



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
OPCIÓN INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

Tesis para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SISTEMA DE SONAR PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES

Presenta:

Ing. Christian Alexander Flores Martínez*

Directores:

M.C. Nicolás Quiroz Hernández.
M.C. Ana María Rodríguez Domínguez.
M.C. Carlos García Lucero.

Puebla, Pue. Enero 2019

* Becario CONACYT

Índice

Contenido

Capítulo 1	Introducción	7
1.1	Sistemas ADAS.....	8
1.1.1	Elementos de los sistemas ADAS.....	11
1.2	ADAS en la Industria Automotriz.....	17
1.2.1	Redes en automóviles.....	18
1.2.2	Modelos automotrices comerciales con asistencia al conductor	18
1.3	Objetivos de la tesis.....	19
1.4	Descripción.....	20
Capítulo 2	Sistemas con ultrasonido	23
2.1	El ultrasonido	24
2.1.1	Propagación	25
2.2	El Sensor ultrasónico	26
2.3	Sensores ultrasónicos	28
2.3.1	Respuestas de los transductores	29
2.4	Topología de Sensores.....	35
2.5	Procesador de señal ultrasónico y controlador del transductor.....	36
2.6	Familia PGA	39
2.7	Redes automotrices.....	41
2.7.1	Protocolos de comunicación en una red automotriz.....	43
Capítulo 3	Diseño del sensor ultrasónico	48
3.1	Elementos del sistema de medición de distancia	49
3.2	Análisis del módulo comercial HCSR04	49
3.2.1	Resultados del módulo comercial.....	51
3.3	Sistema discreto.....	52
3.3.1	Diseño del filtro Pasa banda	54
3.4	Sistema Integrado.....	56
3.4.1	Diseño del sistema integrado.....	57
3.4.2	Configuración del PGA.....	59
3.4	Sistema propuesto.....	60

Capítulo 4 Desarrollo del Sistema Sonar	65
4.1 Desarrollo del sistema sonar.	66
4.1.1 Distribución de los sensores.	67
4.2 Gateway.	71
4.2.1 El Transceptor MCP2021A.	73
4.2.2 Conexiones.....	75
4.2.3 Red LIN para el sonar.	76
4.3 Sistema control del sonar (SCS).	79
Capítulo 5 Resultados y conclusiones	82
5.1 Resultados del sensor ultrasónico.	83
5.2 Resultados del módulo ultrasónico.	85
5.3 Resultados del Sistema Sonar.	86
5.4 Conclusiones	90
5.5 Trabajo a futuro.	91
Apendice A	91
Apendice B	97
Apendice C	111
Apendice D	115
REFERENCIAS	117

Indice de figuras

Figura 1. Software Nvidia (ADAS) A) diferenciación de tipos de vehículos, B) detección de peatones, C) Reconocimiento de señales.	10
Figura 2. Sistema ADAS.	11
Figura 3. Radar.	11
Figura 4. LIDAR tipo topográfico.	12
Figura 5. Figura.- 5 Nube de puntos (elementos generados por una cámara LIDAR).	13
Figura 6. Cámara para la función de frenado de emergencia.....	13
Figura 7. Cámara detectando las señales de otros vehículos.	13
Figura 8. Detección de líneas del carril.	14
Figura 9. Funcionamiento básico del Sonar.	15
Figura 10. Módulo Sensor Ultrasónico propuesto.	21
Figura 11. Diagrama General del proyecto.	22
Figura 12. Espectro de frecuencias de los animales.	24
Figura 13. Variaciones de presión en el aire (condensación y rarefacción) en el caso de un movimiento armónico simple.	26
Figura 14. Diferente sensores ultrasónicos comerciales.	27
Figura 15. Funcionamiento del sensor ultrasónico.	27
Figura 16. Forma de onda del transductor visto como pistón.	29
Figura 17. Circuito electrónico para excitar al transductor.	29
Figura 18. Forma de onda del transductor ante una excitación pulsada.	30
Figura 19. Respuesta del transductor de pulso corto (Azul), respuesta pulso largo (Rojo).....	30
Figura 20. Incertidumbre angular del ultrasonido.	31
Figura 21. Afectación de la onda por la temperatura.	31
Figura 22. Margen de detección del ultrasónico.	32
Figura 23. Distancia máxima dependiendo del material.	32
Figura 24. Efecto de múltiples reflejos.	33
Figura 25. Efecto crosstalk	33
Figura 26. Representación del tiempo de vuelo (tt).	34
Figura 27. PGA450-Q1.....	39
Figura 28. Diagrama interno del PGA 450 a bloques.	40
Figura 29. Conexión del PGA.....	41
Figura 30. Tiempo de vuelo sobre el PGA.	41
Figura 31. Nodos más comunes en un auto.....	42
Figura 32. Tipo de redes en el automóvil.....	43
Figura 33. MOST Bus.	44
Figura 34. CAN Bus.	45
Figura 35. LIN BUS.	46
Figura 36. Diagrama de tiempos HC-SR04.	50
Figura 37. Modulo sensor HC-SR04.	50
Figura 38. Software SALEAE detectando el tren de pulsos del microcontrolador del sensor.	51

Figura 39. Pulsos de la señal de 8 ciclos a 40 KHz y su periodo aproximado de 25 μ s.	52
Figura 40. Circuito discreto de sensor ultrasónico.	52
Figura 41. Generador de ondas montando una ráfaga de pulsos cuadrada.	53
Figura 42. Diagrama por etapas (preamplificador, filtro pasa banda, amplificadora y comparador de voltaje).	53
Figura 43. Respuesta de la etapa receptora del módulo sensor ultrasónico.	54
Figura 44. Comportamiento del circuito discreto.	55
Figura 45. Filtro pasa banda.	55
Figura 46. Diagrama del filtro pasa-banda.	56
Figura 47. Circuito elevador de voltaje.	56
Figura 48. Diagrama del PGA.	57
Figura 49. Esquemático y PCB del PGA en EAGLE.	58
Figura 50. Tarjeta PGA_revA.	58
Figura 51. Tarjeta programadora del PGA. b) Conexiones para la programación [38].	59
Figura 52. Interfaz gráfica.	59
Figura 53. Diagrama general del sistema propuesto	60
Figura 54. Diagrama eléctrico transceptor.	61
Figura 55. Diagrama eléctrico Microcontrolador.	61
Figura 56 Diagrama de flujo del software esclavo.	62
Figura 57. Diseño del PCB en Altium.	64
Figura 58. Desarrollo de la tarjeta PCB.	64
Figura 59. Diagrama a bloques del Sistema Sonar.	66
Figura 60. Prueba de Interferencia del sonido.	67
Figura 61. Superposición de ondas.	67
Figura 62. Onda modificada y reflejada sobre algún objeto.	67
Figura 63. Distancias entre transductores Pepperl Fuchs.	68
Figura 64. Medición secuencial.	69
Figura 65. Medición múltiple.	70
Figura 66. Área de detección de 2 y 4 sensores.	70
Figura 67. Procesos requeridos en el Gateway.	72
Figura 68. Acoplamiento de los niveles de voltaje del microcontrolador y del Bus LIN.	73
Figura 69. Diagrama de estados del MCP2022.	74
Figura 70. Tarjeta de circuito impreso para el MCP2022.	75
Figura 71. Diagrama de interconexión del microcontrolador y el transceptor.	75
Figura 72. Trama del protocolo LIN.	76
Figura 73. Estructura de una red LIN conformada por dos nodos esclavos y un nodo maestro interconectados a través del bus.	77
Figura 74. Trama del nodo maestro.	77
Figura 75. Trama del nodo esclavo.	78
Figura 76. Trama completa de la red LIN.	79
Figura 77. Interfaz de usuario para el Sonar.	80
Figura 78. Configuración del protocolo UART en QT.	81

Figura 79. Pruebas para caracterizar el circuito y los transductores ultrasónicos.	83
Figura 80. Barrido de frecuencia a 47 KHz (a) señal recibida, b) señal original, c) ambas señales).	83
Figura 81. Frecuencias a)58 kHz, b) 62 kHz, c) 71 kHz.	84
Figura 82. Frecuencia 70 KHz a) 4 pulsos, b) 8 pulsos.	84
Figura 83. Respuesta del sensor excitado por un pulso.	84
Figura 84. Datos recibidos por el software Hércules.	85
Figura 85. Respuesta de los módulos esclavos.	86
Figura 86. Posicionamiento de los sensores ultrasónicos sobre el Jetta híbrido.	86
Figura 87. Medición sobre un objeto.	87
Figura 88. Medición de temperatura con el multímetro.	87
Figura 89. Medición de distancia sobre una persona.	88
Figura 90. Peticiones y respuestas en la red del sonar.	89
Figura 91. Interfaz gráfica del SCS.	89

Indice de tablas

Tabla 1 Medidas de seguridad.	9
Tabla 2 Restricciones en MEXICO.	9
Tabla 3 Tabla comparativa de los sensores para medir distancias.	17
Tabla 4 Transductores ultrasónicos.	28
Tabla 5 Dispositivos Procesadores de señales ultrasónicas ELMOS.	36
Tabla 6 Dispositivos Procesadores de señales ultrasónicas TEXAS INSTRUMENT.	37
Tabla 7 Sensores adecuados al rango de frecuencia para la aplicación.	38
Tabla 8 Protocolos de redes automotriz.	47
Tabla 9 Rango de alcance vs distancia entre sensores.	68
Tabla 10 Cantidad de sensores en marcas comerciales.	69
Tabla 11 Revisiones de LIN.	76
Tabla 12 Mediciones obtenidas de un objeto fijo.	85
Tabla 13 Mediciones de diferentes nodos.	87

Capítulo 1

Introducción

El mercado automotriz es un campo de innovación constante, las tecnologías que se desarrollan dan un plus en sus productos brindando a sus vehículos más cuidados e innovaciones, desde controles de crucero inteligentes, sistemas de bolsas de aire, menos emisiones de gas, autos híbridos, mejor calidad en la carrocería (como soldaduras de alta frecuencia para las puertas), hasta sistema de avisos de riesgo de colisión inminente.

Los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS por sus siglas en inglés), son sistemas que permiten mejorar la seguridad vial al momento de la conducción, esto es para prevenir riesgos de sufrir un accidente vial o colisionar contra otros conductores, es por eso, que los sistemas ADAS tienen diversos sensores que actúan para las diferentes necesidades que hay en el automóvil.

Diferentes tipos de sensores que puede haber dentro de un carro, como radares, cámaras, infrarrojos, ultrasónicos y tecnología de redes de comunicación para el uso automotriz, ofrecen la más alta tecnología y calidad para garantizar una experiencia de manejo más segura y confort, tanto al conductor como al resto de los vehículos y personas alrededor.

Los sistemas de detección y clasificación de objetos que emplean como base principal el sonido (sonar) han ido cambiando con el paso del tiempo, incrementando su capacidad de procesamiento tanto en la emisión como en la recepción [3,4]. Los distintos tipos de sonares (aéreo, marítimo, etc.) han incrementado el número de elementos que interactúan con el entorno, para obtener información detallada y haciendo que el sistema de procesamiento sea complejo.

1.1 Sistemas ADAS

En la actualidad los accidentes de tráfico son la primera causa de mortalidad humana en el mundo, cada año fallecen en carretera alrededor de 1, 300,000 personas en el mundo, el 90% de estos casos es debido a un error humano [2]. En México en el 2015 se produjeron un total de 378,232 víctimas [19]. Es por lo que los sistemas ADAS han proporcionado avances en la tecnología y estos han reducido significativamente el número de muertes por año, dándole seguridad al conductor, a los pasajeros y a los peatones. Esto se ha visto desde la implementación de cinturones de seguridad, frenos ABS y sobre todo las bolsas de aire (*air bags*) que han ayudado a reducir accidentes en carretera.

Los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS, Advanced Driver Assistance Systems) ofrecen ayuda al conductor en la toma de decisiones de manejo y han puesto de manifiesto el gran potencial de la integración de información proveniente de diferentes fuentes, con el fin de lograr mejoras en la seguridad, superiores a la suma de los efectos individuales de cada dato aislado. Estos sistemas pueden detectar objetos, realizar operaciones de clasificación (peatones, vehículos, señales, etc.), condiciones y peligros en las carreteras, en algunos casos, desacelerar o detener el vehículo debido a condiciones externas, etc. El nivel de estos sistemas ADAS es excelente para aplicaciones tales como el control de puntos ciegos, el cambio asistido de carril o el aviso de posibles colisiones y los sistemas más avanzados ofrecen el *auto-parking* [6].

Las principales funciones de los sistemas ADAS son: evitar accidentes, mejorar la seguridad del operador, los pasajeros y los peatones, controlar situaciones peligrosas y sobre todo salvar vidas. La prevención de colisiones es importante para la conducción con seguridad, porque hay zonas ciegas en ambos lados de un vehículo durante la conducción. Para mejorar la visibilidad y evitar estas zonas ciegas, son esenciales estos sistemas [20].

La conducción supone la toma de decisiones por parte del conductor, muchas de las cuales inciden directamente sobre su propia seguridad y la de los otros usuarios de la vía, dichas decisiones están fundamentadas en la información que recibe, sin embargo, esa información puede ser parcial, ser mal percibida o mal interpretada o realizar juicios sobre situaciones de riesgo condicionados por otros parámetros ajenos a la seguridad y que llevan a adoptar conductas peligrosas o a no percibir adecuadamente situaciones de riesgos. Estas circunstancias se ven agravadas, además, en el caso de personas mayores o con alguna capacidad disminuida (peor percepción del entorno, menores reflejos, mayores tiempos de reacción) [1]. Cabe indicar que un alto porcentaje de los accidentes pueden atribuirse al factor humano, pudiendo ser un descuido por las diferentes circunstancias a que se enfrenta un conductor. A partir de estas circunstancias, los sistemas ADAS suponen una ayuda al conductor y en numerosos foros internacionales se ha puesto de manifiesto su gran potencial [2]. En tabla 1 se muestran algunas medidas de seguridad en los automóviles tomadas en diversos países.

Tabla 1. Medidas de seguridad [4].

AÑO	MEDIDA
2004	ABS obligatorio en vehículos nuevos en EE.UU.
2006	Airbag doble obligatorio en vehículos nuevos en EE.UU.
2011	Luz conducción diurna obligatoria en vehículos nuevos en EE.UU.
2013	Asistente frenado emergencia / cambio carril obligatorio en camiones en EE.UU.
2014	Sistemas ESP y TPMS obligatorios en nuevos vehículos en EE.UU.
2015	Cámaras posteriores obligatorias en EE.UU.
2015	Sistema ADAS obligatorio para obtener 5 estrellas EuroNCAP.
2016	Sistema de Protección de Peatones obligatorio.
2018	Sistema eCall obligatorio.

En México, la normatividad se encuentra en la NOM-194-SCFI-2015 “Dispositivos de Seguridad Esenciales en Vehículos Nuevos-Especificaciones de Seguridad”; a partir del apartado 3.4 en adelante, muestra medidas que se tomarán para la seguridad vial, la cual establece los lineamientos en dispositivos de seguridad esenciales para autos nuevos vendidos en México. Dicha norma señala que las unidades nuevas deberán contar con un equipo básico para la protección en cinturones de seguridad, controles, cabeceras, reflejantes, velocímetro, luces de oposición, frenos ABS, sistema antibloqueo ABS, además de vidrios laminados, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Restricciones en MEXICO [29].

Cinturón de seguridad	Dispositivo o arreglo de cintas, hebillas y herrajes en una o varias posiciones, los cuales están sujetos firmemente al asiento o a la estructura del vehículo y que están diseñados para disminuir el riesgo de lesiones para el usuario en accidentes y en desaceleraciones bruscas del vehículo, mediante la limitación de la libertad de movimiento del cuerpo del usuario.
Controles	Mandos de accionamiento manual relacionados a un dispositivo los cuales permiten al conductor producir un cambio en el estado o el funcionamiento de un vehículo o subsistema del vehículo.
Apoya cabeza o cabecera	Dispositivo o soporte sujeto a la parte superior del respaldo, diseñado para detener el movimiento angular y hacia atrás de la cabeza de los ocupantes. Estos dispositivos pueden ser una prolongación del respaldo o ser ajustables.
Reflejantes	Sistema compuesto de espejos y lentes que reflejan y refractan la luz, integrados o no en las lámparas. La finalidad de estos reflejantes es la de evidenciar la posición del automóvil cuando éste se encuentra con el sistema de luces desactivado.
Velocímetro	Instrumento que indica la velocidad en km/h o en otra unidad de medida.

Luces de posición	Luces emitidas por lámparas colocadas en la parte delantera del vehículo, de color ámbar o blancas y, en la parte trasera de color rojo, las cuales se encienden simultáneamente o por separado de los faros delanteros. La función es indicar la posición del vehículo.
Indicadores	Módulos que permiten mostrar una señal a los usuarios con el fin de indicar el estado del funcionamiento de algunos dispositivos del automóvil.
Freno de estacionamiento	Sistema que mantiene el vehículo inmovilizado en una superficie horizontal o inclinada.
Sistema antibloqueo de frenado (ABS)	Es una parte del sistema de freno de servicio del vehículo que regula automáticamente el grado de deslizamiento de las ruedas de giro, permitiendo el contacto y tracción con la superficie, evitando el bloqueo de las ruedas durante una condición de frenado.
Vidrio laminado (parabrisas)	Se refiere a un panel de vidrio que consiste en dos o más capas de vidrio, que se mantienen unidas por una o varias láminas de material plástico.

De acuerdo con lo publicado, las marcas automotrices en México tendrán un plazo de 3 años (a más tardar en 2019) para que sus vehículos vendidos cumplan los reglamentos establecidos por dicha norma en el mercado mexicano, mientras que los producidos en el 2016 tendrán un plazo que se extiende hasta el 2020.

Empresas como Nvidia e Intel, las más grandes del mundo que se dedican al diseño de software y hardware, se han unido a estas medidas de seguridad para la industria automotriz diseñando dispositivos para la detección del entorno del vehículo. Como se muestra en la figura 1, han desarrollado el reconocimiento de tipos de vehículos, la presencia de peatones y el reconocimiento de señales de tránsito. Aprovechan el potencial de sus tarjetas gráficas y elementos de hardware en el aprendizaje profundo e incluyen un conjunto de desarrollos de software de alto nivel [15].

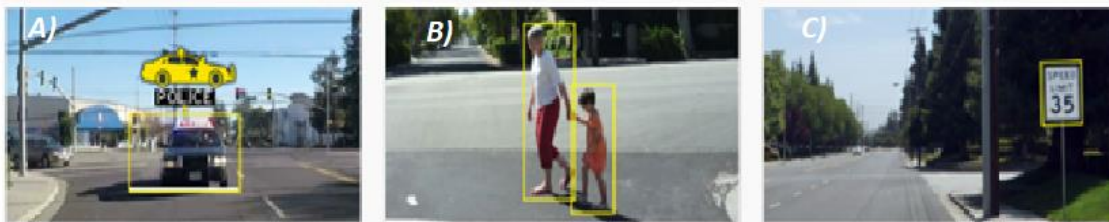


Figura 1. Software Nvidia (ADAS) A) diferenciación de tipos de vehículos, B) detección de peatones, C) Reconocimiento de señales [15].

Los sistemas ADAS pueden generar dos tipos de avisos:

- Avisos de situación de riesgo, como la posible aproximación de curvas peligrosas a velocidad excesiva, desplazamiento a los límites del carril contrario, intento de adelantamiento a falta de visibilidad o punto ciego de los espejos laterales o circulación hacia algún obstáculo.
- Avisos para la función de asistencia a la conducción lejos de situaciones críticas de circulación, que ayudan especialmente a personas de avanzada edad o con alguna capacidad disminuida, de forma que su percepción alrededor del entorno o los tiempos de reacción sean algo retardados o menores que la media, de manera de que se puedan compensar estas carencias con un sistema de aviso [16].

1.1.1 Elementos de los sistemas ADAS

Un sistema ADAS tiene ciertos elementos como radares (de largo y corto alcance), LIDAR (sistemas infrarrojos), cámaras (frontales y laterales) para uso del procesamiento de imágenes y reconocimientos de patrones en algunos modelos de lujo, sistemas de ultrasonido para el uso del auto estacionado (detección de objetos/obstáculos) para movimientos a baja velocidad. Esto se puede observar de forma más detallada en el modelo Audi A8 (figura 2).

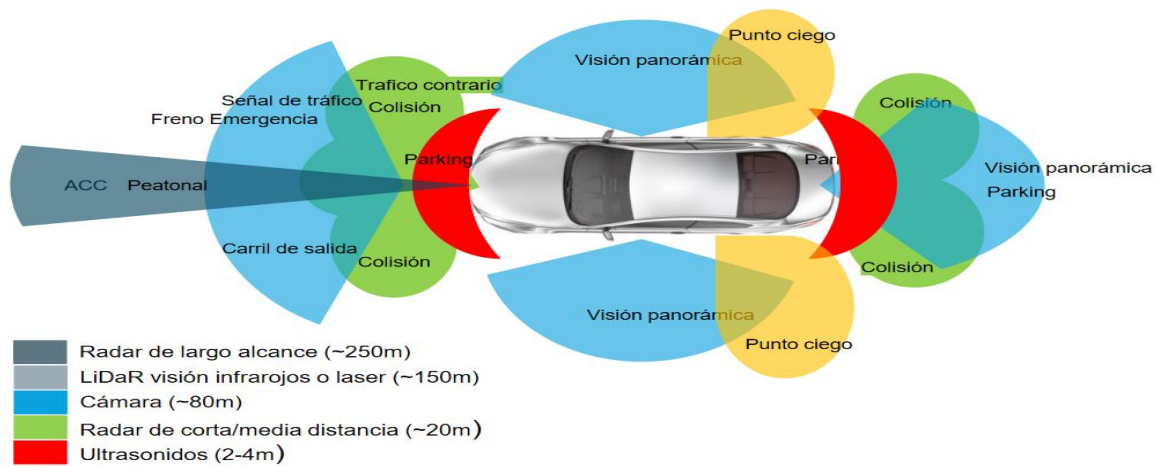


Figura 2. Sistema ADAS [2].

Tanto el radar, como el sonar, el LIDAR y las cámaras, son lo más utilizado en la industria, y muchas empresas como Audi, Volkswagen, Ford, Toyota, BMW, por mencionar algunas, los utilizan en algunos de sus modelos más recientes.

Radars

Desde su invención en 1941 los sistemas de Radar (Radio Detection and Ranging), se han utilizado fundamentalmente para detectar la posición e incluso la velocidad de blancos alejados, mediante la transmisión y recepción de radiación electromagnética.

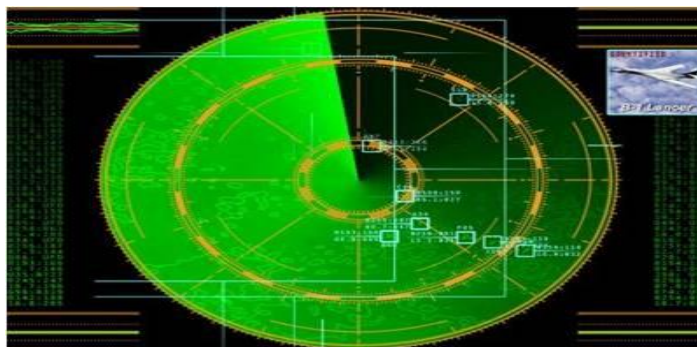


Figura 3. Radar [22].

Los radares son sistemas cuyo objetivo es descubrir la presencia de blancos a una cierta distancia (range) gracias a la detección de ecos producidos por los blancos en respuesta a la emisión de señales electromagnéticas, que pueden ser de diferentes tipos o formas de onda y que son transmitidas por antenas de marcada directividad (figura 3). Además de la mera presencia de blancos, a menudo se desea conocer alguna característica de estos por ejemplo, su posición, su velocidad, su forma, etc. [24].

Hay muchos usos científicos del radar, pero el mejor conocido es el radar meteorológico, el cual es una importante herramienta de predicción. El radar también se usa para estudiar otros aspectos de la atmósfera, como la identificación de los patrones de viento y contaminación del aire. Sondas planetarias como Magellan también usan radares para mapear la superficie de otros planetas [23][22].

LIDAR

El sistema LIDAR por sus siglas en inglés es (Laser Imaging Detection and Raging), en español podemos decir que es un sistema de medición y detección de objetos mediante LASER. En lugar de que emita ondas electromagnéticas en un medio y reboten a través de un objeto como lo hace un radar, el sistema LIDAR hace lo mismo, pero con ondas de radio y varios haces de luz.

Estos sistemas son empleados para el uso de la topografía en niveles de suelo, como su espectro electromagnético está en el orden del infrarrojo, se puede aplicar en geografía, arquitectura e ingeniería civil. Para la aplicación en tierra son muy parecidos en apariencia a un teodolito o a una estación total y se colocan también sobre un trípode como se ve en la figura 4.



Figura 4. LIDAR tipo topográfico [3].

El LIDAR como sensor consiste básicamente en un foco emisor de haces de rayos láser infrarrojos, una lente receptora infrarroja es capaz de captar esos haces de láser, los cuales no son dañinos para el ser humano. Al reflejarse el láser a través de los objetos, sobre y por encima de la superficie del suelo (vegetación, edificios, calles, puentes, etc.), un pulso puede regresar a su foco receptor como uno o muchos haces, ya que, cualquier pulso que sea reflejado en la superficie se divide en tantas devoluciones como superficies reflectoras existan. Algunas de estas devoluciones pueden indicar las elevaciones de los objetos, otras (las devoluciones intermedias) por lo general indican la vegetación, y otras devuelven el modelo del suelo del terreno, aunque no siempre es así, por ejemplo, cuando el pulso emitido en realidad no llega al suelo porque se reflejó en otro elemento, como una rama gruesa, en este caso la lectura tomada no es del suelo sino de la rama.

Los datos de un LIDAR están organizados por puntos postprocesos que se conocen como datos de la nube de puntos. Las nubes de puntos son grandes colecciones de puntos 3D que incluyen posiciones (x, y, z) vistas como marcas de tiempo GPS (figura 5). Existen diversos tipos de sistemas LIDAR.



Figura 5. Figura.- 5 Nube de puntos (elementos generados por una cámara LIDAR)[3].

Sistemas de visión

Los sistemas de visión en los sistemas ADAS incluyen las cámaras que captan las imágenes y el procesamiento que se les aplica. Estos sistemas han ido evolucionando a través del tiempo al igual que sus aplicaciones. Desde mucho antes de la asistencia al conductor, las cámaras se empleaban ya en algunos autos como medidas de seguridad para robos en vehículos, también para grabar en caso de accidente (como pruebas para reclamos ante el seguro), como un testigo confiable, al probar hechos contundentes y saber quién tenía la culpa al ocasionar algún choque, pero sobre todo se utilizaba en la seguridad personal. Con los años estos sistemas han evolucionado y actualmente se utilizan en reconocimiento de señales de tráfico, de automóviles, de policías, de bomberos y de ambulancias, también se utilizan, entre otras cosas, en el auto-estacionado y en vehículos autónomos gracias a la ayuda de grandes procesadores de video como son las tarjetas gráficas GPU.

En los sistemas ADAS se utilizan cámaras como sensores para procurar tener la mejor visión posible. Se usan cámaras estéreo, casi siempre posicionadas arriba en los parabrisas, atrás del espejo retrovisor y comúnmente cerca de los sensores LIDAR, para tener una visión estereográfica. Una de sus funciones más comunes es la detección de señales del auto como giro a la izquierda o derecha (figura 7) y también como asistente del sistema de frenado de emergencia (figura 6).



Figura 7. Cámara detectando las señales de otros vehículos [6].



Figura 6. Cámara para la función de frenado de emergencia [6].

También se utilizan cámaras delanteras para el sistema de reconocimiento en las carreteras como las líneas y carriles de carretera, detectando cada línea del carril para que el auto tenga mayor estabilidad y no invada a otro carril, también se utilizan para el reconocimiento de señales de tráfico como límites de velocidad y señalamientos, peatones y obstáculos (figura 8).

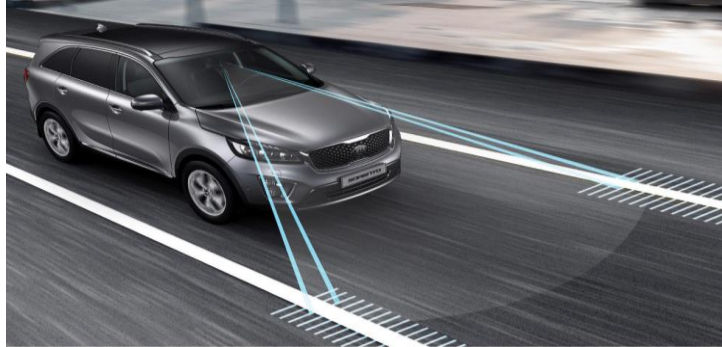


Figura 8. Detección de líneas del carril [6].

Sonar

La palabra SONAR es el acrónimo en inglés de SOund NAVigation and Ranging [6]. Por medio del sonido determina la presencia, localización o naturaleza de objetos en el mar o en otro medio (figura 9). Empezó a tomar forma durante la Segunda Guerra Mundial, de la mano de aplicaciones militares, originalmente se la denominaba ASDIC, o *Anti-Submarine Detection Investigation Committee*, se desarrolló a fin de detectar los submarinos enemigos y en última instancia, destruirlos. No fue hasta 1953, que a través de una colaboración con el Instituto Noruego para la Investigación (Bergen, Noruega), se desarrolló la primera aplicación no militar [22] detectando bancos de peces en el mar; después se utilizó en aplicaciones industriales para detectar los elementos de una línea de producción, para detección de objetos con aplicaciones a robots y en la industria automotriz en los módulos ultrasónicos.

Hoy en día, por extensión, se aplica la palabra SONAR a la parte de la acústica aplicada que abarca todas las actividades en las que el agua y el aire son medios de propagación del sonido [7].

El principio básico sobre el que se apoya el sonar es que el sonido se mueve a una velocidad constante a través de un medio dado, como el aire o el agua y ciertos tipos de objetos producen determinados sonidos. Con este conocimiento, los cálculos pueden determinar la distancia de un objeto e identificarlo con una certeza razonable. La Armada principalmente utiliza el sonar para detectar buques, torpedos y minas. Sus aplicaciones comerciales incluyen la navegación, la determinación de distancia a la cual se encuentra un objeto, la cartografía y la localización de peces [22].

El sonar puede usarse como medio de localización acústica, funcionando de forma similar al radar, con la diferencia de que en lugar de emitir ondas electromagnéticas emplea impulsos sonoros (figura 9).

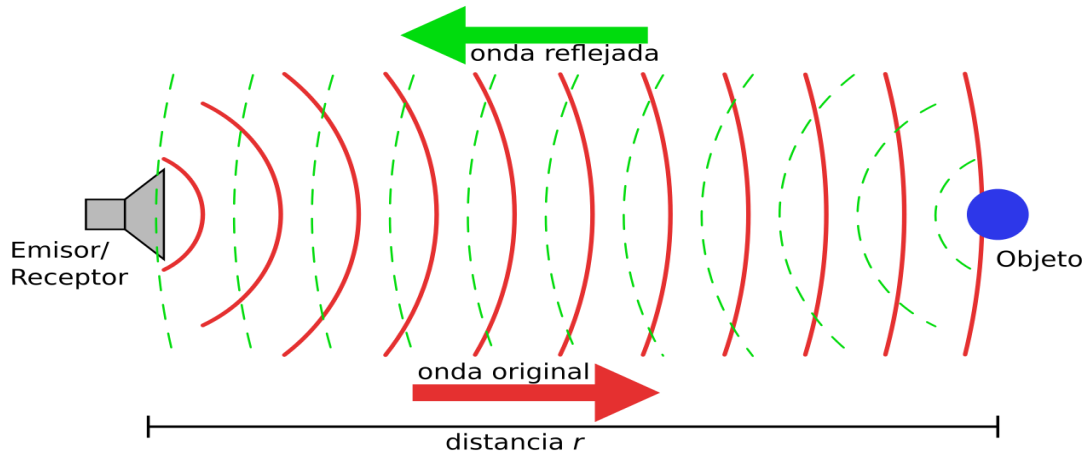


Figura 9. Funcionamiento básico del Sonar [7].

Debido a la distinta naturaleza del medio de propagación y consecuentemente al empleo de distintos tipos de radiación se obtienen otras diferencias notables. Así las ondas electromagnéticas son transversales mientras que las acústicas son longitudinales, por tanto, las primeras pueden polarizarse mientras que las segundas no; la velocidad de propagación en las primeras varía inapreciablemente con las características cambiantes del medio, mientras que el sonido aumenta su velocidad a medida que decrece la compresibilidad del medio, lo que tiene una enorme incidencia en el aspecto de la propagación. En el mar la compresibilidad es función de variables como la salinidad, la temperatura y la presión.

Básicamente hay dos tipos de Sonar: pasivo y activo

El sonar pasivo basa su detección y localización de los sonidos que se emiten desde el propio objetivo (máquina ruidosa, flujo de ruido, ruido de cavitación, las transmisiones de sus sonares activos, etc.). En este caso, las mayores limitaciones en detección y clasificación resultan del conocimiento impreciso de las características de radiación acústica del sonido del contacto bajo el agua. El espectro de este sonido depende del diseño del buque o submarino y en su forma de operación, sin embargo, los datos correspondientes a las plataformas de los buques de guerra son de alta clasificación en sus respectivos países de origen o construcción. El mar está lleno de fuentes de sonido que son detectadas por los arreglos de sonar pasivo. El espectro de frecuencias y la direccionalidad del ruido ambiental son parámetros importantes en la determinación de las capacidades de detección, por ello es de suma importancia para el operador del sonar poder diferenciar entre un ruido ambiental y otro producido por unidades de superficie o submarinas.

Los sistemas de sonar pasivos funcionan como dispositivos de escucha para determinar la presencia, la dirección y las características de los sonidos del mar. Las fuentes de estos sonidos incluyen la comunicación animal de las criaturas marinas y los sonidos humanos procedentes de los buques o submarinos. Este tipo de sonar es básicamente un receptor pasivo de las ondas sonoras, por lo que no tienen el potencial de perturbar la vida marina. La Marina de los EEUU utiliza el sistema de sistema de

sonar SURTAA LFA, que es una de largo alcance, contiene componentes activos y pasivos. El componente pasivo ayuda a la Marina para detectar la presencia de submarinos en voz muy baja.

El sonar activo supone la transmisión de una señal acústica bien definida la cual puede reflejarse de objetos en el agua, la energía acústica reflejada (también llamado réplica) retorna como eco de sonar a un hidrófono, el cual convierte el sonido en electricidad, el impulso eléctrico recogido por el hidrófono es amplificado y procesado de diferentes formas y finalmente es aplicado a un sistema de control o mecanismo de presentación que cumpla con el propósito para el cual el sonar fue diseñado. Se dice que los sistemas de sonar activo eco-distancian a sus blancos. Las limitaciones de este método se deben principalmente a la pérdida de la intensidad de la señal durante propagación a través del agua (ver tabla 3) y a la reverberación causada por las reflexiones de la señal. Simplificando, el sonar activo puede ser visto como el equivalente del radar bajo el agua.

El sonar activo se observa en algunos animales como el murciélago, que lo usa para cazar presas a distancias considerables, en otros animales como el delfín para establecer comunicación entre su especie y como sistema de ecolocalización para evitar depredadores, la polilla también lo utiliza para evitar depredadores; en la industria se aplica para limpiar impurezas en los productos, en medicina se utiliza para las ecografías, en la navegación marítima para ver el fondo marino, en la industria automotriz se están aplicando para sistemas de detección para evitar colisiones.

Los conceptos anteriormente descritos son aplicables al área automotriz, en específico a los sistemas ADAS, ya que requieren de sensores de diversos tipos. Los sistemas de sensores existentes a bordo de un vehículo para la detección de objetos laterales pueden clasificarse en cuatro tipos:

- i) Sistema de radar Doppler: Aunque el radar es el dispositivo de detección más utilizado para detectar objetos en aplicaciones de tráfico [17] [18], no es eficaz para situaciones de baja velocidad y contiene un error causado por algunos factores del medio que lo rodea. Actualmente, los sistemas de radar son dispositivos caros y limitados a los coches de lujo.
- ii) El LIDAR: es un sistema que permite obtener una nube de puntos del terreno tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado, es un sistema caro y requiere algoritmos de procesamiento rápidos.
- iii) Los sistemas de visión (cámaras): son dispositivos con alta resolución, de 60 cuadros por segundo (FPS), la detección de objetos es relativamente fácil para el usuario porque los ve a través de una pantalla LCD, en algunos casos se incluye procesamiento digital para el uso de reconocimiento de objetos; el problema con estos sistemas suele ser el gran procesamiento de datos, con alto consumo de tiempo de procesamiento y de energía.
- iv) El sistema Sonar por ultrasonido: ha sido ampliamente utilizado para la detección del medio ambiente y la prevención de obstáculos de robots móviles autónomos, tiene amplio ángulo de detección y ofrece una solución menos costosa, por lo que la implementación de estos a bajas velocidades es lo ideal.

Tabla 3.- Tabla comparativa de los sensores para medir distancias.

SENSOR	DISTANCIA	Características
Sensores ultrasónicos	100-6000mm	Ondas mecánicas. Detecta objetos a distancias grandes.
LIDAR	Distancias Grandes.	Ondas infrarrojas que viajan a la velocidad de la luz.
Cámaras	-	Requieren de procesamiento digital de imágenes.
Sensores capacitivos	15-70 mm	Requieren que la constante dieléctrica del objeto sea mayor que la del aire.
Sensores inductivos de distancia	0-50 mm	Sirve para detectar materiales ferrosos.
Sensores de desplazamiento magneto-inductivo	20-150 mm	Sensores robustos para diferentes aplicaciones.
Sensores de distancia optoelectrónicas	30-30,000 mm	Velocidades de respuesta rápida con mayor procesamiento de información de datos.

Como se muestra en la tabla 4, los sensores ultrasónicos son los más eficaces para esta tesis, se pueden modular sus frecuencias o trenes de pulsos, su rango de distancia es grande (aunque es menor a los sensores de distancia optoelectrónicos, pero el procesamiento de información de éstos es mayor y requiere mayor velocidad) y se ajustan a las necesidades de esta tesis, ya que se van a utilizar para bajas velocidades de movimiento.

1.2 ADAS en la Industria Automotriz

En la actualidad la industria automotriz en México, según la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) ha tenido un fuerte impacto desde el último año. En 2017 se exportaron 3,253,385 vehículos ligeros, 17.5% por encima del registro anterior de 2,768,268 unidades manufacturadas alcanzado en 2016. La venta en el mercado mexicano se integró en 40% con vehículos producidos en nuestro país y 60% de origen extranjero, esto quiere decir que efectivamente la industria automotriz ha invertido en México varios miles de dólares en investigación y nuevas empresas que desarrollan automóviles. Por parte de las empresas automotrices, se tiene mucho desarrollo y construcción de las carrocerías y de los sistemas que componen a los automóviles, desde los diseños esquemáticos, construcción y diseño, sistemas electrónicos, pintura (hojalatería), etc. La importancia es tan grande en México que es incuestionable, dentro del contexto nacional es la segunda en importancia después del sector petrolero, aunque hay otros sectores importantes como, plásticos, textil, minerales, etc.

1.2.1 Redes en automóviles

Actualmente existen protocolos y estándares para las redes de comunicación en el vehículo, todas estas redes han ido evolucionando con el paso del tiempo porque la tecnología sigue avanzando y para los automóviles se requiere un mejor rendimiento y seguridad, ya que se utilizan para comunicar los sistemas de entretenimiento, confort, seguridad del automóvil, sistema de sensores automotrices, conexiones a la nube, etc.

Las redes automotrices, están divididas de acuerdo con su función. Se tiene la red de Tracción que se encarga de controlar el tren motriz y está constituida por la unidad que controla el motor, los frenos ABS y la caja de transmisión. La segunda red es la de Confort que se encarga de la comodidad de los pasajeros e involucra a varias unidades de control, como la de las puertas, el BCM (*Body Control Module*) que se encarga del habitáculo, el aire acondicionado, las luces, el techo corredizo, entre otros. Las redes deben tener un protocolo casi nulo a fallas y que sea seguro e inmune al ruido que lo rodea y para obtener así la satisfacción total de los usuarios.

La comunicación de estas redes está basada en diferentes protocolos especializados, así encontramos los protocolos CAN (*Controller Area Network*), LIN (*Local Interconnect Network*), MOST (*Media Oriented System Transport*) y Flexray, cada una con un propósito en el vehículo.

1.2.2 Modelos automotrices comerciales con asistencia al conductor

En la actualidad hay diversos modelos de automóviles con el sistema sonar los cuales se enlistan a continuación:

Audi Park Assist	BMW Park Assistant	Citroën Park Assist System	Ford Active Park Assist
Audi A7 Sportback	BMW X3	Citroën C4 Picasso	Ford Focus
Audi A8	BMW X5	Citroën C4 Cactus	Ford Kuga
Audi TT	BMW i3		Ford Fiesta
Audi Q3	BMW Serie 5		Ford C-MAX
Audi A6			Ford Mondeo
Ford Active Park Assist	Nissan Aparcamiento automático	Opel Sistema de aparcamiento pilotado	Peugeot Park Assist
Ford Focus	Nissan Qashqai	Opel Insignia	Peugeot 208
Ford Kuga	Nissan X-Trail	Opel Adam	Peugeot 2008
Ford Fiesta		Opel Astra	Peugeot 308
Ford C-MAX		Opel Corsa	
Ford Mondeo			
Skoda Automatic Parking Assistant 2.0	Toyota Simple Intelligent Park Assist (SIPA)	Volkswagen Park Assist 2.0	Volvo Park Assist Pilot
Skoda Octavia	Toyota Auris	Volkswagen Passat	Volvo V40
Skoda Yeti	Toyota Prius	Volkswagen Tiguan	Volvo V60
Skoda Superb		Volkswagen Golf	
		Volkswagen Caddy	
		Volkswagen Touran	
		Volkswagen Sharan	

Como la seguridad y la comodidad para la conducción están obteniendo gran atención, muchas investigaciones están progresando vigorosamente en el área de los sistemas de asistencia de estacionamiento [21].

Uno de los retos para el desarrollo de estos sistemas es su diseño y algunos protocolos de comunicación por medio de los cuales los datos de los sensores llegan a una central de procesamiento de datos, que forman parte del secreto industrial. Y es por eso, que ni las hojas de datos ni las especificaciones técnicas de los modelos de sistemas ADAS se encuentran disponibles para el usuario, ni está abierta para el uso público la modificación de sus sistemas.

Sin embargo, se sabe que hay mucho por mejorar, como ejemplo se ha detectado un gran problema de estos sistemas, realizando pruebas con dos autos de la marca Volkswagen, se mostró que exhiben fallas cuando los dos se están estacionando al mismo tiempo, provocando lecturas erróneas; estas pruebas han tenido lugar en el laboratorio de pruebas SLED en la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la BUAP. Por lo tanto, el enfoque de este proyecto es adquirir las bases para el desarrollo de un sistema propio, esta tesis se enfocará a desarrollar un sistema de detección de objetos.

El proceso de estacionamiento es considerado por un conductor como una maniobra difícil y de alto estrés, por lo cual el sistema de *autoparking* de los sistemas ADAS ofrece ayuda al conductor para realizar dichas maniobras, por lo que se pretende realizar un prototipo para la detección de los objetos cuando el conductor requiera ayuda en el momento en que se esté estacionando.

