

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
ULTRASÓNICO DE AYUDA PARA PARQUEO DE  
VEHÍCULOS**

**David Fernando Carrera Gavilanes**

**QUITO – ECUADOR  
2005**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto “Diseño e implementación de un sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos”, fue desarrollado en su totalidad por el señor David Fernando Carrera Gavilanes, bajo nuestra dirección.

Atentamente,

Ing. Hugo Ortiz  
DIRECTOR

Ing. Víctor Proaño  
CODIRECTOR

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional brindado a lo largo de toda mi vida.

Agradezco al director y codirector por su ayuda y paciencia durante el desarrollo del presente proyecto.

Agradezco a mis maestros por el conocimiento y sabiduría entregada.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su cariño, confianza, apoyo incondicional, respeto y ejemplo que han sido los pilares fundamentales en mi formación como ser humano y profesional.

## PRÓLOGO

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos ya ha sido implementado en vehículos de lujo como BMW, Mercedes Benz, etc, con costos muy elevados. Con este proyecto se pretende reducir los costos del sistema e implementarlo a todo tipo de vehículos. Debido a la escasez de espacios de parqueo y la reducción considerable del tamaño de los mismos, se observa la necesidad de un sistema ultrasónico para parqueo de vehículos que ayude a minimizar las distancias entre un vehículo y otro, y permita estacionar de manera más rápida y eficiente. Existen sistemas láser para parqueo, estos son muy costosos y utilizados especialmente en la aviación, también hay sistemas de ayuda para parqueo infrarrojos pero tienen la desventaja de detectar solamente presencia mas no distancia. Por último el sistema de ayuda para parqueo ultrasónico es el más utilizado debido a su bajo consumo de energía y precisión.

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos es un sistema pasivo que permite al conductor tener una noción clara de la distancia entre el vehículo y los objetos detrás del mismo. El sistema consta de cuatro sensores ultrasónicos, un cerebro y un display con una chicharra incorporada. Cabe recalcar que existen varios objetos que no se podrán detectar ya sea por su forma, tamaño o ubicación. El sistema presentará en el display la distancia al objeto más cercano al vehículo.

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....                                     | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                   | <b>1</b>  |
| <b>1.1 ANTECEDENTES</b> .....                               | <b>1</b>  |
| <b>1.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....                              | <b>3</b>  |
| <b>1.3 IMPORTANCIA</b> .....                                | <b>4</b>  |
| <b>1.4 OBJETIVOS</b> .....                                  | <b>5</b>  |
| <b>1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b> .....           | <b>6</b>  |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....                                     | <b>8</b>  |
| <b>FUNDAMENTOS</b> .....                                    | <b>8</b>  |
| <b>2.1 ULTRASONIDO</b> .....                                | <b>8</b>  |
| <b>2.1.1 Comparación entre ultrasonido y sonido</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>2.1.2 Transductor</b> .....                              | <b>8</b>  |
| <b>2.1.3 Medición de distancia por ultrasonido</b> .....    | <b>9</b>  |
| <b>2.1.4 Materiales piezoeléctricos</b> .....               | <b>10</b> |
| <b>2.1.5 Reflexión</b> .....                                | <b>11</b> |
| <b>2.1.6 Refracción</b> .....                               | <b>11</b> |
| <b>2.2 AMPLIFICADOR</b> .....                               | <b>12</b> |
| <b>2.2.1 Polarización de DC por retroalimentación</b> ..... | <b>12</b> |
| <b>2.2.2 Análisis en AC a pequeña señal</b> .....           | <b>13</b> |
| <b>2.2.3 Sistemas en cascada</b> .....                      | <b>16</b> |
| <b>2.3 CIRCUITO RLC PARALELO</b> .....                      | <b>17</b> |
| <b>2.4 CIRCUITOS RESONANTES</b> .....                       | <b>18</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.1 Factor de calidad Q .....   | 18        |
| <b>CAPITULO 3 .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>HARDWARE .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>3.1 FUNCIONAMIENTO .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES .....</b>                                      | <b>20</b> |
| <b>3.3 DISEÑO Y SELECCIÓN .....</b>                                       | <b>22</b> |
| 3.3.1 Sensores .....  | 22        |
| 3.3.2 Emisor-receptor .....   | 26        |
| 3.3.3 Multiplexor .....   | 29        |
| 3.3.4 Amplificador .....  | 30        |
| 3.3.5 Comparador .....  | 50        |
| 3.3.6 Display .....   | 51        |
| 3.3.7 Bocina .....  | 54        |
| 3.3.8 PIC16F877 .....   | 55        |
| <b>CAPUTILO 4 .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>SOFTWARE .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>4.1 INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>4.2 LÓGICA .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>4.3 DIAGRAMA DE FLUJO .....</b>  | <b>58</b> |
| 4.3.1. Descripción de las variables a ser utilizadas en el programa ..... | 60        |
| 4.3.2. Descripción del diagrama de flujo .....                            | 61        |
| <b>CAPITULO 5 .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>IMPLEMENTACIÓN .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>5.1 IMPRESIÓN DEL CIRCUITO .....</b>                                   | <b>63</b> |
| <b>5.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA .....</b>                                  | <b>64</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.2.1 Instalación de los sensores .....                    | 65        |
| 5.2.2 Montaje de los sensores.....                         | 66        |
| 5.2.3 Colocación del cerebro, Display y Bocina .....       | 66        |
| 5.2.4 Consideraciones adicionales .....                    | 66        |
| <b>CAPÍTULO 6 .....</b>                                    | <b>68</b> |
| <b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>                          | <b>68</b> |
| <b>6.1 SEÑAL ULTRASÓNICA .....</b>                         | <b>68</b> |
| <b>6.2 DETECCIÓN DE OBJETOS .....</b>                      | <b>70</b> |
| 6.2.1 Objetos tirados en el suelo .....                    | 71        |
| 6.2.2 Objetos detrás del vehículo.....                     | 71        |
| 6.2.3 Objetos a diferentes distancias .....                | 71        |
| 6.2.4 Superficies suaves o casi paralelas al vehículo..... | 72        |
| 6.2.5 Resalto o lomada y vehículo demasiado cargado.....   | 72        |
| 6.2.6 Objetos Esféricos .....                              | 73        |
| <b>6.3 SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MÁS COMUNES.....</b>          | <b>73</b> |
| <b>CAPÍTULO 7 .....</b>                                    | <b>75</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                | <b>75</b> |
| 7.1 CONCLUSIONES .....                                     | 75        |
| 7.2 RECOMENDACIONES .....                                  | 77        |
| <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>                                  | <b>78</b> |

## **ANEXO 1**

### **PROGRAMA**

## **ANEXO 2**

### **DIAGRAMA ELECTRICO**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El sonido se clasifica en tres partes: infrasónico, audible y ultrasónico. Siendo el sonido infrasónico ondas sonoras a frecuencias muy bajas que no son detectables por el oído humano, como por ejemplo las ondas telúricas. El rango audible es todo sonido que pueda ser detectado por el oído humano, como la música, la voz, el ruido ambiental, etc. El sonido ultrasónico corresponde a frecuencias más altas a las audibles por el ser humano, en la naturaleza encontramos desde tiempos inmemoriales animales que utilizan el ultrasonido como medio de orientación, comunicación, localización de alimentos, defensa, etc. Ejemplos de animales que utilizan el ultrasonido son: Polillas, marsopas, pájaros, perros, murciélagos y delfines.

El ultrasonido es una vibración mecánica con un rango mayor al audible por el oído humano que se transmite a través de un medio físico. Es orientado, registrado y medido en Hertz con ayuda de un aparato creado para ese fin.

#### **Rangos de sonido:**

- Infrasónica = 1 – 16 Hz.
- Sónica o audible = 16 Hz a 20 KHz.
- Ultrasónica = 20 KHz en adelante.

El ultrasonido tiene muchas aplicaciones en el mercado como por ejemplo: los radares de pesca, medidores no invasivos especialmente en el campo petrolero, medidores de caudal, en la medicina en los ecosonogramas, cirugía laparoscópica, fisioterapia, etc. En los últimos 5 años se ha incrementado el interés en el uso del ultrasonido para aplicaciones

en los automóviles, principalmente en dispositivos de ayuda para parqueo. Estos dispositivos fueron implementados especialmente en autos de lujo con costos muy elevados pero en la actualidad se puede encontrar sistemas ultrasónicos de ayuda para parqueo desde unas cuantas decenas de dólares hasta los miles de dólares.

Existen varios tipos de sistemas ultrasónicos de ayuda para parqueo de vehículos en los que se colocan dispositivos en la parte posterior del vehículo, en la placa del vehículo o simplemente se pegan en el guarda choque. Estos sistemas normalmente son pasivos, es decir que no ejercen ningún control sobre las características del vehículo.

Recientemente se han empezado a desarrollar sistemas activos, que eliminan completamente la acción humana en el proceso de parqueo como por ejemplo los sistemas laser, electromagnéticos, de video, etc.

Los sistemas de reconocimiento con cámara se están haciendo cada vez más comunes y una de sus ventajas principales es que el conductor tiene la posibilidad de ver lo que sucede detrás del vehículo a través de una pantalla.

También existen sistemas electromagnéticos muy exactos que funcionan a manera de radar y se caracterizan por su precisión y alto rango de detección pero así mismo su principal desventaja es su alto costo.

Por otra parte existen sistemas de ayuda láser para parqueo de vehículos activos y pasivos que proporcionan gran exactitud y confiabilidad pero estos sistemas son estáticos es decir que se instalan en su hogar u oficina.

Los sistemas ultrasónicos para parqueo de vehículos utilizan el principio básico de los radares con la diferencia de que estos no identifican exactamente cada objeto detrás del vehículo es decir que no diferencian entre una persona y una pared por ejemplo. Pero esta diferenciación no es necesaria ya que el conductor solo requiere saber la distancia al objeto más cercano sin importar su forma, tamaño o material.

Un radar puede definirse como cualquier dispositivo que detecta y localiza un objetivo utilizando la irradiación de energía. El radar detecta la reflexión de la onda que regresa de un objetivo y con las características de la onda reflejada puede identificar la distancia, velocidad, forma, dirección, etc. del objetivo.

Un radar consta de cuatro partes principales:

1. Emisor: corresponde al dispositivo que emite la señal.
2. Receptor: corresponde al dispositivo que recibe la señal.
3. Medio: Es la materia por la que se desplaza la onda de radar (aire, agua, etc.)
4. Objetivo: Se denomina objetivo a todo objeto que sea capaz de reflejar una onda.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Se observa la necesidad de un sistema que ayude a los conductores a parquear sus vehículos debido a que no todos los objetos detrás del vehículo son visibles y no es fácil reconocer la distancia real entre el vehículo y los objetos detrás. Un sistema de ayuda para parqueo de vehículos es de mucha utilidad cuando el vehículo tiene objetos que obstruyan o dificulten la visibilidad, o cuando por el tamaño del automotor se dificulte la identificación de la distancia hacia los objetos en la parte posterior del mismo como por ejemplo en camionetas, camiones, remolques, trailers, etc.

Un sistema de esta naturaleza permite que el conductor tenga una noción bastante clara de la distancia hacia objetos detrás del vehículo, ya sea por medio de un display o una alerta sonora, a pesar de que no tenga una imagen del área detrás del vehículo. Finalmente, un sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos es muy útil en situaciones de clima extremo como: lluvia, nieve, neblina, etc. En las que al conductor se le dificulte la visibilidad y por la tanto su percepción de distancia sea disminuida, su noción o capacidad de orientarse se vea afectada y su capacidad de reconocer distancia sea disminuida por el clima.

### 1.3 IMPORTANCIA

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos constituye una herramienta muy útil para conductores expertos e inexpertos especialmente, puesto que evitaría choques involuntarios debido a la falta de visibilidad y dificultad de reconocer la distancia entre el vehículo y los objetos detrás del mismo. El conductor tendría la ayuda del sistema para reconocer la distancia entre el vehículo y los objetos cercanos, por lo tanto podría detener el vehículo de inmediato especialmente cuando un objeto no visible este cerca del automotor, o cuando un objeto visible o no visible este una distancia prudente o deseada por el conductor durante las maniobras de parqueo.

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos ahorra tiempo de parqueo porque permite que el conductor se sienta más seguro en las maniobras de parqueo al tener una idea clara de la distancia hacia los objetos detrás del vehículo. Además, el sistema ayuda a optimizar el espacio de parqueo permitiendo a los automotores estacionarse a una menor distancia unos de otros con seguridad y en menor tiempo.

Por otra parte el sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos resulta en una ayuda tecnológica de costo medio, de fácil instalación, con pocos componentes escogidos para minimizar el espacio ocupado en el vehículo y la distracción del conductor al momento de estacionar, eficiente por su bajo consumo de energía y por que no necesita de cambio de baterías o mantenimiento continuo, no contamina ni daña el medio ambiente y no produce ruido ambiental.

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos goza de una gran versatilidad pudiendo ser implementado en diferentes tipos de vehículos y ser adaptado fácilmente en maquinaria con pocas y sencillas modificaciones en su programación o circuito.

Otra de las ventajas del sistema propuesto en este proyecto radica en su fabricación nacional, lo que permitiría en caso de fallas o accidentes un mantenimiento o servicio técnico ágil y de bajo costo.

En el mercado ecuatoriano existe un número reducido sistemas de ayuda para parqueo de vehículos en circulación y los pocos en existencia se consiguen a costos muy elevados. El principal problema con estos sistemas es que no existe un servicio técnico que pueda repararlos sino mas bien lo único que se obtiene en caso de un desperfecto es el reemplazo de la parte.

#### **1.4 OBJETIVOS**

- Diseñar e implementar un sistema ultrasónico que durante las maniobras de parqueo ayude al conductor de un vehículo a reconocer la distancia entre el vehículo y los objetos detrás del mismo.
- Seleccionar el o los sensores ultrasónicos adecuados para el propósito del proyecto.
- Acondicionar y procesar las señales de los sensores.
- Realizar un análisis de los objetos que el sistema pueda detectar y determinar la resolución del sistema, la influencia de los ángulos de reflexión, los objetos en movimiento y las condiciones ambientales.
- Convertir la distancia medida por los sensores en una señal sonora cuya frecuencia proporcione una idea de acercamiento al conductor.
- Desarrollar una solución visual para la presentación de la distancia medida al conductor.
- Realizar una simulación del sistema
- Implementar el sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos.
- Documentar apropiadamente el proyecto.

## 1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos tiene como finalidad principal alertar al conductor de los objetos cercanos detrás del vehículo por medio de una ayuda visual y una sonora. Consta de tres partes principales: cuatro sensores ultrasónicos, el cerebro y la salida. Cuando el sistema detecte uno o más objetos detrás del vehículo, escogerá el más cercano y presentará su distancia en metros en un display junto con una señal sonora a frecuencias variables que proporcionen la sensación de acercamiento del vehículo a los objetos detrás mismo. El sistema será activado al accionar la luz de retro que se activa el mismo instante en que la palanca de cambios del vehículo se coloca en la posición de retro.

El diagrama de bloques de la figura 1.1 corresponde a la descripción general de las partes principales del sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos.

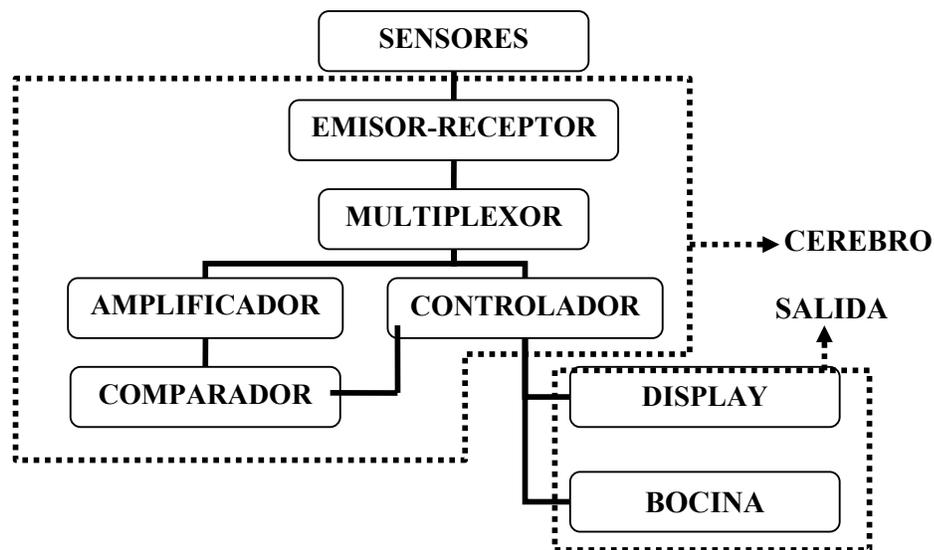


Figura 1.1. Diagrama de bloques

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos consiste de tres partes: **los sensores, el cerebro y la salida.**

1. **Sensores.** Los sensores son los encargados de emitir y recibir las señales ultrasónicas.
2. **Cerebro.** Consta de cinco partes: **emisor-receptor, multiplexor, controlador, amplificador y comparador.** Tiene como objetivo principal procesar las señales de los sensores y enviarlas al display.
  - **Emisor-Receptor:** Es la parte que se encarga del acople de las señales digitales a señales analógicas que son las enviadas y recibidas desde y hacia los sensores a frecuencia ultrasónica de 40kHz.
  - **Multiplexor:** Es el dispositivo encargado de distribuir las señales digitales hacia los sensores y recibir las señales de eco de cada sensor.
  - **Amplificador:** Es un arreglo de transistores diseñado para amplificar y filtrar la señal de eco recibida por los sensores.
  - **Comparador:** Se encarga de definir un nivel mínimo de señal detectada para validar la señal recibida.
  - **Controlador:** Es el encargado de procesar y enviar las señales hacia los sensores, recibir las señales de eco y enviar el resultado de distancia hacia el display y la bocina
3. **Salida.** La salida del sistema consta de dos partes: **el display y la bocina.**
  - **Display:** Consta de 3 dígitos en los que se presentara la distancia detectada en metros con dos decimales.
  - **Bocina:** Permite enviar una señal sonora al conductor con el fin de proporcionar una idea de acercamiento a los objetos detectados.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS

#### 2.1 ULTRASONIDO<sup>1</sup>

El ultrasonido es una vibración acústica con un rango mayor al audible por el oído humano que se transmite a través de un medio físico. O sea para que sea propagado el ultrasonido, se requiere que las partículas del medio ya sea líquido, aire o sólido oscilen alrededor de sus posiciones de equilibrio.

**2.1.1 Comparación entre ultrasonido y sonido.** Son de la misma naturaleza, lo que los diferencia es su frecuencia, así:

- Ondas sónicas: frecuencia entre 16 y 20000 Hz.
- Ondas ultrasónicas: frecuencias mucho mayores de 20000 Hz.

**2.1.2 Transductor.**<sup>2</sup> Es el medio por el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras) o viceversa. Opera debido al efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales cuando se tensionan, se polarizan eléctricamente y generan voltaje eléctrico entre las superficies opuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través de las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales. Esta propiedad hace que al aplicar una tensión alterna entre las dos caras de un pequeño disco (generalmente se usan discos de 1mm a 3mm de espesor y de 20mm a 30mm de diámetro) fabricado a partir de alguno de estos elementos (cuarzo, sulfato de litio, titanato de bario, metaniobato de bario, circonato titanato de plomo, etc), dicho disco

---

<sup>1</sup> Teoría, <<http://materiales.eia.edu.co/laboratorios/ultrasonido/teoria.htm>> [consulta 20/05/2005]

<sup>2</sup> Piezoelectric Ceramic Sensors, <<http://www.murata.com/sensor/index.html>> [consulta 10/06/2005]

comience a vibrar con la misma frecuencia de la señal aplicada.

Cuando la frecuencia de la señal aplicada coincide con la frecuencia de resonancia propia de cada disco, el mismo puede llegar a producir las máximas contracciones y expansiones posibles.

**2.1.3 Medición de distancia por ultrasonido.** El ultrasonido como cualquier onda mecánica se desplaza a una cierta velocidad dependiendo del medio que atraviese como se describe en la tabla 2.1, en el caso del aire el ultrasonido se desplaza a una velocidad aproximada de 330m/s. Como la velocidad es proporcional a la distancia e inversamente proporcional al tiempo, entonces se puede relacionar el tiempo con la distancia que recorre la onda de esta forma:

$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} * \text{Tiempo} \qquad \text{Ecuación (2.1)}$$

Por lo tanto para calcular la distancia entre el vehículo y los objetos detrás del mismo se deberá emitir una onda ultrasónica a través del sensor, luego esperar a recibir un eco. Calcular el tiempo que se demora en regresar la onda y dividirlo para dos porque la onda va choca contra el objeto y regresa. Entonces con este tiempo se aplica la ecuación (2.1) y se obtiene la distancia.

La tabla 2.1 describe la velocidad de propagación del ultrasonido de acuerdo a la densidad del medio por el cual se esta propagando.

**Tabla 2.1. Velocidad de Propagación del Ultrasonido según la Densidad del Material**

| Medio   | Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | Velocidad (m/s) |
|---------|-------------------------------|-----------------|
| Aire    | 1.2                           | 330             |
| Hueso   | 1.62 * 10 <sup>3</sup>        | 3360            |
| Grasa   | 0.92 * 10 <sup>3</sup>        | 1480            |
| Músculo | 1.07 * 10 <sup>3</sup>        | 1570            |
| Agua    | 1.00 * 10 <sup>3</sup>        | 1500            |

**2.1.4 Materiales piezoeléctricos.**<sup>3</sup> Los materiales piezoeléctricos más utilizados en la construcción de sensores ultrasónicos son: cuarzo, sulfato de litio, cerámicas polarizadas, titanato de bario, metaniobato de bario y circonato titanato de plomo. Sus características principales serán presentadas a continuación.

**Cuarzo.** Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características: estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste, así como al envejecimiento. Desafortunadamente es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550 °C, pues por arriba de ésta pierde sus propiedades piezoeléctricas.

**Sulfato de litio.** Este material se considera como uno de los receptores más eficientes. Su ventaja principal es que no envejece. Sus desventajas son: es muy frágil, soluble en agua y se debe emplear a temperaturas menores de 75 °C.

**Cerámicas polarizadas.** Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad y algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300 °C. Sus principales limitaciones son: tendencia al envejecimiento, menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.

**Titanato De Bario.** Tiene problemas de acoplamiento y amortiguación. Su empleo está limitado a frecuencias menores de 15 MHz. La temperatura de operación es de 115 °C a 150 °C.

