

**IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES EXTEREOCEPTIVOS PARA UNA
PLATAFORMA MÓVIL UTILIZANDO MICROCONTROLADORES**

LUIS HERNANDO MARTÍNEZ RUBIO
1087994883

ANDRES MAURICIO TORRES ROJAS
1059695407

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnologías
Programa de Tecnología Eléctrica
Grupo de Investigación en Robótica y Percepción Sensorial
GIROPS
Pereira, Colombia
2008

**Implementación de Sensores Extereceptivos para una Plataforma
Móvil Utilizando Microcontroladores**

Luis Hernando Martínez Rubio
Andrés Mauricio Torres Rojas

Trabajo de grado para optar al título de
Tecnólogo en Electricidad

Director
MSc. Luís Hernando Ríos González

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnologías
Programa de Tecnología Eléctrica
Grupo de Investigación en Robótica y Percepción Sensorial
GIROPS
Pereira, Colombia
2008**

DEDICATORIA

A mis padres por el amor brindado, por el apoyo tanto moral como económico, permitiéndome así culminar mi carrera satisfactoriamente.

A mi hermano quien durante sus años de vida hemos entablado una relación de amistad a parte de la hermandad.

A mis abuelos quienes semana tras semana me colaboraban con el hospedaje, alimentación, además del amor brindado a lo largo de mi vida.

Andrés Mauricio Torres R.

A Dios y a mi Familia, quienes son la fuerza que me motiva a salir adelante. Su amor, unión y apoyo incondicional ha sido indispensable en mi vida.

Luis Hernando Martínez Rubio

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al Ingeniero Maximiliano Bueno López por su completa colaboración y asesoría, al grupo de investigación GIROPS que nos permitió realizar este trabajo de grado, en cabeza del Ingeniero Luis Hernando Ríos, que además es el director, al profesor Robby Gómez por facilitarnos el laboratorio de desarrollo electrónico, al Ingeniero Ricardo Linares quien encarecidamente nos oriento con el software necesario para el desarrollo del proyecto, por último agradecimientos especiales a Sergio Mauricio Henao por su asesoría en el diseño estético de la plataforma.

INTRODUCCIÓN

El uso de robots móviles está justificado en aplicaciones en las que se realizan tareas de riesgo para el ser humano. El transporte de material peligroso, las excavaciones mineras, la limpieza industrial o la inspección de plantas nucleares son ejemplos donde un robot móvil puede desarrollar su labor y evita exponer, la salud del trabajador.

También existen robots encargados de explorar en nuestro planeta, al interior de volcanes, en las profundidades del océano o cualquier otro lugar inaccesible por el hombre. [1]

Las características de las plataformas móviles, (cualquier dispositivo móvil que puede desplazarse por un entorno o región) empleadas para investigación en el área de la robótica, son la versatilidad y adaptabilidad. La versatilidad se entiende como la capacidad de lograr y ejecutar diferentes tareas, o ejecutar la misma tarea de distintas maneras. La adaptabilidad significa que después de implementada la parte sensorial y todo lo relacionado con la plataforma, esta deberá adaptarse y enfrentarse por sí sola ante un entorno [1]. Una plataforma de navegación debe estar en capacidad de responder ante ambientes estáticos y dinámicos, los ambientes estáticos son aquellos entornos donde los obstáculos permanecen fijos y los ambientes dinámicos son aquellos entornos donde los obstáculos pueden estar en movimiento. [2]

El desarrollo sensorial es una de las partes más importantes dentro de la navegación de un robot móvil, ya que establece una interfaz entre el mundo exterior y la plataforma.

Además del módulo de sensores, una plataforma móvil posee los siguientes sistemas:

- Sistema de control.
- Control a través de PC's.
- Control por microprocesador o microcontrolador.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de comunicaciones.
- Comunicación por radio.
- Comunicación por infrarrojo.

No basta con tener un excelente proceso de sensado, es necesario, además, contar con un sistema inteligente que sepa como manipular la información obtenida de los sensores, y que tome una decisión según su función, como por ejemplo recorrer una trayectoria mínima hasta llegar a un punto deseado o evitar los obstáculos existentes en el medio.[2]

Para la secuencia lógica es totalmente indispensable el uso de PC's, microcontroladores o microprocesadores, como se mencionó anteriormente. Se puede decir que estos elementos son el cerebro de la plataforma. Una traducción bien hecha por el robot de su entorno puede significar un buen desempeño en sus funciones.

La lógica que sigue una plataforma de navegación móvil puede ser:

- Sensado.
- Mapeo de datos dentro del modelo del mundo.
- Razonamiento acerca de los objetivos, dado el modelo de los datos disponibles acerca del mundo real.
- Planeación.
- Generación.
- Control de Actuadores.

Luego de tener presente el medio en que se encuentra la plataforma, procede a tener en cuenta los objetivos impuestos, realizando un plan eficiente para el cumplimiento de estos objetivos, plan que se convierte en una acción, la cual esta en capacidad de ser realizada por la plataforma. [2]

Mediante este proyecto se satisfacen las necesidades en cuanto a percepción sensorial en una plataforma móvil, mediante la implementación del siguiente conjunto de sensores:

- Sensores de proximidad.
- Sensores medidores de distancia.
- Sensores de percepción de luz.
- Sensores seguidores de Línea.

Cada uno de estos sensores están implementados en una plataforma móvil, con el fin de permitirle a esta tener pleno conocimiento del entorno donde esta, y tomar decisiones sobre el comportamiento mas adecuado que debe tener.

Las lecturas de los sensores son entregadas a la unidad de control de la plataforma, para que esta realice tareas posteriores, dichas tareas están relacionadas con las funciones básicas impuestas al robot. Para la implementación de cada sensor, se partió de un circuito base y sobre este se realizaron algunos ajustes para tener los resultados deseados, los ajustes hacen referencia a consideraciones básicas en el campo de la percepción sensorial.

Este trabajo se desarrolló sobre la plataforma móvil METEORO diseñado por el grupo de investigación GIROPS del programa de Ingeniería Eléctrica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar sensores exteroceptivos para una plataforma móvil utilizando microcontroladores.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar información sobre el uso del microcontrolador y sus características.
- Investigar el funcionamiento y características de los diferentes sensores a utilizar.
- Generar a partir de los sensores de percepción una estrategia a seguir de acuerdo a un objetivo trazado.
- Programar el microcontrolador basado en la información recopilada sobre este y la estrategia de operación definida.
- Realizar la implementación física (hardware) de los sensores en la plataforma móvil.
- Realizar pruebas de funcionamiento con la plataforma móvil.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| Capitulo 1 | 11 |
| Conceptos Básicos de Robótica Móvil | 11 |
| 1.1 Características Básicas | 11 |
| 1.2 Tipos de Robots Móviles | 12 |
| 1.2.1 Robots de tipo experimental | 12 |
| 1.2.2 Robots de tipo industrial | 12 |
| 1.3 Componentes principales de los Robots Móviles | 12 |
| 1.4 Aplicaciones en Robótica Móvil | 13 |
| 1.5 Arquitecturas de control en Robótica Móvil | 13 |
| 1.6 Representaciones del Mundo, Mapas de Entorno | 15 |
| 1.7 El problema del Slam | 17 |
| 1.8 Concepto de Misión, Navegación y operación en Robótica Móvil. | 17 |
| Capitulo 2 | 21 |
| Sistemas de Percepción Sensorial en Robótica Móvil | 21 |
| 2.1 Percepción Sensorial | 21 |
| 2.2 Sensores para Robots Móviles | 22 |
| 2.2.1 Historia de los sensores | 22 |
| 2.2.2 Detalles sobre los sensores para robots | 22 |
| 2.2.3 Definición de sensores | 22 |
| 2.2.4 Sensores exteroceptivos | 23 |
| 2.2.5 Sensores propioceptivos | 25 |
| Capitulo 3 | 29 |
| Microcontroladores | 29 |
| 3.1 Introducción a los Microcontroladores | 29 |
| 3.2 Entradas de un Microcontrolador | 31 |

| | |
|---|----|
| 3.3 Salidas de un Microcontrolador | 31 |
| 3.4 Unidad central de proceso (CPU) | 31 |
| 3.5 Memoria | 32 |
| 3.6 Reloj | 32 |
| 3.7 Algunos tipos de Microcontroladores | 32 |
| 3.7.1 Altair | 32 |
| 3.7.2 Intel (Familia 8051) | 33 |
| 3.7.3 Siemens | 34 |
| 3.7.4 Motorola | 34 |
| 3.7.5 Microchip | 35 |
| 3.8 Selección del Microcontrolador | 35 |
| 3.9 Microcontrolador empleado en este proyecto | 36 |
| Capitulo 4 | 38 |
| Resultados Experimentales | 38 |
| 4.1 Selección y Acondicionamiento de los Sensores | 38 |
| 4.1.1 Sensor seguidor de Línea | 38 |
| 4.1.2 Sensor seguidor de Foco de Luz | 43 |
| 4.1.3 Sensor de Proximidad | 48 |
| Capitulo 5 | 51 |
| Conclusiones | 51 |
| Capitulo 6 | 53 |
| Discusión y Trabajo Futuro | 53 |
| 6.1 Sensor seguidor de Línea | 53 |
| 6.2 Sensor seguidor de Foco de Luz | 54 |
| 6.3 Sensor de Proximidad | 54 |
| Capitulo 7 | 56 |
| BIBLIOGRAFIA | 56 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 1.1 Esquema básico de la arquitectura necesaria en un Robot Móvil para realizar una misión. | 19 |
| 1.2 Estructura de control de navegación básica para un Robot Móvil. | 20 |
| 1.3 Sistema de Navegación. | 20 |
| 2.1 Relación distancia ángulo del sensor infrarrojo. | 24 |
| 2.2 Shaft Encoder incremental. | 27 |
| 3.1 Esquema completo de una computadora. | 29 |
| 3.2 Diagrama en bloque de un Microcontrolador. | 30 |
| 4.1 Distribución de los sensores seguidores de línea en la plataforma. | 38 |
| 4.2 Sensores laterales del seguidor de línea. | 39 |
| 4.3 Sensor central seguidor de línea. | 40 |
| 4.4 Ubicación de los sensores en la plataforma. | 41 |
| 4.5 Puesta a punto de los sensores laterales. | 41 |
| 4.6 Pista del seguidor de línea. | 42 |
| 4.7 Puesta a punto de los sensores seguidores del foco de luz. | 44 |
| 4.8 Ubicación de los sensores del foco de luz en la plataforma. | 45 |
| 4.9 Sensor central seguidor del foco de luz. | 45 |
| 4.10 Funcionamiento del comparador de ventana. | 46 |
| 4.11 Sensores laterales del seguidor de línea. | 46 |
| 4.12 Funcionamiento de los sensores laterales. | 47 |
| 4.13 Posicionamiento de la plataforma. | 47 |
| 4.14 Desplazamiento delantero de la plataforma. | 48 |
| 4.15 Sensor de proximidad a base de infrarrojos. | 48 |
| 4.16 Sensor de ultrasonido. | 49 |

Capítulo 1

CONCEPTOS BÁSICOS DE ROBOTICA MÓVIL

1.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

A principios de los años sesenta se introducen en la industria, de modo significativo, los robots manipuladores como un elemento más del proceso productivo. Esta proliferación, motivada por la amplia gama de posibilidades que ofrecían, creó gran interés en los investigadores para lograr manipuladores más rápidos, precisos y fáciles de programar. La consecuencia directa de este avance originó un nuevo paso en la automatización industrial, la cual flexibilizó la producción con el nacimiento de la noción de celda flexible de manufactura.

Los trabajos desarrollados por los robots manipuladores consistían frecuentemente en tareas repetitivas, como la alimentación de las distintas máquinas componentes de la celda flexible de manufactura. Ello exigía ubicarlas en el interior de un área accesible para el manipulador, caracterizada por la máxima extensión de sus articulaciones, lo cual podría resultar imposible a medida que la celda sufría progresivas ampliaciones [1].

Una solución a este problema se logra al desarrollar un vehículo móvil sobre rieles para proporcionar un transporte eficaz de los materiales entre las distintas zonas de la cadena de producción. De esta forma, aparecen los primeros vehículos guiados automáticamente (AGV's).

Una mejora con respecto a su concepción inicial radica en la sustitución de los rieles como referencia de guiado en la navegación por cables enterrados, reduciéndose, con ello, los costos de instalación [2].

El uso de robots móviles está justificado en aplicaciones en las que se realizan tareas molestas o arriesgadas para el ser humano [6]. Entre ellas, el transporte de material peligroso, las excavaciones mineras, la limpieza industrial o la inspección de plantas nucleares, son ejemplos donde un robot móvil puede desarrollar su labor y evita exponer la salud del trabajador. Otro grupo de aplicaciones donde este tipo de robots complementa la actuación del operador lo componen las labores de vigilancia y de inspección o asistencia a personas discapacitadas. Asimismo en aplicaciones de teleoperación, donde existe un retraso sensible en las comunicaciones, resulta interesante el uso de vehículos con cierto grado de autonomía [7].

Los robots móviles deben estar habilitados para operar tanto en ambientes estáticos como dinámicos, y el objetivo general de estos es desplazarse desde un punto inicial hasta un punto objetivo, evadiendo los obstáculos existentes en el entorno.

El grado de autonomía que alcanza un robot, depende de la eficiencia del proceso multisensorial y de la integración o fusión de la información, del conocimiento intrínseco que tenga el robot de la información proveniente de sus sensores internos y de la capacidad de aprendizaje de este. [5]

Los enfoques tradicionales para navegación de robots móviles requieren del uso de algoritmos de planificación con grandes cargas computacionales y modelos del mundo explícitamente predeterminados. El sistema resultante exhibe un comportamiento robusto, pero con un gran gasto computacional y un pobre desempeño en tiempo real.

Además de la necesidad de abundante cantidad de memoria y potencia de procesamiento para almacenar y mantener modelos del mundo, los sistemas de control del robot móvil requieren de un sofisticado sistema de comunicaciones entre módulos que permitan una rápida respuesta ante las exigencias dinámicas del entorno, y esto es un problema para los robots móviles cuyos recursos computacionales son llevados a bordo. Los trabajos presentados en Robótica Móvil para cubrir estas necesidades se orientan a complejos diseños de la mecánica de los robots, sus sensores, o la ingeniería del ambiente, o ambas cosas. [4]

1.2 TIPOS DE ROBOTS MÓVILES

Los robots móviles desarrollados en la mayoría de los casos se realizan de acuerdo a las condiciones de trabajo donde se van a desempeñar, los hay desde pequeños mecanismos con sofisticados controles hasta los vehículos autoguiados de tipo industrial que operan con técnicas de control inteligentes en ambientes no controlados. [1]

Son muchos los tipos de robots móviles desarrollados, pero podrían resumirse en los siguientes tipos:

1.2.1 Robots de Tipo Experimental.

Desarrollados fundamentalmente para la enseñanza, aprendizaje e investigación en el campo de la robótica, se hacen modulares para la adición de nuevos elementos de experimentación o control, su grado de complejidad depende del grado de experimentación.

1.2.2 Robots de tipo industrial.

Desarrollados para realizar una función específica, ya sea transportando piezas o mecanismos u otras funciones en ambientes naturales o atmósferas peligrosas.

