

SISTEMA DE DETECCIÓN COMBINADO PARA SENSORES ULTRASÓNICOS

Fernando Ferdeghini, Diego Brengi, Daniel Lupi

Centro de Investigación y Desarrollo en Electrónica e Informática (CITEI)
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
C.C. 157, (1650) San Martín, Buenos Aires, Argentina
TE: 4754-5151/55 - FAX: 4754-5194 - EMAIL: fgf@inti.gov.ar

Resumen: En este trabajo se presenta un sistema combinado de detección de eco ultrasónico para medición de distancias, que aúna las ventajas de dos circuitos detectores. Para grandes distancias es conveniente utilizar un detector por tonos, debido a que con este método no es necesario realizar un control de ganancia. En distancias menores dentro de la zona muerta del discriminador de tonos, se utiliza un detector por umbral optimizado para trabajar en el área más próxima al receptor. Se obtiene así un circuito simple y de bajo costo, cuya utilización está orientada a vehículos autoguiados como soporte para niños discapacitados.

Palabras claves: ultrasonido, sensores, pulso eco, robótica .

COMBINED DETECTION SYSTEM FOR ULTRASONIC SENSORS

Abstract: A combined ultrasonic echo detection ranging system is presented in this paper. This combined ranging system obtains features of two different echo detection methods. A tone detector is used in long distances, achieving no need of a gain control. In shorter distances, inside the dead zone of the tone detector, a threshold echo detector optimized to work in the nearest zone of the receptor, is implemented. A simple and low cost circuit is obtained, planning its use on self-guided vehicles for handicapped children support.

Keywords: ultrasonic, sensors, pulse-echo, robotics.

1. INTRODUCCIÓN

La navegación autónoma ha sido, y es, un campo de investigación muy activo en las últimas décadas, con importantes avances que han permitido la integración de robots móviles en plantas industriales y otros ámbitos. Actualmente, para propósitos educativos, se trabaja en la asistencia a la movilidad de niños que tienen disminuidas sus habilidades motrices, de percepción o cognitivas para controlar un móvil común.

Este ámbito presenta un campo de aplicaciones sin duda novedoso para los llamados vehículos autoguiados. Desafortunadamente, lo poco estructurado del ambiente y la presencia de seres humanos en el área de trabajo del vehículo, tanto

psicopedagogos como pacientes, hace crítico el proceso de detección de obstáculos y medición de distancias.

La utilización de ultrasonido es ya clásica en estas aplicaciones, pero sus limitaciones de alcance máximo y mínimo hacen que siempre se deba recurrir a otros tipos de sensores para completar el rango de medición. Debido a que estas limitaciones provienen en gran parte del método empleado para realizar la detección de la señal de eco, se estudió la forma de optimizar la detección para ampliar el alcance del sistema.

El cálculo de la distancia a un obstáculo se determina midiendo el tiempo de vuelo de las onda

de ultrasonido entre el par receptor-transmisor y el objeto.

Un sistema de medición tradicional consta de los siguientes elementos: uno o más transductores que cumplen funciones de emisión y recepción de las ondas ultrasónicas; una etapa que amplifica y filtra la señal del receptor; un circuito detector de nivel basado en un comparador de tensión; una etapa que amplifica la señal de disparo y excita al transmisor; y por último una lógica de control y medición que se encarga de generar la señal de disparo y de procesar la información de tiempo de vuelo (Abreu, 1990).

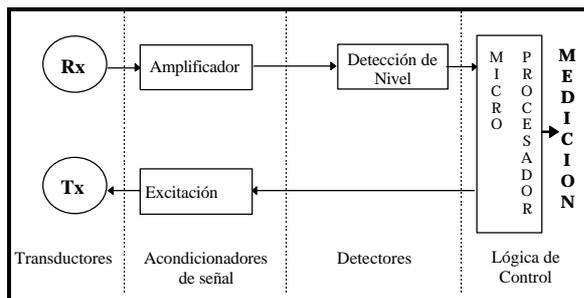


Fig. 1: Esquema de un sistema tradicional de emisión y recepción de ultrasonido.

El principal problema de este método es que al fijar un nivel de detección adecuado para distancias relativamente pequeñas, no se distinguen los ecos que corresponden a distancias mayores. Si en cambio se fija el umbral para detectar obstáculos a grandes distancias, el ruido presente puede conducir a falsas detecciones.