**Metaniobato De Bario.** Posee excelente estabilidad térmica, similar al cuarzo, lo que le permite ser empleado a altas temperaturas. Se considera como el mejor material para generar impulsos cortos por lo que se aplica principalmente a frecuencias altas.

---

<sup>3</sup> Grupos Ultrasónica, <[http://www.icmf.inf.cu/grupos2\\_ultrasonica.htm](http://www.icmf.inf.cu/grupos2_ultrasonica.htm)>[consulta 10/08/2005]

**Zirconato Titanato De Plomo.** Se considera como el mejor emisor. Sin embargo, es el más difícil de amortiguar. Se recomienda su empleo cuando existen problemas de penetración.

La tabla 2.2 describe las propiedades principales de los diferentes materiales piezoeléctricos.

**Tabla. 2.2. Materiales Piezoeléctricos**

| <b>Material</b>                    | <b>Eficiencia como transmisor</b> | <b>Eficiencia como receptor</b> | <b>Sensibilidad</b> | <b>Poder de resolución</b> | <b>Características mecánicas</b> |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------------|
| <b>Cuarzo</b>                      | Mala                              | Mediana                         | Escasa              | Optima                     | Buena                            |
| <b>Sulfato de litio</b>            | Mediana                           | Buena                           | Buena               | Optima                     | Soluble en agua                  |
| <b>Titanato de bario</b>           | Buena                             | Mediana                         | Optima              | Mediana                    | Frágil                           |
| <b>Metaniobato de bario</b>        | Buena                             | Mediana                         | Optima              | Optima                     | Buena                            |
| <b>Zirconato titanato de plomo</b> | Buena                             | Mediana                         | Optima              | Mediana                    | Buena                            |

**2.1.5 Reflexión.** Cantidad de energía ultrasónica que es reflejada al incidir en un medio o superficie.

**Ley de reflexión.** El ángulo de onda reflejada es igual al ángulo de la onda incidente.

**2.1.6 Refracción.** Se produce cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro, siendo la velocidad del ultrasonido diferente en los dos medios. En este caso la onda reflejada tiene un ángulo diferente al de la onda incidente

**Ley de refracción.** El cambio de dirección de la onda refractada, acercándose en la normal a su superficie de separación de ambos medios, depende de que la velocidad del sonido en el segundo medio sea menor o mayor que en el primer medio.

La figura 2.1 muestra las propiedades de refracción del ultrasonido en dos medios diferentes.

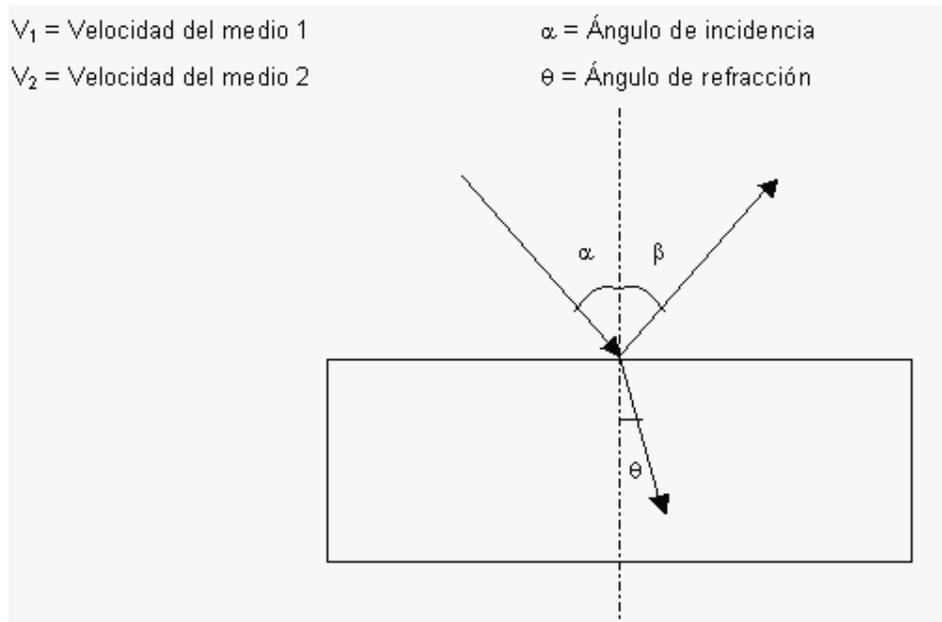


Figura 2.1. Refracción del Ultrasonido en un medio cualquiera

## 2.2 AMPLIFICADOR

Los amplificadores con transistores son utilizados comúnmente en una variedad de dispositivos de audio especialmente por su facilidad de implementación, simplicidad y bajo costo.

**2.2.1 Polarización de DC por retroalimentación.**<sup>4</sup> Un nivel mejorado de estabilidad en la señal amplificada se obtiene por medio de una trayectoria de retroalimentación desde el colector a la base.

La figura 2.2 muestra el circuito de polarización en DC con retroalimentación de un amplificador con transistor.

<sup>4</sup> BOYLESTAD, Robert. NASHELKY, Louis, **Electrónica: Teoría de circuitos**, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, Mexico 1997, pagina 166

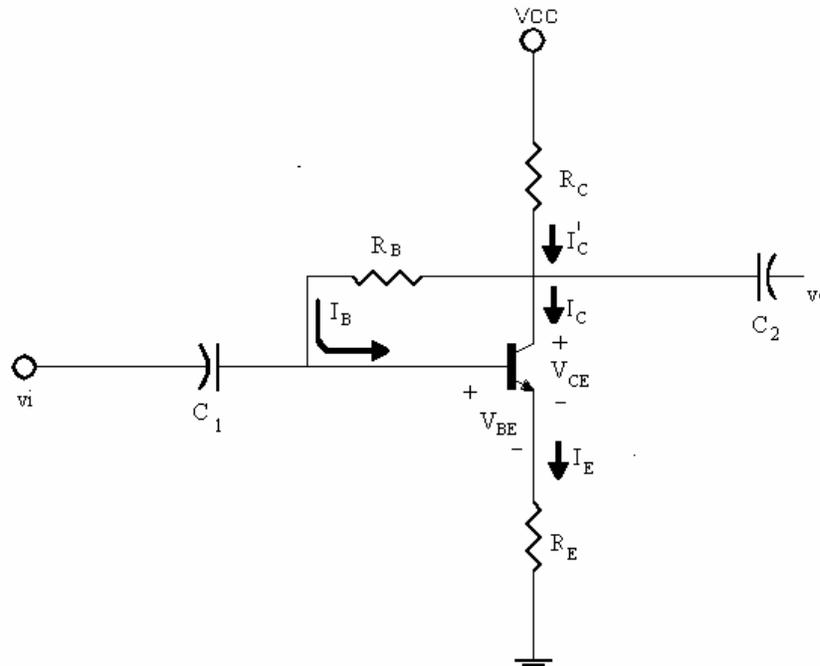


Figura 2.2. Circuito de polarización en DC con retroalimentación

Las ecuaciones 2.2 y 2.3 describen el cálculo de la corriente de base y la corriente de emisor del circuito de polarización en DC con retroalimentación.

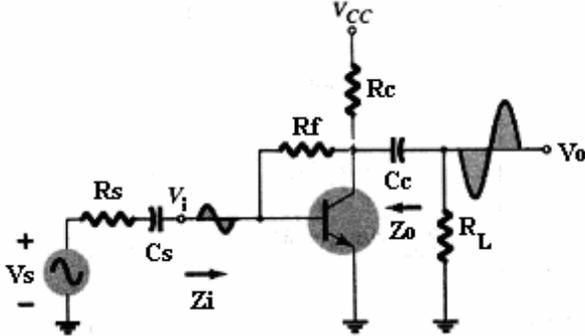
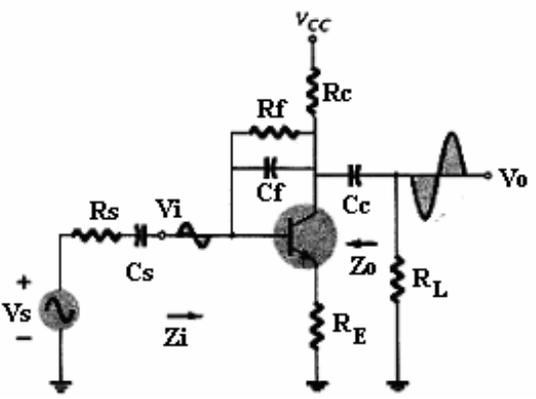
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

**2.2.2 Análisis en AC a pequeña señal.** En AC los parámetros más importantes desde el punto de vista del diseño son las ganancias ya sea en voltaje o corriente debido a que la amplificación depende de la ganancia y las impedancias de entrada y salida que influyen en el cálculo de las ganancias y en el filtrado de las señales.

La tabla 2.3 contiene los parámetros más importantes de las configuraciones con retroalimentación con o sin resistencia en el emisor.

Tabla 2.3. Resumen de configuraciones con retroalimentación ( $A_v, Z_i, Z_o$ )

| Configuración  | $A_v=V_o/V_i$                      | $Z_i$                                   | $Z_o$               |
|--|------------------------------------|---|---------------------|
|   | $-\frac{(R_L \parallel R_C)}{r_e}$ | $\beta r_e \parallel \frac{R_F}{ A_V }$ | $R_C$               |
|  | $-\frac{(R_L \parallel R_C)}{R_E}$ | $\beta R_E \parallel \frac{R_F}{ A_V }$ | $R_C \parallel R_F$ |

Los capacitores  $C_s$ ,  $C_c$  y  $C_f$  cumplen la función de filtros para el amplificador con configuración en retroalimentación. Varios amplificadores en cascada permiten diseñar filtros de  $n \cdot 20\text{dB/dec}$  dependiendo del número “n” de amplificadores en cascada.

Para simplificar el cálculo de la frecuencia de resonancia de los filtros se obtiene un equivalente del amplificador como se describe en la figura 2.3, en donde el amplificador es reemplazado por un bloque que tiene impedancia de entrada y salida, ganancia y carga. Entonces el cálculo de la frecuencia de resonancia del filtro (ecuación 2.4) se simplifica al de un circuito RC serie.

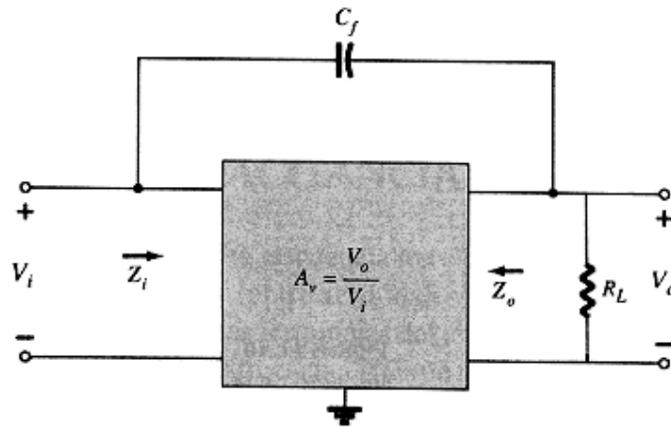


Figura 2.3. Capacitancia Cf

$$f_{Cf} = \frac{1}{2\pi(Z_o \parallel R_L + Z_i)C_f} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

La figura 2.4 contiene un diagrama representativo de un amplificador, su fuente de alimentación y un capacitor en la entrada que sirve como filtro con su respectiva frecuencia de resonancia (ecuación 2.5).

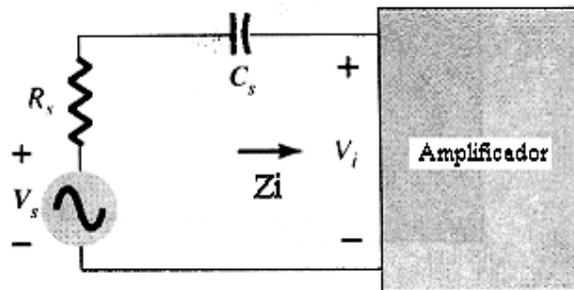


Figura 2.4. Capacitancia Cs

$$f_{Cs} = \frac{1}{2\pi(R_s + Z_i)C_s} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

La figura 2.5 Contiene un diagrama representativo de un amplificador con su carga y un capacitor en la salida que sirve como filtro con su respectiva frecuencia de resonancia (ecuación 2.6).

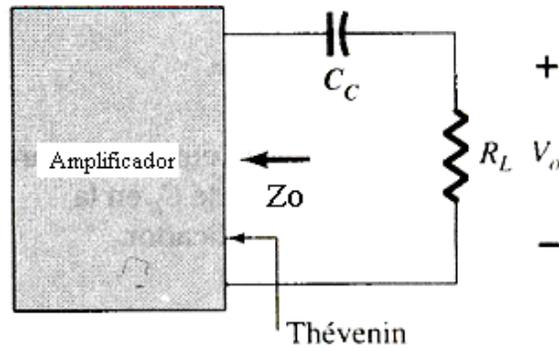


Figura 2.5. Capacitancia  $C_c$

$$f_{c_c} = \frac{1}{2\pi(Z_o + R_L)C_c} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

La resistencia dinámica  $r_e$  (ecuación 2.7) es un parámetro muy importante para el cálculo de los parámetros en AC y esta definida a partir de las condiciones en DC de la configuración.

$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_E} \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

**2.2.3 Sistemas en cascada.**<sup>5</sup> Los sistemas en cascada consisten en varios sistemas colocados uno a continuación de otro, donde la salida de uno se convierte en la entrada de otro.

La figura 2.6 muestra el diagrama de bloques de un amplificador en cascada.

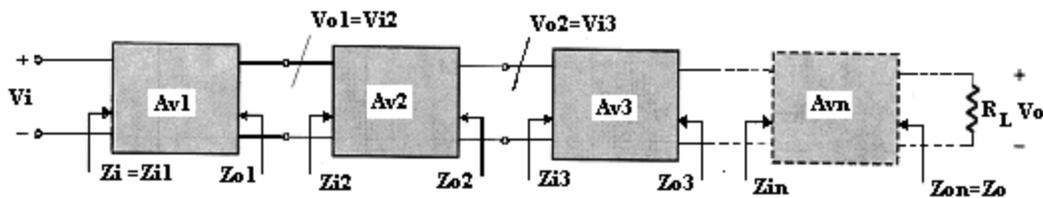


Figura 2.6. Configuración en cascada

<sup>5</sup> BOYLESTAD, Robert. NASHELSKY, Louis, **Electrónica: Teoría de circuitos**, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, Mexico 1997, página 496

### 2.3 CIRCUITO RLC PARALELO<sup>6</sup>

El circuito RLC paralelo (figura. 2.7) corresponde a un filtro pasa banda donde la frecuencia central, que es la frecuencia a la que el circuito responde con su mayor amplitud, esta relacionada con la capacitancia e inductancia. Las frecuencias laterales  $\omega_{c1}$  y  $\omega_{c2}$  (figura. 2.8) están relacionadas con la resistencia, inductancia y capacitancia, y definen el ancho de banda del circuito.

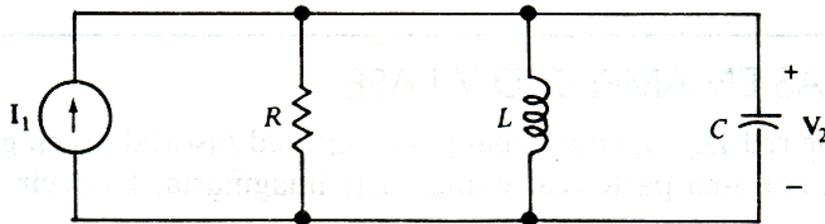


Figura 2.7. Circuito RLC paralelo

La frecuencia central o de resonancia del circuito RLC paralelo es la presentada en la ecuación 2.8.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

El ancho de banda B del circuito RLC paralelo es el presentado en la ecuación 2.9

$$B = \omega_{c1} - \omega_{c2} \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

La respuesta en amplitud con respecto a la frecuencia del filtro pasa banda del circuito RLC paralelo se presenta en la figura 2.8.

<sup>6</sup> JOHNSON, David. HILBURN, John. JOHNSON, Johnny, *Análisis Básico de Circuitos Eléctricos*, Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, México 1987, página 504

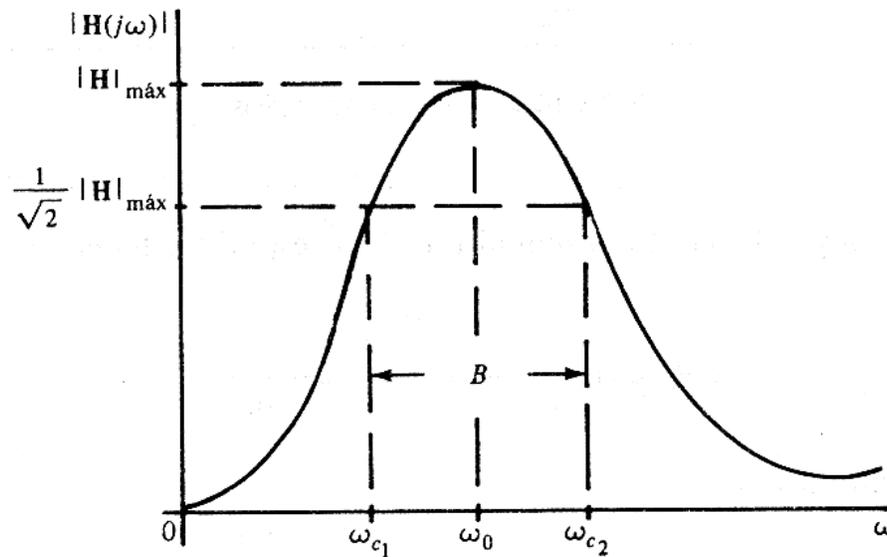


Figura 2.8. Respuesta en amplitud filtro pasa banda

## 2.4 CIRCUITOS RESONANTES<sup>7</sup>

Un sistema físico con una respuesta natural de tipo senoidal reacciona vigorosamente e incluso violentamente cuando es excitado a una de sus frecuencias naturales o a una frecuencia de valor cercano a las naturales. Este fenómeno se conoce como resonancia, y sus efectos colaterales pueden ser buenos o malos.

Se puede decir que una red excitada senoidalmente está en resonancia cuando la amplitud de la función de la red alcanza un pronunciado valor máximo o mínimo. Esto ocurre a una frecuencia llamada **frecuencia de resonancia**. Como en el caso del circuito RLC la frecuencia de resonancia corresponde al valor de la frecuencia central.

**2.4.1 Factor de calidad Q.** El factor de calidad (ecuación 2.10) mide la selectividad o agudeza del pico y viene dado por la relación entre la frecuencia resonante y el ancho de banda.

<sup>7</sup> JOHNSON, David. HILBURN, John. JOHNSON, Johnny, *Análisis Básico de Circuitos Eléctricos*, Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, México 1987, página 511

$$Q = \frac{\omega_0}{B} \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Un **Q** bajo corresponde a un ancho de banda relativamente grande, y un **Q** alto un ancho de banda pequeño (tomado a veces arbitrariamente como **5 o más**) revela un **ancho de banda más pequeño**, o un **circuito mas selectivo**.

Los equivalentes de **Q** son:

$$Q = \omega_0 RC \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

## CAPITULO 3

### HARDWARE

#### 3.1 FUNCIONAMIENTO

El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos consiste de cuatro partes principales: **los sensores, el cerebro**, (que consta de: circuito resonante, amplificador, comparador, PIC16F877) **el display y la bocina**. Se emitirán señales ultrasónicas a la frecuencia de 40kHz a través de los sensores cada cierto tiempo por un sensor a la vez. Luego se esperará a recibir un eco producido por los objetos detectados, el tiempo que se demora en recibir el eco es proporcional a la distancia al objeto detectado. Puede haber uno o mas objetos detectados, en este caso se tomará como valido el objeto más cercano al vehículo.

La señal de eco será amplificada, filtrada y comparada para llevarla a un nivel adecuado TTL que se pueda recibir en el controlador. Luego esta señal se procesará en el PIC16F877 en donde se guarda un programa que tiene como finalidad el manejo de las señales que vienen y van de los sensores y el control del display y bocina. El controlador enviará al display la distancia en tres dígitos en centímetros del objeto más cercano detectado y un sonido a frecuencias específicas a la bocina de tal manera que el sonido proporcione al conductor una idea de acercamiento a los objetos detrás del vehículo.

#### 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques de figura 3.1 es una representación de las partes principales del sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos.



propósito principal del comparador es el de llevar la señales de eco a un nivel TTL.

6. **Controlador:** Consta de un PIC16F877 que se encarga del desarrollo de la lógica de manejo de las señales (capítulo 4) por medio de un programa (Anexo 1). El controlador maneja 7 puertos los mismos que corresponden al comparador, emisor, receptor, display, bocina y multiplexor.
7. **Display:** Es la interfase que permite al usuario del sistema visualizar la distancia medida por medio de tres dígitos que representan una distancia en metros con dos decimales y de unos leds de colores a los costados que indican el acercamiento del vehículo a los objetos cercanos.
8. **Bocina:** Esta incorporada en el display y se encarga de emitir una señal audible para proporcionar al usuario del equipo una sensación de acercamiento a medida que la distancia a los objetos detrás del vehículo disminuye.

### 3.3 DISEÑO Y SELECCIÓN

En esta sección se describe toda la parte de diseño y selección de los elementos utilizados en el sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos.

**3.3.1 Sensores.** Para el presente proyecto se escogió los sensores **MURATA MA40MC10-1B** que está hecho de **Zirconato titanato de plomo** que es un material ideal para un **emisor-receptor** de ultrasonido, además los sensores cumplen con especificaciones técnicas de diseño muy importantes como son: la frecuencia nominal, la directividad, rango detectable y resolución.

Se ha escogido la frecuencia de 40kHz para el tren de pulsos de la señal ultrasónica, debido a que es la frecuencia a la que el sensor tiene su máxima transferencia de potencia.