Dentro de los robots didácticos/Experimentales están los robots vehículos autoguiados, constituidos por plataformas de diferentes formas, tamaños, dotadas de ruedas cuyo movimiento se controla por un motor D.C. o de otro tipo acoplado a alguna de ellas y en cuyo chasis se instalan sus principales o la mayoría de componentes electrónicos, de control y comunicaciones. Este tipo de robots son los más apropiados para propósitos de investigación y desarrollo en el área de la robótica y son los robots de referencia en este proyecto de grado. [4]

1.3 COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ROBOTS MÓVILES

Los robots móviles utilizados para trabajar en ambientes industriales controlados o no controlados, los cuales se utilizan para el reconocimiento de los entornos de trabajo están constituidos fundamentalmente por los siguientes elementos:

- Plataforma móvil.
- Conjunto de sensores:
 - Sensores de Luz
 - Sensores de contraste.
 - Sensores de movimiento.
 - Sensores de Temperatura.
 - Sensores de presión.
 - Sensores de contacto.
 - Sensores de distancia
- Sistema de control:
 - Control a través de PC's.
 - Control por microprocesador o microcontrolador.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de comunicaciones:
 - Comunicación por radio
 - Comunicación por infrarrojo. Etc.

1.4 APLICACIONES EN ROBÓTICA MÓVIL

Son múltiples las aplicaciones de los robots móviles, especialmente teniendo en cuenta las funciones diversas que pueden ser encargadas a un robot de este tipo, tanto en el campo industrial, como en el de experimentación e investigación.

En particular, en el campo de la investigación, los robots móviles del tipo de vehículos autoguiados son utilizados profundamente en el campo de la percepción sensorial y el reconocimiento de entornos no estructurados. En cuanto mayor sea el conocimiento que se logre tener del entorno de trabajo menor será la incertidumbre en las funciones de trabajo y operación general del robot.

A fin de adquirir mayor estructuración y conocimiento del entorno el sistema multisensorial adquiere gran relevancia. [3]

1.5 ARQUITECTURAS DE CONTROL EN ROBÓTICA MÓVIL

Una arquitectura para robot se compone tanto del software como del hardware involucrado en el control del mismo. Los robots son sistemas complejos difíciles de desarrollar. Integran múltiples sensores y actuadores, tienen muchos grados de libertad y deben tratar con tareas de tiempo real. [6]

Durante las dos últimas décadas, en Inteligencia Artificial ha quedado establecido que cualquier robot autónomo tiene que poseer las siguientes tres primitivas o elementos funcionales:

- **Sistema de percepción.** capacita al robot para disponer de la información de los sensores y producir, a partir de ésta, información útil para los otros elementos funcionales.
- **Sistema de razonamiento o planificación.** capacita al robot para producir las tareas a ejecutar (ir a la entrada, girar a la derecha, moverse 2 metros y parar, etc.) en base a la información sensorial y conocimiento disponible del mundo que le rodea o entorno.
- **Sistema de ejecución o acción.** capacita al robot para la ejecución de tareas mediante la interacción con los actuadores.

Actualmente, la organización de la autonomía o inteligencia en robots móviles se aborda desde tres paradigmas diferentes: **Deliberativo**, **Reactivo** e **Híbrido**. Cada una de estas tendencias puede describirse atendiendo a dos factores:

- La relación existente entre las tres primitivas funcionales comunes para cualquier robot: PERCEPCIÓN, RAZONAMIENTO y EJECUCIÓN. En función de los valores de entrada y salida considerados en cada uno de los paradigmas, se establecen distintas relaciones entre las primitivas.
- El mecanismo de procesamiento y distribución de la información sensorial a través del sistema. Hace referencia a cuánto o cómo los sentidos influyen en una persona, robot o animal. En algunos paradigmas, la información sensorial se usa de una manera específica para cada función del robot y además de forma local. En otros paradigmas, por el contrario, la información sensorial se usa para la creación de un modelo global del mundo que luego es utilizado de forma distribuida por las distintas funciones del robot.

Paradigma Deliberativo.

Según el paradigma deliberativo, un robot autónomo primero tiene que percibir su entorno, después planear la acción a realizar y finalmente ejecutar dicha acción (S-P-A: sentir-planear-actuar). De ésta forma, el ciclo tiene que repetirse hasta completar cada una de las tareas del robot. En el paradigma deliberativo se planifica cada una de las acciones del robot. El paradigma deliberativo se caracteriza por intentar obtener y utilizar un modelo interno del mundo real lo más exacto y completo posible (basado en representaciones simbólicas), de manera que el procesamiento de la información sensorial se orienta a la consecución de éste objetivo. [1]

Paradigma Reactivo.

Presenta una organización Sentir-Actuar (S-A). El paradigma reactivo asume que la entrada que origina una acción siempre es la salida directa de un sensor, mientras que el paradigma deliberativo asume que la entrada que origina una acción es siempre el resultado de un razonamiento o plan. Éste paradigma se basa en la existencia de múltiples procesos

Sentir-Actuar, (Comportamientos), que se ejecutan concurrentemente. Un comportamiento toma la salida de un sensor y genera una acción a realizar independientemente de lo que realicen los otros comportamientos.

El término *comportamiento* se ha definido como una correspondencia de los valores de los sensores con el conjunto de acciones a realizar para alcanzar un objetivo, siendo el componente principal de la inteligencia en la mayoría de los sistemas. [7]

Paradigma Híbrido.

El paradigma híbrido *deliberativo/reactivo*, se basa fundamentalmente en el paradigma reactivo por su rápida velocidad de ejecución y consiguiente adecuación a los sistemas de tiempo real estricto, pero también incorpora un nivel de razonamiento basado en modelos internos.

Según el paradigma híbrido, el robot primero planea (razonamiento) la mejor forma de descomponer la tarea a realizar en varias subtareas, y selecciona los comportamientos adecuados para alcanzar cada subobjetivo. Posteriormente, el robot empieza con la ejecución, de la misma forma que en el paradigma reactivo. Éste tipo de organización puede denotarse por “Planear, Sentir-Actuar” (P, S-A), donde la coma indica que en un primer paso se realiza la planificación y posteriormente se ejecutan los comportamientos (Sentir-Actuar).

La organización y procesamiento de la información sensorial en el paradigma híbrido también es una mezcla de los paradigmas deliberativo e híbrido. Esta información es utilizada tanto a nivel de planificación, para la construcción de un modelo interno del entorno del robot que se utiliza para la descomposición de tareas y selección de comportamientos, como a nivel de ejecución de dichos comportamientos, el valor de cada sensor es utilizado por cada comportamiento que lo necesite. [7]

1.6 REPRESENTACIONES DEL MUNDO. MAPAS DEL ENTORNO

En cuanto al modelo del mundo, éste es una representación simbólica basada en un mapa de entorno, a partir de la información suministrada por los sensores; está lleno de incertidumbre, sujeto a errores, y su cómputo requiere una gran cantidad de tiempo y de recursos, independientemente de la tarea que se vaya a realizar.

Históricamente, la construcción de un mapa del entorno se había considerado una de las labores básicas que un robot debía llevar a cabo dada su necesidad de tener un modelo del entorno. De esa forma había un bucle de control básico consistente en utilizar los sensores para percibir el entorno, y posteriormente utilizar dicho modelo para planificar las acciones.

A mediados de los 80 Rodney Brooks, proponen un nuevo sistema de actuación en el campo de la robótica móvil. Éste nuevo paradigma trata de minimizar la dependencia de los modelos del entorno haciendo más directo el enlace entre sensores y actuadores. Como dice Braintenberg, los robots son capaces de llevar a cabo tareas sencillas (seguir una luz, evitar obstáculos, seguir un muro) sin un modelo del mundo, demostrando unos comportamientos

robustos. Ésta línea de investigación (comportamientos reactivos) ha llegado hasta nuestros días con fuerza y plantea algunas cuestiones como:

¿Cuál es el grado de necesidad de un modelo del mundo para un robot?

¿Cuál es el mejor modelo?

El principio adoptado por los científicos de la línea reactivista es “Usar el mundo como su propio modelo”. De la forma más sencilla podríamos pensar que un modelo es un conjunto de suposiciones (con mayor o menor duración temporal, precisión y complejidad en la representación) que el robot hace sobre su entorno. Pero bajo ésta premisa todos los robots, incluso los más reactivos usan un modelo del mundo. En el robot de Braintenberg que sigue la luz, el modelo del mundo asume que existen luces y que es bueno seguir las. Una forma más elaborada de definir el modelo del mundo sería aquella proveniente de la definición de la representación del entorno de una forma matemática de la forma en que Gallistel usa en la neurocomputación: un robot está representando un aspecto de su entorno cuando existe una función isomórfica entre ese aspecto y un comportamiento del robot que adapta el comportamiento del robot al mismo. Si por ejemplo el robot tiene una representación del mundo en forma de *grid*, existe un comportamiento que se adapta a esa característica (ocupación o no de las celdas) para evitar obstáculos o moverse de un punto a otro. De ésta forma el modelo que se tiene pasa a formar parte del estado del robot, ya que actúa como una variable que condiciona su comportamiento. [3]

La diferencia principal entre los robots puramente reactivos y aquellos puramente deliberativos se encuentra en el tiempo que transcurre entre percepción y la acción. En el caso reactivo éste tiempo es mínimo dado el enlace que se hace entre sensores y actuadores mediante los comportamientos. En el caso deliberativo éste tiempo puede ser muy grande en función del sistema de razonamiento utilizado. El problema con estos sistemas deliberativos radica en que se razone basándose en un modelo de mundo o estado del robot que no se corresponda con la realidad en el momento de llevar a cabo la acción. Esto se da frecuentemente en los entornos dinámicos y fue uno de los motivos por los cuales surgió el modelo reactivo con un estado interno mínimo. Por otro lado hay una gran cantidad de robots (o deberíamos decir tareas) donde es necesario un modelo del entorno. [3]

La tarea a realizar por el robot es decisiva a la hora de utilizar una representación del mundo o no. Así, tenemos situaciones donde es necesario un sistema reactivo, otras en el que se requiere un sistema deliberativo, pero ambas son situaciones extremas, ya que será más habitual encontrarnos con situaciones o problemas donde se requiera un sistema híbrido reactivo-deliberativo. En éste caso la cuestión a definir es la interfaz de comunicación entre un sistema reactivo y un sistema deliberativo. [3]

Hasta ahora los modelos del mundo se han utilizado generalmente en modelos deliberativos o mixtos y en muchas ocasiones eran modelos heredados de otros sistemas fuertemente anclados en la representación simbólica. Pero poco a poco van surgiendo otros modelos basados en sistemas biológicos más cercanos a las sensaciones y actuaciones. Por otro lado y retomando la cuestión sobre la utilidad de un modelo del mundo en un robot, podríamos ver la interfaz entre el sistema reactivo y el sistema deliberativo como un modelo del

mundo, con la capacidad de ser interrogado de múltiples formas, según el comportamiento envuelto en la operación. Un modelo así podría permitir la coexistencia entre sistemas diferentes aportando la flexibilidad y robustez necesarias en un robot. [3]

La clasificación que se ha realizado clásicamente de los distintos tipos de mapas de representación del entorno viene dada en función de la cantidad de información geométrica entre los elementos que forman dicho mapa. En cualquier caso ésta clasificación no es estricta y puede ocurrir que determinadas implementaciones recaigan en más de una clase.

1.7 EL PROBLEMA DEL SLAM

Generalmente la información métrica es proporcionada por el sistema de odometría. Normalmente, como cualquier otro sensor, la medida se proporciona con un grado de error que en algunos casos (derrapes, deslizamientos) puede ser apreciable. Estos errores odométricos tienen carácter acumulativo. Como dice Thrun, al transcurrir el tiempo, la elipsoide de incertidumbre asociada a la posición del robot crece, haciendo imposible la tarea de fusionar correctamente la información sensorial asociada a la posición. Por dicho motivo hay que establecer en la medida de lo posible mecanismos para minimizar éste error. Una aproximación muy utilizada en la localización de un robot es la del filtro de Kalman que se hace más útil en los mapas de métrica completa donde la información odométrica requiere ser muy exacta. [2]

En éste sentido, los trabajos presentados por Smith, Self y Cheeseman, introdujeron el marco estadístico para resolver al mismo tiempo el problema del modelado del entorno y la corrección de la localización del robot, que ya había sido planteado por investigadores como Crowley y Durrant-Whyte. A partir de éste momento ésta construcción de mapas con autolocalización se conoce comúnmente como SLAM o CML, lo cual es una abreviación de **Simultaneous Localization And Mapping** y de **Concurrent Mapping and Localization**, respectivamente. [2]

Dentro de la taxonomía de las técnicas de SLAM, los más comúnmente usados son los que emplean los filtros de Kalman para estimar el mapa y la localización del robot, arrojando como resultados mapas que usualmente representan la localización de hitos, **landmarks** u objetos significativos del entorno. [2]

Otra de las aproximaciones al problema del SLAM se basa en la teoría de la evidencia de Dempster-Shaffer, mediante el algoritmo EM (*Expectation Maximization*). Ésta metodología enfoca sobre todo el problema de la correspondencia de datos, que consiste en determinar si los datos que se reciben por los sensores corresponden a una misma entidad física del mundo real que ya fue observada en instantes de tiempo anteriores. [2]

1.8 CONCEPTO DE MISIÓN, NAVEGACIÓN Y OPERACIÓN EN ROBÓTICA MÓVIL.

Se define navegación como la metodología (o arte) que permite guiar el curso de un robot móvil a través de un entorno con obstáculos. Existen diversos esquemas, pero todos ellos

tienen como factor común el deseo por llevar el vehículo a su destino de forma segura. La capacidad de reacción ante situaciones inesperadas debe ser la principal cualidad para desenvolverse, de modo eficaz, en entornos no estructurados. [11]

Las tareas involucradas en la navegación de un robot móvil son:

- La percepción del entorno a través de sus sensores, de modo que le permita crear una abstracción del mundo.
- La planificación de una trayectoria libre de obstáculos, para alcanzar el punto destino seleccionado.
- El guiado del vehículo a través de la referencia construida.

De forma simultánea, el vehículo puede interactuar con ciertos elementos del entorno [12]. Así, se define el concepto de operación como la programación de los módulos de a bordo que le permiten realizar la tarea especificada. Un ejemplo de esta última noción es el transporte automático de materiales y herramientas dentro de una celda de manufactura flexible (FMS), lo que implica no sólo el movimiento físico de dichos elementos desde la estación de entrada de material hasta la máquina que lo requiera, sino que además pueda realizar operaciones como el cambio automático de la herramienta o la descarga automática del material en la máquina que lo haya solicitado. [4]

Cualquier aproximación al control de un sistema dinámico necesita utilizar algún conocimiento o modelo del sistema a controlar. Los ambientes están caracterizados por la presencia de incertidumbre, más aún la naturaleza de los fenómenos involucrados es tal que frecuentemente no se está en la capacidad de precisar un modelo o cuantificar este fenómeno. Por ejemplo, si se considera la incertidumbre inducida por la presencia de gente en un ambiente, la gente se mueve alrededor y puede cambiar la posición de los objetos y los enseres del entorno; en la mayoría de los casos sin embargo, no se puede obtener una distribución probabilística que pueda caracterizar estos eventos. La interacción del robot con el ambiente causa dificultades similares. [4]

El resultado del movimiento del robot y sus acciones de sensado son influenciadas por un número de condiciones ambientales, las cuales son difícilmente contabilizadas; por ejemplo el error en el movimiento del robot puede variar como resultado de un piso mojado, la calidad del reconocimiento visual puede ser afectado por un rápido cambio de las condiciones de luz, la certeza de medida de distancia de un sensor ultrasónico es influenciado por la geometría y las propiedades de reflexión de los objetos en el ambiente [20].