En este proyecto se hace uso de un sistema de sensores ultrasónicos teniendo en cuenta las siguientes ventajas: es menos costoso y más adecuado para aplicaciones generales, puede obtener fácilmente mediciones de distancia hasta 4 m, tiene medida de superficie ancha y detecta objetos inmediatos sin un cálculo complejo.

Por otra parte, se pretende dar una aproximación al comportamiento de estos sensores, proponiendo el desarrollo de un diseño para la creación de módulos con su respectiva trama de información que se decodificará a través de un sistema que la reciba e interprete los datos obtenidos de los módulos.

1.3 Objetivos de la tesis

Objetivo General

Diseñar un sistema para la asistencia al conductor en un vehículo que implemente un sonar para detectar la proximidad de los objetos cuando se realizan movimientos de baja velocidad y con comunicación a una red del vehículo.

Objetivos Específicos

- 1- Investigar y analizar los sistemas de medición de distancia, en particular los ultrasónicos y determinar los sensores que cumplan con los estándares para la industria automotriz.
- 2- Analizar e implementar una técnica para determinar la distribución de los sensores, el tiempo de transmisión, el código a transmitir y la frecuencia de trabajo.

- 3- Diseñar y construir un módulo ultrasónico para medir distancia, con una comunicación CAN o LIN.
- 4- Implementar un sistema comunicación para el sonar utilizando un protocolo CAN o LIN.
- 5- Implementar una interfaz gráfica que permita visualizar en una pantalla el sonar utilizando un lenguaje de alto nivel y una mini-PC.
- 6- Desarrollar y construir el sistema sonar.
- 7- Realizar pruebas del sistema sonar en un vehículo para comprobar el funcionamiento.

1.4 Descripción.

Para diseñar el sonar se necesita primeramente desarrollar un módulo para el sensor ultrasónico, el cual determinará la distancia a la que se encuentra un objeto. En la figura 10, se propone un diagrama a bloques para la elaboración de dicho sensor; mediante un microcontrolador se pretende generar un tren de pulsos, que será transformado, mediante un circuito acondicionador, en una señal para el transductor TX, éste enviará la señal a través del aire para que el otro transductor, RX, reciba la información. Después otro circuito acondicionador recibirá esta señal para que el microcontrolador pueda procesarla y compararla con la señal que envió, con ello se obtendrá la distancia y se enviará a través de un bus automotriz. Los elementos de la figura 10 se describen a continuación.

MCU: microcontrolador encargado del sistema de comunicaciones y de los módulos sensores, recolecta la información recibida y la compara con la señal enviada, entre sus salidas se encuentra una señal para activar un *buzzer*, una para enviar la distancia del sensor y otra para enviar los datos al transceptor.

Buzzer: elemento por el cual se alerta al usuario cuando un objeto se está acercando a él o viceversa.

Salida de datos: este pin entrega el valor calculado de la distancia al objeto que se esté monitoreando. Este valor estará disponible para ser utilizado por alguna otra interfaz.

Transceptor: acopla los niveles de voltaje del microcontrolador a los niveles requeridos por la red LIN.

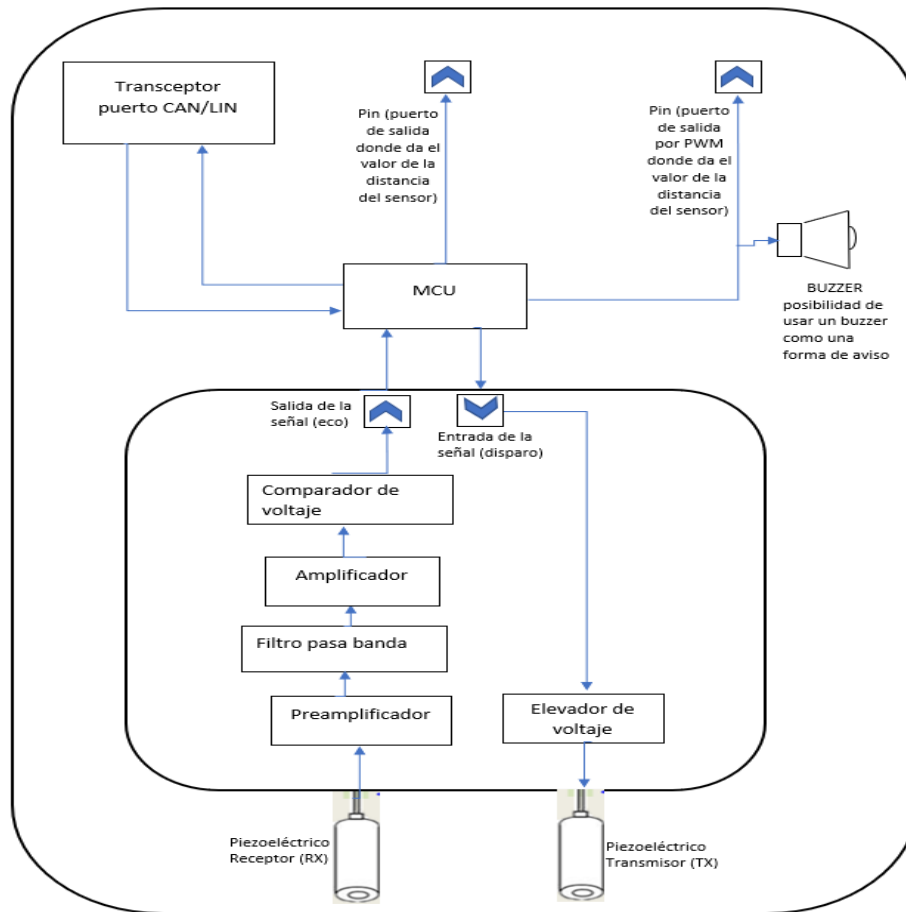


Figura 10. Módulo Sensor Ultrasónico propuesto.

Elevador de voltaje: recibe los pulsos cuadrados (BURST) o ráfaga de pulsos y los eleva a un voltaje mayor. El circuito acondicionador de señal requiere este elemento para excitar al piezoeléctrico ya que la mayoría de estos elementos requieren voltajes grandes para poder resonar en su frecuencia central.

Piezoeléctrico transmisor (TX): su función es enviar a través del espacio (aire) la señal (ráfaga de pulsos) montada en una portadora viajando a la velocidad del sonido.

Piezoeléctrico receptor (RX): este elemento recolecta la señal que posiblemente rebotó en algún objeto o en un elemento reflector, este elemento capta señales mecánicas.

Preamplificador: elemento que amplifica la señal del piezoeléctrico receptor, ya que es una señal muy débil comparada con la original.

Filtro pasa banda: es un filtro diseñado para eliminar la frecuencia portadora y así obtener solamente la ráfaga de pulsos.

Amplificador: elemento que amplifica la salida del filtro

Comparador de voltaje: acopla la salida del amplificador a voltajes apropiados para el microcontrolador.

Una vez que se desarrolle un módulo sensor, se diseñará el sistema sonar completo, que deberá contener cierto número de módulos sensores, que estarán enviando, por el bus automotriz, datos de los objetos que se encuentren en el rango de distancia. Un microcontrolador estará esperando esos datos, actuando como un puente entre dos buses para que una mini PC pueda obtener esos datos y así desplegar en una pantalla la imagen del sonar, permitiendo al usuario ver los objetos y tomar una decisión cuando esté usando el *auto estacionamiento* (figura 11).

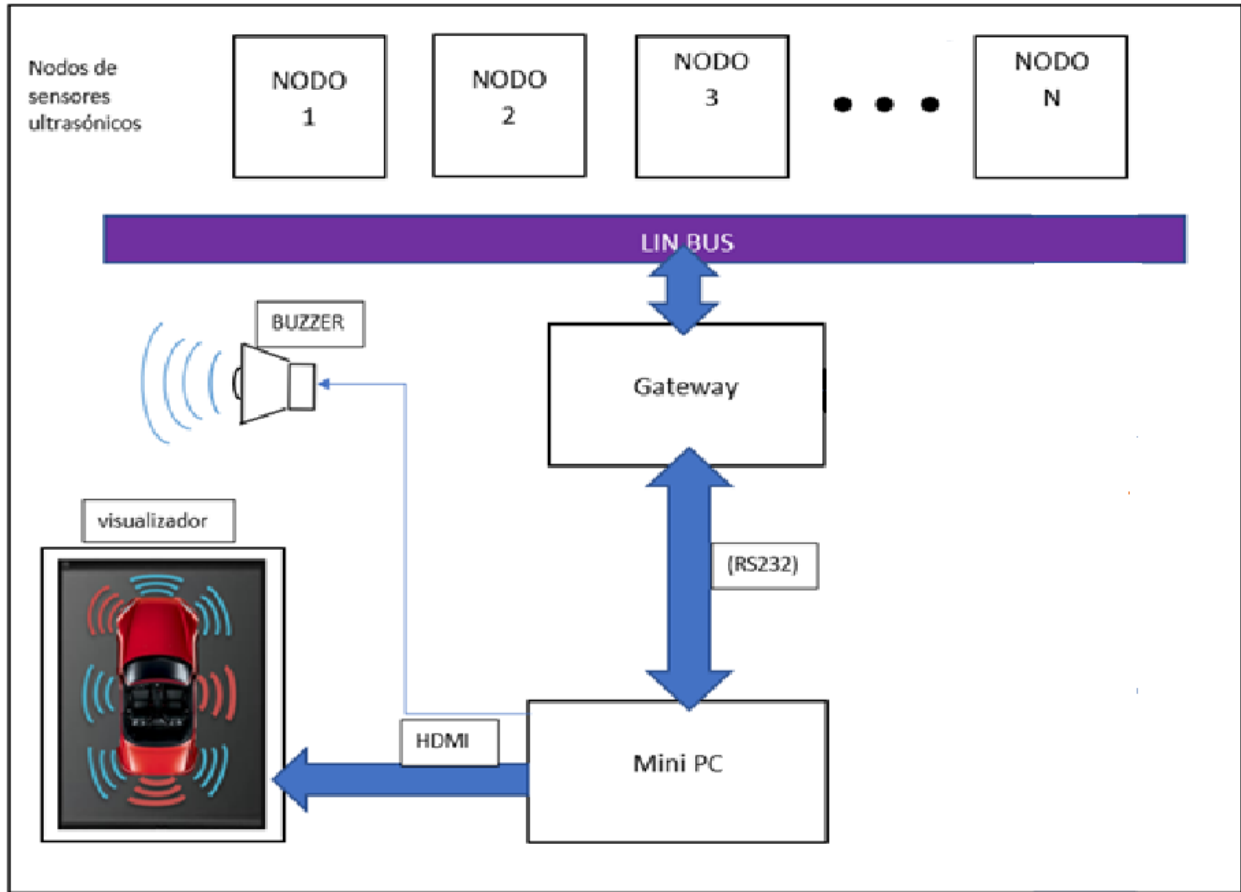


Figura 11. Diagrama General del proyecto.

Cabe resaltar que existe muy poca información técnica acerca de estos sistemas ya que las empresas la guardan como secreto industrial.

Capítulo 2

Sistemas con ultrasonido

En este capítulo se describen los elementos que conforman los sistemas ultrasónicos, la teoría de la naturaleza del ultrasonido, el funcionamiento de los sensores ultrasónicos para medir distancia y se explica ampliamente el sonar, su funcionamiento y diferentes estrategias para implementarlo. Finalmente se abordan las topologías y las diferentes redes automotrices.

2.1 El ultrasonido

El ultrasonido consiste en ondas acústicas (mecánicas), perturbaciones de tipo elástico que se propagan por todo el medio material mediante el movimiento armónico de sus moléculas, se le conoce así porque su frecuencia de oscilación está por encima de frecuencias superiores a 20KHz, el límite superior no puede determinarse pues depende de la tecnología.

Ciertas aplicaciones utilizan la potencia de las ondas ultrasónicas para transformar el medio al que se aplican, tal como ocurre en medicina donde son usados con fines terapéuticos como lo son la hipertermia, litotricia, etc., también en la industria, donde sus usos más frecuentes son activar procesos de naturaleza física como filtros, aglomerantes y destrucción de burbujas en líneas industriales de embotellamiento de bebidas gaseosas. También son muy conocidas las aplicaciones marinas, uno de estos ejemplos, el más común, es el SONAR donde las ondas ultrasónicas son usadas para trazar mapas y distancias en el fondo marino, detectar barcos y bancos de peces u otros objetos en el fondo marino.

Se sabe que muchas de especies de animales emplean el ultrasonido para sobrevivir en su entorno, unos como alerta de un depredador o para la caza de su alimento y también lo usan para comunicarse entre ellos.

En general, el espectro de frecuencia de estas especies abarca un intervalo que va desde 20KHz a 100KHz. En la siguiente figura (figura 12) se muestra un rango de espectro de frecuencias de las especies más representativas que emplean el ultrasonido [34].

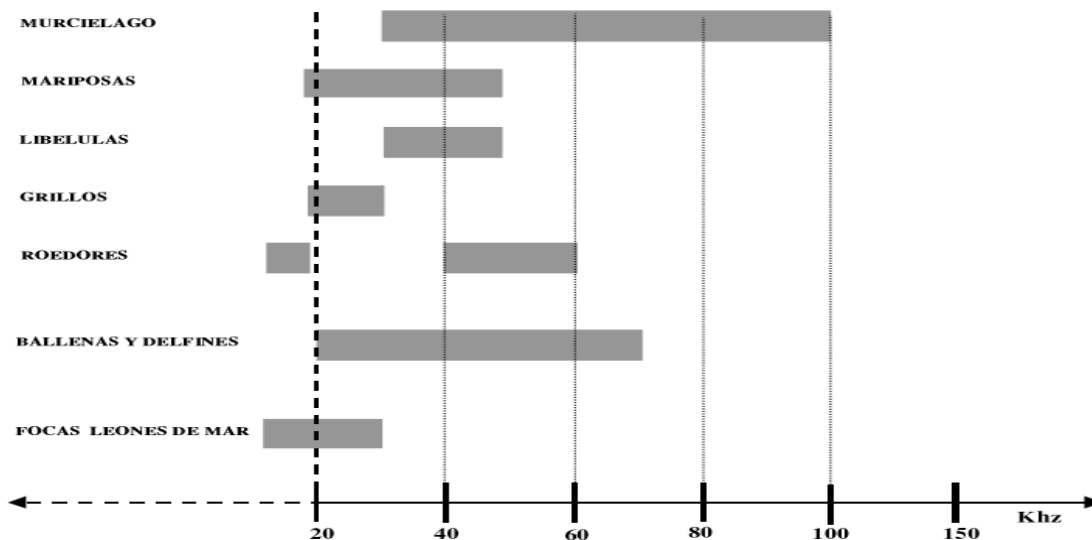


Figura 12. Espectro de frecuencias de los animales [34].

Las ondas acústicas, que se propagan por un medio material, hacen vibrar a sus moléculas de acuerdo con la fuente que los genera. Si se emplea como generador de las ondas un modelo senoidal, se puede decir que el movimiento es semejante al de una pequeña masa. Por lo tanto, la masa se mueve de forma

armónica alrededor de su punto de equilibrio. El desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza y demás características mecánicas, son también armónicas y siguen una función senoidal:

$$s(t) = A \operatorname{sen}(2\pi f t + \varphi) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

s es la función de onda

A es la amplitud máxima de la oscilación, es decir, el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición de equilibrio [longitud]

f es la frecuencia [HZ] de la vibración

φ es la fase en el instante inicial

El valor de frecuencia puede variar entre 20 KHz (usada para aplicaciones de potencia en aire) hasta 100 MHz (usadas en microscopia ultrasónica). Por ejemplo, en aplicaciones médicas se cubre un rango entre 1MHz y 20MHz.

Existen diversos tipos de ondas ultrasónicas según sea la dirección del movimiento de oscilación de las partículas relativa a la dirección de propagación del frente acústico: longitudinales, transversales y superficiales. Existen otros modos de vibración especiales que se producen en materiales laminados delgados, llamados ondas Lamb [34].

2.1.1 Propagación

Un cuerpo en oscilación pone en movimiento a las moléculas de aire o del medio que lo rodean. Éstas a su vez, transmiten ese movimiento a las moléculas vecinas y así sucesivamente. Cada molécula de aire entra en oscilación en torno a su punto de reposo. Es decir, el desplazamiento que sufre cada molécula es pequeño. Pero el movimiento se propaga a través del medio.

Entre la fuente sonora (el cuerpo en oscilación) y el receptor (el ser humano) se tiene entonces una transmisión de energía, pero no un traslado de materia. No son las moléculas de aire que rodean al cuerpo en oscilación las que hacen entrar en movimiento al tímpano, sino las que están junto al mismo, que fueron puestas en movimiento a medida que la onda se fue propagando en el medio.

Si el cuerpo que genera la oscilación realiza un movimiento armónico simple, las variaciones de la presión en el aire pueden representarse por medio de una onda sinusoidal. Por el contrario, si el cuerpo realiza un movimiento complejo, las variaciones de presión sonora deberán representarse por medio de una forma de onda igual a la resultante de la proyección en el tiempo del movimiento del cuerpo (figura 13) [34].

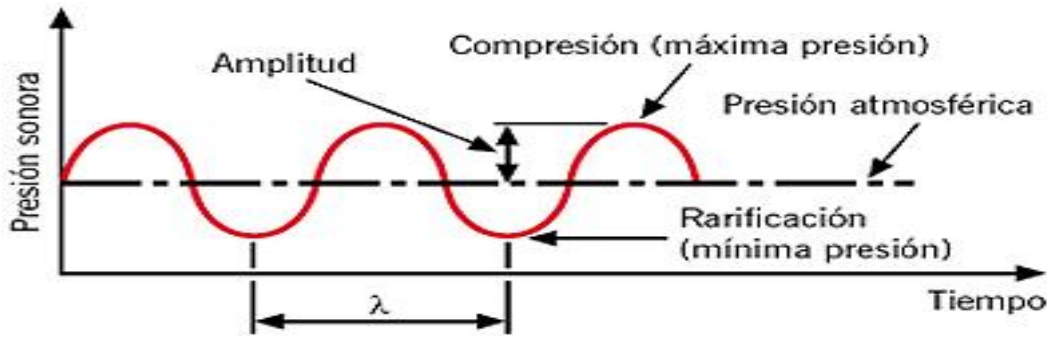


Figura 13. Variaciones de presión en el aire (condensación y rarefacción) en el caso de un movimiento armónico simple [34].

En el aire, el sonido se propaga esféricamente es decir en todas direcciones. El sonido se propaga como una esfera cuyo centro es la fuente sonora y que se va haciendo cada vez más grande, va aumentando su radio.

La velocidad del sonido depende de las características del medio en el que se realiza dicha propagación y no de las características de la onda o de la fuerza que la genera, en el caso de un gas (como el aire) es directamente proporcional a su temperatura específica y a su presión estática e inversamente proporcional a su densidad, dado que, si varía la presión, varía también la densidad del gas. La velocidad de propagación permanece constante ante los cambios de presión o densidad del medio.

Sin embargo, la velocidad del sonido sí varía ante los cambios de temperatura del aire (medio), cuanto mayor es la temperatura del aire mayor es la velocidad de propagación. La velocidad del sonido en el aire aumenta 0.6 m/s por cada grado centígrado de aumento en la temperatura, en el aire es de aproximadamente 344 m/s a 20° C de temperatura, lo que equivale a 1,238.4 km/h, es decir que se necesitan 3 segundos para recorrer 1 km.

De la misma manera, el sonido se propaga a diferentes velocidades en medios de distinta densidad, en general, se propaga a mayor velocidad en líquidos y sólidos que en gases (como el aire). Por ejemplo, la velocidad de propagación del sonido es aproximadamente 1.440 m/s en el agua y 5.000 m/s en el acero [24].

2.2 El Sensor ultrasónico

Esencialmente existen dos sistemas activos para la medición de proximidad o de distancias sin necesidad de contacto físico : los ópticos y los ultrasónicos. Los sistemas ópticos ofrecen mejor precisión debido a que la longitud de onda involucrada es más corta y debido a que presentan menor sensibilidad a condiciones ambientales como por ejemplo la presión y la temperatura.

Como su nombre lo indica, los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción.

En el mercado actual hay una variedad de sensores ultrasónicos disponibles como los sensores ultrasónicos para autos, para nivel (líquidos) o bien para robótica (figura 14).



Figura 14. Diferente sensores ultrasónicos comerciales [13].

El método ultrasónico de medición de distancia se ha popularizado entre otros métodos. La distancia se obtiene midiendo el intervalo de tiempo desde el instante en que los pulsos se transmiten a través de un medio hasta el instante en que se recibe el eco de la onda reflejada desde el objetivo [9].

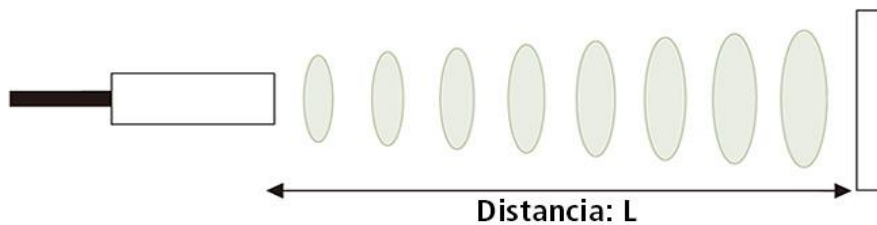


Figura 15. Funcionamiento del sensor ultrasónico [11].

Se observa en la figura 15 que la distancia se puede calcular mediante la expresión matemática (2):

$$D = \frac{1}{2} (t * C) \tag{Ec. 2}$$

En donde:

t es el tiempo entre la emisión y recepción

C es la constante de la velocidad del sonido (344 m/s).

El factor de $1/2$ se introduce ya que t es el tiempo en lo que envía y después en lo que recibe o rebota en algún objeto.

De forma rigurosa, la velocidad del sonido se obtiene a partir de la ecuación de onda lineal [10] y su valor es el que aparece en la ecuación (2).

La medición mediante ultrasonido se ve afectada por factores medioambientales y por factores relacionados con el objeto reflector. En el caso de aplicaciones de medición de distancias mediante la técnica del pulso-eco, el factor más importante que afecta la exactitud del sistema está relacionado con la variación de la velocidad de la onda ultrasónica debido a la temperatura y a la composición del medio

de transmisión. La velocidad del sonido en el medio V_s , varía como una función de la temperatura según la función :

$$V_s = V_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V_0 es la velocidad absoluta en el medio a 0° centígrados

T es la temperatura del medio en grados centígrados.

Por ejemplo, la velocidad del sonido en el aire a 0° centígrados es 331 m/s, entonces en un ambiente con temperatura promedio de 20° centígrados, la velocidad promedio es de 343 m/s a la presión de una atmósfera.

En la mayoría de los sistemas de medición de distancias, el efecto de la temperatura no es de gran consideración debido a que el error relativo es sólo del 0.18 % por cada $^\circ\text{C}$, además de que siempre existe la posibilidad de utilizar un sistema de compensación del efecto de la temperatura, como la medición de la temperatura ambiente o la utilización de un objeto de referencia. Sin embargo en los sistemas de alta precisión, no sólo hay que compensar los efectos de la temperatura, sino que hay que considerar el efecto adicional de la turbulencia en el medio y de las corrientes de convección.

2.3 Sensores ultrasónicos

Como parte de esta tesis se realizó una búsqueda de diferentes dispositivos ultrasónicos comerciales con el fin de tener diversas opciones y trabajar con el más adecuado [6,7,8,9,10,11]. La tabla 4 muestra las características de los sensores encontrados.

Tabla 4.- Transductores ultrasónicos.

	sensor ultrasonic hc-sr04	Transductor EU1640BCH1 2T R/ S	Transductor MA40S4R/S	Transductor MA58MF14 -7N	Transductor USTR60-10H	Transductor MSWA1060H 08TR
Frecuencia	40±1.0KHz	40±1.0KHz	40±1.0KHz	58±1.0KHz	60±1.0KHz	60±1.0KHz
Rango de operación	(40kHz, 8 pulsos),5Vpp	40kHz, -8 pulsos),5Vpp	(40kHz, 5 pulsos), 5Vpp	(58kHz, 8 pulsos),7.5Vpp	(60kHz) pulsos 0.333mS, intervalos 20ms, 140Vpp	Max 140Vpp
salida	Sensor analógico	Sensor analógico	Sensor analógico	Sensor analógico	Sensor analógico	Sensor analógico
distancia	2cm - 400cm sin contacto	Max 4m sin contacto	100mm Usado para la detección de hojas de la impresora. No usar en otra aplicación.	1 metro sobre el concreto 600mm	35cm -1m	0.3cm-3.0m
decibeles	--	≥110dB	Max 30 db	Max 30 db	--	--
transmisor	40 KHz	40 KHz	40kHz	58 KHz	60khz	60khz
Temp. Rango	-10 - +60 C°	-10 - +60 C°	-20°C a 70°C	-40°C a 85°C	-40°C a +80°C	-35°Ca +80°C
Receptor	40 KHz	40KHz	40kHz	58 KHz	60khz	60khz

2.3.1 Respuestas de los transductores

Físicamente el transductor se comporta como un pistón en el interior de un tubo cerrado, este genera frentes de ondas de presión (figura 16). El avance y retroceso del pistón le imprime una velocidad angular w y genera una presión P que mueve las partículas del aire que se encuentran en sus cercanías, este resultado es la compresión y dilatación del aire. En general, en medios de gases y fluidos la única forma de propagación del sonido es mediante ondas de presión.

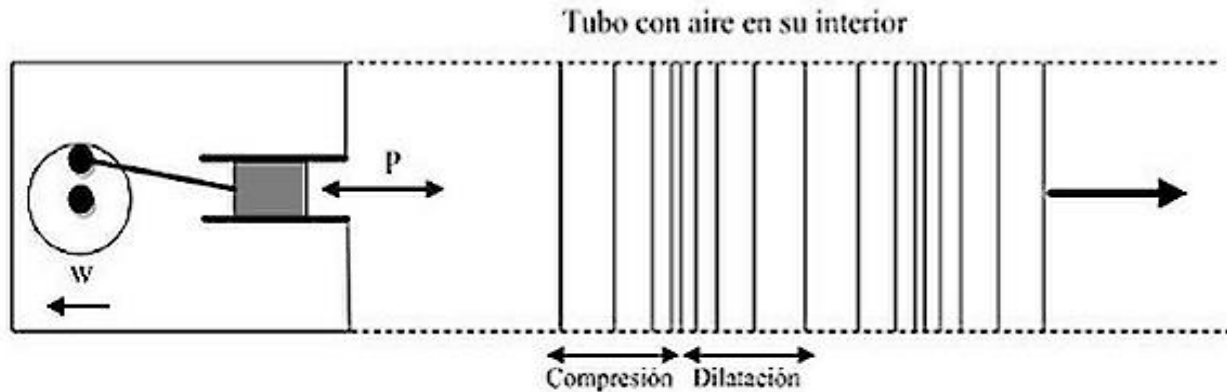


Figura 16. Forma de onda del transductor visto como pistón [34].

El transductor puede trabajar con excitaciones pulsadas y continuas, en este trabajo se verán solamente las excitaciones pulsadas. Si un transductor piezoeléctrico es excitado con un impulso de tensión tal como el obtenido por una rápida descarga de un capacitor usando un circuito similar al de la figura 17, la onda de presión radiada por el transductor deberá tener la forma de una senoide decayendo exponencialmente con el tiempo. Mientras no exista pulso de excitación en el interruptor L , el capacitor C se carga a la tensión V a través de la resistencia R_c . Cuando el interruptor recibe el pulso, el capacitor se descarga rápidamente a masa, llevando también a masa a la terminal positiva del transductor y a la resistencia R_d .

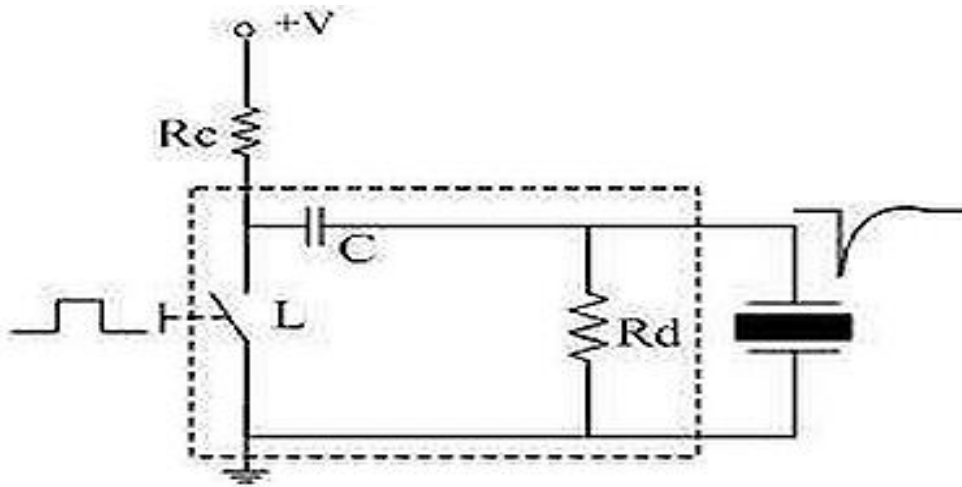


Figura 17. Circuito electrónico para excitar al transductor [34].

En la figura 18 se muestra la respuesta del transductor ante una excitación pulsada. Las líneas con puntos representan la envolvente de la onda de presión, la flecha indica el instante de tiempo en que se cierra la llave, esto es proporcional al decaimiento de la envolvente y está relacionada con las pérdidas en el transductor.

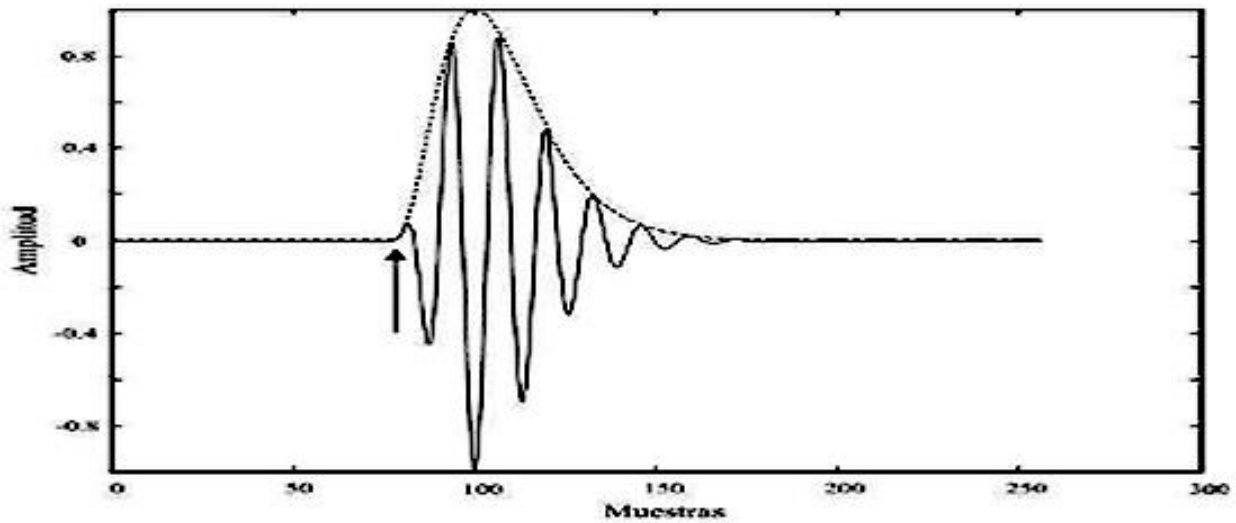


Figura 18. Forma de onda del transductor ante una excitación pulsada [34].

La figura 19 muestra las respuestas del transductor a N ráfagas de pulsos; la onda de color azul tiene un pulso con menor tiempo de periodo mientras que en la de color rojo la duración es mayor.

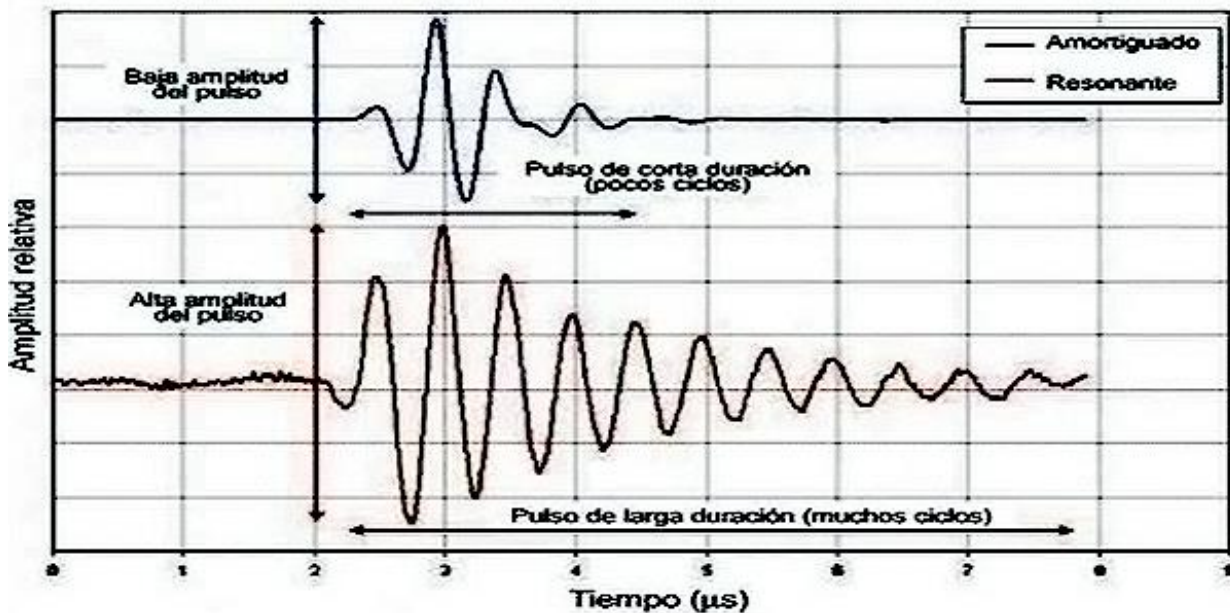


Figura 19. Respuesta del transductor de pulso corto (Azul), respuesta pulso largo (Rojo) [34].

Como se ha mencionado, la señal del transmisor viaja a través del medio, que es aire, y se refleja en algún objeto cercano de acuerdo con el rango cónico que tiene el sensor, pero no indica ni especifica su localización angular [34] (figura 20).

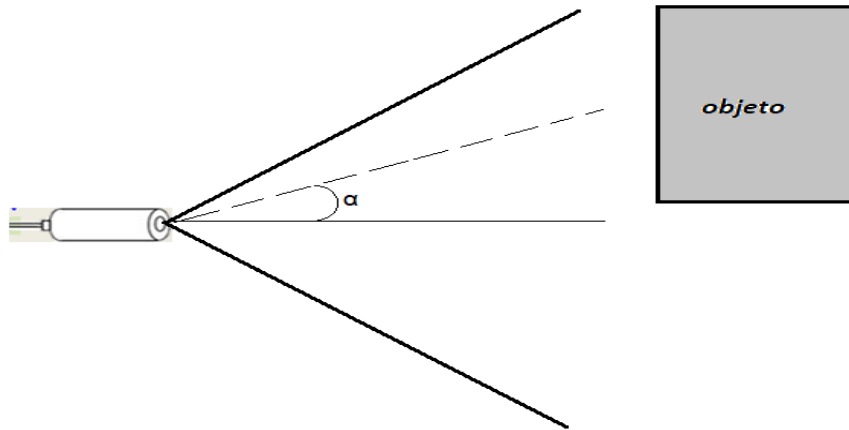


Figura 20. Incertidumbre angular del ultrasonido.

La energía acústica reflejada depende en gran medida de la estructura de la superficie del obstáculo. Para obtener una reflexión altamente difusa, el tamaño de la irregularidades debe de ser comparable a la longitud de onda del ultrasonido.

Los factores ambientales tienen una gran importancia ya que son valores físicos que no se pueden cambiar ni modificar ya que se encuentran en la naturaleza. El ultrasonido se mueve por un medio que es el aire, y la densidad del aire depende mucho de la temperatura [34] (figura 21), influyendo este factor sobre la velocidad de la propagación de la onda según la expresión de la ecuación (3).

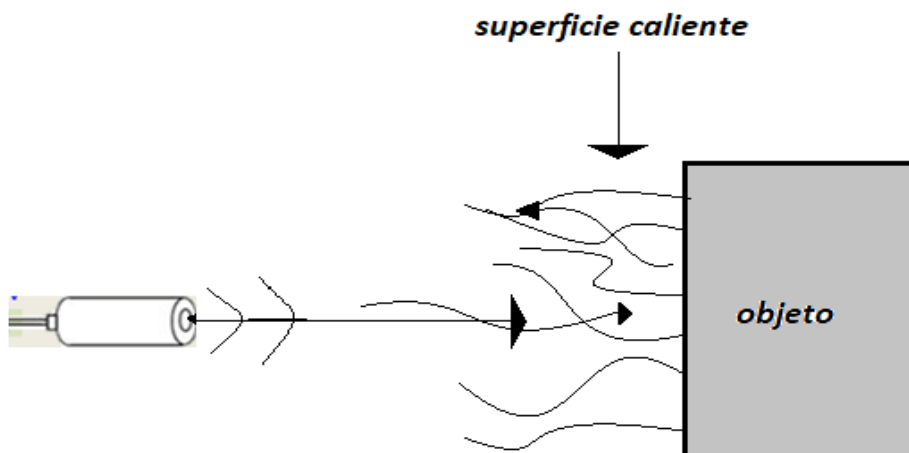


Figura 21. Afectación de la onda por la temperatura.

Existe un margen de detección de un sensor ultrasónico que corresponde al área comprendida entre los límites de detección mínimo y máximo, con se muestra en la figura 22.

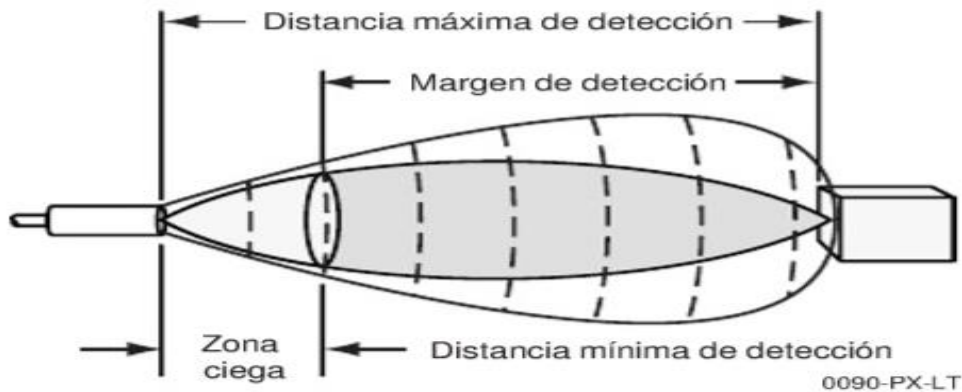


Figura 22. Margen de detección del sensor ultrasónico [34].

Los sensores ultrasónicos tienen una pequeña área no utilizable llamada zona ciega (figura 22), en donde el haz ultrasónico sale del sensor y regresa antes de que el sensor haya completado su transmisión, esta área es no utilizable.

También el tamaño y el material del objeto determinan la distancia máxima a la que se puede detectar un objeto, cuanto más difícil de detectar un objeto más corta es la distancia de detección máxima.

Los materiales que absorben más el sonido son espuma, algodón o caucho. Son más difíciles de detectar que los materiales acústicamente reflectivos como el acero, el plástico o el vidrio [34] (figura 23).

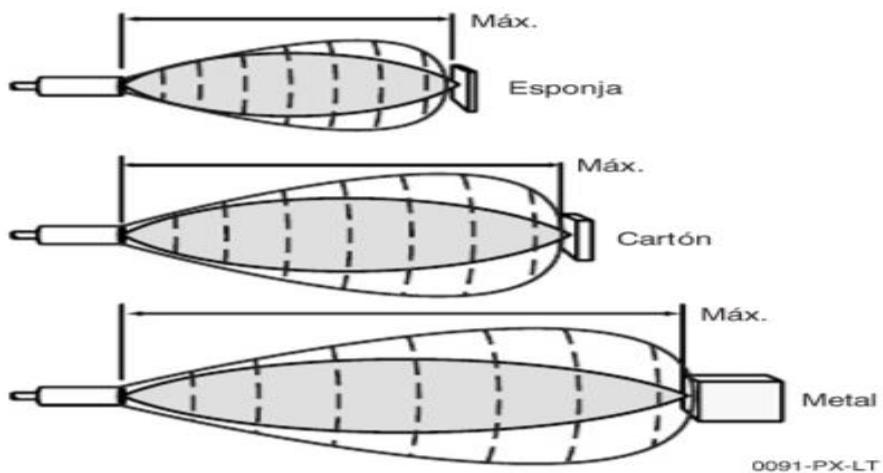


Figura 23. Distancia máxima dependiendo del material [34].

Otro factor de error muy común en los sensores ultrasónicos se debe a los falsos ecos, estos pueden provocarse por diferentes razones, una de ellas es que la onda emitida por un transductor se refleja múltiples veces en diversos tipos de superficies antes de que vuelva a regresar a la fuente receptora (si es que incide). Este fenómeno conocido como reflexiones múltiples (figura 24), implica que la lectura del

sensor sea una distancia proporcional al tiempo transcurrido en el viaje de la onda, es decir que la onda viajaría a una distancia mayor que en la que realidad está el objeto. Otra fuente común de falsos ecos es el *crosstalk*, se produce este fenómeno cuando varios sensores ultrasónicos están en pleno funcionamiento al mismo tiempo, en este caso puede ocurrir que un sensor A emita pulsos de una alta frecuencia, estos se reflejen en una superficie con cierto ángulo y salgan disparados a otro sensor B que tome la lectura como si fuera su propia onda, mientras que el sensor A se queda esperando su señal [34] (figura 25).

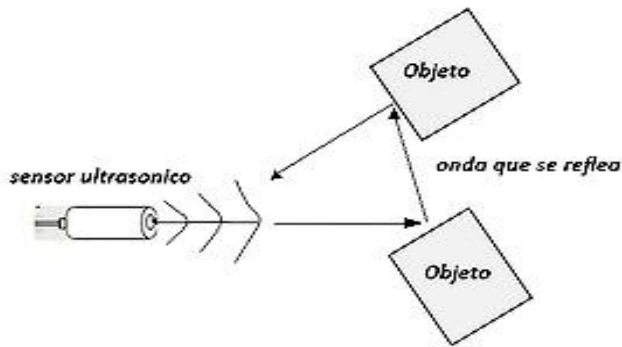


Figura 24. Efecto de múltiples reflejos

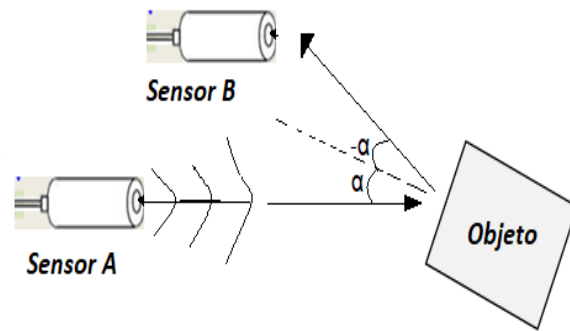


Figura 25. Efecto crosstalk

Para reducir los errores anteriores y mejorar la estimación del tiempo de vuelo, se han propuesto varias técnicas como la generación de señales de fácil identificación en el tiempo, el análisis detallado de la envolvente del eco o el uso de técnicas digitales.