Una solución estriba en realizar un control de ganancia, aumentando la amplificación del receptor a medida que aumenta la distancia al objeto, manteniendo constante el umbral de detección.

Otra variante consiste en ir disminuyendo el umbral de detección a medida que aumenta la distancia al objeto. En ambos casos es necesario agregar una lógica de control adicional y circuitos de ganancia variable o umbral variable (Calderon, 1989).

2. SISTEMA ALTERNATIVO COMBINADO

Por último y gracias a que tanto la señal de ultrasonido transmitida como la recibida poseen una frecuencia fija, determinada por las características propias de los transductores ultrasónicos, también resulta posible discriminar el eco en base a su frecuencia, lo que en principio lo independiza de la atenuación.

La alternativa presentada aquí, aprovecha las ventajas de los métodos de detección por nivel y por tono en forma combinada.

El sistema receptor está formado por tres bloques principales según su función: amplificación, detección por umbral, y detección de tonos.

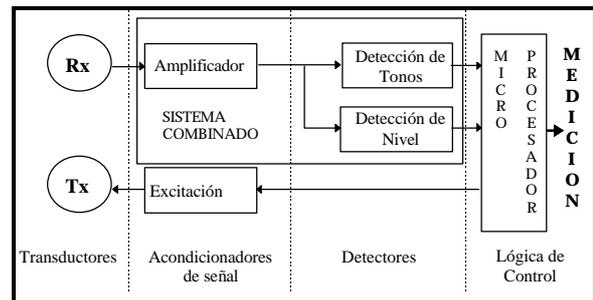


Fig. 2: Esquema del sistema combinado.

El circuito de excitación o de disparo cumple la función de elevar la tensión desde valores TTL del microprocesador hasta la tensión máxima de trabajo del transmisor de ultrasonido. De esta forma se obtiene una mayor transmisión de energía al medio, lo que mejora la relación señal ruido en el receptor ultrasónico, y disminuye la ganancia necesaria en la etapa receptora.

La señal proveniente del receptor, una vez amplificada, ingresa al circuito de detección de tonos y al de nivel, los que procesan en paralelo la información, obteniendo a la salida de cada bloque una señal digital que cambia de estado en el momento de la detección. Finalmente el microprocesador efectúa la lectura e interpretación de estos datos.

A continuación se analizan en detalle los principales bloques funcionales del sistema implementado.

3. DETECTOR DE TONOS

Este módulo está compuesto básicamente por un circuito integrado detector de tonos LM567, y un limitador de tensión. El LM567 posee internamente un PLL (Phase Locked Loop) y un detector de fase en cuadratura el cual responde con un nivel lógico bajo cuando la señal de entrada al integrado coincide con la frecuencia central de enganche del PLL.

La frecuencia central de detección se ajustó a 40kHz, debido a que se utilizaron sensores ultrasónicos MuRata modelo MA40S2 cuya frecuencia nominal se corresponde con este valor.

En la figura 3 puede observarse la respuesta del circuito detector de tonos cuando se le inyecta una señal de tipo ráfaga de 40kHz a través de un generador.

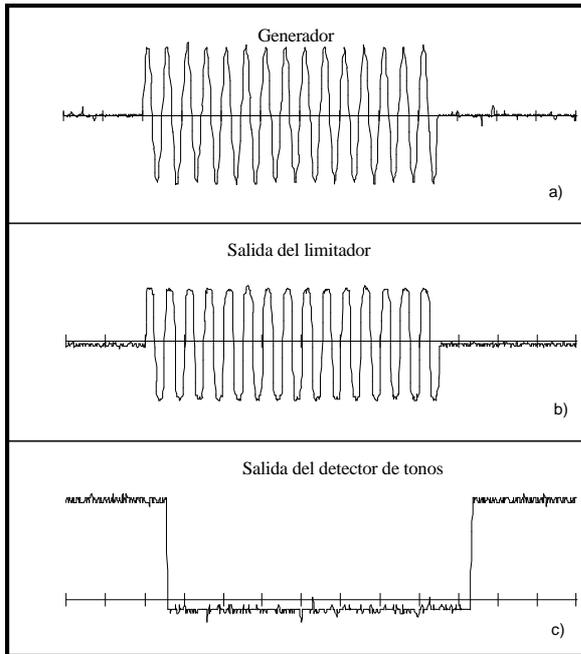


Fig. 3: Formas de onda presentes en el circuito. a) señal de prueba inyectada al detector. b) salida del limitador. c) salida del detector de tonos.