El robot móvil se caracteriza por realizar una serie de desplazamientos (navegación) y por llevar a cabo una interacción con distintos elementos de su entorno de trabajo (operación), que implican el cumplimiento de una serie de objetivos impuestos según cierta especificación. Así, formalmente el concepto de misión en el ámbito de los robots móviles se define como la realización conjunta de una serie de objetivos de navegación y operación. El robot móvil debe poseer una arquitectura que coordine los distintos elementos de a bordo (sistema sensorial, control de movimiento y operación) de forma correcta y eficaz para la realización de una misión. El diseño de esta arquitectura depende mucho de su aplicación en particular, pero un esquema básico de los principales módulos que la componen y la interacción que existe entre los mismos es el presentado en la Figura 1.1.

En la Figura 1.1, se presenta un módulo de control de misión dedicado a coordinar los desplazamientos (control de navegación). Esta coordinación debe efectuarse de forma

perfecta para cumplir los objetivos impuestos por la misión, definida de acuerdo con ciertas especificaciones de entrada. Formalmente, el control de misión debe analizar el problema y encontrar una estrategia para resolverlo, de suerte que el resultado de este análisis será un plan de navegación y otro de operación, los cuales se entregan a los módulos correspondientes de la parte inferior de la Figura 1.1. [19]

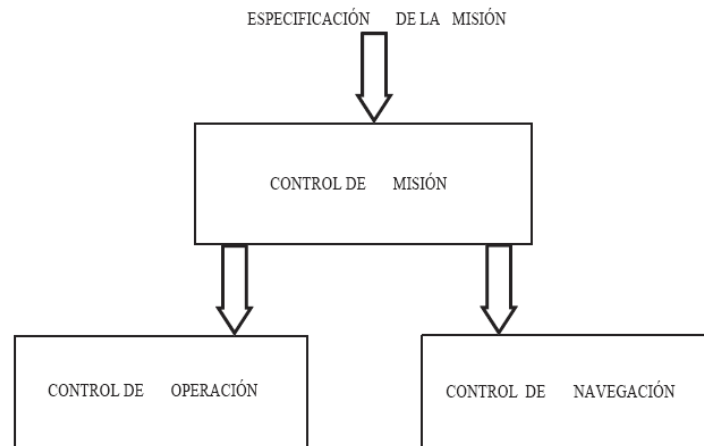


Figura (1.1) Esquema básico de la arquitectura necesaria en un robot móvil para realizar una misión.

Realizar una tarea de navegación para un robot móvil significa recorrer un camino que lo conduzca desde una posición inicial hasta otra final, pasando por ciertas posiciones intermedias o submetas. El problema de la navegación se divide en las siguientes cuatro etapas:

- Percepción del mundo: Mediante el uso de sensores externos, creación de un mapa o modelo del entorno donde se desarrollará la tarea de navegación.
- Planificación de la ruta: Crea una secuencia ordenada de objetivos o submetas que deben ser alcanzadas por el vehículo. Esta secuencia se calcula utilizando el modelo o mapa de entorno, la descripción de la tarea que debe realizar y algún tipo de procedimiento estratégico.
- Generación del camino: En primer lugar define una función continua que interpola la secuencia de objetivos construida por el planificador. Posteriormente procede a la discretización de la misma a fin de generar el camino.
- Seguimiento del camino: Efectúa el desplazamiento del vehículo, según el camino generado mediante el adecuado control de los actuadores del vehículo. [19]

Estas tareas pueden llevarse a cabo de forma separada, aunque en el orden especificado. La interrelación existente entre cada una de estas tareas conforma la estructura de control de navegación básica en un robot móvil y se muestra en la Figura 1.2.

En el esquema dispuesto en la Figura 1.2 se parte de un mapa de entorno y de las especificaciones de la tarea de navegación. De estos datos se realiza la planificación de un conjunto de objetivos representados como una secuencia de puntos cartesianos dispersos que definen la ruta. Dicho conjunto cumple los requisitos de la tarea impuesta asegurándose que la ruta asociada está libre de obstáculos. Mediante el uso del generador de trayectorias se construye la referencia que se utilizará para generar los comandos de direccionamiento y

velocidad que actuarán sobre los servocontroladores del vehículo. Por último, mediante el uso de los sensores internos del vehículo (sensores de posición) en unión con técnicas odométricas, se produce una estimación de la posición actual, la cual será realimentada al seguidor de trayectorias. La complejidad del sistema necesario para desarrollar esta tarea depende principalmente del conocimiento que se posee del entorno de trabajo. Así, la Figura 1.2 considera que se cuenta con un mapa del entorno que responde de forma fiel a la realidad. [19]

Es posible que el modelo del entorno del que dispone el robot tenga ciertas imperfecciones al omitir algunos detalles del mismo. El esquema presentado en la Figura 1.2 resulta ineficaz, al no asegurarla construcción de un camino libre de obstáculos. Por ello se necesita introducir en la estructura de control básica nuevos elementos que eliminen este defecto. Un esquema de navegación utilizado en aplicaciones, donde la información acerca del entorno de trabajo varía desde un perfecto conocimiento del mismo hasta poseer un cierto grado de incertidumbre, es el mostrado en la Figura 1.3. [19]

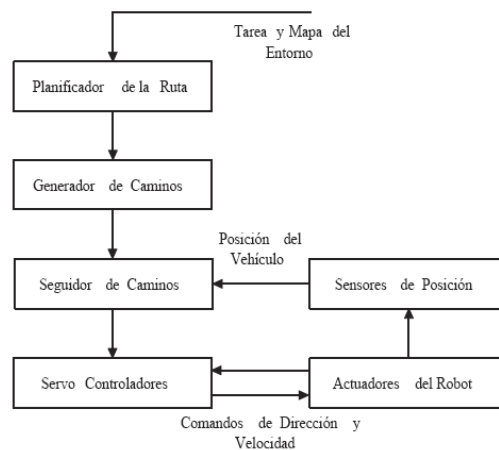


Figura. (1.2). Estructura de control de navegación básica para un robot móvil.

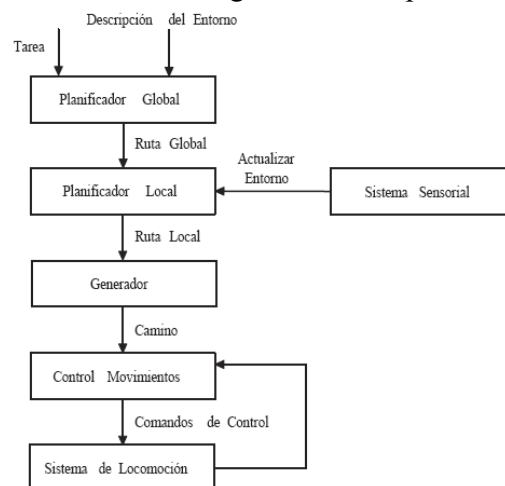


Figura (1.3). Sistema de Navegación

Capítulo 2

SISTEMAS DE PERCEPCION SENSORIAL EN ROBÓTICA MÓVIL

Para el proceso de evasión de obstáculos, es necesario dotar al robot móvil de una serie de sensores que suministran información necesaria para tomar decisiones de desplazamiento por trayectorias seguras. En el proceso de percepción del entorno se considera que la integración de la información proveniente de diferentes tipos de sensores, constituye una estrategia eficaz que supera los problemas de carencia o limitaciones de información proporcionados por un sólo tipo de sensores.

Adicionalmente a los sistemas de visión, normalmente relacionados con los sensores para robots, se han desarrollado sistemas alternativos basados en sensores de distancia, luz viento, contacto, etc.

La integración de la información proveniente de los diferentes sensores es un campo de investigación novedoso y de mucha importancia con miras a proporcionar a los robots móviles de cierto grado de autonomía. La instrumentación multisensorial sirve de soporte a este proceso de sensorización e integración de información y de percepción de entornos en ambientes no controlados.

2.1 PERCEPCIÓN SENSORIAL.

La capacidad de los robots de percibir el entorno mediante sensores, y adaptar su comportamiento de acuerdo con ello es lo que les proporciona la autonomía para llevar a cabo un conjunto de tareas.

La percepción, el conocimiento intrínseco del robot y la capacidad de aprendizaje de éste son las principales características para la autonomía de un sistema robot móvil. Pero de todos ellos aquél en el que más progresos son necesarios para el avance de la robótica móvil es en el de la capacidad de percepción.

La capacidad de percepción se construye estableciendo previamente la información a extraer del sensor, como interpretarla y las conclusiones a extraer.

Los robots móviles deben estar habilitados para operar tanto en ambientes estáticos como dinámicos. Se puede considerar que un robot móvil se desplace hacia un objetivo propuesto, llamado destino evitando obstáculos en movimiento; Sería deseable que el robot móvil, obtuviera un modelo de todos los obstáculos en movimiento que se encuentren dentro del área de cobertura de sus sensores, que trazara el plan de movimientos hacia el destino, mientras va evitando obstáculos en movimiento, que definiera el próximo destino o que realizara cualquier tarea al mismo tiempo que se va enterando del número y estado de cada obstáculo.

Para el levantamiento de mapas de entorno, los robots móviles utilizan la información obtenida de sus sensores tanto internos como externos.

2.2 SENSORES PARA ROBOTS MÓVILES

2.2.1 Historia de los Sensores

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, y nunca mejor dicho, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos.

El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas.

2.2.2 Detalles sobre los sensores para robots

Existe una amplia variedad de dispositivos diseñados para percibir la información externa de una magnitud física y transformarla en un valor electrónico que sea posible introducir al circuito de control, de modo que el robot sea capaz de cuantificarla y reaccionar en consecuencia.

Un sensor consta de algún elemento sensible a una magnitud física, como por ejemplo la intensidad o color de la luz, temperatura, presión, magnetismo, humedad; y debe ser capaz, por sus propias características, o por medio de dispositivos intermedios, de transformar esa magnitud física en un cambio eléctrico que se pueda alimentar en un circuito que la utilice directamente, o sino en una etapa previa que la condicione (amplificando, filtrando, etc.), para que finalmente se la pueda utilizar para el control del robot.

2.2.3 Definición de Sensores

Para lograr esta capacidad de adaptación, lo primero que necesitan los robots es **tener conocimiento** del entorno. Esto es absolutamente clave. Para conocer el entorno, los seres vivos disponemos de un sistema sensorial. Los robots no pueden ser menos: deben poseer sensores que les permitan saber dónde están, cómo es el lugar en el que están, a qué condiciones físicas se enfrentan, dónde están los objetos con los que deben interactuar, sus parámetros físicos, etc.

En la actualidad los sistemas de robótica móvil están dotados de un conjunto muy amplio de sensores, cuya función es la recolección de datos del entorno y sobre el estado del propio robot. La principal utilidad del sistema sensorial es la construcción de mapas de entorno con el fin de proporcionar la información necesaria para la navegación del robot en su ambiente de trabajo. [8]

Después de tener conocimiento del entorno al cual se adaptará, se recurre a la implementación de sensores que puedan captar lo mejor posible el ambiente en donde este interactuará de acuerdo a la información que estos sensores le proporcione. [9]

Para esto se utilizan diversos tipos de sensores (o captadores), con un rango de complejidad y sofisticación que varía desde algunos bastante simples a otros con altos niveles de sofisticación de hardware y más aún de complejidad de programación. [21]

La mayor parte de las investigaciones se concentran en el reconocimiento del entorno inmediato del robot. Sensores (infrarrojos, ultrasonidos, láser, etc.) asociados a programas de software específicos que permiten, mediante el reconocimiento de formas optimizar los desplazamientos del móvil. [8]

Los sensores se pueden clasificar de muchas maneras, pero una de las más comunes es:

- **Sensores propioceptivos y exteroceptivos:** es la clasificación más utilizada en robótica móvil. La propiocepción se refiere a la percepción del estado interno del robot; por ejemplo, medidas de carga de baterías, posición del robot, etc. La exterocepción se refiere a la percepción de aspectos externos al robot; por ejemplo, temperatura, presión, localización de objetos.

Los sensores tienen unas propiedades que se deben tener en cuenta en cualquier desarrollo robótico, y son:

- **La velocidad de operación.** Se refiere a la velocidad a la que el sensor genera nuevas medidas. Esto hace que unos sensores sean apropiados para trabajar en tiempo real y en continuo, y otros sólo se usen en momentos muy específicos.
- **Tasa de error.** Incluye el número de medidas que da un sensor, el error medio de medida y el número medio de medidas perdidas.
- **Robustez.** Se refiere a la tolerancia que tiene un sensor a cambios en el medio de funcionamiento.
- **Requerimientos computacionales.** Este aspecto es otra barrera a la hora de fabricar un robot, ya que los sensores que requieren gran capacidad computacional obligan a unas prestaciones mínimas en el robot, de las que puede no disponer.
- **Potencia, peso y tamaño.** Son aspectos muy importantes a tener en cuenta, ya que influyen en la autonomía y el tamaño del robot.

A continuación se explican los sensores más utilizados en un robot móvil, atendiendo a la clasificación anteriormente mencionada.

2.2.4 Sensores exteroceptivos

A continuación se detallan los sensores exteroceptivos más utilizados en robótica móvil.

- **Sensores para medir distancias que funcionan en el espectro infrarrojo**

Se incluyen en esta sección los sensores de infrarrojo y láser. A través de estos sensores se pueden estimar las distancias a las que se encuentran los objetos en el entorno. Hay diferentes métodos para medir la distancia a un objeto:

- Triangulación: usa relaciones geométricas entre el rayo de salida, el de entrada y la posición del sensor, cuanto mayor sea el ángulo “a”, mayor será la distancia al objeto (Fig. 2.1). [13]

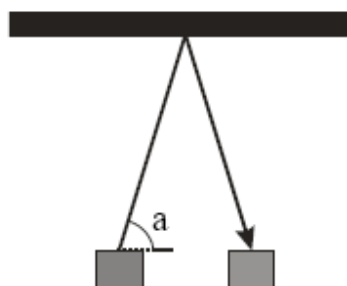


Figura. (2.1). Funcionamiento en el espectro infrarrojo.

- Tiempo de vuelo: Mide el tiempo que transcurre desde que sale el rayo de luz hasta que se recibe, después de haber rebotado en un objeto. [13]

La precisión que se obtiene con estos sensores es muy elevada, debido a que son muy direccionales al ser muy pequeña su longitud de onda. La distancia máxima de medida depende de la potencia que se aplica al rayo de salida. [13]

- **Sensores de proximidad**

Los sensores de proximidad suelen tener una salida binaria que indica la presencia de un objeto dentro de un intervalo de distancia especificado. En condiciones normales, los sensores de proximidad se utilizan en robótica para un trabajo en campo cercano para agarrar o evitar un objeto.

Cualquier sensor para medir distancia se puede usar como sensor de proximidad. [13]

- **Sensores de iluminación: fotorresistencias, fotodiodos y fototransistores**

Los sensores de luz visible y de infrarrojos cubren un amplio espectro de complejidad. Las fotocélulas se encuentran entre los más sencillos de todos los sensores para hacer su interfaz con el microprocesador, y la interpretación de la salida de una fotocélula es directa.