Hay diferentes modos de generar y recibir ondas ultrasónicas para aplicaciones de medición de distancias. Comúnmente se pueden emplear ondas continuas o también ondas en forma de pulso. Los métodos de onda continua esencialmente son dos: los basados en la medición de la diferencia de fase entre la señal transmitida y la señal recibida de una onda modulada en amplitud, y los basados en la medición de la diferencia de frecuencia entre la señal transmitida y la señal recibida de una onda modulada en frecuencia. Sin embargo, la gran mayoría de las aplicaciones de medición de distancia mediante ultrasonido se basa en la estimación del tiempo que transcurre entre la emisión de un corto tren de pulsos de ondas ultrasónicas y su recepción después de haber sido reflejado por algún objeto del entorno. A este período de tiempo se le conoce comúnmente como tiempo de vuelo t_t o t_f (*Time of Fly*) y se explicará a continuación.

2.3.2 Sistemas basados en el tiempo de vuelo

En este tipo de sistemas el sensor genera un pulso ultrasónico el cual se transmite a través del medio (típicamente aire) hasta que es reflejado por alguna superficie, midiendo el tiempo entre la transmisión y la recepción del eco, la distancia al reflector puede ser estimada indirectamente mediante la fórmula $d = \frac{1}{2} * v * t_t$, donde v representa la velocidad del sonido en el medio de transmisión y t_t el tiempo de vuelo. La exactitud en la medición de distancias mediante esta técnica depende del conocimiento de v y de la correcta estimación de t_t . La velocidad del sonido en el aire muestra una dependencia casi lineal

con la temperatura, por lo cual puede ser fácilmente determinada, y si es necesario compensada, entonces el punto crítico en la medición de distancias mediante esta técnica es la determinación del tiempo de vuelo, la forma más común de hacerlo es mediante el método del umbral, en el cual el tiempo de llegada es calculado cuando el eco recibido traspasa por primera vez un cierto nivel de amplitud dado. Aunque este método ha probado ser simple y de bajo costo, la técnica presenta baja resolución, particularmente cuando el eco ha sido considerablemente atenuado. Una solución a este problema es la adopción de un umbral de amplitud ajustable en el tiempo, en este caso, el umbral de amplitud va decreciendo a medida que el tiempo de vuelo es mayor, lo que está directamente relacionado con la distancia a la que viaja la señal y en consecuencia con la atenuación de la misma. Sin embargo, existen otras causas de variación de la amplitud de la señal, como por ejemplo el tamaño y la orientación del reflector, que no pueden ser fácilmente modeladas y que hacen que el método no sea fiable.

Una forma de representar el tiempo de vuelo se observa en la siguiente figura (figura 26).

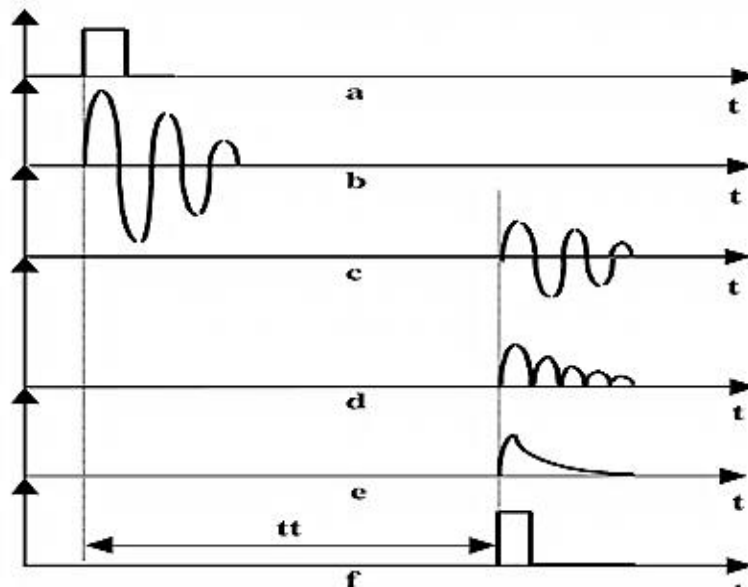


Figura 26. Representación del tiempo de vuelo (tt) [34].

Donde:

- a- Representa el pulso de excitación del transductor emisor provisto por el generador de pulsos. Este pulso activa un contador de tiempo (inicio).
- b- La respuesta del transductor emisor ante su excitación. Representa la información eléctrica que se transforma en energía acústica y la envía al medio.
- c- Es la energía acústica que el medio retorna al transductor receptor y que éste lo convierte en energía eléctrica.
- d- A la señal previamente amplificada se le extrae su valor medio y se le rectifica (onda completa).
- e- La señal rectificada ingresa a un filtro pasa baja para eliminarle las componentes de alta frecuencia (portadora).
- f- Finalmente, la señal demodulada se ingresa a la entrada de un circuito detector de cruce por cero, cuando la salida de éste cambia de estado (flanco positivo o negativo), el pulso que genera detiene el

contador de tiempo; el valor del contador, dividido por dos representa el tiempo de transito tt (también llamado tiempo de vuelo o *flight time*) por medio del cual se puede determinar la distancia al objeto.

2.3.3 Problemas con los sensores ultrasónicos

El sensor ultrasónico parece ser algo sencillo por sus fórmulas y su forma de funcionamiento pero existen ciertos factores inherentes, como los fenómenos físicos en el mundo real, que pueden afectar el sistema.

Una causa de error presente en el método del umbral proviene del tiempo de crecimiento del eco ultrasónico el cual es relativamente largo y que es consecuencia del bajo ancho de banda del transductor ultrasónico para operación en el aire, causa que los ecos recibidos alcancen el umbral de disparo algún tiempo después del comienzo real de los mismos, por lo que el reflector aparece un poco más lejano de lo que realmente está. Aunque este error puede ser evitado considerando un retraso constante en el cómputo del tiempo de vuelo; las variaciones de amplitud en la señal producen desviaciones importantes al aplicar esta técnica.

2.4 Topología de Sensores

En la actualidad existen dos tipos de topologías: las alámbricas y las inalámbricas. En esta tesis se hablará de las redes alámbricas en las cuales los sensores son comúnmente llamados nodos.

La topología de una red está definida como el mapeo físico o lógico de la red para intercambiar los datos, el concepto de red también puede ser definido como un conjunto de nodos interconectados y un nodo es el punto en que una curva se intercepta en la misma, quiere decir que el nodo depende del tipo de red al que se encuentra conectado.

Las diferentes topologías son

- Punto a punto (*point to point*, PtP) o *peer-to-peer* (P2P).
- En bus (“conductor común” o *bus*) o lineal (*line*).
- En estrella (*star*).
- En anillo (*ring*) o circular.

Punto a punto

Las redes punto a punto son aquellas que responden a la arquitectura de una red en las que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos, por ejemplo, del nodo A al nodo B, en esta red los dispositivos actúan como socios iguales, o pares entre sí, cada dispositivo puede tomar el rol de esclavo o la función de maestro. Los enlaces que pueden tomar en este tipo de red son Simplex, Half-duplex o Full-duplex.

Bus o lineal

En esta topología de bus todos los nodos están conectados a un circuito común, la información que se envía de un nodo a otro viaja directa o indirectamente y por lo tanto existe un controlador que enruta los datos al destino correcto, la información viaja a través de un cable en ambos sentidos y tiene una velocidad aproximada de 10/100 Mbps. Sus ventajas son que esta topología es simple y fácil de arreglar, es relativamente más económica ya que requiere menos cableado a diferencia de las otras topologías y es especialmente cómoda para una red pequeña y temporal.

En estrella

Esta red tiene un nodo central el cual tiene medios para prevenir problemas relacionados con ecos. Se utiliza sobre todo para redes locales, la mayoría de las redes de área local que tienen un enrutador, un conmutador o un concentrador, el nodo central es el enrutador o concentrador y es por el que pasan todos los paquetes. Sus ventajas son que tiene los medios para prevenir problemas, si un nodo se desconecta o se rompe el cable sólo queda fuera de la red ese nodo, es fácil de agregar o reconfigurar la arquitectura, es fácil prevenir daños o conflictos y permite que todos los nodos se comuniquen entre sí de manera conveniente.

Red de anillo

La red tipo de anillo se destaca por el paso de un token o testigo, como un cartero que pasa recogiendo y entregando los mensajes, de esta manera se evitan eventuales pérdidas de información debidas a colisiones entre ellas, tiene longitudes de canales limitadas y lentitud de transferencia de datos. Algunas de sus ventajas son: simplicidad de arquitectura, facilidad de configuración y facilidad de fluidez de datos.

2.5 Procesador de señal ultrasónico y controlador del transductor

Este tipo de dispositivos, de arquitectura compleja, pueden recibir y acondicionar la señal del eco reflejado para la detección confiable del objeto, constan de todos los elementos necesarios para llegar a realizar las operaciones de detección integrados en un solo chip, pueden incluir un DSP avanzado y algunos controladores para los transductores en una topología basada en transformadores elevadores o en una topología de transmisión directa.

Existen diferentes dispositivos de procesador de señales ultrasónicas usados en la industria automotriz para la detección de objetos a través del aire y medición de distancia, estos dispositivos pueden solucionar gran parte del acondicionamiento de la señal en los módulos del transductor. La tabla 5 muestra algunos de los dispositivos que se podrían considerar adecuados para este trabajo, ya que manipulan algún protocolo automotriz y trabajan dentro del rango de frecuencias adecuadas, entre 40 KHz y 70 kHz. Estos dispositivos corresponden a la experimentada empresa alemana ELMOS. Se observa que los dos últimos dispositivos de la tabla cumplen perfectamente con las especificaciones requeridas para el proyecto.

Tabla 5.- Dispositivos Procesadores de señales ultrasónicas ELMOS.

Modelo	Interfaz	Frecuencia del transductor	Corriente de entrada	memoria	Voltaje de entrada	Empaque tado	Comentarios
E524.02 Controlador de transductor ultrasónico digital y procesador de señal	2 líneas	40kHz a 58kHz	108mA a 310mA	EEPROM para calibración	7V a 18V	QFN20L4	Evaluación de señal de eco digital. Adaptación a muchas combinaciones diferentes de transformador / transductor
E524.03_Controlador de transductor ultrasónico digital y procesador de señal	3 líneas	40kHz a 58kHz	108mA a 310mA	EEPROM para calibración	7V a 18V	QFN20L4	Evaluación de señal de eco digital. Adaptación a muchas combinaciones diferentes de transformador/transductor
E524.05 IC de acondiciona_miento de señal para sensores ultrasónicos con accionamiento directo	2 líneas	38kHz a 72kHz	-	EEPROM para calibración	7V a 18V	QFN20L4	Reduccion de tamaño y costo del sistema.
E524.06 IC de acondicionamiento de señal para sensores ultrasónicos con accionamiento directo	3 líneas	38kHz a 72kHz	-	EEPROM para calibración	7V a 18V	QFN20L4	Reduccion de tamaño y costo del sistema.
E524.07 IC de acondicionamiento de señal para sensores ultrasónicos con accionamiento directo	2 líneas EUSART	38kHz a 72kHz	-	EEPROM para calibración	7V a 18V	QFN20L4	Reduccion de tamaño y costo del sistema.
E524.08 Controlador de transductor y procesador de señal ultrasónico de segunda generación	2 líneas	30kHz a 83kHz	168mA a 354mA	EEPROM para calibración	6V a 18V	QFN20L4	Excelente desempeño a distancias cortas y largas. Flexible, protocolo avanzado de 10 entradas/salidas. Información de diagnóstico del transductor.
E524.09 Controlador de transductor y procesador de señal ultrasónico de segunda generación	3 líneas	30kHz a 83kHz	168mA a 354mA	EEPROM para calibración	6V a 18V	QFN20L4	Rendimiento xxcelente rango corto- largo. flexibilidad de protocolos avanzados 10 entradas / salidas.Información de diagnóstico del transductor.
E524.14 LIN Smart Ultrasónico asistencia de estacionamiento	LIN SNPD (auto dirección o pin-coding)	30kHz a 80kHz	160mA a 496mA	8k Byte FLASH EEPROM para calibración	8V a 18V	QFN20L5	CPU empotrado para procesamiento de señal. Soporte de interfaz LIN a altos números de módulos de sensores.
E524.24 LIN Smart Ultrasónico asistencia de estacionamiento	LIN SNPD (auto dirección o pin-code)	30kHz a 80kHz	188mA a 518mA	8k Byte ROM EEPROM para calibración	8V a 18V	QFN20L5	CPU empotrado para procesamiento de señal. Soporte de interfaz LIN a altos números de módulos de sensores. Listo para usarse y flexibilidad en el software.

En la siguiente tabla (tabla 6), se muestran algunos dispositivos de la empresa Texas Instruments de la familia PGA.

Tabla 6.- Dispositivos Procesadores de señales ultrasónicos TEXAS INSTRUMENT [37].

	PGA450-Q1	PGA460	PGA460-Q1
Canales de entrada	1	1	1

Interfaces	LIN / SCI UART GPIO SPI	UART/USART TCI (Interfaz de comando de tiempo)	UART/USART TCI (Interfaz de comando de tiempo)
Activo fuente de corriente (mA)	5	12	12
Dormir fuente de corriente (uA)		300	300
Voltaje de entrada (Max)	18	28	28
Voltaje de entrada (Min)	7	6	6
Operación	Automotriz	Catalogo	Automotriz
Rango de operación de temperatura (°C)	-40 - 125	-40 - 105	-40 - 105
Tamaño del empaque:mm2: W X L(PKG)	28TSSOP: 62 mm2: 6.4 x 9.7(TSSOP)	16TSSOP: 32 mm2: 6.4 x 5(TSSOP)	16TSSOP: 32 mm2: 6.4 x 5(TSSOP)
Precio	2.60	1.65	1.82
Paquete	Integrado	Integrado	Integrado

En la tabla 7, se resumen las características de los dispositivos que se adecuan más a los requerimientos de este proyecto.

Tabla 7.- Sensores adecuados al rango de frecuencia para la aplicación.

Empresa	Frecuencia de trabajo	Interfaz	Aplicación	Voltaje	Rango de temperatura	Rango de distancia
Texas instruments						
PGA450	30-80 KHz	LIN/SCI, Usart, GPIO, SPI	Automotriz	7-18 Volts	-40 – +125 °C	7m
PGA460-Q1	30-80 KHz	USART/UART	Automotriz	6-28 Volts	-40 – +105 °C	11m
ELMOS						
E524.14	30-80 KHz	LIN(codigo-pin)	Automotriz	8-18 Volts	-40 – +105 °C	15cm-6m
E524.24	30-80 KHz	LIN(codigo-pin)	Automotriz	8-18 Volts	-40 – +105 °C	15cm-6m
NXP						
S12ZVL LIN	40-khz	LIN	Automotriz	-	-	20 cm-4m
STM						
VFQFPN2 64 9x9x1.0	20 MHz	-	General		-	
VFQFPN2 64 9x9x1.0	20 MHz	-	General		-40- +125	
TFLGA-56LD 8x8x0.9mm	20 MHz	-	General		-40- +125	

NXP es una empresa que actualmente sólo trabaja con tarjetas de evaluación y no desarrolla chips de estos dispositivos, todo el trabajo lo hace una placa y trabajan a 40 khz.

La frecuencia de trabajo de los dispositivos de la empresa STM se limita a los 20 MHz que es algo muy conveniente, también trabajan con tarjetas de evaluación y desarrollo y otra desventaja es que no manejan algún protocolo de uso automatizado.

Los dispositivos de ELMOs y Texas Instruments, cumplen con las características deseadas, sin embargo, la empresa ELMOs no tiene ningún distribuidor en América. Una de las principales ventajas de la empresa Texas Instruments es que sus productos se encuentran con distribuidores en México como Mouser, Digikey y Newark, y es por lo que a continuación se hace una descripción de estos elementos.

2.6 Familia PGA

La serie de la familia PGA incluye a los dispositivos mencionados en la tabla 7 y son circuitos integrados para la detección de objetos en el automóvil, la detección de objetos a través del aire, la detección de niveles en grandes tanques y las mediciones de distancia para la anticollisión y el aterrizaje y la asistencia de sistemas no tripulados (como drones, cámaras y robots). Estos dispositivos ofrecen una solución optimizada en comparación con alternativas discretas de sensores ultrasónicos.

El dispositivo PGA450-Q1 (figura 27) es un transductor ultrasónico y acondicionador de señal con un núcleo DSP avanzado. El dispositivo puede recibir y acondicionar la señal de eco reflejada para la detección de objetos confiable mediante un analógico seguido de una etapa de ganancia variable en función del tiempo que se alimenta a un ADC, la señal digitalizada se procesa en el núcleo DSP tanto para la detección de objetos cercanos como de campo lejano usando umbrales variables en el tiempo. La comunicación principal con un controlador externo se logra mediante una interfaz de control de tiempo (TCI) o una interfaz asíncrona USART de un solo cable en el pin IO o una interfaz USART de nivel CMOS en los pines RXD y TXD. El PGA460-Q1 puede ser puesto en modo de bajo consumo de corriente inactiva para reducir el consumo de energía cuando no está en uso y puede ser despertado por comandos en las interfaces de comunicación.



Figura 27. PGA450-Q1 [37].

El PGA450-Q1 también incluye interrupciones del sistema, la frecuencia de respuesta, la ráfaga, la frecuencia y el tiempo de decaimiento, la integridad de la excitación, así como la fuente y el diagnóstico de sobretensión (figura 28) [37].

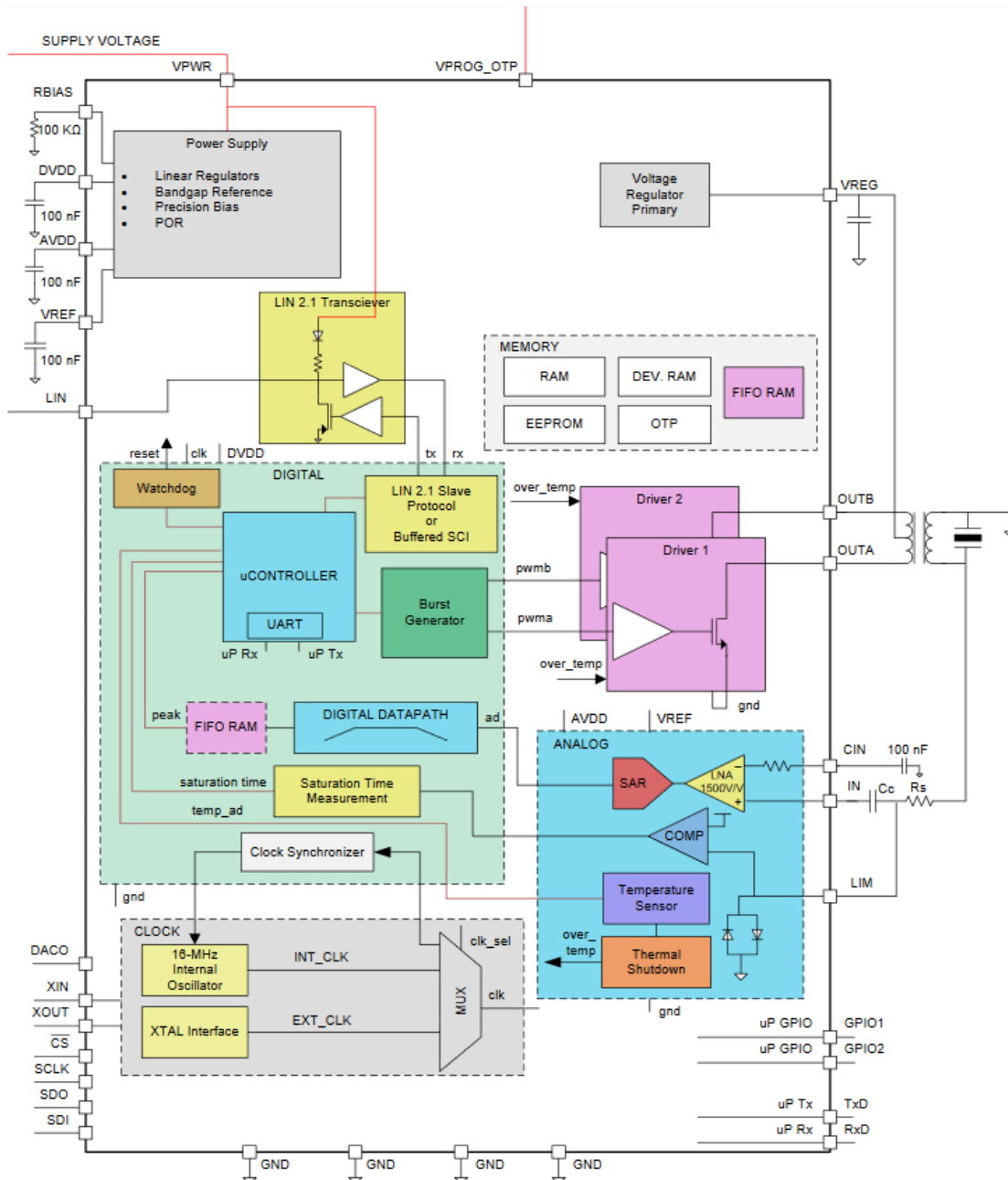


Figura 28. Diagrama interno del PGA 450 a bloques [37].

Las aplicaciones que tiene el PGA son: para radar ultrasónico, como asistencia para auto parking, en la advertencia de salida de carril y de colisión, para calcular la distancia del objeto y en la detección de posición, en la detección de presencia y proximidad, como asistente de aterrizaje y detección de obstáculos para drones y robots, en la detección de apertura de puertas automotrices e industriales, como sensor de movimiento automotriz para alarma de detección de intrusos y como sensores de ocupación y movimiento.

En la figura 29 se puede ver el diagrama con las conexiones del dispositivo.

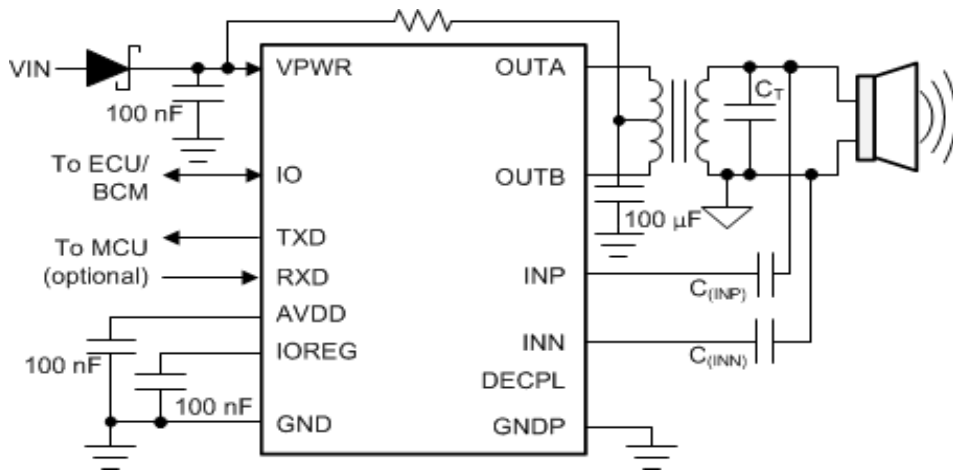


Figura 29. Conexión del PGA [37].

El dispositivo puede medir distancias que van desde menos de 1 metro hasta 7 metros, con una resolución de 1 cm dependiendo del par de sensores transductor-transformador.

A continuación, se muestra un diagrama que describe el concepto de los PGAs (figura 30) [37].

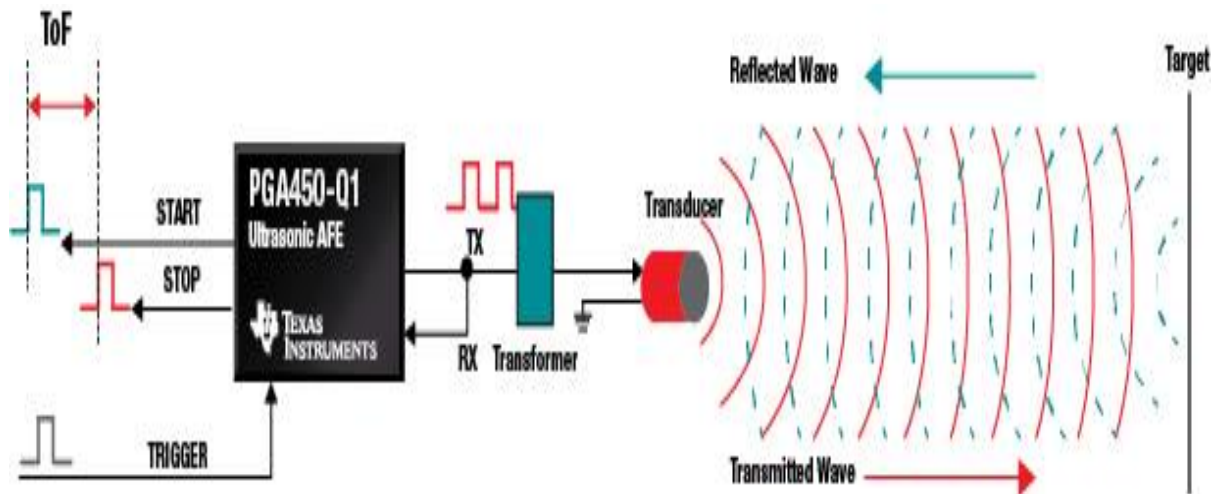


Figura 30. Tiempo de vuelo sobre el PGA [37].

Los dispositivos PGA contienen protocolos de comunicaciones y estándares que requieren las industrias, en especial la automotriz, es por eso por lo que a continuación se mencionan las redes más comunes que tienen los vehículos actualmente.

2.7 Redes automotrices

Una de los principales motivos y necesidades de los fabricantes automotrices para instalar redes en los autos, es que cada vez es más necesario instalar nodos con elementos de confort, de seguridad, emisiones de gas, sensores y sistemas de control, cada nodo tiene una función especial y no puede ser ignorada por otros elementos de la red, es por eso que en una unidad de carro hay muchas redes que

conectan a varios nodos y estas redes se conectan a otras redes superiores y hasta llegar a la unidad principal de procesamiento, con lo cual el usuario sabrá las condiciones de su unidad.

Hoy en día en un automóvil de gama media se pueden encontrar de 15 a 20 nodos y en uno de gama alta hasta 50 nodos (figura 31) cada uno de los módulos cuenta con alguna gestión electrónica diferente al otro nodo, pero hay mucha información importante que mandan y comparten entre ellos, si no fuera por algún protocolo e interfaz de red puesta dentro del automóvil esta información no llegaría a su destino y probablemente habría conflictos entre nodos vecinos [36].

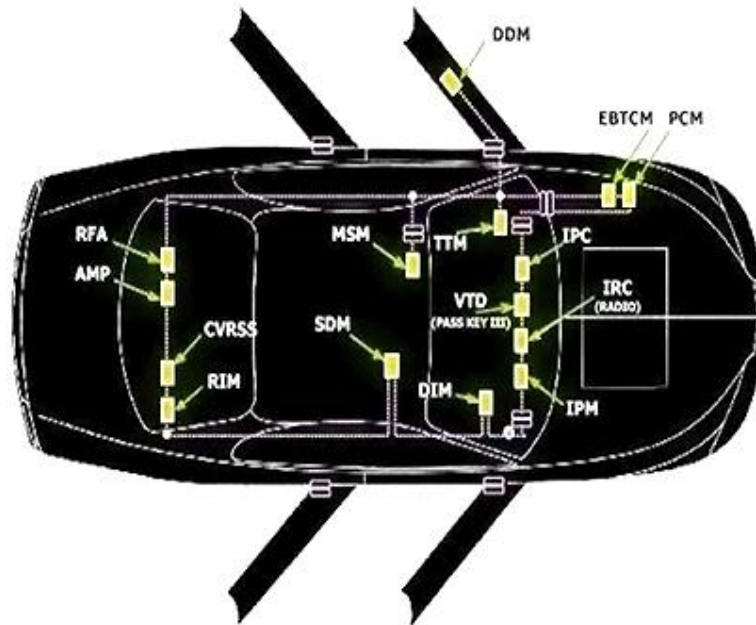


Figura 31. Nodos más comunes en un auto [36].

Algunos de los módulos más comunes en un automóvil son:

- PCM: Control electrónico motor y transmisión.
- TCM: Control electrónico de la transmisión.
- ABS: Control electrónico sistema de Frenos Antibloqueo
- BCM: Control electrónico de la carrocería.
- IPC: Módulo de control del cuadro de instrumentos.
- EHPS: Módulo de control del sistema asistencia electrohidráulica.
- TPM: Sistema de monitoreo presión neumáticos.
- INMO: Sistema de control de seguridad llave codificada.
- VTD: Sistema de detección sistema antirrobo.
- EBTCM: Sistema de frenos antibloqueo.
- DDM: Módulo de la puerta del conductor.
- RFA: Módulo Radio Frecuencia.
- IPM: Módulo de fusibles electrónicos.

Estos módulos requieren de asistencia, ya sea para transmitir los datos a una red o hacer un diagnóstico de su funcionamiento, en ello radica la importancia de las redes y que estas redes tengan algún protocolo de comunicación; la manera como vienen enlazados los módulos en un auto, permite, mediante un plano eléctrico el estudio de cada una de las redes y algunos fabricantes permiten en algún punto de las redes

hacer alguna medición mediante osciloscopios, medidores de señales especiales o analizadores lógicos de protocolos.

En el sector automotriz existen dos formas de redes, una de ellas es la conexión punto a punto y la otra es la conexión multiplexada (figura 32).

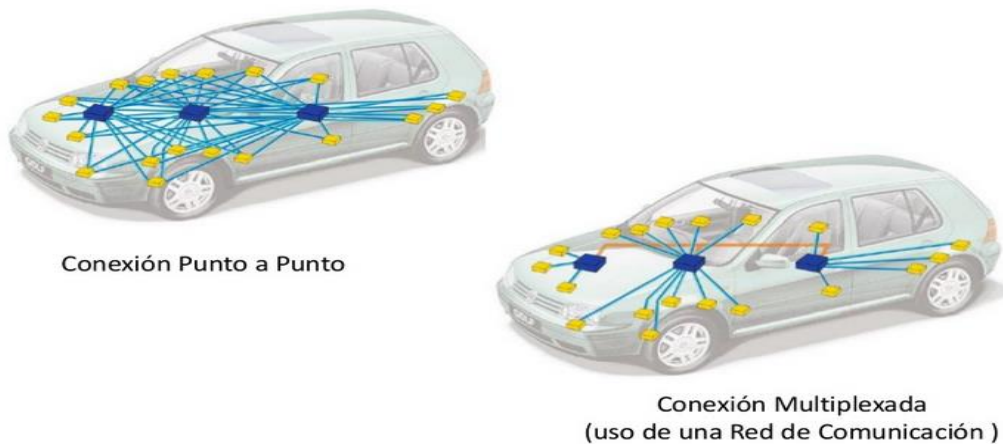


Figura 32. Tipo de redes en el automóvil [36].

2.7.1 Protocolos de comunicación en una red automotriz.

Una red automotriz es aquella que permite enviar y recibir datos de diferentes nodos para llegar a una central para que procese los datos a través de un protocolo. Un protocolo es un sistema de reglas que se deben cumplir, permite que dos o más entidades se comuniquen entre ellas, para poder transmitir información o poder recibirla, se trata de reglas, estándares que definen sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, gracias a esto es posible la detección de errores y recuperación de datos, estos protocolos pueden ser implementados en hardware o software.

La comunicación de estas redes automotrices está basada en diferentes protocolos como: CAN (*Controller Area Network*), LIN (*Local Interconnect Network*), MOST (*Media Oriented System Transport*) y FlexRay.

FlexRay

Es un protocolo de comunicación que se estableció entre los años 2000 y 2009 que fue desarrollado por el consorcio FlexRay [33] para bus de datos en el auto. Este protocolo se considera más avanzado que el CAN y el MOST en lo relativo al precio y las prestaciones que ofrece. Algunas de sus características son que ofrece velocidad de datos de 10 megabits por segundo, sincronización de los nodos de una base de tiempos que es global, latencia de los mensajes, acceso al bus libre anticollisiones, está basado en un sistema de Acceso Múltiple por División de Tiempo, que usa una partición del tiempo en diferentes nodos, cada nodo con un segundo para transmitir.

MOST Bus

La denominación de este sistema de bus de datos surgió por la Media Oriented Systems Transport (MOST) (figura 33), a esta entidad se han asociado diversos fabricantes de automóviles, sus proveedores y empresas productoras de software, con objeto de llevar a la práctica un sistema unitario para la transmisión rápida de datos. Se implanta por primera vez en el Audi A8 del año 2003 un sistema de bus opto electrónico para la transmisión de datos.

Las especificaciones técnicas de MOST definen los 7 niveles del ISO/OSI *Reference Model* para comunicación de datos. La red MOST suele utilizar una topología de anillo, si bien también existen configuraciones en forma de estrella y doble anillo para aplicaciones críticas, y que pueden llegar a incluir hasta 64 nodos.

El desarrollo del estándar MOST lo lleva a cabo la *MOST Cooperation*, un organismo de estándares industriales formado por fabricantes de automóviles (incluyendo BMW, Ford, DaimlerChrysler y General Motors), proveedores directos de componentes electrónicos (incluyendo a Infineon Technologies, Yazaki, Delphi E&S (antiguamente Delco), Denso (participada por Toyota), Bosch y Hamamatsu) y fabricantes de audio-video (incluyendo Sony, Philips, Linn Products y Motorola). SMSC, MediaLB, y MOST son marcas comerciales registradas de SMSC. Los miembros de la *MOST Cooperation* usan el estándar libre de cargo [30].

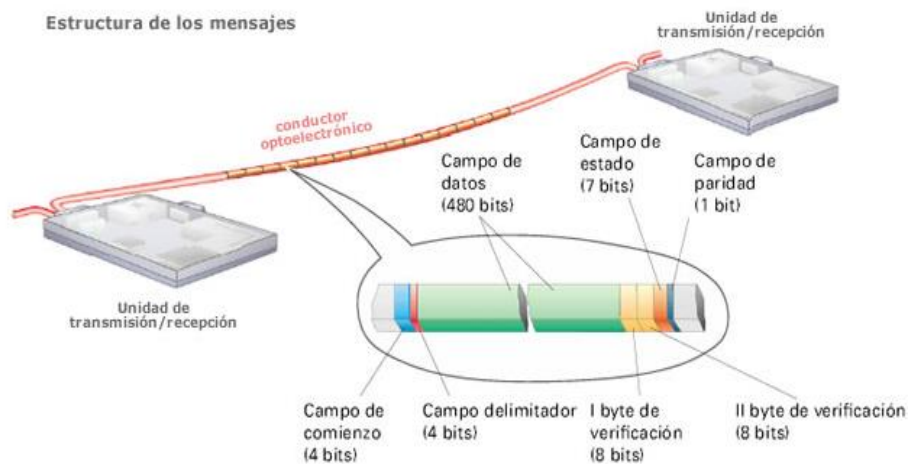


Figura 33. MOST Bus [30].

CAN Bus

El protocolo CAN (figura 34) fue una idea de Bosch en 1982 y el primer modelo de producción en montarlo fue el Mercedes-Benz Clase E de 1992. El CAN bus se ha convertido en un estándar y en la actualidad se emplea en la inmensa mayoría de automóviles que se fabrican y también comienza a introducirse en el sector de las motocicletas.

Ha favorecido la aplicación masiva de sistemas electrónicos de control y regulación en el vehículo motorizado, por ejemplo:

- Control del cambio
- Control electrónico del motor o de la bomba de inyección.
- Sistema antibloqueo (ABS).
- Sistema de tracción antideslizante (ASR).
- Control de estabilidad (ESP).
- Regulación del momento de arrastre del motor (MSR).
- Inmovilizador.
- Ordenador de a bordo, etc.

Una red CAN requiere una interconexión en red de las diversas unidades de control. El intercambio de informaciones entre los sistemas reduce la cantidad de sensores y mejora el aprovechamiento de los sistemas individuales [31].

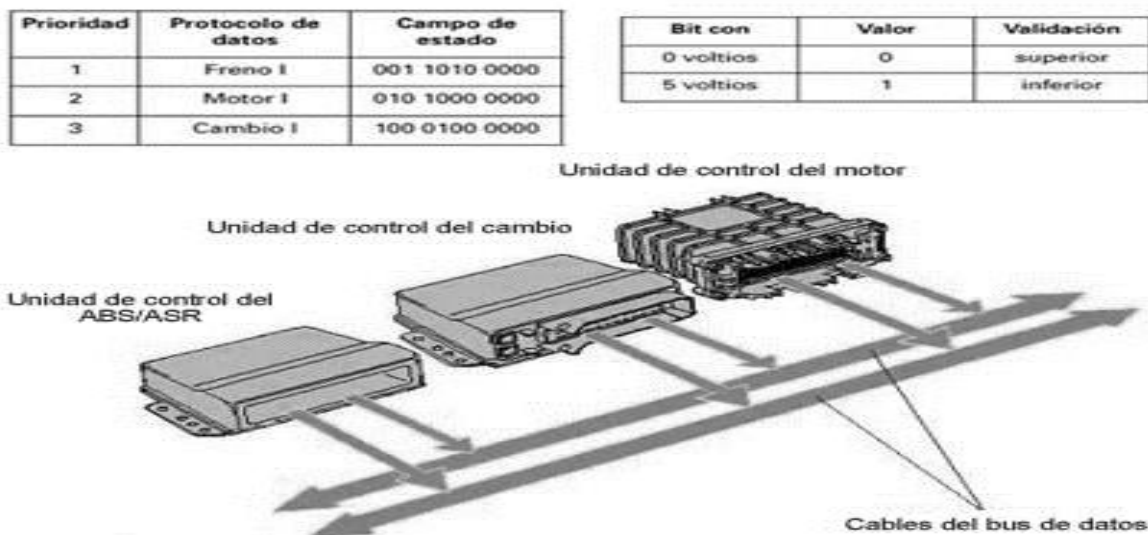


Figura 34. CAN Bus [31].

LIN Bus

El sistema de comunicación LIN Bus (figura 35) permite el intercambio de información entre diferentes unidades de mando que conforman un subsistema, por ejemplo, el sistema de alarma, la comunicación entre los mandos del volante y la unidad de control de la columna de dirección, el clima y la turbina de aire, etc. Esta comunicación se establece con un protocolo más sencillo que el CAN, tiene un soporte mono alámbrico, admite hasta 16 unidades esclavas y trabaja a 20 kb. Estas características permiten reducir el costo con respecto a un sistema CAN en situaciones donde no sea imprescindible una elevada velocidad de transmisión. Los miembros del consorcio LIN son Audi, VW, BMW, Mercedes y Volvov son quienes establecen las especificaciones del protocolo LIN, del lenguaje LIN y del API LIN [32]. El origen del nombre son las iniciales de Local Interconnect Network y el cable suele tener color violeta y 0.35 mm² de sección [32].

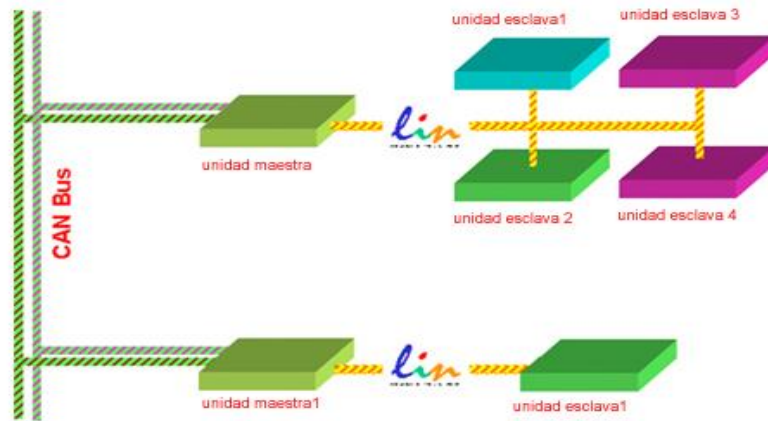


Figura 35. LIN BUS [32].

Desde 1998 Audi y BMW Motorola entre otros han formado parte de la comunicación del protocolo LIN. El LIN BUSS es un protocolo de comunicación usando el USART. Se usa en redes automotrices [9], sus principales características son: organización maestro/esclavo, un solo cable de transmisión y tierra, velocidades de 1-20 kbit/s, bit dominante/recesivo, UART serial, distancia de cable máxima de 40 m y estándares definidos. El proceso de transmisión de datos se puede llevar a cabo de maestro a esclavo, el nodo maestro es aquel que hace y controla la red LIN, en esta red puede haber un total de 16 esclavos, toda la información se envía a través de *frames* o tramas y éstos contiene un encabezado o *header* y cada trama está determinada por su configuración, los mensajes son creados a partir que el maestro envía tramas que contienen los encabezados, los nodos esclavos completan la trama con la información correspondiente de cada encabezado. Otra de las funciones importantes del encabezado es que con esta información sincroniza a los esclavos.

Además, el LIN puede enviar 8 datos de 255 bits de información, primero se empieza por el bit dominante al iniciar el primer dato, cuando éste acaba termina en un bit recesivo y continua el siguiente dato y así sucesivamente hasta el número de datos definido por el usuario. El identificador de campo contiene 6 bits de tamaño, además contiene información sobre el emisor y el receptor y la cantidad de bytes que se espera en la respuesta.

En la tabla 8 se muestran las consideraciones realizadas para elegir el LIN como el protocolo de comunicación para este proyecto.

Tabla 8.- Protocolos de redes automotriz.

LIN Bus	Fue establecido como protocolo de uso automotriz y trabaja a 20 kilo baudios.	Se eligió por la estandarización, ya que muchos de los sistemas y marcas de autos usan este protocolo, es el más común.
MOST Bus	Un sistema de bus opto electrónico para la transmisión de datos. Permite una velocidad de hasta 500 MB/seg.	Podría aplicarse, pero el costo del producto se elevará ya que se requeriría un dispositivo con MOST
CAN Bus	Su aplicación es masiva se utiliza en gran parte del sistema electrónico automotriz. El sistema CAN fue estandarizado por la organización normativa internacional ISO, para el intercambio de datos en vehículos motorizados: para aplicación hasta 125 kBit/s, como ISO 11 519-2, para aplicaciones superiores a 125 kBit/s como ISO 11 898.	Al igual es un buen candidato, pero se requeriría un transceptor y un Gateway.

Debido a la estandarización, costo y que cumple con las necesidades de comunicación de este proyecto, se considera que el protocolo LIN es el más adecuado; en los automóviles es la red que se utiliza para los sensores y actuadores, y es muy conveniente porque teniendo nodos de sensores como esclavos es posible tener un nodo maestro como Gateway y las velocidades de transmisión son adecuadas para este proyecto.