Para optimizar la detección, se ajustan los parámetros que mejoran los tiempos de respuesta, la selectividad y la sensibilidad del detector de frecuencia.

Debido a que el funcionamiento del circuito integrado es independiente del nivel de la señal en un rango muy pequeño, se agregó un circuito limitador de tensión que evita la saturación frente a señales de eco muy intensas. El circuito así implementado permite obtener un amplio rango de detección manteniendo constante la ganancia.

La superposición de lóbulos de emisión y recepción y la vinculación mecánica entre emisor/receptor producen la aparición de una señal ultrasónica en el receptor, provocando una zona en la cual el detector de tonos no puede diferenciar entre esta señal y el eco. A este intervalo de no detección se lo denomina zona muerta, teniendo una extensión equivalente a 15cm para el presente sistema.

En las figuras 4 y 5 se presentan las señales medidas sobre el detector de tonos cuando se coloca un obstáculo de referencia a 34cm y a 160cm de distancia respectivamente.

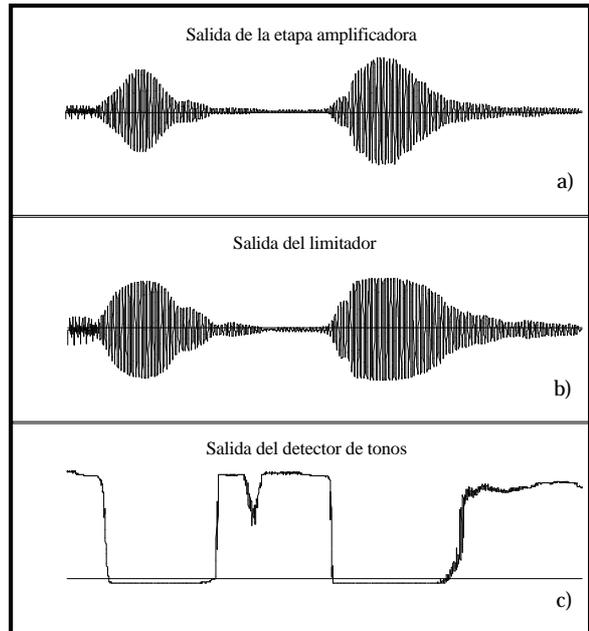


Fig. 4: Señales obtenidas en el circuito detector de tonos para un obstáculo de referencia colocado a 34cm. a) señal de entrada, b) salida del limitador, c) respuesta del detector de tonos.

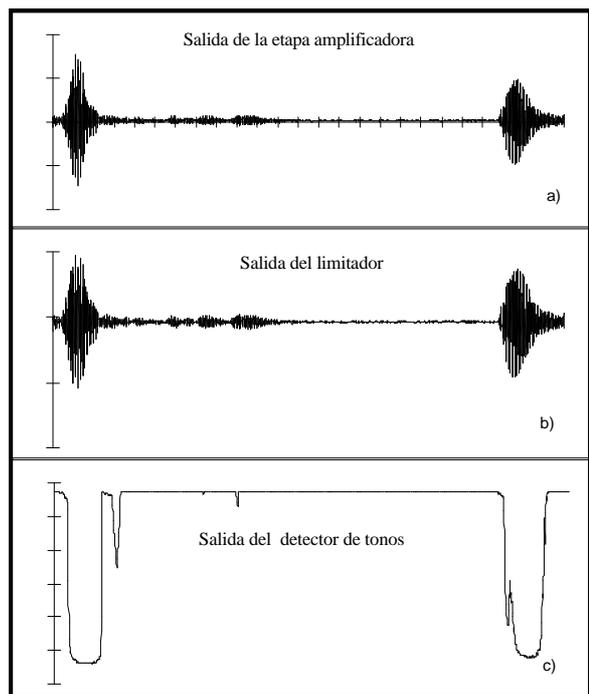


Fig. 5: Señales obtenidas en el circuito detector de tonos para un obstáculo de referencia colocado a 160cm. a) señal de entrada, b) salida del limitador, c) respuesta del detector de tonos.

4. DETECTOR DE NIVEL

Debido a las características del entorno propias de la utilización del vehículo, ya mencionadas anteriormente, se hace necesario detectar objetos a distancias menores a 15cm, para lo cual se combina la detección por frecuencia con la detección por nivel.