Los sensores de luz posibilitan comportamientos de un robot tales como esconderse en la oscuridad, jugar con un flash, y moverse hacia una señal luminosa. Los sensores de luz simples son fotorresistencias, fotodiodos o fototransistores. [13]

Las fotorresistencias son simplemente resistencias variables con la luz en muchos aspectos parecidos a los potenciómetros, excepto en que estos últimos varían girando un botón.

Los fototransistores dan mayor sensibilidad a la luz que las fotorresistencias. El fototransistor es básicamente un transistor con la corriente de base generada por la iluminación de la unión base-colector. La operación normal del transistor amplifica la pequeña corriente de base. Un fototransistor tiene una interfaz con un microprocesador casi tan fácil como el de una fotorresistencia. [13]

Los fotodiodos tienen una gran sensibilidad, producen una salida lineal en un amplio rango de niveles de luz, y responden con rapidez a los cambios de iluminación. Esto les hace útiles en los sistemas de comunicación para detectar luces moduladas; el mando a distancia de casi todos los TV, equipos estéreos y reproductores de CD los emplean. La salida de un fotodiodo requiere, no obstante, amplificación antes de poder ser empleada por un microprocesador. [13]

- **Sensores de Temperatura**

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada.

La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetálica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos. [13]

- **Otros Sensores Exteroceptivos**

Además de los sensores exteroceptivos expuestos, existen otros como los sensores de contacto, táctiles, radar basados en microondas, termopares, etc. [13]

2.2.5 Sensores Propioceptivos

Dentro de este tipo de sensores se encuentran los sensores que dan información de la posición y orientación del robot. Este tipo de sensores, en este documento, se llamarán también sensores de posicionamiento. [21]

Los sensores de posicionamiento se pueden clasificar en dos grupos:

- Sensores de medida absoluta; es decir, dan una medida de la pose con respecto a un sistema de referencia fijo al entorno. Los sensores de medida absoluta cometen errores en la medida pero no se acumulan con el paso del tiempo. Entre estos sensores se encuentra el GPS, la brújula y todos aquellos sensores que se encargan de detectar marcas que se han hecho en el entorno, cuya localización se conoce de forma precisa. [13]

- Sensores de medida incremental; es decir, son sensores que dan como medida incrementos de movimiento con respecto a un punto. Los sensores de medida incremental

tienen el inconveniente de que los errores de medida son acumulativos y con el paso del tiempo la estimación de la posición, que se calcula teniendo en cuenta sus medidas, es totalmente imprecisa [Cox91]. Por otro lado estos sensores son los más comunes, como el odómetro (Shaft encoder) y los sistemas de navegación inercial (giroscopios, acelerómetros). [13]

- **Sensores para medir de forma absoluta la orientación del robot**

En esta sección se trata de la brújula y del inclinómetro, ya que ambos suelen funcionar de forma conjunta para poder estimar la orientación del robot y son sensores de posicionamiento de medida absoluta. [13]

Un inclinómetro es un dispositivo muy simple que mide la orientación del vector gravitacional. Los más comunes usan mercurio. Para poder medir la inclinación necesita estar en una plataforma que no esté sometida a aceleración, ya que sino la medida es errónea. Es muy sensible a las vibraciones. Pero es fundamental si el robot va a trabajar en un entorno que no sea llano, ya que puede evitar que el robot vuelque o que se dañe la carga que lleva. [13]

La brújula usa el campo magnético de la tierra para conocer la orientación del robot. La ventaja fundamental es que:

- Es el único sensor de medida absoluta, que mide la orientación del robot en prácticamente cualquier lugar del mundo. Un pequeño error en la orientación supone cometer constantemente errores en la posición según avanza el robot, por eso tener un sensor que ayude a corregir estos pequeños errores de forma inmediata, permite al robot moverse de forma más precisa. [13]

Tiene varias limitaciones muy importantes:

- Es sensible a los campos magnéticos externos. Si provienen del robot y son constantes se pueden corregir. Esto se denomina *Hard Iron Distortion*. Para evitarlos basta con separarse de la fuente magnética una pequeña distancia, ya que el campo se atenúa con la distancia al cuadrado. [13]

- Es sensible a los elementos metálicos que estén muy cerca del robot, ya que distorsionan el campo magnético de la tierra. Para que suceda esto el elemento metálico tiene que estar muy cerca del robot. Si la distorsión viene causada por el propio robot se puede corregir. Esto es lo que denomina *Soft Iron Distortion*. [13]

- **Shaft Encoder incremental**

Los codificadores ópticos o encoders incrementales constan, en su forma más simple, de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, de un sistema de iluminación en el que la luz es colimada de forma adecuada, y de

un elemento fotorreceptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco transparente. Con esta disposición, a medida que el eje gire se irán generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese cada marca, y llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje y la velocidad de rotación. [13]

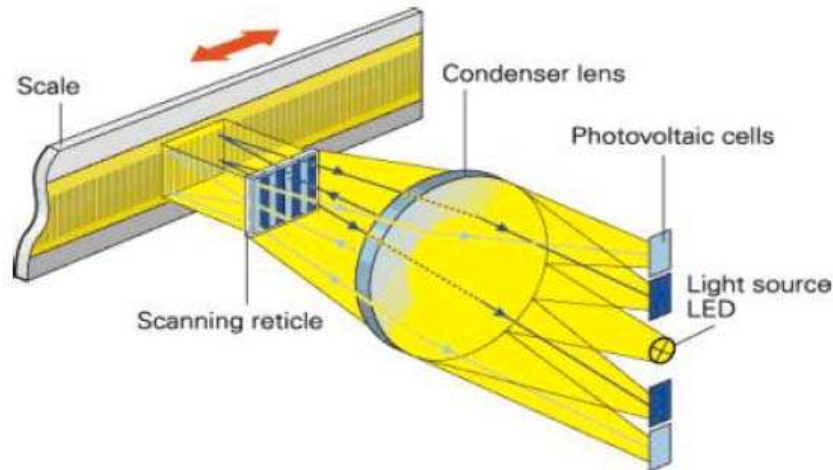


Figura. (2.2). Shaft Encoder incremental. [13]

Este tipo de encoders se emplean en un gran número de aplicaciones dada su simplicidad y "economía". Por otro lado las principales limitaciones con las que cuenta son:

- La información acerca de la posición se pierde cuando la alimentación al sistema falla ó cuando es desconectado y cuando hay fuertes perturbaciones. [13]
- Siempre es necesario un circuito contador para obtener una salida digital compatible con el puerto de entrada/salida de un microcontrolador. Otra posible forma de hacerlo se basaría en software especial según sea la aplicación específica, como por ejemplo, alguna interrupción o programación de alta velocidad, tiempo real, para obtener el tiempo de cambio entre un sector y otro. [13]
- Los encoders pueden presentar problemas mecánicos debido a la gran precisión que se debe tener en su fabricación. La contaminación ambiental puede ser una fuente de interferencias en la transmisión óptica. Son dispositivos particularmente sensibles a golpes y vibraciones, estando su margen de temperatura de trabajo limitado por la presencia de componentes electrónicos. [13]
- Existe desconocimiento en un momento dado de si se está realizando un giro en un sentido o en el opuesto, con el peligro que supone no estar contando adecuadamente. [13]

La precisión de un encoder incremental depende de factores mecánicos y eléctricos entre los cuales se encuentran el error de división del retículo, la excentricidad del disco, la de los rodamientos, el error introducido por la electrónica de lectura, imprecisiones de tipo óptico, etc. La unidad de medida para definir la precisión de un encoder es el grado eléctrico. Éste determina la división de un impulso generado por el encoder: en efecto, los 360° eléctricos

corresponden a la rotación mecánica del eje, necesaria para hacer que se realice un ciclo o impulso completo de la señal de salida. Para saber a cuántos grados mecánicos corresponden 360° eléctricos es suficiente aplicar la fórmula siguiente:

$$360^\circ \text{ eléctricos} = \frac{360^\circ \text{ mecánicos}}{N^\circ \text{ impulsos/ giro}}$$

El error de división en un encoder está dado por el máximo desplazamiento expresado en grados eléctricos, de dos frentes de onda consecutivos. Este error existe en cualquier encoder y se debe a los factores antes citados. [13]

- **Encoders absolutos**

El funcionamiento básico de los codificadores o encoders absolutos es similar al de los incrementales. Se tiene una fuente de luz con las lentes de adaptación correspondientes, un disco graduado y unos fotorreceptores. En este caso, el disco transparente se divide en un número determinado de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno de ellos según un código binario cíclico (normalmente código de Gray) que queda representado por zonas transparentes y opacas dispuestas radialmente. No es necesario ahora ningún contador o electrónica adicional para detectar el sentido del giro, pues cada posición (sector) es codificado de forma absoluta. Su resolución es fija, y vendrá dada por el número de anillos que posea el disco graduado. Las resoluciones habituales van desde 28 a 219 bits (desde 256 a 524288 posiciones distintas). [13]

- **Sensores de velocidad**

La captación de la velocidad se hace necesaria para mejorar el comportamiento dinámico de los actuadores del robot. La información de la velocidad de movimiento de cada actuador se realimenta normalmente a un bucle de control analógico implementado en el propio accionador del elemento motor. No obstante, en las ocasiones en las que el sistema de control del robot lo exija, la velocidad de giro de cada actuador es llevada hasta la unidad de control del robot. Normalmente, y puesto que el bucle de control de velocidad es analógico, el sensor usado es una **taco generatriz** que proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro de su eje (10 mV por rpm).

Otra posibilidad, usada para el caso de que la unidad de control del robot precise conocer la velocidad de giro de las articulaciones, consiste en derivar la información de posición que ésta posee. [13]

- **Otros sensores propioceptivos**

Además de los sensores propioceptivos expuestos, existen otros como los acelerómetros, detectores de marcas activas, etc. [13]

Capítulo 3

MICROCONTROLADORES

3.1 INTRODUCCIÓN A LOS MICROCONTROLADORES

Se dice que el microcontrolador es una de las formas más elementales que puede tener un sistema de computadora. Aún siendo mucho más pequeños que las computadoras personales y las computadoras mainframes, los microcontroladores están constituidos por los mismos elementos básicos. En pocas palabras, se puede decir que las computadoras producen un patrón específico de salidas en base al estado actual de sus entradas, y siguiendo estrictamente las instrucciones contenidas en un programa.

Al igual que la mayoría de las computadoras, los microcontroladores son simples ejecutores de instrucciones de propósito general. La verdadera estrella de un sistema de computadora es el programa de instrucciones que son provistas por un programador humano. Este programa instruye a la computadora a realizar largas secuencias de muy simples acciones para efectuar tareas útiles tales como las que se propuso el programador.

Es un circuito integrado programable que acepta un listado de instrucciones y contiene todos los componentes de un computador. Se utilizan para realizar determinadas tareas o para gobernar dispositivos, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo que gobierna.

El microcontrolador es un dispositivo dedicado. En su memoria solo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada, sus líneas de entradas y salidas (I/O) permiten la conexión de sensores y relay. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

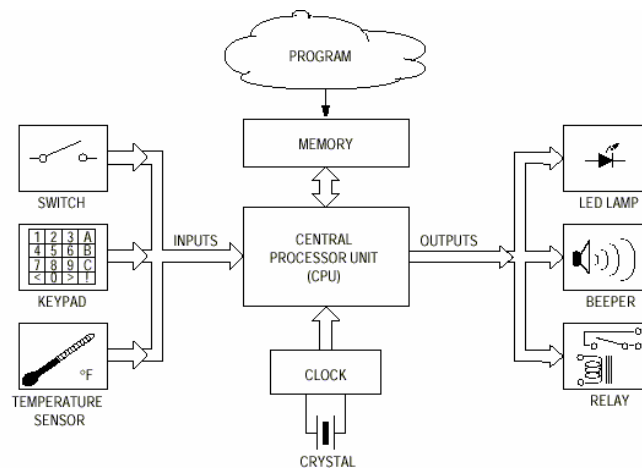


Figura. (3.1). Esquema completo de una computadora. [14]

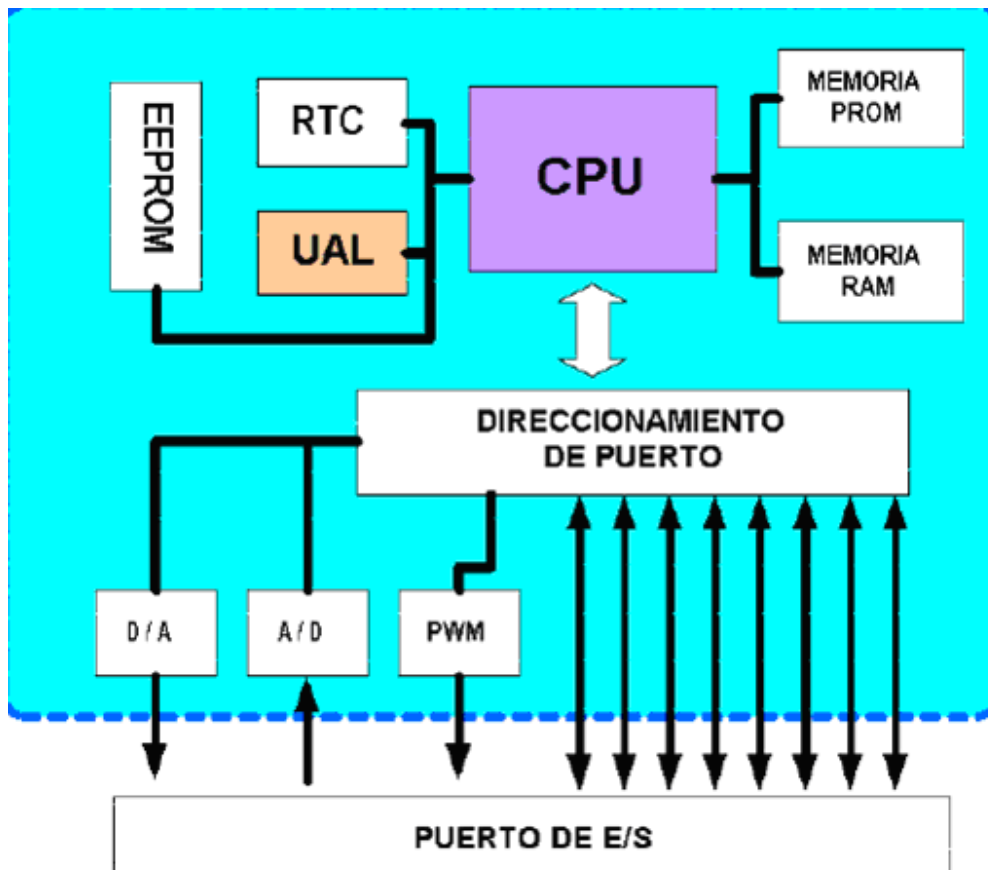


Figura. (3.2). Diagrama en bloque de un Microcontrolador. [21]

Evidentemente, el corazón del microcontrolador es un microprocesador, pero cabe recordar que el microcontrolador es para una aplicación concreta y no es universal como el microprocesador. [21]

Un microcontrolador (Figura. 3.2) dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM/EEPROM & FLASH.
- Líneas de (entrada / salida) para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos Serie y Paralelo, A/D y D/A, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema. [21]

3.2 ENTRADAS DE UN MICROCONTROLADOR

La mayoría de las entradas de los microcontroladores pueden únicamente procesar **señales digitales**, de los mismos niveles de tensión que la fuente de alimentación de la lógica principal. El potencial cero o nivel de tierra se denomina **Vss** y el potencial positivo o nivel de alimentación (**Vdd**) es típicamente 5 Volts de C.C. Un nivel de aproximadamente cero Volts es indicativo de un **cero lógico** y una tensión aproximadamente igual que la de la fuente de alimentación positiva es indicativo de un **uno lógico**.

