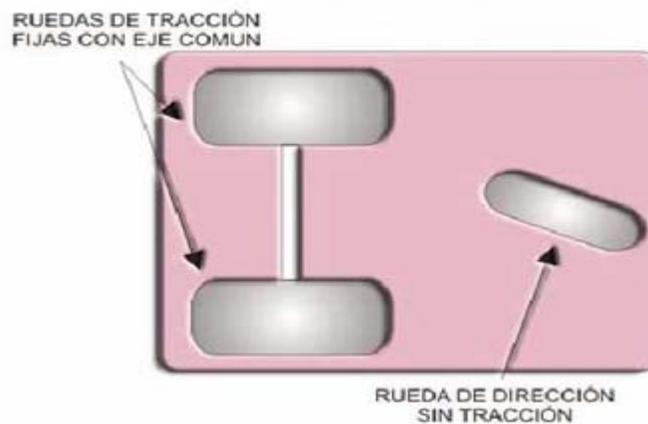
Figura 3. Estructura tipo Síncrono.



Fuente: [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

- **Triciclo:** Dos ruedas de tracción fijas y una tercera para la dirección sin tracción, presenta estabilidad y simplicidad mecánica con facilidad para los movimientos rectos pero presenta una cinemática compleja, esto es que para realizar giros y vueltas requiere de grandes desplazamientos o movimientos. Ver Figura 4.

Figura 4. Estructura tipo triciclo.



Fuente: [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

- **Carro:** Es similar al triciclo, cuenta con dos ruedas de tracción y dos ruedas de dirección, tiene buena estabilidad y facilidad para movimientos rectos pero presenta mayor complejidad mecánica por el acoplamiento entre las dos ruedas de dirección y también complejidad cinemática. Ver Figura 5.

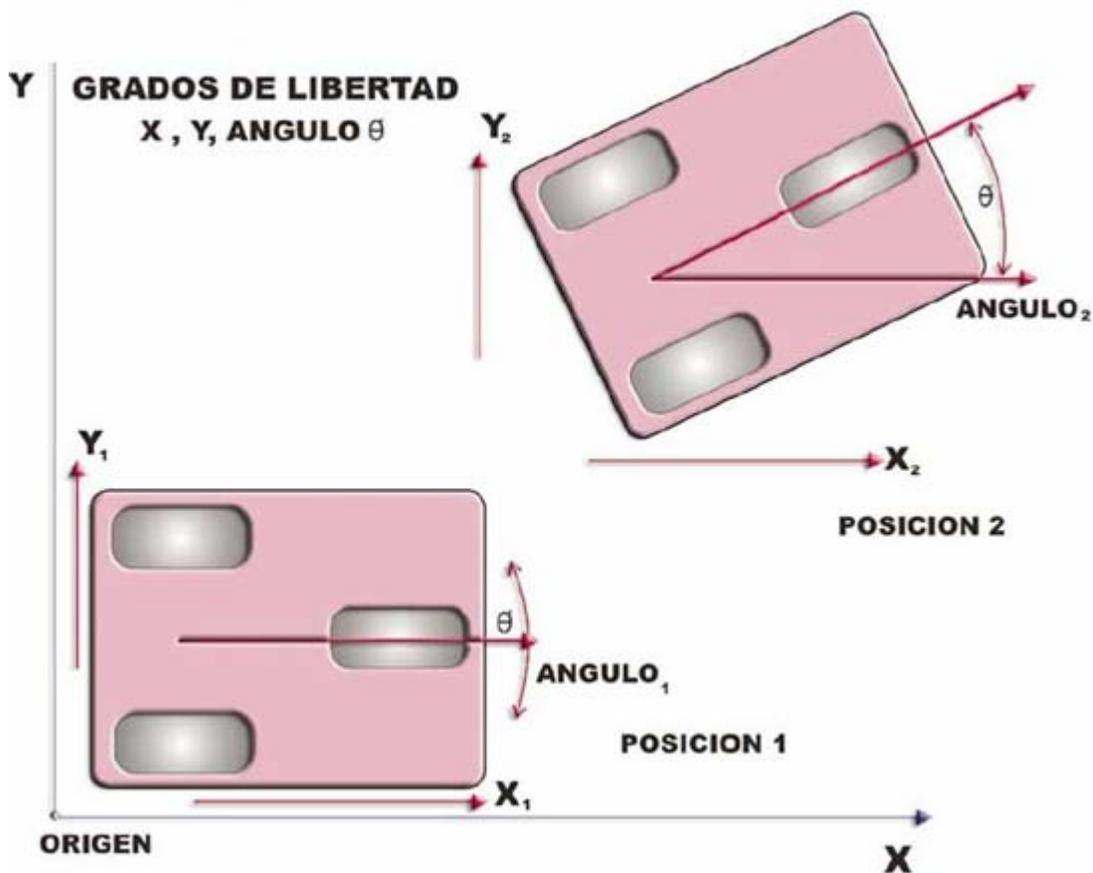
Figura 5. Estructura tipo carro.



Fuente: Clubse. [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

La estructura de un robot móvil también se basa en los principios de la cinemática, la relación que hay entre los diferentes grados de libertad, que nos muestra como la capacidad de movimientos que el móvil puede realizar, y con respecto a un punto de referencia (posición en el espacio), se componen de tres; la posición x , la posición y , y su orientación, que viene siendo el ángulo con respecto a su posición de origen, concluyendo que desde cualquier punto donde inicie su movimiento se tendrá una posición x , y , y un ángulo específico, quien describe la orientación del móvil. Ver Figura 6.

Figura 6. Grados de libertad x , y , y ángulo del móvil.



Fuente: Clubse. [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

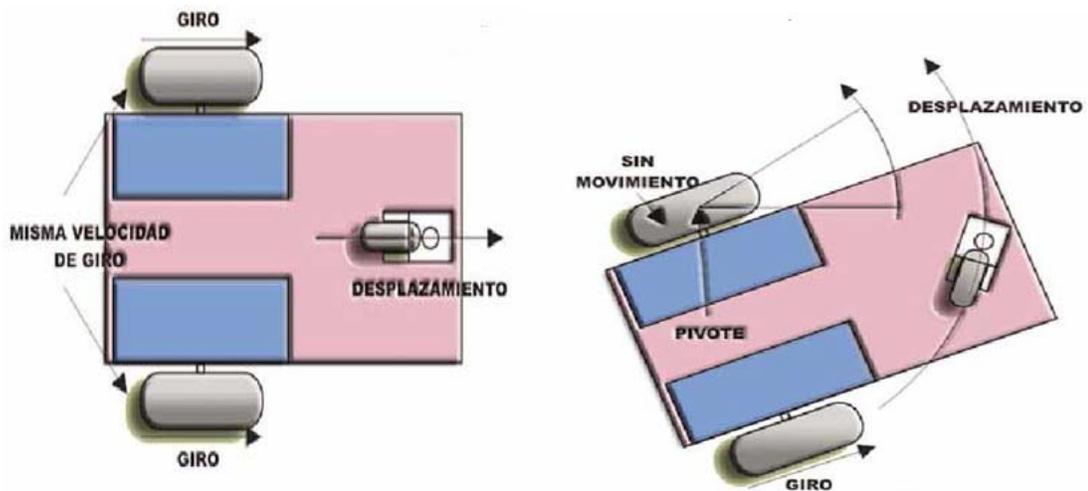
Una configuración de tres ruedas en una estructura básica de cualquier tipo de robot móvil, dos ruedas denominadas ruedas motrices son las responsables del desplazamiento del móvil impulsadas por la motorización de las mismas, y una tercera rueda de giro libre o rueda loca, que debe ser capaz de rodar y pivotar sobre si misma, absorbiendo los obstáculos del terreno al igual que las ruedas motrices, teniendo en cuenta que movimiento alrededor del eje de pivote debe ser lo mas suave posible, con el fin de dificultar la rotación del robot, esta rueda loca, es adherida a un eje que no es concéntrico, permitiéndole así no presentar ninguna resistencia al desplazamiento del móvil y su función principal, es de apoyo. Ver figura 7. Las ventajas en cuanto a su desplazamiento se reflejan en: al girar las ruedas motrices a la misma velocidad el móvil, se desplazara en línea recta, si en algún momento se desea que el mismo gire hacia la derecha o izquierda, se puede detener uno de los motores y el móvil dará vuelta tomando como eje de giro el punto de contacto de la rueda que este detenida, en caso de girar en el otro sentido el eje de giro, será la que esté en turno sin girar, analizando éstos movimientos observamos que el desplazamiento es mínimo al dar vuelta además que ya no requeriremos de algún otro motor que haga la función de eje de dirección como sería necesario en caso de ser de cuatro ruedas, la rueda loca solo cumple la función de dar estabilidad al sistema. Lo anterior es válido para cuando el móvil sólo tiene la capacidad de que sus ruedas motrices se desplacen en un solo sentido. Ver figura 8.

Figura 7. Estructura básica, con ruedas motrices y rueda loca.



Fuente: [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm>>

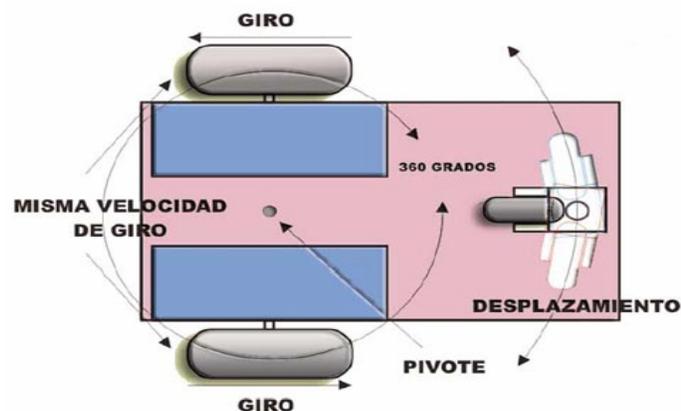
Figura 8. Cinemática sin inversión de giro.