Capítulo 3

Diseño del sensor ultrasónico

Este capítulo muestra el diseño del módulo sensor ultrasónico, las partes que lo componen y su funcionamiento. Este diseño se utilizará para el desarrollo del sonar.

3.1 Elementos del sistema de medición de distancia

El desarrollo del sistema de medición de distancia contiene tres partes esenciales: el módulo generador de ultrasonido, el sistema de procesamiento digital de señales ultrasónicas y el módulo de comunicación de datos.

El módulo generador de ultrasonido debe tener un elemento que genere las ondas ultrasónicas a partir de señales digitales, para esta aplicación debe tener un alcance máximo 1.5 m y ser flexible en frecuencia.

El sistema de procesamiento digital de señales ultrasónicas que se encarga de controlar al módulo ultrasónico y de la comunicación con el exterior (módulo maestro), cuenta con un sistema de control que permite que la señal ultrasónica sea procesada y así se obtenga la medición de la distancia, se requiere de un sistema de amplificación, un acoplador y un filtro.

El módulo de comunicación de datos trabaja con un protocolo de comunicación automotriz para una red robusta que permita el acceso de varios sensores con inmunidad al ruido inherente al automóvil.

En esta tesis se diseña el módulo sensor ultrasónico abordándolo en tres etapas, la primera analizando el comportamiento del sensor ultrasónico HCSR04 como base del módulo, el segundo utilizando elementos discretos para la caracterización del transceptor y para identificar si puede trabajar a las frecuencias automotrices y el tercero utilizando un circuito integrado comercial (PGA440) con el fin de entender la características de flexibilidad que se requieren del módulo sensor como son la cantidad de pulsos, la frecuencia de trabajo y la comunicación automotriz.

3.2 Análisis del módulo comercial HCSR04

El módulo sensor HCSR04 es un sensor ultrasónico comercial. El diagrama de tiempos de la figura 36 se puede encontrar en su manual de usuario. Se observa que para iniciar el proceso, en el pin *Trigger* se debe enviar un pulso de aproximadamente de 10 μ s con un nivel de tensión de a 3.3 a 5 V, después de que el controlador interno del sensor reciba este pulso ejecutará el *Sonic Burst* que es una ráfaga de 8 ciclos de pulsos que viajará a la velocidad del sonido y en algún momento rebotará en un objeto que se encuentre en su camino, después en el pin *echo* se recibirá la señal reflejada en un periodo de tiempo no mayor de 36 ms, este ancho de pulso es la representación de la distancia a la que se encuentra el objeto. La principal limitación del módulo sensor, es que según el manual, la máxima distancia que detecta es de 4 metros con un ángulo de 30°, aún así cumple con los requerimientos para un sonar en el automóvil.

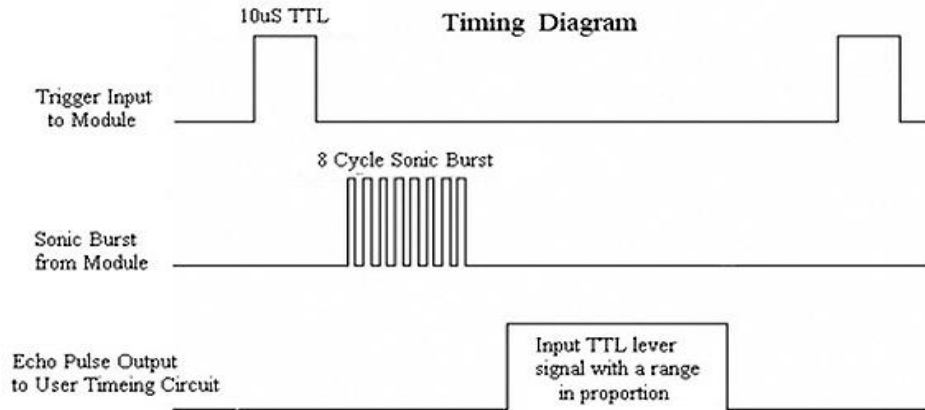


Figura 36. Diagrama de tiempos HC-SR04.

Analizando el circuito del sensor HC-SR04 de la figura 37, se observa que el microcontrolador (STC11), es la etapa controladora, que se encarga de gestionar la entrada y salida de los sensores piezoeléctricos, también de ejecutar la ráfaga de pulsos y después enviar por la salida de *Echo* el ancho del pulso, también es el único que tiene acceso a la entrada *Trigger* y a la salida *Echo*.

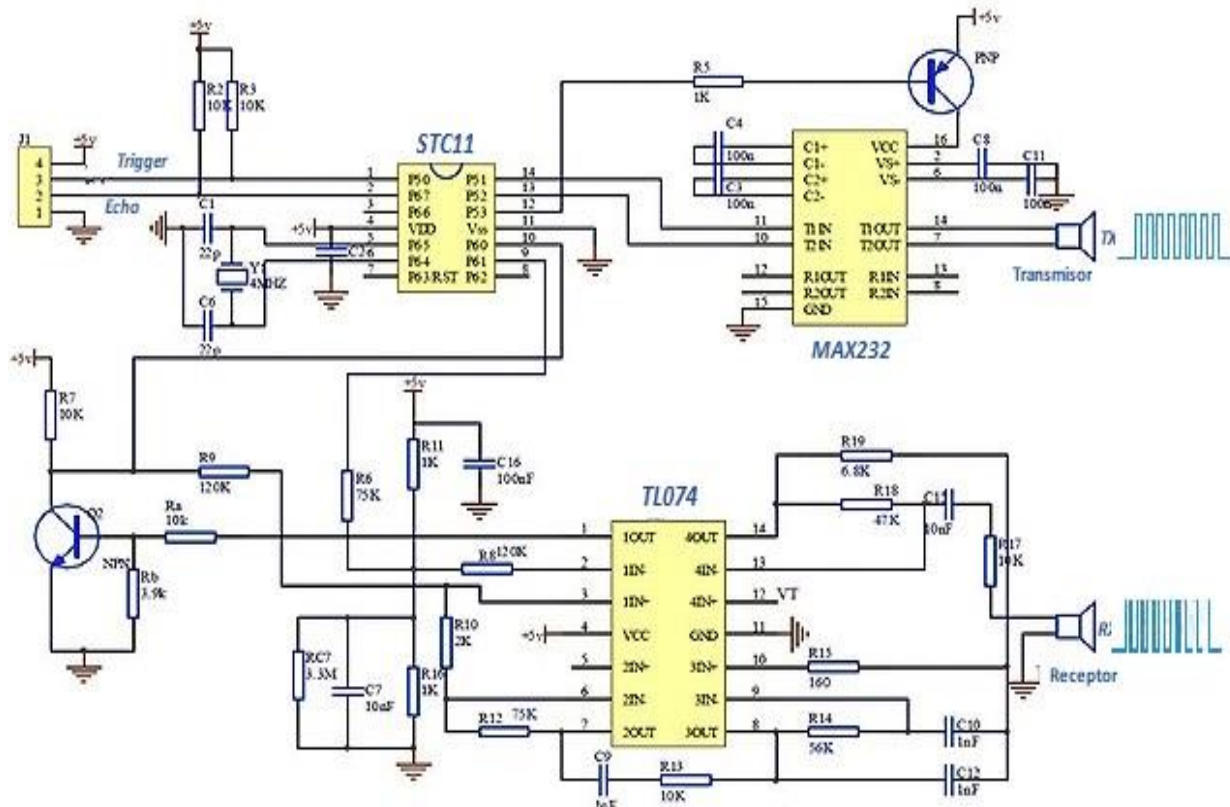


Figura 37. Modulo sensor HC-SR04.

El siguiente circuito integrado es el MAX232 que constituye la etapa amplificadora, sus aplicaciones incluyen comunicaciones seriales de acoplamiento de nivel de tensión a 15 V, la única función para este

módulo es elevar el voltaje del *Sonic Burst* de 5 V proveniente del microcontrolador, esto se requiere para poder excitar al transductor transmisor TX y pueda resonar a su frecuencia natural de 40 kHz.

Por último, se observa el circuito integrado *TLO74* que contiene cuatro OPAMS (Amplificadores Operacionales) cuyas funciones son las siguientes:

El OPAM 4 amplifica la señal débil recibida del piezoeléctrico Receptor RX.

El amplificador 3 es un filtro pasa banda, obtiene los pulsos enviados eliminando la frecuencia portadora de 40 kHz generada por el transmisor piezoeléctrico TX.

El OPAM 2 amplifica la señal proveniente del tercer amplificador.

El amplificador 1 es un comparador de nivel, su función es acoplar el voltaje para que el microcontrolador pueda procesar la señal, en este caso compara la señal proveniente del tercer amplificador con un voltaje de 3.5 V o 5 V para que el microcontrolador pueda detectar la señal y así obtener los 8 pulsos que fueron enviados.

3.2.1 Resultados del módulo comercial.

Usando un microcontrolador Arduino se realizó un programa para el funcionamiento del módulo comercial y con el analizador lógico SALEAE se monitoreó su comportamiento (figuras 38 y 39), se observa la ráfaga de pulsos enviada por el microcontrolador cada vez que es disparado por el pulso de 10 μ s enviado por el Arduino, comprobando con ello el correcto funcionamiento.

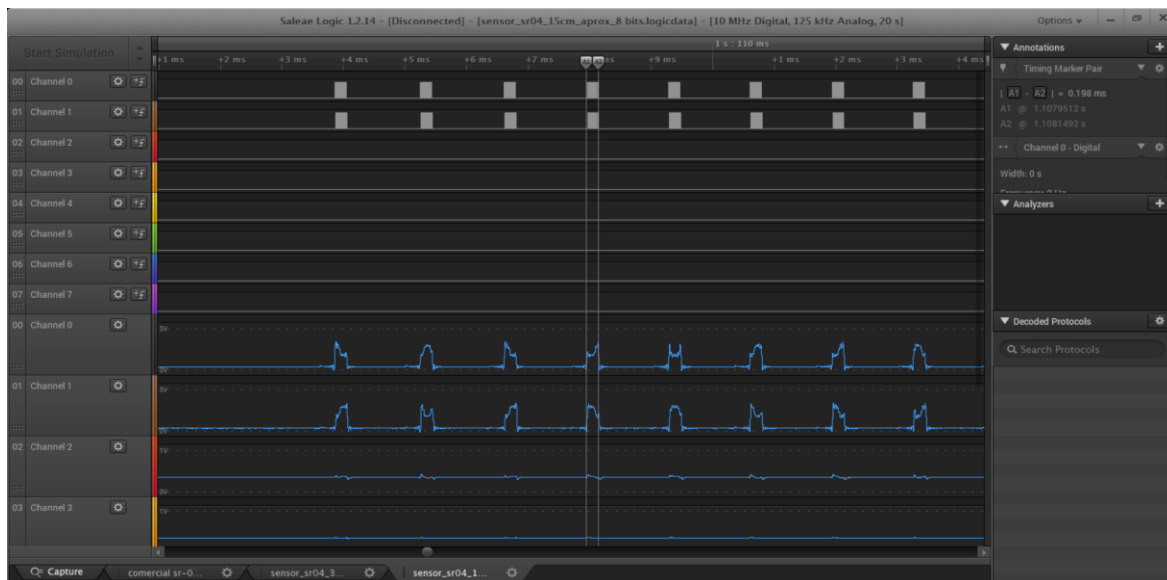


Figura 38. Software SALEAE detectando el tren de pulsos del microcontrolador del sensor.

La figura 39 es un acercamiento de la figura 38, en ésta se puede apreciar mejor el *Sonic Burst* y la frecuencia con la cual se generan estos pulsos, que es de 40 KHz.

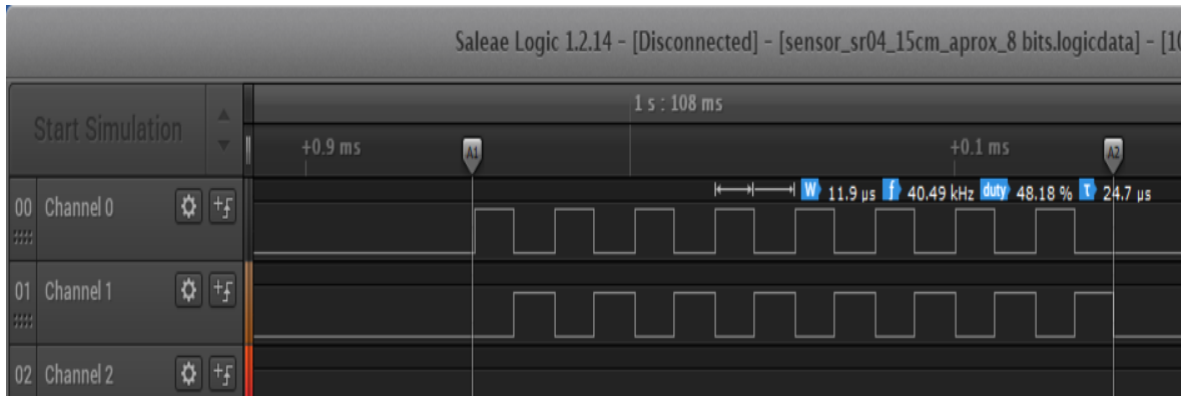


Figura 39. Pulsos de la señal de 8 ciclos a 40 KHz y su periodo aproximado de 25 μ s.

3.3 Sistema discreto

Se desarrolló también un dispositivo con el fin de caracterizar su comportamiento en diferentes frecuencias de resonancia y cantidad de pulsos. Se utilizaron circuitos electrónicos OPAMs y algunos elementos discretos, en la figura 40 se muestra el diagrama eléctrico del circuito.

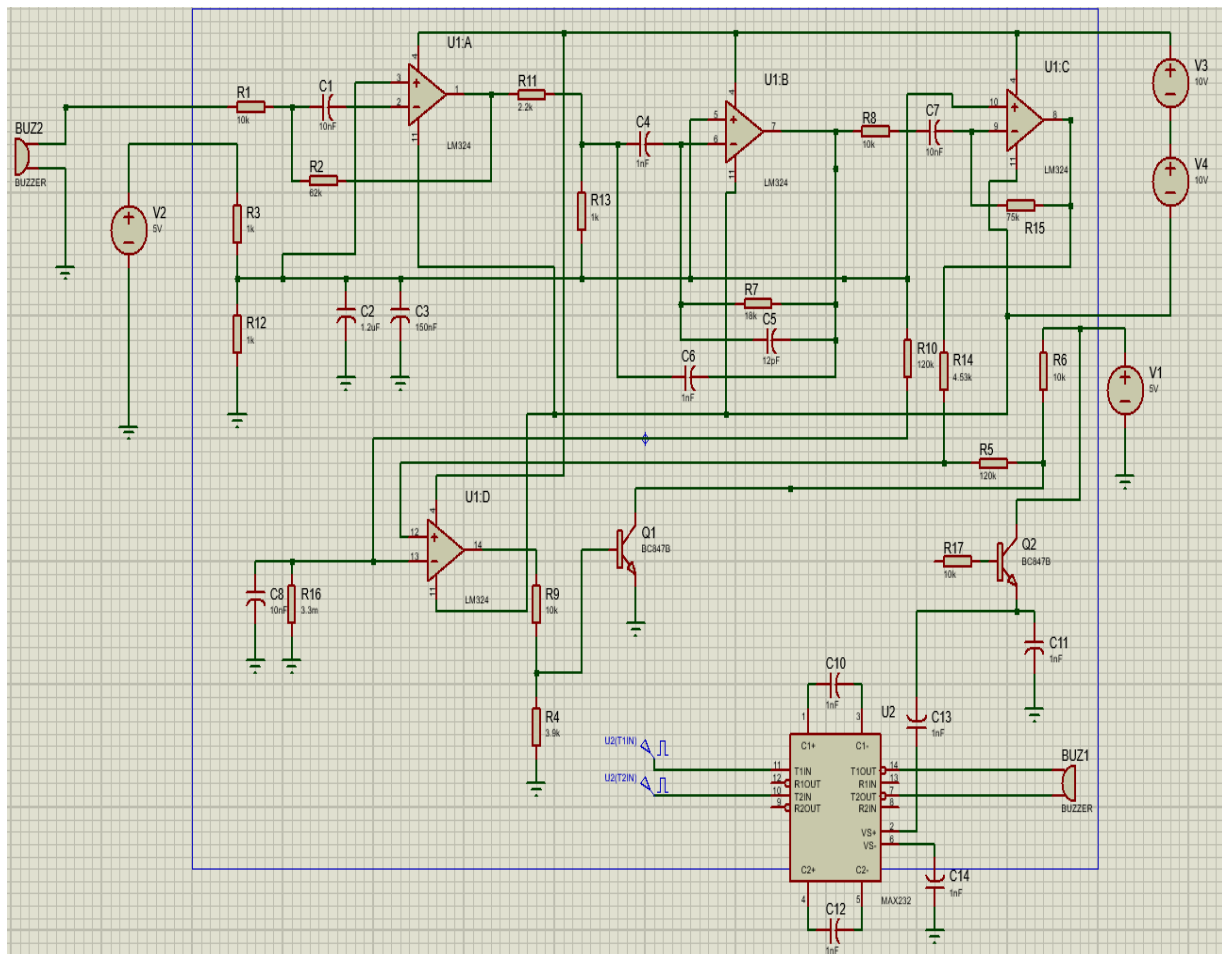


Figura 40. Circuito discreto de sensor ultrasónico.

La simulación del generador de frecuencias se llevó a cabo en el software PROTEUS, se implementó un generador de pulsos para simular la onda que genera el transductor trasmisor (figura 41).

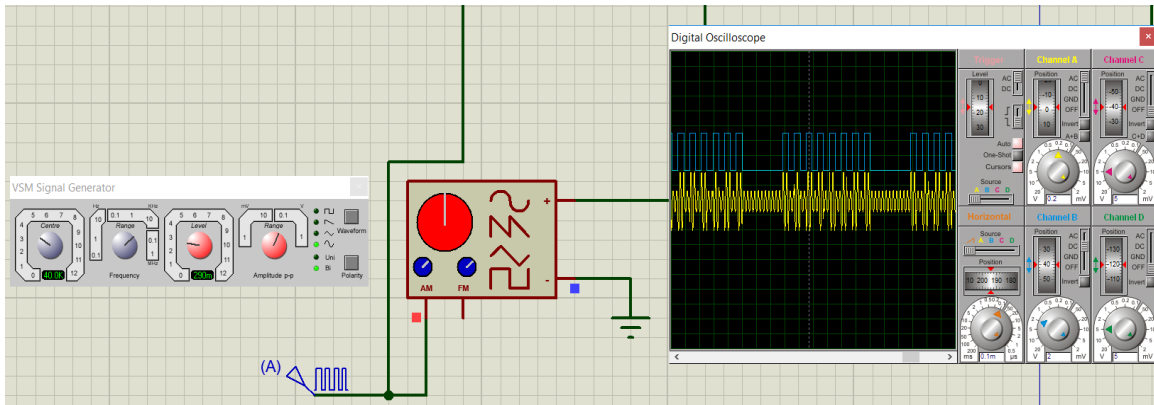


Figura 41. Generador de ondas montando una ráfaga de pulsos cuadrada.

LTSPICE XVII es una herramienta de alto rendimiento para simular la respuesta de los circuitos electrónicos basado en SPICE; y en este proyecto se utilizó para realizar la simulación de los amplificadores operacionales, para esta prueba se utilizó el modelo LM324 y los paquetes de LTSPICE de elementos discretos como resistencias y capacitores.

A continuación, el modelo de la figura 39 fue modificado con el fin de utilizar una sola fuente de alimentación para los amplificadores operacionales y así reducir el costo, el diagrama del circuito resultante se muestra en la figura 42.

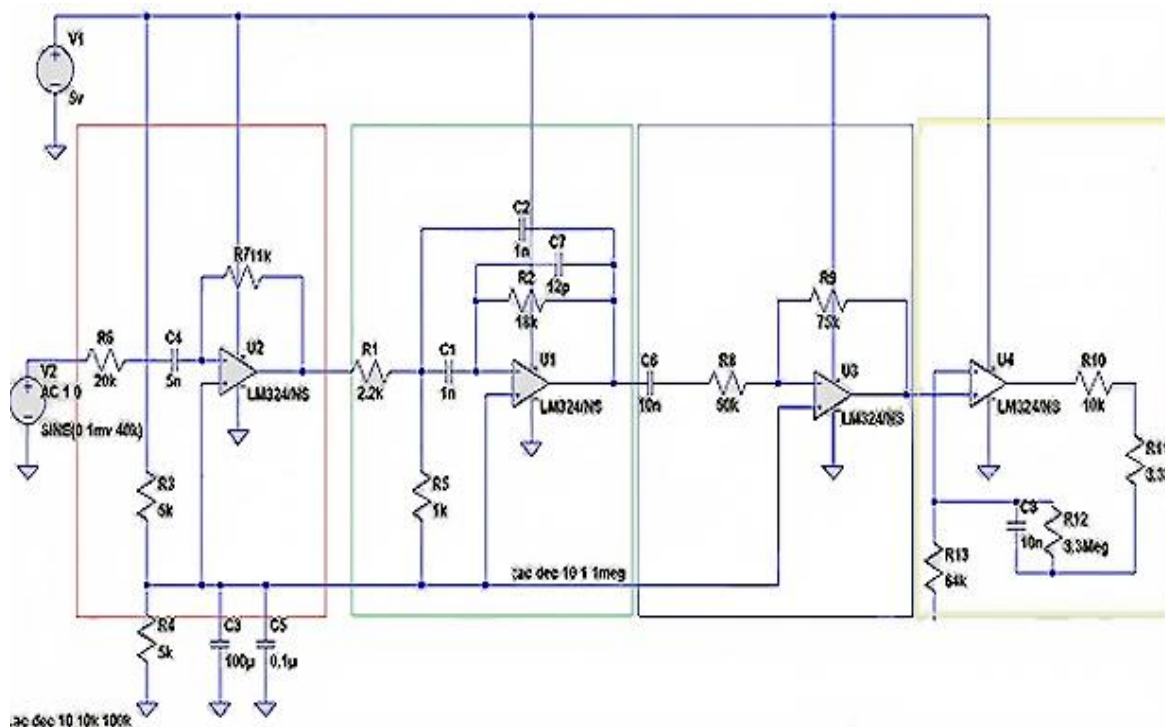


Figura 42. Diagrama por etapas (preamplificador (rojo), filtro pasa banda (verde), amplificadora (azul) y comparador de voltaje (Amarillo)).

3.3.1 Diseño del filtro Pasa banda

El diseño del filtro pasa banda tiene frecuencia central de 40 kHz, los amplificadores (rojo y azul de la figura 42) elevan el voltaje de la señal ya que es muy débil, la siguiente etapa (amarillo) realiza la función de comparar el voltaje que sale de la última etapa de amplificación, para poderle entregar al microcontrolador un voltaje adecuado 5V TTL; la respuesta del filtro es adecuada como se ve en la figura 43, teniendo una frecuencia de corte a 40 kHz y una ganancia de 17 dB; la salida del amplificador es la línea azul, y el filtro pasa banda es de 6 dB a la misma frecuencia de corte.

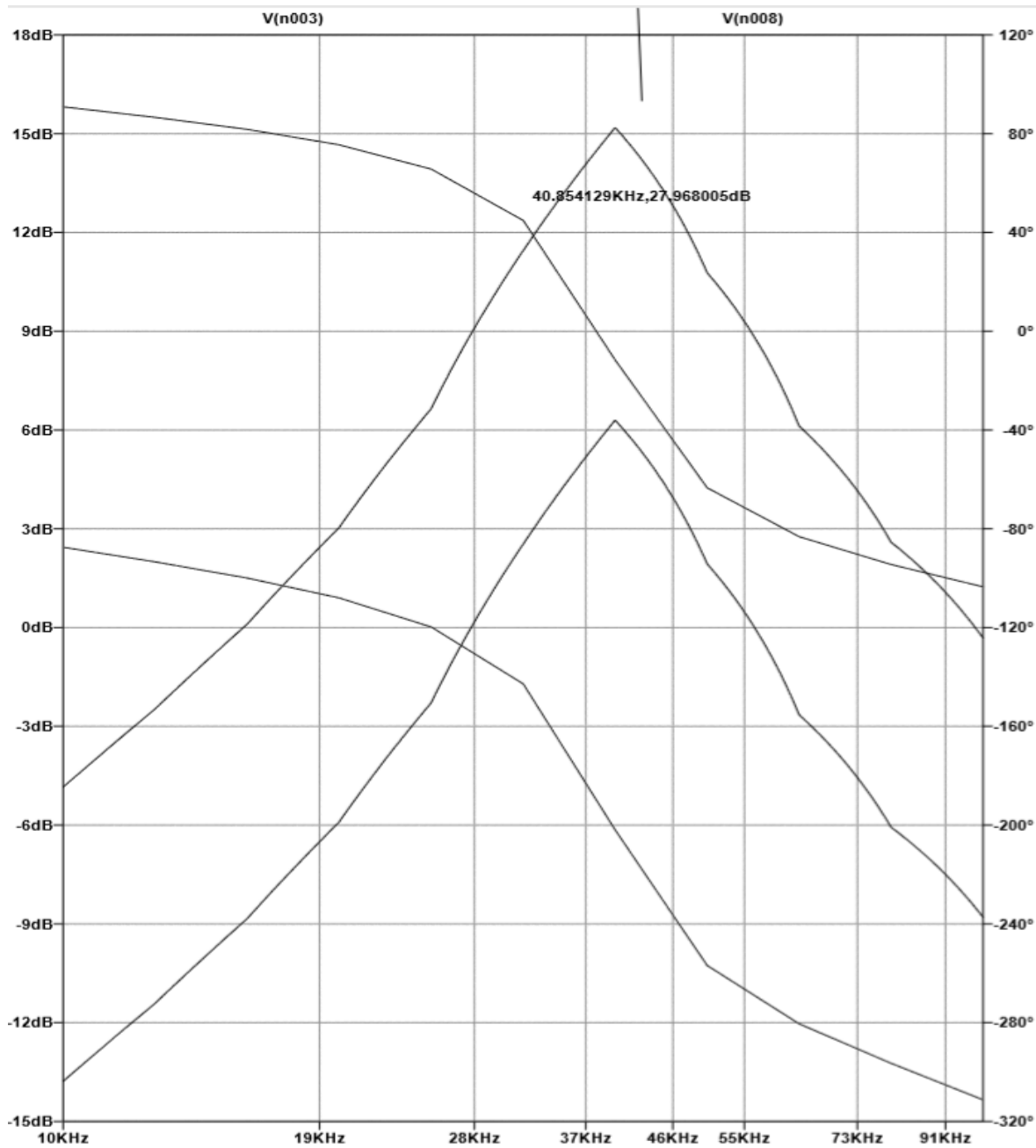


Figura 43. Respuesta de la etapa receptora del módulo sensor ultrasónico.

El comportamiento del circuito en el simulador de PROTEUS (figura 44), muestra cuatro señales de colores (rojo, verde, azul y amarillo) representando las salidas de cada etapa de la figura 42. La señal roja es la que llega del sensor ultrasónico (que para esta prueba se simuló con un generador de onda sinusoidal de 200 mV de amplitud a 40 kHz de frecuencia montado en un generador de ráfaga de pulsos a 41 μs) y pasa por el amplificador de voltaje, después la señal verde pasa por el filtro pasa-banda, recortándose las señales de frecuencias bajas y altas y de la portadora generada por el transductor, en la señal azul se aprecian los pulsos recuperados y por último en la señal amarilla, se tiene la salida del comparador de pulsos a 5 V, ésta es la esta señal para el microcontrolador.

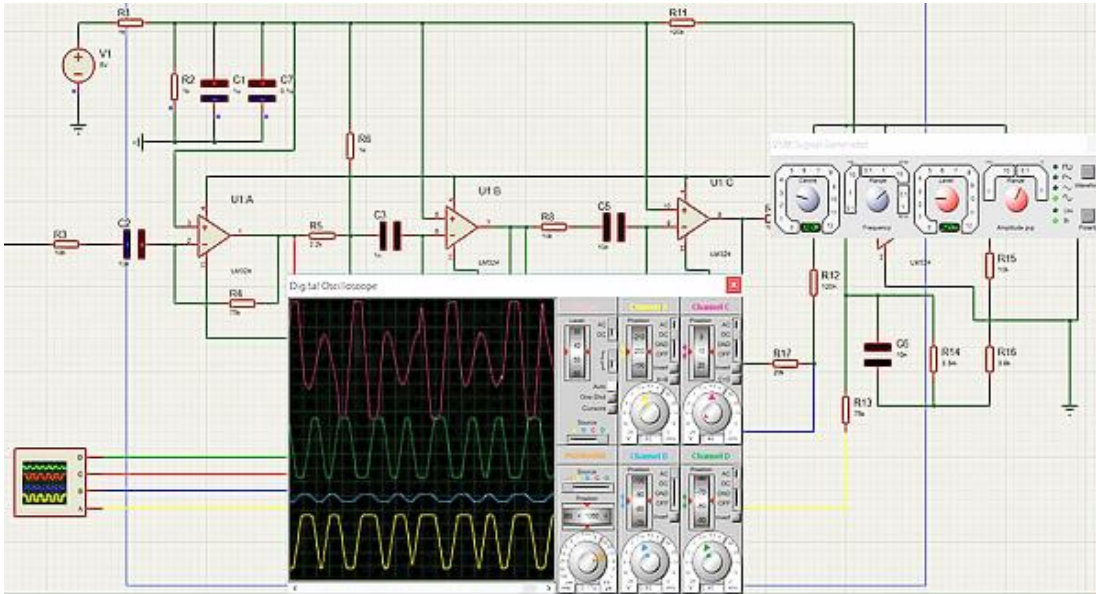


Figura 44. Comportamiento del circuito discreto.

La señal verde (filtro pasa banda) se implementó mediante la fórmula de filtro de pasa banda de retroalimentación múltiple.

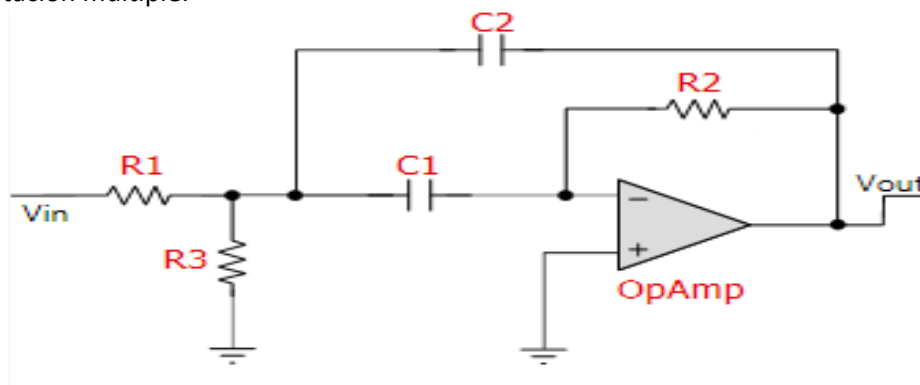


Figura 45. Filtro pasa banda.

Con la ecuación 4 y sustituyendo los valores de los capacitores y resistencias de la figura 45, se obtiene la frecuencia central del filtro y sustituyendo con los valores de resistencia y capacitores de la figura 46:

$$f_r = \frac{1}{(2 * \pi * (\sqrt{R_1 || R_3 * R_2 * C_1 * C_2}))} \text{ [frecuencia central]} \quad (\text{Ec. 4})$$

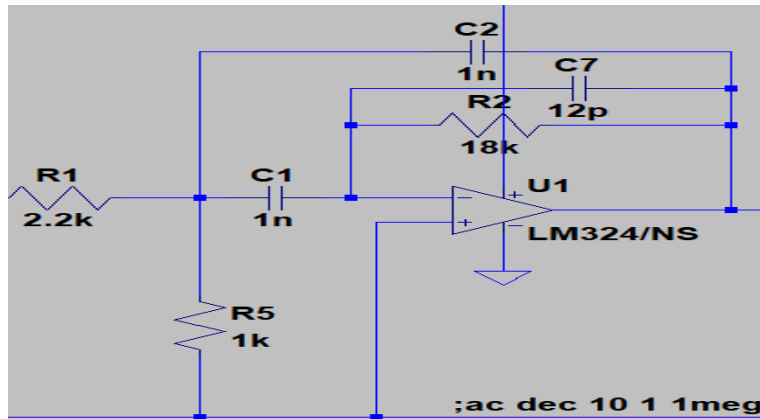


Figura 46. Diagrama del filtro pasa-banda.

$$\frac{1}{(2 * \pi (\sqrt{0.6875k\Omega * 18k\Omega * 1n * 1n}))} = Fr = 45.2 KHz$$

En la figura 47 se muestra el diseño del circuito acoplador de voltaje para que el *Sonic Burst* de 5 V pueda elevarse a 14 V y así poder excitar al transductor piezoeléctrico.

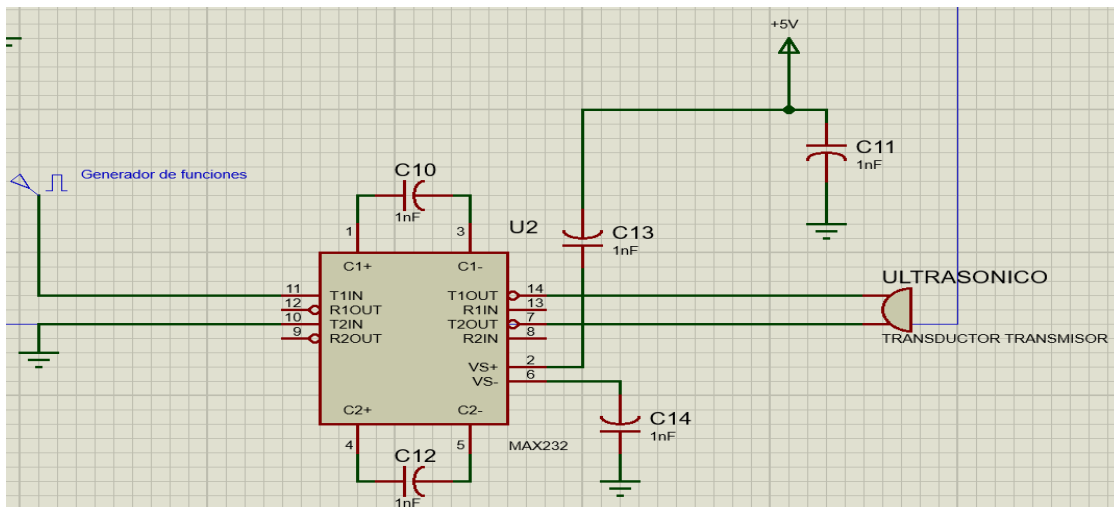


Figura 47. Circuito elevador de voltaje.

3.4 Sistema Integrado.

Se adquirió y probó un sensor ultrasónico integrado en un circuito, el PGA450 de Texas Instruments, que cuenta, entre otras, con las siguientes características:

Filtro pasa banda digital configurable.

Detector de las señales ultrasónicas (con configuración digital en la frecuencia y número de pulsos).

Un chip microprocesador de 8 bits.

Una interfaz física del protocolo LIN 2.1.

3.4.1 Diseño del sistema integrado.

En la figura 48 se muestra el diagrama esquemático del sistema ultrasónico usando el PGA, presenta ventajas como que el usuario puede checar los puertos GPIO y USART para analizar las tramas de información, se programa con una GUI de Texas Instruments y el programador USB Tiger board conectándose mediante SPI a los pines de programación del PGA y también se le puede conectar un sensor de temperatura para compensar la temperatura ambiental en la medición de distancia.

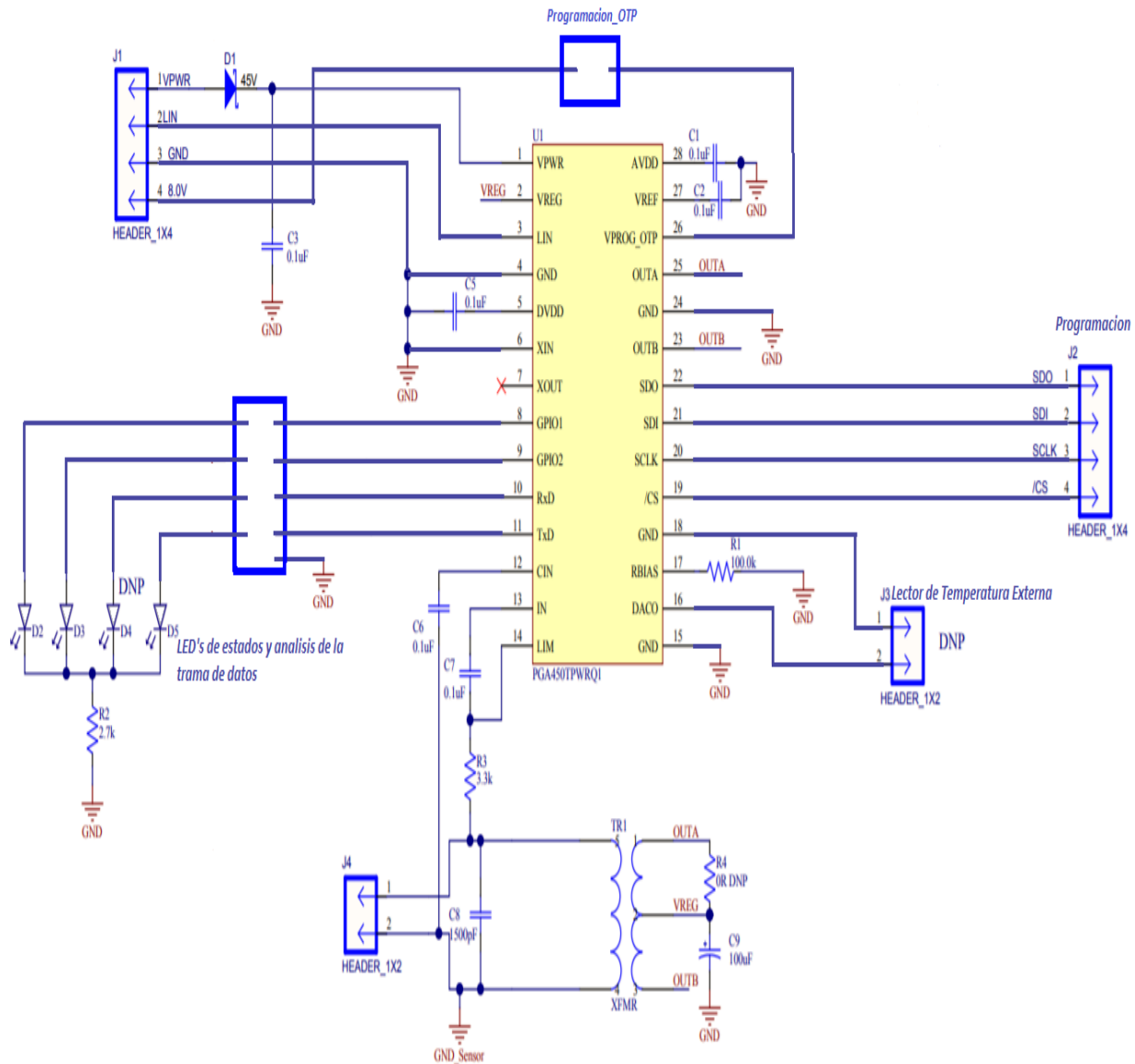


Figura 48. Diagrama del PGA.

Se diseñó un circuito para el módulo sensor ultrasónico, utilizando el software electrónico EAGLE, obteniendo una tarjeta de una sola capa, con una medida de 4.3 X 5.0 cm (figura 49).

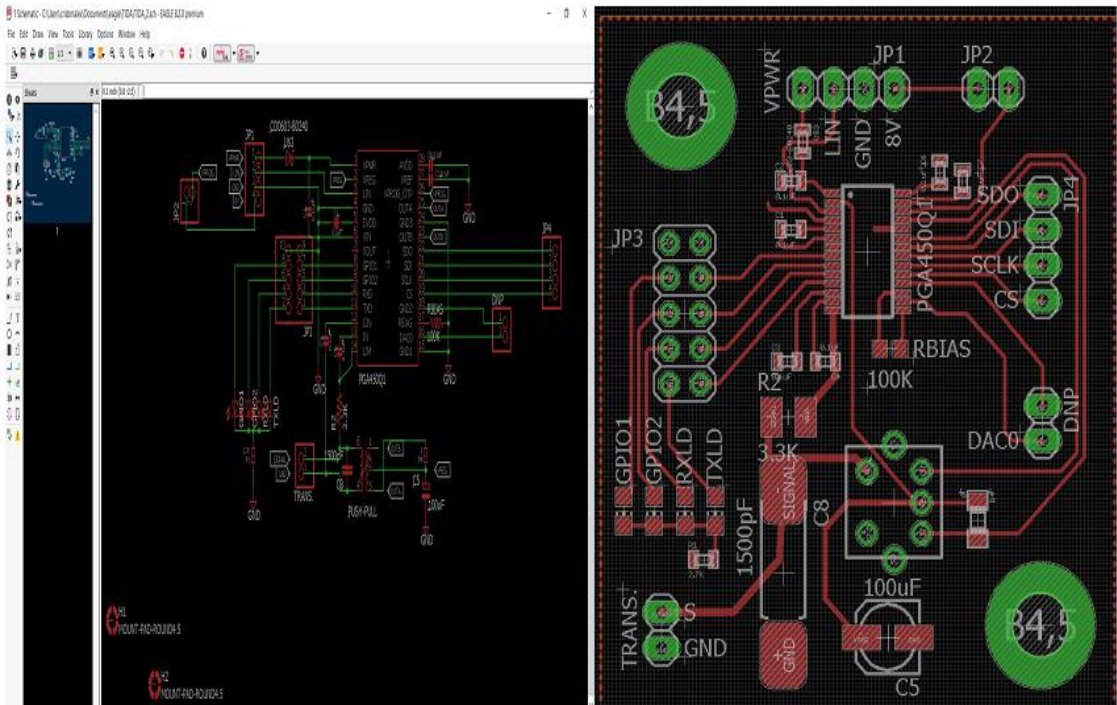


Figura 49. Esquemático y PCB del PGA en EAGLE.

En la figura 50, se muestra la tarjeta PCB diseñada ya fabricada.