Por supuesto que el mundo real está poblado de señales analógicas, o señales que son de otros niveles de tensión. Algunos dispositivos de entrada trasladan los niveles de tensión de una señal a los niveles Vdd y Vss necesarios para el microcontrolador. Otros dispositivos de entrada convierten **señales analógicas** en **señales digitales** (a valores binarios compuestos por unos y ceros) que la computadora puede reconocer y manipular. Hay microcontroladores que también incluyen tales circuitos conversores de señal analógica a digital en su mismo circuito integrado (es el caso de la familia HC908 FLASH). [14]

3.3 SALIDAS DE UN MICROCONTROLADOR.

Los dispositivos de salida sirven para que el sistema de computadora suministre información al mundo exterior o bien realice acciones sobre éste. En un sistema de PC, el dispositivo de salida más común es la pantalla de un **tubo de rayos catódicos (TRC)**. Los sistemas de computadora con microcontrolador normalmente utilizan dispositivos de salida mucho más simples tales como indicadores lumínicos o sonoros. Existen circuitos de translación (a veces incluidos en el mismo circuito integrado del microcontrolador) que pueden convertir señales digitales a niveles de tensión analógica.

De ser necesario, podemos recurrir a un circuito auxiliar para trasladar los niveles naturales de la MCU Vdd y Vss a otros niveles de tensión.

El término “controlador” de la palabra microcontrolador proviene del hecho que estas pequeñas computadoras usualmente se utilizan para controlar alguna cosa, mientras que, con una PC habitualmente se procesa información. En el caso de una PC, la salida en su mayor parte es información (presentada en la pantalla de un TRC o en su defecto impresa en papel). En un sistema de computadora con microcontrolador la salida en su mayor parte la integran señales de nivel lógico digital que se utilizarán para manejar presentadores de diodos de emisión lumínica (**LED**) o bien dispositivos eléctricos tales como reveladores o motores. [14]

3.4. UNIDAD CENTRAL DE PROCESO (CPU)

La **CPU** es el núcleo de todo sistema de computadora. La tarea de la CPU es ejecutar obedientemente las instrucciones del programa que le fuera suministrado por el programador. Un **programa de computadora** da instrucciones a la CPU para **leer** información de las entradas, leer información de la memoria de trabajo y escribir información en ella, y para **escribir** información sobre ellas. Algunas instrucciones del

programa involucran sencillas decisiones que causan que se continúe ejecutando la próxima instrucción o bien que se la saltee pasando a un nuevo punto dentro del programa. En un capítulo posterior veremos más cuidadosamente el conjunto de las instrucciones disponibles para un microcontrolador en particular. [14]

En un microcontrolador hay usualmente sólo un programa, el que atiende una aplicación específica de control. La CPU MC68HC05 (CPU05) y la MC68HC08 (CPU08) reconocen alrededor de **60 y 89 instrucciones** diferentes respectivamente, no obstante, ellas son representativas del conjunto de instrucciones de un sistema de computadora. Este modesto sistema de computadora, resulta ser un buen modelo para aprender los fundamentos de la operación de una computadora puesto que es posible conocer con exactitud qué sucede en cada pequeña etapa en que la CPU ejecuta un programa. [14]

3.5 MEMORIA

Hay varios tipos de memoria que se utilizan para diversos propósitos en los sistemas de computadora. Los principales tipos que se encuentran en sistemas con microcontroladores, son la memoria de la lectura solamente (**ROM**) y la memoria de lectura / escritura de acceso aleatorio (**RAM**). La ROM se utiliza principalmente para el almacenamiento de programas y datos en forma permanente, que permanecerán inalterables aún cuando se apague la fuente de alimentación del sistema con microcontrolador. Mientras que la RAM en cambio sirve para el almacenamiento temporáneo de datos y resultados intermedios generados durante la operación.

Hay microcontroladores que incluyen otro tipo de memoria tales como ROM programable eléctricamente y borrable eléctricamente (**EEPROM**). Conoceremos más respecto a estos tipos de memoria en un capítulo posterior.

La menor unidad de almacenamiento de memoria en una computadora es el **bit** que puede retener un valor de cero o uno lógico. Estos bits agrupados en conjuntos de a 8 forman lo que se denomina **byte**. Las computadoras más grandes poseen grupos de bits en conjuntos de a 16 a 32 formando una unidad denominada **word**. El tamaño de un word puede variar según la computadora, sin embargo un byte siempre estará formado por **8 bits**.

3.6 RELOJ

Con muy pocas excepciones, las computadoras utilizan un pequeño reloj o **circuito oscilador** para forzar a la CPU a moverse en secuencia desde una etapa a la próxima. [14]

3.7 ALGUNOS TIPOS DE MICROCONTROLADORES:

3.7.1 Altair

ALTAIR es el nombre genérico de una familia de microcontroladores de propósito general compatibles con la familia 51. Todos ellos son programables directamente desde un equipo PC mediante nuestro lenguaje macroensamblador, o bien mediante otros lenguajes disponibles para la familia 51 (BASIC, C,...).

Los microcontroladores ALTAIR disponen de un microprocesador de 8 bits 100% compatible a nivel de código, 256 bytes de memoria interna, 128 registros especiales de función, puertos de entrada/salida de propósito general, 111 instrucciones y posibilidad de direccionar 128 Kbytes.

Unos microcontroladores ALTAIR se diferencian de otros por el número de entradas salidas, periféricos (DAC, ADC, WATCHDOG, PWM, velocidad de ejecución, etc.). Por lo que la elección de un modelo u otro dependerá de las necesidades. Como entrenador o sistema de iniciación recomendamos la utilización de un ALTAIR 32 BASICO o bien un ALTAIR 535A completo. En proyectos avanzados o desarrollos profesionales puede ser preferible un ALTAIR 537 A. Tanto al 535 como al 537 se pueden complementar con nuestra EMULADOR EPROM PARA 535/537, que actuará como un emulador de EPROMs. Con ello facilitará notablemente la puesta a punto de las aplicaciones. [15]

3.7.2 Intel (La familia 8051)

El 8051 es el primer microcontrolador de la familia introducida por Intel Corporation. La familia 8051 de microcontroladores son controladores de 8 bits capaces de direccionar hasta 64 kbytes de memoria de programa y una separada memoria de datos de 64 kbytes. El 8031 (la versión sin ROM interna del 8051, siendo esta la única diferencia) tiene 128 bytes de RAM interna (el 8032 tiene RAM interna de 256 bytes y un temporizador adicional). El 8031 tiene dos temporizadores/contadores, un puerto serie, cuatro puertos de entrada/salida paralelas de propósito general (P0, P1, P2 y P3) y una lógica de control de interrupción con cinco fuentes de interrupciones. Al lado de la RAM interna, el 8031 tiene varios Registros de Funciones especiales (SFR)(Special Function Registers) que son para control y registros de datos. Los SFRs también incluyen el registro acumulador, el registro B, y el registro de estado de programa (Program Status Word)(PSW), que contienen los Flags del CPU. [15]

Bloques separados de memoria de código y de datos se denomina como la Arquitectura Harvard. El 8051 tiene dos señales de lectura separadas, los pines RD(P3.7, pin 17) y PSEN(pin 29). El primero es activado cuando un byte va a ser leído desde memoria de datos externo; el otro, cuando un byte va a ser leído desde memoria de programa externo. Ambas de estas señales son señales activas en nivel bajo. Esto es, ellos son aclarados a nivel lógico 0 cuando están activados. Todo código externo es buscado desde memoria de programa externo. En adición, bytes de memoria de programa externo pueden ser leídos por instrucciones de lectura especiales, tal como la instrucción MOVC. Hay también instrucciones separadas para leer desde memoria de datos externo, tal como la instrucción MOVX. Esto significa que las instrucciones determinan que bloque de memoria es direccionado, y la señal de control correspondiente, o RD o PSEN, es activado durante el ciclo de lectura de memoria. Un único bloque de memoria puede ser mapeado para actuar como memoria de datos y de programa. Esto es lo que se llama la arquitectura Von Neuman. Para leer desde el mismo bloque usando o la señal RD o la señal PSEN, las dos señales son combinadas con una operación AND lógico. La arquitectura Harvard es algo extraño en sistemas de evaluación, donde código de programa necesita ser cargado en memoria de programa. Adoptando la arquitectura Von Neuman, el código puede ser escrito a la memoria como bytes de datos y luego ejecutado como instrucciones de programa. [15]

La ROM interna del 8051 y el 8052 no pueden ser programados por el usuario. El usuario debe suministrar el programa al fabricante, y el fabricante programa los microcontroladores durante la producción. Debido a costos, la opción de la ROM programado por el fabricante no es económica para producción de pequeñas cantidades. El 8751 y el 8752 son las versiones Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM) del 8051 y el 8052. Estos pueden ser programados por los usuarios. [15]

Durante la década pasada muchos fabricantes introdujeron miembros mejorados del microcontrolador 8051. Las mejoras incluyen más memoria, más puertos, convertidores análogo-digital; más temporizadores, más fuentes de interrupción, watchdog timers, y subsistemas de comunicación en red. Todos los microcontroladores de la familia usan el mismo conjunto de instrucciones, el MCS-51. Las características mejoradas son programadas y controladas por SFRs adicionales. [15]

3.7.3 Siemens

El Siemens SAB80C515 es un miembro mejorado de la familia 8051 de microcontroladores. El 80C515 es de tecnología CMOS que típicamente reduce los requerimientos de energía comparado a los dispositivos no-CMOS. Las características que tiene frente al 8051 son más puertos, un versátil convertidor análogo a digital, un optimizado Timer 2, un watchdog timer, y modos de ahorro de energía sofisticados. El 80C515 es completamente compatible con el 8051. Esto es, usa el mismo conjunto de instrucciones del lenguaje assembly MCS-51. Las nuevas facilidades del chip son controladas y monitoreadas a través de SFRs adicionales. El 80C515 tiene todas las SFRs del 8051, y de este modo puede correr cualquier programa escrito para el 8051 con la excepción del uso del registro prioridad de interrupción IP. Por tanto si un programa 8051 usa prioridades de interrupción, debe ser modificado antes de que se ejecute sobre el 80C515. El agobio de modificar código 8051 existente es fácilmente justificado por la disponibilidad de más fuentes de interrupción y prioridades del 80C515. [15]

3.7.4 Motorola

El 68hc11 de la familia Motorola, es un potente microcontrolador de 8 bits en su bus de datos, 16 bits en su bus de direcciones, con un conjunto de instrucciones que es similar a los más antiguos miembros de la familia 68xx (6801, 6805, 6809). Dependiendo del modelo, el 68hc11 tiene internamente los siguientes dispositivos: EEPROM o OTPROM, RAM, digital I/O, timers, A/D converter, generador PWM, y canales de comunicación sincrónica y asincrónica (RS232 y SPI). La corriente típica que maneja es menor que 10ma.

El CPU tiene 2 acumuladores de 8 bits (A y B) que pueden ser concatenados para suministrar un acumulador doble de 16 bits (D). Dos registros índices de 16 bits son presentes (X, Y) para suministrar indexamiento para cualquier lugar dentro del mapa de memoria. El tener dos registros índices significa que el 68hc11 es muy bueno para el procesamiento de datos. Aunque es un microcontrolador de 8 bits, el 68hc11 tiene algunas instrucciones de 16 bits (add, subtract, 16 * 16 divide, 8 * 8 multiply, shift, y rotates). Un puntero de pila de 16 bits está también presente, y las instrucciones son suministradas para

manipulación de la pila. Típicamente el bus de datos y direcciones están multiplexados. El temporizador comprende de un único contador de 16 bits y hay un preescalador programable para bajarlo si es requerido. Viene con un convertidor A–D que es típicamente de 8 canales y 8 bits de resolución, aunque el G5 tiene un A/D de 10 bits. Viene con una Interface de comunicaciones serie (SCI) – comunicaciones serie asíncrona; formato de datos 1 bit start, 8 o 9 bits de datos, y un bit de parada. Velocidad en baudios desde 150 hasta 312500 (312500 es usando un reloj E de 4mhz). Tiene una Interface periférico serie (SPI) – comunicaciones serie sincrónica. [15]

3.7.5 Microchip

Los microcontroladores PIC de Microchip Technology Inc. combinan una alta calidad, bajo coste y excelente rendimiento. Un gran número de estos microcontroladores son usados en una gran cantidad de aplicaciones tan comunes como periféricos del ordenador, datos de entrada automoción de datos, sistemas de seguridad y aplicaciones en el sector de telecomunicaciones. [15]

3.8 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR:

Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- **Procesamiento de datos:** puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso debemos asegurarnos de seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante. Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar librerías para manejar los datos de alta precisión. [12]
- **Entrada Salida:** para determinar las necesidades de Entrada/Salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema. [12]
- **Consumo:** algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla. [12]
- **Memoria:** para detectar las necesidades de memoria de nuestra aplicación debemos separarla en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (EEPROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración. [12]

El tipo de memoria a emplear vendrá determinado por el volumen de ventas previsto del producto: de menor a mayor volumen será conveniente emplear EPROM, OTP y ROM. En cuanto a la cantidad de memoria necesaria puede ser imprescindible realizar una versión preliminar, aunque sea en pseudo-código, de la aplicación y a partir de ella hacer una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es necesaria y si es conveniente disponer de memoria no volátil modificable. [12]

- Ancho de palabra: el criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costes importante, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, deben reservarse para aplicaciones que requieran sus altas prestaciones (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado). [12]
- Diseño de la placa: la selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos. Debe tenerse en cuenta que quizá usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño. [12]

3.9 MICROCONTROLADOR EMPLEADO EN ESTE PROYECTO

Meteoro emplea el microcontrolador MC68HC908GP32 de la familia motorola, por su fácil acceso y porque su número de puertos es lo que lo hace indispensable en METEORO, debido a que cada sensor y el periférico de salida LCD están conectados a los puertos de E/S de este para evitar el uso o diseño de más circuitos.

Este microcontrolador pertenece a la familia HC08 de Motorola, cuyas principales características son:

Modelo de programación HC05 mejorado, Control de bucles optimizado, 16 modos de direccionamiento, Registro de índice y puntero de pila de 16-bits, Transferencia de datos de memoria a memoria, Rápidas instrucciones de multiplicación de 8x8, Rápidas instrucciones de división de 16/8, Instrucciones BCD (Binario codificado en decimal), Optimización para aplicaciones de control, Soporte eficiente del lenguaje C. [16]

Las características principales del microcontrolador MC68HC908GP32 son:

- Arquitectura de alto rendimiento M68HC08 optimizada para compiladores C.
- Compatible con la familia 68HC05.
- Frecuencia interna del bus de 8-MHz.
- Código de seguridad para la lectura y programación de la memoria FLASH.
- Firmware On-chip para la programación desde PC.
- Programable en el circuito.
- Sistemas de protección:
"Watch Dog" opcional (Computer Operating Properly (COP) reset).
Detección de baja tensión con reset opcional.
Detección de código ilegal con reset.

