

Capítulo 5

Sensores de proximidad y de obstáculos

Los sensores son los elementos más críticos en el desempeño del robot, pues representan la retroalimentación que le indicarán a al microcontrolador si las comandos del algoritmo de control se han efectuado correctamente y en caso de que no sea así realicen las correcciones necesarias para que el desempeño total del robot sea el adecuado.

Los sensores deben de satisfacer una serie de características que los hagan aptos para esta aplicación, deben ser exactos representando fielmente la magnitud que se les ha encomendado medir. El correcto diseño y selección harán que el robot se capaz de transferir efectivamente los comandos del software al comportamiento por medio de la planeación de movimientos y la navegación.

Dentro de la enorme cantidad de sensores que existen para las diferentes aplicaciones hay tres tipos que son especialmente aptos para la implementación en robots de laberinto, estos son los sensores infrarrojos, los sensores ultrasónicos y los sensores de luz o LDR, a continuación se hará un análisis cada uno de estos, mencionado las ventajas y desventajas; se presentan también algunos circuitos electrónicos que se adecuan al robot de laberinto, para finalmente decidir implementar los sensores que tengan el mejor desempeño [26].

5.1 Sensores infrarrojos

Los sensores infrarrojos son dispositivos que cambian su estado electrónico al incidir parte del espectro electromagnético comprendido entre lo que se conoce como radiación infrarroja, se puede decir que son elementos que cambian su estado de conducción eléctrica dependiendo de la intensidad de radiación infrarroja que incida sobre el dispositivo.

Los rayos infrarrojos entran dentro del fototransistor donde encontramos un material semiconductor, normalmente formando una lámina delgada dentro del nitrato de galio (GaN), nitrato de Cesio (CsNO₃), derivados de la fenilpirazina, y ftalocianina de cobalto[27].

La forma en que se le suele aplicar a la detección de obstáculos o para la medición de distancias es lanzando un rayo infrarrojo el cual es reflejado por los objetos en los que incide, posteriormente se mide la cantidad de luz que es reflejada con lo que se puede

tener una estimación de las distancia a la que se encuentra el objeto, se tienen un emisor y un receptor, que se les llama fotodiodo y fototransistor.



Figura 5.1 Fotodiodo y fototransistor comunes

5.1.1 Sensores reflectivos

Este tipo de sensor presenta una cara frontal en la que encontramos tanto al fotodiodo como al fototransistor. El fototransistor conduce en función de la luz infrarroja emitida por el fotodiodo que se refleja en la superficie.

Se tiene que tener presente que esta configuración es sensible a la luz del ambiente, afectando las medidas y que pueden dar lugar a errores por lo que es necesario la incorporación de circuitos de filtrado o que trabajen en ambientes de luz controlada. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de reflectividad del objeto, el funcionamiento del sensor será diferente según el tipo de superficie.

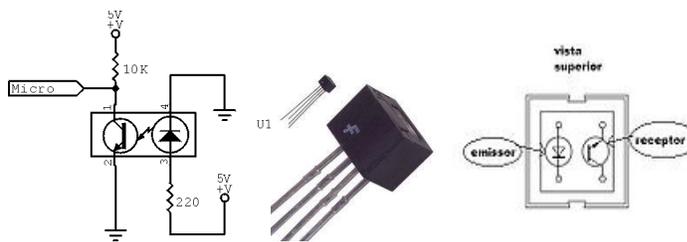


Figura 5.2 Sensor reflexivo QRD1114

5.1.2 Sensores de ranura (Sensor Break-Beam)

Este tipo de sensor sigue el mismo principio de funcionamiento que los sensores reflectivos pero la configuración de los componentes es diferente, ambos elementos se encuentran enfrentados a la misma altura. Este tipo se utiliza típicamente para control industrial. Otra aplicación podría ser el control de las vueltas de una rueda de robot.