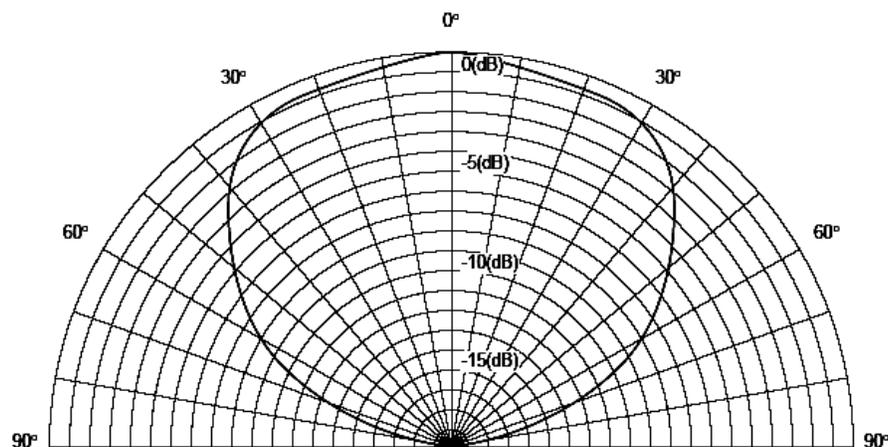
**Sensor MURATA MA40MC10-1B.** Los sensores ultrasónicos MURATA MA40MC10-1B son los encargados de emitir y recibir las señales ultrasónicas para la determinación de la distancia entre los sensores y los objetos cercanos al vehículo. Es necesario indicar que los sensores son emisor y receptor en un solo dispositivo. La emisión y recepción de señales se realiza solo por dos cables.

La tabla 3.1 contiene las características más importantes del sensor **MURATA MA40MC10-1B** desde el punto de vista del diseño.

**Tabla 3.1. Características principales del Sensor MA40MC10-1B**

|                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| <b>Numero de Parte</b>           | MA40MC10-1B       |
| <b>Construcción</b>              | A prueba de agua  |
| <b>Método de uso</b>             | Emisor – Receptor |
| <b>Frecuencia nominal</b>        | 40Khz             |
| <b>Directividad</b>              | 100°              |
| <b>Capacitancia</b>              | 2400pF            |
| <b>Temperatura Mínima de uso</b> | -30°C             |
| <b>Temperatura Máxima de uso</b> | 85°C              |
| <b>Rango Mínimo Detectable</b>   | 20cm              |
| <b>Rango Máximo Detectable</b>   | 1.5m              |
| <b>Resolución</b>                | 9mm               |
| <b>Máximo voltaje de entrada</b> | 160V (pico pico)  |

La figura 3.2 es la grafica del lóbulo de Directividad del sensor **MURATA MA40MC10-1B**.



**Figura 3.2. Directividad del sensor**

**Ubicación del los sensores.** Como se observa en la tabla 3.1 la Directividad de los sensores es de  $100^\circ$ . Para la ubicación de los sensores se supone un área cónica (figura 3.3) de 110cm de altura y con una inclinación de  $45^\circ$  hacia cada lado tomando como eje el centro del sensor. Se toma  $45^\circ$  para dar un margen de  $5^\circ$  de error.

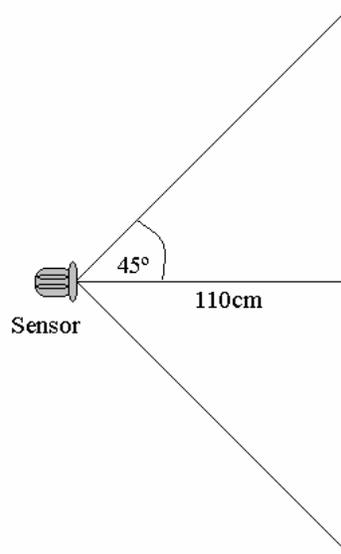


Figura 3.3 Cono sensor

Entonces para definir la ubicación horizontal de los sensores se debe superponer las áreas de los mismos de tal manera que la distancia mínima cubierta por las áreas sea 20cm (figura 3.4).

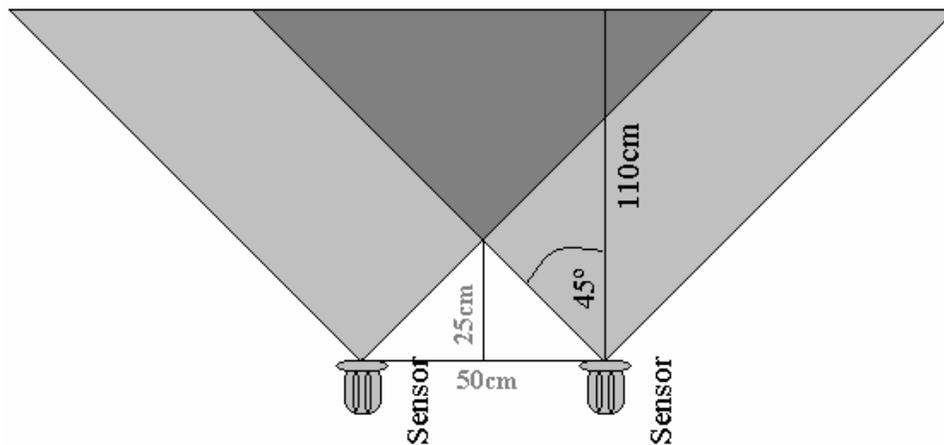
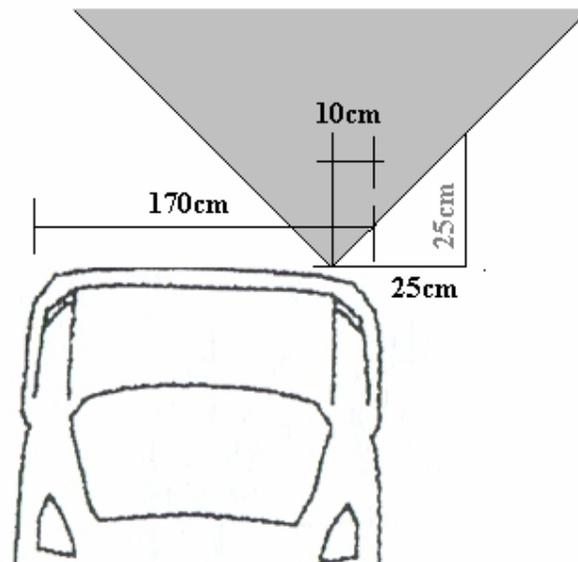


Figura 3.4. Ubicación horizontal de los sensores

Como se observa en la figura 3.4 se forma un triángulo rectángulo de altura 25cm y con dos ángulos de 45°, entonces la base de este triángulo que es 50cm será la distancia máxima horizontal a la que se pueden colocar los sensores.

La distancia mínima esta relacionada con el ancho estándar de los vehículos que esta entre 160 a 170cm, entonces se fija una **distancia de 10cm desde el final del guarda choque hasta el primer sensor de cada lado del vehículo** para dejar un margen de detección de de 15cm fuera del vehículo (figura 3.5). Entonces los sensores serán ubicados entre **45cm y 50cm** de distancia entre si.



**Figura 3.5. Distancia entre el sensor y el final del guarda choque.**

La ubicación vertical depende mucho de la detección del suelo como un objeto, se observó que a alturas menores a 50cm los sensores detectan la tierra como objeto cercano, por lo tanto se deja un margen de 10cm como altura mínima para la colocación, la altura máxima depende mucho del alto del automotor. La distancia desde el suelo hasta el guarda choque esta comúnmente entre los 30 y 55cm por lo que la altura ideal de montaje esta entre los **60 y 80 cm**.

**3.3.2 Emisor-receptor.** La etapa de emisión-recepción consta de dos partes que están muy relacionadas debido a que los sensores solo tienen dos cables para emitir y recibir señal. Dado que los sensores tienen impedancia capacitiva se ve la necesidad del uso de una bobina que además de acoplar la impedancia, aumente los pulsos de voltaje de 12 a 50 voltios aproximadamente. La bobina, también ayuda a aislar las dos partes, emisión y recepción.

**Bobina.** Se escogió la bobina 7PA (Figura 3.3.) para poder generar resonancia a la frecuencia nominal (40kHz).



**Figura 3.3. Bobina 7PA**

La Tabla 3.2 contiene las características principales de la bobina desde el punto de vista del diseño del sistema.

**Tabla 3.2. Características Bobina 7PA**

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| <b>Numero de Parte</b>              | 7PA         |
| <b>Inductancia secundario</b>       | 6.6mH       |
| <b>Inductancia Primario</b>         | 600 $\mu$ H |
| <b>Relación primario secundario</b> | 4:1         |

Esta bobina puede variar su inductancia en el secundario entre 1 y 25 mH por medio de un tornillo de calibración en su parte superior. Esta bobina se calibró en 6.6mH para su acople con el sensor ultrasónico.

**Emisor.** Consta de un transistor en corte y saturación que transforma las señales TTL a pulsos de 12 voltios y está conectado al secundario de la bobina como se muestra en la Figura 3.4.

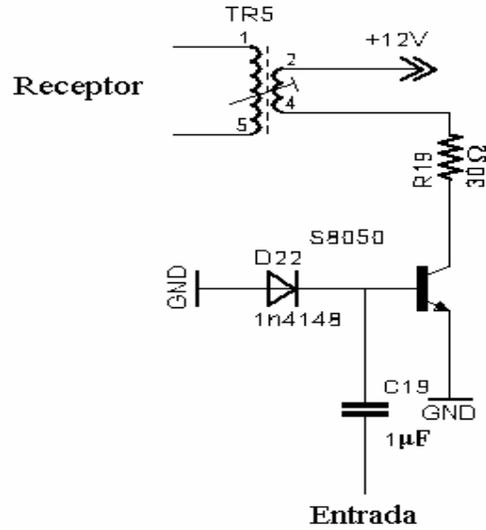


Figura 3.4. Emisor

**Receptor.** Consta de dos diodos en anti-paralelo conectados a tierra y una resistencia para regular la corriente (Figura 3.5), todo esto está conectado al primario de la bobina que esta en paralelo con el sensor ultrasónico por donde saldrán impulsos de 50V a 40kHz. El propósito de los diodos en anti-paralelo es limitar el voltaje de la señal de 50V a 0.7V por que esta señal entrará al amplificador de pequeña señal. Por el mismo lugar se recibe el eco de la señal de 40kHz después de haber rebotado en algún objeto, pero este eco está en el orden de los 12μV, no alcanza a polarizar los diodos y pasa directamente al amplificador.

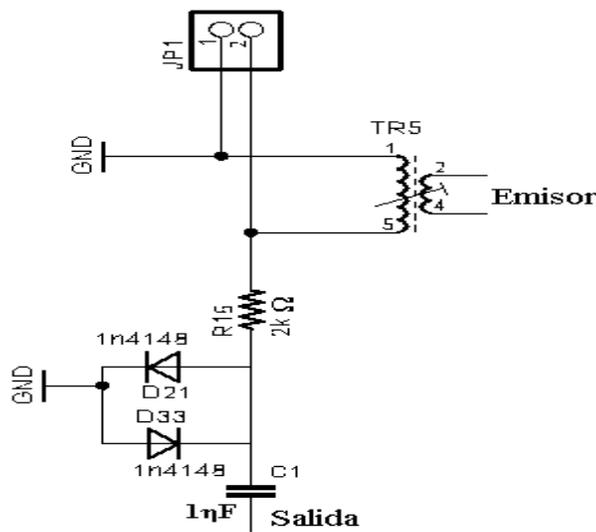


Figura 3.5. Receptor

Utilizando la ecuación la ecuación 2.8 se puede calcular la frecuencia de resonancia del circuito RLC que se forma con la bobina, el sensor y la resistencia R16 (Figura 3.5.)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6.6\text{mH} * 2400\text{pF}}} = \frac{251259.45}{2\pi} = 39989.2 \approx 40\text{kHz}$$

Así mismo utilizando la ecuación 2.12 se puede calcular el factor de calidad Q colocando un valor adecuado de la resistencia R16 (Figura 3.5) de tal forma que el ancho de banda no se agrande demasiado y el circuito no se haga inestable.

$$R = R16 + Z_i \text{ amplificador}$$

$$R = 2000 + 2007 = 4007 \Omega$$

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$Q = 4007\sqrt{\frac{2400\text{pF}}{6.6\text{mH}}} = 2.41$$

Para observar de mejor manera el comportamiento del receptor es necesario un análisis de la respuesta en frecuencia del circuito resonante RLC. Como se observa en la Figura 3.6 el circuito resuena a la frecuencia de 40kHz por lo tanto la impedancia del sensor con la de la bobina está acoplada y el valor de la resistencia R16 que es 2000Ω permite que la respuesta del circuito sea estable, para valores muy grandes de R16 el ancho de banda se agranda demasiado y para valores muy pequeños el circuito se torna inestable.

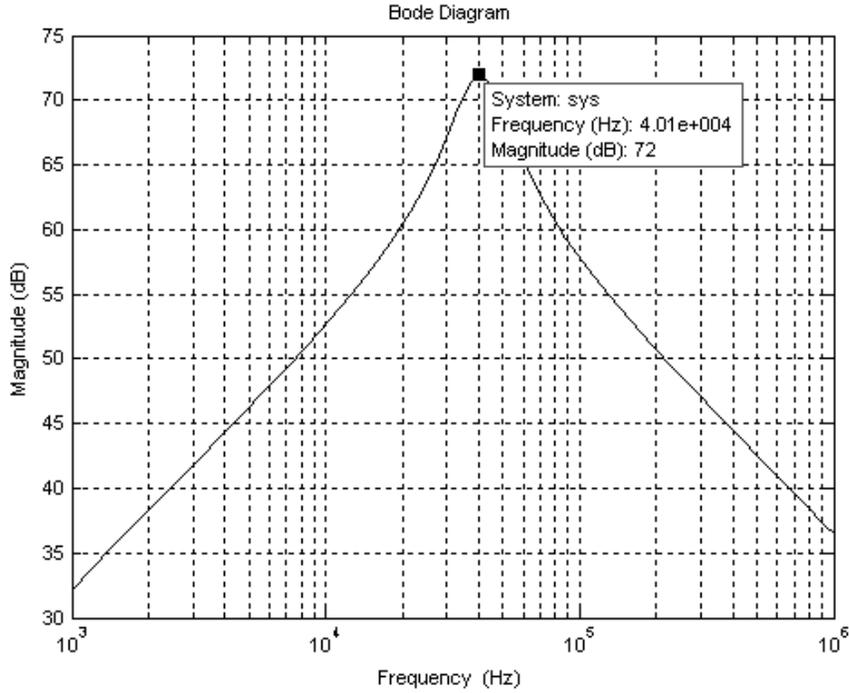


Figura 3.6. Respuesta en frecuencia receptor

**3.3.3 Multiplexor.** Se multiplexan las señales para hacer un barrido de sensores, esto significa que solo un sensor emitirá o recibirá señal a la vez, con el propósito de reducir el riesgo de falsas detecciones. La multiplexación permite simplificar la implementación debido a que solo se utiliza un solo amplificador. El multiplexor utilizado es el CI CD4052 que corresponde a un multiplexor/demultiplexor análogo de doble dirección (Figura 3.7).

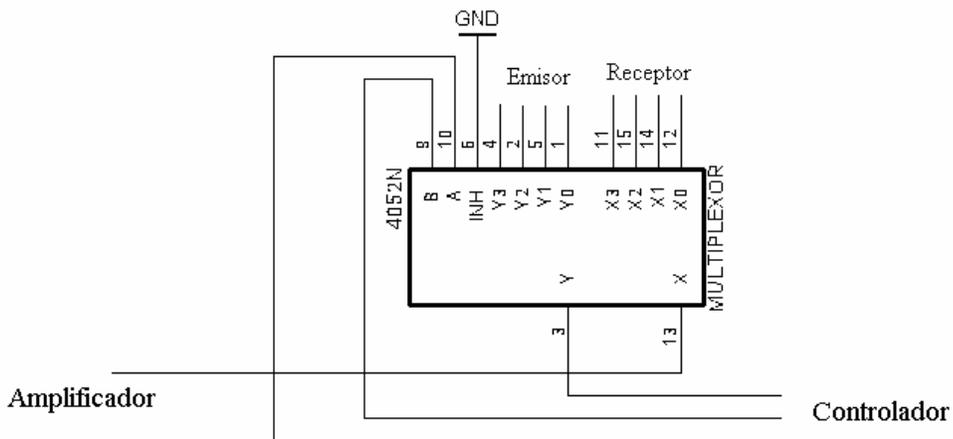


Figura 3.7. Multiplexor

**3.3.4 Amplificador.** Esta etapa consta de 3 transistores en cascada en configuración de retroalimentación al colector por su estabilidad (Figura 3.8). Se utilizaron tres amplificadores en cascada para reducir el riesgo de confundir eco con ruido, en otras palabras si se pusiera un solo amplificador con una ganancia muy grande, el ruido también saturaría al amplificador. Por lo tanto, la señal se amplifica un cierto valor, se filtra y se vuelve a amplificar. Entonces la señal resultante tiene menores posibilidades de ser ruido amplificado. Además se utilizó la configuración en cascada para conseguir un filtro pasa-banda bastante selectivo con una frecuencia central de 40kHz.

Para el diseño del amplificador se escogió una resistencia de emisor tipo de  $100\Omega$  y a partir de este valor se colocó dos potenciómetros uno de  $500k\Omega$  en la base y uno de  $50k\Omega$  en el colector, estos valores fueron escogidos debido a que la resistencia de la base tiene que ser mucho mayor a la resistencia del colector. La idea principal en el diseño de las dos primeras etapas es la de llevar a la señal de eco al mismo nivel de la señal transmitida que es  $0.7V$ .

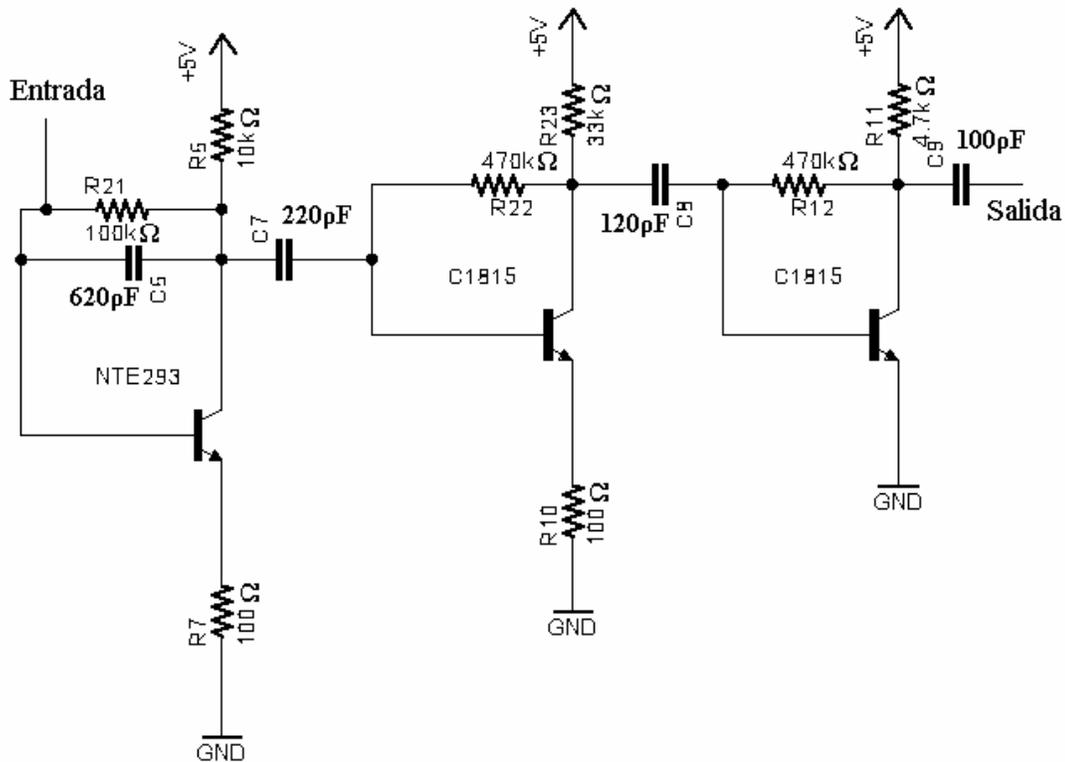


Figura 3.8. Amplificador

A continuación se describen 3 criterios importantes para el diseño del amplificador en DC.

1. La corriente de la base debe estar en el orden de los microamperios.
2. La resistencia de la base ( $R_B$ ) debe ser mucho mayor que la resistencia del colector ( $R_C$ ).
3. El transistor debe estar trabajando en la región activa para asegurar una respuesta casi lineal en la amplificación.

**Primera etapa.** Primero se toma un valor arbitrario comercial y se calibra en el potenciómetro del colector, en este caso se tomó  $10k\Omega$ . Luego se varía la resistencia del potenciómetro de la base hasta que el voltaje colector emisor sea lo más cercano posible a  $0.7V$ . Esto se consigue con un valor  $97.6k\Omega$  entonces se toma el valor comercial más cercano  $100k\Omega$  lo que nos da un  $V_{CE} = 0.77V$ .

La Figura 3.9 describe el circuito que comprende la primera etapa del amplificador.

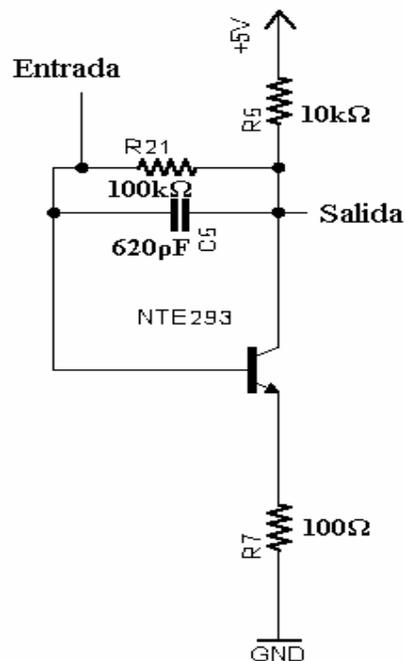


Figura 3.9. Primera etapa

Para calcular los parámetros en DC se resuelve la malla colector base emisor:

$$V_{CE} = I_B * R_B + 0.7$$

$$0.77 = I_B * 100k\Omega + 0.7$$

$$I_B = 0.7\mu A$$

Entonces a partir de las ecuaciones del capítulo 2 se procede a calcular los parámetros más importantes en DC que son: **Beta, corriente de emisor,  $r_e$** .

Reemplazando en las ecuaciones 2.2, 2.3 y 2.7:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$\beta = \frac{5 - 0.7 - 100k\Omega * 0.7\mu A}{0.7\mu A(10k\Omega + 100)} = 598.303$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$I_E = 598.303 * 0.7\mu A = 0.419mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E}$$

$$r_e = \frac{26mV}{0.419mA} = 62.05\Omega$$

**Segunda etapa.** Primero se toma un valor arbitrario comercial y se calibra en el potenciómetro del colector, en este caso se tomó **33k $\Omega$**  con el fin de darle al amplificador una ganancia más grande en DC debido a que la señal de ruido ya ha sido filtrada parcialmente. Luego se varía la resistencia del potenciómetro de la base hasta que el voltaje colector emisor sea lo más cercano posible a **0.7V**. Esto se consigue con un valor

$456\text{k}\Omega$  entonces se toma el valor comercial mas cercano  $470\text{k}\Omega$  lo que da un  $V_{CE} = 0.985\text{V}$ .