Fuente: Clubse. [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm>>

Para el caso en que las ruedas motrices tengan la capacidad de invertir su sentido de giro, Ver Figura 9, se hace girar las ruedas una en sentido contrario a la otra, el eje de giro del móvil será la parte central del eje imaginario que pasa por las dos ruedas. Esto dará la posibilidad de que podamos orientar al móvil en cualquier dirección o que gire sobre si mismo 360 grados, de esta manera se generan ciertas ventajas como los son girar sobre si mismo 360 grados, evadir obstáculos mas fácilmente, moverse en lugares muy reducidos y tener menor lógica de control sobre los motores en su etapa inicial. ³

Figura 9. Cinemática con inversión de giro.



Fuente: Clubse. [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

Sistema sensorico o percepción: Los robots son capaces de percibir en su entorno en un determinado aspecto cuando interpreta una variable previamente adquirida por el sistema sensorico, que le permitirán a las máquinas inspeccionar

³Clubse. [Internet] [Consultado 15 Agosto de 2006. Hora 14:00]. Disponible en < <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm> >

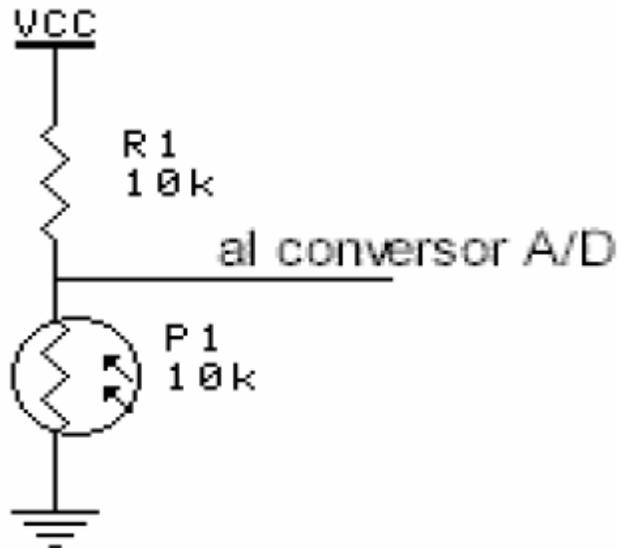
el ambiente que le rodea y hacerse una idea propia de él, sin necesidad de un conocimiento previo del mismo, tal como lo hacen los seres humanos, acoplando la percepción y la acción. La inteligencia en un robot dada por la decisión que rige un comportamiento surge como una propiedad cuyo factor fundamental ha sido la interacción del entorno que se produce por medio de la relación de las acciones con la percepción. La acción de un robot basado en el comportamiento implementa diversas maneras de comportamientos de los motores constituyentes en la estructura del mismo, que son activados a partir de los estímulos percibidos por el robot. La percepción es descrita como percepción de bajo nivel, dividida físicamente en dos tipos: remotos o próximos. Los remotos se componen de un emisor, enviando energía hacia el exterior y un receptor, captador de la energía enviada. Los próximos únicamente tienen un receptor que capta por contacto físico la información del exterior. Los receptores de ambos sistemas se dividen en bloques que permiten, componer toda la estructura del robot móvil, los transductores el acondicionamiento de la señal, el procesamiento de la señal, procesamiento de la información junto con la toma de decisión y la salida.

➤ **Sensores análogos más frecuentes utilizados en robótica.**

Fotorresistencia: También llamados LDR, estos fotoresistores, poseen la capacidad de variar su valor acorde a la cantidad de luz que incidan sobre ellos. El LDR mostrado como P1 en la figura 10 posee una resistencia de 10K operando con una iluminación intermedia.

Junto con R1 que también es de 10K, producen un divisor resistivo. La tensión medida en el punto medio de este divisor variará según varíe la luz que incida sobre el LDR, debido a que el valor resistivo del LDR decrece a medida que la luz aumenta, en consecuencia la tensión en el punto medio, disminuirá también a medida que la luz aumente y viceversa.

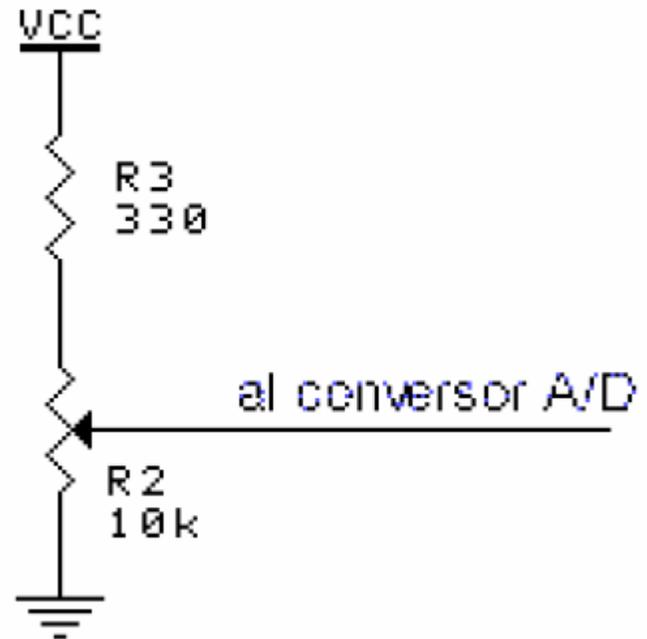
Figura 10. Fotorresistencia.



Fuente: Todo.Robot.Argentina. [Internet] [Consultado 8 Septiembre de 2006. Hora 22:00]. Disponible en < <http://www.todorobot.com.ar/>>

Potenciómetros: Otro sensor muy comúnmente usado y que a veces no se lo considera es el clásico potenciómetro. Estos son muy útiles para medir movimientos y determinar la posición de un mecanismo determinado como por ejemplo el eje de una articulación de un brazo mecánico. Debido a que los potenciómetros poseen un ángulo de giro de aproximadamente 270° , no es posible usarlos en mecanismos que deben realizar un giro completo o bien mas de una vuelta sobre su eje. Como se aprecia en, la Figura 11 la forma de conexión es similar al caso del LDR, con la simple diferencia que en este caso el Potenciómetro es un divisor resistivo en si mismo y R3 se usa como simple limitador de corriente.

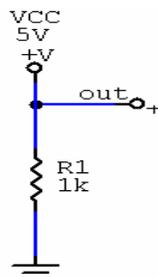
Figura 11. Potenciómetro.



Fuente: Todo.Robot.Argentina. [Internet] [Consultado 8 Septiembre de 2006. Hora 22:00]. Disponible en < <http://www.todorobot.com.ar/>>

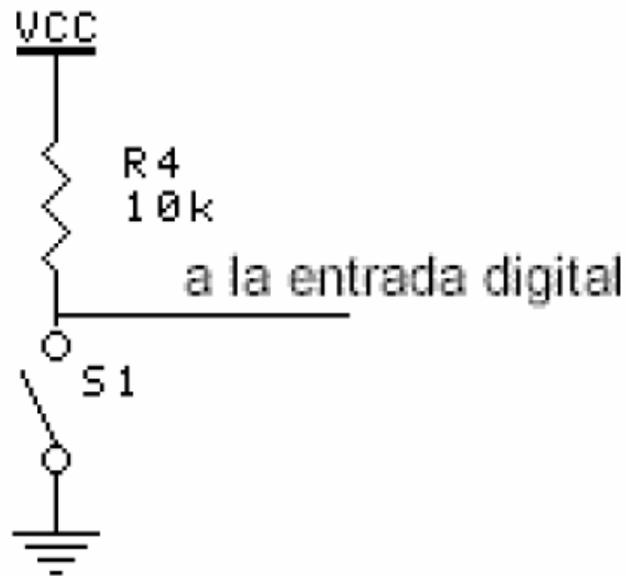
Sensores Digitales de uso general: Existe una gran variedad de sensores digitales. Muchos de ellos se conectan en forma similar, la cual es haciendo uso de una resistencia de Pull-Up.(Ver figura 12), conectada a VCC para mantener la entrada forzada a nivel alto, con lo cual el sensor la forzaría a nivel bajo cuando se active.

Figura 12. Resistencia Pull – Up.



Switch o llaves: Uno de los sensores más básicos son los switch (llaves o pulsadores). En la figura 13 se puede apreciar el conexionado clásico de un switch a una entrada digital, para evitar pulsos de rebote, al accionar el switch se puede usar un capacitor de bajo valor (0.1uF a 1uF) en paralelo con los bornes del switch.

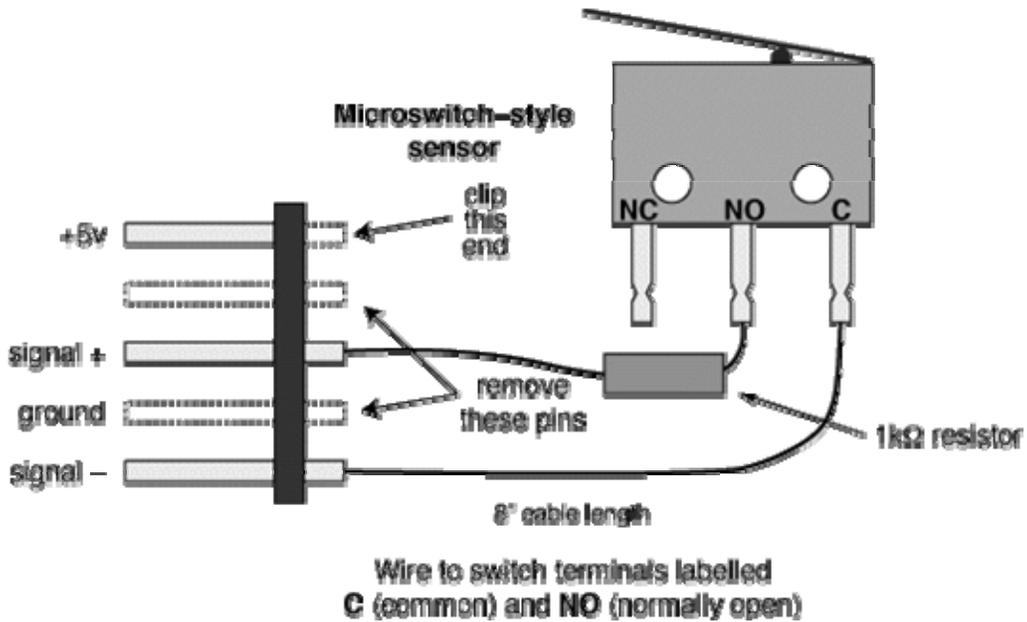
Figura 13. Switch o llaves



Fuente: TODO.ROBOT.ARGENTINA. [Internet] [Consultado 8 Septiembre de 2006. Hora 22:00]. Disponible en < <http://www.todorobot.com.ar/>>

Microswitch: Un tipo de switch muy útil en robótica es el microswitch como el que se puede apreciar en la siguiente figura 14, al presionar la lámina, el borne común C pasa a conectarse con el borne activado A, Si la lámina no está presionada, el borne C está unido con R (reposo). En la práctica el borne R, viene identificado como NC (normal closed) y el borne A, viene identificado como NO (normal open). La forma de conectar un microswitch a una entrada digital es la misma usada para todo tipo de switch.