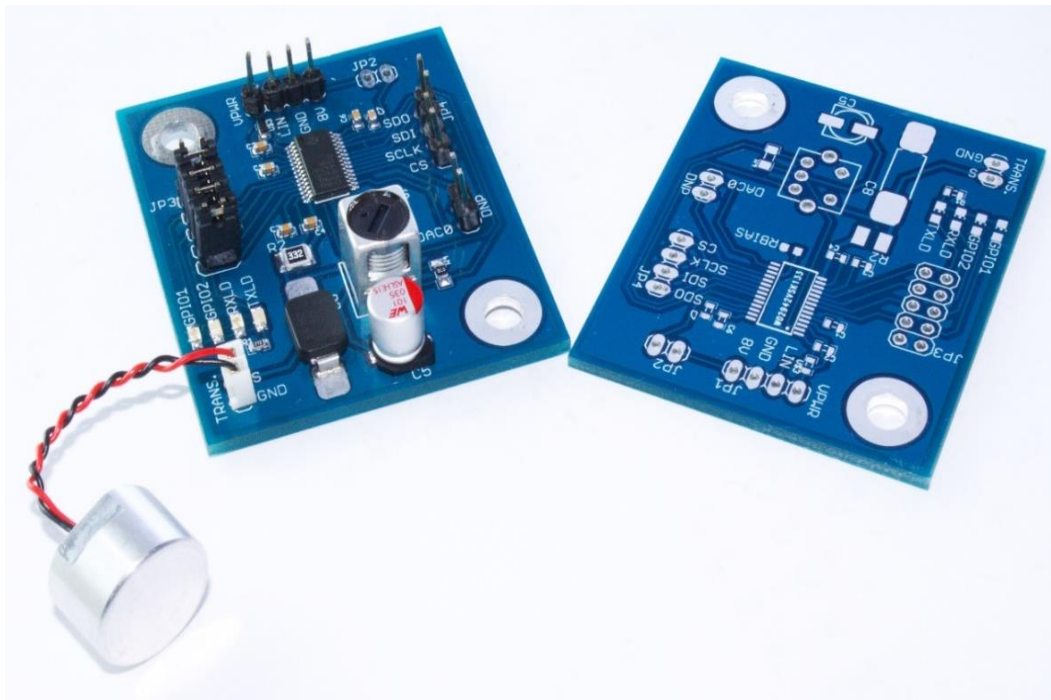


Figura 50. Tarjeta PGA_revA.

3.4.2 Configuración del PGA.

La programación de este dispositivo se puede hacer de dos maneras, la primera por medio de la GUI de Texas Instruments usando la aplicación por medio de USB (figura 51), la segunda es grabar los datos a la memoria del PGA mediante un microcontrolador con un protocolo SPI [38].

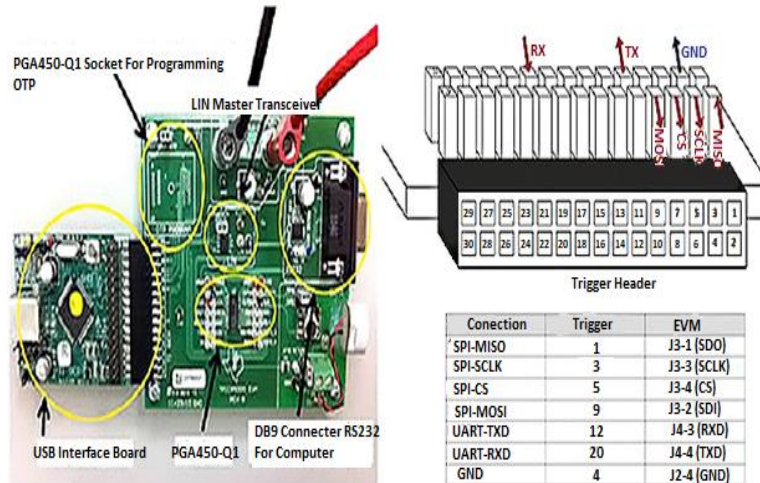


Figura 51. Tarjeta programadora del PGA. b) Conexiones para la programación [38].

La programación del PGA450 se realizó por medio de la GUI como se muestra en la figura 52.

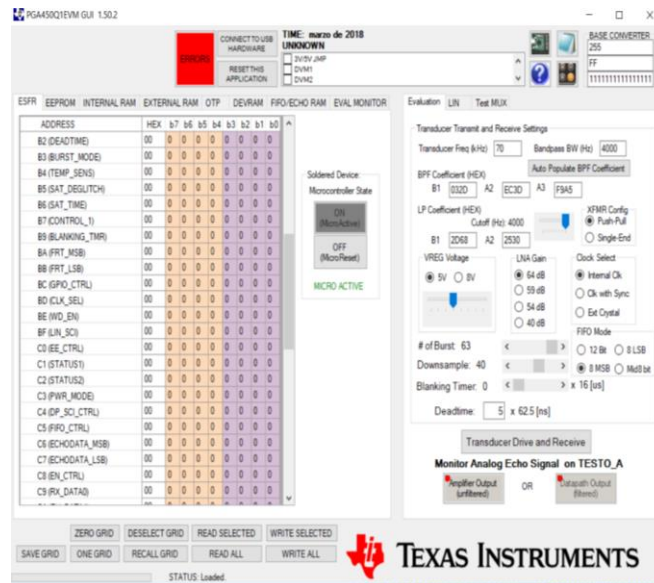


Figura 52. Interfaz gráfica.

Una vez probado el sistema, se observa que presenta un problema en la parte de comunicación que aún no se logra solucionar, por lo que se opta por aplicar otras opciones.

3.4 Sistema propuesto.

Como resultado del análisis anterior, se propone un diseñar un módulo sensor ultrasónico con el sensor ultrasónico comercial HCSR04, el módulo de control implementado en un microcontrolador con arquitectura ARM stm32 Córtes M4 con comunicación LIN y la interfaz física del transceptor LIN. La figura 53 muestra el diagrama de bloques del módulo.

El microcontrolador permite obtener la medición de la distancia generada por el sensor HCSR04 y transforma ese dato en un mensaje de protocolo LIN bus que se transmite como salida.

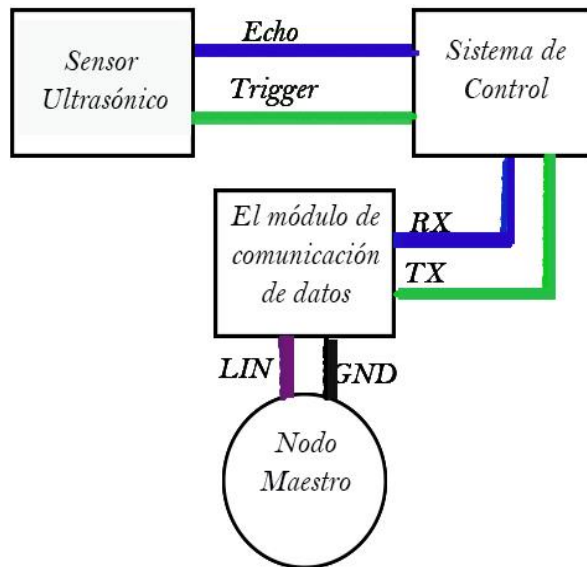


Figura 53. Diagrama general del sistema propuesto

En la figura 54 se muestra el diagrama eléctrico del microcontrolador y en la figura 55 se muestra el esquemático del diagrama eléctrico del transceptor LIN MCP2022A.

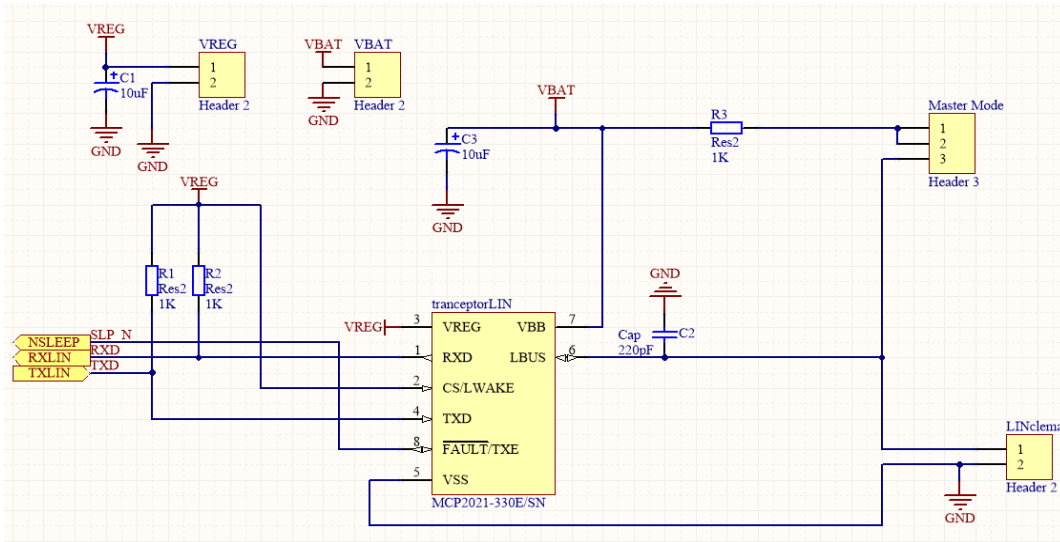


Figura 54. Diagrama eléctrico transceptor.

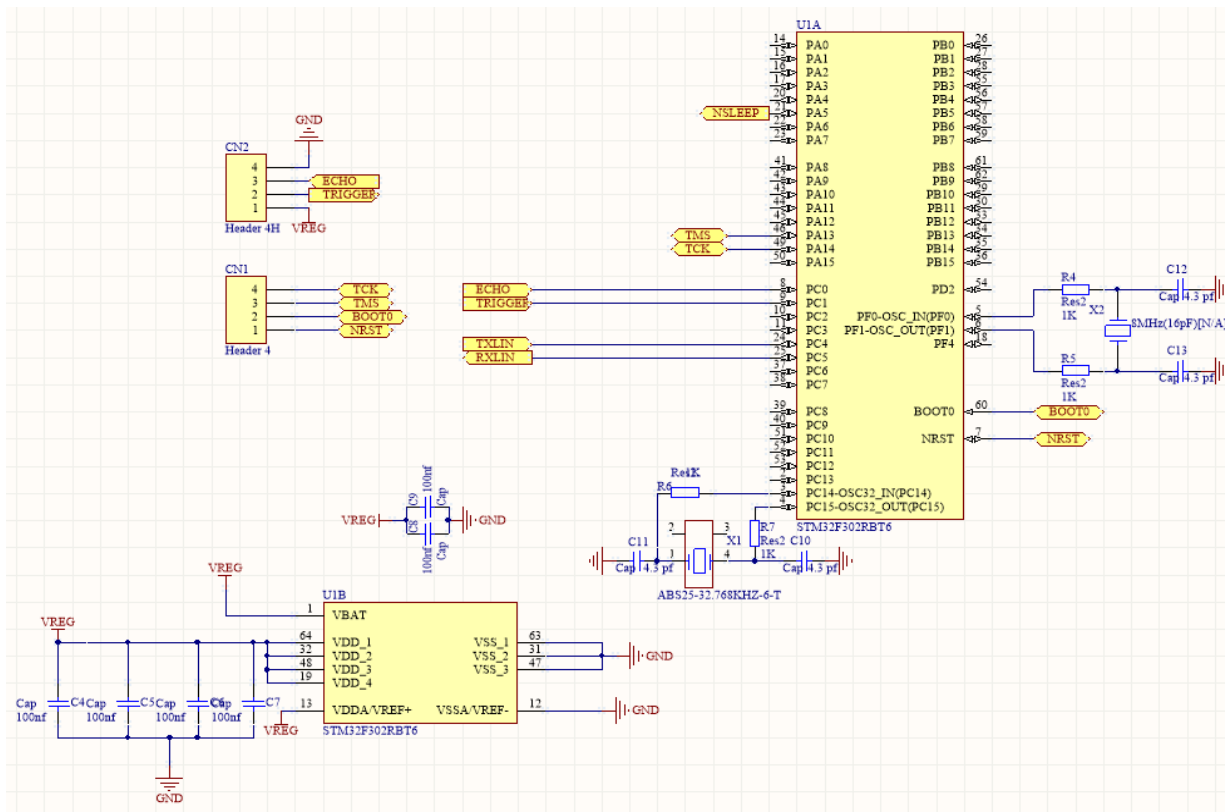
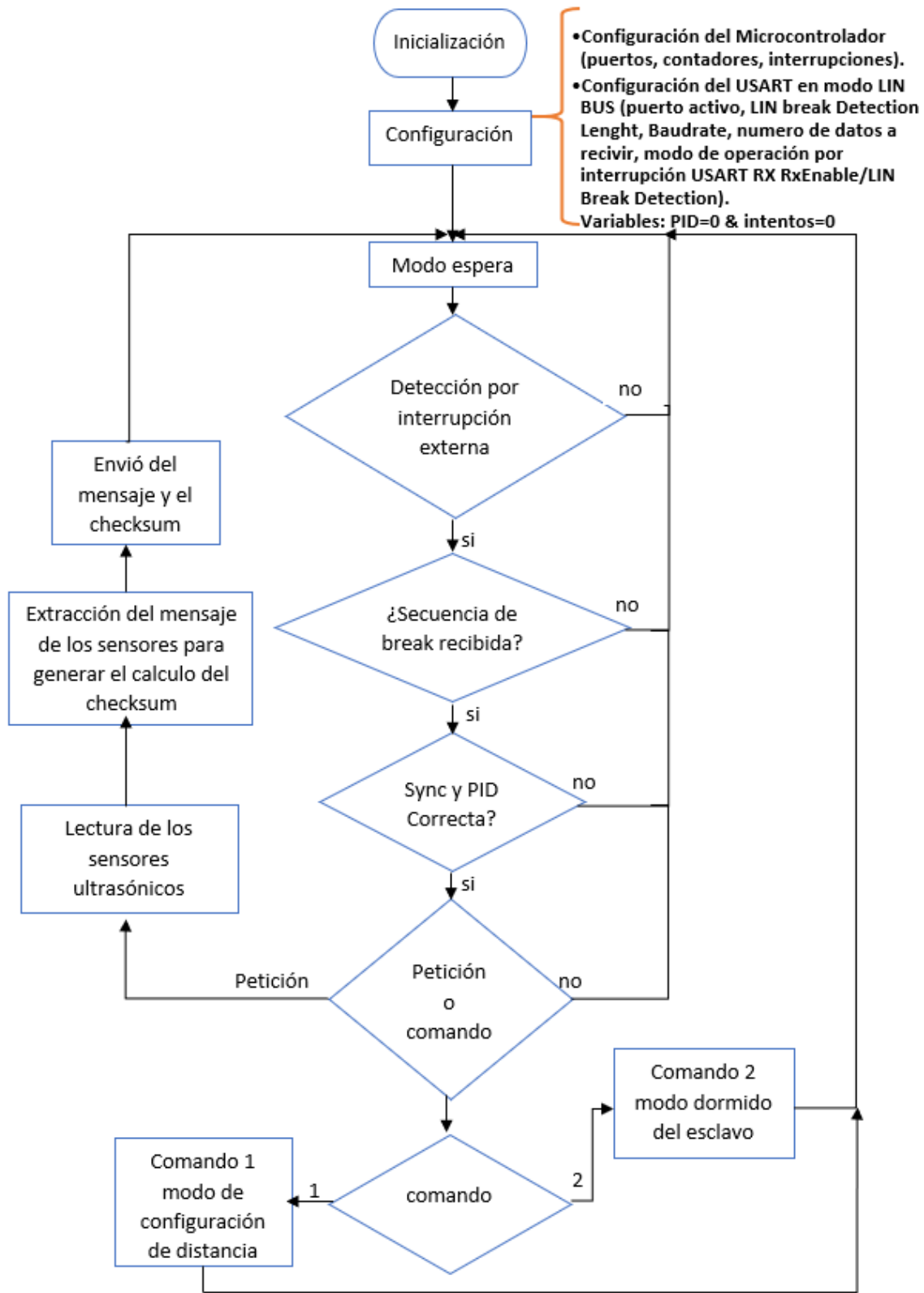


Figura 55. Diagrama eléctrico Microcontrolador.

En la figura 56 se muestra el diagrama de flujo del programa que ejecuta el microcontrolador, quien se encarga de verificar el estado del módulo del sensor ultrasónico, adecuar la señal que recibe y realizar los cálculos para obtener la distancia, también se encarga de recibir las peticiones de un nodo maestro a través del protocolo LIN y enviar los datos, todo ello haciendo uso de las interrupciones del microcontrolador. La programación se realizó con el software KEIL.



V

Figura 56 Diagrama de flujo del software esclavo.

A continuación, se presenta la tarjeta PCB diseñada en el software ALTIUM Designer para el sistema desarrollado (figuras 57 y 58).

El sistema en hardware contiene todo lo necesario para detectar las ondas ultrasónicas, obtener la medición de la distancia y transmitirlo a una red de comunicación LIN Bus, estableciendo la interfaz física de la comunicación LIN.

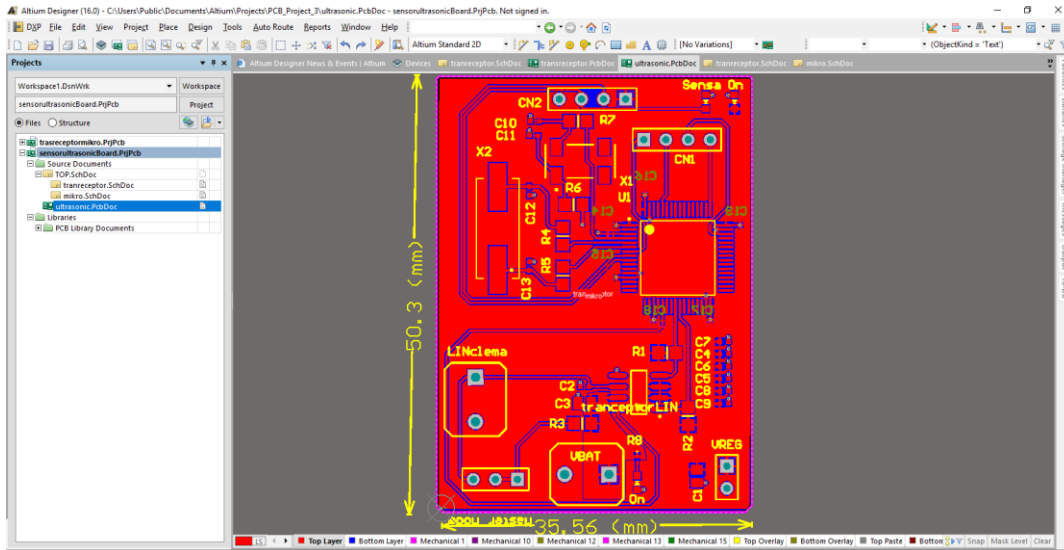


Figura 57. Diseño del PCB en Altium.

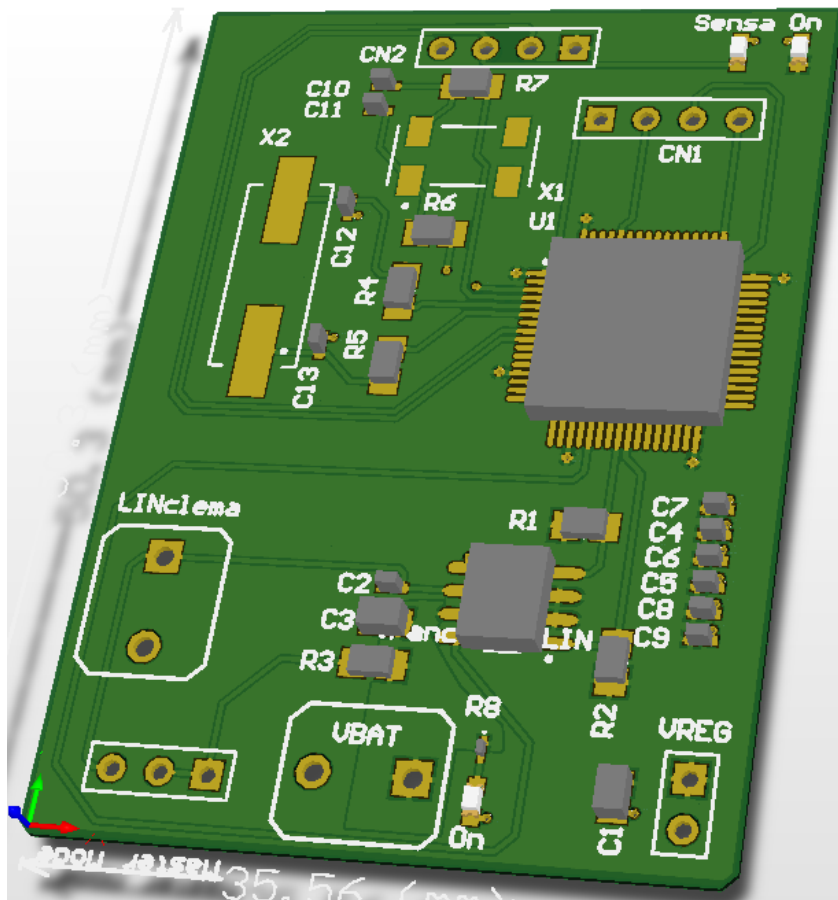


Figura 58. Desarrollo de la tarjeta PCB.

Una vez diseñado el módulo sensor, se construyen varios módulos iguales que servirán como base para el siguiente capítulo en el diseño del sistema Sonar.

Capítulo 4

Desarrollo del Sistema Sonar

En este capítulo se muestran las tres partes que forman el sistema sonar que son: la distribución y colocación de los sensores del sonar, el *Gateway* que permite el control del Bus LIN para controlar la comunicación con los sensores y la comunicación con el sistema de control general del sonar y el Sistema de Control del Sonar que se encarga de activar los sensores y mostrar de forma gráfica en una pantalla con comunicación HDMI.

4.1 Desarrollo del sistema sonar.

En la figura 59 se muestra el desarrollo del sistema sonar, que consta de tres partes fundamentales que son: la distribución y la cantidad de sensores (Nodos) en el automóvil, el Gateway el cual se encarga de gestionar la red del sistema sonar (LIN morado) y por último SCS (Sistema de Control del Sonar) la cual maneja la interfaz gráfica.

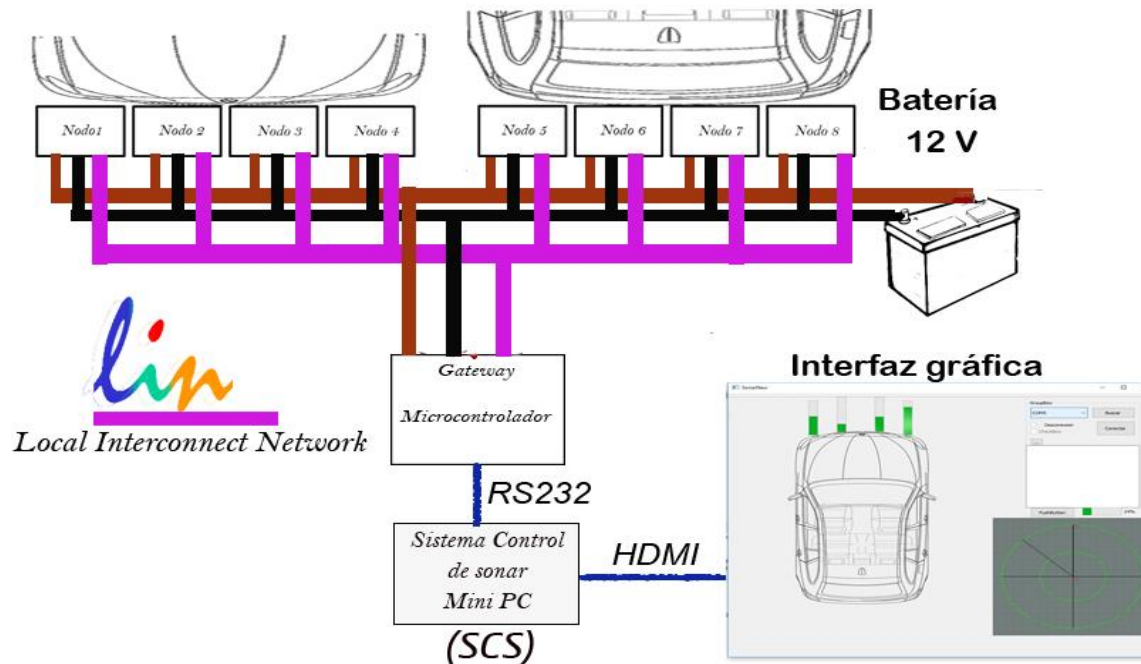


Figura 59. Diagrama a bloques del Sistema Sonar.

La primera parte del sistema sonar está formado por una red de sensores, los cuales deben de distribuirse tanto en la parte delantera como trasera del vehículo, para determinar la posición y cantidad adecuada. Al ser sensores ultrasónicos trabajan con ondas mecánicas que provocan interferencia entre ellas y las propiedades que caracterizan el sonido, las características del vehículo, y el área de detección requerida para la colocación correcta de los nodos. Además, se debe de implementar una comunicación LIN con la red de sensores y el Gateway.

La segunda parte es el Gateway, se encarga de gestionar la red LIN (maestro – esclavo), configurar las tareas de comunicación LIN del maestro; diseño de la secuencia y tiempos de sensado; detección de anomalías en la red; también tiene comunicación con el SCS para activar/desactivar el sistema de sensado y la transmisión de la información de los nodos. Esto está integrado en un microcontrolador ARM Cortex M7 y se desarrolló con el IDE KEIL en lenguaje C.

La última parte es el SCS se implementó en una miniPC (Raspberry Pi 3) con un sistema operativo Raspbian Stretch donde se instaló la plataforma de desarrollo QT para sistemas empujados con el cual se desarrolla la interfaz de usuario donde se mostrará visualmente el sonar. Permite activar los sensores y su comunicación, para cambiar la visualización del sonar.

A continuación, se mostrará una descripción de cada parte del sistema.

4.1.1 Distribución de los sensores.

Para la determinación de la cantidad de sensores que debe tener el sonar y las posiciones en que deben estar colocados en el automóvil se deben tomar ciertas consideraciones como son la operación de los sensores ultrasónicos, la frecuencia en la que trabajan y las propiedades del sonido. Si se envía la información a la misma frecuencia y al mismo tiempo ocurre un efecto de rebote que es llamado cross-talk, para estar seguro de esto se revisó el comportamiento en interferencias de ondas.

Cuando las ondas van en el mismo sentido, misma frecuencia y amplitud ocurren los fenómenos de interferencia constructiva e interferencia destructiva, mientras que, si la amplitud es diferente, ocurren interferencia constructiva e interferencia destructiva. De la misma manera, cuando dos ondas se encuentran viajando en sentido opuesto, la superposición tendrá una parte estacionaria y una parte viajera.

Se realizaron pruebas de simulación en el software Wave2000, donde se colocaron 3 nodos de sensores transmitiendo a la misma frecuencia y amplitud (figura 60).



Figura 60. Prueba de Interferencia del sonido

En la figura 61 se aprecia que ya está ocurriendo el fenómeno de superposición de ondas que corresponde a la interferencia destructiva y constructiva de la señal.

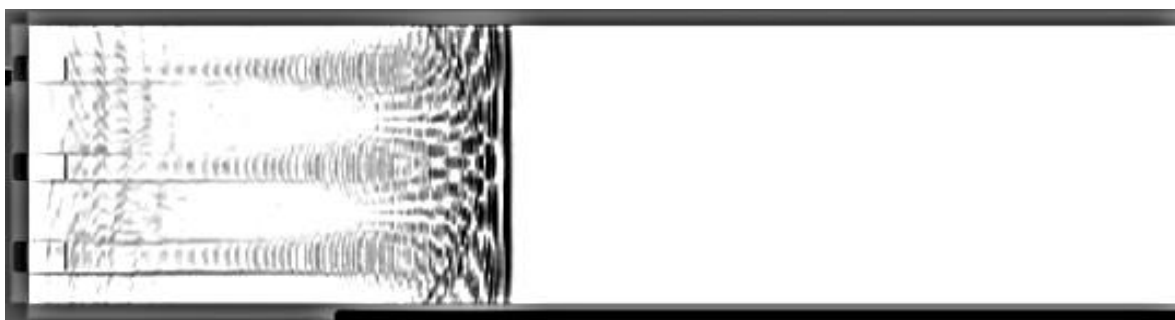


Figura 61. Superposición de ondas.

La imagen de la figura 69 muestra que la onda ha viajado más tiempo por el medio y se reflejó con algún objeto, por lo que se ha deformado e incluso formado una sola onda, perdiendo las señales de las tres ondas iniciales y por lo tanto, su información (efecto cross-talk).

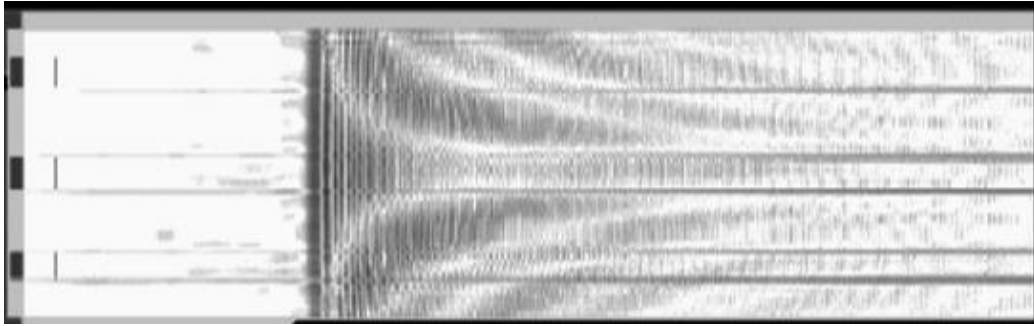


Figura 62. Onda modificada y reflejada sobre algún objeto.

Por lo tanto, si todos los módulos sensores trabajan a una misma frecuencia o frecuencias muy cercanas, y la misma amplitud y cantidad de pulsos, entonces se presentan efectos que provocarán errores de medición del sonar.

Una solución es determinar la distancia adecuada entre cada sensor y hacerlos funcionar en diferentes tiempos.

Según la información proporcionada por la empresa Pepperl Fuchs, desarrolladora de sensores ultrasónicos, en el manual de usuario se muestra el posicionamiento adecuado para los sensores ultrasónicos y el rango y distancia entre cada sensor (tabla 9, figura 63) [40].

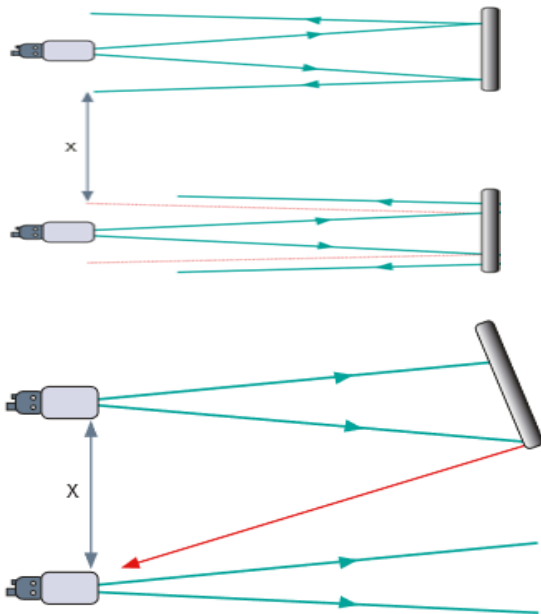


Tabla 9.- Rango de alcance vs distancia entre sensores.

Alcance (mm)	X distancia (m)
Arriba de 500	0.3
Arriba de 2000	1,0
Arriba de 4000	2.0
Arriba de 6000	2.5

Figura 63. Distancias entre transductores Pepperl Fuchs.

También se realizó una revisión y verificación de la posición de los nodos en la parte frontal y la parte posterior de diferentes modelos de automóviles (Tabla 10).

Tabla 10 Cantidad de sensores en marcas comerciales.

Automóvil	Cantidad de Sensores en total	Frontal	Posterior
Voskvagen Jetta A6 Hybrid	8	4	4
Renault Duster	3	-	3
BMW series 5 Touring	4	-	4
Nissan Kiscks	3	-	3

Por último, se realizó una entrevista a un técnico de la empresa Interfaces en Tampico Tamaulipas que se dedica a instalar estos sensores desde hace 15 años, él comentó que el posicionamiento de estos sensores se realiza a partir de la cantidad que se requieren colocar según las dimensiones del vehículo, es decir, es variable este número.

Con toda la información anterior, se decidió utilizar los sensores haciendo multiplexación a través del tiempo, de manera que cada sensor del sistema sonar tenga el tiempo suficiente para detectar la señal correspondiente; el sensor tiene una respuesta en un máximo de 36 ms, si en ese tiempo ya no regresó el reflejo y no hay señal en la entrada echo, quiere decir que rebasó la barrera máxima de medición, que en este caso es de 36 ms equivalente a 4 metros de distancia máxima. Se considera entonces asignar 70 ms para cada sensor, así en el caso de tener 4 sensores para el sistema sonar,

se tendría un tiempo de detección de 280 ms, lo que se traduce en 5 mediciones por segundo (figura 64).

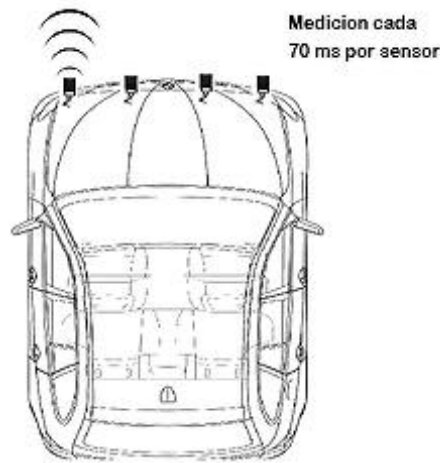


Figura 64. Medición secuencial.

La tabla 10 de distancia máxima y distancia entre sensores, permite ver que es posible que los sensores de cada extremo se accionen al mismo tiempo, de manera que en la multiplexación se reduce el tiempo para recolectar la información de los sensores, la desventaja es que se tendría un rango de distancia máxima el cual se contempla en una parachoques del Jetta Hybrid de 1.65cm y la distancia que existe en extremos del sensor son de 1.32 cm se tendría una distancia máxima de 66 cm (figura 65).



Figura 65. Medición múltiple.

El área de detección proporcionado por el libro sensores en el automovil se muestra de 2 formas, la primera con dos sensores y existen 4 zonas la primera zona 30 cm es el área más cercana que se representa con un tono constante auditivo, la segunda zona de 60 cm con 6 tonos/seg, la tercer zona de 90 cm 3 tonos/seg y la cuarta zona de 91-170 cm esta zona es la más alejana y segura ante una posible colisión y a si se replica tanto para 4 sensores [35]. En la figura 66 se muestra como es el rango de medición y a que distancia.

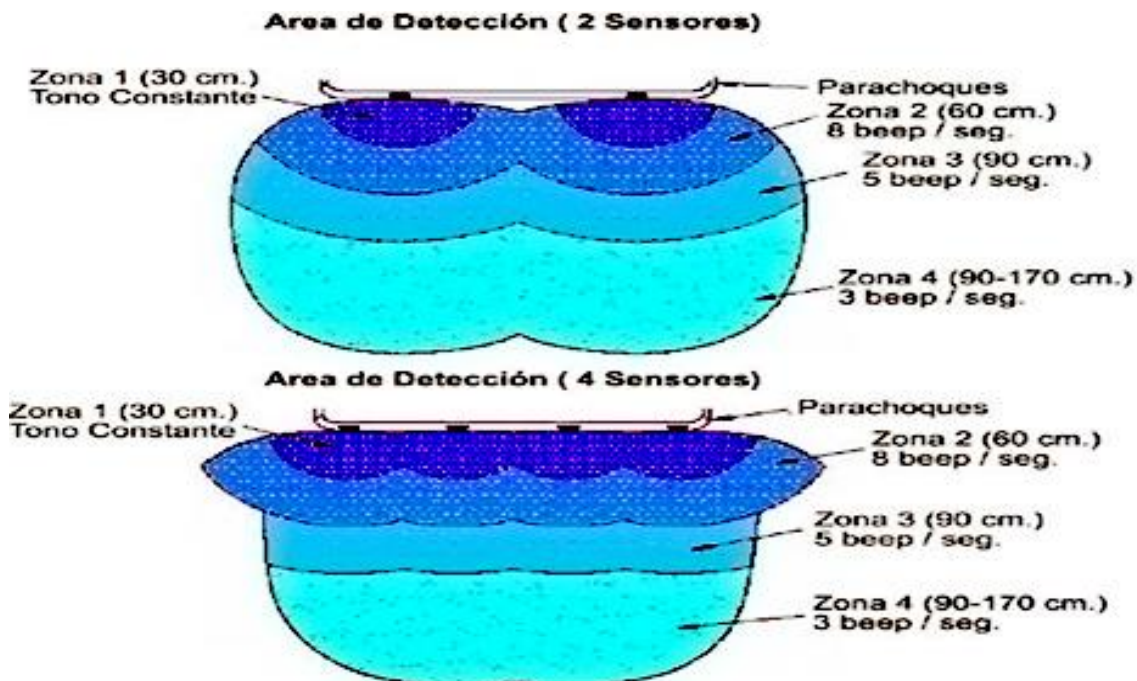


Figura 66. Área de detección de 2 y 4 sensores [35].

4.2 Gateway.

Para la implementación del Gateway se propuso usar microcontroladores de 32 bits con arquitectura ARM. Específicamente fue considerada la tarjeta de desarrollo de STMicroelectronics Núcleo-F767ZI la cual posee un microcontrolador Cortex-M7 de la familia STM32, el STM32F767ZI [44]. La tarjeta se eligió porque tiene los requerimientos necesarios para la implementación del sistema:

- 2 Puertos Seriales de al menos 19,200 bps
- 1 Puerto LIN
- Interrupciones
- 2 temporizadores
- Memoria 16 kB de FLASH

El microcontrolador seleccionado tiene una frecuencia de operación máxima de 216 MHz, 2 MB de memoria Flash, 512KB de SRAM, ocho interfaces UART/USART, puerto LIN y 16 temporizadores, por lo tanto, cumple con los requerimientos del sistema. Así mismo, se tiene el IDE de Keil que permite desarrollar hasta 32 kB de código para depurar y compilar de forma libre. Además, se tiene la ventaja de que existe un estándar para el desarrollo de software utilizando microcontroladores con arquitectura ARM Cortex-M que es el CMSIS (*Cortex Microcontroller Software Interface Standard*), esto permite cambiar a otros compiladores que manejen arquitectura ARM [45].

El diseño del software requerido por el Gateway debe contener 3 procesos: la comunicación serial (RS-232) con el SCS, la comunicación con la red de sensores a través del Bus LIN y un proceso secuencial de lectura de los valores de cada nodo sensor. La comunicación con el SCS se establece a una velocidad de 115200 bps para enviar los valores de cada uno de los sensores; la otra comunicación serial es a 19200 bps por lo que se configura la detección en RX como LIN BREAK DETECTION para que funcione como puerto de comunicación LIN y se le asigna una prioridad de interrupción mayor que la comunicación con el SCS.

El proceso secuencial de lectura de los nodos es el siguiente: se solicita el valor al nodo 1 y se envía al SCS, lo mismo para el nodo 2, nodo3 y nodo 4. Se espera por un tiempo máximo de 60 ms para que responda. En caso de que un nodo falle se realizan dos intentos más y se procede con el siguiente nodo (figura 67).

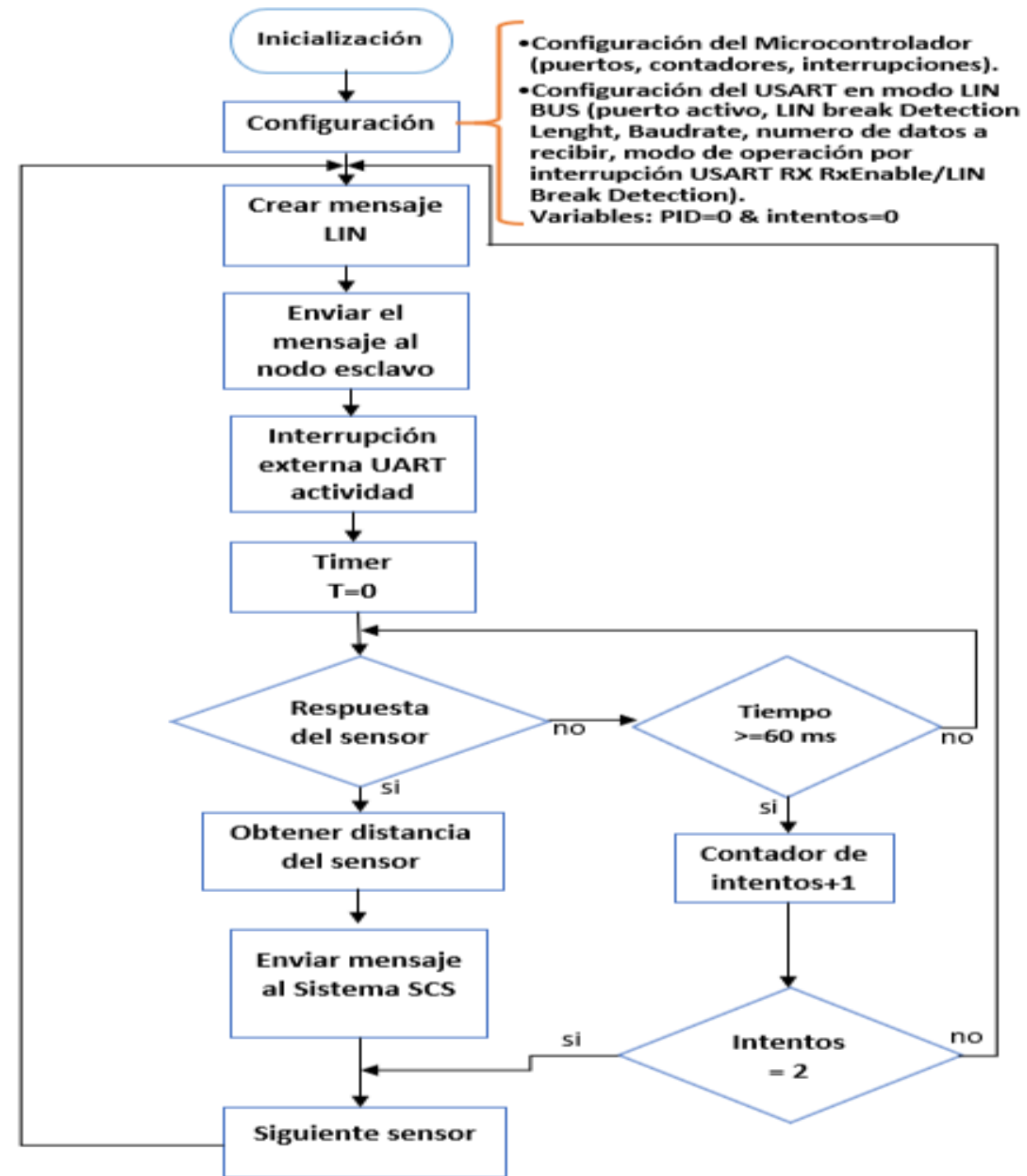


Figura 67. Procesos requeridos en el Gateway.

Por otra parte, se tiene que implementar la comunicación LIN, para ello se configura el microcontrolador del Gateway como maestro, el microcontrolador del nodo sensor como esclavo, y se desarrolla una estrategia de control para comunicarse con el transceptor LIN (MCP2022A) figura 68, el cual acopla los niveles físicos de los microcontroladores ARM (3.3 V) y el nivel de 12 V del Bus LIN. Dicho transceptor tiene una máquina de estado que se debe que tomar en cuenta para el diseño del software.

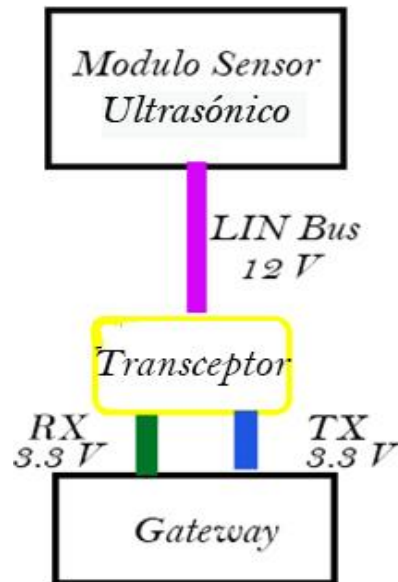


Figura 68. Acoplamiento de los niveles de voltaje del microcontrolador y del Bus LIN.