La figura 3.10 describe el circuito que comprende la segunda etapa del amplificador.

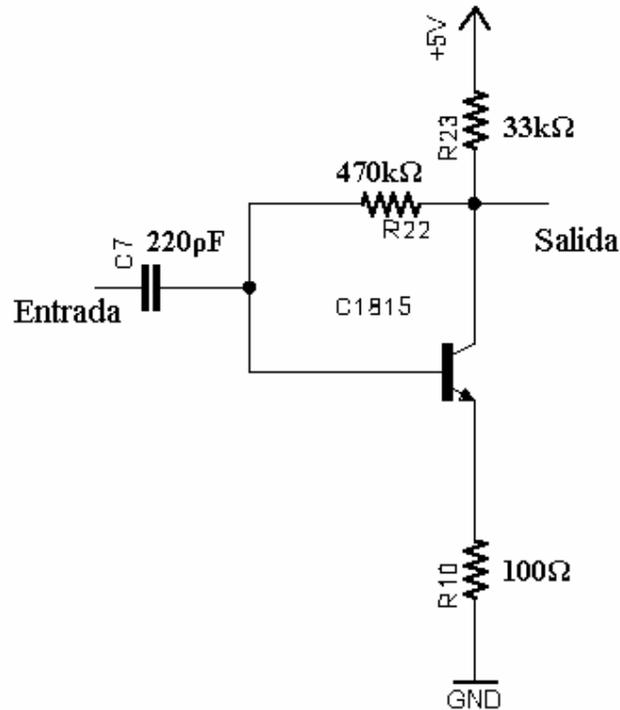


Figura 3.10. Segunda etapa

Para calcular los parámetros en DC se resuelve la malla colector base emisor:

$$V_{CE} = I_B * R_B + 0.7$$

$$0.985 = I_B * 470\text{k}\Omega + 0.7$$

$$I_B = 0.606\mu\text{A}$$

Entonces a partir de las ecuaciones del capítulo 2 se procede a calcular los parámetros más importantes en DC que son: **Beta**, **corriente de emisor**,  $r_e$ .

Reemplazando en las ecuaciones 2.2, 2.3 y 2.7:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$\beta = \frac{5 - 0.7 - 470\text{k}\Omega * 0.606\mu\text{A}}{0.606\mu\text{A}(33\text{k}\Omega + 100)} = 200.172$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$I_E = 200.172 * 0.606\mu\text{A} = 0.121\text{mA}$$

$$r_c = \frac{26\text{mV}}{I_E}$$

$$r_c = \frac{26\text{mV}}{0.121\text{mA}} = 21.43\Omega$$

**Tercera etapa.** Se elimina la resistencia del emisor para garantizar que el voltaje de salida llegue hasta cero. Luego se toma un valor arbitrario comercial y se calibra en el potenciómetro del colector, en este caso se tomó **4.7kΩ** con el fin de darle al amplificador una ganancia más grande en DC debido a que la señal de ruido ya ha sido casi completamente filtrada. Luego se varía la resistencia del potenciómetro del colector hasta que el voltaje colector emisor sea lo más cercano posible a **2.5V** que es el voltaje de comparación más **1V** aproximadamente. Esto se consigue con un valor **456kΩ** entonces se toma el valor comercial mas cercano **470kΩ** lo que da un  $V_{CE} = 2.43\text{V}$ .

La Figura 3.11 describe el circuito que comprende la tercera etapa del amplificador.

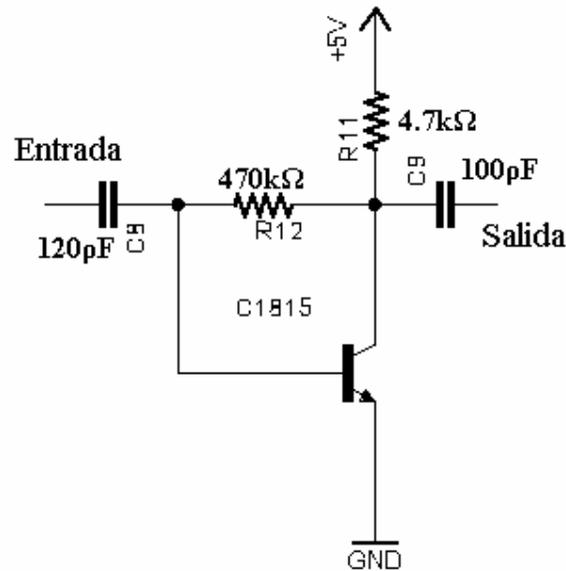


Figura 3.11. Tercera etapa

Primero se resuelve la malla colector base emisor:

$$V_{CE} = I_B * R_B + 0.7$$

$$2.43 = I_B * 470k\Omega + 0.7$$

$$I_B = 3.68\mu A$$

Entonces a partir de las ecuaciones del capítulo 2 se procede a calcular los parámetros más importantes en DC que son: **Beta, corriente de emisor,  $r_e$** .

Reemplazando en las ecuaciones 2.2, 2.3 y 2.7:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$\beta = \frac{5 - 0.7 - 470\text{k}\Omega * 3.68\mu\text{A}}{3.68\mu\text{A}(4.7\text{k}\Omega)} = 158.745$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$I_E = 158.745 * 3.68\mu\text{A} = 0.584\text{mA}$$

$$r_c = \frac{26\text{mV}}{I_E}$$

$$r_c = \frac{26\text{mV}}{0.584\text{mA}} = 44.5\Omega$$

Ahora habiendo completado la configuración en DC, se procede al análisis en AC, esto se hace porque los parámetros de AC como la impedancia y la ganancia dependen de la carga entonces para calcularlos se debe tener la configuración completa en DC.

**Tercera etapa.** Se calcula las impedancias de entrada y salida, y la ganancia en voltaje de acuerdo a las ecuaciones de la tabla 2.3.

La figura 3.12 describe el circuito que comprende la tercera etapa del amplificador en AC.

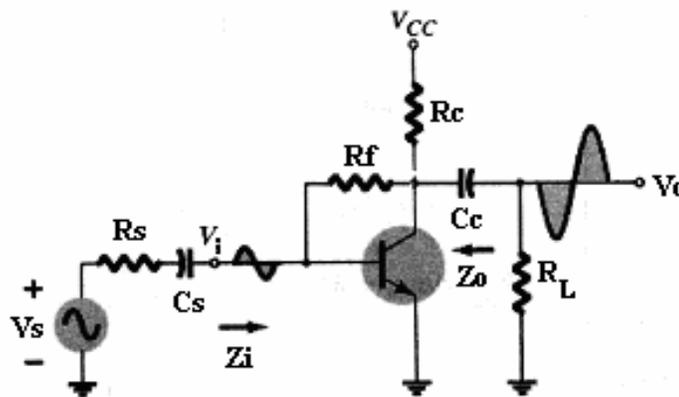


Figura 3.12. Tercera etapa en AC

$$A_v = \frac{-(R_L \parallel R_C)}{r_e}$$

$$A_v = -\frac{33k\Omega \parallel 4.7k\Omega}{44.5\Omega} = -92.45$$

$$Z_i = \beta r_e \parallel \frac{R_F}{A_v}$$

$$Z_i = 158.74 * 44.5 \parallel \frac{470k\Omega}{92.45} = 2954.86\Omega$$

$$Z_o = R_C$$

$$Z_o = 4.7k\Omega$$

**Segunda etapa.** Se calcula las impedancias de entrada y salida, y la ganancia en voltaje de acuerdo a las ecuaciones de la tabla 2.3.

La figura 3.13 describe el circuito que comprende la segunda etapa del amplificador en AC.

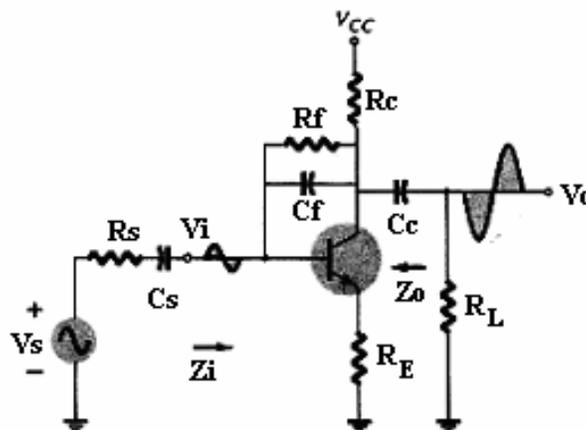


Figura 3.13. Segunda etapa en AC

$$A_v = \frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_E}$$

$$A_v = -\frac{2954.86\Omega \parallel 33k\Omega}{100\Omega} = -27.12$$

$$Z_i = \beta R_E \parallel \frac{R_F}{|A_v|}$$

$$Z_i = 200 * 100 \parallel \frac{470k\Omega}{27.12} = 9284.87\Omega$$

$$Z_o = R_C \parallel R_F$$

$$Z_o = 33k\Omega \parallel 470k\Omega = 30835\Omega$$

**Primera etapa.** Se calcula las impedancias de entrada y salida, y la ganancia en voltaje de acuerdo a las ecuaciones de la tabla 2.3.

La figura 3.14 describe el circuito que comprende la primera etapa del amplificador en AC.

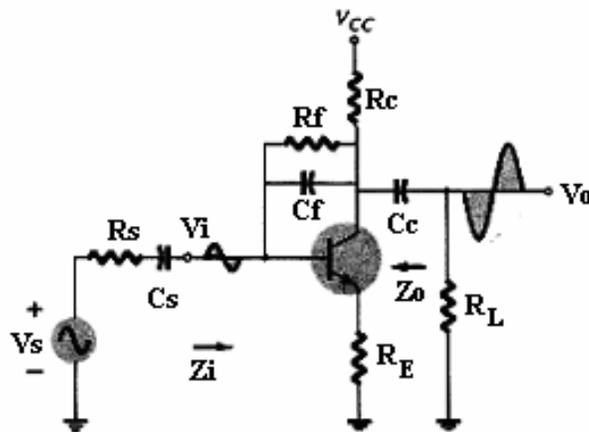


Figura 3.14. Primera etapa en AC

$$A_v = \frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_E}$$

$$A_v = -\frac{9284.87\Omega \parallel 10k\Omega}{100\Omega} = -48.14$$

$$Z_i = \beta R_E \parallel \frac{R_F}{|A_v|}$$

$$Z_i = 598.303 * 100 \parallel \frac{100000}{48.14} = 2007.57\Omega$$

$$Z_o = R_C \parallel R_F$$

$$Z_o = 10k\Omega \parallel 100k\Omega = 9090.91\Omega$$

Por último se calculan los capacitores que formaran el filtro pasa banda, cada capacitor en la entrada o salida de una etapa corresponde a un filtro pasa altos de 20DB/dec y cada capacitor entre la entrada y la salida corresponde a un filtro pasa bajos de 20DB/dec.

**Tercera etapa.** Se procede a calcular los valores de  $C_s$  y  $C_c$  con las ecuaciones 2.5 y 2.6.

$$f_{C_s} = \frac{1}{2\pi(R_s + Z_i)C_s}$$

$$C_s = \frac{1}{2\pi(30835 + 2954.86) * 40000} = 117.75\mu\text{F}$$

Como no existe capacitor de **117.75μF** se toma un valor comercial cercano  **$C_s = 120\mu\text{F}$** .

$$f_{C_c} = \frac{1}{2\pi(Z_o + R_L)C_c}$$

$$C_c = \frac{1}{2\pi(33000 + 4700) * 40000} = 105\text{pF} \approx 100\text{pF}$$

**Segunda etapa.** Se procede a calcular los valores de  $C_s$  y  $C_c$  con las ecuaciones 2.5 y 2.6.

$$f_{C_s} = \frac{1}{2\pi(R_s + Z_i)C_s}$$

$$C_s = \frac{1}{2\pi(9284.87 + 9090.91) * 40000} = 216.52\text{pF}$$

Como no existe capacitor de **216.52pF** se toma un valor comercial cercano  **$C_s = 220\text{pF}$** .

$$f_{C_c} = \frac{1}{2\pi(Z_o + R_L)C_c}$$

$$C_c = \frac{1}{2\pi(30835\Omega + 2954.86) * 40000} = 117.75\text{pF}$$

Como no existe capacitor de **117.75pF** se toma un valor comercial cercano  **$C_c = 120\text{pF}$** .

**Primera etapa.** Se procede a calcular los valores de  $C_f$ ,  $C_s$  y  $C_c$  con las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.6.

$$f_{C_s} = \frac{1}{2\pi(R_s + Z_i)C_s}$$

$$C_s = \frac{1}{2\pi(2000 + 2007.57) * 40000} = 0.9928 \mu\text{F} \approx 1 \mu\text{F}$$

$$f_{c_c} = \frac{1}{2\pi(Z_o + R_L)C_c}$$

$$C_c = \frac{1}{2\pi(9090.91\Omega + 9284.87) * 40000} = 216.62 \mu\text{F}$$

Como no existe capacitor de **216.52μF** se toma un valor comercial cercano **C<sub>c</sub> = 220μF**.

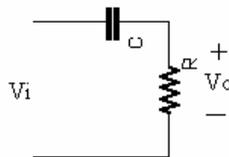
$$f_{c_f} = \frac{1}{2\pi(Z_o \parallel R_L + Z_i)C_f}$$

$$C_f = \frac{1}{2\pi * (9090.91 \parallel 9284.87 + 2007.57) * 40000} = 603 \mu\text{F}$$

Como no existe capacitor de **603μF** se toma un valor comercial cercano **C<sub>f</sub> = 620μF**.

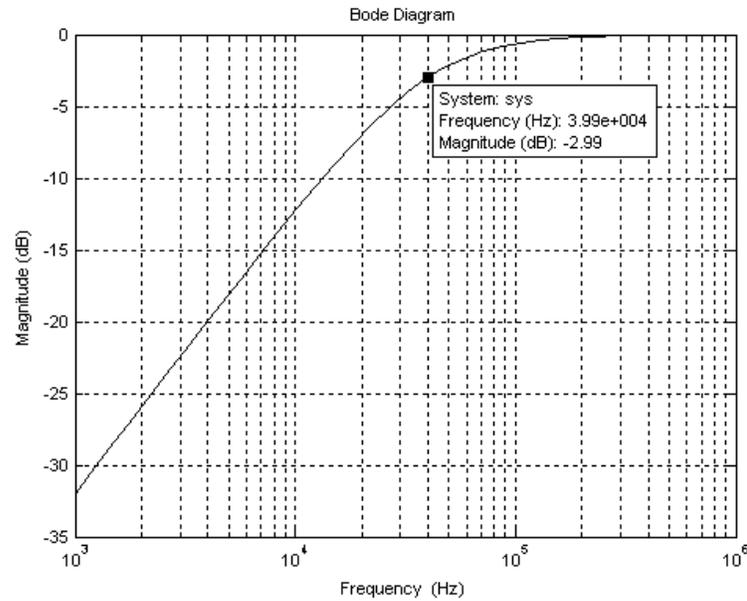
**Respuesta en frecuencia Amplificador.** A continuación se realizará el análisis de la respuesta en frecuencia del amplificador y luego del filtro completo que consiste en el filtro del amplificador y el filtro del circuito resonante del receptor.

El primer filtro del amplificador corresponde al capacitor colocado en la entrada de la primera etapa que es un filtro pasa altos con frecuencia natural 40kHz. El circuito equivalente para el filtro es un circuito RC (figura 3.15) donde C es el capacitor de la entrada de la primera etapa y la resistencia R es la impedancia de entrada del amplificador.



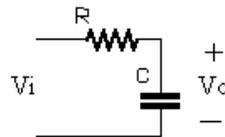
**Figura 3.15. Circuito equivalente primer filtro**

Como se observa en la figura 3.16 La frecuencia central del filtro es aproximadamente 40kHz que es la misma frecuencia a la que trabajan los sensores ultrasónicos.



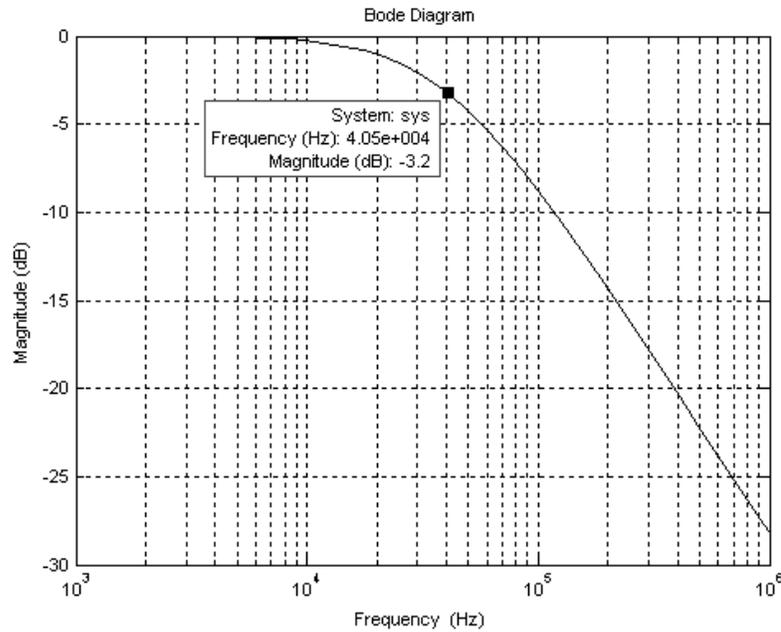
**Figura 3.16. Respuesta en frecuencia primer filtro**

El segundo filtro de la primera etapa corresponde al capacitor colocado entre la entrada y la salida, el mismo que es un filtro pasa bajos con frecuencia natural 40kHz. El circuito equivalente para el filtro es un circuito RC (figura 3.17) donde C es el capacitor colocado entre la entrada y la salida de la primera etapa, y la resistencia R es la impedancia de entrada más la impedancia de salida en paralelo con la carga de la primera etapa.



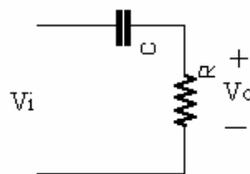
**Figura 3.17. Circuito equivalente segundo filtro**

Como se observa en la figura 3.18 La frecuencia central del filtro es aproximadamente 40kHz que es la misma frecuencia a la que trabajan los sensores ultrasónicos.



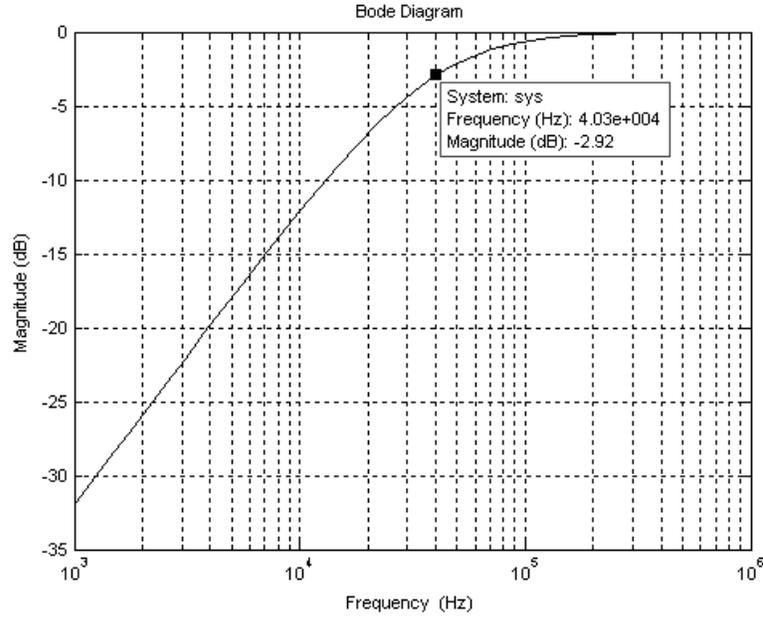
**Figura 3.18. Respuesta en frecuencia segundo filtro**

El tercer filtro de la primera etapa corresponde al capacitor colocado entre la salida de la primera etapa y la entrada de la segunda etapa el mismo que es un filtro pasa altos con frecuencia natural 40kHz. El circuito equivalente para el filtro es un circuito RC (figura 3.19) donde C es el capacitor colocado entre la salida de la primera etapa y la entrada de la segunda etapa, y la resistencia R es la suma de la impedancia de salida de la primera etapa y la impedancia de entrada de la segunda etapa.



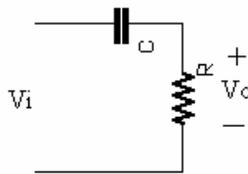
**Figura 3.19. Circuito equivalente tercer filtro**

Como se observa en la figura 3.20 la frecuencia central del filtro es aproximadamente 40kHz que es la misma frecuencia a la que trabajan los sensores ultrasónicos.



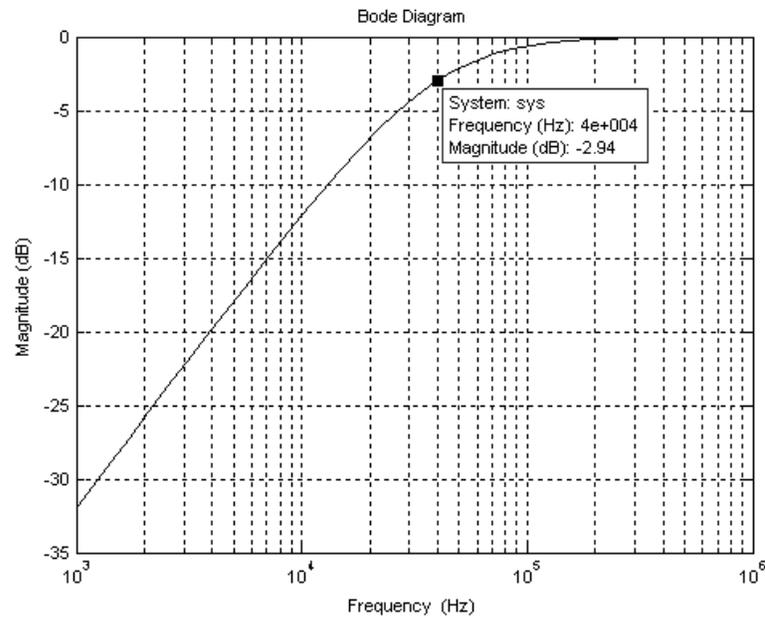
**Figura 3.20. Respuesta en frecuencia tercer filtro**

El cuarto filtro del amplificador corresponde al capacitor colocado entre la salida de la segunda etapa y la entrada de la tercera etapa el mismo que es un filtro pasa altos con frecuencia natural 40kHz. El circuito equivalente para el filtro es un circuito RC (figura 3.21) donde C es el capacitor colocado entre la salida de la segunda etapa y la entrada de la tercera etapa, y la resistencia R es la suma de la impedancia de salida de la segunda etapa y la impedancia de entrada de la tercera etapa.