5. LÓGICA DE CONTROL Y MEDICIÓN

La lógica de control y medición excita al transmisor y mide el tiempo transcurrido hasta la recepción del eco, seleccionando en forma dinámica el tipo de detección adecuada.

Se detallan a continuación los pasos que realiza la lógica de control para lograr una medición de distancia. En primer lugar, genera un pulso de disparo que excita al transmisor de ultrasonido. En forma simultánea inicializa un cronómetro que será utilizado para obtener el tiempo de vuelo de la señal de ultrasonido. Durante el intervalo de tiempo correspondiente a la zona muerta del detector de tonos, la lógica de control lee solamente la información suministrada por el detector de nivel. Transcurrido este intervalo, sólo toma en cuenta la información del detector de frecuencia. En caso de no recibir ningún eco, y expirado el tiempo máximo (o distancia máxima de detección), el control reinicia la medición, informando previamente la ausencia de obstáculo. En el momento en que se detecta un eco (por nivel o por tonos), se lee el valor actual del cronómetro, calculando la distancia al objeto detectado (X) mediante la ecuación (1)

$$2 \cdot X = v \cdot t \quad (1)$$

donde (v) es la velocidad del sonido y (t) es la suma de los tiempos de vuelo de la señal ultrasónica, desde el transmisor al objeto y del objeto al receptor.

Para la implementación de la lógica de control se utilizó un PIC16C73 por ser éste un microcontrolador de reducido tamaño, bajo costo y gran versatilidad.

6. MEDICIONES

6.1. Sistema de Medición.

Para poder contrastar el método alternativo de medición se utilizó un banco de ensayo como el de la figura 8, el cual consta de un riel calibrado con una indeterminación de $\pm 1\text{mm}$.

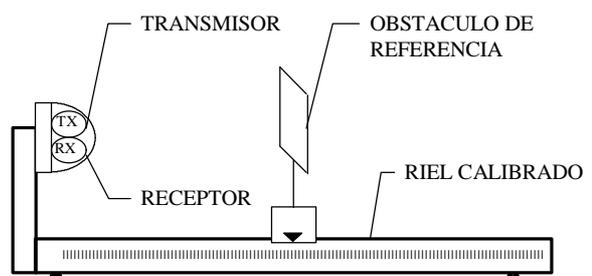


Fig. 8: Banco de ensayo utilizado.

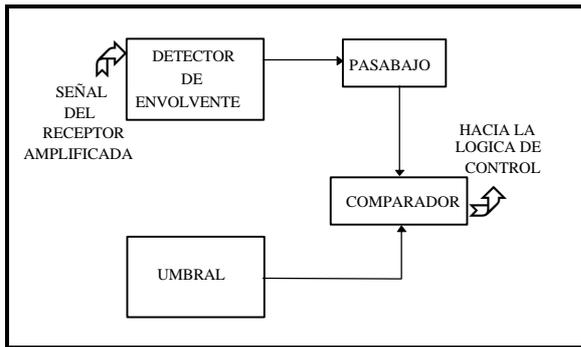


Fig. 6: Diagrama en bloques del detector de nivel.

En la figura 6 se ilustra el diagrama en bloques del subsistema de detección por nivel. La señal del receptor ya amplificada pasa a través de un detector de envolvente y un filtro pasabajos. Luego se realiza la comparación entre la señal obtenida y un umbral de valor fijo. Se calibró el nivel de umbral para que en ausencia de obstáculos la salida del comparador permanezca en nivel bajo. Cuando debido a un eco la amplitud de la señal de ultrasonido supere el valor de umbral, a la salida del comparador se obtendrá un nivel lógico alto.

En la figura 7 se muestran las señales obtenidas del circuito cuando se coloca un obstáculo de referencia dentro de los 15cm correspondientes a la zona muerta del detector de tonos.