Figura 14. Microswitch.

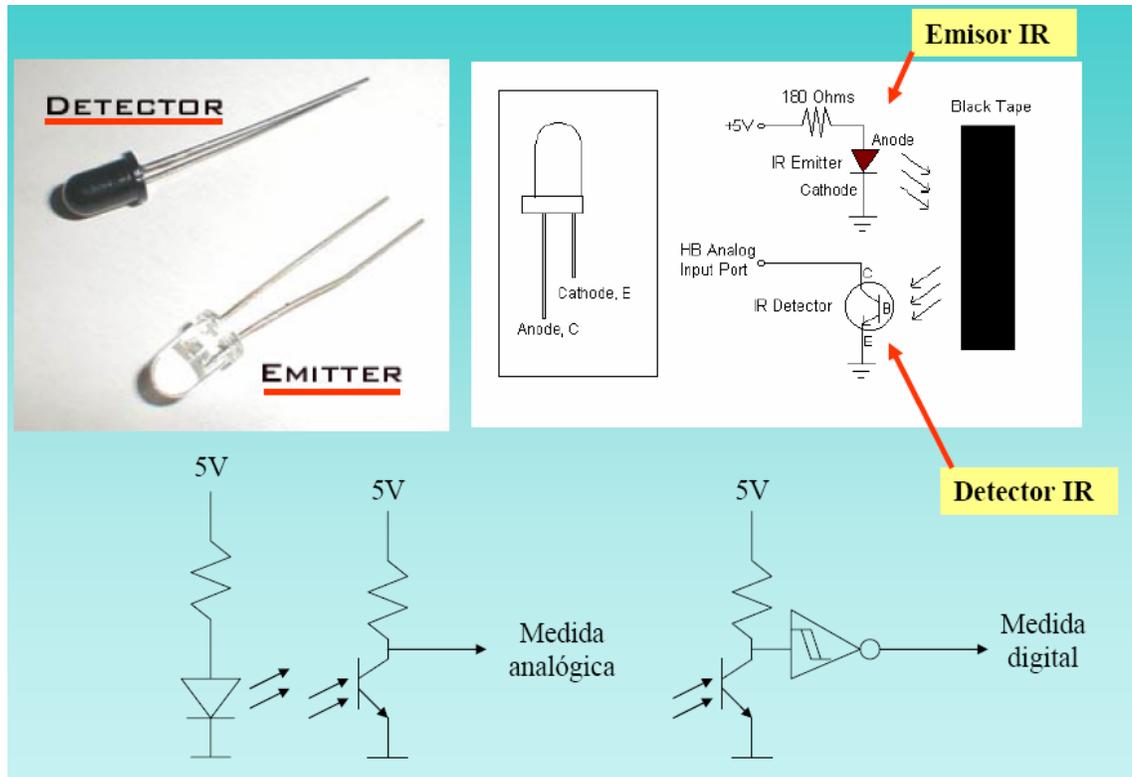


Fuente: Instituto Tecnológico de Massachussets. [Internet] [Consultado 02 Septiembre de 2006. Hora 9:00 a.m.]. Disponible en < www.llk.media.mit.edu/.../doc/sensors/ckswitch.gif >

Sensores infrarrojos optoacoplados: Existen dos tipos de sensores infrarrojos: reflectivo y de ranura. En ambos casos estos se basan en un conjunto formado por un fototransistor (transistor activado por luz) y un LED infrarrojo.

Reflectivo: Este tipo de sensor presenta, una cara frontal en la cual se encuentran tanto el LED como el Fototransistor. Debido que no están colocados en forma enfrentada, la única forma posible para que la luz generada por el LED active el Fototransistor es haciendo reflejar esta luz en una superficie reflectiva. Teniendo en cuenta esto, estos sensores son muy útiles para detectar; por ejemplo una línea negra sobre una superficie blanca o viceversa. Ver Figura 15.

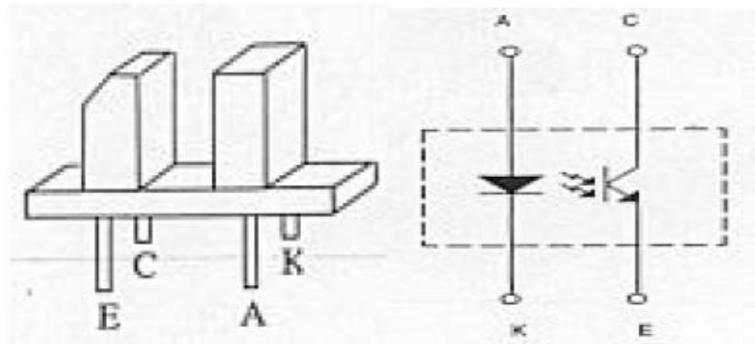
Figura 15. Sensores reflectivos de infrarrojo.



Fuente: Instituto Tecnológico de Massachussets. [Internet] [Consultado 5 Agosto de 2006. Hora 10:00 a.m.]. Disponible en < www.llk.media.mit.edu/.../doc/sensors/ckswitch.gif >

De Ranura: En este tipo de sensor, ambos elementos (LED y Fototransistor) se encuentran alineados a la misma altura, enfrentados a través de la ranura. El fototransistor se encontrará activado siempre que no se introduzca ningún elemento que obture la ranura. Ver figura 16

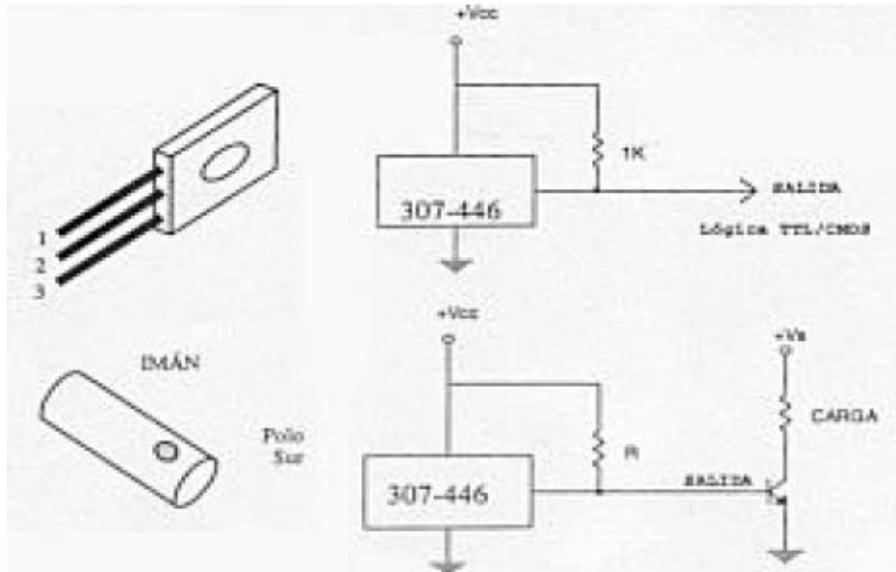
Figura 16. Sensores de ranura.



Fuente: Todo.Robot.Argentina. [Internet] [Consultado 8 Septiembre de 2006. Hora 22:00]. Disponible en < <http://www.todorobot.com.ar/>>

Sensor de Efecto Hall: Otro sensor muy útil y simple de usar es el de efecto Hall. Se trata de un semiconductor que actúa como detector de proximidad al enfrentarse al polo sur de un imán. Utilizando el efecto Hall para proporcionar una conmutación sin rebotes. La distancia a la que produce la conmutación el campo magnético del imán es de al rededor de 2mm (dependiendo del modelo usado). Son muy usados en circuitos lógicos en donde se precisa conmutar sin que se produzcan rebotes, o en donde se quiera evitar el contacto mecánico. Como por ejemplo es posible realizar un circuito que mida las revoluciones a la que está girando una rueda. Ver Figura 17

Figura 17. Sensor de Efecto Hall



Fuente: Todo.Robot.Argentina. [Internet] [Consultado 8 Septiembre de 2006. Hora 22:00]. Disponible en < <http://www.todorobot.com.ar/>>

Sensores ultrasónicos: Estos sensores se utilizan para medir distancias comprendidas entre 20 cm. y varios metros. Debido a estas características, no se pueden emplear para detectar distancias cortas. Estos son los algunos de los sensores mas utilizados en la robótica, debido a su practicidad y bajo costo.⁴

Sistema de control: La información del entorno percibida por el sistema sensorico del robot, son entrada de esta función, para realizar la toma de decisión, con objeto de producir una salida, entendiéndosele como la acción a desarrollar, si un sensor genera la información de no poder avanzar hacia adelante, esta información es básica y primordial en la toma de la decisión, esperando de esta forma que la salida sea realizar un desplazamiento, eliminar obstáculo o realizar una parada.

⁴ Fuente: Todo.Robot.Argentina. [Internet] [Consultado 8 Septiembre de 2006. Hora 22:00]. Disponible en < <http://www.todorobot.com.ar/>>

2.3.3. Motorización de la ruedas de un robot móvil.

Los motores de corriente continua son los pilares de la robótica, el control de estos motores se lleva a cabo fácilmente mediante interruptores electrónicos, que permiten tanto el control de la velocidad como el cambio de un sentido de rotación al otro.

2.3.3.1 Motores paso a paso

Una máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía eléctrica en mecánica, hace referencia a la definición de motor, al generar fuerzas ejercidas por un campo electromagnético, creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas.