Detección de direccionamiento ilegal con reset.

- Diseño de bajo consumo, completamente estático y varios modos de operación.
- 32 Kbytes de memoria FLASH programable en circuito.
- 512 bytes de memoria RAM.
- Módulo de interfaz serie asíncrono (SPI).
- Módulo de interfaz serie síncrono (SCI).
- Dos temporizadores de 2 canales de 16 bits (TIM1 y TIM2) con captura de entrada seleccionable, comparadores y capacidad de PWM en cada canal.
- 8 canales para conversión AD por aproximaciones sucesivas de 8 bits.
- Módulo generador de reloj con PLL "on-chip".
- Hasta 33 pines de entradas/salidas de propósito general.
- Pullups seleccionables en los puertos A, C, y D. La selección puede ser de forma individual, por bit.
- Corriente de entrada/salida de hasta 10mA en todos los puertos.
- Puerto de 8-bits para manejo de teclado.
- Encapsulado plástico 40 pines DIP, 42 pines SDIP o 44 pines QFP (quad flat pack).

[16]

Capítulo 4

RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 SELECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES

4.1.1 Sensor seguidor de Línea

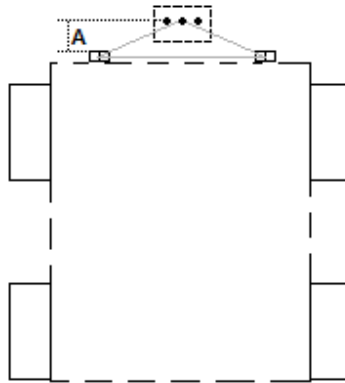


Figura. (4.1) Distribución de los sensores seguidores de línea en la plataforma

En la Figura. (4.1) y (4.4) se muestra la ubicación de los sensores para el seguidor de línea en la plataforma, estos se ubican en la parte delantera, ya que así fue la manera en la que se logra suprimir la oposición que le ejercen las ruedas delanteras al giro, se ubican los sensores en forma triangular para que en las curvas donde no detecta el sensor central el sensor lateral izquierdo o derecho si lo hagan, y esto permite que la plataforma tome el rumbo indicado, que en este caso sería seguir una línea de color blanco.

El OPB 745 (Figura. 4.2) es un encapsulado que se utiliza para el diseño del seguidor de línea, este contiene un diodo emisor de luz infrarrojo y un receptor de esta misma. Cuando el diodo emite cerca de una superficie clara la luz reflectante incide sobre el receptor, el cual produce una saturación o circulación de corriente entre el colector y emisor. El voltaje entre colector y emisor depende de la cantidad de luz infrarroja incidente en el receptor. El voltaje entra a un comparador de tensión. Este voltaje es comparado con el voltaje producido en el nodo regulado por el potenciómetro, con el fin de seleccionar a partir de que voltaje en las junturas colector emisor, produce a la salida del comparador un estado alto o bajo.

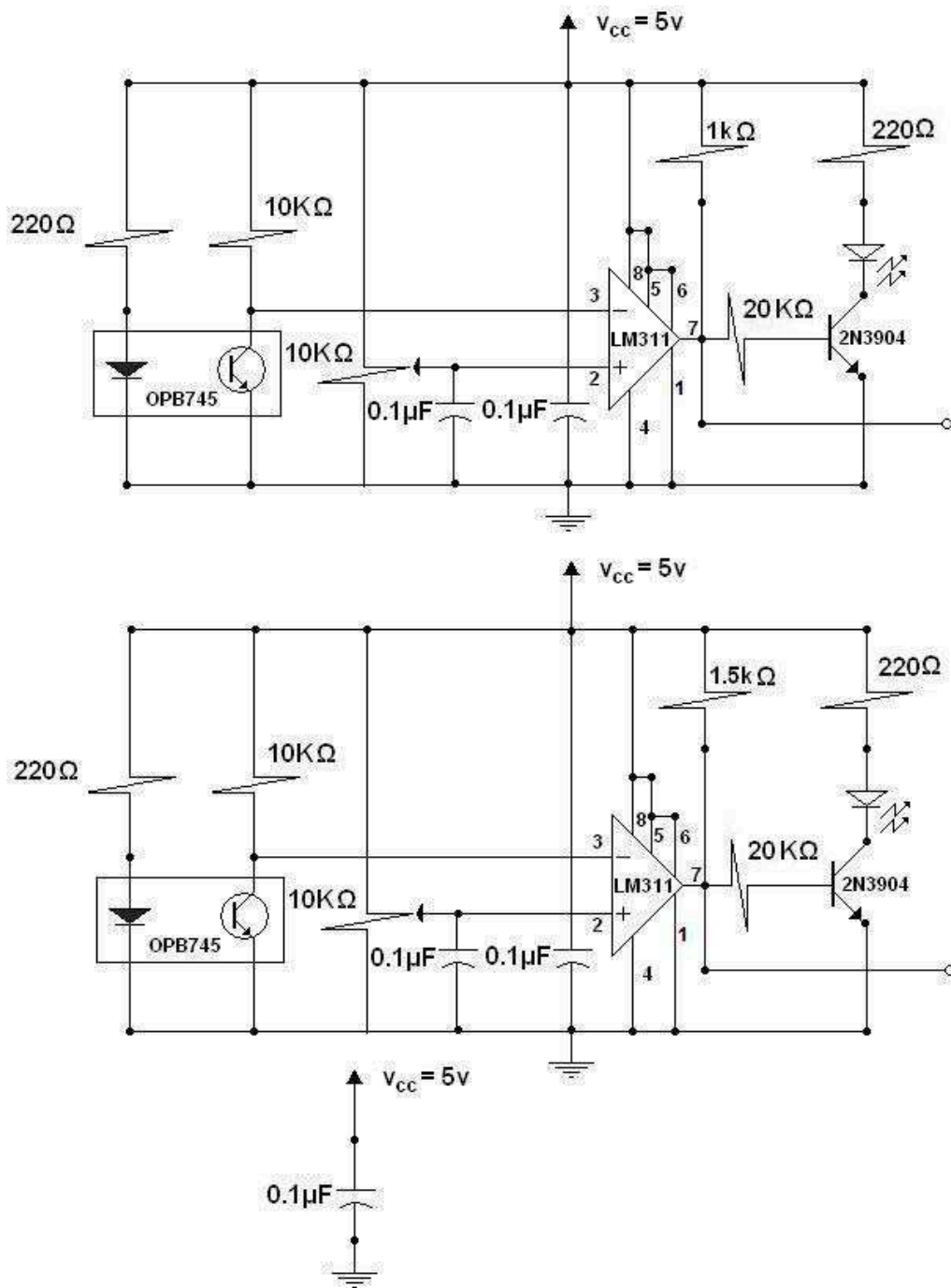


Figura. (4.2). Sensores extremos del seguidor de línea

La hoja de datos del sensor mostrado en la Figura 4.3 se encuentra disponible en [17]

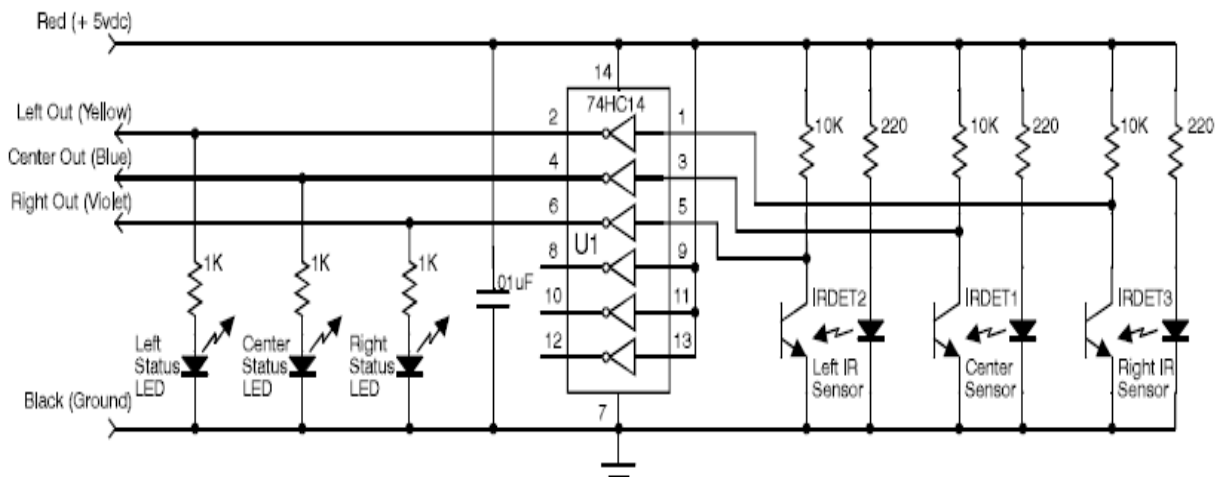


Figura. (4.3). Sensor central seguidor de línea

El sensor Tracker (Figura. 4.3) trabaja de manera similar a los sensores de los extremos, la diferencia es que este sensor solo funciona de manera optima a partir de distancias inferiores a 0.25", debido a que no tiene un comparador de tensión.

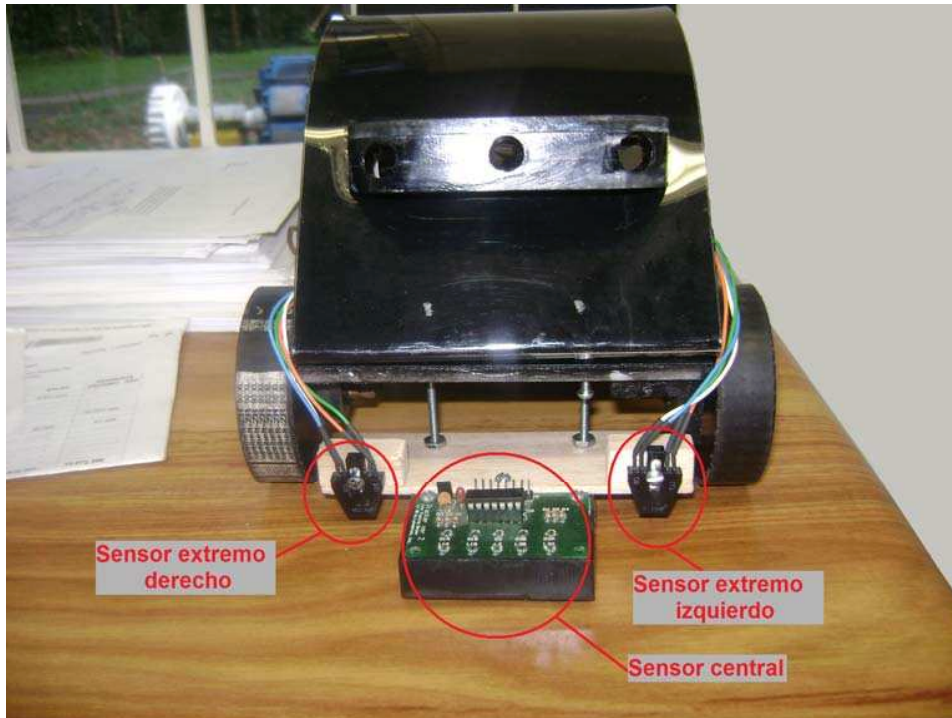


Figura. (4.4). Ubicación de los sensores en la plataforma

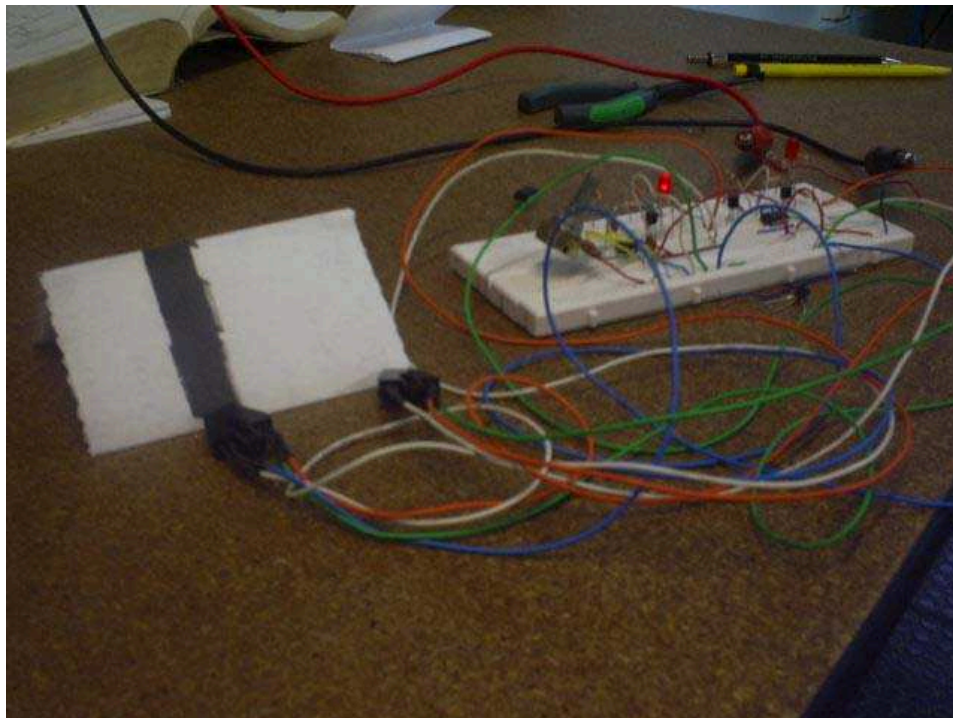


Figura. (4.5). Puesta a punto de los sensores de los laterales.

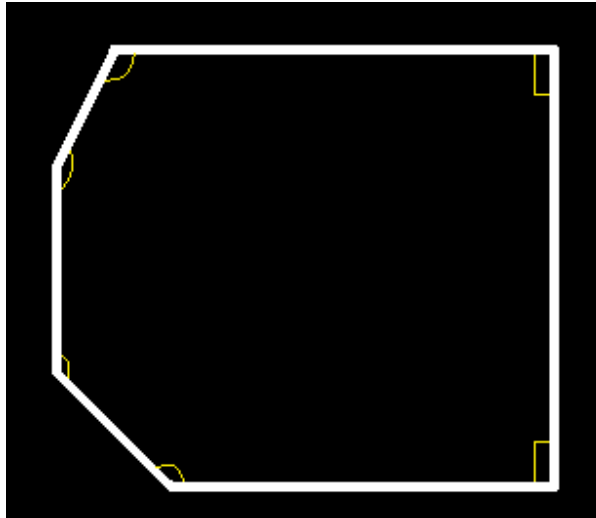


Figura. (4.6). Pista del seguidor de línea.