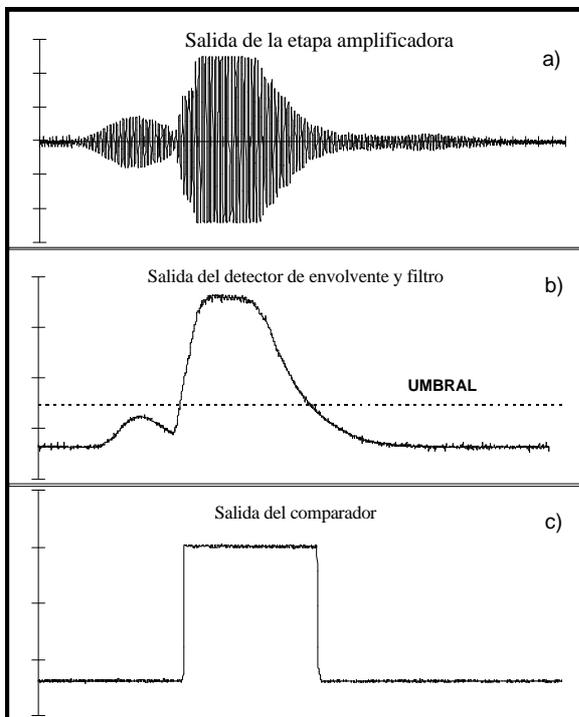


Fig. 7: Señales obtenidas en el circuito detector de nivel. a) señal de entrada b) salida del detector de envolvente y filtro c) salida del comparador.

Como obstáculo de referencia se utilizó una placa metálica de 19x12.5cm, con superficie plana perpendicular a la trayectoria de la onda ultrasónica.

6.2. Medición por Umbral.

Variando la distancia entre el obstáculo de referencia y el conjunto de sensores desde 1mm hasta 17cm, zona útil del detector de nivel, en pasos de 1cm; se registró el tiempo de vuelo, y se calculó la distancia equivalente medida.

En la figura 9 se representa la curva de correlación entre la distancia medida y la verdadera, ésta última correspondiente a la indicada por el riel calibrado.

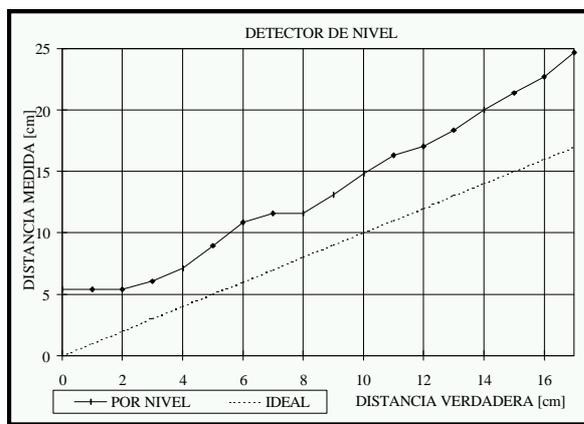


Fig. 9: Mediciones obtenidas con el módulo detector de nivel.

Para distancias menores a los 2cm, el sistema se comporta como un detector de presencia, no permitiendo conocer con exactitud la distancia al obstáculo, pero sí acotando el resultado de la medición en este entorno.

La diferencia observada entre la curva de correlación ideal y la medida se debe a que el momento en el que se considera la aparición del eco difiere del inicio del mismo dependiendo del nivel de umbral adoptado. En este caso se desea utilizar la detección por nivel para muy cortas distancias, es por eso que el nivel de umbral se debe seleccionar por encima del máximo nivel de tensión sentido durante la zona muerta, en ausencia de obstáculo. Este nivel seleccionado es relativamente alto y da lugar a un error en la medición, el cual se corrige restándole un valor fijo de 4.8cm al valor medido, de forma tal que la respuesta del detector se ajuste a la curva de correlación ideal.

6.3 Medición por tonos.

De igual modo que en el punto anterior se realiza la medición por tonos, registrando el tiempo de vuelo y calculando luego el valor equivalente de distancia medida.

Desde 15cm y hasta 32cm se utilizaron intervalos de 1cm, luego hasta 52cm, intervalos de 2cm, y finalmente hasta 1.24m, intervalos de 4cm.

El resultado de las mediciones se representa por medio de la curva de correlación entre el valor medido y el verdadero, graficada en la figura 10.