Los motores paso a paso funcionan por medio de una señal eléctrica en forma de tren de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Al aplicarle un pulso a cada una de estas bobinas el motor se desliza un paso y queda fijo en una posición, por cada pulso recibido el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados, para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Las inercias propias de arranque y parada impiden que el rotor alcance la velocidad nominal instantáneamente, por lo que ésta, y por tanto la frecuencia de los pulsos que la fija, debe ser aumentada progresivamente. Existen tres tipos de motores paso a paso.

- De imanes permanentes
- De reluctancia variable
- Híbridos

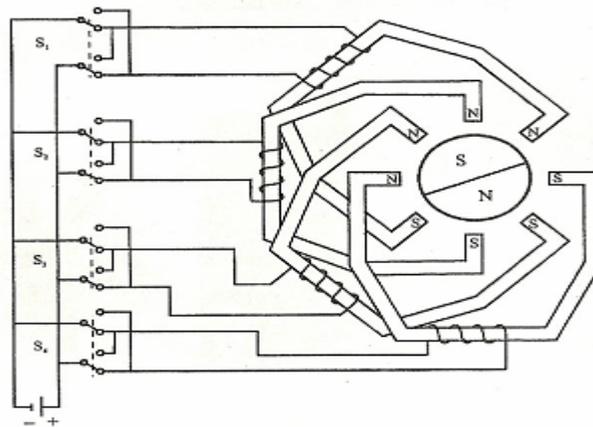
Los motores paso a paso de imanes permanentes, figura 18, el rotor, que posee una polarización magnética constante, gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fuerzas del estor. En los motores de reluctancia variable, figura 19, el rotor esta formado por un material ferromagnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de fuerza del campo magnético generado por las bobinas del estator. Los motores híbridos, combinan el modo de funcionamiento de los dos tipos anteriores.

El motor al poderse mover en pequeños pasos, esto permite controlar su posición, con mayor o menor precisión dependiendo del avance de cada paso, al realizar una variación en la frecuencia con la que se aplican los pulsos se esta variando la velocidad con la que opera el motor, realizando así un control de velocidad y al invertir la secuencia de pulsos de la alimentación aplicadas a las boninas se realiza una inversión en el sentido de giro del motor, consiguiendo así a través de la utilización de un motor paso a paso el control de velocidad, posición y sentido de giro, permitiendo infinitas aplicabilidades.

Su principal ventaja con respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto. Pueden girar además en forma continua, con velocidad variable como motores síncronos, ser sincronizando entre si, obedecer a secuencias complejas de funcionamiento.⁵

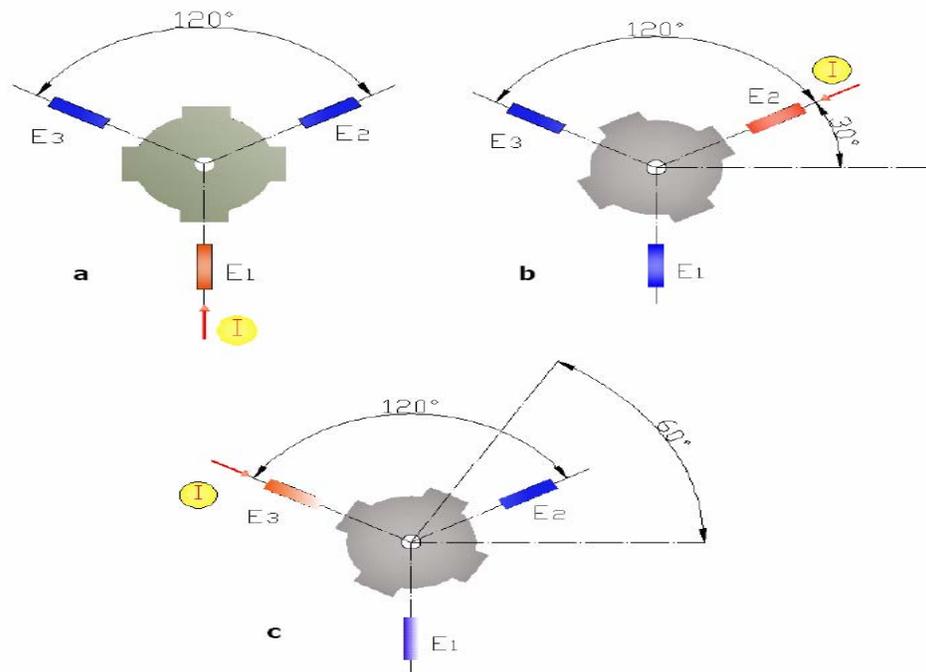
⁵ BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica .Madrid: McGraw Hill, 2004, p.358.

Figura 18. Esquema de un motor paso a paso de imanes permanentes con cuatro fases.



Fuente: BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica .Madrid: McGraw Hill .2004, p.358.

Figura 19. Funcionamiento de un motor paso a paso de reluctancia variable.



Fuente: Sebyc. [Internet] [Consultado 05 Octubre de 2006. Hora 1:00 pm]. Disponible en < <http://www.sebyc.com/> >

2.3.4. Velocidad del móvil.

La elección de la velocidad es esencial para un robot. Un robot no debe ir demasiado rápido, con el fin de hacer sus desplazamientos más realistas. La velocidad en línea recta de un robot de demostración debe ser inferior a los 50 cm. s⁻¹, para conseguir esta velocidad, se divide la velocidad de rotación del motor entre 60(cuando el motor esta alimentado con una tensión nominal), lo que da como resultado el numero de vueltas por segundo, luego se multiplica el diámetro de la rueda por π , y por ultimo se multiplica la velocidad de rotación máxima por la circunferencia de la rueda; el resultado obtenido corresponde a la distancia recorrida por el robot en un segundo.

3. LINEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/ SUB – LINEA DE FACULTAD/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA.

La línea de investigación USB es las Tecnología Actuales y sociedad.

Sub línea de la facultad Instrumentación y control.

Campo temático. Control.

El campo temático que sustenta este proyecto es el control, la implementación del robot móvil implica conceptos y aplicaciones de control, como son la retroalimentación de las etapas que integran el diseño de este; (etapa sensorica, logica combinacional o discreta, actuadores y alimentación.), implementada en el diseño de este robot móvil; las señalas adquiridas del entorno por medio de los sensores, son manejadas dentro de una lógica discreta que permite generar la toma de decisiones del robot, obteniendo señales de salida que son interpretadas finalmente en los actuadores quienes son los responsables del movimiento del robot en base a su decisión tomada.

4. DESARROLLO DE PROYECTO

El desarrollo de este proyecto, se basa en la implementación de la estructura básica de un robot móvil, explicadas en el marco teórico de este proyecto, esta estructura básica se divide en etapas fundamentales para el funcionamiento del mismo que son: la sensorica, la etapa de control, los actuadores y la alimentación, las cuales se fueron implementando de acuerdo a lo estudiado y a los objetivos y propuestos anteriormente.

4.1. Etapa Sensorica.

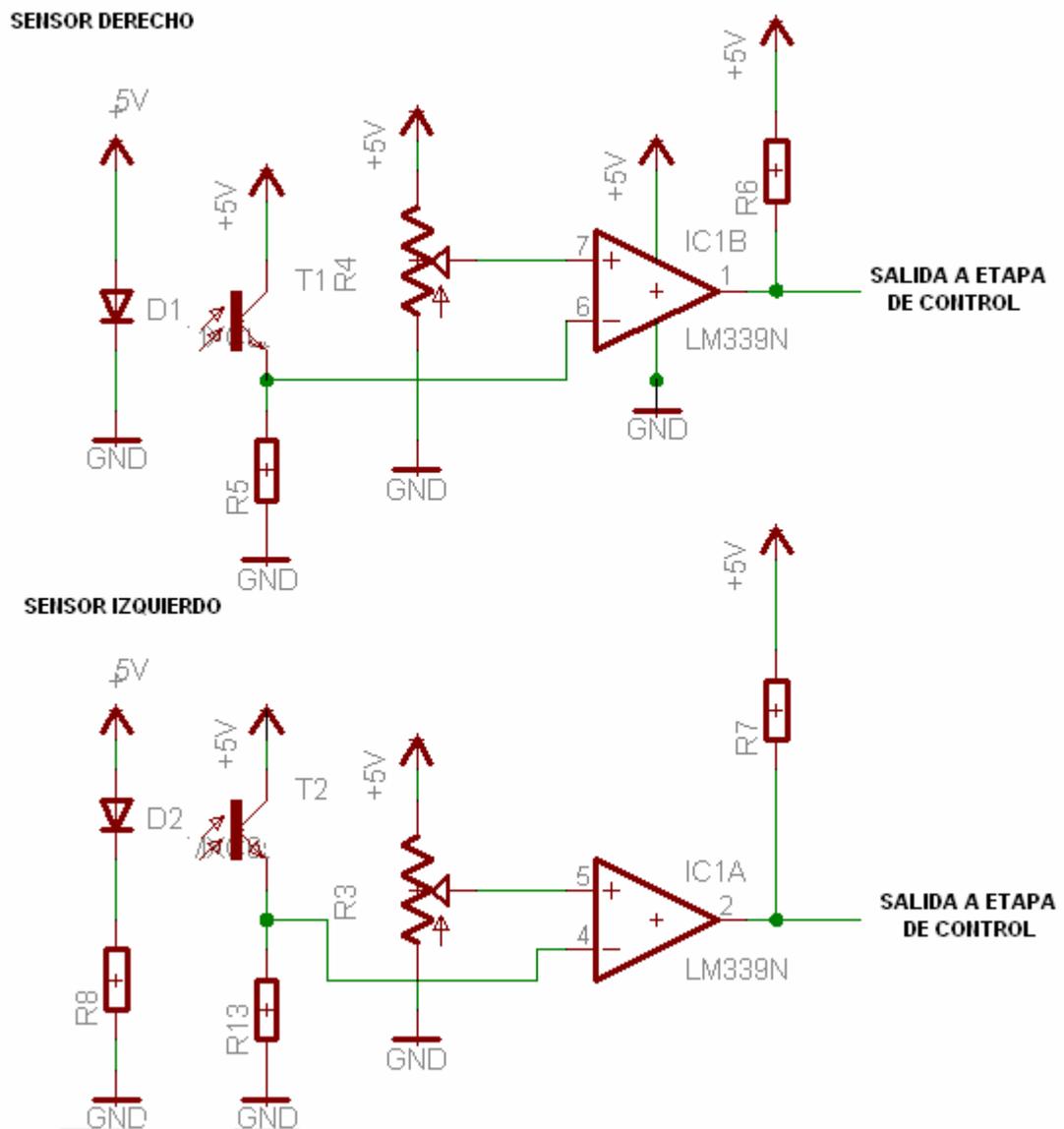
Esta etapa es determinada por las funciones o tareas que el robot móvil desarrollará, siendo estas la detección de obstáculos y la detección de un color negro en una superficie.