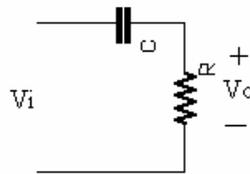
**Figura 3.21. Circuito equivalente cuarto filtro**

Como se observa en la figura 3.22 la frecuencia central del filtro es aproximadamente 40kHz que es la misma frecuencia a la que trabajan los sensores ultrasónicos.



**Figura 3.22. Respuesta en frecuencia cuarto filtro**

El quinto filtro del amplificador corresponde al capacitor colocado entre la salida de la tercera etapa y la entrada del comparador el mismo que es un filtro pasa altos con frecuencia natural 40kHz. El circuito equivalente para el filtro es un circuito RC (figura 3.23) donde C es el capacitor colocado entre la salida de la tercera etapa y el comparador, y la resistencia R es la suma de la impedancia de salida de la tercera etapa y la impedancia de entrada del comparador.



**Figura 3.23. Circuito equivalente quinto filtro**

Como se observa en la figura 3.24 la frecuencia central del filtro es aproximadamente 40kHz que es la misma frecuencia a la que trabajan los sensores ultrasónicos.

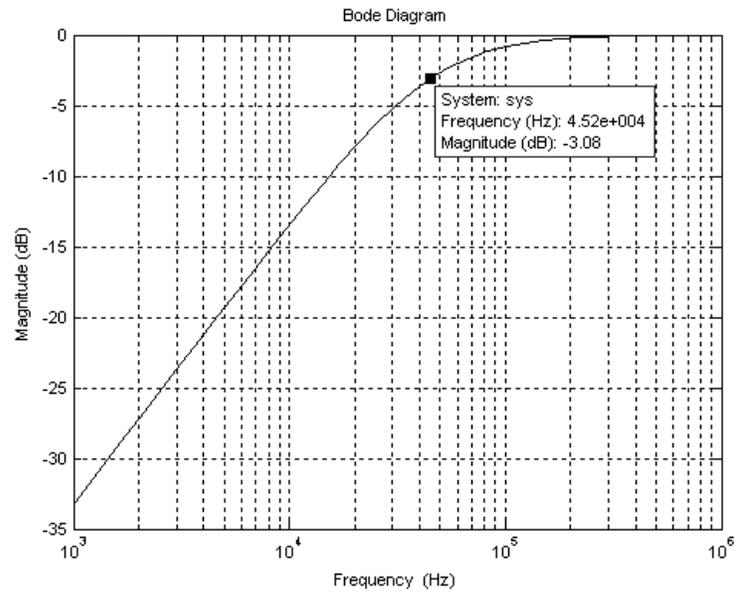


Figura 3.24. Respuesta en frecuencia quinto filtro

La respuesta en frecuencia total del filtro pasa banda del amplificador. Corresponde a todas las funciones de transferencia de los filtros individuales en cascada. Como se observa en la figura 3.25 la respuesta del filtro del amplificador corresponde a un filtro pasa altos de 80dB/dec y un filtro pasa bajos de 20dB/dec ambos con frecuencia natural de 40kHz.

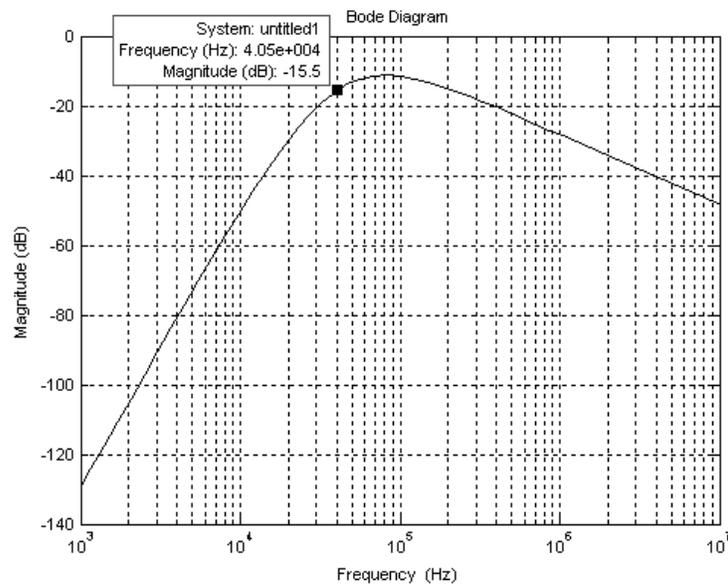


Figura 3.25. Respuesta en frecuencia filtro amplificador en dB

En la figura 3.26 se muestra la respuesta del filtro en ganancia absoluta para apreciar de mejor manera la acción del filtro pasabanda.

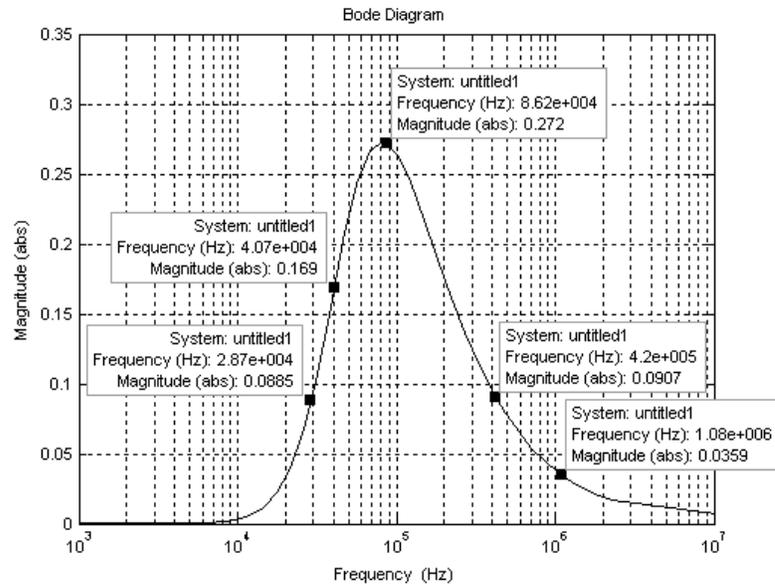


Figura 3.26. Respuesta en frecuencia filtro amplificador ganancia absoluta

Finalmente se puede decir que el sistema consta de dos filtros principales en cascada el filtro del circuito resonante y el del amplificador. En la figura 3.27 se presenta la respuesta en frecuencia del circuito resonante.

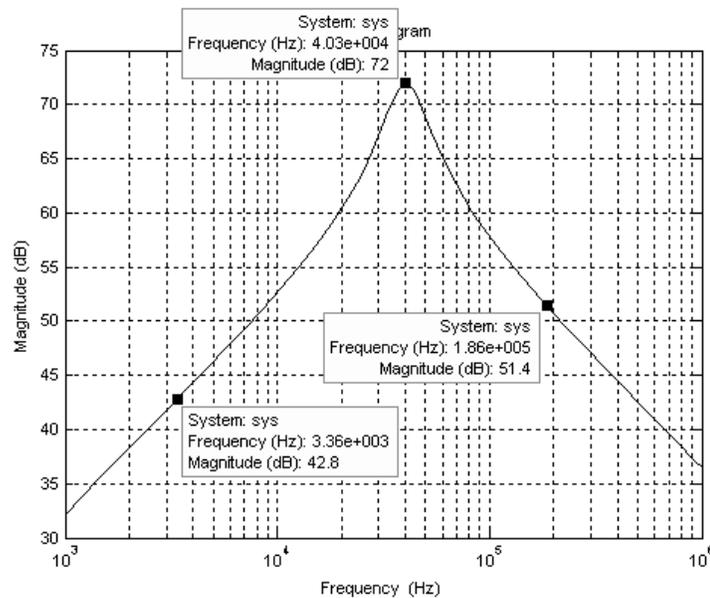


Figura 3.27. Respuesta en frecuencia circuito resonante

En la figura 3.28 se muestra la respuesta del circuito resonante en ganancia absoluta para apreciar de mejor manera la acción del filtro.

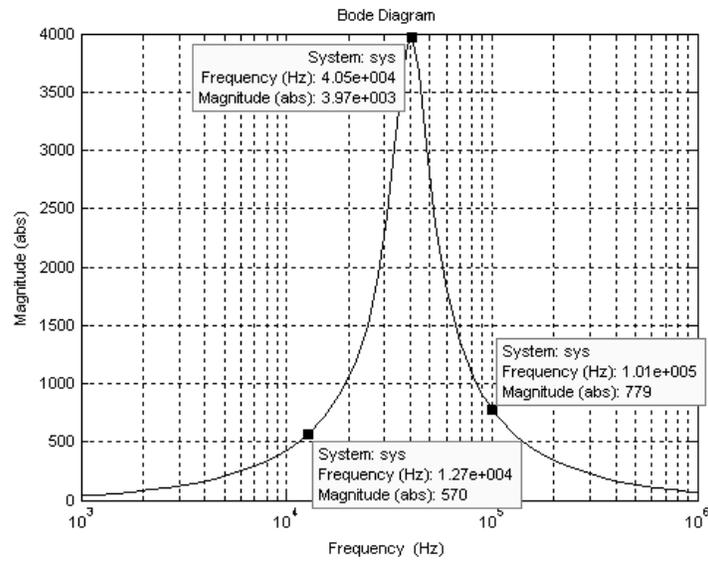


Figura 3.28. Respuesta en frecuencia circuito resonante en ganancia absoluta

Entonces la respuesta total del sistema en el dominio de la frecuencia es la descrita en la figura 3.29.

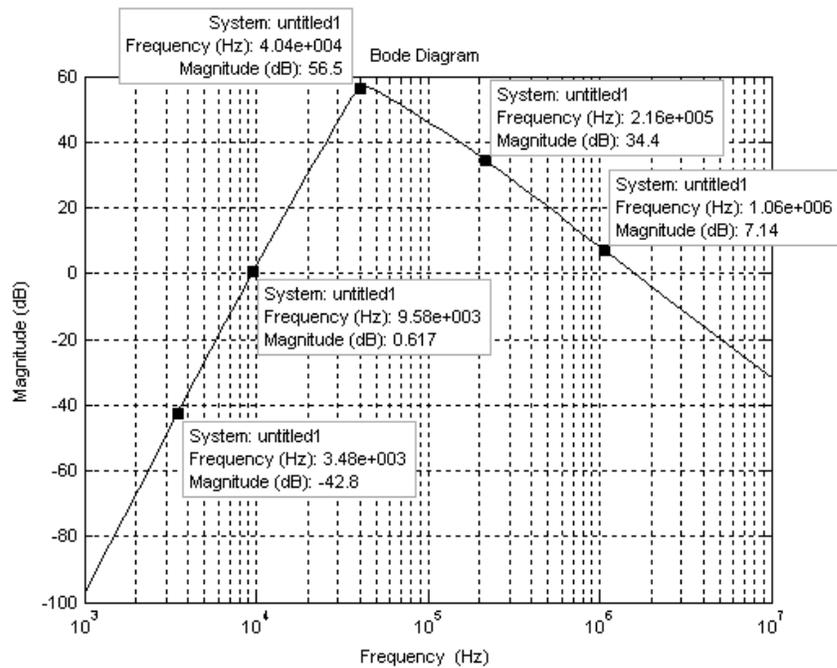


Figura 3.29. Respuesta total del sistema en dB

Para ilustrar mejor la ganancia real del sistema producida por los filtros se presenta la respuesta en frecuencia con ganancia absoluta en la figura 3.30.

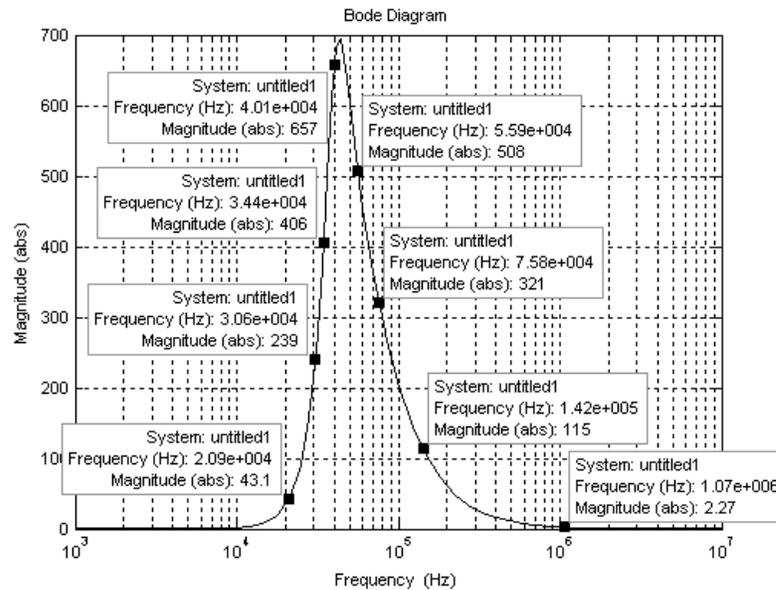


Figura 3.30. Respuesta total del sistema en ganancia absoluta

La tabla 3.3 muestra una comparación de la señal de eco amplificada a diferentes frecuencias

Tabla 3.3 Ganancia absoluta del filtro del sistema

| Frecuencia     | Ganancia Absoluta | Señal de eco               | Señal amplificada por el filtro |
|----------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 20.9kHz        | 43.1              | 12 $\mu$ V                 | 517 $\mu$ V                     |
| 30.3kHz        | 239               | 12 $\mu$ V                 | 2.8mV                           |
| 30.44kHz       | 406               | 12 $\mu$ V                 | 4.8mV                           |
| <b>40.1kHz</b> | <b>657</b>        | <b>12<math>\mu</math>V</b> | <b>7.9mV</b>                    |
| 55.9kHz        | 508               | 12 $\mu$ V                 | 6mV                             |
| 75.8kHz        | 321               | 12 $\mu$ V                 | 3.8mV                           |
| 142kHz         | 115               | 12 $\mu$ V                 | 1.3mV                           |
| 1.07MHz        | 2.27              | 12 $\mu$ V                 | 27.24 $\mu$ V                   |

**Simulación del circuito amplificador.** Con el fin de tener una percepción más acertada del comportamiento real del amplificador es necesaria una simulación para poder establecer la viabilidad de la implementación. En la figura 3.31 se muestra la entrada o señal de eco para la simulación.

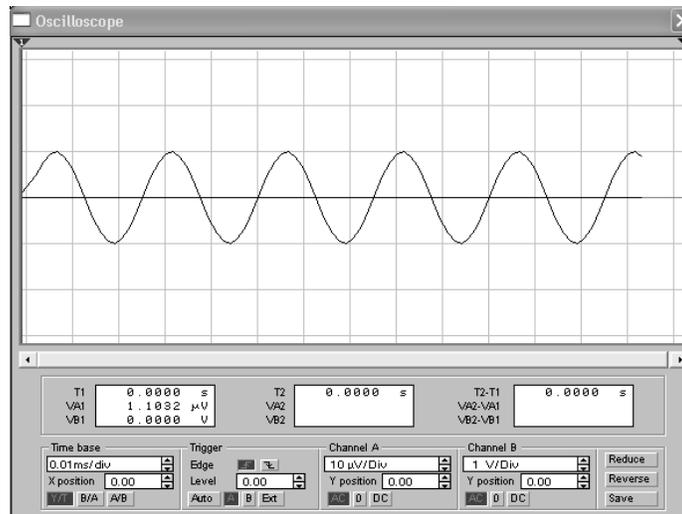


Figura 3.31. Entrada simulación

En la figura 3.32 se muestra la salida o señal amplificada de la simulación, en la que se observa que la señal amplificada tiene un valor aproximado de 1.8V de amplitud mientras que la señal de entrada era de  $12\mu\text{V}$  de amplitud. Por lo tanto esta señal ya puede ser comparada para su próximo procesamiento.

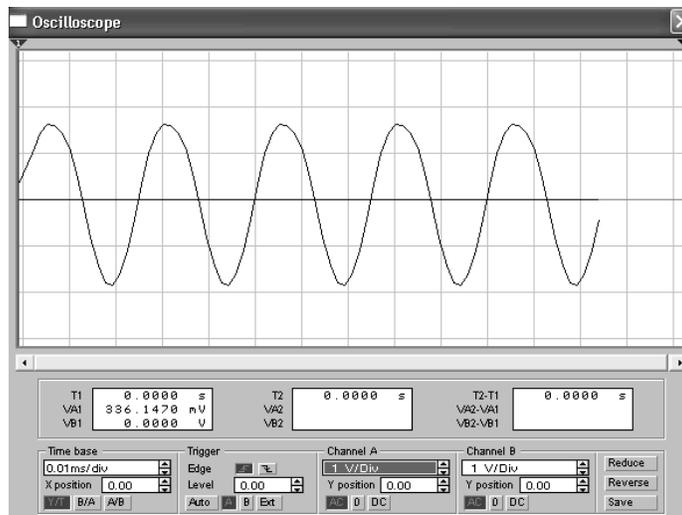


Figura 3.32. Salida simulación

**3.3.5 Comparador.** En esta etapa es muy importante el nivel de comparación, en este caso el nivel que se tomó es de 1.47V debido a que la señal de salida real del amplificador es una señal de amplitud 2.3V aproximadamente. Además porque las señales ultrasónicas

menores a 38kHz y mayores a 50kHz se presentan con una amplitud menor a los 1.2V. Entonces todas las señales que se han amplificado sobre 1.47V serán tomadas como objetos detectados.

El la Figura 3.33 se muestra el circuito del comparador que se encarga de llevar las señales amplificadas a nivel TTL.

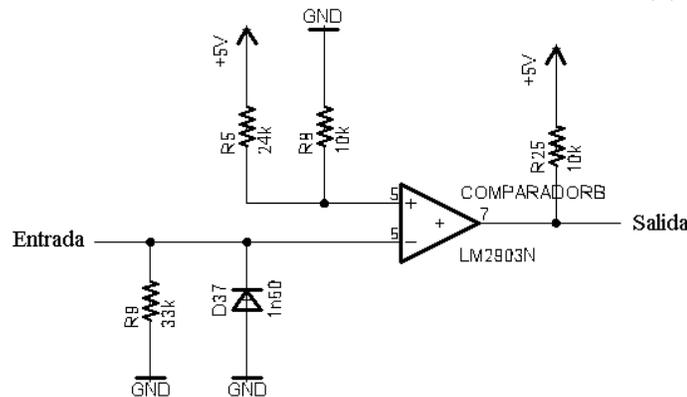


Figura 3.33. Circuito comparador

**3.3.6 Display.** Con el fin de presentar de una mejor manera la distancia medida por el dispositivo se decidió utilizar un display de 3 dígitos (figura 3.34) porque el rango de distancia a medir está entre los 0.24m y 1.1m, y la resolución de los sensores es de 1cm, por lo tanto, un display de tres dígitos nos ayuda a visualizar el rango completo en metros con dos decimales.



Figura 3.34. Display

El circuito del display consta de cuatro CI latch de 8 bits con entrada serial y salida paralela en cascada. Las salidas de los latch están conectadas a 3 displays de 7 segmentos y 4 leds de colores a cada lado, además el display tiene incorporada una bocina o chicharra.

**Displays de 7 segmentos y leds.** Los displays de 7 segmentos y los leds (figura 3.35) forman una cadena de 32 datos que se deben enviar de manera serial cada vez que se quiera presentar una distancia en el display.

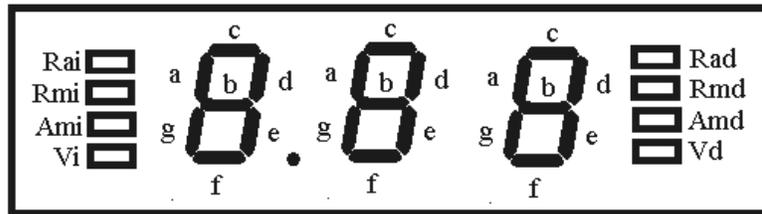


Figura 3.35. Distribución de datos en el display

La tabla 3.4 muestra la descripción de los leds del display.

Tabla 3.4 Ganancia absoluta del filtro del sistema

| Nombre | Descripción           |
|--------|-----------------------|
| Vi     | Verde izquierda       |
| Ami    | Amarillo izquierda    |
| Rmi    | Rojo mitad izquierda  |
| Rai    | Rojo arriba izquierda |
| Vd     | Verde derecha         |
| Amd    | Amarillo derecha      |
| Rmd    | Rojo mitad derecha    |
| Rad    | Rojo arriba derecha   |

La cadena de 32 datos es la siguiente: **Vd-Amd-Rmd-Rad-Vi-Ami-Rmi-Rai-g-g-f-e-d-c-b-a-g-g-f-e-d-c-b-a-g-g-f-e-d-c-b-a**, siendo los datos de los siete segmentos enviados desde las unidades hasta las centenas.

El display consta de 3 pines de control **CP**, **SP** y **D**, y dos de alimentación **Vcc** y **tierra**.

**SP.** El pin SP es el encargado de controlar la señal de la bocina esta señal se analizará de mejor manera en el apartado 3.1.7

**CP.** El pin CP es el reloj de los latches que pasara los datos en forma serial con cada flanco negativo de CP (figura 3.36). La señal de CP es una señal que debe variar entre cero y 5 voltios por lo que para su control se escogió una configuración simple de transistores en antiparalelo en saturación.

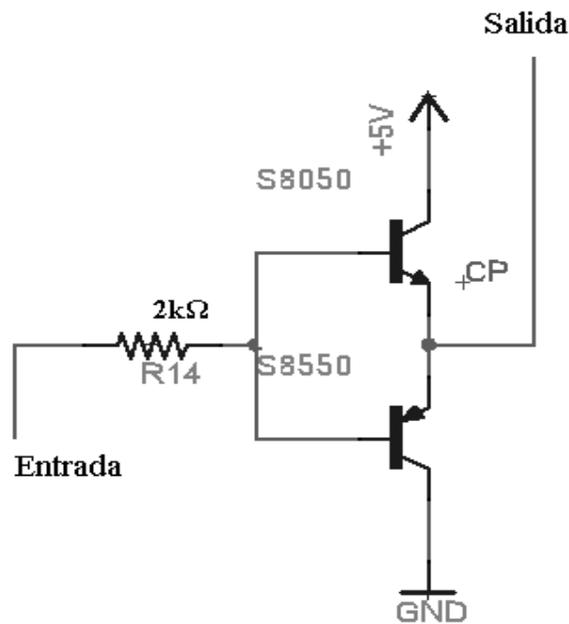


Figura 3.36. Control de CP

**D.** Es el dato que entrará a los leds o segmentos correspondientemente y debe ser enviado antes que el reloj CP haga su flanco negativo (figura 3.37). La señal **D** es una señal que debe variar entre cero y 5 voltios por lo que para su control se escogió una configuración simple de transistores en antiparalelo en saturación.