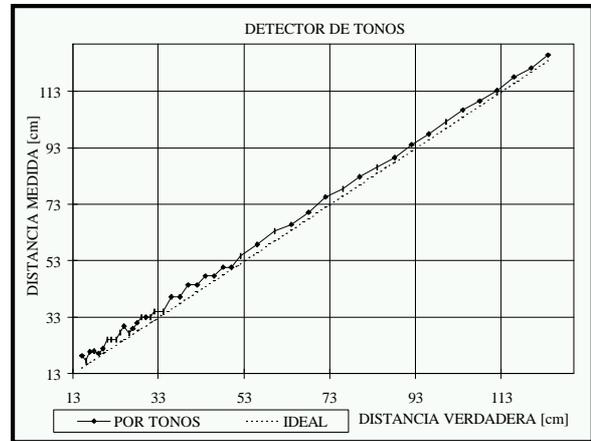


Fig. 10: Mediciones obtenidas con el módulo detector de tonos.

En la primera parte del gráfico y debido a que se midió con intervalos de 1cm, se hace notorio el error absoluto consecuencia del método de detección utilizado. El error es ocasionado por el tiempo de enganche propio del integrado detector de tonos. Dicho tiempo depende principalmente de la fase inicial con la cual la señal de ultrasonido ingresa al detector, y puede variar entre uno y diez ciclos de esta señal. El cálculo del error máximo de distancia se obtiene utilizando la ecuación 1, tomando como tiempo de vuelo el tiempo correspondiente a diez ciclos de la frecuencia de ultrasonido. Se admite de esta forma para el sistema detector de tonos un error máximo de 4.1cm, dada la imposibilidad de corregir el mismo.

6.4. Medición Combinada.

Corrigiendo la medición por nivel y superponiendo las curvas de correlación de ambos métodos, se obtiene la figura 11, que representa la curva de correlación del método combinado.

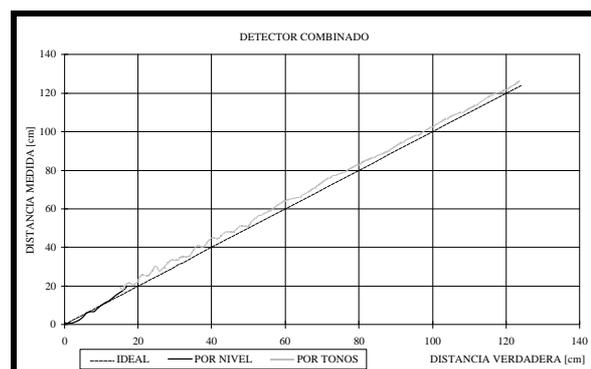


Fig. 11: Superposición de ambos métodos.

En base a este gráfico se deciden los valores de distancia en los que se mide por nivel, y aquellos en los que se mide por tonos. En este sistema se adopta una distancia de 16cm para conmutar entre los dos métodos de detección de eco.

Queda establecido de esta manera que la lógica de control y medición se encarga entre otras cosas de realizar la conmutación entre métodos de detección, como así también de aplicar el valor de corrección necesario en la detección por nivel.

7. CONCLUSIONES

La detección de obstáculos mediante la técnica de pulso eco de ondas ultrasónicas puede implementarse de distintas formas. Un método muy utilizado es la detección por umbral. La implementación de este sistema para medir grandes distancias presenta dificultades, que sólo pueden salvarse complicando la electrónica asociada.

Combinando la detección por umbral para cortas distancias con la de tonos para distancias mayores se logró un rango continuo de medición que, para el sistema presentado, cubre desde poco más de un centímetro hasta un metro y medio.

La lógica de control asociada al sistema es simple y no presenta grandes complicaciones, pudiéndose realizar con cualquier microprocesador o microcontrolador disponible.

Gracias a la utilización de multiplexores, el circuito utilizado posee capacidad para ocho sensores y ocho transmisores. El conjunto resultante, sin los sensores de ultrasonido, se ubica sobre un impreso de 10x8cm, y se alimenta con fuente de 12 Vcc. Estas características permiten montar varios sensores sobre un vehículo de pequeñas dimensiones.

Además de su bajo costo y reducido tamaño, los circuitos electrónicos son muy sencillos y fáciles de implementar, facilitando así su utilización en una gran cantidad de aplicaciones.

8. REFERENCIAS

Abreu José Miguel Martín. "Análisis de señales ultrasónicas para la definición de entornos en el campo de la robótica". Memoria presentada para optar al grado de doctor. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Electrónica. Madrid, España. 1990.

Calderón Leopoldo Estévez. "Sensor ultrasónico adaptativo de medidas de distancias. Aplicación en el campo de la robótica". Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Informática y Automática. Madrid, España. 1989.

9. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Instituto de Automática Industrial I.A.I. Madrid, España, por sus valiosos aportes.