4.1.1 Detección de un obstáculo.

La detección de obstáculos hace parte de la etapa sensorica del robot, esta es una de las tareas que el robot móvil va a desarrollar, esta etapa consta principalmente de dos sensores de tipo reflectivo de referencia OPB706A (Ver Anexo A.) y un comparador de voltaje de referencia LM339 (Ver Anexo B). El sensor reflectivo OPB706A se compone de un diodo emisor de infrarrojo y un fototransistor NPN, el diodo emite una luz infrarroja dirigida hacia el obstáculo y el fototransistor recibe los fotones gracias a la reflexión que se produce en el obstáculo. Este sensor se polariza de la siguiente manera: El ánodo del diodo emisor se polariza con + 5 voltios y el cátodo del mismo con una resistencia hacia tierra. El colector del fototransistor se polariza con + 5 voltios y en su emisor se conecta la resistencia de carga, la cual nos proporciona la sensibilidad del sensor, siendo esta la señal de salida, de ambos sensores, tanto el derecho como el izquierdo. Ambas señales serán entradas negativas del comparador de voltaje LM339, fijando en ambos casos una referencia, y colocando sus salidas

polarizadas como colector abierto, logrando así obtener la señal obtenida por los sensores al detectar algún obstáculo y ser tratada bajo una comparación cuya salida va dirigida a la etapa de control. (Ver Figura 20)

Figura 20. Interfaz de los sensores

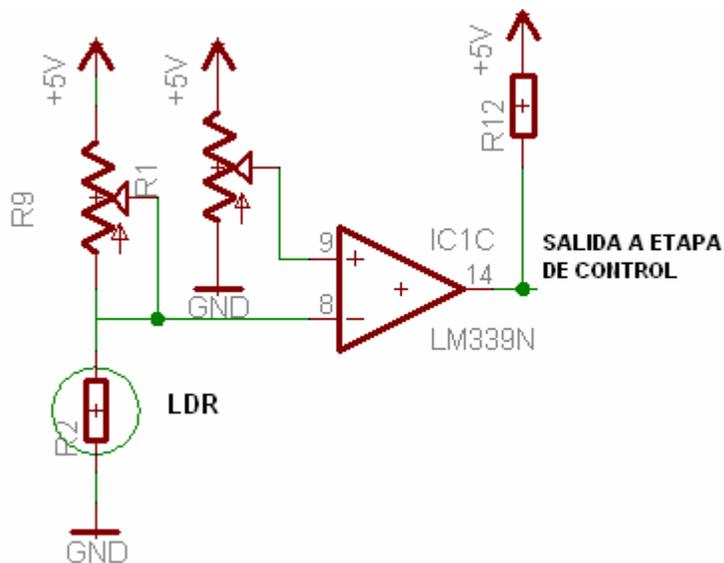


4.1.2. Detección de color negro en una superficie.

La detección de un color negro en una superficie, también hace parte de la etapa sensorica del robot, siendo esta otra de las tareas que el robot móvil va a desarrollar, esta etapa se compone de una célula fotorresistiva (LDR) (Ver Figura 21). Se coloca una resistencia en serie con la célula y se toma una tensión entre los dos componentes, con lo cual se obtiene un divisor de tensión, que permite convertir la variación de resistencia en una variable de tensión.

Esta salida será una entrada negativa del comparador LM339, con la cual fijamos una referencia, para ser comparada y obtener la salida del comparador polarizada como colector abierto, tal cual como se realizo con los sensores de tipo reflectivo, explicado anteriormente.

Figura 21. Polarización de la Fotorresistencia.



4.2. Etapa de control.

Esta etapa se compone de una lógica combinacional, que permite controlar los motores del robot móvil, a través de la señal adquirida por los sensores y por la célula fotorresistiva, tratada en la etapa anterior, la señal de salida de los sensores y de la célula fotorresistiva pueden ser niveles lógicos entre uno y cero, de acuerdo a la detección de obstáculos de los mismos, para el caso de los sensores, o la detección de un color negro sobre la superficie, para el caso de la célula fotorresistiva; esto es que si el sensor derecho detecta un obstáculo la señal en esta etapa será de un nivel lógico alto, de lo contrario la señal será de un nivel bajo; lo mismo ocurrirá también con el sensor izquierdo, de tal modo que los sensores al detectar simultáneamente algún obstáculo el valor de la señal en esta etapa será de un nivel alto; o en el caso que la célula fotorresistiva detecte un color negro en la superficie, la señal también tendrá un nivel alto.

De acuerdo a las funciones que queremos que el robot móvil desarrolle, se determina su lógica y por consiguiente su toma de decisión. A través de la lógica combinacional logramos implementar una lógica capaz de realizar el control en los motores del robot, encargados del movimiento del mismo. La lógica se determinó de la siguiente manera: Si el sensor derecho detecta un obstáculo, su salida será de un nivel alto, el cual hará la detección del motor izquierdo, ahora si el sensor izquierdo detecta un obstáculo, su salida será de un nivel alto, con lo cual se hará la detección del motor derecho. En el caso en que los dos sensores detecten un obstáculo (va de frente), ambas salidas tendrán un nivel bajo, que permite que los dos motores del robot sigan funcionando, pero con dirección opuesta. Ahora si los sensores no detectan ningún obstáculo (su salida en nivel bajo), pero la célula fotorresistiva detecta algún color negro en la superficie, su salida será de nivel alto y por consiguiente los motores se detendrán en ese punto. (Ver Tabla 1.)

Esta lógica se implemento a base de compuertas lógicas (Niveles TTL), se utilizo en el desarrollo de esta lógica, una compuerta inversora 74LS04, una compuerta AND de tres entradas 74LS11, una compuerta AND de dos entradas 74LS08, una compuerta NAND 74LS013 y una compuerta OR 74LS32. (Ver Figura 22). La salida de esta etapa de control hace parte de la etapa de los actuadores o motores del robot móvil, estos son dos motores paso a paso controlados por el circuito integrado de referencia UCN 5804. (Ver Anexo C), el cual funciona como driver para el control de los motores paso a paso.

Esta lógica se determino en base al método de los términos mínimos; se buscan los niveles altos (1) en las salidas, si en la entrada existe algún nivel bajo (0) se niega la variable, si es un nivel alto la variable no se niega, obteniendo así dos ecuaciones correspondientes a las salidas que nos permitirán realizar la lógica que se requiere anteriormente descrita. Las siguientes son las ecuaciones obtenidas a partir del método de términos mínimos.

$$\text{MOTOR DERECHO} = \bar{D} \mid \bar{F} + \bar{D} \bar{I} F + D \bar{I} F + D \mid F$$

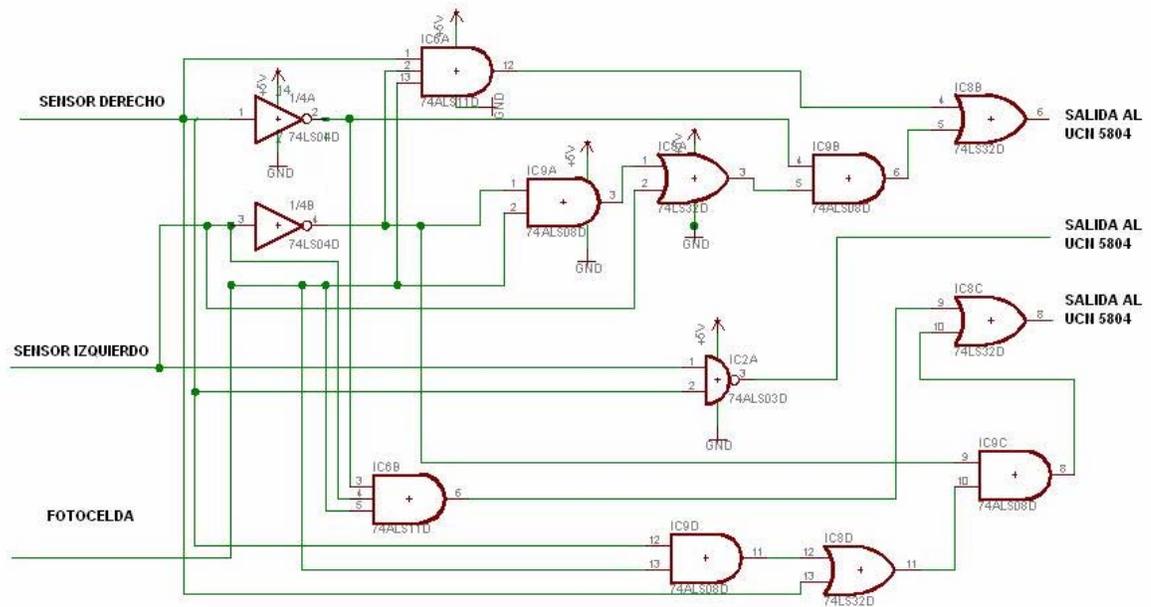
$$\text{MOTOR IZQUIERDO} = D \bar{I} \bar{F} + \bar{D} \bar{I} F + D \bar{I} F + D \mid F$$

A partir de estas ecuaciones se aplican las leyes de morgan, para la simplificación de la misma, y así se logra obtener la lógica compuesta por las compuertas lógicas anteriormente descritas. Quienes son finalmente las que integran la etapa de control.

Tabla 1. Lógica para la toma de decisión del robot móvil.