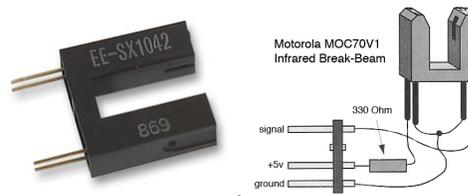


Figura 5.3 Sensores de ranura

5.1.3 Sensores modulados

Basado en el sensor reflectivo pero utilizando la emisión de una señal modulada, reduce los efectos no deseables de la influencia de la iluminación ambiental [28]. Son sensores orientados a la detección de presencia, medición de distancias y detección de obstáculos.

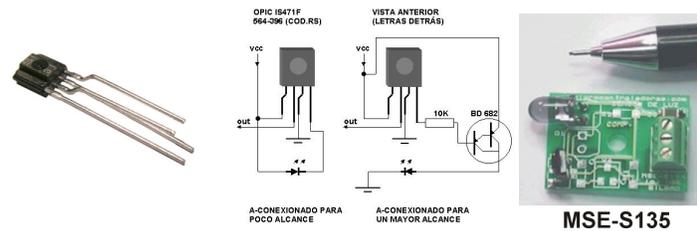


Figura 5.4 Sensor modulado IS471F

5.1.4 Ventajas de los sensores infrarrojos

Los sensores infrarrojos son rápidos, de reducido peso, pueden tener suficiente alcance que los hace apropiados para la aplicación en robots de laberinto, el control se puede realizar sin demasiados componentes electrónicos o directamente mediante los periféricos que incorporan los microcontroladores, se consiguen fácilmente y son económicos.

Su reducido peso y dimensiones facilitan el diseño de los dispositivos electrónicos que los contienen.

5.1.5 Desventajas de los sensores infrarrojos.

Los sensores infrarrojos presentan importantes interferencias de elementos externos, especialmente la iluminación de la habitación en donde se desempeñe el robot, esto hace necesario agregar elementos de control y adaptación de señales.

Sin embargo existen en el mercado algunos sensores que implementan todos los elementos de control que permiten la fácil obtención de información sobre distancias o presencia de obstáculos.

Algunos sensores comerciales son difíciles de conseguir en México, además de que resultan muy costosos. Por ejemplo los sensores SHARP de la serie GP solo son comercializados por algunas tiendas de robótica (Robodacta por ejemplo) y solo tienen en sus catálogos uno o dos modelos que no cumplen con las características de rango para la aplicación del robot de laberinto.

5.2 Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos emplean el fenómeno de la piezoelectricidad, esto es, cuando se deforman algunos materiales sólidos generan dentro de ellos una carga eléctrica. Este efecto es reversible, si se aplica una carga, el material se deformará mecánicamente como respuesta. Se aplican en los sistemas sonar para la detección acústica, detección de objetos bajo el agua, en equipos ultrasónicos de pruebas industriales, robots que necesitan detectar obstáculos cuando tienen que navegar por un entorno complejo y otras aplicaciones.

Si al transductor piezoeléctrico de un sensor ultrasónico, se le aplica en sus extremos (electrodos) un voltaje, el cristal sufre cambios de presión en sí mismo y en el medio que lo rodea (el aire es el medio en el que se trabaja), y viceversa, al ser sometido el cristal a un cambio de presión aparecen cargas eléctricas en sus extremos, donde se crea una diferencia de potencial. Por lo que este tipo de transductor puede funcionar como emisor o receptor ultrasónico, este receptor está diseñado para responder ante una determinada vibración, la que es producida por el elemento emisor, así se logra tener una gran inmunidad ante las interferencias del medio ambiente, posteriormente se tienen los elementos de control que están constituidos por filtros, amplificadores y comparadores, aunque algunos sensores pueden tener procesamiento digital de señales lo que mejora las características y la calidad de la medición [29].