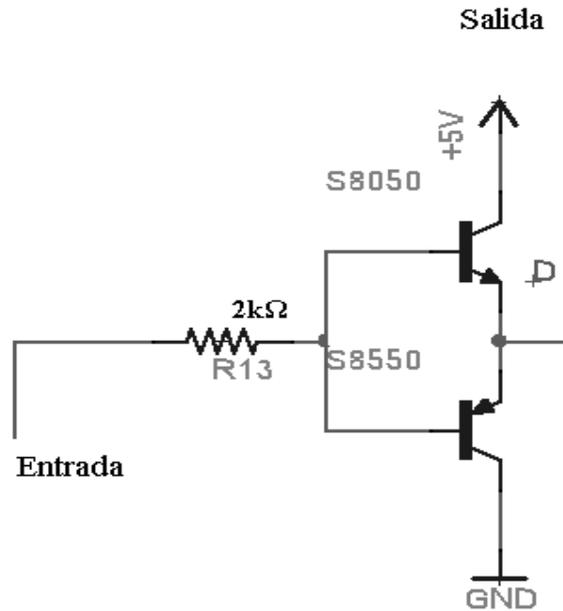


Figura 3.37. Control de D

**3.3.7 Bocina.** Además del display se vio la necesidad de una alerta sonora que ayude a visualizar la distancia medida. Esta bocina o chicharra esta incorporada en el display para mayor funcionalidad del dispositivo.

Para la señal de la bocina del dispositivo se escogieron 2 frecuencias audibles (**5Hz** y **0.5Hz**), la primera de **5Hz** para las distancias entre **40cm** y **80cm**, y la de **0.5Hz** para las distancias comprendidas entre **81cm** y **110cm**. Por último se escogió una **señal continua** para las distancias **menores a 40cm** por ser una zona de cuidado o peligro.

La señal sonora de la bocina se controla por medio de la señal **SP** (figura 3.38) del display. Esta señal debe variar entre cero voltios y circuito abierto por lo que se escogió una configuración en corte y saturación en cascada.

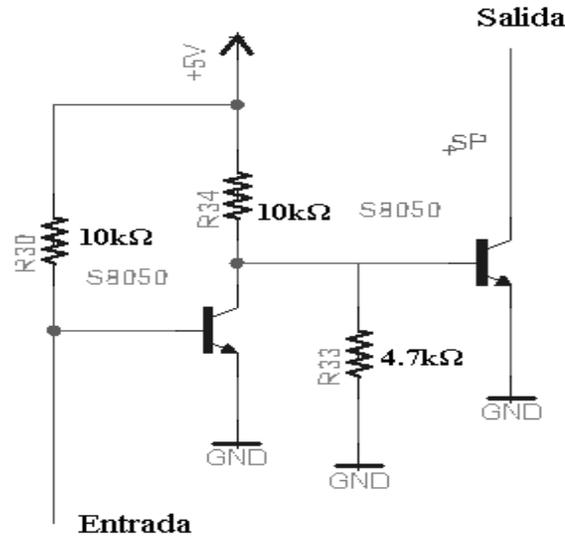


Figura 3.38. Control de SP

La señal de entrada del circuito controlador de SP deberá estar en lógica inversa debido a que La señal de la bocina se activa en cero.

**3.3.8 PIC16F877.** Para el procesamiento de las señales se escogió el PIC16F877 (figura 3.39) por su versatilidad, cantidad de puertos y especialmente por su modo de captura de flancos y temporizadores.

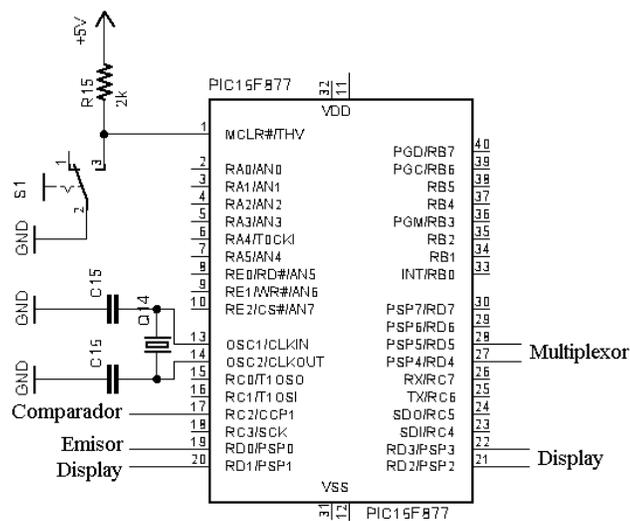


Figura 3.39. Controlador

Se han utilizado 7 puertos del controlador para el manejo de todas las señales de entrada y salida del sistema (figura 3.39). La señal RC2 corresponde a una entrada que funciona en modo de captura de flancos, por esta entrada se reciben las señales de eco producidas por los objetos detectados, además del modo captura se utiliza un timer para medir el tiempo que se demora en llegar el eco. La señal RD0 corresponde a una salida de frecuencia 40kHz que es enviada hacia el circuito emisor el cual a su vez envía la señal a los sensores ultrasónicos. Las señales RD1, RD2 y RD3 son las señales de control del display y bocina. Las señales RD4 y RD5 son las señales de control del multiplexor.

## **CAPUTILO 4**

### **SOFTWARE**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos es de vital importancia la implementación de un programa que instruya al PIC16F877 la manera de procesar las señales de entrada y salida. Para realizar el programa del PIC se utilizó el software Micro Code Studio que es un compilador bastante simple que trabaja con instrucciones similares a Visual Basic.

#### **4.2 LOGICA**

El programa consiste de tres partes principales que son la emisión de señal, la detección de eco y la presentación en el display. Primero se envía un tren de pulsos a 40kHz hacia el sensor “a” (figura 4.1), luego se espera un tiempo prudente hasta que se termine la resonancia en el circuito resonante y se activa el modo de captura de pulsos por un tiempo límite.

Si se llega a capturar una señal se realiza una conversión del tiempo que se demoró en detectar la señal a distancia en centímetros. Esta distancia se guarda y se compara con la distancia anterior detectada (si es la primera vez la distancia anterior es 120cm) y si es menor se toma esta distancia como la distancia al objeto mas cercano al vehículo. Si la distancia detectada es mayor a la distancia anterior detectada la distancia al objeto más cercano al vehículo es la distancia anterior.

En el caso de que no se detecte ningún objeto se espera un tiempo límite, se enceran las variables y se vuelve a enviar los pulsos y repetir el proceso anterior.

En el caso de que exista una distancia detectada, se realiza una conversión del número de la distancia en centímetros a unidades, decenas y centenas. Esto es necesario porque posteriormente se deberá enviar los datos al display un dígito a la vez. Además, se realiza una comparación de la distancia con tres zonas que son: <40, entre 41 y 80, y entre 80 y 110cm. Dependiendo de en que zona se encuentre el objeto se enviará frecuencias diferentes a la bocina y en el caso de distancias mayores a 110cm no se enviará ninguna señal a la bocina.

En este punto se realiza una codificación de cada dígito para transformarlos en segmentos del display. Entonces se envían los dígitos codificados de uno en uno al display, se envía el sonido a la bocina y al final se enceran la variables y se repite todo el proceso total desde el principio.

Todo este programa se repite en cada sensor a intervalos de 40ms y la distancia que se presentará en el display será la distancia menor detectada entre los cuatro sensores.

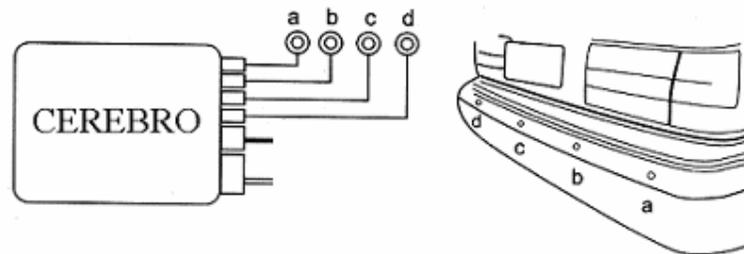


Figura 4.1. Distribución de los sensores

### 4.3 DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se presenta el diagrama de flujo correspondiente al programa del PIC16F877 (figura 4.2).

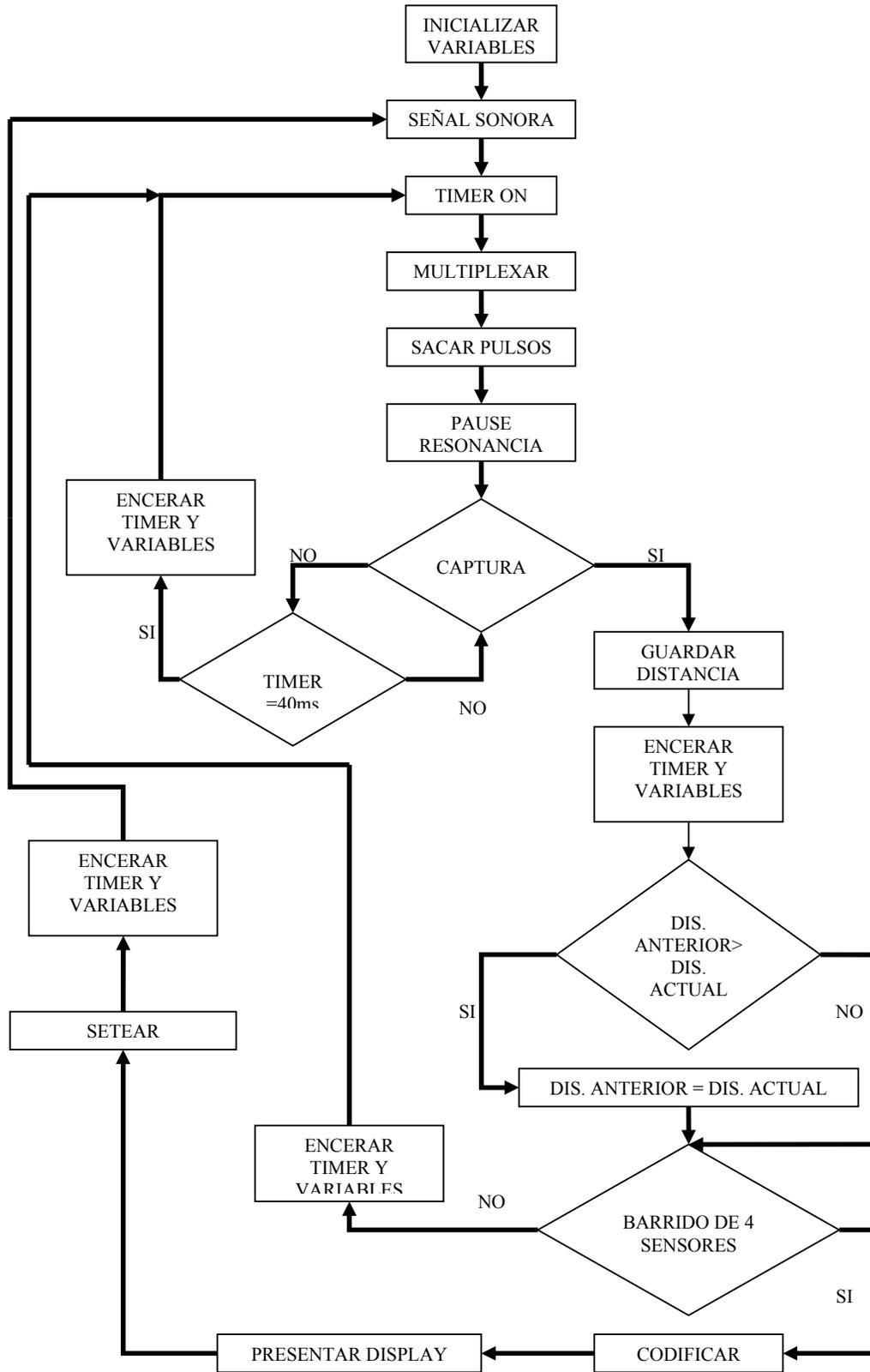


Figura 4.2. Diagrama de flujo

**4.3.1. Descripción de las variables a ser utilizadas en el programa.** Para poder aplicar la lógica del programa (Anexo 1) se necesita un conjunto de variables que permitan desarrollar los procedimientos descritos en el diagrama de flujo.

1. **contador:** se encarga de contar el número de pulsos a enviar al emisor.
2. **amux y bmux:** variables de control del multiplexor.
3. **dis4:** distancia capturada con 4 pulsos.
4. **dis20:** distancia capturada con 20 pulsos.
5. **aux1:** auxiliar para comparación de distancia.
6. **dis:** distancia a imprimir en el display.
7. **i:** auxiliar para los ciclos for.
8. **npul:** número de pulsos de salida.
9. **sonido:** guarda el tiempo que va a sonar o silenciar la bocina.
10. **digito:** define el dígito a presentar en el display.
11. **a, b, c, d, e, f y g:** segmentos del display.
12. **vd, rad, rmd, vi, rai, rmi, ami y amd:** leds del display.
13. **alto y bajo:** auxiliares para guardar el valor del timer.
14. **centena:** tercer dígito de la distancia a presentar en el display.
15. **decena:** segundo dígito de la distancia a presentar en el display.

**16. unidad:** primer dígito de la distancia a presentar en el display.

**17. aux:** auxiliar que guarda la decena centena o unidad.

**4.3.2. Descripción del diagrama de flujo.** A continuación se describen los pasos principales en el desarrollo del programa (Anexo 1) de acuerdo al diagrama de flujo.

1. Inicializar los valores de las variables para definir las condiciones iniciales de manejo del sistema.
2. Sacar la señal sonora por la salida RD3, en la situación inicial esta señal será nula para no emitir ningún sonido.
3. Iniciar el conteo del temporizador.
4. Enviar las señales de multiplexación amux y bmux a las salidas RD4 y RD5 respectivamente para definir a que sensor se dirigirá la señal de 40kHz posteriormente.
5. Sacar los pulsos de 40kHz por la salida RD0.
6. Esperar  $1577\mu\text{s}$ , que es el tiempo de resonancia del circuito resonante conformado por el sensor y la bobina.
7. Encender el modo captura de pulsos en el puerto RC2.
8. Si no captura: se lee el tiempo de cuenta del timer, y si este tiempo es igual a 40ms se vuelve a encender todas las variables, el timer y se vuelve al paso 3. Si el tiempo de cuenta es menor a 40ms se sigue esperando capturar pulsos.  
Si captura: Se guarda la distancia en la variable dis.
9. Encender el timer y las variables nuevamente.

10. Comparar la distancia guardada con la distancia anterior guardada y si la distancia actual es menor a la anterior, la distancia actual pasa a ser la distancia anterior, caso contrario la distancia anterior queda igual.
  
11. Verificar si ya se ha realizado la multiplexación para los cuatro sensores. Si no se ha realizado se enceran las variables y se vuelve al paso 3. Si ya se ha realizado la multiplexación se prosigue al paso 12.
  
12. Codificar la distancia en segmentos y leds a través de las variables a,b,c,d,e,f,g, vd, rad, rmd, vi, rai, rmi, ami y amd.
  
13. Enviar los segmentos y leds al display por medio de los puertos RD1 y RD2.
  
14. Setear el valor de la frecuencia a ser enviada a la bocina según el valor de la distancia enviada al display.
  
15. Encerar timer y variables y regresar al paso 2.

## CAPITULO 5

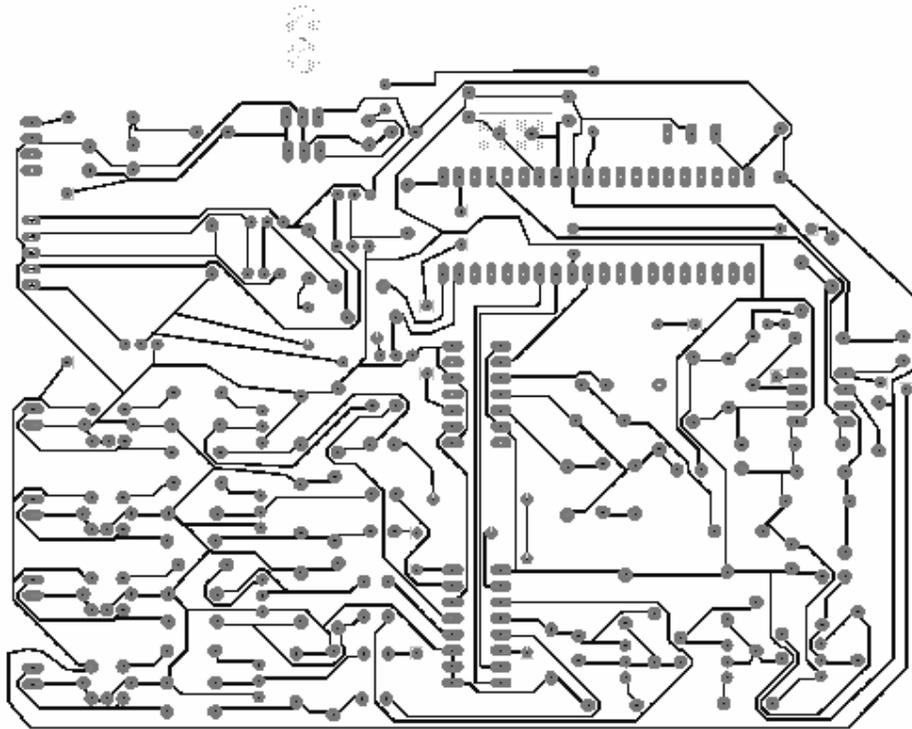
### IMPLEMENTACION

#### 5.1 IMPRESIÓN DEL CIRCUITO

El archivo PDB se realizó en el programa Eagle CAD versión 4.11, es un programa muy simple parecido a orcad que permite pasar de manera rápida del schematic o diagrama eléctrico al circuito impreso. Las consideraciones más importantes en el desarrollo de un circuito impreso son:

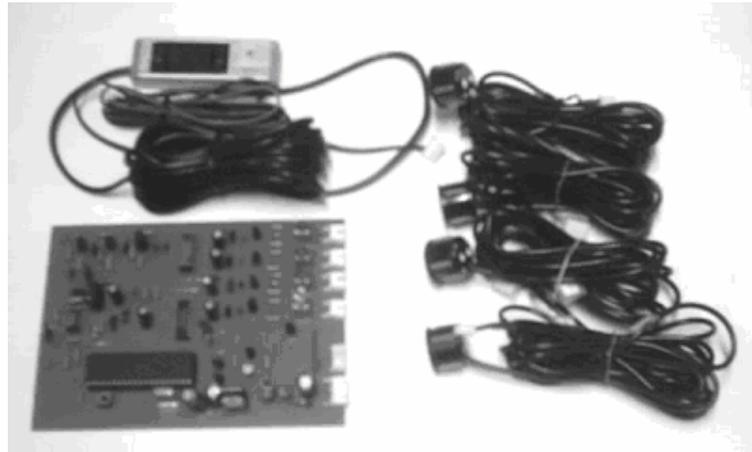
- 1. La distancia entre pistas.** Este valor esta definido principalmente por el fabricante porque la distancia mínima depende de la maquina que fabrica la placa en este caso fue de 10 milésimas de pulgada.
- 2. El ancho de las pistas.** El ancho de las pistas también esta definido por el fabricante y este caso fue de 16 milésimas de pulgada.
- 3. Distribución de los elementos.** Esto es muy importante en el diseño de la placa ya que la distribución de los elementos puede afectar el funcionamiento de la misma, debido a la interferencia de frecuencia o al campo eléctrico y magnético producido especialmente por los elementos analógicos en este caso las bobinas. La manera de minimizar este riesgo es de colocar las bobinas lo más lejos posible del PIC y del cristal especialmente.

La figura 5.1 contiene las pistas del circuito impreso utilizado en el presente proyecto.



**Figura 5.1. Circuito impreso**

La figura 5.2 contiene un gráfico del sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos.



**Figura 5.2. Sistema completo**

## 5.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA

A continuación se describirá todos los pasos necesarios para una instalación apropiada del sistema en un vehículo.

### 5.2.1 Instalación de los sensores.

1. La altura ideal para el montaje de los sensores esta entre 0.6m y 0.8m y deben ser colocados en la parte donde el guarda choque es perpendicular a la tierra (figura 5.3). Con esto se consigue que los sensores no detecten la distancia a la tierra como un objeto cercano. En el caso en el que el guarda choque no sea perpendicular a la tierra se deben utilizar espaciadores.

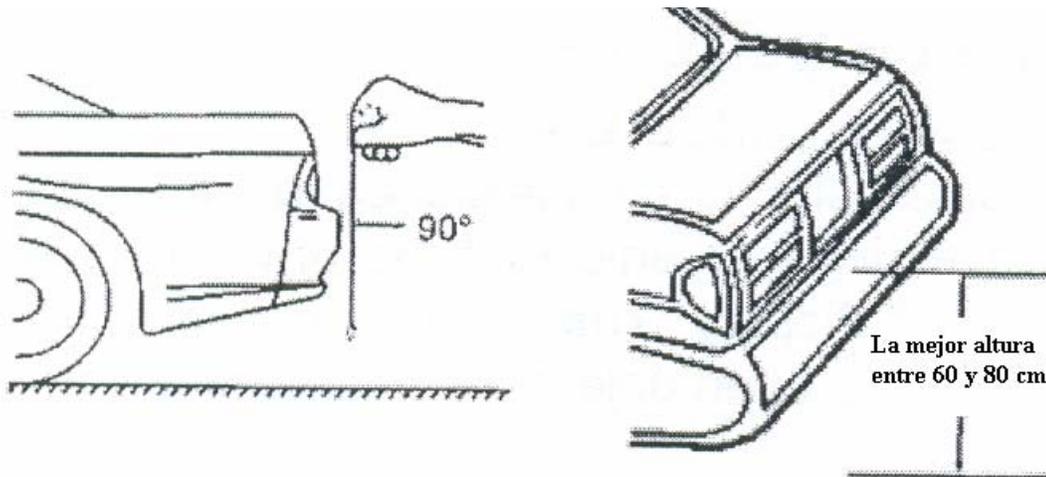


Figura 5.3. Posición de los sensores

2. La distancia entre sensores debe estar entre los 45cm y 50cm, esto se debe a que un mayor espaciamiento causa que aparezca una franja no detectable entre los sensores y un espaciamiento menor una menor cobertura del guarda choque. La distancia y el número de sensores está relacionado especialmente con el ancho estándar de un vehículo común (**160cm a 170cm**), los dos sensores laterales se deben colocar a una distancia de 10cm del final del guarda choque.