Entrada Sensor Derecho (D)	Entrada Sensor Izquierdo (I)	Entrada Célula Fotorresistiva(F)	Salida Motor Derecho	Derecho Motor Izquierdo
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	1	0
0	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	0	1	1	1
0	1	1	1	1

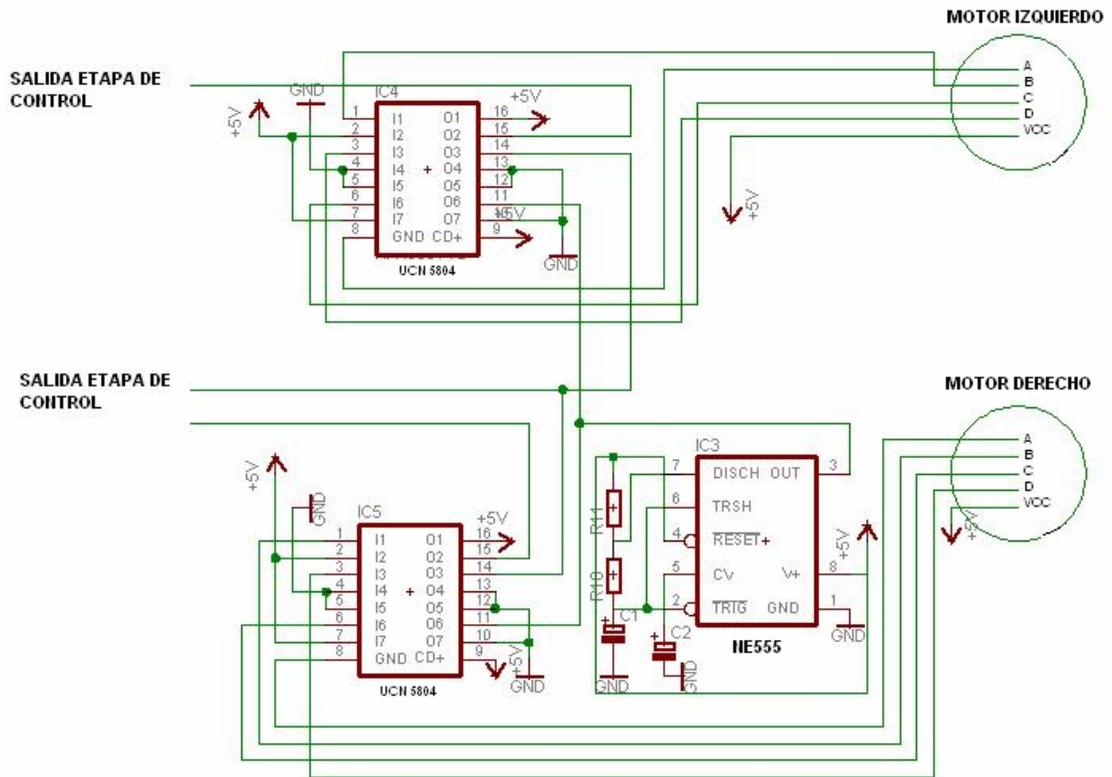
Figura 22. Etapa de control



4.2.1. Control de los motores con el Driver UCN 5804

EL circuito Integrado de referencia UCN 5804, funciona como driver para el control de los motores paso a paso, refiriéndose al control de movimiento y posicionamiento de los mismos, con lo cual se logra la movilidad del robot. Su funcionamiento viene dado a través de la entrada del pulso de este integrado (Pin 11. Step Input.), el cual fue generado con un integrado 555 y configurado de modo astable. La entrada OUTPUT ENABLE (Pin 15) es la que determina el movimiento del los motores, si esta entrada se encuentra en nivel cero, las salidas output A (Pin 8), output B (Pin 1), output C (Pin 6), output D (Pin 3), se encontrarán también en un nivel bajo, lo que permitirá que los motores funcionen de acuerdo a su secuencia. Las salidas anteriormente mencionadas se conectan al los motores de acuerdo a su secuencia de funcionamiento, que en este caso será A-B-C-D. Ver Figura 23. La entrada DIRECTION (Pin 14) del driver UCN5804, es la encargada de cambiarle el movimiento a los motores paso a paso, de acuerdo a su secuencia, si esta entrada se encuentra en un nivel bajo, el sentido de giro de los motores cambiará (Gira al contrario de las manecillas del reloj), Si se encuentra en un nivel alto, los motores giran en sentido de las manecillas del reloj.

Figura 23. Control de los motores con el Driver UCN 5804



4.2.2. Motores paso a paso

Los motores utilizados en el robot móvil son de tipo unipolar de 5 cables de salida, que nos permiten realizar la secuencia para el funcionamiento del mismo. Encontramos un cable común, y los otros 4 restantes, nos determina la secuencia; A-B-C-D, en ambos motores se manejan las mismas secuencias de funcionamiento. Estos motores son controlados por el driver UCN 5804, el cual permite el control de estas salidas, para que pueda operar correctamente la secuencia de movimiento y dirección, estos motores serán ensamblados a dos

ruedas, que serán las encargadas finalmente de realizar que el robot móvil, posea movimiento y dirección determinada. Ver Figura 24.

Figura 24. Motores paso a paso.



4.3. Prototipo montado en protoboard.

Este prototipo consta esencialmente de tres partes fundamentales utilizadas para el ensamble del circuito final del robot: Los sensores OPB 706A y Célula Fotorresistiva, el circuito integrado UCN5804, y los motores pasos a paso. Ver Figura 25. El circuito final del robot móvil se observa en la figura 26. En la Figura 27a) se observa el prototipo en protoboard, con las tres partes integradas, de acuerdo al funcionamiento del robot, en la figura 27b) se observa la tarjeta del circuito final del robot con su estructura.

Figura 25. Sensores, Célula Fotorresistiva, circuito integrado UNC5804 y motores Paso a Paso.



Figura 26. Circuito Final.

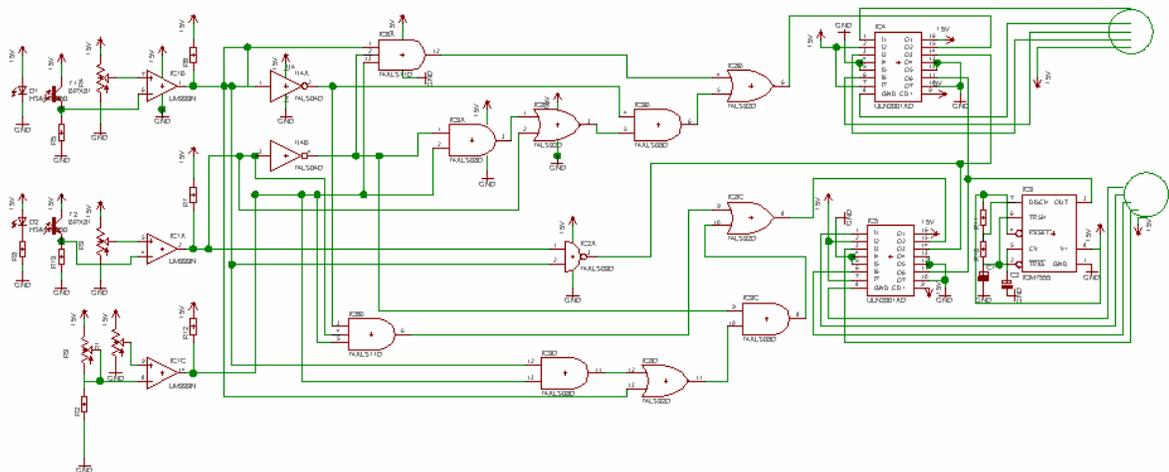


Figura 27a). Prototipo en protoboard

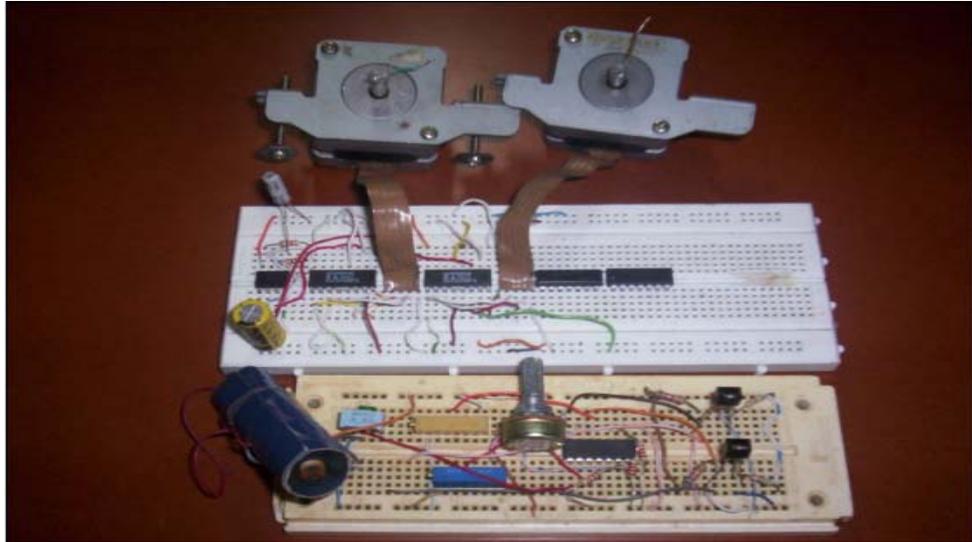


Figura 27b) Tarjeta del circuito del robot con su estructura.



5.0 CONCLUSIONES

- Con el diseño y la implementación de este tipo de robots móvil, con detección de color, nos permite darnos cuenta que a través de la lógica discreta, se pueden hacer desarrollos con características propias de autonomía y toma de decisión.
- La implementación de estos robots móviles, pueden llegar hacer soluciones muy viables en desarrollos tecnológicos con bajos costos y altos beneficios, refiriéndose a necesidades industriales.
- El diseño de este robot móvil se baso en un diseño realmente económico, práctico y funcional, gracias a que fue implementado con lógica discreta, y con la aplicación de conceptos de instrumentación y control en el desarrollo de las diferentes etapas que integran el robot móvil.