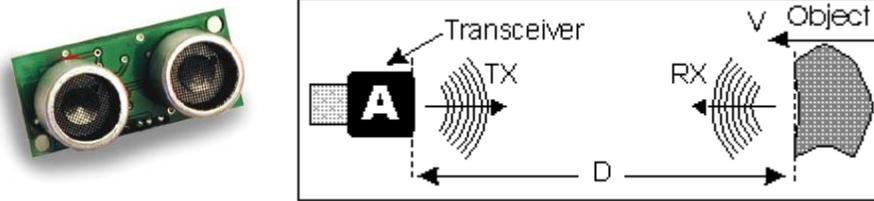


Figura 5.5 Sensor de distancia ultrasónico

5.2.1 Ventajas y desventajas de los sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos resultan adecuados donde los sensores infrarrojos o de luz fallan, por ejemplo detectando objetos que tienen superficies altamente reflectantes o paredes con espejos.

Por otro lado debido a las características físicas de las señales ultrasónicas estas no pueden aplicarse a medir distancias menores a 10 centímetros lo que las hace imprácticas para la aplicación donde las dimensiones de los robots y de la de pista son del orden de 2 centímetros aproximadamente, como es el caso del robot objeto de esta tesis.

Por otra parte los sensores ultrasónicos requieren de complicados y sofisticados sistemas de control para poder medir efectivamente las distancias, aunque afortunadamente existen módulos comerciales que tienen todos los elementos en un reducido espacio, pero el costo de estos sensores es muy alto.

Por ejemplo los sensores LV-EZx que se venden en algunos establecimientos especializados en robótica tienen un costo de 600 pesos aproximadamente, mientras que un robot de laberinto requiere seis de estos sensores.

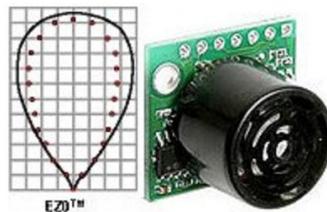


Figura 5.6 Sensor comercial Maxbotix LV-EZ3

5.3 Sensores de luz

Los detectores de luz son dispositivos que cambian su resistividad eléctrica en función de la cantidad de luz que incide sobre ellos, por lo que también se les llama LDR (Light Dependent Resistor) o resistencia variables con la luz, fotocelda, fotorresistencia o bien fotorresistor.



Figura 5.7 Sensores LDR que varían su resistencia en función de la luz que les incide

Un fotorresistor está hecho de un semiconductor de alta resistencia eléctrica como el sulfuro de cadmio (CdS). Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por las propiedades del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta, y su hueco asociado, conducen la electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia. Los valores típicos varían entre $1\text{ M}\Omega$, o más, en la oscuridad y $100\ \Omega$ con luz brillante.

Las células de sulfuro del cadmio se basan en la capacidad del cadmio de variar su resistencia según la cantidad de luz que incide la célula. Cuanta más luz incide, más baja es la resistencia. Las células son también capaces de reaccionar a una amplia gama de frecuencias, incluyendo infrarrojo (IR), luz visible, y ultravioleta (UV).

La variación del valor de la resistencia tiene cierto retardo, diferente si se pasa de oscuro a iluminado o de iluminado a oscuro. Esto limita a no usar los LDR en aplicaciones en las que la señal luminosa varía con rapidez. El tiempo de respuesta típico de un LDR está en el orden de una décima de segundo. Esta lentitud da ventaja en algunas aplicaciones, ya que se filtran variaciones rápidas de iluminación que podrían hacer inestable un sensor (por ejemplo en un tubo fluorescente alimentado por corriente alterna) [30].

Se fabrican en diversos tipos y pueden encontrarse en muchos artículos de consumo, como por ejemplo en cámaras, medidores de luz, relojes con radio, alarmas de seguridad o sistemas de encendido y apagado del alumbrado de calles y por supuesto en algunos sensores para robótica.

También se fabrican fotoconductores que funcionan dentro de la gama más baja radiación infrarroja.

Un circuito de aplicación es el siguiente. El circuito consta de un divisor de tensión formado por la LDR, una resistencia y un disparador *trigger schmitt* inversor modelo 74F14. Como la LDR varía función de la luz, la señal de salida del divisor también lo hará y cuando pase el umbral de disparo del *trigger schmitt* este cambiara el estado de su salida según corresponda.