4.2.1 El Transceptor MCP2021A.

El bus LIN opera con niveles entre 9V y 18V. Típicamente, los valores proporcionados por las terminales del microcontrolador son ajustados por un transceptor. Esto permite que el microcontrolador opere con niveles de 3V o 5V, mientras que el bus opera a niveles superiores [5]. Para esta red fue seleccionado el transceptor MCP2022 de la marca NXP. El MCP2022 es un transceptor de bajo consumo para uso automotriz e industrial, que soporta la señalización descrita en la especificación LIN para buses de Clase A (baja tasa de transferencia de datos) [43].

Las principales características del transceptor MCP2022 se enlistan a continuación:

- Baudrate hasta 20 K.
- Bajo consumo de corriente en el modo Sleep.
- Resistor integrado para aplicaciones de esclavo.
- *Wake up* local y remoto.
- Protección térmica.
- Regulador de voltaje a 3.3 V.

El MCP2022 provee cinco modos de operación: POR, READY, OPERATION, TXOFF y POWERDOWN. Estos modos de operación se describen en la siguiente tabla 11.

Tabla 11. - Modos de operación del transceptor MCP2022 [40].

Modo	FAULT/TXE	TXD	RXD	VREG
POR	-	OFF	OFF	OFF
READY	0	OFF	ON	ON
OPERATION	1	ON	ON	ON
TX OFF	0	OFF	ON	ON
POWER DOWN	-	OFF	OFF	OFF

El diagrama de estados de la figura 69 ilustra cada uno de los modos de operación.

Para el desarrollo de la red fueron considerados los estados de TX OFF y OPERATION y la terminal de control FAULT/T_{XE} empleada para el control del transceptor [43].

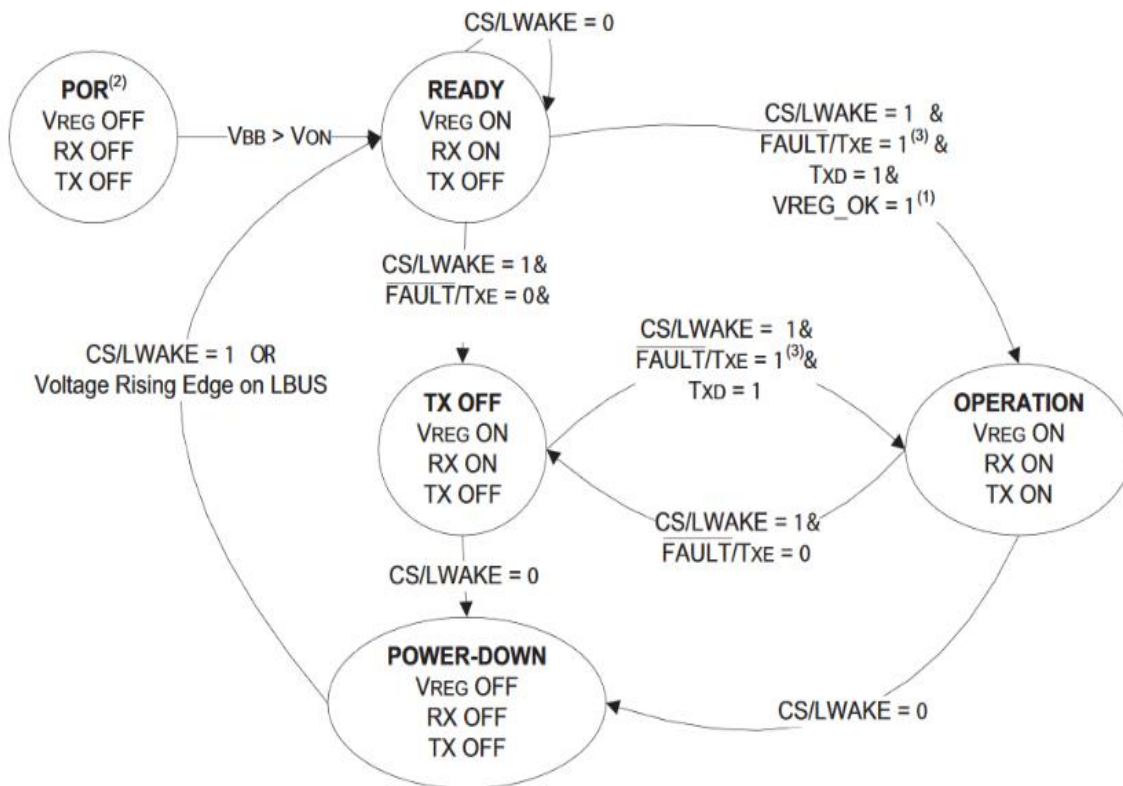


Figura 69. Diagrama de estados del MCP2022.

Para el uso del transceptor MCP2022 (figura 70) se realizó el diseño de una tarjeta de circuito impreso que facilita la mayoría de las conexiones.

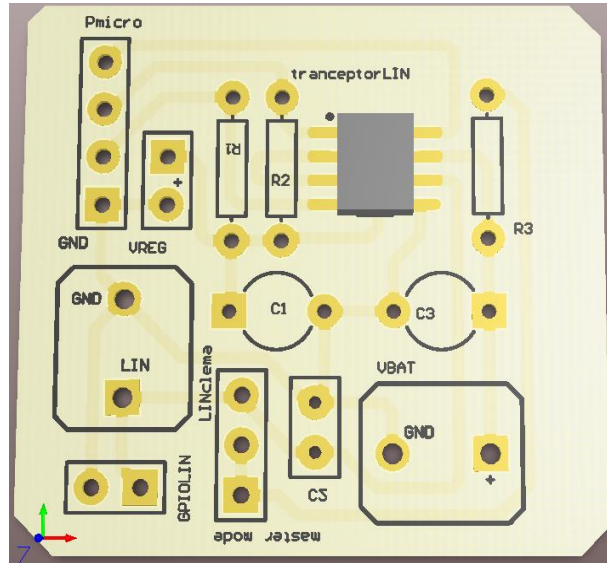


Figura 70. Tarjeta de circuito impreso para el MCP2022.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, a continuación, se mostrarán las máquinas de estados propuestos para la construcción de la red LIN siguiendo el diagrama como se mostró en la figura

4.2.2 Conexiones.

Como muestra la figura 75, el control principal será realizado por el microcontrolador a través de una SCI *Serial Comunicación Interface*, que es interconectada al transceptor. La figura 71 muestra el diagrama de conexión de un nodo LIN ya sea maestro o esclavo.

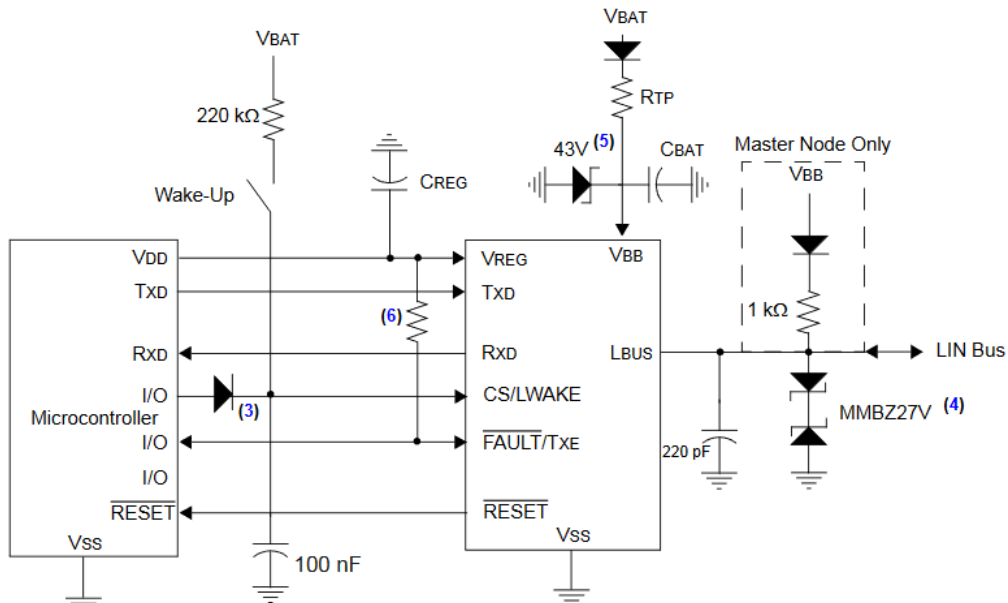


Figura 71. Diagrama de interconexión del microcontrolador y el transceptor [43].

4.2.3 Red LIN para el sonar.

Una trama LIN (figura 72) se conforma por cinco componentes principales de la trama (break, Sync, Identifier, Data y checksum).

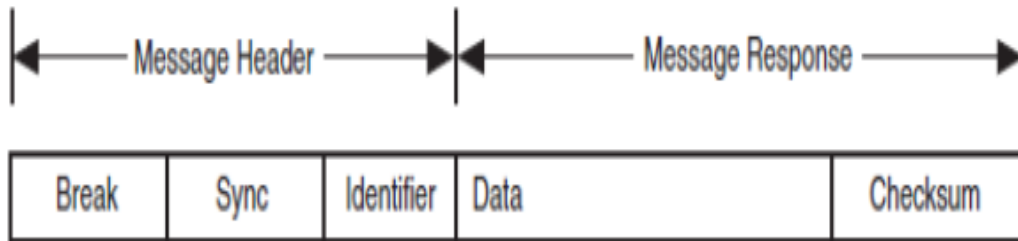


Figura 72. Trama del protocolo LIN.

El encabezado de mensaje consiste de una interrupción usada para identificar el inicio del marco y el campo de sincronización usado por el nodo esclavo para sincronización de reloj. El identificador (ID) consta de un ID de mensaje de seis bits y un campo de paridad de dos bits. El ID indica una dirección específica de mensaje, pero no el destino. Después de la recepción e interrupción del ID, un esclavo comienza la respuesta del mensaje, la cual consiste de uno a ocho bytes de datos y una suma de verificación de ocho bits.

Hardware del Sistema

Se debe tener en cuenta que existen varias versiones de LIN que varían entre ellas (tabla 12), en este documento se trabaja con la versión estándar 2.2A [41].

Tabla 11 Revisiones de LIN.

Versión	Fecha
LIN 1.0	1999-07-01
LIN 1.1	2000-03-06
LIN 1.2	2000-11-17
LIN 1.3	2002-12-13
LIN 2.0	2003-09-16
LIN 2.1	2006-11-24
LIN 2.2	2010-12-31
LIN 2.2A	2010-12-31
ISO17987	En proceso

A nivel de capa física el bus LIN consiste en una línea bidireccional que es conectada a un transceptor para cada nodo. El desarrollo de cada nodo requiere de un microcontrolador y un transceptor únicamente. La figura 73 ilustra la estructura básica de las tareas del maestro y los nodos en una red LIN [42].

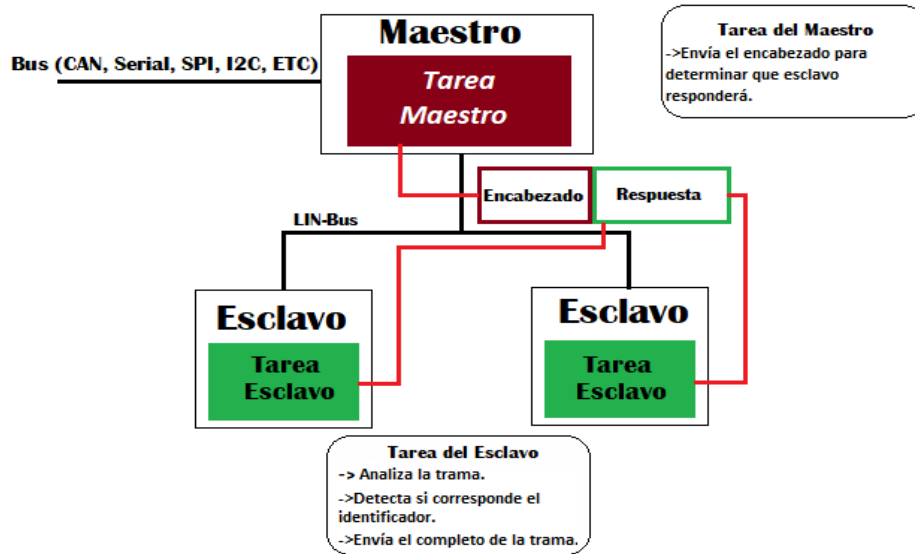


Figura 73. Estructura de una red LIN conformada por dos nodos esclavos y un nodo maestro interconectados a través del bus.

El maestro tiene la tarea de enviar el *header* (el encabezado), el cual se compone de 3 elementos importantes (figura 74) [42]:

- BREAK (13 bits recesivos).
- SYNC FIEL (8 bits de sincronización de campo [0x55]).
- PID (la ID de 8 bits que corresponde a la dirección del esclavo correspondiente y puede tomar valores de 0-63 en hexadecimal).

El campo BREAK es para la detección y el despertar del LIN, se compone de mínimo 13 bits dominantes y 1 bit recesivo que es calculado, el byte de sincronización de campo está compuesto por el dato en hexadecimal (0X55) y la última parte del encabezado, el campo PID (el identificador de protección) está dado por 6 bits LSB, esa ID puede tomar un rango de 0 hasta 63 con restricciones, ya que las direcciones 60-61 son utilizadas para diagnóstico y las direcciones 62-63 son reservadas.

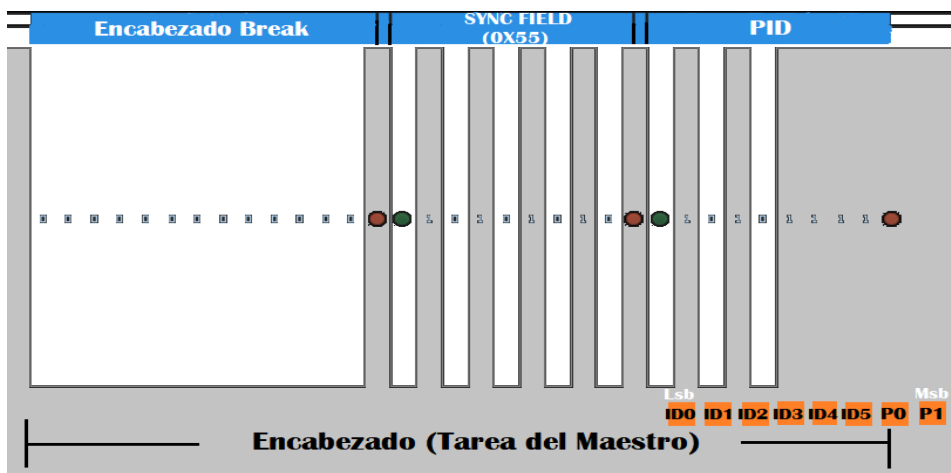


Figura 74. Trama del nodo maestro.

Por último, los bits más significativos son la paridad P0 y P1, que se deben de calcular a través de las fórmulas dadas a continuación [42]:

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4$$

$$P1 = \sim (ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5)$$

Por otra parte, el maestro también también se encarga de enviar los datos de los esclavos hacia el SCS por otro protocolo, ya sea CAN bus, Serial, I2C, etc, para este proyecto se eligió un protocolo Serial (USART).

Como se ha visto, el Gateway tiene que manejar varios protocolos de comunicación, es un microcontrolador el que se encarga de enviar datos de un protocolo a otro; las aplicaciones para esta tarea del maestro son varias y dependen del programador las variaciones que proponga en el diseño de la red.

una tarea de los esclavos es enviar la respuesta solicitada por el maestro, si un maestro envía la dirección de un esclavo este deberá atender el llamado y los otros esclavos sólo escucharán el mensaje, pero no lo atenderán si no corresponde con su dirección. La trama con la que responde el nodo esclavo corresponde a la figura 80 y sus campos son:

- Respuesta, DATOS [1,2, hasta 8] bytes.
- CHECKSUM (verificación de la suma de datos y este depende de la versión del LIN que se utilice).

El campo de datos (figura 75). tiene un máximo de 8 bytes.

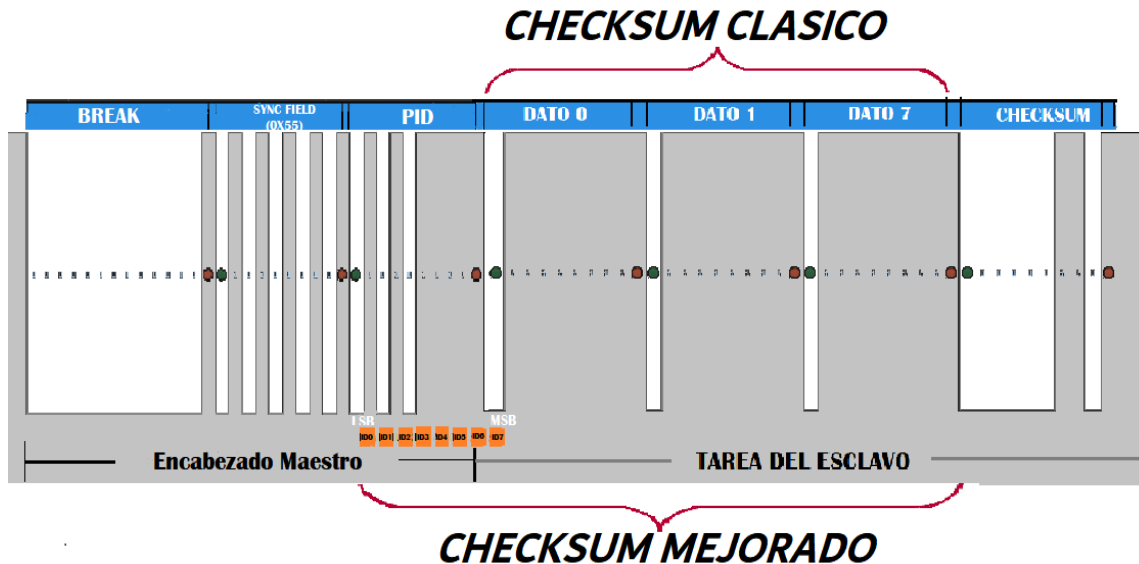


Figura 75. Trama del nodo esclavo.

El CHECKSUM tiene dos variantes de modelo de suma: la verificación de suma clásica (LIN 1.1, 1.2, 1.3) y la verificación de suma mejorada (LIN 2.1, 2.2, 2.2A) [42].

La suma clásica se calcula a partir de la suma de todos los datos y se resta 255 cada vez que la suma sea mayor o igual que 256.

La suma mejorada es prácticamente la misma con la excepción de que al final de todos los datos sumados, se suma la PID correspondiente (figura 76).



Usar el método de suma clásica o el mejorado depende del nodo maestro y es determinante por el PID, el método clásico se usa en comunicación 1.x en nodos esclavos y el mejorado en 2.x en nodos esclavos.

4.3 Sistema control del sonar (SCS).

El SCS implementado en una miniPC debe de contar con los siguientes requerimientos:

- Compatible con algún sistema Operativo con arquitectura superior a 32.
- Bajo consumo de energía.
- Velocidad de procesador mayor a 1 GHz para aplicaciones con interfaces gráficas.
- Comunicación Serial.
- Salida de video VGA o HDMI.

El sistema empujado Raspberry Pi 3 modelo B tiene cuatro procesadores a 1.2 GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits 1 GB de RAM y puertos de expansión, con protocolos de comunicaciones como: SPI, I2C, SERIAL, Wi-Fi, Bluetooth, USB y salidas HDMI, por tanto se considera un sistema apropiado para el SCS, es un sistema económico y tiene gran aceptación en la comunidad de programadores embebidos, permite instalar un sistema operativo, en este caso el RASPBIAN STRETCH el cual está basado en Debian 9, con las actualizaciones necesarias para que trabaje en un entorno de escritorio, convirtiéndolo en una miniPC completa y utilizando 84 MB de memoria, lo cual se verificó mediante una prueba desde la consola.

Una vez instalado el sistema operativo, se procede a instalar una versión gratuita del software Qt, que permite programación de alto nivel, con el que se realizarán interfaces gráficas de usuario. Una característica importante es que es un sistema *cross-plataform*, es decir, que con el mismo lenguaje de programación se puede realizar tanto una aplicación, una versión de escritorio o bien un sistema empujado.

El programa para el sistema de control del sonar se realizó en lenguaje C++ para el sistema empujado (Raspberry PI). La figura 77 muestra la interfaz gráfica del usuario.

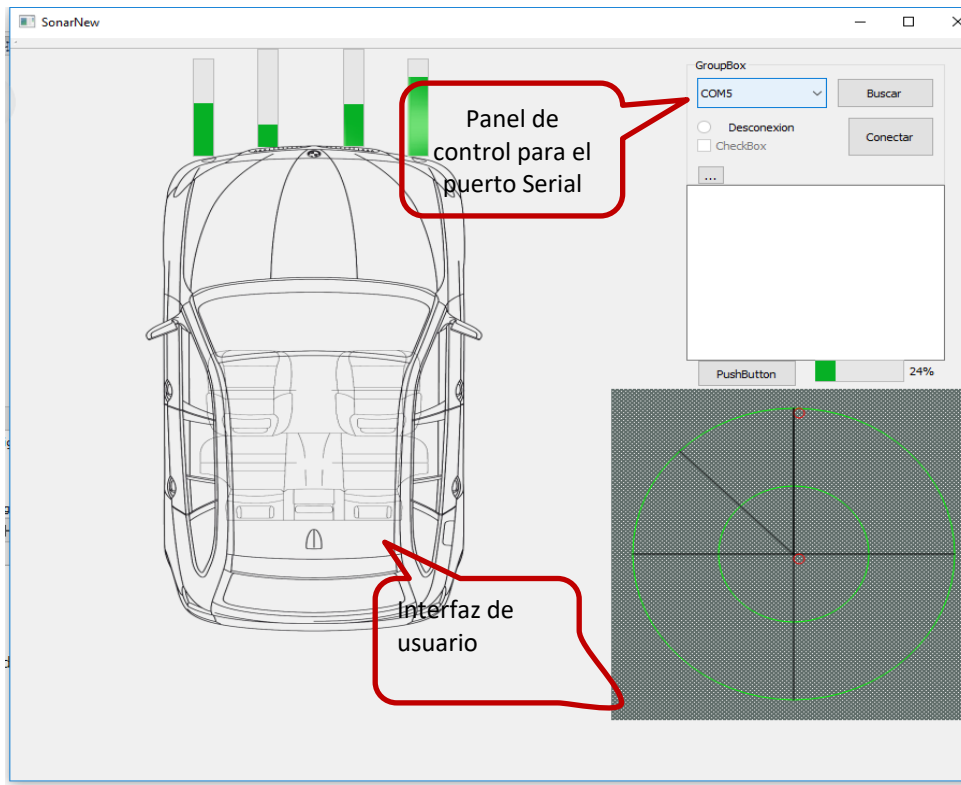


Figura 77. Interfaz de usuario para el Sonar.

La recepción entre el Gateway y la miniPC, se realizó con el fin de establecer un protocolo serial estableciendo una velocidad y datos de transmisión, en otros lenguajes de programación el método de recepción tiene un control de tiempo (*timer*) para ajustar a un tiempo adecuado para el protocolo o bien se hace uso de multi hilos para que la recepción sea un proceso diferente al de la interfaz y así no ocasiona fallas o pérdidas de datos para el sistema de visualización, en cambio, en QT se tienen las instrucciones señal y ranura (*Signal y Slot*), especiales para conexión y disparo por eventos en QT, mejorando el tiempo y la productividad en el desarrollo de aplicaciones multiplataforma C++.

En la figura 78 se muestra el código en lenguaje C de la función para configurar la UART y recibir los datos. La línea de código marcada en amarillo señala la función *connect*, la más importante para la comunicación, sus parámetros son: *serialpuerto* es el nombre que se le dio al objeto creado, *readyRead()* se ejecuta una vez que tiene nuevos datos disponibles para leer desde el dispositivo seleccionado, contantemente actualiza los datos recibidos a través de la UART de la Raspberry, el apuntador *this* se utiliza porque mantiene una copia de datos, esto ahorra memoria y hace que los programas ejecutables sean más compactos, por último *serialreceived()* es un método creado para acceder a los valores recibidos del protocolo UART.

```

void SonarNew::on_btnconect_clicked()
{
    if(ui->btnconect->text()=="Conectar"){
        qDebug() <<"Nombre"<<ui->cbosecial->currentText();
        serialpuerto->setPortName(ui->cbosecial->currentText());
        if(serialpuerto->open(QIODevice::ReadWrite)){
            ui->btnconect->setText("Desconectar");
            ui->btnbuscar->setEnabled(false);
            ui->cbosecial->setEnabled(false);
            serialpuerto->setBaudRate(QSerialPort::Baud115200);
            serialpuerto->setDataBits(QSerialPort::Data8);
            serialpuerto->setStopBits(QSerialPort::OneStop);
            serialpuerto->setParity(QSerialPort::NoParity);
            serialpuerto->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
            serialpuerto->open(QSerialPort::ReadWrite);

connect(serialpuerto, SIGNAL(readyRead()), this, SLOT(serialrecived()));

            ui->lblconect->setText("Conectado...");
            ui->radioButton->setChecked(true);
        }
        else{
            ui->btnconect->setText("Conectar");
            ui->btnbuscar->setEnabled(true);
            ui->cbosecial->setEnabled(true);
            qDebug() <<"ERROR de conexion intenta otra vez buscar los
puertos";
        }
    }
    else{
        serialpuerto->close();
        ui->btnconect->setText("Conectar");
        ui->btnbuscar->setEnabled(true);
        ui->cbosecial->setEnabled(true);
        qDebug() <<"Desconectado: "<<serialpuerto->portName();
        ui->lblconect->setText("Desconectado");
        ui->radioButton->setChecked(false);
    }
}
}

```

Figura 78. Configuración del protocolo UART en QT.

Capítulo 5

Resultados y conclusiones

Este último capítulo muestra los resultados obtenidos de las pruebas realizadas como la prueba del módulo sensor, las pruebas de comunicación LIN y la integración del sistema sonar, también se enuncian las conclusiones del proyecto y el trabajo futuro.

Tomando en cuenta que el diseño del sistema sonar se realizó de manera modular, a cada parte se le realizaron diferentes pruebas hasta concluir con la verificación del proyecto completo, se empezará describiendo los resultados obtenidos por el módulo ultrasónico.

5.1 Resultados del sensor ultrasónico

Para probar el sensor ultrasónico, se colocan alineadamente el transmisor y el receptor a una distancia de 60 cm entre ellos (figura 79).

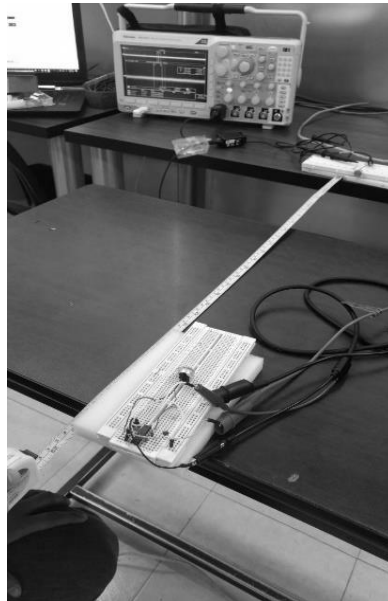


Figura 79. Pruebas para caracterizar el circuito y los transductores ultrasónicos.

Se realizaron pruebas del circuito haciendo diferentes barridos de frecuencias con el fin de saber si estos sensores pueden servir para aplicaciones automotrices. La frecuencia de inicio se estableció en 40 kHz y se fue aumentando hasta llegar a los 70 kHz, variando también la cantidad de pulsos en la ráfaga.

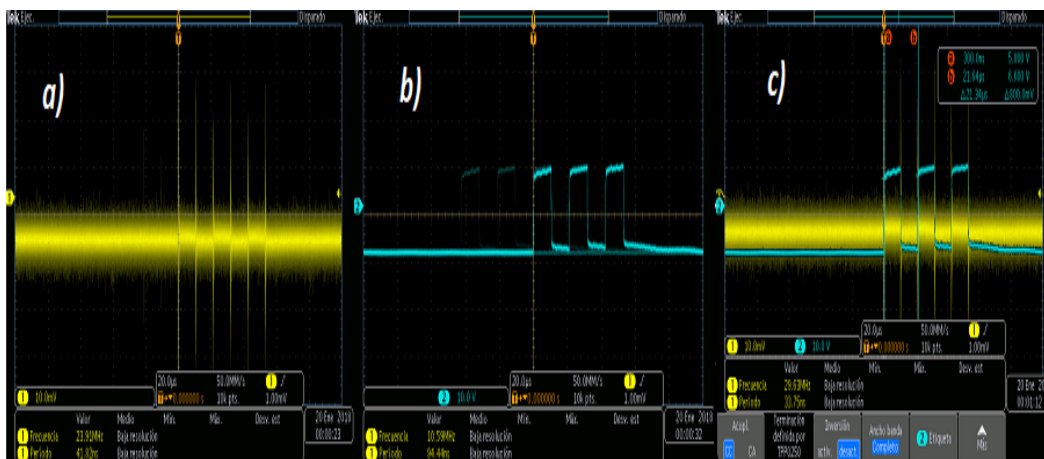


Figura 80. Barrido de frecuencia a 47 KHz (a) señal recibida, b) señal original, c) ambas señales).

La figura 80 a) muestra la señal recibida y la figura 80 b) la señal transmitida, la figura 80 c) muestra simultáneamente la señal enviada y la señal recibida, se puede apreciar que existe un periodo de 24.34 μ s, por lo que la frecuencia es de $\frac{1}{24.34\mu s} = 46.860$ Hz. La frecuencia enviada tiene 3 pulsos de 47 kHz y se observa que corresponde con la señal recibida en frecuencia y cantidad de pulsos.

La figura 81 muestra la respuesta del sistema a diferentes frecuencias, se observa que el sensor responde bien a frecuencias comprendidas entre 40 y 70 kHz

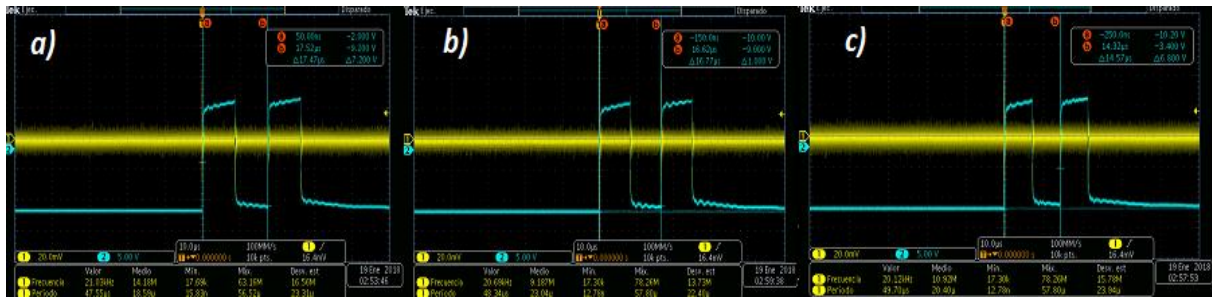


Figura 81. Frecuencias a)58 kHz, b) 62 kHz, c) 71 kHz.

La figura 82 muestra una prueba con diferentes cantidades de pulsos.

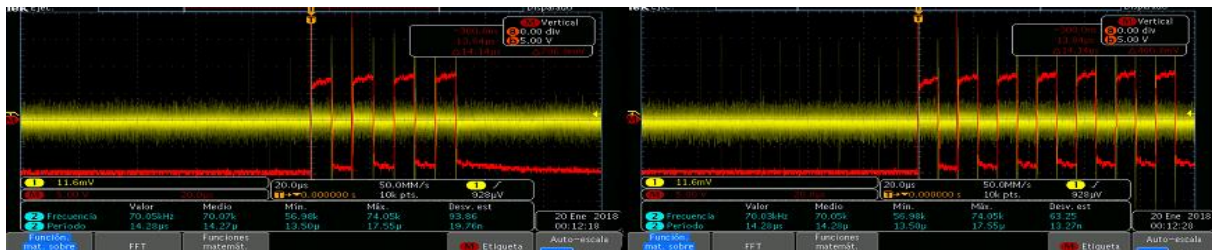


Figura 82. Frecuencia 70 KHz a) 4 pulsos, b) 8 pulsos.

En la figura 83, se muestra un acercamiento de la señal y se aprecia una oscilación, esto se debe a que cada pulso resonante para el transductor genera una respuesta como se había planteado anteriormente (figuras 81 y 82).

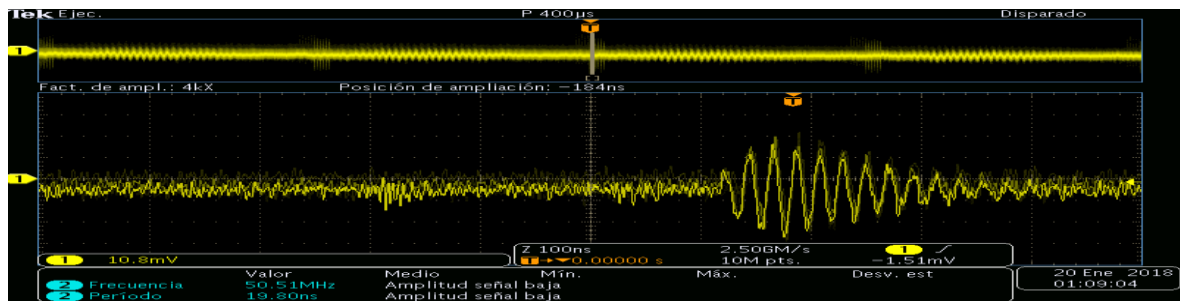


Figura 83. Respuesta del sensor excitado por un pulso.

Con estos resultados se comprueba que los transductores ultrasónicos responden adecuadamente en el rango de frecuencia de 40 kHz hasta aproximadamente 70 kHz y esto permite aplicarlos en el área de automotriz, tiene la desventaja de que se requiere estar cambiando los valores de los componentes pasivos como resistencias y capacitores para modificar la frecuencia central del filtro pasa banda.

5.2 Resultados del módulo ultrasónico

La verificación del funcionamiento del módulo se realizó colocando los sensores a las siguientes distancias fijas (tabla 12).

Tabla 12 Mediciones obtenidas de un objeto fijo.

Modulo Sensor	Distancia (objeto) cm	Distancia promedio medida por el módulo
1	180	180
2	82	81.99
3	42	41.53
4	151	149.6

El valor de la medición se obtiene del microcontrolador (Gateway) a una consola serial que visualiza los resultados de las mediciones, esto se realizó con el software Hércules (figura 84) el cual permite abrir terminales seriales, la tabla 12 es el resultado de dichas mediciones.

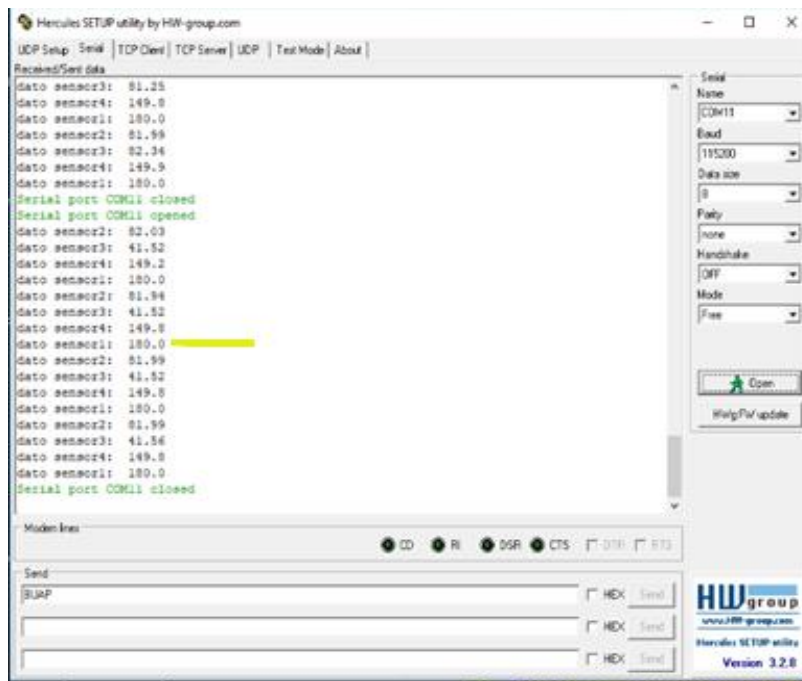


Figura 84. Datos recibidos por el software Hércules.

En la figura 85 se muestra el encabezado del maestro (Gateway) para el valor del dato marcado en amarillo. La figura 86 muestra la trama LIN, el encabezado del maestro y la respuesta del esclavo. El maestro envía el Break, Sync y PID (0x31); y el esclavo (módulo sensor ultrasónico) contesta con los 8 bytes del dato correspondiente a la distancia de 180.0 en formato hexadecimal que es 0x31 (1), 0x38 (8), 0x30 (0), 0x2E (.), 0x30

(0), 0x00 (NULL), 0x00 (NULL), 0x00 (NULL) y el último byte corresponde al cálculo del Checksum 0x56, con esto se muestra el funcionamiento correcto de una trama LIN.

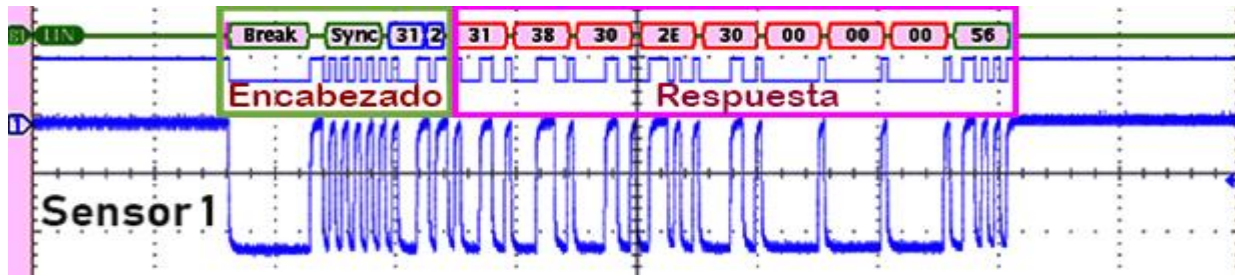


Figura 85. Respuesta de los módulos esclavos.

De forma similar se obtienen los datos de cada sensor, las peticiones son coordinadas por el nodo maestro que solamente cambia el PID para obtener las diferentes mediciones de cada nodo esclavo.

5.3 Resultados del Sistema Sonar

Para probar el funcionamiento del sistema sonar, se integró el módulo sonar al *Gateway* y a la interfaz gráfica de usuario. Se montaron los sensores en el vehículo Jetta Híbrido A6 Volkswagen que se encuentra en las instalaciones de la BUAP; la distribución de los sensores se indicó en la sección 4.1.1 y la figura 86 muestra el lugar donde se colocaron los sensores.



Figura 86. Posicionamiento de los sensores ultrasónicos sobre el Jetta híbrido.

Una vez montada la red e integrado el sistema completo, se realizaron las pruebas correspondientes utilizando un objeto de superficie plana para tener mejor control y el reflejo de la onda ultrasónica, con la ayuda de un flexómetro se tomaron las distancias a la que se colocó el objeto (figura 87).

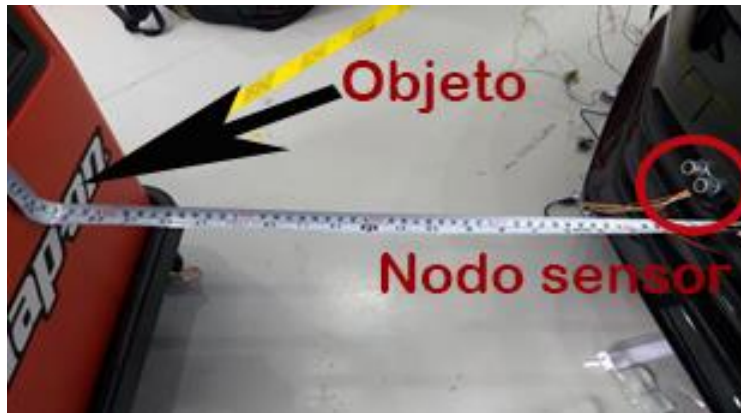


Figura 87. Medición sobre un objeto.

Estas pruebas se realizaron a temperatura ambiente, la temperatura tomada al inicio y final de la prueba fue de 20.1 – 19.6 °C (figura 88), al no tener cambios grandes en la temperatura se considera que no influye en las mediciones realizadas.

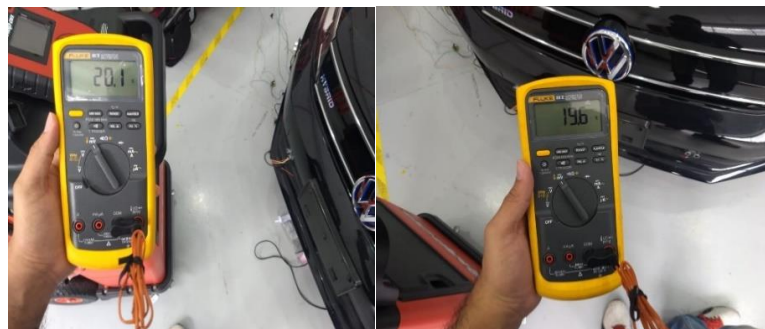


Figura 88. Medición de temperatura con el multímetro.

Para verificar el funcionamiento del sistema sonar, se sometió a la medición de distancias en diferentes materiales: metal, plástico, madera y por último sobre una persona, en una persona cambia la morfología, pero con los otros objetos la superficie fue lisa. En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos de la prueba, la cual se desarrolló en un ambiente cerrado dentro del laboratorio de sistemas automotrices.

Tabla 13 Mediciones de diferentes nodos.

sensor	Sistema sonar (cm)	Distancia Flexómetro (cm)	Objeto
Sensor 1	120.4	121.4	Metal
Sensor 2	90.78	91.3	
Sensor 3	56.37	56.9	
Sensor 4	32.45	32.8	
Sensor 1	117.4	116.9	Plástico
Sensor 2	90.78	91.6	
Sensor 3	50.71	51.3	
Sensor 4	35.12	33.9	
Sensor 1	25.37	26.1	Madera
Sensor 2	68.75	69.4	

Sensor 3	135.7	137.3	
Sensor 4	9.28	10.7	
Sensor 1	154.6	159.2	Persona
Sensor 2	82.3	86.4	
Sensor 3	43.15	45.7	
Sensor 4	12.48	13.2	

Estos resultados muestran que los objetos metálicos se acercan más al valor sentido, esto se debe a que reflejan mejor las ondas ultrasónicas.



Figura 89. Medición de distancia sobre una persona.

Otra medición importante es la distancia hacia una persona (figura 89). Los resultados arrojados en la medición sobre una persona muestran un error promedio de 5 cm y en los otros objetos el error es de 0.4 cm, esto se debe al tipo de material de la ropa que usa la persona, en este caso de algodón, absorbente de las ondas ultrasónicas y también se debe a la morfología de la persona.