3. No se debe cortar, perforar, extender o someter a presión los cables de los sensores porque puede interrumpirse la comunicación o crear interferencia.

### **5.2.2 Montaje de los sensores.**

1. Antes de montar los sensores se debe conectar todos los componentes en su sitio y aplicar 12V DC para verificar que el sistema funcione.
2. Taladrar 4 huecos de 20mm de diámetro y luego insertar los sensores y presionar verificando que calcen bien. En caso de que el guarda choque sea inclinado hacia abajo o arriba se deben utilizar espaciadores para conseguir que el sensor quede perpendicular al piso.
3. Para evitar dañar el guarda choque innecesariamente verificar que no existan objetos en la parte de atrás del mismo que puedan obstruir el montaje de los sensores.

### **5.2.3 Colocación del cerebro, Display y Bocina.**

1. Encontrar una posición protegida y a prueba de agua en la cajuela del vehículo para colocar el cerebro.
2. Pasar el cable del display y bocina desde el cerebro al tablero principal y encontrar una posición adecuada donde siempre sea visible.

### **5.2.4 Consideraciones adicionales.**

1. Asegurar que los sensores y las demás partes se encuentren en la posición correcta (figura 5.4).

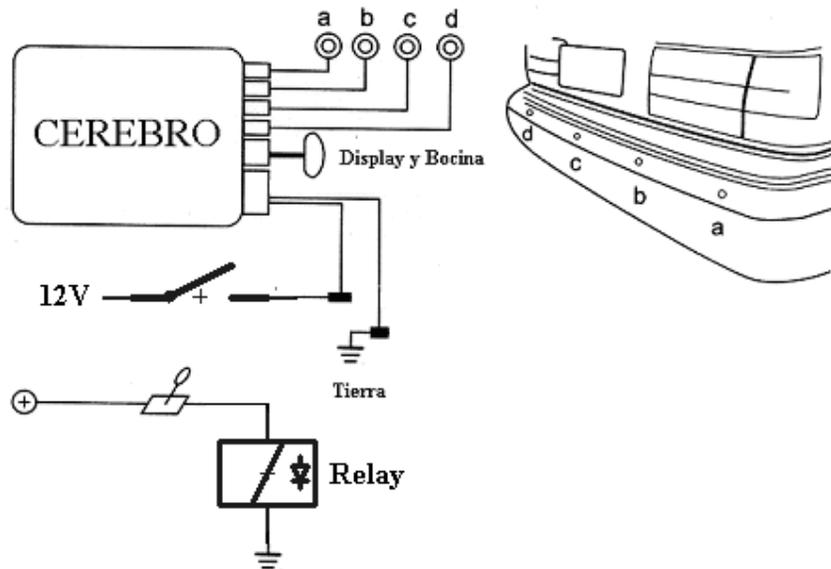


Figura 5.4. Distribución de las partes

2. Identificar los cables de poder y tierra de la luz de retro y un cable de poder de 12V de la batería.
3. Conectar el relé a los cables de poder y tierra de la luz de retro.
4. Conectar el un extremo del contacto normalmente abierto a la fuente de 12V de la batería y el otro extremo al cable rojo del conector de 4 pines.
5. Conectar el cable negro del conector de cuatro pines a tierra.
6. El sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos solo funcionara cuando la palanca de cambios este en la posición de retro.

## CAPÍTULO 6

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 6.1 SEÑAL ULTRASÓNICA

Se decidió utilizar una señal ultrasónica de frecuencia 40kHz, debido a que esta es la frecuencia a la que los sensores transmiten la máxima potencia. También se observó que mientras más pulsos se envíen consecutivamente, el eco de la señal es más fuerte. Para el propósito del proyecto se tomaron 2 trenes de pulsos para dos zonas de distancia. El primero de cuatro pulsos servirá para detectar objetos en la zona de 20cm a 40cm y el segundo tren de 20 pulsos servirá para detectar objetos en la zona de distancia mayor a 40cm. En la figura 6.1 se muestra la señal de cuatro pulsos enviada, la señal resonancia del circuito RLC y el eco de un objeto detectado.

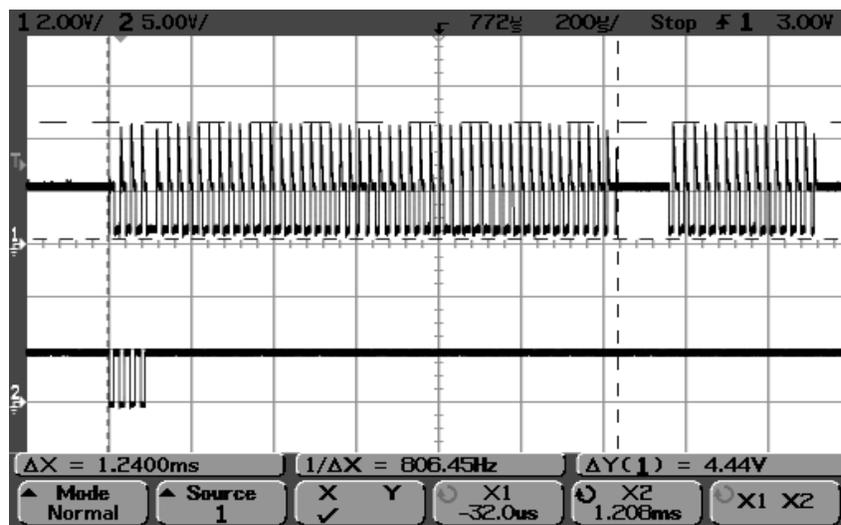


Figura 6.1. Señal de 4 pulsos enviada, resonancia y eco

En la figura 6.2 se muestra la señal de veinte pulsos enviada, la señal resonancia del circuito RLC y el eco de un objeto detectado.

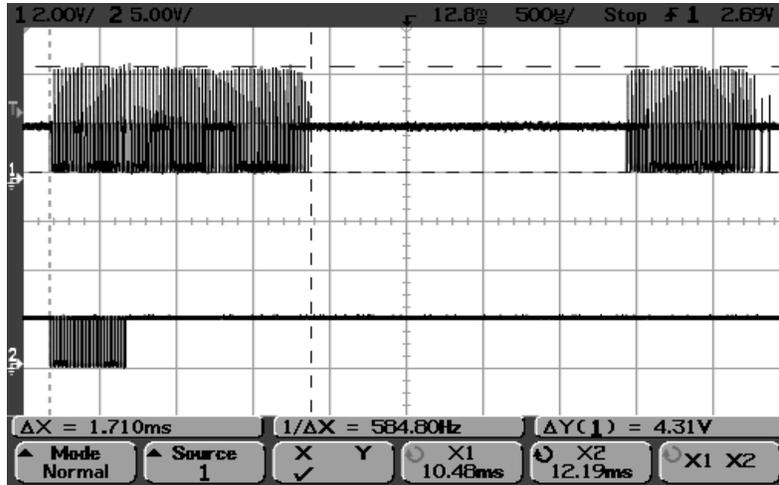


Figura 6.2. Señal de 20 pulsos enviada, resonancia y eco

Otro factor que influye en la potencia de la señal enviada es el voltaje. La mayoría de vehículos funcionan con señales de 12V, especialmente las luces de retro que son las que activarán el dispositivo. Entonces, se vio la necesidad de utilizar un transformador para aumentar esta señal a 50V ya que la señal de 12V nos permite medir distancias muy pequeñas. En la figura 6.3 se muestra la señal de salida y la señal amplificada por el transformador.

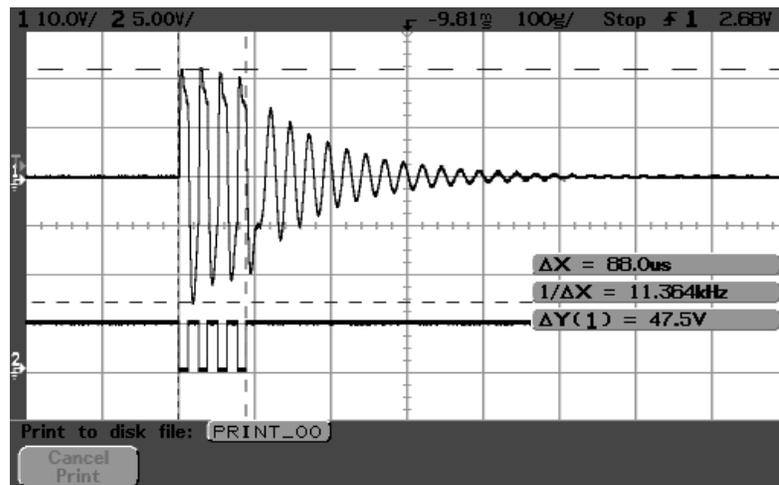


Figura 6.3. Señal de salida ultrasónica TTL y analoga

Se realizaron varias pruebas con señales en el espectro de sonido audible (música, instrumentos musicales, voz humana, ruido de ambiente, etc.) para verificar interferencias en la señal ultrasónica, pero no se encontraron alteraciones en la señal especialmente debido al filtrado que se realiza en el amplificador y a la resonancia que existe entre la bobina y el sensor. En la figura 6.4 se muestra la señal detectada de un objeto con ruido en el espectro audible.

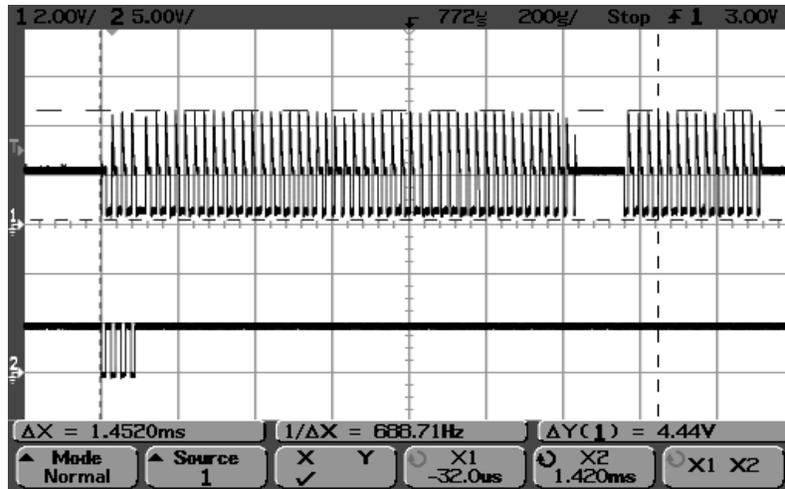


Figura 6.4. Señal recibida con sonido de guitarra, vos humana, ruido de ambiente y música, etc

Las únicas señales que presentaron interferencia son las de los mismos sensores, por lo que se tuvo que hacer un barrido de sensores, de tal manera que solo un sensor emita señal a la vez, luego de emitir la señal se espera un tiempo de detección y un tiempo que evite que un sensor recoja el eco de las señales enviadas por otros sensores.

## 6.2 DETECCIÓN DE OBJETOS

Debido a la posición, ángulo o tamaño o material de los objetos la señal reflejada puede no llegar al sensor. A continuación se presentan algunos ejemplos de los objetos en general que pueden o no ser detectados por el sistema.

**6.2.1 Objetos tirados en el suelo.** Los objetos pequeños que estén acostados en el suelo como: rocas, troncos, veredas muy bajas, etc. Pueden ser no detectados si se encuentran muy cerca (figura 6.5).

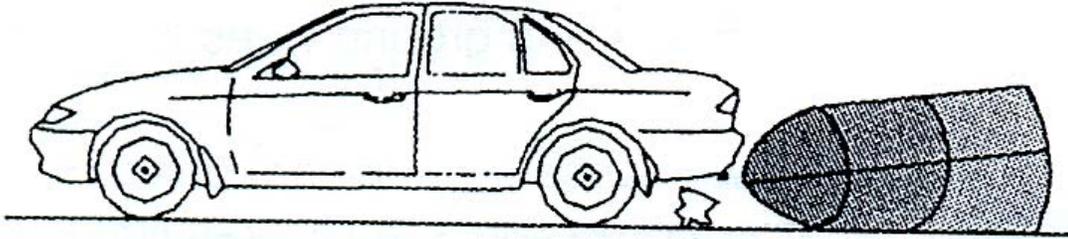


Figura 6.5. Objetos tirados en el suelo

**6.2.2 Objetos detrás del vehículo.** Los objetos que se encuentren por encima del nivel del sensor más 60cm aproximadamente no serán detectados por el sistema. En la figura 6.6 los objetos que se encuentren en las áreas **B** y **C** serán detectados y los que se encuentren en el área **A** pueden no ser detectados.

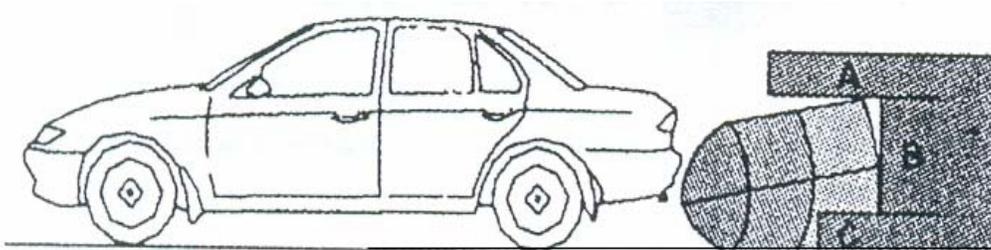


Figura 6.6. Objetos detrás del vehículo

**6.2.3 Objetos a diferentes distancias.** En la figura 6.7 la distancia **A** será presentada en el display en vez de la distancia **B** por ser la más cercana al vehículo. Pero los sensores pueden no detectar la distancia **A** si el objeto entra en la zona ciega del sensor.

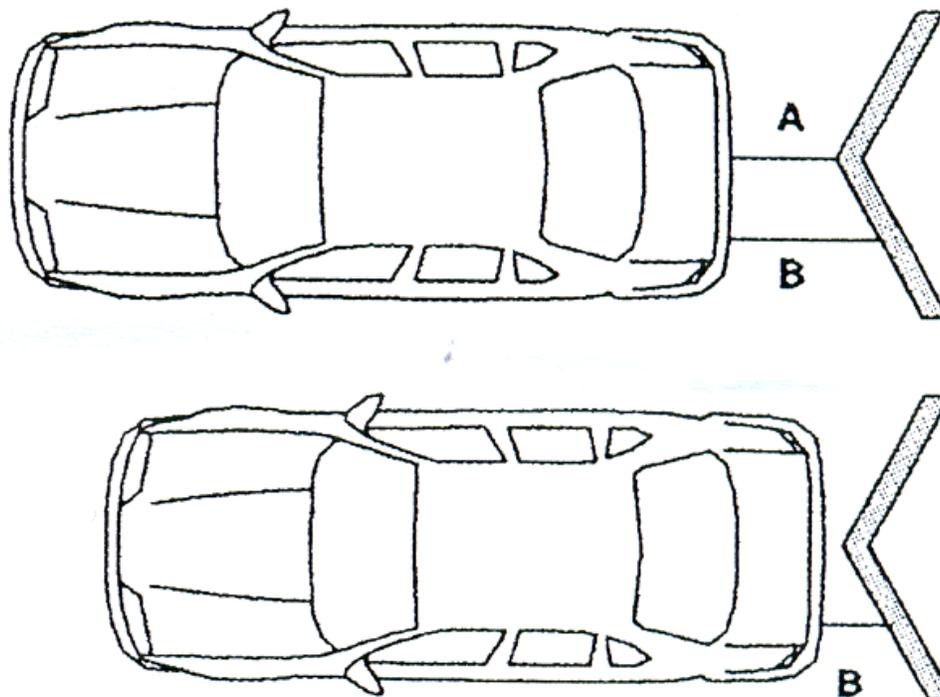


Figura 6.7. Objetos a diferentes distancias

**6.2.4 Superficies suaves o casi paralelas al vehículo.** Cuando el vehículo se acerca a un muro de vidrio o cualquier otra superficie suave casi paralela al vehículo es muy posible que esta no sea detectada. También los objetos muy irregulares como plantas, enredaderas, mallas cercas muy finas muy posiblemente no serán detectadas (figura 6.8).

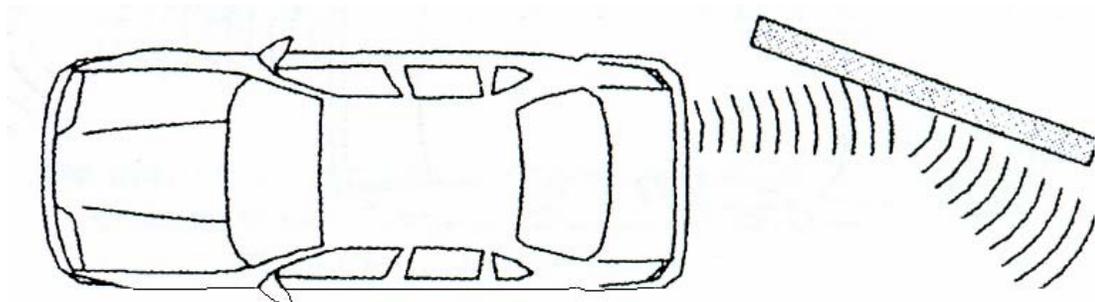


Figura 6.8. Superficies suaves o casi paralelas al vehículo

**6.2.5 Resalto o lomada y vehículo demasiado cargado.** Cuando el vehículo se aproxima a un resalto o lomada o una inclinación en la calle esta puede no ser detectada. El

retroceder con un vehículo muy cargado también puede causar falsas detecciones (figura 6.9).

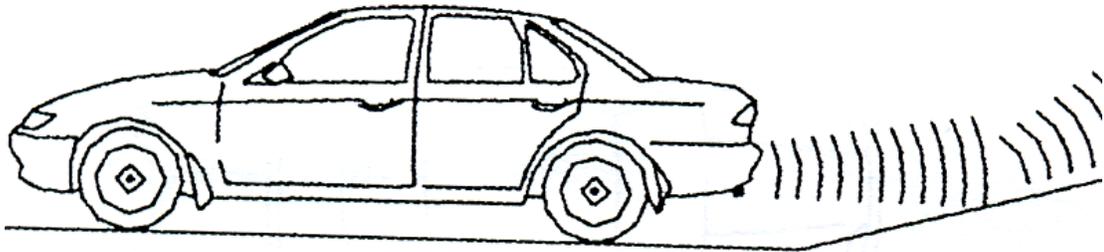


Figura 6.9. Resalto o lomada

**6.2.6 Objetos Esféricos.** Es muy poco probable que el sistema detecte un objeto esférico debido a que muy poca cantidad de la señal se refleja (figura 6.10).

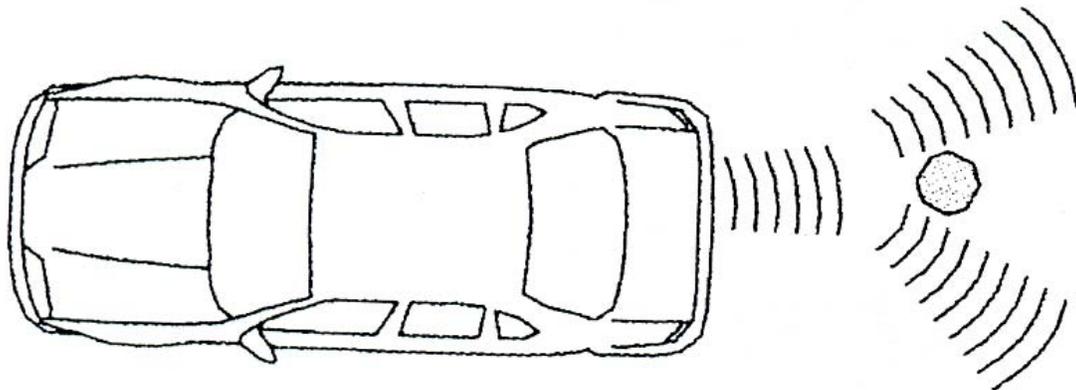


Figura 6.10. Objetos Esféricos

### 6.3 SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MÁS COMUNES

La tabla 6.1 contiene una lista de los problemas más comunes que se pueden presentar con el sistema, la causa más probable del problema y una de las posibles soluciones al mismo.

Tabla 6.1. Solución de problemas más comunes

| <b>Problema</b>   | <b>Razón</b>  | <b>Solución</b>  |
|---|---|--|
| Cuando en reversa el sistema no funciona                        | Mala conexión a la fuente de poder de reversa o a la tierra | Verificar fusibles y la conexión a los cables de poder y tierra.   |
|   | Mala conexión   | Revisar las conexiones de los sensores y display   |
| La bocina y el display señalan la misma distancia continuamente | Algún sensor esta detectando la tierra                      | Apagar el sistema y ajustar el ángulo del sensor   |
| La bocina no emite tono cuando un obstáculo es detectado        | Sensor sucio, dañado o mal colocado                         | Apagar el sistema, limpiar el sensor, verificar que el cable no se ha roto, verificar las conexiones de todos los cables y la dirección del sensor |

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- Se logró con éxito diseñar e implementar un sistema ultrasónico que durante las maniobras de parqueo ayuda al conductor a reconocer la distancia entre el vehículo y los objetos detrás del mismo.
- Se concluye que los sensores MURATA MA40MC10-1B son los más adecuados para el presente proyecto por sus características de diseño y bajo costo.
- Se llevó a cabo un análisis detallado de los objetos que detectables por el sistema, el mismo que permitirá al usuario tener una idea muy clara de las limitaciones y ventajas del sistema.
- Se realizó una implementación completa del sistema, obteniendo un sistema totalmente autónomo en un circuito impreso.
- Se logró transformar las señales ultrasónicas de eco en distancia con un error de más menos un centímetro.
- En lo que se refiere a los sensores se observa que son dispositivos muy robustos que se adaptan diversas condiciones climáticas y de temperatura con pequeños cambios en la señal. También se observa su versatilidad por la gran cantidad de objetos que pueden detectar en su rango de operación. Es muy importante destacar la idoneidad de estos sensores para el propósito del proyecto por su directividad de

100° por lo que cubren una buena área de detección y permiten reducir el número de sensores empleados.