Se coloca una trayectoria (pista) sobre una superficie de color negro, con curvas de diferentes ángulos, iguales o superiores a 90° (fig. 4.6), la plataforma debe tomar la decisión si debe ir hacia adelante, hacia la derecha o hacia la izquierda, todo depende del sensor que esta detectando, si hay dos sensores que están detectando al mismo tiempo, se le da prioridad al sensor del extremo izquierdo. El siguiente es el programa de seguidor de Línea.

line:

```

    clra
    clrh
    clrx
    clr flag1
    clr flag3
    clr flag4
    clr flag5
cambi: lda PTA                ; Lee los datos entregados por los sensores
        ora #$83              ; enmascaramiento
        sta flag3
        lda flag3
        cmp flag2
        beq cambi
vio_line:                    ;***pta5=sensor izq,pta6=sensor der,pta2,3,4=sensor
                                ;***/centro***
        lda flag3
        sta flag2              ;****guarda el estado del sensor
        brclr 5,flag3,s_giro_izqu
        brclr 6,flag3,s_giro_dere
        brclr 2,flag3,s_adelant
        lda flag5              ;**** para el giro
        cmp #$ff              ;****

```

```

    beq  not
    brclr 3,flag3,s_adelant
    brclr 4,flag3,s_adelant

noper: bset 5,t1sc ;
       not: jmp  cambi

```

s_giro_dere:

```

    jsr  giro_der
    mov  #$ff,flag5
    jmp  cambi

```

s_giro_izqu:

```

    jsr  giro_izq
    mov  #$ff,flag5
    jmp  cambi

```

s_adelant:

```

    jsr  adelante
    clr  flag5
    jmp  cambi

```

;**actualiza borra la memoria de giro

Meteoro avanza hacia adelante siempre y cuando cualquiera de los tres sensores centrales estén detectando la línea blanca, cuando se presenta un giro es porque los sensores centrales están por fuera de la línea y cualquiera de los sensores de los extremos (Figura. 4.2 y 4.5) esta sobre esta. La plataforma girara hasta que el sensor central detecte la línea. El proceso es cíclico por lo que en los giros meteoro siempre estará girando y avanzando, realizando pequeños y fáciles giros, las llantas delanteras son un problema ya que estas presentan oposición al giro, este problema se suprime ubicando los sensores en posiciones superiores a las llantas delanteras (Figura. 4.1 y 4.4).

4.1.2 Seguidor de foco de luz

Cuando el foco de luz se encuentra en un extremo, la plataforma girara en el sentido contrario a este, hasta que el foco de luz sea detectado por ambos extremos (Figura.4.10). Meteoro avanza hacia adelante si se cumple la condición de el foco este en el centro (sensores de los extremos detectan luz).El comparador de ventana del sensor central es para limitar a la plataforma, indicándole a partir de que distancia debe detectar la luz y a partir de que otra distancia debe dejar de detectarla para así avanzar o detenerse, estos niveles corresponde a VTH y VTL. VTH es el voltaje equivalente al que produce el foco de luz cuando este muy cerca de la plataforma y VTL corresponde al voltaje el cual es producido por la luz del medio donde trabaja la plataforma. La resistencia variable de la foto resistencia central permite ubicar el voltaje de esta misma dentro de los rangos del comparador de ventana (Figura 4.9 y 4.10).

- **Comparador de ventana Figura. (4.9)**

El divisor de voltaje entre dos resistencias variables, un potenciómetro y un foto resistor cuya resistencia varia según la cantidad de luz que incide sobre ella, entran a un comparador de ventana para producir un estado lógico alto cuando el voltaje de entrada esta dentro del rango establecido (V_{TL} Y V_{TH}), rango que representa el ruido luminoso y el nivel más luminoso que recibe el foto resistor, dicho de otra manera son los rangos en los cuales el sensor central debe o no debe detectar luz.

- **Sensores laterales Figura. (4.11)**

El divisor de voltaje entre la fotorresistencia y la resistencia variable varía según la intensidad luminosa, por lo que este voltaje entra a las inversoras para asegurar que se este entregando un estado lógico alto o bajo al micro controlador. La resistencia variable se debe calibrar de tal modo que cuando no haya luz, a la salida haya un estado lógico, y cuando haya presencia de luz se presente un estado lógico complementario. El diodo y la resistencia de 220 Ohmios son simplemente para visualizar dichos estados.

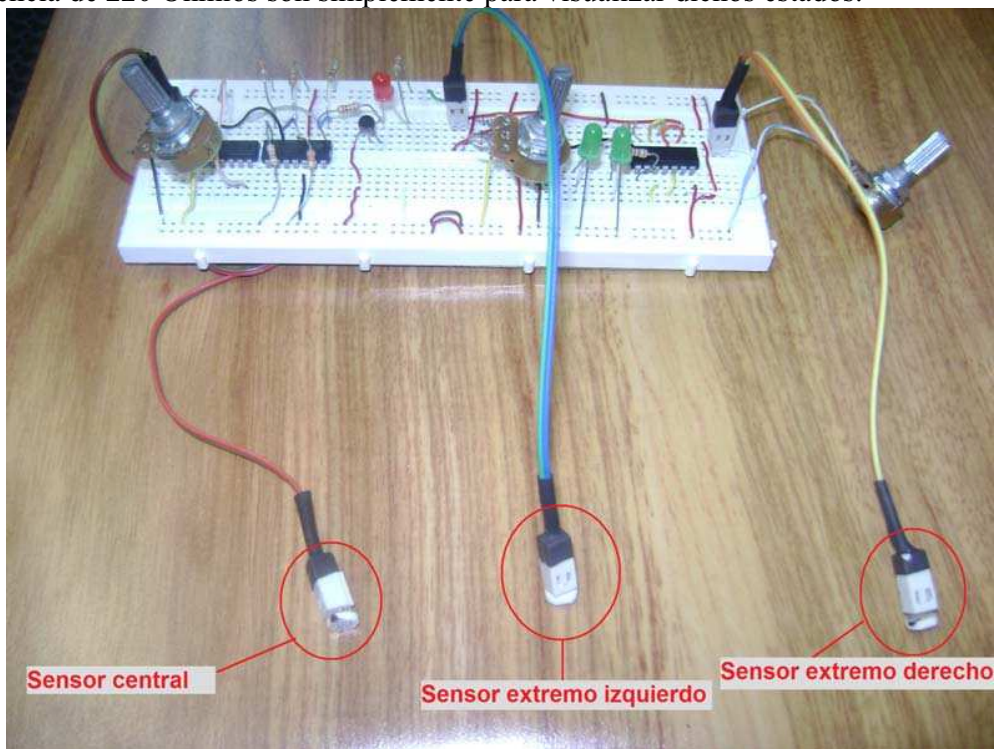


Figura. (4.7). Puesta a punto de los sensores en el seguidor del foco de luz



Figura. (4.8). Ubicación de los sensores seguidores del foco de luz en la plataforma

Sensor central

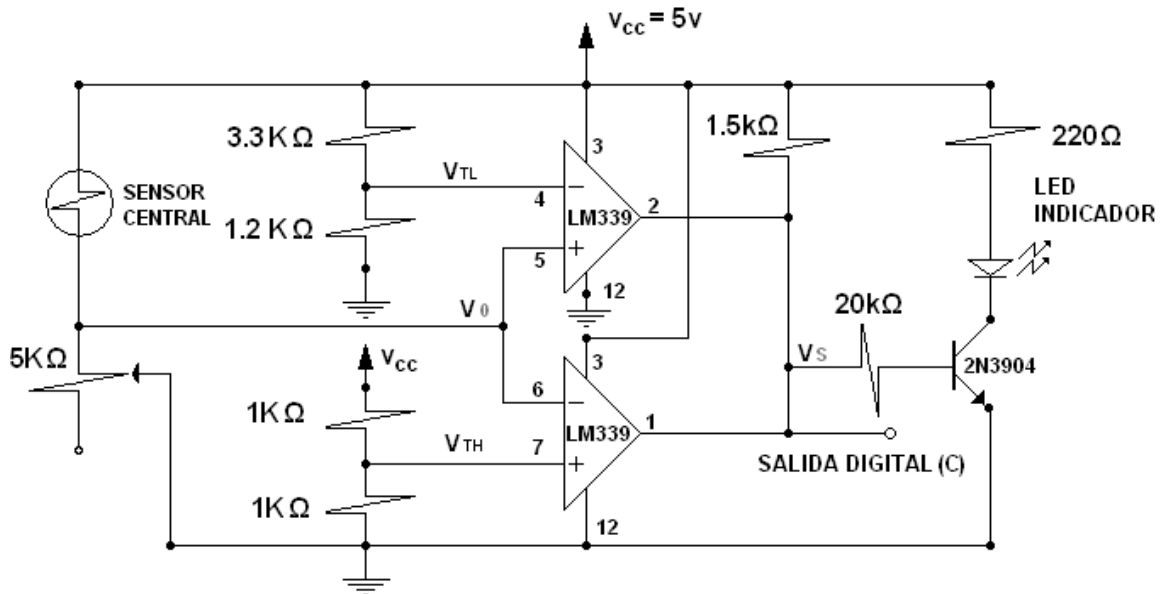


Figura. (4.9). Sensor central del seguidor del foco de luz.

| IZ | DR | C | ACCIÓN DE LOS SERVOS |
|----------------------------------|----|---|----------------------|
| 1 | 0 | X | GIRAR A LA DERECHA |
| 0 | 1 | X | GIRAR A LA IZQUIERDA |
| 1 | 1 | 1 | IR ADELANTE |
| FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR | | | |

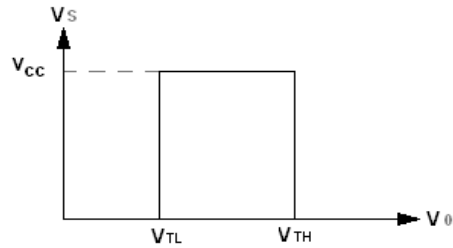


Figura. (4.10). Funcionamiento del comparador de ventana.

Sensores de los extremos:

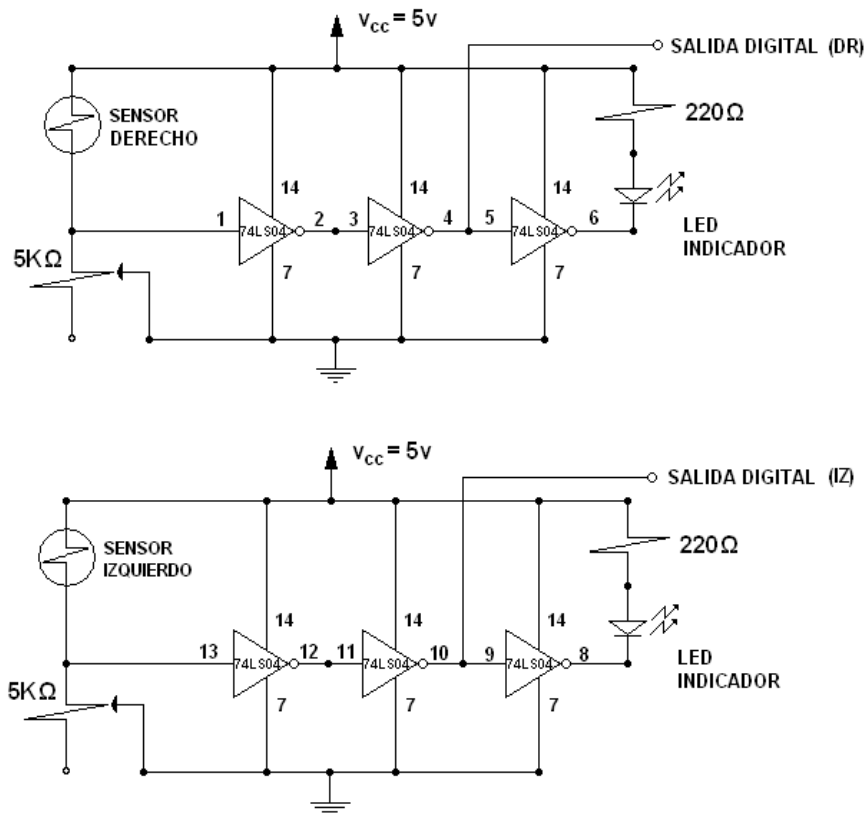


Figura. (4.11). Sensores laterales del sensor seguidor del foco de luz

- Detección de luz en el extremo izquierdo, el carro emprende un giro hacia la derecha, como se muestra en la Figura 4.12.

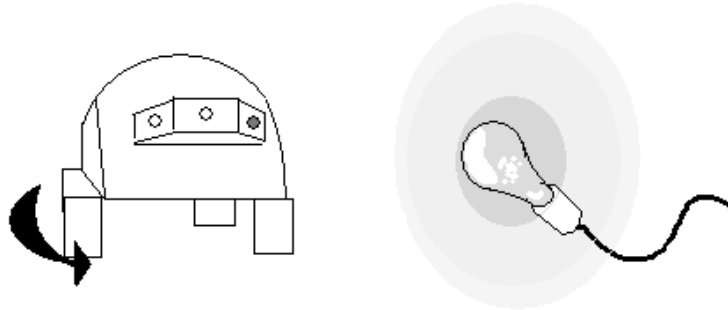


Figura. (4.12). Funcionamiento de los sensores laterales

- Plataforma se detiene cuando los extremos detectan el foco de luz lo que indica q este está posicionado en el centro, como se muestra en la Figura 4.13.

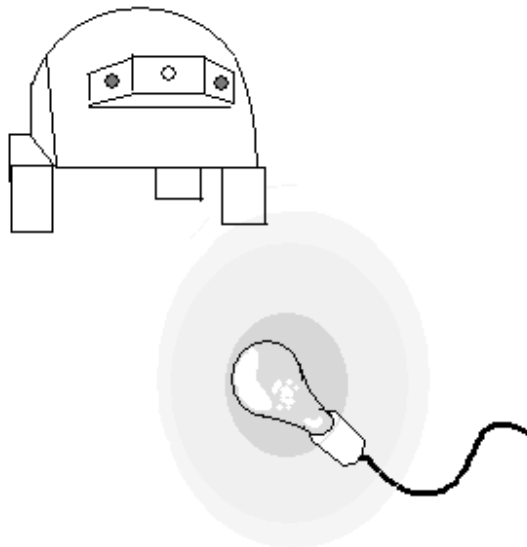


Figura. (4.13). Posicionamiento de la plataforma.

- Avanza si esta posicionado en el centro y si el sensor central detecta la luz de acuerdo a la distancia que se encuentra sobre el foco, como se muestra en la Figura 4.14.

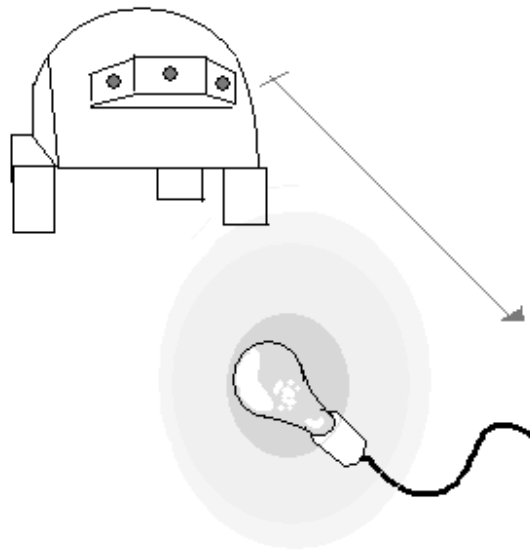


Figura. (4.14). Desplazamiento delantero de la plataforma.