En relación con las pruebas del sonar en la comunicación por la red LIN BUS, se debe mencionar se configuró e implementó para trabajar con cinco nodos de los cuales cuatro son nodos esclavos y que realizan la lectura de los sensores ultrasónicos y el restante es el *Gateway* que interactúa con la interfaz gráfica de usuario. En la figura 90 se muestran las pruebas en donde el maestro envía las direcciones de cada nodo en diferentes tiempos y el nodo indicado responde a la petición del maestro enviando en la trama del mensaje el valor de la medición que monitoriza el sensor.

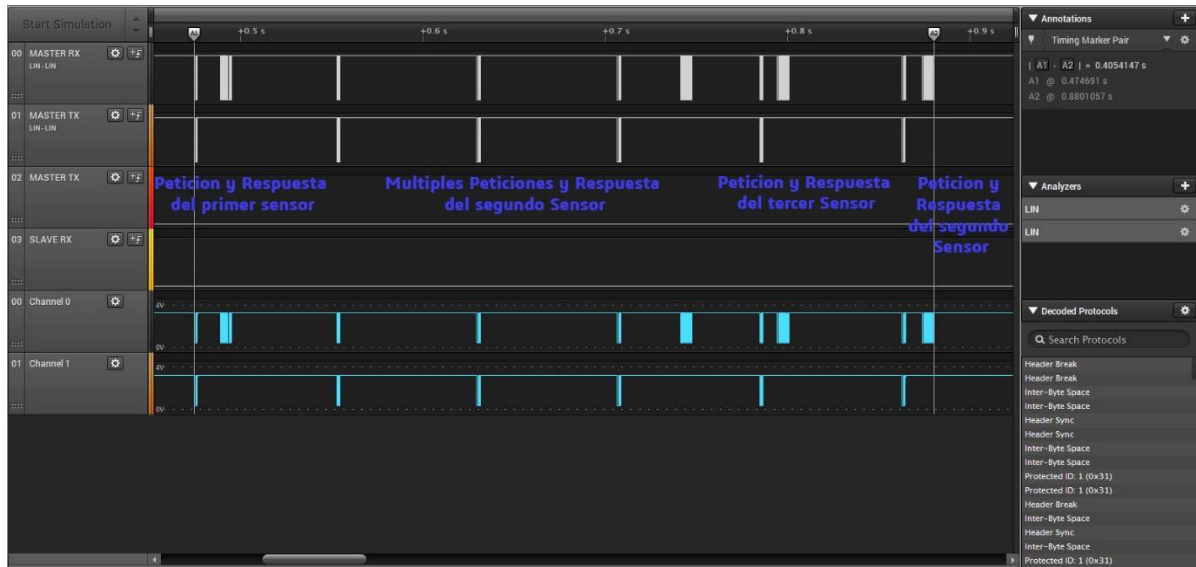


Figura 90. Peticiones y respuestas en la red del sonar.

La figura 90 muestra todo el ciclo de las peticiones para cada uno de los cuatro nodos en la red del sonar; se observa, por ejemplo, que en la petición para el segundo sensor o nodo, éste no respondió la primera vez, esto puede deberse a que el nodo en ocasiones no alcance a distinguir el mensaje que le envió el maestro, sin embargo el nodo maestro está programado con funciones para insistir con el mensaje a cualquier sensor que presente este problema y pueda volver a captar la señal, en el caso de seguir sin capturar el mensaje, el nodo maestro está programado para pasar a la dirección del siguiente nodo esclavo. El ciclo de una medición completa del sonar se efectúa en un tiempo de 415 mseg, esto quiere decir que en poco menos de un segundo se efectúan dos mediciones en el sonar. La figura 91 muestra los datos en la interfaz gráfica diseñada.

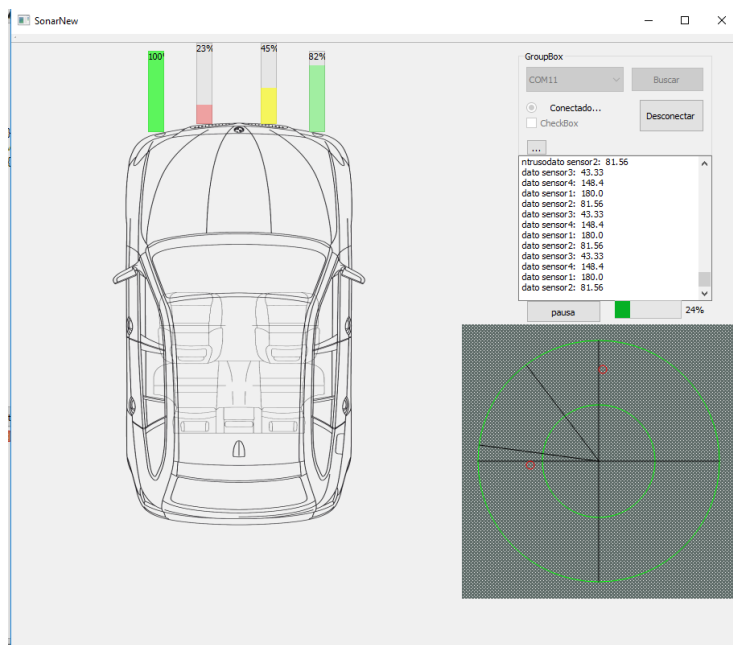


Figura 91. Interfaz gráfica del SCS.

5.4 Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió identificar las redes existentes en los vehículos actuales, los protocolos de comunicación (LIN y CAN Bus) y sus características, también analizar los diferentes sistemas de detección de objetos como son: sensores Ultrasónicos, LIDAR, Radares y Cámaras.

La detección de objetos se realizó con sensores ultrasónicos, debido a su bajo costo y a los requerimientos de la aplicación: velocidad baja, distancias cortas y menor procesamiento que los otros sistemas. El LIDAR puede proporcionar información más rápida y las cámaras mayor información del objeto.

El tiempo de rastreo para detectar objetos es de 380 ms y este puede reducirse a la mitad si se activan los sensores 1 y 3 de forma simultánea, así como con los sensores 2 y 4, existe sin embargo, la posibilidad de que falle el sistema por dos circunstancias, la primera es el alcance máximo y la segunda la morfología del objeto.

CAN y LIN son los sistemas de redes más utilizados en un automóvil, para que exista un bus LIN se requiere de un bus CAN, LIN es un nodo esclavo de la red CAN, la red LIN resulta adecuada en aplicaciones de baja velocidad en sensores y actuadores en el automóvil.

Se implementó una biblioteca en lenguaje C para la gestión del bus LIN en microcontroladores ARM Cortex-M. Se tienen funciones para la configuración, identificación del PID, cálculo del checksum, envío y recepción de datos por el bus LIN. Este punto es de particular importancia debido a que no existe información libre de la implementación LIN.

La comunicación LIN tiene las siguientes ventajas: longitud del bus máxima 40 metros, un máximo de 16 nodos (un maestro y 15 esclavos), y menor peso al ser sólo un hilo para la comunicación. El conocimiento adquirido del bus LIN permite realizar diferentes diseños para el automóvil que requieran este protocolo de comunicación.

El sistema sonar y sensor ultrasónico diseñados se pueden utilizar no solamente en el sistema automotriz, también para alarmas de detección en casas habitación o en otros ámbitos al activar elementos con sólo detectar la presencia de algún objeto.

La miniPC utilizada fue adecuada para realizar el procesamiento e interfaz de usuario gracias a la eficiencia y desempeño de la Raspberry con respecto a su tamaño y bajo consumo de energía. Se instaló un sistema operativo y el software Qt con el que se programó en alto nivel para desarrollar la GUI. El Qt es un software para el desarrollo de aplicaciones sobre sistemas empujados con versiones de código abierto que permiten *crossplatform* y *crosscompile* desde el lenguaje de programación C++.

El Sonar diseñado es un sistema acabado que puede instalarse en un vehículo y este sería completamente funcional. Sin embargo; para poderlo conectar a los buses del vehículo, se debería tener los IDs y el formato de los datos que utiliza el vehículo dependiendo de la marca.

En resumen, para diseñar un sistema de *autoparking* se debe tener un sistema sonar que permita conocer la distancia a la que se encuentran los objetos para poder implementar un algoritmo que permita realizar los movimientos para estacionar un vehículo. El presente trabajo contribuye a tal fin.

5.5 Trabajo a futuro.

Lo que se pretende a futuro con este diseño es incrementar sus capacidades y utilizarlo en sistemas autónomos en el automóvil con el fin de brindar información a una computadora que se encargue de la toma de decisiones sobre el volante.

Como extensiones de este trabajo se propone:

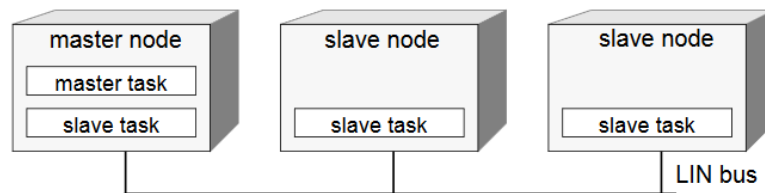
- La incorporación de elementos integrados como los Sistemas de Procesamiento Digital de Señales Ultrasónicas (PGA), elementos de los que se habló en el capítulo 3 y con los que aún no se logra un funcionamiento adecuado. Se propone incorporar el PGA a la red por el hecho de ser un sistema integrado que ya cuenta con todos los elementos del nodo esclavo.
- Realizar la técnica de multiplexación por pares de nodos para adquirir los datos de los sensores en menor tiempo.
- Mejorar la interfaz gráfica para que el usuario común tenga opciones sobre el sistema.
- Incorporar el Sonar a un sistema de *autoparking*.

Apéndice A

Especificaciones del protocolo LIN Bus 2.2A

Concepto de operación en una red LIN

Una red LIN esta conformado con un maestro y esclvo, cada uno tiene que ejecutar una accion a la cual se le llaman tareas (TASK). Un nodo maestro contiene la tarea maestra así como una tarea esclava. Todos los demás nodos esclavos contienen solo una tarea esclava. Un nodo puede participar en más de un clúster. El término nodo se refiere a una única interfaz de bus de un nodo si el nodo tiene múltiples interfaces de bus.

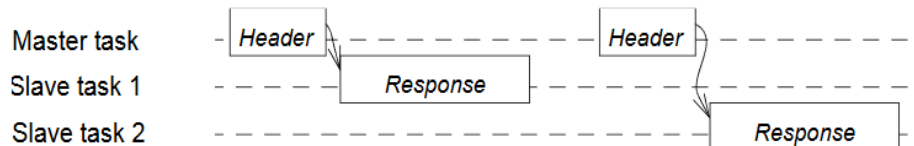


Distribución de tareas en la red LIN.

Tramas de la red LIN

Un frame consiste de un encabezado (header) que proviene de la tarea del maestro y una respuesta (response) el cual proviene de la tarea de un esclavo

El encabezado consiste en una campo de break Sync que es el de sincronia y por el ultimo el frame de indentificador, este e sel unico que se define en la trama del encabezado. La tarea de un esclavo proviene de la respuesta asociada con el frame de idetificador transmitido esto quiere decir que si un esclavo no tiene ese idetificador va ignorar el mensaje, la respuesta consiste en una campo de datos y un campo de checksum.



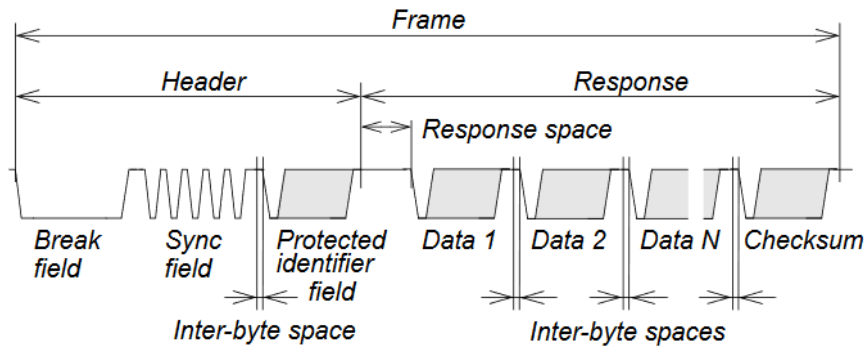
Tramas en la red LIN:

- Flexibilidad del sistema: los nodos se pueden agregar al clúster LIN sin requerir cambios de hardware o software en otros nodos esclavos.
- Enrutamiento de mensajes: el contenido de un mensaje está definido por el identificador de trama (similar a CAN).
- Multidifusión: cualquier número de nodos puede recibir y actuar simultáneamente sobre un solo cuadro.

Estructura del frame

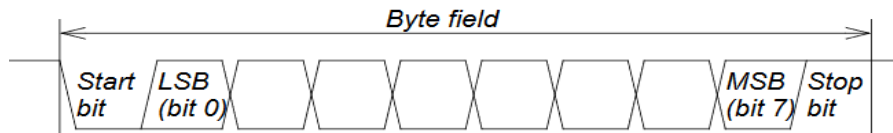
El frame está construido de una serie de campos, una break de campo seguido de cuatro a once campos de bytes, etiquetados como se ve en la figura. El tiempo que se tarda en enviar un frame es la suma del tiempo para enviar cada byte más el espacio de respuesta y los espacios entre bytes. El encabezado comienza en el campo del break y finaliza después del final del bit de parada del campo del identificador protegido (PID). La respuesta comienza al final del bit de parada del campo PID y termina en el bit de parada posterior del campo de suma de comprobación (checksum).

El espacio entre bytes es el tiempo entre el final del bit de parada del campo anterior y el bit de inicio del siguiente byte. El espacio de respuesta es el espacio entre bytes entre el campo PID y el primer campo de datos en los datos.



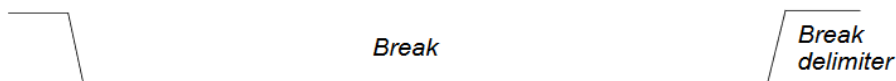
Estructura de una red LIN.

Cada campo de bytes, excepto el campo de break, se transmite como el campo de bytes mostrado en la siguiente Figura de 8 bits. El LSB de los datos se envía primero y el MSB último. El bit de inicio se codifica como un bit con valor cero (dominante) y el bit de parada se codifica como un bit con valor uno (recesivo)



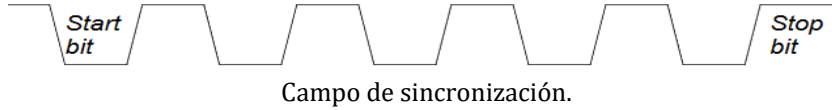
Campo de Byte en una red LIN.

El campo de break se utiliza para señalar el comienzo de un nuevo marco. La tarea maestra siempre genera un campo de interrupción (en el nodo maestro) y debe tener al menos 13 bits de tiempo nominal de valor dominante, seguido de un delimitador de break, como se muestra en la Figura siguiente. El delimitador de break tendrá una duración de al menos un bit nominal. Un nodo esclavo usará un umbral de detección de interrupción de 11 veces de bit de esclavo local dominante. No es necesario que un nodo esclavo verifique que el break tenga una duración de al menos un bit nominal.



Campo de Break.

El campo de sincronización SYNC es un byte con valor en hexadecimal de 0x55 como se muestra en la siguiente figura.



Indetificador de protección

Un campo de identificador protegido consta de dos subcampos; El identificador de marco y la paridad. Los bits 0 a 5 son el identificador de trama y los bits 6 y 7 son la paridad. Los seis bits están reservados para el identificador de trama; se pueden usar valores en el rango de 0 a 63. Los identificadores de campo se dividen en tres categorías:

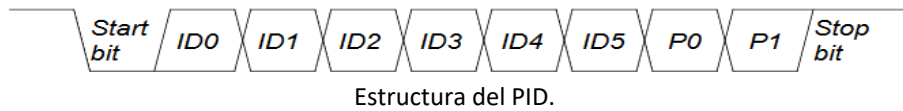
- Los valores de 0 a 59 (0x3B) se utilizan para marcos que transportan señales.
- 60 (0x3C) y 61 (0x3D) se utilizan para realizar diagnósticos y datos de configuración.
- 62 (0x3E) y 63 (0x3F) están reservados para futuras mejoras de protocolo.

Paridad La paridad se calcula en el marco de bits de identificación como se muestra en las ecuaciones

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4 .$$

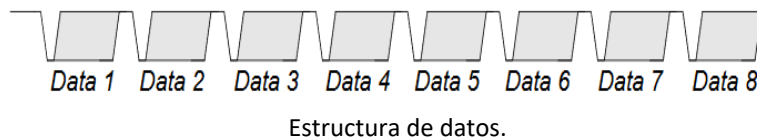
$$P1 = \neg (ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5) .$$

Mapeo El mapeo de los bits (ID0 a ID5 y P0 y P1) se muestra en la siguiente figura



Datos

Una trama transporta entre uno y ocho bytes de datos. El programador y todos los suscriptores acordarán el número de datos contenidos en una trama con un identificador de trama específico. Para las entidades de datos de más de un byte, la entidad LSB está contenida en el byte enviado primero y la entidad MSB en el byte enviado último (little-endian). Los campos de datos están etiquetados datos 1, datos 2, ... hasta el máximo de datos 8, consulte la siguiente figura.



Suma de verificación (checksum)

El último campo de un frame es la suma de comprobación. La suma de control contiene la suma de ocho bits invertida con la transferencia de todos los bytes de datos o todos los bytes de datos y el identificador protegido. El cálculo de la suma de comprobación solo sobre los bytes de datos se denomina suma de comprobación clásica y se usa para la trama de solicitud maestra, la trama de respuesta esclava y la

comunicación con esclavos LIN 1.x. La suma de ocho bits con acarreo es equivalente a sumar todos los valores y restar 255 cada vez la suma es mayor o igual a 256. El cálculo de suma de comprobación sobre los bytes de datos y el byte de identificador protegido se denomina suma de comprobación mejorada y se utiliza para la comunicación con esclavos LIN 2.x. La suma de comprobación se transmite en un campo de bytes.

El uso de la suma de control clásica o mejorada es administrado por el nodo maestro y se determina por identificador de trama; clásico en comunicación con nodos esclavos LIN 1.x y mejorado en comunicación con nodos esclavos LIN 2.x. Los identificadores de cuadros 60 (0x3C) a 61 (0x3D) siempre usarán la suma de comprobación clásica.

TABLA DE IDENTIFICADORES DE MARCO VÁLIDOS.

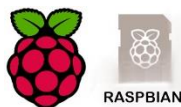
ID[0..5]		P0 = ID0⊕ID1⊕ID2⊕ID4	P1 = — ID1⊕ID3⊕ID4⊕ID5	PID-Field								PID-Field	
Dec	Hex			P1	P0	S	4	3	2	1	0	Dec	Hex
0	0x00	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	128	0x80
1	0x01	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	193	0xC1
2	0x02	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	66	0x42
3	0x03	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0x03
4	0x04	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	196	0xC4
5	0x05	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	133	0x85
6	0x06	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	6	0x06
7	0x07	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	71	0x47
8	0x08	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0x08
9	0x09	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	73	0x49
10	0x0A	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	202	0xCA
11	0x0B	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	139	0x8B
12	0x0C	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	76	0x4C
13	0x0D	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	13	0x0D
14	0x0E	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	142	0x8E
15	0x0F	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	207	0xCF
16	0x10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	80	0x50
17	0x11	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	17	0x11
18	0x12	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	146	0x92
19	0x13	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	211	0xD3
20	0x14	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	20	0x14
21	0x15	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	85	0x55
22	0x16	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	214	0xD6
23	0x17	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	151	0x97
24	0x18	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	216	0xD8
25	0x19	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	153	0x99
26	0x1A	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	26	0x1A
27	0x1B	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	91	0x5B

28	0x1C	0	1	1 0 0 1 1 1 0 0	156	0x9C
29	0x1D	1	1	1 1 0 1 1 1 0 1	221	0xDD
30	0x1E	1	0	0 1 0 1 1 1 1 0	94	0x5E
31	0x1F	0	0	0 0 0 1 1 1 1 1	31	0x1F
32	0x20	0	0	0 0 1 0 0 0 0 0	32	0x20
33	0x21	1	0	0 1 1 0 0 0 0 1	97	0x61
34	0x22	1	1	1 1 1 0 0 0 1 0	226	0xE2
35	0x23	0	1	1 0 1 0 0 0 1 1	163	0xA3
36	0x24	1	0	0 1 1 0 0 1 0 0	100	0x64
37	0x25	0	0	0 0 1 0 0 1 0 1	37	0x25

38	0x26	0	1	1 0 1 0 0 1 1 0	166	0xA6
39	0x27	1	1	1 1 1 0 0 1 1 1	231	0xE7
40	0x28	0	1	1 0 1 0 1 0 0 0	168	0xA8
41	0x29	1	1	1 1 1 0 1 0 0 1	233	0xE9
42	0x2A	1	0	0 1 1 0 1 0 1 0	106	0x6A
43	0x2B	0	0	0 0 1 0 1 0 1 1	43	0x2B
44	0x2C	1	1	1 1 1 0 1 1 0 0	236	0xEC
45	0x2D	0	1	1 0 1 0 1 1 0 1	173	0xAD
46	0x2E	0	0	0 0 1 0 1 1 1 0	46	0x2E
47	0x2F	1	0	0 1 1 0 1 1 1 1	111	0x6F
48	0x30	1	1	1 1 1 1 0 0 0 0	240	0xF0
49	0x31	0	1	1 0 1 1 0 0 0 1	177	0xB1
50	0x32	0	0	0 0 1 1 0 0 1 0	50	0x32
51	0x33	1	0	0 1 1 1 0 0 1 1	115	0x73
52	0x34	0	1	1 0 1 1 0 1 0 0	180	0xB4
53	0x35	1	1	1 1 1 1 0 1 0 1	245	0xF5
54	0x36	1	0	0 1 1 1 0 1 1 0	118	0x76
55	0x37	0	0	0 0 1 1 0 1 1 1	55	0x37
56	0x38	1	0	0 1 1 1 1 0 0 0	120	0x78
57	0x39	0	0	0 0 1 1 1 0 0 1	57	0x39
58	0x3A	0	1	1 0 1 1 1 0 1 0	186	0xBA
59	0x3B	1	1	1 1 1 1 1 0 1 1	251	0xFB
60 ^a	0x3C	0	0	0 0 1 1 1 1 0 0	60	0x3C
61 ^b	0x3D	1	0	0 1 1 1 1 1 0 1	125	0x7D
62 ^c	0x3E	1	1	1 1 1 1 1 1 1 0	254	0xFE
63 ^d	0x3F	0	1	1 0 1 1 1 1 1 1	191	0xBF

Apéndice B

Instalación de sistema operativo y herramientas en la Raspberry Pi Modelo B



Lo primero que tenemos que hacer es instalar un sistema operativo entre los varios disponibles, en la tarjeta SD o microSD (según modelo) que usamos como memoria.

Afortunadamente, el proceso de instalación se ha simplificado desde el lanzamiento de la Raspberry Pi original gracias a la aparición de Noobs. En la actualidad es un proceso sencillo y rápido, apto para todos los públicos.

Raspbian STRETCH es una distribución del sistema operativo GNU/Linux y por lo tanto libre basado en Debian Stretch (Debian 9.4) para la placa computadora (SBC) Raspberry Pi, orientado a la enseñanza de informática actualmente es la última versión actualizada.

The image is a screenshot of the Raspbian website's download page. It features three main sections, each with a Raspberry Pi logo icon and a list of details. The top-left section is for "Raspbian Stretch with desktop and recommended software", the top-right section is for "Raspbian Stretch with desktop" (highlighted with a red border), and the bottom section is for "Raspbian Stretch Lite". Each section includes the version (November 2018), release date (2018-11-13), kernel version (4.14), and release notes (Link). Below each section are buttons for "Download Torrent" and "Download ZIP". A SHA-256 hash is provided for each image. The top-right section is highlighted with a red border.

Se descarga la imagen oficial para utilizar Raspbian Stretch. Este método es efectivo, pero también es cierto que es más lento y más tedioso que el segundo método. El segundo método consiste en utilizarlas herramientas de actualización de Raspbian. Este método es más rápido y no necesitaremos hacer copias de seguridad ni tampoco pasar archivos de un lado a otro.

Para pasar a Raspbian Stretch hemos de abrir la terminal y escribir lo siguiente:

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get -y dist-upgrade
```

Una vez que haya terminado la actualización, hemos de seguir actualizando para que se apliquen las soluciones que recientemente se han liberado sobre bugs que han aparecido. Para ello, desde la misma terminal, hemos de escribir lo siguiente:

```
sudo apt-get update
```

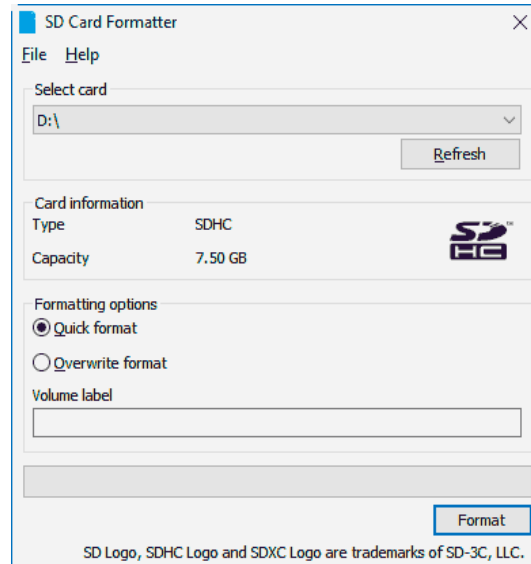
```
sudo apt-get upgrade
```

Esto instalará las últimas actualizaciones liberadas para el sistema operativo. Debian Stretch estará presente desde ahora en Raspbian y tendremos entre otras cosas, cambios como un software actualizado o versiones nuevas de applets y librerías que usará nuestro escritorio.

Si es la primera vez que se instala en una placa Raspberry se tiene que bajar la imagen e instalar la ISO en un microSD, para esto se requerirán algunas herramientas para formatear la tarjeta SD

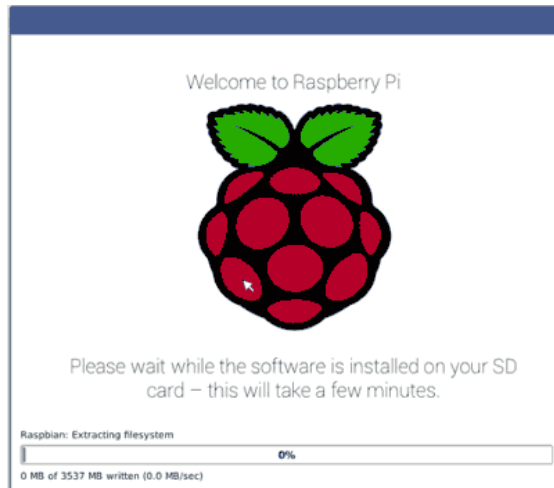
Existen varias herramientas específicas para formatear tarjetas SD/micro SD. Una buena opción es emplear SD Card Formatter de la propia asociación SD (SDA), que está disponible en este enlace https://www.sdcard.org/downloads/formatter_4/

Se descarga la aplicación, elegimos la unidad correspondiente a la tarjeta SD/micro SD, y la formateamos.



Programa para formatear la micro SD.

Se enciende la placa raspberry y se conecta a una lcd o pantalla, esperamos pacientemente mientras Noobs instala el sistema operativo seleccionado en la tarjeta de memoria.



Instalación raspbian.

Raspberry Pi se reinicia y ejecutará el sistema operativo instalado y ¡ya podemos empezar a jugar con nuestra Raspberry Pi.



Entorno de raspbian stretch.

Programas extras para la Raspberry

PuTTY es un cliente de red que soporta los protocolos SSH, Telnet y Rlogin y sirve principalmente para iniciar una sesión remota con otra máquina o servidor. Es de licencia libre

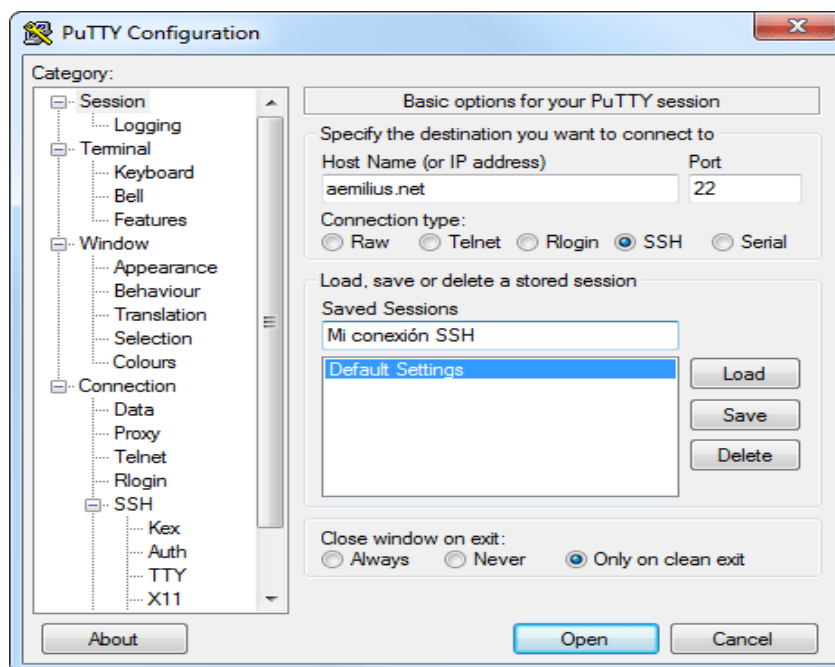
Este impresionante cliente Telnet y SSH le permitirá conectarse a cualquier máquina remota para utilizarla a través de su terminal de forma sencilla desde windows.

Configurar un acceso y conectar a un servidor SSH con PuTTY

Para ejecutar PuTTY no es necesario instalarlo, descárgalo y ejecútalo directamente. También puedes crear un acceso directo a tu escritorio para futuras conexiones.

1. Ejecuta PuTTY
2. En el menú de configuración selecciona la categoría `Session`

3. Introduzca el nombre de su dominio o IP en el campo `Host Name` y seleccione el protocolo SSH
4. Introduzca un nombre para esta conexión en el campo `Saved Sessions`
5. Vuelva al menú de configuración y seleccione la categoría SSH
6. Asegúrese de que está marcada la opción 2 en `Preferred SSH protocol version`
7. Seleccione nuevamente la categoría `Session`
8. Para guardar la configuración pulse `Save` y `Open` para conectar



Configuración PuTTY.

Iniciar una sesión SSH usando su nombre de usuario y contraseña

Al iniciar la conexión, se abrirá la ventana del terminal. Introduzca su nombre de usuario y pulse Intro, después, introduzca su contraseña y pulse Intro. Si el nombre de usuario y password son correctos podrá iniciar la sesión SSH.

```
login as: usuario
usuario@aemilius.net's password:
Last login: Tue Feb 22 21:06:55 2005 from 84-1121-XX-XXX
bash$ █
```

VNC (Virtual Network Computing)

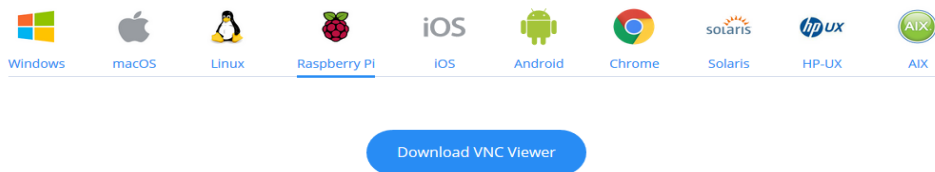
VNC es un sistema gráfico de uso compartido de escritorio que le permite controlar de forma remota la interfaz de escritorio de una computadora (ejecutando VNC Server) desde otra computadora o dispositivo móvil (ejecutando VNC Viewer). VNC Viewer transmite el teclado y el mouse o los eventos táctiles al servidor VNC, y recibe actualizaciones en la pantalla a cambio.

Verá el escritorio de la Raspberry Pi dentro de una ventana en su computadora o dispositivo móvil. Podrás controlarlo como si estuvieras trabajando en la Raspberry Pi.



VNC Connect de RealVNC se incluye con Raspbian. Consiste en el Servidor VNC, que le permite controlar su Raspberry Pi de forma remota, y el Visor VNC, que le permite controlar las computadoras de escritorio de forma remota desde su Raspberry Pi si así lo desea.

También se puede bajar directo de la página oficial <https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/> se selecciona para que sistema se va usar ya que tiene múltiple sistemas.



Debe habilitar el servidor VNC antes de poder usarlo: las instrucciones para esto se encuentran a continuación. De forma predeterminada, el servidor VNC le brinda acceso remoto al escritorio gráfico que se ejecuta en su Raspberry Pi, como si estuviera sentado frente a él.
Habilitando el servidor VNC

En la Raspberry Pi, ejecuta los siguientes comandos para asegurarte de tener la última versión de VNC Connect

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get install realvnc-vnc-server realvnc-vnc-viewer
```

Habilitando el servidor VNC gráficamente En la Raspberry Pi, inicia en el escritorio gráfico.

Seleccione Menú> Preferencias> Configuración de Raspberry Pi> Interfaces.
Asegúrese de que VNC esté habilitado. Conectando a tu Raspberry Pi con VNC Viewer

Hay dos formas de conectarse a tu Raspberry Pi. Puede usar una conexión directa o remota se mostrará solo el paso para una comunicación directa.

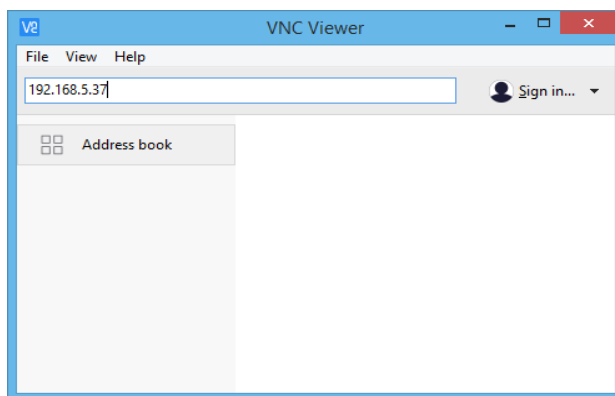
Estableciendo una conexión directa

Las conexiones directas son rápidas y simples siempre que esté unido a la misma red local privada que su Raspberry Pi. Por ejemplo, esto podría ser una red cableada o inalámbrica en el hogar, en la escuela o en la oficina).

En su Raspberry Pi (usando una ventana de terminal o vía SSH) use estas instrucciones o ejecute ifconfig para descubrir su dirección IP privada.

En el dispositivo que usará para tomar el control, descarga VNC Viewer. Para obtener los mejores resultados, use la aplicación compatible de RealVNC.

Ingrese la dirección IP privada de su Raspberry Pi en VNC Viewer:

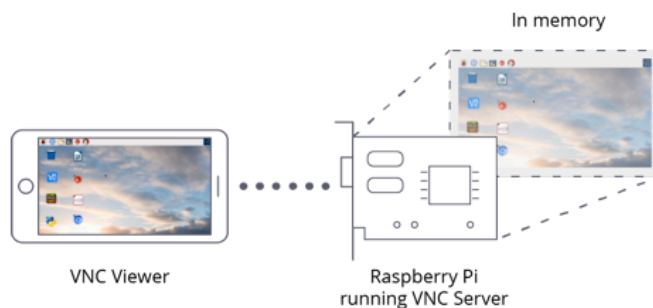


Programa VNC Viewer.

Creando un escritorio virtual

Si su Raspberry Pi no tiene cabezas (es decir, no está conectada a un monitor) o está controlando un robot, es poco probable que esté ejecutando un escritorio gráfico.

VNC Server puede crear un escritorio virtual para usted, brindándole acceso remoto gráfico a pedido. Este escritorio virtual solo existe en la memoria de tu Raspberry Pi:



Para crear y conectarse a un escritorio virtual:

En la Raspberry Pi (usando Terminal o vía SSH), ejecuta vncserver. Tome nota de la dirección IP / número de pantalla que el servidor VNC imprimirá en su terminal (por ejemplo, 192.167.5.149:1).

En el dispositivo que usará para tomar el control, ingrese esta información en VNC Viewer.

Para destruir un escritorio virtual, ejecute el siguiente comando:

```
vncserver -kill: <display-number>
```

Esto también detendrá cualquier conexión existente a este escritorio virtual.

Qt para sistemas empotrados

Qt es una biblioteca multiplataforma ampliamente usada para desarrollar aplicaciones con una interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en Inglés) así como también para el desarrollo de programas sin interfaz gráfica como herramientas para la línea de comandos y consolas para servidores.

Qt es una plataforma de desarrollo para marcos de la interfaz de usuario. Incluye una biblioteca, herramientas de desarrollo integradas y un entorno de desarrollo integrado (IDE por sus siglas en inglés: Integrated Development Environment).

Qt Quick permite a los desarrolladores y diseñadores trabajar juntos para crear de forma fácil interfaces de usuario y aplicaciones táctiles y animadas. Para ello cuenta con *QML* (un lenguaje de programación similar a JavaScript), así como *Qt Creator* (una herramienta intuitiva en el entorno de Qt) y *Qt Declarative* (un poderoso módulo de C++).

Qt es utilizada principalmente en Autodesk Maya, Google Earth, KDE, Adobe Photoshop Álbum, Volvo, Walt Disney Animation Studios, Skype, VLC media player, Samsung, Philips, Panasonic, VirtualBox entre otros más.

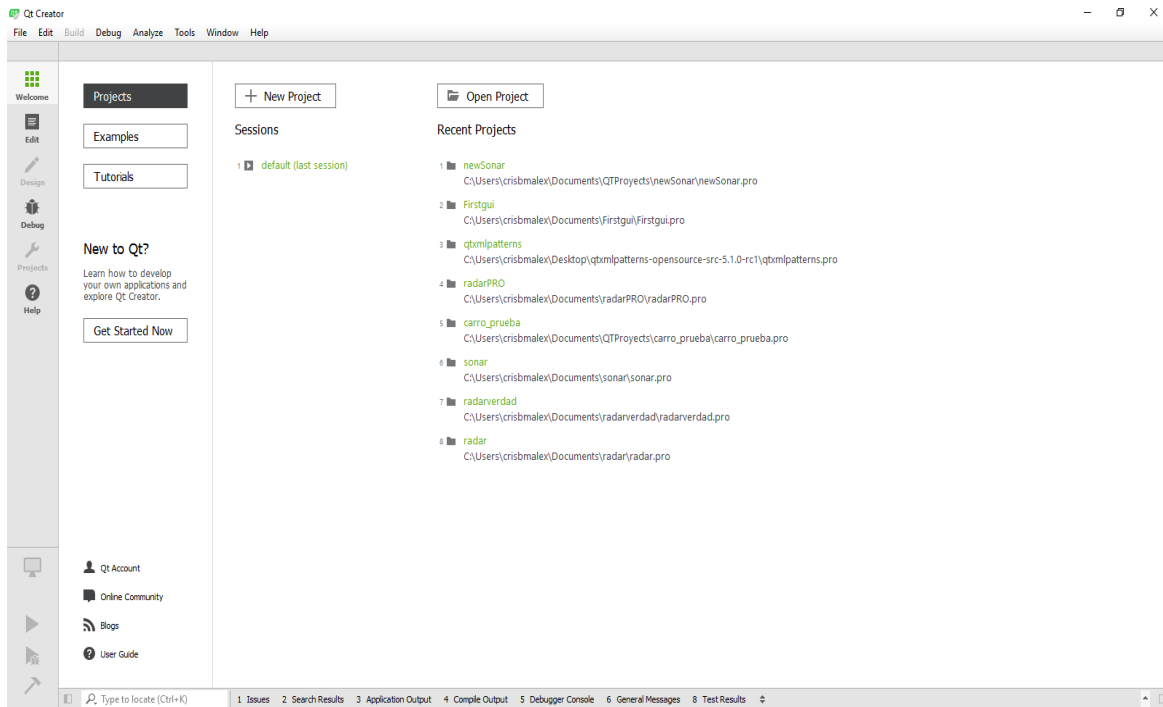
Hay tres ediciones de Qt disponibles, llamadas:

- **GUI Framework** – edición con nivel reducido de GUI, orientado a redes y bases de datos.
- **Full Framework** – edición completa comercial
- **Open Source** – edición completa Open Source

Qt: Instalándolo en la RPi:

- Qt 5.x instalado en la máquina virtual
- Qt 5.x en la RPi <- usaremos este. Instalación:
- \$ sudo apt-get install build-essential
- \$ sudo apt-get install qt5-default
- \$ sudo apt-get install qtcreator
- Abrir "qtcreator"
- Tools → Options → Build & Run

- Tab “Compiler” añadir en Manual, C++ →
- Tab “Debuggers” añadir en Manual a GDB (/usr/bin/gdb) seguir añadir el gcc al perfil “Desktop”
- Tab “Kits”, seleccionar “gcc” en “Compiler C++”, seleccionar “gdb” en Debugger



Compilación cruzada bajo Windows para Raspberry pi 3



1- Útiles necesarios:

PUTTY: programa para comunicar por SSH con RPY

Toolchain para Raspberry Pi3.

Qt Creator para Windows;

Qt Librerías 5.8.0 para Windows:

Qmake compilación cruzada

GDB compatible QT5

Raspbian Jessie, imagen SD para RPY;

WinflashTool, herramienta para crear SD arranque

Subdirectorio qt5 para compilación cruzada

2- Instalación programas PC

Instalar **PUTTY**, **Qt Creator** y **Librerías Qt5**, por ese orden, con todos los valores por omisión. La RPY debe de estar conectada al PC por Ethernet con un cable RJ45 y con acceso a internet. Debemos de tener la RPY con una versión actualizada de **Raspbian STRETCH**.

3- Instalación de qmake y GDB.