Los umbrales de disparo son de 0,9 y 1,7 voltios [31], esto quiere decir que cuando la señal en la entrada del disparador supere los 1,7 voltios se tomara como un 1 lógico en la entrada y la salida al ser inversa tomara el nivel lógico bajo o 0 voltios, si el voltaje de entrada baja por debajo de 0,9 voltios se tomara como un 0 lógico en la entrada con lo que la salida tomara un nivel lógico 1

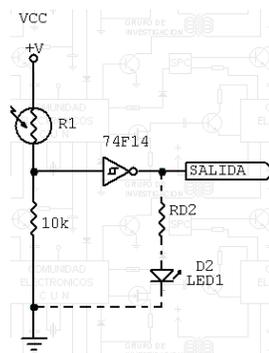


Figura 5.8 Sensor LDR y su acondicionador de señal

Los materiales que intervienen en su construcción son Sulfuro de Cadmio, utilizado como elemento sensible a las radiaciones visibles y sulfuro de plomo se emplean en las LDR que trabajan en el margen de las radiaciones infrarrojas. Estos materiales se colocan en encapsulados de vidrio o resina.

5.3.1 Ventajas y desventajas de los sensores de luz

Estos sensores son de reducido peso y fáciles de aplicar a circuitos de medición de distancias y pueden adquirirse a precios bajos en casi todas las tiendas de electrónica, pero presentan interferencias debidas a factores como la luz solar, luz proveniente de fuentes artificiales que provoca que los sensores den lecturas erróneas.

5.4 Sensores seleccionados

Tomando en cuenta las características eléctricas, costos, circuitos de aplicación de los sensores presentados anteriormente se puede considerar que se tendrán que implementar mediante emisores y receptores de luz infrarrojos con los elementos electrónicos adicionales que den una señal representativa de la distancia a la que se encuentran las paredes del laberinto al robot. Estos sensores ya se han empleado en otros robots y han demostrado ser adecuados para la aplicación de robots de laberinto.

Los sensores están basados en una configuración que es ampliamente utilizada para este tipo de robots, llamados *side looking sensors* que tienen las características de presentar alta inmunidad a la intensidad de la luz ambiental además de tener buena resolución y exactitud en las lecturas que devuelven.

Uno de los problemas que se presentan en los sensores de distancia por medio de luz infrarroja es que la lectura que devuelve el sensor suele depender del ángulo de incidencia sobre la superficie por lo que el valor de la distancia suele estar distorsionado en función de la orientación del robot en el laberinto, característica que no puede conocerse con certeza a menos que se tengan sensores de orientación o giroscopios, que agregan carga de procesamiento al sistema controlador y que no pueden adquirirse fácilmente.

Los sensores que se utilizan compensan esa situación y resultan relativamente inmunes a la dependencia de ángulo de incidencia.

El diagrama de los sensores se muestra en la figura 5.9.

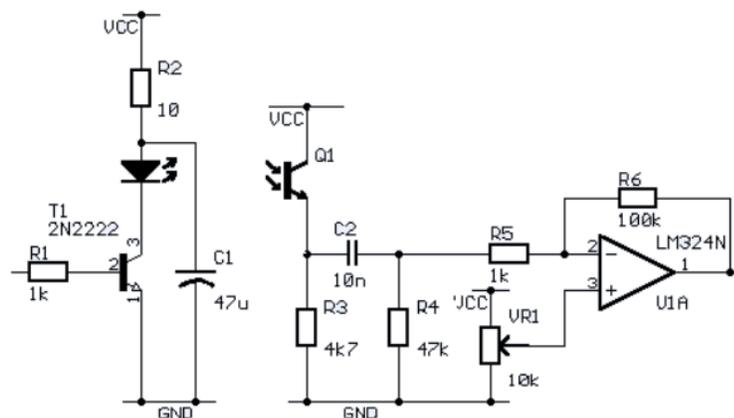


Figura 5.9 Sensores de distancia que se han empleado en el robot propuesto

El circuito de los sensores está compuesto por los siguientes elementos. Por el lado del emisor se tiene un diodo infrarrojo controlado por el transistor T1 que a su vez es