4.1.3 Sensor de proximidad

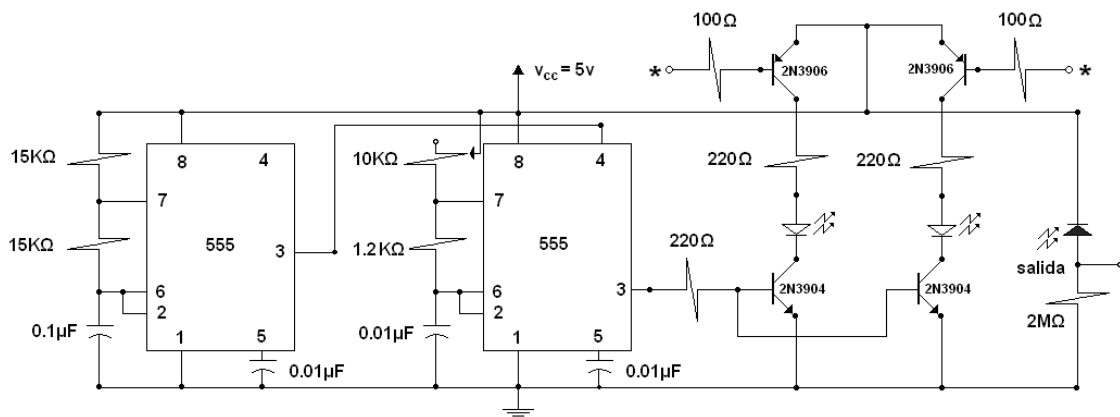


Figura. (4.15). sensor de proximidad a base de infrarrojos.

En un principio se implementaría el sensor de proximidad a base de infrarrojos (Figura. 4.15). El primer 555 genera una frecuencia aproximada a los 40 KHz., la cual es la frecuencia a la que trabajan los diodos. Por otra parte el segundo 555 se encarga de generar una frecuencia de 500 Hz. Por parte del receptor se recibe una señal de 500 Hz la cual variaba en amplitud dependiendo que tan cerca se encuentre el obstáculo, los transistores que controlan cada diodo emisor funcionan como switches para determinar cual de los dos estaba activo, se hacia funcionar primero el de un extremo, se toman los datos de amplitud, luego se activa el otro extremo y se toman de nuevo los datos respectivos de amplitud. Luego se compara cual de los dos posee una amplitud mas grande para así determinar en

cual extremo se encuentra el obstáculo. Si las amplitudes son muy cercanas, el obstáculo se encuentra en el centro.

El problema con este sensor se debe a que la amplitud en el receptor solo varia en distancias muy cortas, también es muy susceptible al ruido, por lo que se opto el uso de un sensor de ultrasonido.

La hoja de datos del sensor mostrado en la Figura 4.16 se encuentra disponible en [33]



Figura. (4.16). Sensor de Ultrasonido.

El sensor SRF04 (Figura. 4.16) tiene un pin de pulso de excitación a partir del momento que se le envía el pulso genera una señal llamada eco la cual es proporcional a la distancia a la cual detecta un objeto, entrega periodos a partir de 100 microsegundos y su periodo máximo son 18 milisegundos la cual corresponde a 306 centímetros.

La plataforma se desplaza hacia delante hasta encontrar algún obstáculo, el sensor de proximidad lo puede detectar a una distancia aproximada de 3 metros, cuando esta a una distancia inferior a 30cm la plataforma esta en capacidad de girar a la derecha para evadirlo.

El sensor de ultrasonido entrega un periodo o tiempo proporcional a la distancia en la que detectó un obstáculo, de acuerdo a la expresión:

$$x = v_{\text{sonido}} \times \frac{\text{tiempo}}{2}$$
$$306\text{cm} = 34000\left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right) \times \frac{18 \times 10^{-3}}{2} (\text{s})$$

Lo cual implica realizar cálculos dentro del microcontrolador después de obtener dicho tiempo. Para suprimir estos cálculos lo que se busca es incrementar una variable de tal manera que cuando su cuenta llega a 306 corresponda al tiempo de 18ms para así solo visualizarlo ya que este correspondería los 306 cm, asumiendo la velocidad del sonido en 34000cm/s. De esta manera se evita realizar cálculos internos en el micro como el de multiplicar el tiempo obtenido por 34000 y dividirlo entre 2. Como los microcontroladores por lo general trabajan a 8 bits la cuenta llega a 255, por tal motivo se emplean 2 memorias para el conteo, flag2 y flag3. flag2 cuenta hasta 255 si la distancia es de 255cm, pero si la distancia es sobrepasada se incrementa flag3 y flag2 empezara una cuenta nueva desde cero, finalmente si flag3 está en uno quiere decir que la distancia sobrepaso los 255cm y aparte de eso se adiciona la cuenta hecha nuevamente por flag2.

Subrutina que calcula la distancia a la cual se encuentra el obstáculo;

```

tiempo: clr  flag2
        clr  flag3
        nop
        nop
time1:  ldx  #$0a
lazo:   brclr 7,pta, inicio1          ; Entrada del PTA que lee el pulso
        nop
        nop
        decx
        cpx  #$00
        bne  lazo
        inc  flag2                  ;máximo de incrementos alrededor de 300 bits
        bcc  time1                  ;condiciones para q no haya
        lda  flag3                  ;medición cuando el tiempo es superior
        cmp  #$01                  ;a los 18ms
        bne  inicio1              ;
        inc  flag3
        bcc  time1
inicio1: rts

```

Capítulo 5

CONCLUSIONES

- Entre más sensores posea una plataforma más fácil podrá desenvolverse en su entorno de trabajo.
- El trabajo más difícil en un sensor es lograr que el ruido del medio sea totalmente suprimido.
- Se debe tener pleno conocimiento del microcontrolador que se emplea, para así desarrollar un trabajo óptimo entre este y los sensores, obteniendo como resultado final el funcionamiento pleno de la plataforma.
- El sensor de proximidad detectaría mejor los obstáculos si se contara con más sensores ultrasónicos, pero esto implicaría la necesidad de más puertos disponibles del microcontrolador.
- En el sensor seguidor de foco de luz se debe tener pleno conocimiento del nivel de iluminación del ambiente de trabajo, ya que este puede variar la sensibilidad del sensor.
- Dependiendo del material de la línea se debe realizar las respectivas calibraciones para que el sensor pueda generar las señales correspondientes cuando hay o no hay línea.
- Cuando se trabajan los puertos del microcontrolador como entradas es conveniente el uso de resistencias de PULL-UP, o PULL-DOWN, para que estos no se vean afectadas por ruido, garantizando un nivel lógico fijo.
- Para el microcontrolador es conveniente trabajar con osciladores que se encuentren dentro del rango especificado por el fabricante, ya que valores fuera de este pueden llevar al microcontrolador a un funcionamiento indeterminado o al no funcionamiento de este.
- La entrada del pulso de excitación de los servos es muy sensible al ruido por lo cual se debe tener especial cuidado a la hora del funcionamiento de la plataforma ya que se podría tener movimientos indeseados en los motores.
- Si el móvil realiza giros pequeños se puede trabajar con cuatro ruedas las dos de atrás corresponden a los servos, si los ángulos son muy agudos se aconseja trabajar con las dos ruedas traseras correspondientes a los servos y una rueda loca ubicada en la parte delantera.

- Con este proyecto se da a conocer que la robótica puede ayudar al mejoramiento del rendimiento de procesos industriales ya que tiene gran participación en desarrollo de actividades repetitivas en las cuales el ambiente de trabajo es conocido, funciones que no se pueden lograr fácilmente por seres humanos, o donde el riesgo pueda ser inminente, logrando que el nivel de riesgo para la persona disminuya, y también permitiendo que los objetivos de la empresa se desarrolle correctamente.

Capítulo 6

DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

6.1 SENSOR SEGUIDOR DE LÍNEA

Dificultades presentadas durante el desarrollo:

- La calibración, es una de las principales dificultades ya que los sensores laterales se deben ajustar de tal forma que se encuentren detectando en una superficie que refleje luz, en este caso de color blanco.
- A la hora de la ubicación de los sensores en la plataforma. todo esto debido a la disposición que se debe mantener con los tres sensores, el sensor central presenta detección a una escasa altura y esto se dificulta a la hora del desplazamiento de la plataforma.
- Debido al ángulo de las curvas que se encuentran durante su recorrido. El principal problema se presenta cuando las curvas sobrepasan ángulos de 90° , todo esto se debe por la distancia que hay de los servomotores ubicados en la parte trasera de la plataforma, y el eje ubicado en la parte delantera, las llantas delanteras presenta oposición al giro y mas cuando el giro sobrepasa estos ángulos.

Solución a las dificultades presentadas:

- En un comienzo se decide calibrarlos de tal forma que los sensores laterales detecten en una superficie que no refleje demasiado pero que no sea de color negro, y así es a la hora de colocarlo sobre una superficie de color negro no refleja de igual manera el sensor ubicado en el centro, así se puede establecer la calibración de los sensores, lo suficiente para el desarrollo del proyecto.
- Para la ubicación de los sensores se debe tener en cuenta lo siguiente, la disposición principal es en forma de triangulo ya que dependiendo la dirección de la curva detecta ya sea el sensor del centro o los laterales, se deben ubicar los sensores en forma triangular para que en las curvas donde no detecta el sensor central el sensor lateral izquierdo o derecho si lo hagan, y esto permite que la plataforma tome el rumbo indicado que en este caso sería seguir una línea de color blanco.

- Para los ángulos de 90° se realizaron varias pruebas reubicando llantas delanteras una posición atrás a la anterior y ubicando el conjunto de sensores delante de estos y mediante el software hacer que la plataforma realice giros pequeños de acuerdo a la señal obtenida por estos con estos ajustes la plataforma sigue la trayectoria sin ningún problema.

Un problema no especificado anteriormente es el cableado de los servomotores, estos presentaban dificultad a la hora de hacer las pruebas pertinentes de los sensores para observar su perfecto funcionamiento, ya que las señales enviadas a los servos para su desarrollo no eran fiables debido al estado de dichos cables. Para solucionar este problema se hizo total reestructuración del cableado para poder realizar todas las pruebas y así poder llegar a las diferentes conclusiones y resultados.

6.2 SENSOR SEGUIDOR DE LUZ

Problemas durante el desarrollo:

- De igual manera como en el sensor seguidor de línea, la calibración de los sensores es uno de los principales inconvenientes, debido a que el sensor esta compuesto por tres fotorresistencias y se debe calibrar cada una por separado.
- Determinar la distancia en la cual los sensores detectaran luz. Entre que rango detectara y cuando no lo hará.

Solución a los problemas presentados:

- El diseño de un comparador de ventana en el circuito le permite determinar el rango en el cual la plataforma funcionará adecuadamente eso quiere decir entre que rango detectar luz y cuando no lo hará, también con este comparador de ventana se establece una adecuada calibración de las tres fotorresistencias. el diseño una tapa de color negro con tres orificios en la parte delantera de tal forma que allí se ubicaran las fotorresistencias a una determinada profundidad sirviendo como filtro a la luz del medio.

6.3 SENSOR DE PROXIMIDAD

Dificultades presentadas durante el proceso:

- La primera dificultad se presento con el timmer del microcontrolador ya que este solo posee dos y estos están siendo utilizados por los servomotores, haciendo que la medición del pulso del sensor de ultrasonido fuese más complejo.

- El puerto C estaba siendo utilizado para generar un pulso de excitación al SFR04, pero este no estaba produciendo dicho pulso.
- La plataforma colisionaba debido a que su giro depende de distancias menores a 30cm, y a medida que gira la distancia va incrementando y esto hace que la plataforma se salga del rango de giro y avance hacia adelante cuando aun debería estar girando. Y esto es lo que ocasiona la colisión.
- Los obstáculos bajos a la plataforma son imposibles de detectar por el sensor.

Solución a los problemas presentados:

- Se desarrollo el software de tal manera que cuando el sensor mandara el pulso se incrementar una variable del modo que sea proporcional a la distancia en la que se encuentran los objetos detectados por este.
- El pulso de excitación se genera ahora por un pin del puerto A, el pulso es realizado satisfactoriamente.
- Dentro del software se desarrollo un retardo que permite garantizar un giro aproximado de 90° al momento de detectar el obstáculo, y después de dicho giro comienza la lectura nuevamente de distancias.
- Se suprime un poco la detección de obstáculos bajos ubicando el sensor también en una posición baja.

Capítulo 7

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Díaz, “Navegación visual del robot pioneer,” Master’s thesis, Universidad Rey Juan Carlos, 2005.
- [2] E. Akbas and M. Esin, “A simulational comparison of intelligent control algorithms on a direct drive manipulator,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 49, no. 49, 2004.
- [3] V. F. Muñoz, “Planificación de trayectorias para robots móviles,” Ph.D. dissertation, Universidad de Malaga, 1995.
- [4] J. Baxter and J. Bumby, “Fuzzy logic guidance and obstacle avoidance algorithms for autonomous vehicle control,” 1993, Workshop on Intelligent Autonomous Vehicles.
- [5] Álvaro Arranz and S. Bronte, “Aplicaciones de robots móviles,” 2006, Diseño de Microrobots Móviles. Universidad de Alcalá.
- [6] P. Uribe and L. Jouffe, “Fuzzy controller for wall following with a non holonomous mobile robot,” 1999, Departamento de Inteligencia Artificial.
- [7] R. Barber, “Desarrollo de una arquitectura para robots móviles autónomos. Aplicación a un sistema de navegación topológica,” Ph.D. dissertation, Universidad Carlos III de Madrid, 2000.
- [8] iamarchi Frederic, Robots móviles estudio y construcción
- [9] Ríos G, Luís Hernando; Caldas M, Jaime Alfonso; Lenis Naranjo, Margarita Maria; Rodas Castañeda, Jhon Jairo. DISEÑO DE UNA PLATAFORMA MÓVIL CON ARQUITECTURA REACTIVA. Pereira. 2003. Trabajo presentado para optar por el Título de Ingeniero Electricista.193 Páginas. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- [10] http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm
- [11] M. Z. Humberto Martínez and A. Gómez, “Navigation of a mobile robot with fuzzy segments,” 2001, Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones. Universidad de Murcia.
- [12] <http://www.monografias.com/trabajos12/microco/microco.shtml>
- [13] <http://www.iit.upcomillas.es/~alvaro/teaching/Clases/Robots/teoria/Sensores%20y%20actuadores.pdf>
- [14] http://www.yoreparo.com/foros/files/motorolla_parte1.pdf
- [15] <http://pdf.rincondelvago.com/microcontroladores.html> Microcontroladores Automatas. Altair. Intel. Microchip. EPROM (Electrically Programmable Read Only Memory). Ibercomp
- [16] <http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/hc08/hc908gp32.htm>
- [17] <http://www.lynxmotion.com/images/data/tra.pdf>
- [18] http://www.uhu.es/antonio_peregrin/iaic_abierto/SRF04.PDF
- [19] Maximiliano Bueno López, Implementación de Esquemas de Navegación para Robots Móviles Utilizando Técnicas de Inteligencia Artificial, 2008, Maestría en Ingeniería Eléctrica, Grupo de Investigación en Robótica y Percepción Sensorial girops
- [20] M. Díaz, “Algoritmos de construcción de mapas para la navegación de robots basada en información procedente de sensores de ultrasonido,” 2001, Universidad Politécnica de Valencia.

[21] <http://www.msebilbao.com/notas/downloads/Manual%20BasicStamp%20V1.1%20en%20castellano.pdf>