El GDB que trae el toolchain, no vale para QT Creator, ya que no soporta scripts Python, y el qmake no está incluido en el toolchain, así que hay que instalarlos a mano. En el apartado 1 de útiles necesarios he puesto los enlaces para su descarga. Descomprimos los ficheros e instalamos de la siguiente manera:

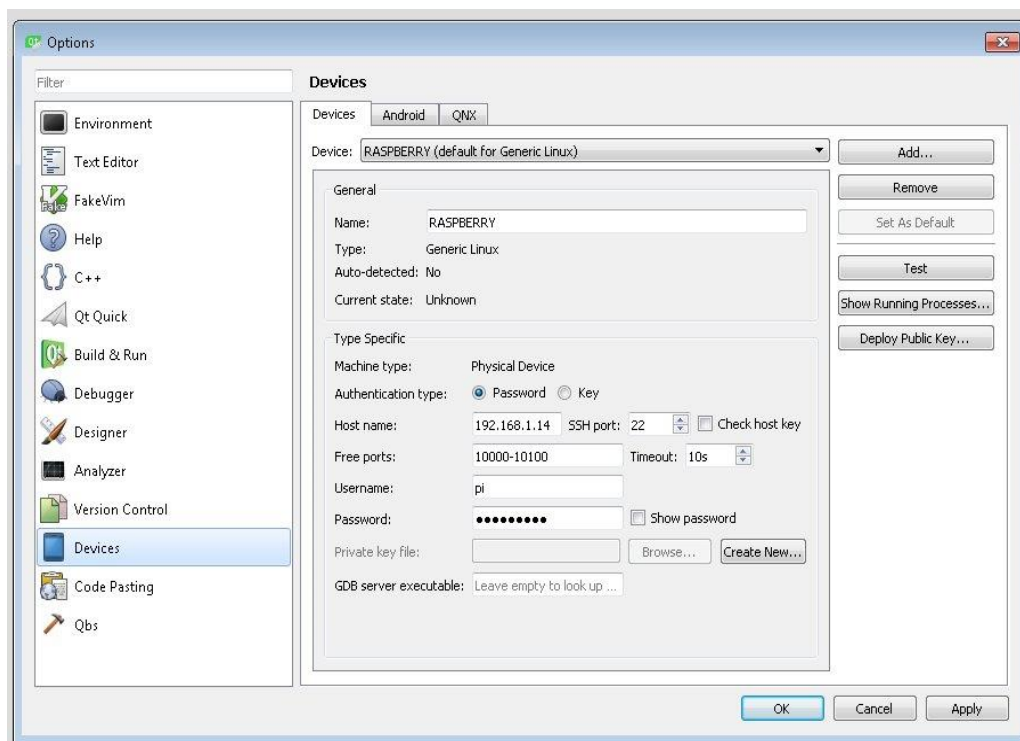
1.- Instalación de qmake. Copiar **qmake.exe** al directorio **C:\SysGCC\Raspberry\arm-linux-gnueabi\sysroot\usr\local\qt5\bin**

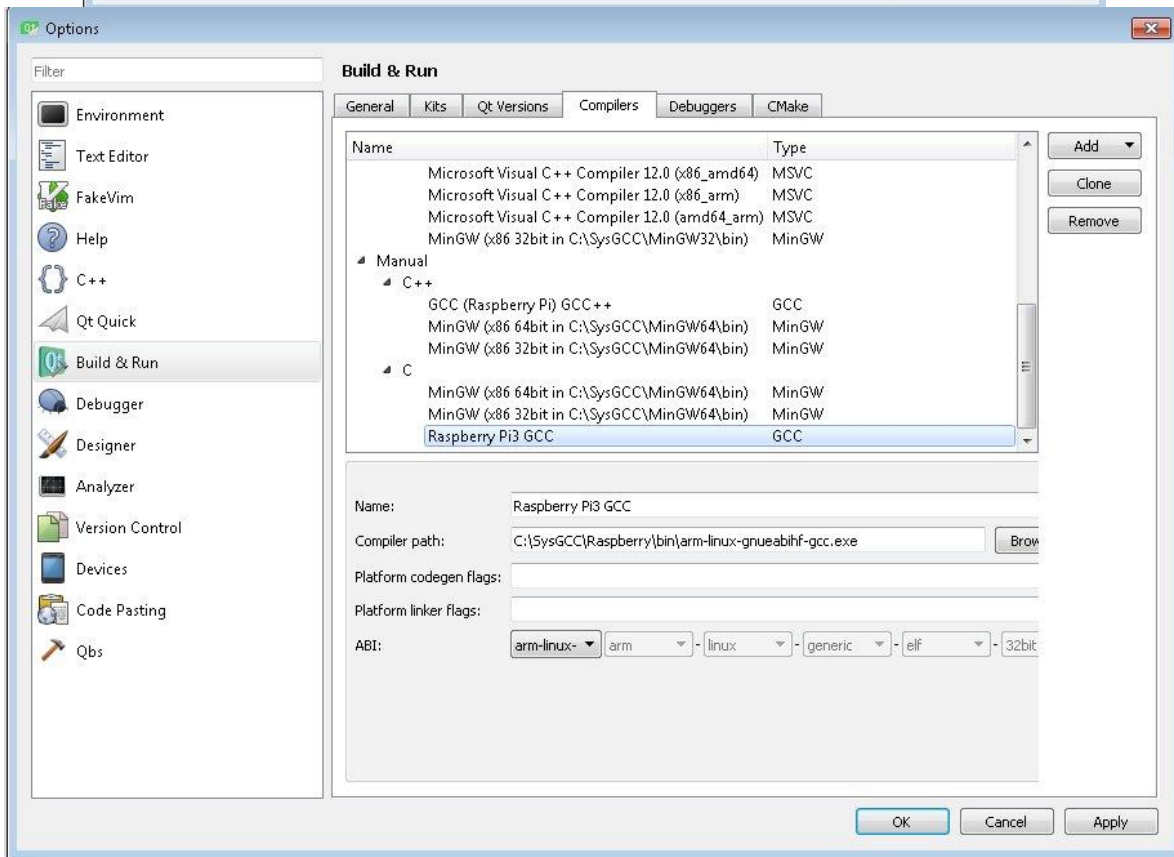
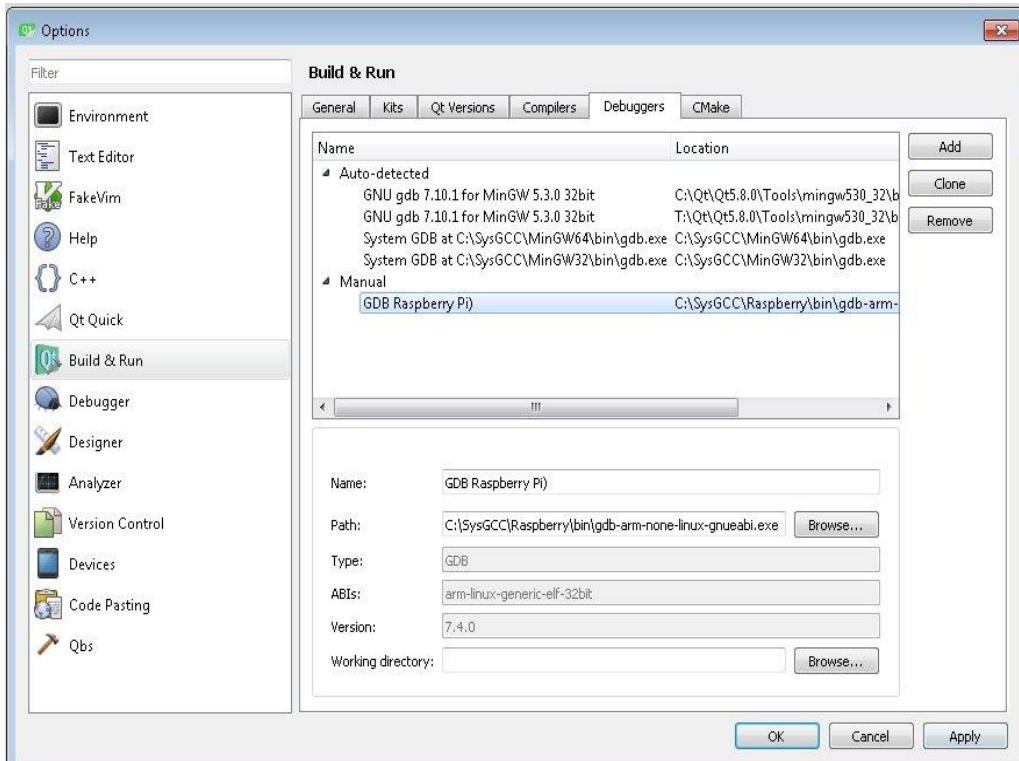
2.- Instalación GDB. Copiar **gdb-arm-none-linux-gnueabi.exe** al directorio **C:\SysGCC\Raspberry\bin**

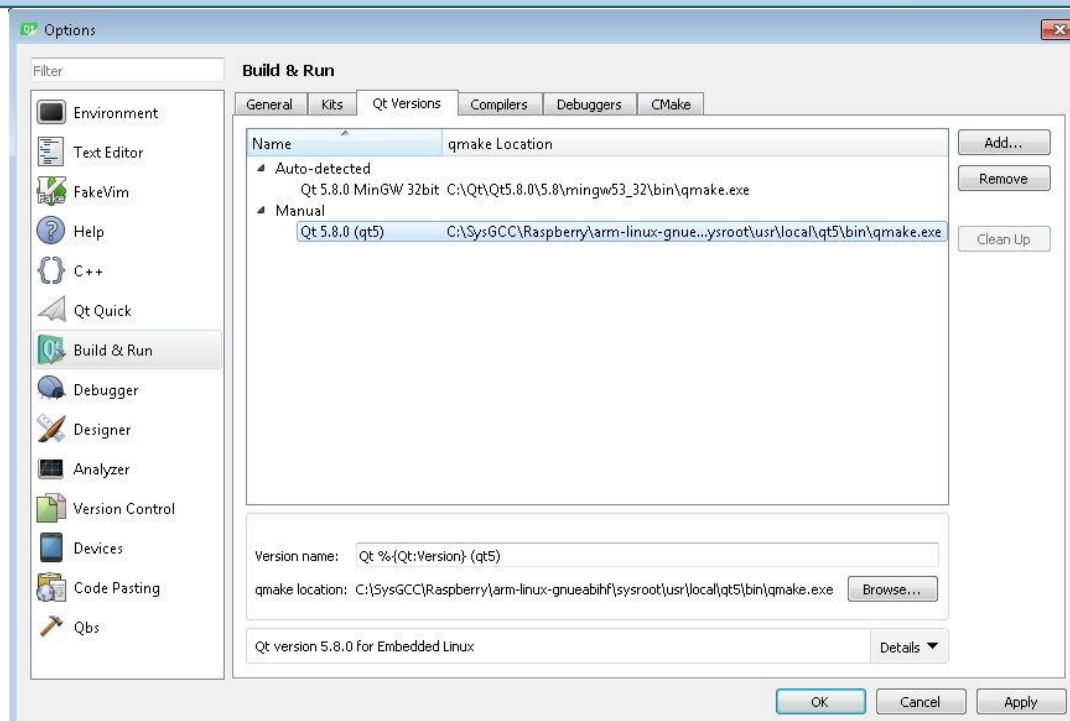
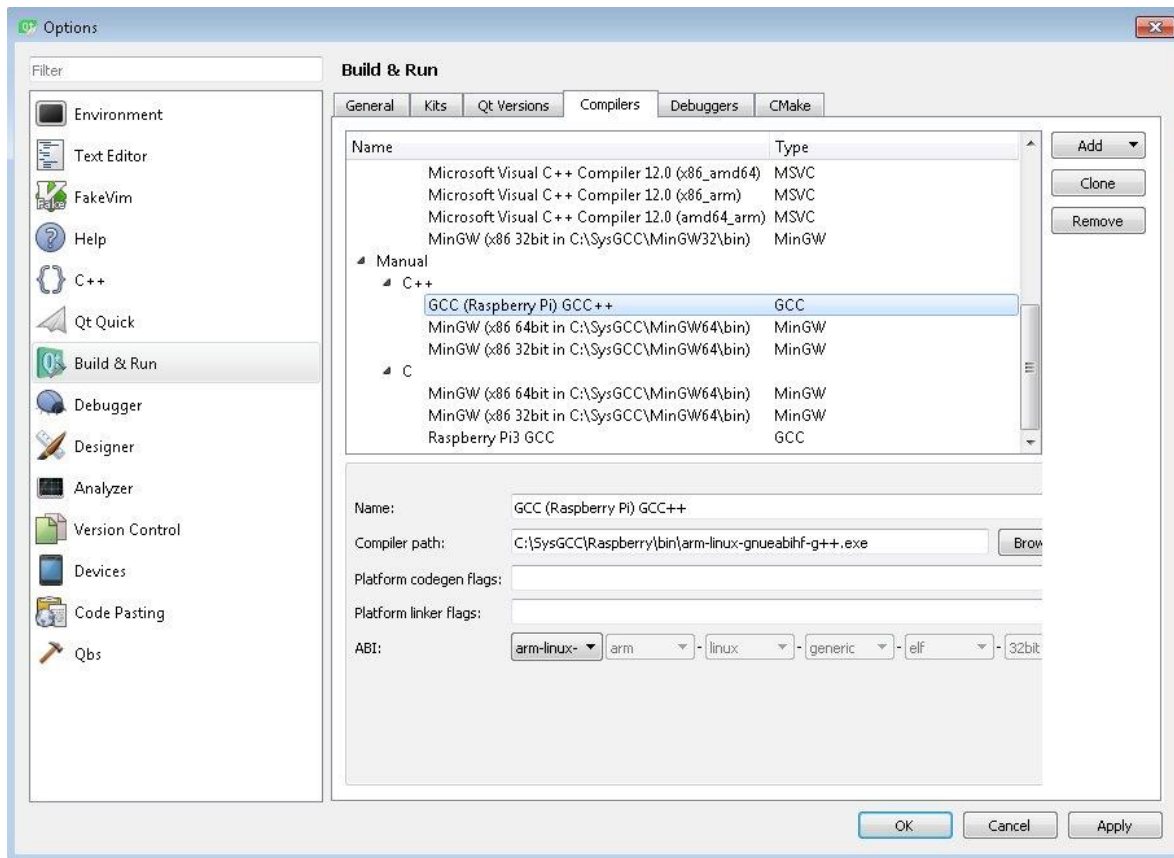
(*) El subdirectorio qt5\bin no existe, crearlo a mano colgando de C:\SysGCC\Raspberry\arm-linux-gnueabi\sysroot\usr\local

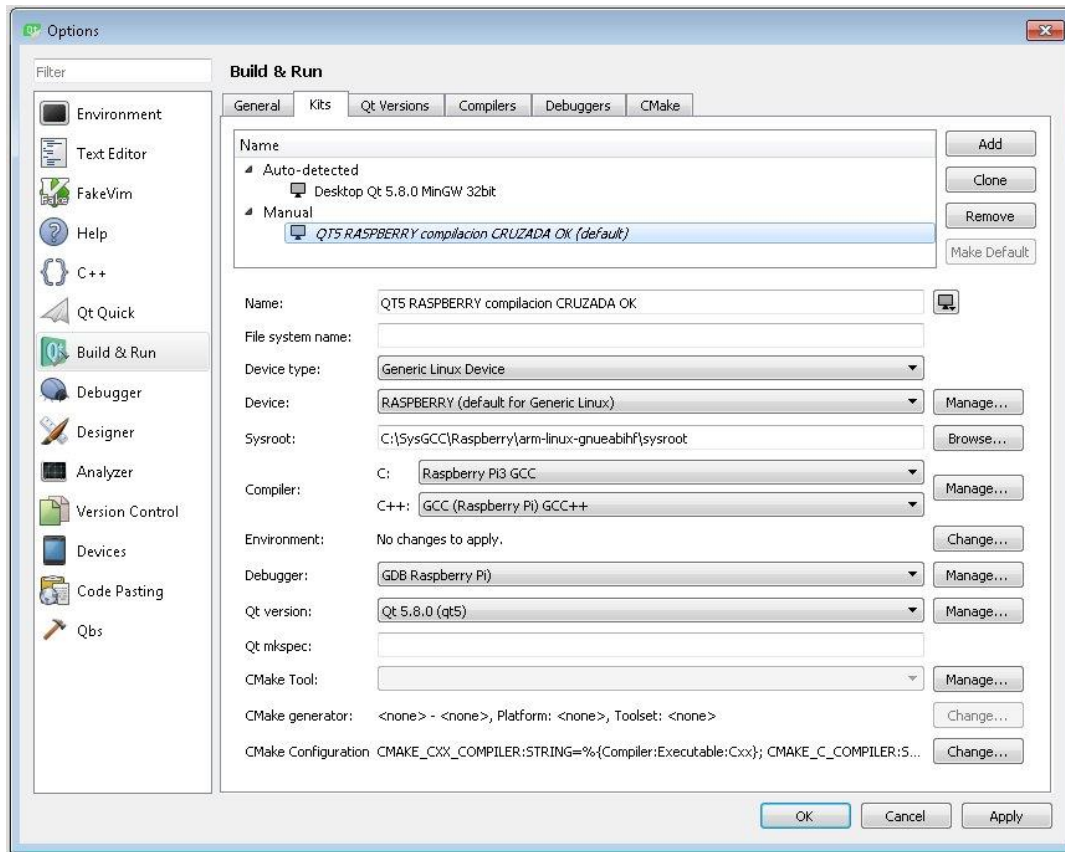
4- Configuración QT-Creator.

Arrancamos QT-Creator en el PC, y seleccionamos Tools > Options. Configuramos todo según las siguientes pantallas, poner la IP de nuestro Raspberry (conviene configurar la IP fija en la RPY para que se mantenga siempre la misma cuando entremos con Smartty o el Escritorio Remot, ya comentaré como se hace).









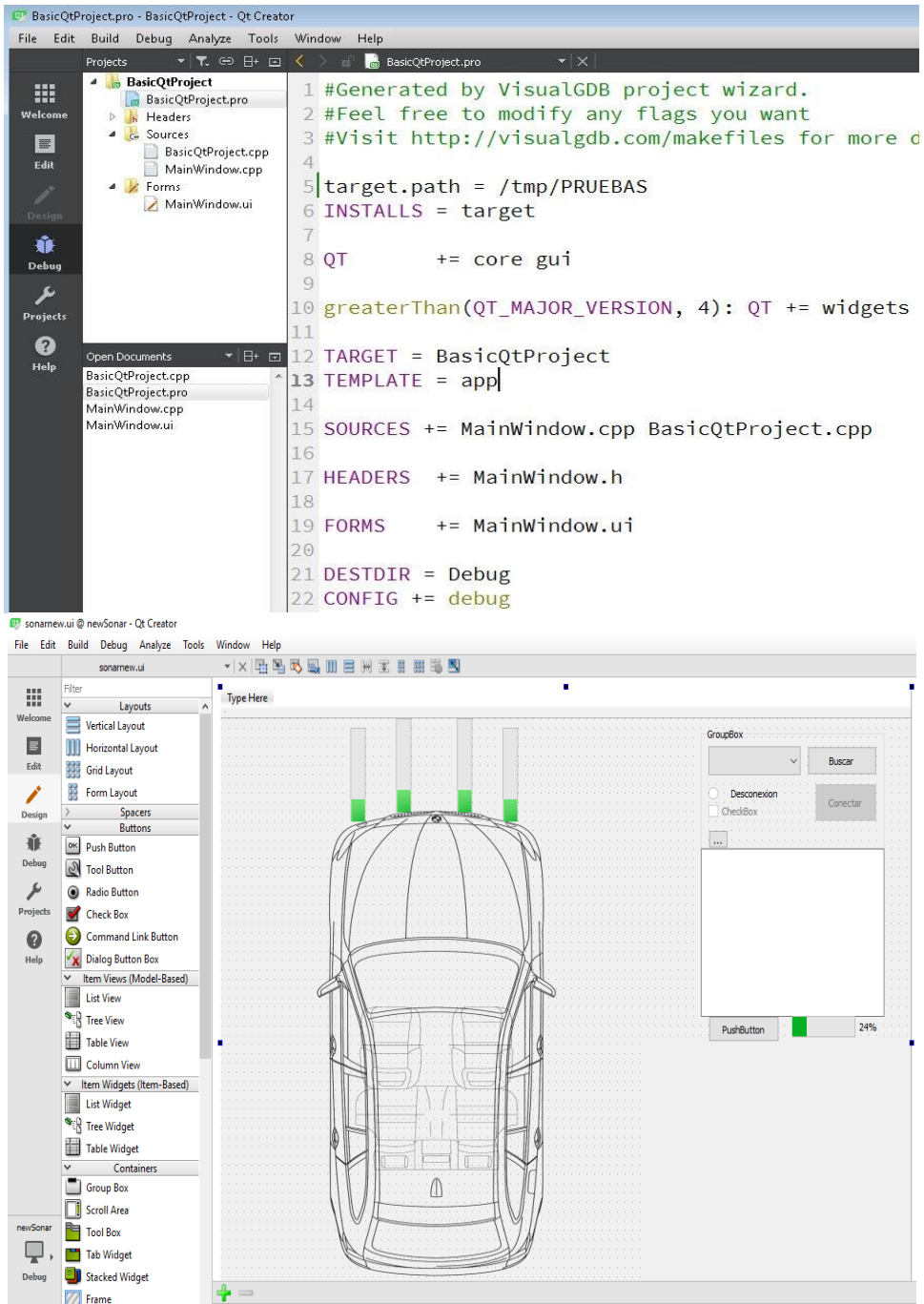
* Es posible que, en la configuración del Kit, tengamos que añadir el campo **Qt mkspec**, con la vía de acceso `C:\SysGCC\raspberry\arm-linux-gnueabi\sysroot\usr\lib\arm-linux-gnueabi\qt5\mkspecs\arm-linux-gnueabi`.

5- Creación de Proyectos

Recomendable configurar siempre el proyecto, para subida automática desde el PC al RPY, por Ethernet, tras compilar. Para eso solo hay que añadir estas dos líneas en la fuente de proyecto (fichero .pro). En **target.path** pondremos el directorio en el Raspberry, al que QT Creator debe de subir el ejecutable. Crear previamente el directorio en la RPY con permisos para el usuario pi (hacer un **chown pi <nuestro_directorio>**)

target.path = /tmp/PRUEBAS

INSTALLS = target



Deshabilitar el servicio de Bluetooth integrado en Raspberry Pi

En el Raspberry Model B, los pines GPIO 14/15 están mapeados a la UART0, pero en el Pi3 estos pines están mapeados a la UART1 porque la UART0 es ahora usada para el Bluetooth, el problema es que la UART1 es por software y el baudrate depende de la velocidad del reloj que puede variar en dependencia de la carga del CPU ó sea no es lo suficientemente estable. Una solución es desactivar el módulo bluetooth y volver a mapear los pines 14/15 para la UART0.

Para deshabilitar el servicio, hemos de editar el archivo `/boot/config.txt`

```
sudo nano /boot/config.txt
```

y al final del archivo añadimos:

```
dtoverlay=pi3-disable-bt
```

De esta forma el **módulo integrado de Bluetooth y los servicios relacionados no se iniciarán.**

```
GNU nano 2.7.4 File: /boot/config.txt

#uncomment to overclock the arm. 700 MHz is the default.
#arm_freq=800

# Uncomment some or all of these to enable the optional hardware interfa
#dtparam=i2c_arm=on
#dtparam=i2s=on
#dtparam=spi=on

# Uncomment this to enable the lirc-rpi module
#dtoverlay=lirc-rpi

# Additional overlays and parameters are documented /boot/overlays/README

# Enable audio (loads snd_bcm2835)
dtparam=audio=on
#arm_freq=1200

# Disable Bluetooth
dtoverlay=pi3-disable-bt
```

Y para deshabilitar los servicios relacionados:

- 1 `sudo systemctl disable hciuart.service`
- 2 `sudo systemctl disable bluealsa.service`
- 3 `sudo systemctl disable bluetooth.service`

```
root@alarma:/home/pi# sudo systemctl disable hciuart.service
Removed /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/hciuart.service.
root@alarma:/home/pi# sudo systemctl disable bluealsa.service
root@alarma:/home/pi# sudo systemctl disable bluetooth.service
Synchronizing state of bluetooth.service with SysV service script with /lib/syst
emd/systemd-sysv-install.
Executing: /lib/systemd/systemd-sysv-install disable bluetooth
Removed /etc/systemd/system/dbus-org.bluez.service.
```

Reiniciar, después de esto los pines 14/15 estarán mapeados a la UART0 (ttyAMA0)

Desactivar Bluetooth completamente en Raspberry Pi

Tengamos en cuenta que este método es para desactivar el Bluetooth completamente, y ya no estará disponible en nuestra Raspberry aunque pinchemos un adaptador Bluetooth (a menos que volvamos a instalar los servicios claro).

Así que desinstalamos BlueZ (la pila oficial de Bluetooth para Linux) y los servicios relacionados:

- 1 `sudo apt-get purge bluez -y`

```

root@raspberrypi:~# sudo apt-get purge bluez -y
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following package was automatically installed and is no longer required:
  bluez-firmware
Use 'sudo apt autoremove' to remove it.
The following packages will be REMOVED:
  bluez* pi-bluetooth*
0 upgraded, 0 newly installed, 2 to remove and 0 not upgraded.
After this operation, 3,467 kB disk space will be freed.
(Reading database ... 38958 files and directories currently installed.)
Removing pi-bluetooth (0.1.7) ...
Removing bluez (5.43-2+rpt2+deb9u2) ...
Processing triggers for man-db (2.7.6.1-2) ...
Processing triggers for dbus (1.10.24-0+deb9u1) ...
(Reading database ... 38902 files and directories currently installed.)
Purging configuration files for pi-bluetooth (0.1.7) ...
Purging configuration files for bluez (5.43-2+rpt2+deb9u2) ...
Processing triggers for systemd (232-25+deb9u1) ...
Processing triggers for dbus (1.10.24-0+deb9u1) ...

```

Y para desinstalar los paquetes dependientes que ya no son necesarios:

1 sudo apt-get autoremove -y

```

root@raspberrypi:~# sudo apt-get autoremove -y
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following packages will be REMOVED:
  bluez-firmware
0 upgraded, 0 newly installed, 1 to remove and 0 not upgraded.
After this operation, 182 kB disk space will be freed.
(Reading database ... 38894 files and directories currently installed.)
Removing bluez-firmware (1.2-3+rpt2) ...

```

Al haber **desinstalado la pila Bluetooth de la Raspberry Pi**, los servicios relacionados también se habrán desinstalado, y nuestra Raspberry notará una ligera mejoría en el rendimiento, que podremos utilizar para otros procesos.

Apéndice C

Tranceptor TJA1020

El Transceptor.

El bus LIN opera con niveles entre 9V y 18V. Típicamente, los valores proporcionados por las terminales del microcontrolador son ajustados por un transceptor. Esto permite que el microcontrolador opere con niveles de 3V o 5V, mientras que el bus opera a niveles superiores [5].

Para esta red el transceptor TJA1020 de la marca NXP fue seleccionado. El TJA1020 es un transceptor de bajo consumo para uso automotriz e industrial, que soporta la señalización descrita en la especificación LIN para buses de Clase- A (Baja tasa de transferencia de datos) [43].

Las principales características del transceptor TJA1020 se enlistan a continuación:

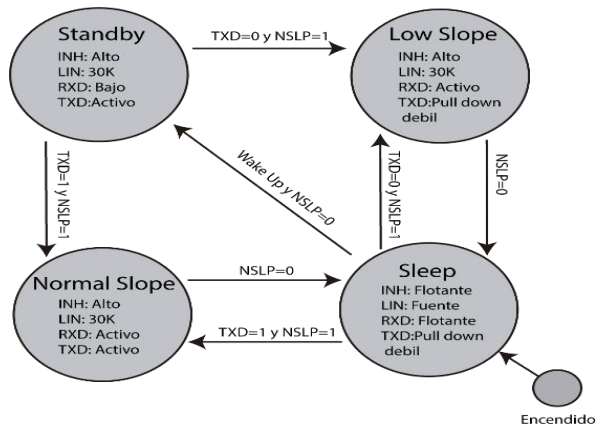
- Baudrate hasta 20 K.
- Bajo consumo de corriente en el modo Sleep
- Resistor integrado para aplicaciones de esclavo
- *Wake up* local y remoto
- Protección térmica

El TJA1020 provee cuatro modos de operación: Norma Slope, Low Slope, Standby y Sleep. Estos modos de operación se describen en la siguiente tabla.

Modo	NSLP	TXD	RXD	INH	R
Sleep	0	Pull down debil	Flotante	Flotante	Fuente
Standby	0	Pull down débil si <i>Wake up</i> es remoto; Pull down fuerte si <i>Wake up</i> es local	Bajo	Alto	30 K
Low Slope	1	Pull down debil	Activo	Alto	30 K
Normal Slope	1	Pull down debil	Activo	Alto	30K

Tabla de comandos.

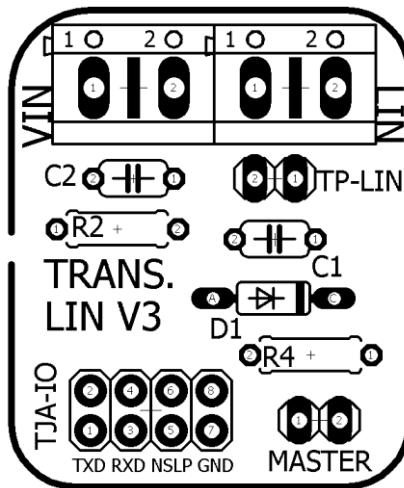
Lo anterior se describe con más detalle en el siguiente diagrama de estados que ilustra cada uno de los modos de operación.



Maquinas de estado.

Para el desarrollo de la red fueron considerados los estados de operación del transceptor y la terminal de control NSLP contemplada para el control del transceptor [43].

Para el uso del transceptor TJA1020 se realizó el diseño de una tarjeta de circuito impreso que facilita la mayoría de las conexiones ilustradas. Resultando en el siguiente diseño.



Transceptor.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, a continuación, se mostrarán las máquinas de estados propuestos para la construcción de la red LIN siguiendo el diagrama como se mostró en la figura

Conexiones.

Como muestra la Figura 78, el control principal será realizado por el microcontrolador a través de una SCI *Serial Comunicación Interface*, que es interconectada al transceptor. La figura 89 muestra el diagrama de conexión de un nodo LIN ya sea maestro o esclavo.

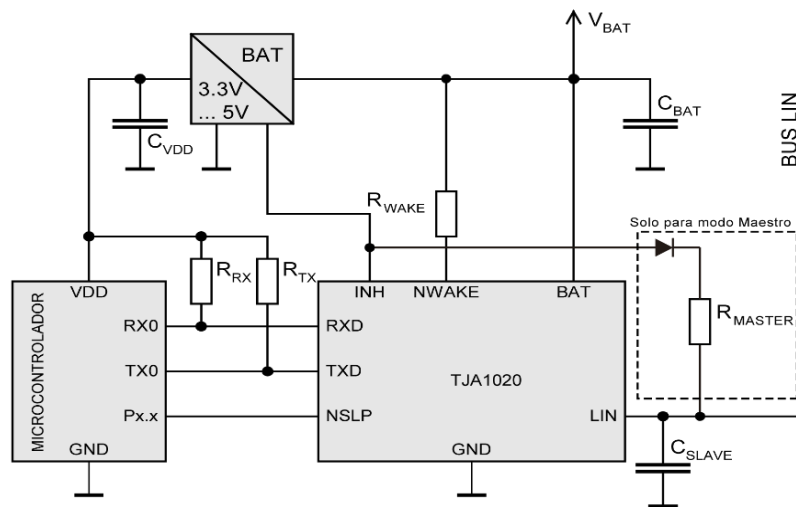
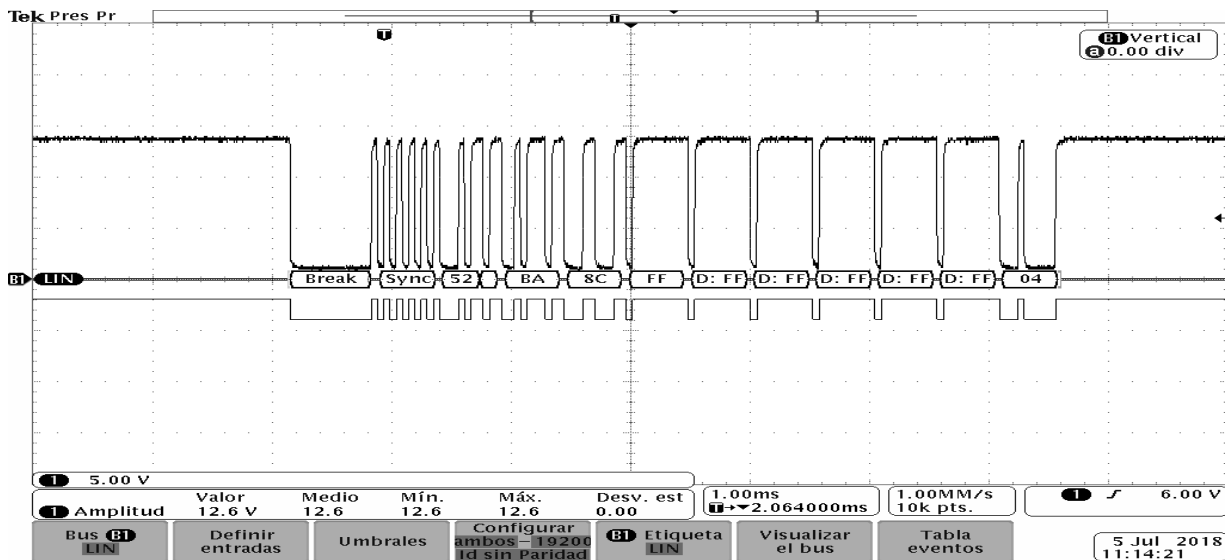


Diagrama de conexión típica del transceptor.

En comparación con las mediciones realizadas en un vehículo Jetta A6 Híbrido en el área de confort, los resultados son muy similares a excepción de la información transmitida. La Figura muestra una trama del vehículo obtenida desde una de las puertas frontales.



Resultados del transceptor.

Apéndice D

Artículos y participaciones

Participación como ponente en el Congreso Nacional de Ciencias de la Computación.

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
A través de la Facultad de Ciencias de la Computación

Otorga la presente

CONSTANCIA

A: Marcelino Luis Guadalupe, Nicolás Quiróz Hernández,
Cristian Alexander Flores Martínez, Roberto Carlos Ambrosio
Lazaro, Ana María Rodríguez Domínguez and Carlos García Lucero

Por haber participado como Ponente con la conferencia:
"Implementación de una Red LIN"
En el Congreso Nacional de Ciencias de la Computación, CONACIC 2018
realizado del 22 al 26 de Octubre de 2018
en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Computación.

"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Zaragoza, 26 de Octubre de 2018

M.C. Marcos González Flores
Director

Implementación de una Red LIN para la Interconexión de Sensores y Actuadores Inteligentes con Tecnología ARM

Marcelino Luis-Guadalupe¹, Nicolas Quiroz-Hernandez², Cristian A. Flores-Martinez³, Roberto Carlos Ambrosio-Lázaro², Ana María Rodríguez-Domínguez², Carlos García-Lucero⁴

^{1,2,3}Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Electrónica
Av. San Claudio y 18 Sur Edif. FCE1, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria, Puebla Pue. CP 72570

⁴Intesc Electronics
Av. San Ignacio No. 1834-L3, Puebla, Pue. CP 72570

¹marcelino.luis@alumno.buap.mx,
²{nicolas.quirozh, roberto.ambrosio, anamaria.rodriguez}@correo.buap.mx
³crisbmalex@hotmail.com

Resumen. LIN es un sistema de comunicación serial de bajo costo para su uso en redes automotrices. Comúnmente se encuentra como sub-bus en las redes CAN, *Controller Area Network*. Actualmente, es implementada en los sistemas automotrices para la interconexión de sensores y actuadores inteligentes. Este documento describe la implementación de una red LIN independiente. Debido a que existe información limitada a cerca de este bus de comunicación en las redes intravehiculares, se propone la implementación de una red LIN con tecnología ARM. En este documento, se presentan los desarrollos de hardware y software realizados para la implementación de la red.

Palabras Clave: ARM, Red, Sensor, LIN bus, Comunicación.

1 Introducción

La velocidad a la que avanza la tecnología provoca que la cantidad de sistemas electrónicos en uso aumente cada vez más. Este crecimiento también está presente en la industria automotriz [1]. En las últimas tres décadas, el número de sensores y actuadores, así como ECUs, *Electronic Control Units* ha ido en aumento. Esto significa que la complejidad del sistema general de un vehículo está en aumento [2] [3].

La necesidad de intercomunicación entre los nuevos sistemas llevo al desarrollo de buses de comunicación serial dentro de los vehículos.

El bus LIN *Local Interconnect Network* es uno de los buses diseñados específicamente para establecer comunicación entre sensores inteligentes, actuadores inteligentes y unidades de control. La Red Local de Interconexión LIN es un protocolo de comunicación serial de bajo costo. Actualmente, implementado en la mayoría de los vehículos automotrices [4].

REFERENCIAS

- [1] INE “Accidentes de tráfico La Dirección General de Tráfico (*DGT*)”, Acceso Marzo 2017. [Online]. Available: <http://www.dgt.es/es/explora/en-cifras/accidentes.shtml>
- [2] CESVIMAP “Centro de experimentación y seguridad vial MAPFRE, centro de calibración ADAS”, Acceso Mayo 2017. [Online]. Available: https://www.cesvimap.com/centro-seguridad-vial/es/images/5_Hella_calibracion_ADAS_tcm804-183750.pdf 2007-01-10
- [3] R. Jeffers, B. Breed, B. Gallemore, “Passive range estimation and range rate detection”, 2000 IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. 16-17 Page(s):112 – 116, Marzo 2000
- [4] A. Ochoa, J. Ureña, A. Hernández, M. Mazo, F. Álvarez, C. De Marziani, M. C. Pérez “Obtención de información del entorno con un array ultrasónico” Report 2-3, Mayo 2005.
- [5] A. Hernandez, J. Savage , “Modelo del Sonar para Simulación con base en el Ángulo de Incidencia” Report 2-3, Febrero 2003.
- [6] Le Chevalier Francois, “Principles of Radar and Sonar Signal Processing”, Artech House, Boston-London, Agosto 2002.
- [7] J. Ureña, “Contribución al diseño e implementación de un sistema sonar para la automatización de un vehículo industrial”, Universidad de Alcalá (España), 1998
- [8] D. Maggiolo, “Propagación del sonido”, Acceso Mayo 2017. [Online]. En : <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap.html>
- [9] F. Pérez, Interpolación del patrón de haz acústico omnidireccional utilizando filtros digitales fir invariables en el tiempo para sonares pasivos con arreglo cilíndrico de hidrófonos, Eng. Tesis, universidad Ricardo palma, Lima Peru 2008.
- [10] E. Kinsler, R. Frey, B. Coppins, V. Sanders, "Fundamentals of Acoustics", Ed. John Wiley & Sons, 4ª Edición, 2000.
- [11] H. Tränkler, E. Obermeier, “Sensortechnik”, Springer *Verlag*, Berlin, 1998.
- [12] H. Tränkler, “Sensortechnik – Sensorwirkprinzipien and Sensor-system”. Heidelberg: Hüthig, 1993.
- [13] T. Burkhardt, A. Feinäugle, S. Fericean, A. Forkl “Sensores de Desplazamiento y Distancia Sistema de medición sin contacto para uso industrial”, Acceso Mayo 2017, [Online]. Available: http://www.nortecnica.com.ar/pdf/teoria_sens_desp_dist.pdf

- [14] M. Agiella, S. Fericean, “Miniaturized Inductive Sensors for Industrial Applications”, Proceedings of IEEE SENSORS 2002 – First IEEE International Conference on Sensors. Orlando 2002
- [15] NVIDIA, “Sistemas ADAS Módulos ara la asistencia al conductor”, Acceso mayo 2017, [Online]. Available: <http://la.nvidia.com/object/advanced-driver-assistance-systems-la.html>
- [16] M. Kuehn, T. Hummel, J. Bende “Benefit estimation of advanced driver assistance systems for cars derived from real-life accidents”, German Insurers Accident Research Germany Septiembre 2017
- [17] N. Tamiya, H. Mandai, T. Fukae, “Optical spread spectrum radar for lateral detection in vehicles”, Proc. of 1996 IEEE Int. Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, pp. 195-198, 1996.
- [18] T. Fukae, N. Tamiya, H. Mandai, “Lateral distance measurement using optical spread spectrum radar”, Proc. of 1996 IEEE Int. Symposium on Intelligent Vehicles, pp.1 6, 1996.
- [19] INEGI, “Datos oficiales de víctimas de accidentes de tráfico en el 2015”, Acceso mayo 2017, [Online]. Available: http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=13159
- [20] K. Song, C. Chen, C. Chiu Huang “Design and Experimental Study of an Ultrasonic Sensor System for Lateral Collision Avoidance at Low Speeds” 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium
- [21] W. Park, B. Kim, D. Seo, D. Kim, K. Lee “Parking Space Detection Using Ultrasonic Sensor in Parking Assistance System” 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- [22] Jerry L. Eaves & Edward K. Reedy, Van Nostrad Reinhold, “Principles of Modern Radar”, 1987
- [23] B. Edde, “Radar: Principles, Technology; Applications”, Prentice Hall, 1993
- [24] G. Partida, J. Partida “Nuevas técnicas para sensores radar embarcados en vehículos aéreos no tripulados “Ph.D Thesis doctoral, E.T.S.I. Telecomunicación (UPM) 2009
- [25] PCWorld “Revista de Sistemas Automotrices”, Acceso Mayo 2017 [Online]. Available: <http://www.pcworldenespanol.com/2016/11/14/conoce-los-3-nuevos-estandares-ethernet-automotriz-video-e-industria>
- [26] G. Altamirano, D. León, “El transmisor-receptor “, Acceso Julio 2017 [Online]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/escobar_a_g/capitulo2.pdf
- [27] D. Navarro, L. Rios, H. Parra, “Sensores de ultrasonido usados en robótica móvil para la medición de distancias” Scientia et Technic Año X, No 25, agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701
- [28] Universidad de Valencia, “Modulación digital”, Acceso Julio 2017 [Online]. Available: <http://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/Trasmdigital.pdf>

- [29] “Norma mexicana NOM-194-SCFI-2015”, Acceso noviembre 2017 [Online]. Available: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5436325&fecha=09/05/2016
- [30] “Protocolo MOST BUS”, Acceso Noviembre 2017, [Online]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/can-most-bus.htm>
- [31] “Protocolo CAN”, Acceso Noviembre 2017, [Online]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/canbus.htm>
- [32] “Protocolo LIN BUS”, Acceso Noviembre 2017, [Online]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/can-bus-lin-most-bluetooth.htm>
- [33] “Protocolo FlexRay”, Acceso Noviembre 2017, [Online]. Available: <http://grins.upc.edu/portals/download/attachments/3866634/Protocol+FlexRay.pdf?version=1&modificationDate=1358176524000>
- [34] A. Veca, “Principios físicos, ondas y medios, transductores y lentes acústicas, Métodos de Emisión y Recepción” en Ultrasonido para ingenieros y estudiantes de ingeniería, Ángel César Veca. - 1a ed . - San Juan, 2016.
- [35] “Sensores en el automóvil” en manual mecánica automotriz sensores en el automóvil- 1a ed . -2016.
- [36] E. Zabler, “Los sensores en el automóvil”, Roberto BOSCH GMBH. - 1a ed - España, 2002.
- [37] Texas instruments, “Procesador de señales ultrasónicas PGA450”, Acceso Septiembre 2017, [Online]. Available: <http://www.ti.com/product/PGA450-Q1>
- [38] Texas instruments, “Documentos técnicos del PGA460”, Acceso Septiembre 2017, [Online]. Available: <http://www.ti.com/product/PGA450-Q1/technicaldocuments>.
- [39] Manual de usuario para sensores ultrasónicos, Acceso Marzo 2018, [Online]. Available: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents>.
- [40] Pepperl+Fuchs, “El pulso de la automatización - Sensores ultrasónicos”, Acceso Marzo 2018, [online]. Available: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/25161.htm>
- [41] E. Hackett, “LIN Protocol and Physical Layer Requirements”, Texas Instruments Incorporated, 2018.
- [42] LIN Consortium, “LIN Specification Package Revision 2.2A”, 2010
- [43] NXP Semiconductors, “TJA1021 LIN 2.1/SAE J2602 transceiver”, 2011
- [44] STM Electronics, “Nucleo-F767ZI, ST Evaluation Tools”, Acceso Julio 2018, [Online]. Available: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f767zi.html#designscroll>
- [45] J. Cruz, “Sistemas Embebidos 2010 CMSIS”, Buenos Aires, 2010