activado por un pin del microcontrolador a través de la resistencia R1, el capacitor C1 sirve para proveer la corriente eléctrica cuando el transistor pone en modo de conducción al diodo, logrando mayor luminosidad, además reduce el efecto instantáneo de la carga sobre los demás componentes electrónicos conectados a la misma línea de alimentación que se reflejan en una súbita e instantánea caída en la tensión, la resistencia limita la corriente de carga de capacitor C1, también reduce la corriente que fluye a través del diodo cuando por alguna causa fuera del funcionamiento previsto, el transistor T1 queda permanentemente en estado de conducción.

El fototransistor Q1 recibe la luz infrarroja reflejada, se comporta como un semiconductor que varía su resistencia en función de la luz que le incide y en conjunto con la resistencia R3 forman un divisor de tensión, luego se coloca el capacitor C2 que es insensible a esta tensión por ser un voltaje constante y que depende de la condiciones de luminosidad ambientales, este capacitor en conjunto con la resistencia R4 forman un filtro paso alto que permite el paso de las variaciones de tensión producidas por la luz incidente en el fototransistor y *contenida* en la amplitud de esta variación esta la distancia del objeto que refleja la luz, luego simplemente se coloca un amplificador inversor con una ganancia de 100 en el que se puede hacer variar el valor de la referencia de tensión mediante VR1. La salida del amplificador operacional se conecta directamente al uno de los canales de convertidor analógico digital del microcontrolador.

El modo de funcionamiento es el siguiente, para obtener la lectura del sensor correspondiente el algoritmo controlador envía una señal digital que activa el fotodiodo, luego espera 10 microsegundos, hace la lectura del canal analógico correspondiente, apaga al fotodiodo para evitar que se quemé y así se tiene un valor que representa la distancia a la que se encuentra el sensor correspondiente de la pared en la que incide.

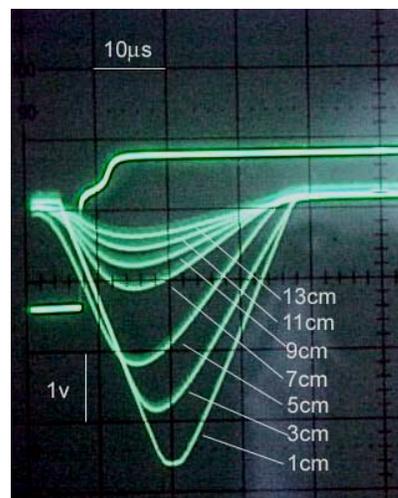


Figura 5.10 Imágenes en el osciloscopio de las señales leídas en los sensores

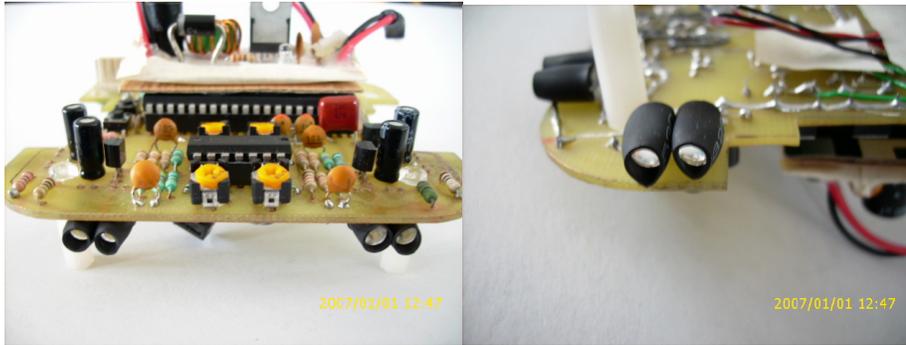


Figura 5.11 Imágenes de los sensores en el robot diseñado

De esta manera se tienen un valor que mediante operaciones aritméticas elementales representa linealmente la distancias del robot a la pares correspondiente o también se puede trabajar con umbrales de valores que determinen si el robot está dentro de un rango de distancias hacia la pared.