6.0 RECOMENDACIONES

El desarrollo de este proyecto, diseñar e implementar el robot móvil, muestra las posibilidades de proyectar estos desarrollos a nivel industrial para suplir necesidades en donde la robótica se implementa como herramienta primordial en el desempeño de una labor o actividad. Este proyecto permite el correlacionamiento con sistemas de más complejidad como redes neuronales, sistemas difusos con conceptos de control basados en lógica difusa y algoritmos genéticos, que se utilizan para evolucionar controladores a partir de una población y todos estos sistemas se pueden implementar usando micro controladores o lógica programable (PLDs). La implementación de los robots móvil capaces de discernir en una situación dada, bajo un entorno es todo un campo de investigación al encontrar similitudes en el actuar de los animales y seres vivos que habitan en un entorno natural, es decir llegar a simular con estos robots, la supervivencia de estos seres naturales, que utilizan sus sentidos de percepción y locomoción para abastecerse de datos en el entorno y poder actuar según su naturaleza, la obtención del alimento, el hallar una zona de calor y la protección de sí mismo, son características y similitudes que la robótica permite aplicar en dispositivos de este tipo de control, y que nos llevan a continuar con más investigaciones de este tipo que con lleven a implementaciones tecnológicas capaces de ser soluciones viables a necesidades industriales.

BIBLIOGRAFÍA

USTEGUI Angulo, José Maria. Robótica Práctica. España Madrid: Paraninfo, 1998.p, 285.

DELGADO, Alberto. Inteligencia Artificial y minirobots. Colombia Bogotá: Ecoe Ediciones, 2000, p 196.

BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica .Madrid: McGraw Hill, 2004, p.358.

Webbibliografía

<http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm>

www.sebyc.com

<http://www.todorobot.com.ar/>

<http://members.fortunecity.es/cibernetica/j/robotica.htm>

www.frc.ri.cmu.edu/robotics-faq/

[www.llk.media.mit.edu/.../ doc/sensors/ckswitch.gif](http://www.llk.media.mit.edu/.../doc/sensors/ckswitch.gif)

<http://robotics.jpl.nasa.gov/>

<http://robotmag.com/>

<http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>

ANEXOS

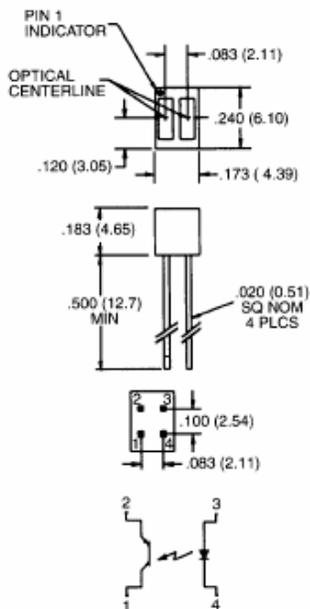
Anexo A. Hoja de datos sensor OPB706A.



REFLECTIVE OBJECT SENSOR

OPB706A/B/C

PACKAGE DIMENSIONS



ST2156

DESCRIPTION

The OPB706A/B/C reflective sensors consist of an infrared emitting diode and an NPN silicon phototransistor mounted side by side in a black plastic housing. The on-axis radiation of the emitter and the on-axis response of the detector are both perpendicular to the face of the OPB706A/B/C. The phototransistor responds to radiation emitted from the diode only when a reflective object or surface is in the field of view of the detector.

FEATURES

- Phototransistor output.
- Unfocused for sensing diffused surfaces.
- Low cost plastic housing.
- Designed for paper path and other non-contact surface sensing.

- NOTES:
1. PINS 2 AND 4 ARE TYPICALLY .050" SHORTER THAN PINS 1 AND 3.
 2. DIMENSIONS ARE IN INCHES (mm).
 3. TOLERANCE IS $\pm .010$ (.25) UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless Otherwise Specified)	
Storage Temperature	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
Operating Temperature	-40°C to $+85^\circ\text{C}$
Soldering:	
Lead Temperature (Iron)	240°C for 5 sec. ^{2,3,4}
Lead Temperature (Flow)	260°C for 10 sec. ^{2,3}
INPUT DIODE	
Continuous Forward Current	50 mA
Reverse Voltage	5.0 Volts
Power Dissipation	75 mW ⁵
OUTPUT TRANSISTOR	
Collector-Emitter Voltage	30 Volts
Emitter-Collector Voltage	5.0 Volts
Power Dissipation	75 mW ⁵

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless Otherwise Specified) (All measurements made under pulse conditions.)						
PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYPE	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
INPUT DIODE						
Forward voltage	V_f	—		1.70	V	$I_f = 20\text{ mA}$
Reverse Leakage Current	I_r	—		100	μA	$V_R = 5.0\text{ V}$
OUTPUT TRANSISTOR						
Collector-Emitter Breakdown	BV_{CEO}	30		—	V	$I_C = 100\ \mu\text{A}$, $E_e = 0$
Collector-Emitter Breakdown	BV_{CBO}	5		—	V	$I_C = 100\ \mu\text{A}$, $E_e = 0$
Collector-Emitter Leakage	I_{CEO}	—		100	nA	$V_{CE} = 10.0\text{ V}$, $E_e = 0$
COUPLED						
On-State Collector Current						
OPB706A	$I_{CO(ON)}$	500		—	μA	$I_f = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $D = .050^{\text{6,7}}$
OPB706B	$I_{CO(ON)}$	350		—	μA	$I_f = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $D = .050^{\text{6,7}}$
OPB706C	$I_{CO(ON)}$	200		—	μA	$I_f = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $D = .050^{\text{6,7}}$
Crosstalk	I_{CX}	—	200	—	nA	$I_f = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $E_e = 0^{\text{6}}$
Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	—		0.40	V	$I_f = 40\text{ mA}$, $I_C = 100\ \mu\text{A}$, $D = .050^{\text{6,7}}$

NOTES
1. Derate power dissipation linearly 1.25 mW/ $^\circ\text{C}$ above 25°C .
2. RMA flux is recommended.
3. Soldering iron tip $1/16"$ (1.6 mm) minimum from housing.
4. As long as leads are not under any stress or spring tension.
5. D is the distance from the sensor face to the reflective surface.
6. Crosstalk (I_{CX}) is the collector current measured with the indicated current on the input diode and with no reflective surface.
7. Measured using Eastman Kodak neutral white test card with 90% diffused reflectance as a reflecting surface.

Anexo B. Hoja de datos comparador de voltaje LM339



November 1994

LM139/LM239/LM339/LM2901/LM3302 Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

General Description

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2 mV max for all four comparators. These were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, they will directly interface with MOS logic— where the low power drain of the LM339 is a distinct advantage over standard comparators.

Advantages

- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature

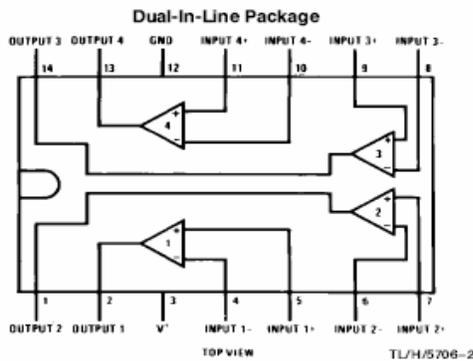
- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Wide supply voltage range
LM139 series, $2 V_{DC}$ to $36 V_{DC}$ or $\pm 1 V_{DC}$ to $\pm 18 V_{DC}$
LM139A series, LM2901 $2 V_{DC}$ to $28 V_{DC}$
LM3302 or $\pm 1 V_{DC}$ to $\pm 14 V_{DC}$
- Very low supply current drain (0.8 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current 25 nA
- Low input offset current ± 5 nA
and offset voltage ± 3 mV
- Input common-mode voltage range includes GND
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

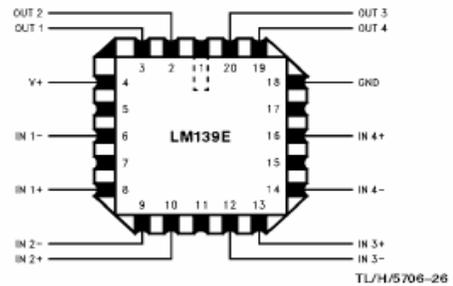
Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

Connection Diagrams

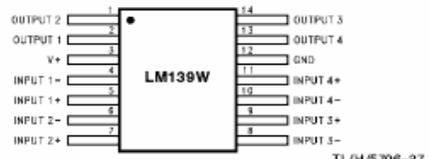


Order Number LM139J, LM139J/883*, LM139AJ,
LM139AJ/883**, LM239J, LM239AJ, LM339J,
See NS Package Number J14A
Order Number LM339AM, LM339M or LM2901M
See NS Package Number M14A
Order Number LM339N, LM339AN,
LM2901N or LM3302N
See NS Package Number N14A

*Available per J38510/11201
**Available per SMD# 5962-8873901



Order Number LM139AE/883 or LM139E/883
See NS Package Number E20A



Order Number LM139AW/883 or LM139W/883*
See NS Package Number W14B

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 10)

	LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901	LM3302	LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901	LM3302	LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901
Supply Voltage, V^+	36 V _{DC} or ±18 V _{DC}	28 V _{DC} or ±14 V _{DC}	Operating Temperature Range	0°C to +70°C	–40°C to +85°C
Differential Input Voltage (Note 8)	36 V _{DC}	28 V _{DC}	LM339/LM339A	–25°C to +85°C	
Input Voltage	–0.3 V _{DC} to +36 V _{DC}	–0.3 V _{DC} to +28 V _{DC}	LM239/LM239A	–40°C to +85°C	
Input Current ($V_{IN} < -0.3$ V _{DC} , Note 3)	50 mA	50 mA	LM2901	–55°C to +125°C	
Power Dissipation (Note 1)	1050 mW	1050 mW	LM139/LM139A		
Molded DIP	1190 mW		Soldering Information		
Cavity DIP	760 mW		Dual-In-Line Package	260°C	260°C
Small Outline Package			Soldering (10 seconds)		
Output Short-Circuit to GND, (Note 2)	Continuous	Continuous	Small Outline Package	215°C	215°C
Storage Temperature Range	–65°C to +150°C	–65°C to +150°C	Vapor Phase (60 seconds)	220°C	220°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C	Infrared (15 seconds)		
			See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
			ESD rating (1.5 kΩ in series with 100 pF)	600 V	600 V