- El cerebro así mismo es un diseño muy estable e inmune a las señales audibles y de alta frecuencia, esto permite asegurar que la detección sea solo por señales que entran a los sensores más no por interferencia externa que ingresa por el circuito. Esto convierte al sistema ultrasónico de ayuda para parqueo de vehículos en un producto comercial.
- Existen limitaciones en la detección de objetos ya sea por su forma, tamaño o posición, pero son casos muy especiales. Entonces la versatilidad del sistema es bastante alta en situaciones donde la detección de todos los objetos no es una prioridad.
- Se concluye que el sistema es eficiente por su bajo consumo de energía, aproximadamente 1W de energía pulsante que para las potencias manejadas normalmente en un vehículo es bastante bajo.
- Se concluye que la división por zonas del área a detectar permite al conductor visualizar el acercamiento paulatino del vehículo a los objetos detrás de él de una manera interactiva y que crea la menor distracción. La división más adecuada consiste en tres zonas, siendo una zona de peligro entre 20cm y 40cm, una zona de alerta y muy baja velocidad entre 40cm y 80cm, y una zona de alerta moderada y velocidad baja entre 80 y 110cm.
- El filtro realizado cumple con el propósito principal de filtrar las señales más comunes en el ambiente que son las señales audibles y las de alta frecuencia, pero a frecuencias ultrasónicas cercanas 40kHz no es muy selectivo por lo que otras fuentes de ultrasonido podrían causar interferencia. Pero como se observa en el capítulo de pruebas y resultados, el eco del ultrasonido desaparece muy rápido con la distancia por lo que las interferencias de ultrasonido no son un problema mientras no estén en el área muy cercana al vehículo.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Se debe puntualizar que el sistema es una ayuda para el parqueo de vehículos pero no reemplaza los sentidos y la habilidad humana para esta tarea, por lo que siempre debe estar por encima el criterio del conductor antes que el del sistema.
- Antes de instalar cualquier parte del equipo se debe verificar que las luces de retro funcionen y que el voltaje de alimentación sea  $12V \pm 2V$ . Entonces si la batería del vehículo esta descargada es posible que el sistema no funcione correctamente.
- Se debe retroceder el vehículo a una velocidad baja. Se debe ir reduciendo la velocidad a medida que se cambia de zona de detección.
- Siempre que se escuche un sonido constante en la bocina se debe detener el vehículo o bajar le velocidad al mínimo, porque existe un objeto a menos de 40cm del vehículo.
- Se deben realizar chequeos periódicos del estado de los sensores, ver si están limpios o si existe alguna obstrucción. Se los debe limpiar periódicamente.
- Se debe mantener todos los cables fuera de la vecindad objetos a altas temperaturas como el motor o el escape, los que pueden hacer que el sistema falle.

## BIBLIOGRAFIA

BOYLESTAD, Robert. NASHESKY, Louis, **Electrónica: Teoría de circuitos**, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, Mexico 1997, 949 páginas.

JOHNSON, David. HILBURN, John. JOHNSON, Johnny, **Análisis Básico de Circuitos Eléctricos**, Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, México 1987, 681 páginas.

WILSON, Jerry, **Física**, Segunda Edición, Editorial Prentice Hall, México 1996, 766 páginas.

COUGHLIN, Robert. DRISCOLL, Frederick, **Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales**, Quinta Edición, Editorial Prentice Hall, México 1999, 518 páginas.

TOCCI, Ronald, **Sistemas Digitales Principios y Aplicaciones**, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, México 1996, 833 páginas.

ANGULO, USATEGUI, José. ROMERO, YESA, Susana. ANGULO, MARTINEZ, Ignacio, **Microcontroladores Pic. Diseño Práctico de Aplicaciones. Segunda parte: PIC16F87X**, Segunda Edición, Editorial McGraw-Hill, España 2000, 232 páginas.

<http://materiales.eia.edu.co/laboratorios/ultrasonido/teoria.htm>, **ULTRASONIDO**

[http://www.icmf.inf.cu/grupos2\\_ultrasonica.htm](http://www.icmf.inf.cu/grupos2_ultrasonica.htm), **MATERIALES PIEZOELECTRICOS**

<http://www.murata.com/sensor/index.html>, **TRANSDUCTOR**

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**

**PROGRAMA**

## PROGRAMA

```
*****  
* Programa : TESIS.BAS *  
* Autor : David Fernando Carrera Gavilanes *  
* Fecha : 17/07/2005 *  
* Proyecto : DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA *  
* ULTRASÓNICO PARA PARQUEO DE VEHÍCULOS *  
*****
```

```
' define el cristal en 20MH
```

```
DEFINE OSC 20
```

```
'-----
```

```
' d0 salida de pulsos
```

```
' d1 es la d del display
```

```
' d2 es cp del display
```

```
' d3 es el sonido SP
```

```
' d4 es la a del mux
```

```
' d5 es la b del mux
```

```
' puerto D salidas
```

```
TRISD = %00000000
```

```
'poner d3 en alto para silenciar
```

```
portd.3=1
```

```
' encerrar el display
```

```
'-----
```

```
for i=0 to 32
```

```

    portd.1=1
    pauseus 2
    portd.2=0
    pauseus 3
    portd.2=1
  next i
i=0
'-----

' puerto c2 entrada
' rc2 puerto de captura
TRISC = %00000100

' configura el timer 1 con prescaler de 1:8 y encera
T1CON= %00110000
TMR1L=0
TMR1H=0

'-----
' variables
'-----

' contador es el que cuenta 4 de 3 pulsos y cuatro de 20
contador var byte

' amux y bmux variables de control del mux
amux var bit
bmux var bit

' auxiliar para todos los for
i var byte

```

**' numero de pulsos en la salida**

**npul var byte**

**' tiempo que se demora en capturar una distancia**

**alto var byte**

**bajo var byte**

**' distancia capturada con 4 pulsos**

**dis4 var byte**

**' distancia capturada con 20 pulsos**

**dis20 var byte**

**' distancia a imprimir en el display**

**dis var byte**

**' auxiliar que guarda la distancia para comparar con le siguiente**

**aux1 var byte**

**' variable que guarda el tiempo que va a sonar o silenciar**

**sonido var byte**

**'-----**

**' inicializacion**

**contador=0**

**amux=0**

**bmux=0**

**dis4=120**

**dis20=120**

**aux1=120**

**dis=120**

**i=0**

**npul=4**

**sonido=0**

'-----

'-----

' **definicion variables de distancia**

**centena var byte**

**decena var byte**

**unidad var byte**

' **auxiliar que guarda la centena decena o unidad**

**aux var byte**

' **definicion de variables para el display de 3 digitos**

' **numero del digito a sacar**

**digito var byte**

' **7 segmentos**

**a var bit**

**b var bit**

**c var bit**

**d var bit**

**e var bit**

**f var bit**

**g var bit**

' **leds laterales**

**vd var bit**

**amd var bit**

```
rmd var bit
rad var bit
vi var bit
ami var bit
rmi var bit
rai var bit
```

```
'-----
' inicializacion de las variables del display
digito=0
a=1
b=1
c=1
d=1
e=1
f=1
g=1
vd=1
rad=1
rmd=1
vi=1
rai=1
rmi=1
ami=1
amd=1
'-----
```

```
freq:
  if sonido>0 then
    portd.3=0
    pause sonido
  endif
  if sonido=10 then
    else
```

```
    portd.3=1
    pause sonido
endif
```

```
'-----
```

```
inicio:
```

```
    ' encender el timer 1
    T1CON.0=1
```

```
'-----
```

```
    contador = contador+1
    ' para que multiplexe
    if contador=1 then
        portd.4=0
        portd.5=0
    endif
```

```
    if contador=2 then
        portd.4=0
        portd.5=1
    endif
```

```
    if contador=3 then
        portd.4=1
        portd.5=0
    endif
```

```
    if contador=4 then
        portd.4=1
        portd.5=1
    endif
```

```
'-----
```

```
    ' sacar los cuatro 0 veinte pulsos
```

```
for i=1 to npul
    portd.0=0
    pauseus 11
    portd.0=1
    pauseus 9
next i
```

```
if npul=4 then
' para que espere la resonancia de los tres pulsos
    pauseus 1490
else
' para que espere la resonancia de los veinte pulsos
    pauseus 1577
endif
```

```
' encender modo captura en cuatro flancos ascendentes
CCP1CON= %00000110
```

**captura:**

```
' si captura 1 flanco entra en el if
    if PIR1.2=1 then
        PIR1.2=0
        CCP1CON= %00000000

        alto=CCPR1H
        bajo=CCPR1L

        TMR1=0
        TMR1H=0
        T1CON.0=0
        if npul=4 then
            if contador=1 then
```

```

        dis4=(3*alto*256/125+3*bajo/125)
    else
        aux1=(3*alto*256/125+3*bajo/125)
        if aux1<=dis4 then
            dis4=aux1
        endif
    endif
else
    if contador=1 then
        dis20=(3*alto*256/125+3*bajo/125)
    else
        aux1=(3*alto*256/125+3*bajo/125)
        if aux1<=dis20 then
            dis20=aux1
        endif
    endif
endif

endif

' la distancia es igual a (alto por 256 + bajo que es el numero
' total en 16 bits) por 300m/s por 4 ciclos por 8 prescaler
' sobre (20Mhz) y todo esto dividido para dos y por 100 para
' obtener el valor en cm.

```

```

'-----

```

```

if contador=4 then
    if dis4<=40 and npul=4 then
        dis=dis4
        goto salida
    endif

    if dis20>40 and npul=20 then
        dis=dis20
    endif
endif

```

```
        goto salida
    endif
endif
'-----

    goto regreso
'-----

salida:
    if dis<=24 then
        dis=250
        goto presen
    endif

    if dis>=25 and dis<=110 then
        goto presen
    endif

    if dis>110 then
        i=0
        goto encerrar
    endif

regreso:

    pause (40-(alto*256+bajo)/625)
    if contador=4 and npul=4 then
        contador=0
        npul=20
    endif

    if contador=4 and npul=20 then
        contador=0
```

```
npul=4
'-----

'-----

if dis<40 then
    sonido=10
endif

if dis>=40 and dis<80 then
    sonido=100
endif

if dis>=80 and dis<110 then
    sonido=1000
endif

if dis>=110 and dis<240 then
    sonido=0
endif

if dis=250 then
    sonido=10
endif
goto freq
'-----

endif
```

```
goto inicio
endif
```

```
' si no encuentra nada espera 40ms y manda de nuevo los pulsos
if TMR1H=24 then
```

```
PIR1.2=0
CCP1CON= %00000000
TMR1=0
TMR1H=0
T1CON.0=0
pause 31
```

```
if contador=4 and npul=4 then
contador=0
npul=20
endif
```

```
if contador=4 and npul=20 then
contador=0
npul=4
endif
```

```
goto inicio
endif
```

```
goto captura
```

```
' aqui se termina el programa de captura y empieza el programa de
' presentacion
```

```
presen:
```

```
i=0
```

```
digito=0
```

```
'-----
```

```
' codificacion
```

```
if dis=250 then
```

```
else
```

**centena=dis/100**

**decena=(dis-centena\*100)/10**

**unidad=dis-centena\*100-decena\*10**

**endif**

**goto encerar**

**numero:**

**digito=digito+1**

**if aux=0 then**

**a=0**

**b=1**

**c=0**

**d=0**

**e=0**

**f=0**

**g=0**

**endif**

**if aux=1 then**

**a=1**

**b=1**

**c=1**

**d=0**

**e=0**

**f=1**

**g=1**

**endif**

**if aux=2 then**

**a=1**

**b=0**

**c=0**

**d=0**

**e=1**  
**f=0**  
**g=0**  
**endif**

**if aux=3 then**  
**a=1**  
**b=0**  
**c=0**  
**d=0**  
**e=0**  
**f=0**  
**g=1**  
**endif**

**if aux=4 then**  
**a=0**  
**b=0**  
**c=1**  
**d=0**  
**e=0**  
**f=1**  
**g=1**  
**endif**

**if aux=5 then**  
**a=0**  
**b=0**  
**c=0**  
**d=1**  
**e=0**  
**f=0**  
**g=1**

**endif**

**if aux=6 then**

**a=0**

**b=0**

**c=0**

**d=1**

**e=0**

**f=0**

**g=0**

**endif**

**if aux=7 then**

**a=1**

**b=1**

**c=0**

**d=0**

**e=0**

**f=1**

**g=1**

**endif**

**if aux=8 then**

**a=0**

**b=0**

**c=0**

**d=0**

**e=0**

**f=0**

**g=0**

**endif**

**if aux=9 then**

```
a=0
b=0
c=0
d=0
e=0
f=0
g=1
endif
```

```
if aux=250 then
a=1
b=0
c=1
d=1
e=1
f=1
g=1
endif
```

```
goto sacar
```

```
'-----
```

```
' borrar todo el display
```

```
encerar:
```

```
portd.1=1
pauseus 2
portd.2=0
pauseus 3
portd.2=1
i=i+1
if i=32 then
```

```
i=0  
if dis<=110 then  
    goto leds  
endif
```

```
if dis=250 then  
    goto leds  
endif
```

```
if dis>110 and dis<240 then  
    goto regreso  
endif
```

```
endif
```

```
goto encerar
```

```
'-----
```

```
' sacar los leds de los lados
```

```
leds:
```

```
if dis<30 then
```

```
    rai=0
```

```
    rmi=0
```

```
    ami=0
```

```
    vi=0
```

```
    rad=0
```

```
    rmd=0
```

```
    amd=0
```

```
    vd=0
```

```
endif
```

```
if dis>=30 and dis<45 then
```

```
    rai=1
```

```
    rmi=0
```

```
    ami=0
```

```
vi=0  
rad=1  
rmd=0  
amd=0  
vd=0  
endif
```

```
if dis>=45 and dis<90 then
```

```
rai=1  
rmi=1  
ami=0  
vi=0  
rad=1  
rmd=1  
amd=0  
vd=0  
endif
```

```
if dis>=90 and dis<110 then
```

```
rai=1  
rmi=1  
ami=1  
vi=0  
rad=1  
rmd=1  
amd=1  
vd=0  
endif
```

```
if dis>=110 then
```

```
rai=1  
rmi=1  
ami=1
```

```
vi=1  
rad=1  
rmd=1  
amd=1  
vd=1  
'-----
```

```
endif
```

```
portd.1=vd  
pauseus 2  
portd.2=0  
pauseus 3  
portd.2=1
```

```
portd.1=amd  
pauseus 2  
portd.2=0  
pauseus 3  
portd.2=1
```

```
portd.1=rmd  
pauseus 2  
portd.2=0  
pauseus 3  
portd.2=1
```

```
portd.1=rad  
pauseus 2  
portd.2=0  
pauseus 3  
portd.2=1
```

```
portd.1=vi
pauseus 2
portd.2=0
pauseus 3
portd.2=1
```

```
portd.1=ami
pauseus 2
portd.2=0
pauseus 3
portd.2=1
```

```
portd.1=rmi
pauseus 2
portd.2=0
pauseus 3
portd.2=1
```

```
portd.1=rai
pauseus 2
portd.2=0
pauseus 3
portd.2=1
```

```
' sacar unidades
aux=unidad
  if dis=250 then
    aux=250
  endif
goto numero
sacar:
```

**portd.1=g**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=g**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=f**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=e**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=d**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=c**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**

**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=b**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**portd.1=a**  
**pauseus 2**  
**portd.2=0**  
**pauseus 3**  
**portd.2=1**

**if digito=1 then**  
    **' sacar decenas**  
    **aux=decena**  
    **if dis=250 then**  
        **aux=250**  
    **endif**  
    **goto numero**  
**endif**

**if digito=2 then**  
    **' sacar centena**  
    **aux=centena**  
    **if dis=250 then**  
        **aux=250**  
    **endif**  
    **goto numero**  
**endif**

```
i=0  
digito=0  
goto regreso  
  
end
```

## **ANEXO 2**

### **DIAGRAMA ELÉCTRICO**



## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.1. Diagrama de bloques</b> .....                                  | 6  |
| <b>Figura 2.1. Refracción Del Ultrasonido En Un Medio Cualquiera</b> .....    | 12 |
| <b>Figura 2.2. Circuito de polarización en DC con retroalimentación</b> ..... | 13 |
| <b>Figura 2.3. Capacitancia <math>C_f</math></b> .....                        | 15 |
| <b>Figura 2.4. Capacitancia <math>C_s</math></b> .....                        | 15 |
| <b>Figura 2.5. Capacitancia <math>C_c</math></b> .....                        | 16 |
| <b>Figura 2.6. Configuración en cascada</b> .....                             | 16 |
| <b>Figura 2.7. Circuito RLC paralelo</b> .....                                | 17 |
| <b>Figura 2.8. Respuesta en amplitud filtro pasa banda</b> .....              | 18 |
| <b>Figura 3.1. Diagrama de bloques</b> .....                                  | 21 |
| <b>Figura 3.2. Directividad del sensor</b> .....                              | 23 |
| <b>Figura 3.3. Bobina 7PA</b> .....   | 26 |
| <b>Figura 3.4. Emisor</b> .....   | 27 |
| <b>Figura 3.5. Receptor</b> .....   | 27 |
| <b>Figura 3.6. Respuesta en frecuencia receptor</b> .....                     | 29 |
| <b>Figura 3.7. Multiplexor</b> .....  | 29 |
| <b>Figura 3.8. Amplificador</b> .....   | 30 |
| <b>Figura 3.9. Primera etapa</b> .....  | 31 |
| <b>Figura 3.10. Segunda etapa</b> .....                                       | 33 |
| <b>Figura 3.11. Tercera etapa</b> .....                                       | 35 |
| <b>Figura 3.12. Tercera etapa en AC</b> .....                                 | 36 |
| <b>Figura 3.13. Segunda etapa en AC</b> .....                                 | 37 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.14. Primera etapa en AC</b> .....   | 38 |
| <b>Figura 3.15. Circuito equivalente primer filtro</b> .....                              | 41 |
| <b>Figura 3.16. Respuesta en frecuencia primer filtro</b> .....                           | 42 |
| <b>Figura 3.17. Circuito equivalente segundo filtro</b> .....                             | 42 |
| <b>Figura 3.18. Respuesta en frecuencia segundo filtro</b> .....                          | 43 |
| <b>Figura 3.19. Circuito equivalente tercer filtro</b> .....                              | 43 |
| <b>Figura 3.20. Respuesta en frecuencia tercer filtro</b> .....                           | 44 |
| <b>Figura 3.21. Circuito equivalente cuarto filtro</b> .....                              | 44 |
| <b>Figura 3.22. Respuesta en frecuencia cuarto filtro</b> .....                           | 45 |
| <b>Figura 3.23. Circuito equivalente quinto filtro</b> .....                              | 45 |
| <b>Figura 3.24. Respuesta en frecuencia quinto filtro</b> .....                           | 46 |
| <b>Figura 3.25. Respuesta en frecuencia filtro amplificador en dB</b> .....               | 46 |
| <b>Figura 3.26. Respuesta en frecuencia filtro amplificador ganancia absoluta</b> .....   | 47 |
| <b>Figura 3.27. Respuesta en frecuencia circuito resonante</b> .....                      | 47 |
| <b>Figura 3.28. Respuesta en frecuencia circuito resonante en ganancia absoluta</b> ..... | 48 |
| <b>Figura 3.29. Respuesta total del sistema en dB</b> .....                               | 48 |
| <b>Figura 3.30. Respuesta total del sistema en ganancia absoluta</b> .....                | 49 |
| <b>Figura 3.31. Entrada simulación</b> .....  | 50 |
| <b>Figura 3.32. Salida simulación</b> .....   | 50 |
| <b>Figura 3.33. Circuito comparador</b> .....   | 51 |
| <b>Figura 3.34. Display</b> .....   | 51 |
| <b>Figura 3.35. Distribución de datos en el display</b> .....                             | 52 |
| <b>Figura 3.36. Control de CP</b> .....   | 53 |
| <b>Figura 3.37. Control de D</b> .....  | 54 |
| <b>Figura 3.38. Control de SP</b> .....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3.39. Controlador</b> .....   | 55 |
| <b>Figura 4.1. Distribución de los sensores</b> .....   | 58 |
| <b>Figura 4.2. Diagrama de flujo</b> .....  | 59 |
| <b>Figura 5.1. Circuito impreso</b> .....   | 64 |
| <b>Figura 5.2. Sistema completo</b> .....   | 64 |
| <b>Figura 5.3. Posición de los sensores</b> .....   | 65 |
| <b>Figura 5.4. Distribución de las partes</b> .....   | 67 |
| <b>Figura 6.1. Señal de 4 pulsos enviada, resonancia y eco</b> .....  | 68 |
| <b>Figura 6.2. Señal de 20 pulsos enviada, resonancia y eco</b> .....                                       | 69 |
| <b>Figura 6.3. Señal de salida ultrasónica TTL y análoga</b> .....  | 69 |
| <b>Figura 6.4. Señal recibida con sonido de guitarra, vos humana, ruido de ambiente y música, etc</b> ..... | 70 |
| <b>Figura 6.5. Objetos tirados en el suelo</b> .....  | 71 |
| <b>Figura 6.6. Objetos detrás del vehículo</b> .....  | 71 |
| <b>Figura 6.7. Objetos a diferentes distancias</b> .....  | 72 |
| <b>Figura 6.8. Superficies suaves o casi paralelas al vehículo</b> .....                                    | 72 |
| <b>Figura 6.9. Resalto o lomada</b> .....   | 73 |
| <b>Figura 6.10. Objetos Esféricos</b> .....   | 73 |

## INDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 2.1. Velocidad De Propagación Del Ultrasonido Según La Densidad Del Material.....</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>Tabla. 2.2. Materiales Piezoeléctricos.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>Tabla 2.3. Resumen De Configuraciones Con Retroalimentación (<math>A_v</math>, <math>Z_i</math>, <math>Z_o</math>).....</b> | <b>14</b> |
| <b>Tabla 3.1. Características Principales Del Sensor MA40MC10-1B.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>Tabla 3.2. Características Bobina 7PA.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>Tabla 3.3 Ganancia absoluta del filtro del sistema.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>Tabla 3.4 Descripción de los nombres de los leds del display.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>Tabla 6.1. Solución de problemas más comunes.....</b>   | <b>74</b> |

Sangolquí, 11 de Octubre del 2006

**Elaborado por:**

---

David Fernando Carrera Gavilanes

El Decano

El Secretario Académico

---

Ing. Xavier Martínez C.  
Tcn. de Em.

---

Ab. Jorge Carvajal R.