Electrical Characteristics ($V^+ = 5$ V_{DC}, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 9)		1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	5.0	2.0	5.0	2.0	7.0	3	20	mV _{DC}
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, (Note 5), $V_{CM} = 0$ V	25	100	25	250	25	100	25	250	25	250	25	500	nA _{DC}
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0$ V	3.0	25	5.0	50	3.0	25	5.0	50	5	50	3	100	nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30$ V _{DC} (LM3302, $V^+ = 28$ V _{DC}) (Note 6)	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	0	$V^+ - 1.5$	V _{DC}
Supply Current	$R_L = \infty$ on all Comparators, $R_L = \infty$, $V^+ = 36$ V, (LM3302, $V^+ = 28$ V _{DC})	0.8	2.0	0.8	2.0	0.8	2.0	0.8	2.0	0.8	2.0	0.8	2.0	mA _{DC}
Voltage Gain	$R_L \geq 15$ kΩ, $V^+ = 15$ V _{DC} $V_O = 1$ V _{DC} to 11 V _{DC}	50	200	50	200	50	200	50	200	25	100	2	30	V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}$, $V_{REF} =$ 1.4 V _{DC} , $V_{RL} = 5$ V _{DC} , $R_L = 5.1$ kΩ, (Note 7)	300		300		300		300		300		300		ns
Response Time	$V_{RL} = 5$ V _{DC} , $R_L = 5.1$ kΩ, (Note 7)	1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		μs
Output Sink Current	$V_{IN(-)} = 1$ V _{DC} , $V_{IN(+)} = 0$, $V_O \leq 1.5$ V _{DC}	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	mA _{DC}

Electrical Characteristics (V⁺ = 5 V_{DC}, T_A = 25°C, unless otherwise stated) (Continued)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Saturation Voltage	V _{IN(-)} = 1 V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, I _{SNK} ≤ 4 mA	250	400	250	400	250	400	250	400	250	400	250	500	mV _{DC}
Output Leakage Current	V _{IN(+)} = 1 V _{DC} , V _{IN(-)} = 0, V _O = 5 V _{DC}	0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		nA _{DC}

Electrical Characteristics (V⁺ = 5.0 V_{DC}, Note 4)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)			4.0	4.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	15	40	40	mV _{DC}
Input Offset Current	I _{IN(+)} = -I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V	100		100	150	100	100	150	150	50	200	300	300	nA _{DC}
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} with Output in Linear Range, V _{CM} = 0V (Note 5)	300		300	400	300	300	400	400	200	500	1000	1000	nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range	V ⁺ = 30 V _{DC} (LM3302, V ⁺ = 28 V _{DC}) (Note 6)	0	V ⁺ - 2.0	0	V ⁺ - 2.0	0	V ⁺ - 2.0	0	V ⁺ - 2.0	0	V ⁺ - 2.0	0	V ⁺ - 2.0	V _{DC}
Saturation Voltage	V _{IN(-)} = 1 V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, I _{SNK} ≤ 4 mA	700		700	700	700	700	700	700	400	700	700	700	mV _{DC}
Output Leakage Current	V _{IN(+)} = 1 V _{DC} , V _{IN(-)} = 0, V _O = 30 V _{DC} (LM3302, V _O = 28 V _{DC})	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	μA _{DC}
Differential Input Voltage	Keep all V _{IN} 's ≥ 0 V _{DC} (or V ⁻ , if used), (Note 8)	36		36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	V _{DC}

Note 1: For operating at high temperatures, the LM239/LM339A, LM2901, LM3302 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 95°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM239 and LM139 must be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small (P_{tot} < 100 mW), provided the output transistors are allowed to saturate.

Note 2: Short circuits from the output to V⁺ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V⁺.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltage of the comparators to go to the V⁺ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V_{DC} (at 25°C overdrive).

Note 4: These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C, for the LM139/LM139A. With the LM239/LM239A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ +85°C, the LM239/LM339A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ +70°C, and the LM2901, LM3302 temperature range is -40°C ≤ T_A ≤ +85°C.

Note 5: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines. Note 6: The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ - 1.5V at 25°C, but either or both inputs can go to +30 V_{DC} without damage (25V for LM3302), independent of the magnitude of V⁺.

Note 7: The response time specified is a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see typical performance characteristics section. Note 8: Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3 V_{DC} (or 0.3 V_{DC} below the magnitude of the negative power supply, if used) (at 25°C).

Note 9: At output switch point, V_O = 1.4 V_{DC}. R_g = 0Ω with V⁺ from 5 V_{DC} to 30 V_{DC}; and over the full input common-mode range (0 V_{DC} to V⁺ - 1.5 V_{DC}), at 25°C. For LM3302, V⁺ from 5 V_{DC} to 28 V_{DC}.

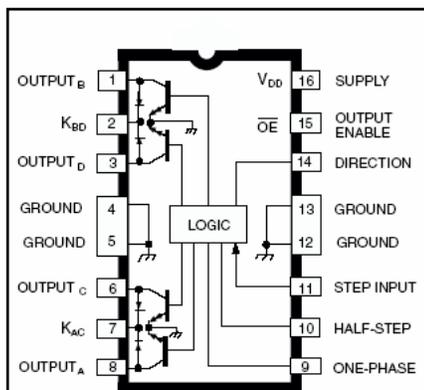
Note 10: Refer to RETS139AX for LM139A military specifications and to RETS139K for LM139 military specifications.

Anexo C. Hoja de datos del circuito integrado UCN 5804LB

5804

Data Sheet
26184.12C*

BiMOS II UNIPOLAR STEPPER-MOTOR TRANSLATOR/DRIVER



Dwg. W-194

Note that the UCN5804B (dual in-line package) and UCN5804LB (small outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output Voltage, V_{CE}	50 V
Output Sustaining Voltage, $V_{CE(sus)}$	35 V
Output Sink Current, I_{OUT}	1.5 A
Logic Supply Voltage, V_{DD}	7.0 V
Input Voltage, V_{IN}	7.0 V
Package Power Dissipation, P_D	See Graph
Operating Temperature Range, T_A	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range, T_S	-55°C to +150°C

Combining low-power CMOS logic with high-current and high-voltage bipolar outputs, the UCN5804B and UCN5804LB BiMOS II translator/drivers provide complete control and drive for a four-phase unipolar stepper-motor with continuous output current ratings to 1.25 A per phase (1.5 A startup) and 35 V.

The CMOS logic section provides the sequencing logic, DIRECTION and OUTPUT ENABLE control, and a power-on reset function. Three stepper-motor drive formats, wave-drive (one-phase), two-phase, and half-step are externally selectable. The inputs are compatible with standard CMOS, PMOS, and NMOS circuits. TTL or LSTTL may require the use of appropriate pull-up resistors to ensure a proper input-logic high.

The wave-drive format consists of energizing one motor phase at a time in an A-B-C-D (or D-C-B-A) sequence. This excitation mode consumes the least power and assures positional accuracy regardless of any winding imbalance in the motor. Two-phase drive energizes two adjacent phases in each detent position (AB-BC-CD-DA). This sequence mode offers an improved torque-speed product, greater detent torque, and is less susceptible to motor resonance. Half-step excitation alternates between the one-phase and two-phase modes (A-AB-B-BC-C-CD-D-DA), providing an eight-step sequence.

The bipolar outputs are capable of sinking up to 1.5 A and withstanding 50 V in the off state (sustaining voltages up to 35 V). Ground-clamp and flyback diodes provide protection against inductive transients. Thermal protection circuitry disables the outputs when the chip temperature is excessive.

Both devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. The UCN5804B is supplied in a 16-pin dual in-line plastic package with a copper lead frame and heat-sinkable tabs for improved power dissipation capabilities; the UCN5804LB is supplied in a 16-lead plastic SOIC batwing package with a copper lead frame and heat-sinkable tabs.

FEATURES

- 1.5 A Maximum Output Current
- 35 V Output Sustaining Voltage
- Wave-Drive, Two-Phase, and Half-Step Drive Formats
- Internal Clamp Diodes
- Output Enable and Direction Control
- Power-On Reset
- Internal Thermal Shutdown Circuitry

Always order by complete part number, e.g., **UCN5804B**.

5804
BiMOS II UNIPOLAR
STEPPER-MOTOR
TRANSLATOR/DRIVER

APPLICATIONS INFORMATION

Internal power-on reset (POR) circuitry resets OUTPUT_A (and OUTPUT_D in the two-phase drive format) to the on state with initial application of the logic supply voltage. After reset, the circuit then steps according to the tables.

The outputs will advance one sequence position on the high-to-low transition of the STEP INPUT pulse. Logic levels on the HALF-STEP and ONE-PHASE inputs will determine the drive format (one-phase, two-phase, or half-step). The DIRECTION pin determines the rotation sequence of the outputs. Note that the STEP INPUT must be in the low state when changing the state of ONE-PHASE, HALF-STEP, or DIRECTION to prevent erroneous stepping.

All outputs are disabled (off) when OUTPUT ENABLE is at a logic high. If the function is not required, OUTPUT ENABLE should be tied low. In that condition, all outputs depend only on the state of the step logic.

During normal commutation of a unipolar stepper motor, mutual coupling between the motor windings can force the outputs of the UCN5804B below ground. This condition will cause forward biasing of the collector-to-substrate junction and source current from the output. For many L/R applications, this substrate current is high enough to adversely affect the logic circuitry and cause misstepping. External series diodes (Schottky are recommended for increased efficiency at low-voltage operation) will prevent substrate current from being sourced through the outputs. Alternatively, external ground clamp diodes will provide a preferred current path from ground when the outputs are pulled below ground.

Internal thermal protection circuitry disables all outputs when the junction temperature reaches approximately 165°C. The outputs are enabled again when the junction cools down to approximately 145°C.

WAVE-DRIVE SEQUENCE

Half Step = L, One Phase = H				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

TWO-PHASE DRIVE SEQUENCE

Half Step = L, One Phase = L				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	ON
1	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON

HALF-STEP DRIVE SEQUENCE

Half Step = H, One Phase = L				
Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
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
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON