



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
FONENDOSCOPIO ELECTRÓNICO CON FINES DIDÁCTICOS
PARA DIFERENCIAR SONIDOS PROVENIENTES DEL ÁREA
TORÁCICA DEL CUERPO HUMANO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al Grado Académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

AUTOR: VALLEJO LLERENA DANILO JAVIER

TUTOR: Ing. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLÁN.

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Danilo Javier Vallejo Llerena

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, DANILO JAVIER VALLEJO LLERENA soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Danilo Javier Vallejo Llerena

CI. 060338537-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo técnico: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE FONENDOSCOPIO ELECTRÓNICO CON FINES DIDÁCTICOS PARA DIFERENCIAR SONIDOS PROVENIENTES DEL ÁREA TORÁCICA DEL CUERPO HUMANO.”, de responsabilidad del señor Vallejo Llerena Danilo Javier, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna G. Decano de la Facultad de Informática Y Electrónica	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. Director de escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales	_____	_____
Ing. Edwin Altamirano S. Director del Trabajo de Titulación	_____	_____
Ing. Wilson Zúñiga. Miembro del Trabajo de Titulación	_____	_____

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo primero a mis padres, Miguel Isaac y Dora Margod; ejemplos de trabajo y dedicación. Quienes me han forjado como una persona de valores y brindado su apoyo en todo momento. A mi hermana Cati quien me comprende por sobre todas los problemas y me demuestra que todo se puede lograr; y mi hermano Andrés, quien siempre me anima a dar lo mejor de mí además de permanecer siempre a mi lado. A ellos por ser las personas más importantes en mi vida.

Danilo Javier Vallejo Llerena

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos para mi familia, especialmente para mis padres y hermanos; parte fundamental de mi vida. Me han enseñado los valores del esfuerzo, trabajo y dedicación. Pilares fundamentales del éxito siempre que estén acompañados del amor y la honestidad.

A mis amigos, aquellos que los he conocido desde mi época adolescente y han tenido la paciencia de estar conmigo hasta estos días. A mis amigos de la vida universitaria quienes me han hecho expandir mi mente hacia nuevas ideas y formas de pensar.

A todos los docentes de vocación que he tenido la suerte de ser alumno. Me han mostrado el camino a seguir para llegar este día a obtener un logro más en mi vida. También para aquellas personas que he conocido a lo largo de mi vida, quienes con sus palabras me han hecho dar cuenta de lo grande que es el mundo.

Danilo Javier Vallejo Lerena

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Sistema Cardiovascular.....	5
<i>1.1.1 El corazón.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Acción cardiaca.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Sonidos Cardíacos.....</i>	<i>7</i>
1.1.3.1 Primer ruido.....	8
1.1.3.2 Segundo ruido.....	8
1.1.3.3 Tercer ruido.....	8
1.2 Métodos de exploración física.....	8
<i>1.2.1 Métodos de auscultación.....</i>	<i>10</i>
1.2.1.1 Auscultación inmediata.....	10
1.2.1.2 Auscultación mediata.....	11
<i>1.2.2 Auscultación Cardiovascular.....</i>	<i>11</i>
1.3 Fonendoscopio.....	12
<i>1.3.1 Tipos de fonendoscopios.....</i>	<i>13</i>
1.3.1.1 Fonendoscopios Flexibles Biauriculares.....	13
1.3.1.2 Estetoscopio Obstétrico.....	13
1.3.1.3 Estetoscopio Electrónico.....	13
<i>1.3.2 Componentes.....</i>	<i>13</i>
1.3.2.1 Fono-receptor o Cabeza.....	14
1.3.2.2 Tubo.....	15
1.3.2.3 Auriculares.....	15
1.3.2.4 Olivas.....	16
1.4 Computador de placa única.....	16

1.4.1	<i>ASUS Tinker Board S</i>	17
1.4.2	<i>Banana Pi M64</i>	17
1.4.3	<i>ODROID-C2</i>	17
1.4.4	<i>Pine A64+</i>	17
1.4.5	<i>Raspberry PI 3 B+</i>	17
1.5	Transductor electroacústico	18
1.5.1	<i>Micrófono</i>	19
1.5.1.1	Micrófonos de carbón	19
1.5.1.2	Micrófonos de cinta	20
1.5.1.3	Micrófonos de condensador (capacitivos).....	20
1.5.1.4	Micrófonos dinámicos	21
1.5.1.5	Micrófonos Electret	22
1.5.1.6	Micrófonos piezoeléctricos	22
1.5.2	<i>Altavoz</i>	23
1.5.2.1	Altavoces agudos o Tweeter	23
1.5.2.2	Altavoces medios o Squawker	24
1.5.2.3	Altavoces graves o Woofer	24
1.6	Interferencia electromagnética	25
1.6.1	<i>Interferencia Eléctrica</i>	26
1.6.2	<i>Intermodulación</i>	26
1.6.3	<i>Interferencia de Radio Frecuencia</i>	26
1.7	Acondicionamiento de señales	27
1.7.1	<i>Etapas de filtrado</i>	27
1.7.1.1	Filtros Activos	28
1.7.2	<i>Amplificadores de audio</i>	29
1.7.2.1	Amplificadores de clase A	29
1.7.2.2	Amplificadores de clase B	30
1.7.2.3	Amplificadores de clase AB	30
1.7.2.4	Amplificadores de clase C	30
1.7.2.5	Amplificadores de clase D	30
 CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLOGICO	31
2.1	Descripción del prototipo	31
2.2	Requerimientos del prototipo	32
2.3	Diseño del prototipo	33
2.3.1	<i>Desarrollo del hardware</i>	33

2.3.2	<i>Desarrollo del software</i>	39
2.4	Implementación del prototipo	40
2.4.1	<i>Análisis de respuesta de la señal</i>	44

CAPÍTULO III

3	MARCO DE RESULTADOS	47
3.1	Pruebas del procedimiento de auscultación con el prototipo	47
3.1.1	<i>Prueba de auscultación en un infante</i>	48
3.1.1	<i>Prueba de auscultación en mujeres adolescentes</i>	50
3.1.2	<i>Prueba de auscultación en mujeres adultas</i>	52
3.1.3	<i>Prueba de auscultación en hombres adultos</i>	57
3.2	Pruebas de funcionalidad y manejo del prototipo	61
3.2.1	<i>Funcionalidad y manejo del hardware del prototipo</i>	62
3.2.2	<i>Funcionalidad y manejo del software del prototipo</i>	63
3.3	Comparación del prototipo de fonendoscopio con métodos convencionales de auscultación	66
3.4	Comparación de la apreciación del prototipo de fonendoscopio con métodos convencionales	66
3.5	Análisis de costos	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Comparación de ventajas y desventajas entre filtros activos y pasivos.....	27
Tabla 1-2: Comparación de características de computadores de placa reducida.....	39
Tabla 2-2: Librerías de Python utilizadas.....	41
Tabla 1-3: Rangos de frecuencia cardiaca.....	48
Tabla 2-3: Amplitud en relación a frecuencia – caso infante.....	49
Tabla 3-3: Amplitud en relación a frecuencia – adolescente caso “A”.....	51
Tabla 4-3: Amplitud en relación a frecuencia – adolescente caso “B”.....	52
Tabla 5-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “A”.....	53
Tabla 6-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “B”.....	54
Tabla 7-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “C”.....	55
Tabla 8-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “D”.....	57
Tabla 9-3: Amplitud en relación a frecuencia – hombre adulto caso “A”.....	58
Tabla 10-3: Amplitud en relación a frecuencia – hombre adulto caso “B”.....	59
Tabla 11-3: Amplitud en relación a frecuencia – hombre adulto caso “C”.....	60
Tabla 12-3: Error existente entre frecuencias medidas y estimadas en diversos pacientes..	66
Tabla 13-3: Listado de costos de elementos necesarios para el prototipo.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: El corazón humano	6
Figura 2-1: Los ruidos cardíacos.....	7
Figura 3-1: Método de palpación.....	9
Figura 4-1: Auscultación.....	10
Figura 5-1: Fonendoscopio.....	12
Figura 6-1: Fono-receptor.....	14
Figura 7-1: Tubo de fonendoscopio.....	15
Figura 8-1: Auriculares de fonendoscopio.....	16
Figura 9-1: Olivas de fonendoscopio.....	16
Figura 10-1: Microcomputador Raspberry Pi.....	18
Figura 11-1: Micrófono de carbón.....	19
Figura 12-1: Micrófono de cinta.....	20
Figura 13-1: Micrófono de condensador.....	21
Figura 14-1: Micrófono dinámico.....	21
Figura 15-1: Micrófono Electret.....	22
Figura 16-1: Micrófono piezoeléctrico.....	22
Figura 17-1: Rango de frecuencias de un Woofer, Squawker y Tweeter.....	23
Figura 18-1: Caja acústica con distintos altavoces.....	24
Figura 19-1: Esquema básico de un problema EMC.....	25
Figura 20-1: Diagrama filtros activos.....	28
Figura 21-1: Diagrama amplificación de audio – clase AB.....	29
Figura 1-2: Arquitectura general del prototipo de fonendoscopio.....	32
Figura 2-2: Micrófono piezoeléctrico.....	34
Figura 3-2: Circuito de filtros activos.....	35
Figura 4-2: Micrófono Electret.....	35
Figura 5-2: Circuito de amplificación y filtrado para micrófono Electret.....	36

Figura 6-2: Preamplificador micrófono Electret.....	36
Figura 7-2: TDA2822m en configuración puente.....	37
Figura 8-2: Parlantes Genius SW-F2.1 500.....	38
Figura 9-2: Manguera con micrófono Electret.....	43
Figura 10-2: Micrófono Electret.....	43
Figura 11-2: Tarjeta de audio USB.....	44
Figura 12-2: Señal captada por el micrófono piezoeléctrico.....	44
Figura 13-2: Auscultación a la salida del micrófono.....	45
Figura 14-2: Señal filtrada y amplificada.....	45
Figura 15-2: Señal amplificada.....	46
Figura 1-3: Fonograma de auscultación de un infante.....	48
Figura 2-3: Fonograma de auscultación de una adolescente (caso A).....	50
Figura 3-3: Fonograma de auscultación de una adolescente (caso B).....	51
Figura 4-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso A)	53
Figura 5-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso B).....	54
Figura 6-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso C)	55
Figura 7-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso D)	56
Figura 8-3: Fonograma de auscultación de un hombre adulto (caso A).....	58
Figura 9-3: Fonograma de auscultación de un hombre adulto (caso B).....	59
Figura 10-3: Fonograma de auscultación de un hombre adulto (caso C).....	60
Figura 11-3: Prototipo de fonendoscopio electrónico.....	62
Figura 12-3: Ventana de bienvenida.....	63
Figura 13-3: Ventana de inicio.....	63
Figura 14-3: Ventana proceso de grabación.....	64
Figura 15-3: Ventana de grabación finalizada.....	64
Figura 16-3: Pantalla de inicio – análisis de resultados.....	65
Figura 17-3: Ventana de resultados.....	65

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-2: Diagrama de bloques de funcionamiento.....	31
Gráfico 2-2: Procesamiento de señales.....	33
Gráfico 3-2: Diagrama de flujo grabación.....	40
Gráfico 4-2: Diagrama de flujo análisis de audio.....	42
Gráfico 1-3: Resultados pregunta 1.....	67
Gráfico 2-3: Resultados pregunta 2.....	68
Gráfico 3-3: Resultados pregunta 3.....	68
Gráfico 4-3: Resultados pregunta 4.....	69
Gráfico 5-3: Resultados pregunta 5.....	70
Gráfico 6-3: Resultados pregunta 6.....	71
Gráfico 7-3: Resultados pregunta 7.....	72
Gráfico 8-3: Resultados pregunta 8.....	73

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Encuesta para docentes y profesionales de la salud

Anexo B: Encuesta para estudiantes del área de la salud

Anexo C: Algoritmo de programación

Anexo D: Fotografías de participantes en pruebas con el prototipo

RESUMEN

El prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos para diferenciar sonidos provenientes del área torácica del cuerpo humano pretende ser una herramienta didáctica en el proceso de formación académica en el área de ciencias de la salud. La metodología actual de enseñanza del proceso de auscultación es mediante el uso del fonendoscopio acústico. Para desarrollar una alternativa como la propuesta se utilizó un transductor piezoeléctrico, el cual capta el sonido cardíaco que es filtrado y amplificado para obtener una señal que pueda ser digitalizada. Para el análisis se desarrolló una aplicación en el lenguaje Python, que es ejecutado en el sistema operativo Raspbian. Esta aplicación tiene las tareas fundamentales de almacenar y analizar el sonido, lo cual se presenta en una gráfica en función del tiempo representando un fonocardiograma. Se necesita que la salida de audio posea elementos que sean capaces de reproducir bajas frecuencias, para lo cual se pueden usar parlantes o audífonos que cumplan con esta característica. La calidad de la señal acústica del prototipo permitió que durante las pruebas realizadas, los participantes calificuen de forma satisfactoria lo captado a través del prototipo, determinando además que la propuesta aporta a impulsar la inclusión de tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en las aulas, lo que puede ser un factor motivante para desarrollar prácticas en la misma. Se recomienda un uso cuidadoso del equipo, para precautelar la vida útil y funcionamiento a largo plazo del prototipo por ser una herramienta didáctica de enseñanza.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <MEDICINA>, <ESTETOSCOPIO>, <PYTHON (SOFTWARE)>, <MICRÓFONOS (HARDWARE)>, <FILTROS ACTIVOS>, <AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES>, <ANÁLISIS DE SEÑALES>.

ABSTRACT

The electronic stethoscope prototype for didactic purposes to differentiate sounds coming from the thoracic area of the human body aims to be a didactic tool in the process of academic formation in the area of health sciences. The current teaching methodology of the auscultation process is through the use of the acoustic stethoscope. To develop an alternative such as the proposal, a piezoelectric transducer was used, which captures the cardiac sound that is filtered and amplified to obtain a signal that can be digitized. For the analysis an application was developed in the Python language, which is executed in the Raspbian operating system. This application has the fundamental tasks of storing and analysing sound, which is presented in a graph as a function of time representing a phonocardiogram. It is necessary that the audio output has elements that are capable of reproducing low frequencies, for which you can use speakers or hearing aids that comply with this feature. The quality of the acoustic signal of the prototype allowed that during the test carried out, the participants qualify in a satisfactory manner, what is captured through the prototype, also determined that the proposal contributes to promote the inclusion of information and communication technologies (ICTs) in the classrooms, which can be a motivating factor to develop practices in the same. It is recommended a careful use of the equipment, to safeguard the useful life and long-term operation of the prototype as it is a didactic teaching tool.

INTRODUCCIÓN

El proceso de aprendizaje debe aprovechar todas las facilidades que brinda los avances tecnológicos. Por lo cual se analiza el proceso actual de enseñanza del método de auscultación cardiaca, el cual utiliza un estetoscopio acústico biauricular; el cual solo puede ser usado por una persona a la vez.

En este trabajo, se desarrolla un prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos; el cual puede ser utilizado en un salón de clases por el profesional del área de la salud y estudiante de forma simultánea. Para su creación, se utiliza una SBC Raspberry Pi; en la cual se ejecuta un algoritmo capaz de analizar el sonido proveniente del corazón.

Antecedentes

Entre los principales métodos de exploración física a las personas, se encuentra el de auscultación (Trejo García, Maldonado Muñiz y Camacho y López, s. f.). Consiste en la valoración por medio del oído, ya sea de manera directa o con la ayuda de instrumentos; de los sonidos normales o patológicos producidos en los órganos, en especial del área torácica o del abdomen.

La forma de realizar más extendida de aplicar este procedimiento es con el uso del estetoscopio. Fue inventado en Francia por el médico René Laënnec en 1816, el cual en un inicio estaba formado por papel para luego ser elaborado en madera (Roguin, 2006). Este dispositivo permite amplificar y escuchar con mayor nitidez, el sonido proveniente de los pulmones y el corazón.

El momento que fue de uso más generalizado, se crearon modelos con diferentes materiales como el aluminio, bronce, estaño, marfil, plata y vidrio; con el objetivo de mejorar la audición (Lloret, 2010). También existen variantes en su modelo original, las cuales añaden a su forma cilíndrica una terminación en forma de campana.

El desarrollo del dispositivo, progreso con la transformación desde los modelos mono-auriculares rígidos a otros de materiales flexibles. El mayor cambio fue la implementación de diseños biauriculares por parte del médico George Camman en el siglo XIX (Lloret, 2010). A pesar de ello, los modelos de fonendoscopios tipo Piorry o Pinard siguen siendo utilizados en auscultaciones del corazón fetal en mujeres embarazadas.

Las variaciones en la longitud, y especialmente en el diámetro se ha visto limitado en un rango de pocos milímetros con el objetivo de tener una buena transmisión de audio para que el paso de aire no afecte al propio aparato. Para el contacto, actualmente se usan terminaciones en campana para el ruido respiratorio y membrana para los sonidos cardíacos.

La utilidad de este instrumento abarca además la auscultación abdominal, exploración fetal en mujeres embarazadas, detección de problemas traumatológicos al percibir audiblemente la crepitación ósea, para lo cual en la actualidad existen modelos específicos para neonatos, lactantes, escolares, enfermería y adultos.

Con el desarrollo actual de instrumentos la implementación de tecnologías que están orientadas al mundo digital, han ido aumentando progresivamente, pero sus elevados costos y escasa presencia en el mercado nacional han mermado su utilización, aun cuando utilizarlos favorece el análisis y la transmisión de información.

En el ámbito investigativo se han desarrollado propuestas de esta clase de dispositivos como los desarrollados por (Díaz, 2008) en CICESE, (Arciga et al., 2008) del Tecnológico de Monterrey , México; (Herrera García, Taboada Crispi y Paz Viera, 2009) de la Universidad Central Marta Abreu, Cuba.

En la Escuela Politécnica Nacional se presentó el proyecto “Diseño y construcción de un prototipo de estetoscopio digital con fines didácticos” por parte de (Juiña Quilachamín, 2016). Entre todos estos proyectos no se han mostrado características de portabilidad.

Formulación del problema

¿De qué manera se puede implementar un prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos para diferenciar los sonidos provenientes del área torácica del cuerpo humano?

Justificación Teórica

La auscultación de los ruidos provenientes del tórax, generalmente se la realiza a través de un instrumento denominado estetoscopio o fonendoscopio. Esta técnica es una de las herramientas principales para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, ya que el flujo del aire y movimiento de los ventrículos producen sonidos característicos cuando presentan alguna patología.

La auscultación es la primera herramienta de análisis que se emplea para evaluar el estado funcional del corazón y pulmones, y el primer indicador utilizado para remitir al paciente donde un especialista, con ella el médico trata de identificar y analizar separadamente los diferentes ruidos que componen el ciclo cardíaco y respiratorio para realizar después una síntesis de las características extraídas.

Se puede notar que es necesario disponer de un instrumento confiable que sea capaz de capturar los sonidos provenientes del tórax y abdomen de manera clara, de tal forma que se pueda diferenciar sin mayor problema cualquier tipo de enfermedad o anomalía que presente el paciente.

Para la correcta interpretación de los sonidos que se escucharan, se precisa de dos requisitos fundamentales: conocimiento y experiencia, para adquirir la segunda se basa única e inevitablemente en la práctica.

Dentro del proceso de aprendizaje de un estudiante de las distintas ramas de medicina o de las carreras de salud es fundamental que pueda reconocer, y diferenciar los sonidos normales de los órganos durante un proceso de auscultación. Con los instrumentos convencionales los sonidos cardíacos solo se pueden escuchar por una sola persona, pero es importante que un profesional médico imparta su conocimiento realizando la auscultación mediante un instrumento que le permita escuchar los sonidos cardíacos junto con los estudiantes.

Si se amplifican los sonidos, estos podrían ser escuchados también por los estudiantes en un aula de clase mejorando significativamente el proceso de enseñanza y aprendizaje, con esta herramienta didáctica se busca que la experiencia se transmita con facilidad.

Previo a iniciar el diseño es necesario conocer algunos conceptos básicos del corazón y de los sonidos que este genera, así como de los componentes que se utilizarán para cumplir con el objetivo de este proyecto.

Justificación Aplicativa

La necesidad de un equipo capaz de ser utilizado para diversas tareas y zonas, como ambientes educativos en procesos de formación de futuros profesionales de la salud, se espera ayude a mejorar la confianza de los estudiantes en un correcto proceso de aprendizaje bajo la supervisión de docentes experimentados.

Para lo cual, con la utilización de un transductor que posea eficientes características de respuesta en bajas frecuencias se obtendrán los sonidos provenientes de la zona torácica del cuerpo humano en el proceso de auscultación, la cual será procesada en un sistema embebido adecuado para esta labor.

El audio podría ser almacenado, estudiado, reproducido o incluso transmitido en “tiempo real” a una distinta ubicación dependiendo de las necesidades presentes en el lugar. Dando un control de ganancia del sonido en la salida del sistema para una mejor interpretación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Implementar un prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos para diferenciar sonidos provenientes del área torácica del cuerpo humano.

Objetivos específicos

- Analizar la señal acústica obtenida en el proceso de auscultación.
- Elaborar un algoritmo capaz de ejecutar las tareas propuestas para el prototipo de fonendoscopio electrónico.
- Implementar un prototipo que pueda ser utilizado en el proceso de auscultación.
- Comparar los resultados obtenidos por el prototipo con métodos convencionales de auscultación.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Sistema Cardiovascular

La complejidad del sistema cardiovascular se debe a estar permanentemente encargado de originar y mantener la circulación sanguínea en el cuerpo humano (Llanio Navarro y Perdomo González, 2003). Para lo cual está conformado por un órgano central, el cual es el corazón, conectado a un sistema de distribución formado por arterias y vasos.

Entre las funciones que son desempeñadas por el sistema cardiovascular, se pueden listar:

- Intercambio de gases como el oxígeno y dióxido de carbono interno en el cuerpo.
- Distribución de los nutrientes en el interior del cuerpo.
- Recolección de los desechos producidos y transportarlos hasta el sistema excretor
- Intercambio de calor desde el interior del cuerpo a partes externas como la piel.

1.1.1 *El corazón*

Está posicionado de forma asimétrica en el tórax humano, ubicado en mayor proporción al lado izquierdo y solo una parte de él está al lado derecho del eje anatómico. La composición de este órgano está en dos partes que funcionan simultáneamente y están conectados a dos sistemas de distribución distintos, estas mitades son llamadas corazón derecho e izquierdo.

Trabajan de forma simultánea pero se encuentran conectados a sistemas de distribución distintos. Mientras el lado derecho envía sangre a los pulmones por medio de las arterias pulmonares en la denominada *circulación menor*, el lado izquierdo se encarga de enviar sangre por medio de la arteria aorta al resto del cuerpo, lo cual es nombrado como *circulación mayor*.

Cada mitad del corazón está compuesta por una aurícula y un ventrículo las cuales son cámaras que son llenadas de sangre durante el ciclo cardíaco. El ciclo de circulación sanguínea se lo puede observar en la figura 1-1 la cual también indica el flujo de la sangre al pasar por este órgano.

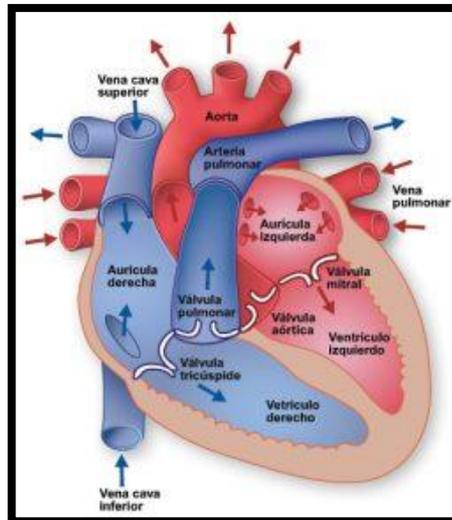


Figura 1-1: El corazón humano
Fuente: <http://bit.ly/djvcri1>

1.1.2 Acción cardíaca

El trabajo del corazón durante el “ciclo cardíaco” es un conjunto de actividades que son ejecutados en distintos períodos para poder ser posible la circulación sanguínea a través del sistema circulatorio. El primero de estos momentos es la contracción de las aurículas lo cual es denominado *sístole auricular* (Llanio Navarro y Perdomo González, 2003).

Este primer período es el momento en el cual los ventrículos son llenados con sangre a través de las válvulas tricúspide y mitral. Si bien la sangre comienza a ingresar durante la diástole, esta acción lo complementa y facilita un funcionamiento normal. Puede obtener una mayor importancia en presencia de taquicardias o estenosis mitral.

Seguido a la contracción auricular la cual tiene una duración aproximada de 0,1 segundos, ocurre la *sístole ventricular*, la cual ocurre por un lapso de tiempo de 0,3 segundos. En este período los ventrículos se contraen al momento que las aurículas se mantienen relajadas, este movimiento ocasiona que las válvulas aurícula-ventriculares se cierren.

El cierre de las válvulas es lo que origina el *primer ruido* cardíaco. Debido a la elevada presión sanguínea al interior de las cavidades ventriculares en relación a la presión en las arterias

comienza la fase de eyección ventricular de la sangre. Esto es el inicio de la tercera y última etapa del ciclo cardíaco denominado *Diástole ventricular*.

La velocidad del flujo de sangre al exterior disminuye progresivamente, con lo cual también disminuye la presión interventricular lo cual cierra las válvulas aortica y pulmonar; esto genera el segundo ruido cardíaco. Al final, las válvulas aurícula-ventriculares se abren nuevamente para iniciar la fase de llenado ventricular.

Con una duración total de 0,8 segundos en los cuales son realizadas el conjunto de todas estas acciones de relajación o diástole, seguidos de un período de contracción o sístole, se completa un latido del corazón que se denomina *ciclo* cardíaco. El corazón de los seres humanos late por minuto aproximadamente 70 veces, lo mismo que decir que realiza 70 ciclos cardíacos.

1.1.3 *Sonidos Cardíacos*

El contacto entre la sangre con los ventrículos y grandes vasos, al igual que el cierre de las válvulas cardiacas (Nachon, 2008) producen dos ruidos que llegan a ser audibles para el ser humano; en ocasiones llegan a ser tres. Al elaborar un fono-cardiograma se pueden encontrar cuatro e incluso cinco ruidos en total (Llanio Navarro y Perdomo González, 2003).

Los ruidos cardíacos se caracterizan por ser sonidos cortos además de bien definidos, como se muestra en la figura 2-1. Los dos primeros ruidos se producen al inicio y final de la sístole, por lo cual ha sido sugerida la denominación de *ruidos sistólicos*; los otros dos ruidos son producidos durante la diástole, por lo cual se los denomina *ruidos diastólicos*.

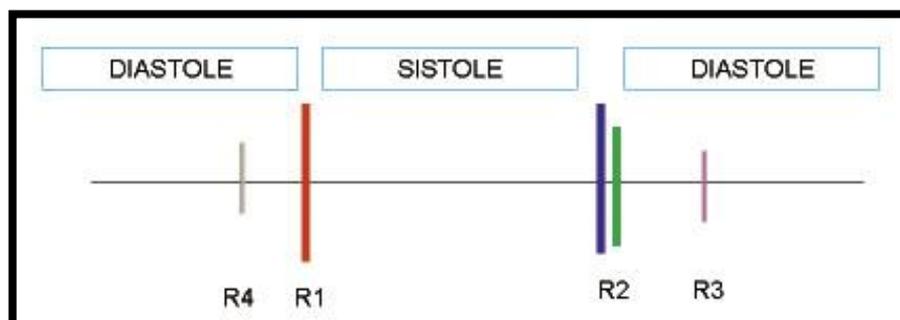


Figura 2-1: Los ruidos cardíacos

Fuente: <http://bit.ly/djvcri2>

Los ruidos cardíacos que se pueden registrar varían en sus frecuencias, así el primero cuenta con frecuencias de entre los 30 y 45 Hz; el segundo con un espectro de entre los 50 y 70 Hz y el tercero con frecuencias inferiores a los 30 Hz (Guerrero, 2011). El cuarto y quinto ruido aun al ser mencionados, no poseen verdadera importancia en los estudios clínicos.

1.1.3.1 Primer ruido

Corresponde con el inicio de la sístole ventricular; lo cual incluye el cierre de las válvulas aurícula-ventriculares y apertura de las semilunares. Las dos principales componentes de este ruido tienen coincidencia con las ondas ventriculares del electrocardiograma y la presión interventricular relacionada.

El *primer ruido* es el resultado de las acciones musculares y valvulares, las rápidas sucesiones de activación entre las válvulas aurícula-ventriculares y semilunares causan una doble vibración, la cual es transmitida a la pared torácica. Por lo cual el primer ruido audible es la expresión de los movimientos distintos del corazón.

1.1.3.2 Segundo ruido

El *segundo ruido* indica el final de la sístole ventricular, cerrando las válvulas semilunares y apertura de las aurícula-ventriculares completando el proceso de la sístole. La intensidad del ruido aumenta al existir hipertensión arterial o pulmonar o puede disminuir en caso de sufrir insuficiencia valvular (Mondragón, 2008).

1.1.3.3 Tercer ruido

Tiene su origen en la pared ventricular; ocasionado por la vibración generada por la circulación de la sangre al efectuarse el llenado rápido pasivo del ventrículo. Ocasionalmente se lo escucha en casos de insuficiencia cardíaca; pero puede ser detectado en niños, jóvenes adultos y durante el último trimestre del embarazo debido algunas condiciones fisiológicas.

1.2 Métodos de exploración física

Con el objetivo de identificar la existencia de anomalías producto de alguna patología o descartar esta posibilidad, el médico personalmente realiza una exploración al paciente el cual es sometido

a un examen físico (Llanio Navarro y Perdomo González, 2003). Las técnicas básicas en exploración clínica son cuatro: inspección, palpación, percusión y auscultación.

La *inspección* es un método en el cual mediante la apreciación con la vista desnuda o ayudado con lentes de aumento el médico se concentra en las características de la superficie externa del cuerpo así como de aquellas cavidades o conductos que sean accesibles como la boca y fauces; por su amplia comunicación exterior.

La *palpación* es el procedimiento de apreciación manual de consistencia, forma, movimientos, sensibilidad, situación, temperatura y tamaño de la región que será explorada, apoyado en la precisión además de la sensibilidad táctil, térmica y vibratoria de las manos, siendo una de los metodologías más antiguas usadas en los exámenes físicos.



Figura 3-1: Método de palpación

Fuente: <http://bit.ly/2XsBZnn>

La *percusión* y *auscultación* consisten en apreciación por medio del oído de fenómenos acústicos, el primero de los ruidos que se origina cuando se golpea la parte externa del cuerpo. Sin embargo, desde que se ha comenzado con la utilización de los rayos Roentgen ha perdido su valor, debido a brindar información análoga y más completa que la percusión.

El método de auscultación es de gran ayuda en el reconocimiento de condiciones patológicas en la zona del tórax de un ser humano; ya sean estos por causa de la actividad del corazón y la circulación sanguínea (auscultación cardiovascular), el sistema respiratorio y el flujo del aire (auscultación pulmonar), o cualquier otra razón que se presente para realizar una auscultación.

1.2.1 Métodos de auscultación

Los fenómenos acústicos poseen tres condiciones que son fundamentales: intensidad, timbre y tono. En el caso de la intensidad se la relaciona con la amplitud que posee cada vibración, lo cual es medido utilizando a los decibelios (dB) como magnitud. El timbre está compuesto por los diversos armónicos que contendrá una señal.



Figura 4-1: Auscultación
Fuente: <http://bit.ly/2DnNH1a>

La relación del tono es con la frecuencia, cuya magnitud esta expresada en hercios (Hz) (Duque Ramirez y Rubio Vanegas, 2006). El oído humano puede captar regularmente aquellas frecuencias que se encuentren dentro del rango de 36 a 16000 Hz. Aquellas frecuencias menores a este espectro pueden ser captadas de forma táctil.

Estas características deben ser tomadas en cuenta al momento de ser evaluados los ruidos cardíacos. El proceso que debe ser llevado con una alta concentración por parte de quien lo realiza, el cual debe poseer conocimiento, disposición y sobre todo entrenamiento en el uso del fonendoscopio, el área en el cual se auscultara al paciente y el método a emplear.

1.2.1.1 Auscultación inmediata

Esta es una metodología en la cual es necesario el contacto físico entre el paciente y médico, el cual apoyara su oído desnudo sobre el cuerpo del examinado. Con esto se obtienen ruidos que son intensos y puros. Debido a la enorme proximidad con el enfermo no es muy aconsejable la utilización de este método.

1.2.1.2 *Auscultación mediata*

Este método también es denominado como indirecto o instrumental. Se interpone la corneta de Pinard o un estetoscopio mono-auricular entre la superficie cutánea y el oído de la persona que realice la auscultación. Esta metodología está normalmente limitada a la ginecología y para los ruidos fetales durante el estado de gestación.

En el caso de los estetoscopios biauriculares, los cuales poseen terminaciones en forma de campana o copa; deben ser de material algo rígido, bastante liso y poco elástico. Generalmente poseen las dos terminaciones juntas las cuales se pueden seleccionar por medio de un sistema mecánico.

1.2.2 *Auscultación Cardiovascular*

Para realizar una correcta auscultación al corazón es necesario poseer una excelente audición al igual que la capacidad de poder distinguir sutiles diferencias en tonos y duración de los ruidos cardíacos (Shea, s. f.). En caso de presentar algún problema en audición, pueden ser utilizados estetoscopios con amplificación.

Para los sonidos agudos, la utilización del diafragma mejoran el proceso de auscultación; en su lugar, la campana sirve de mejor manera con aquellos sonidos que son de tono bajo. La presión debe ser adecuada, en caso de aplicar demasiada presión con la campana sobre la piel se crearía un efecto de diafragma que eliminaría los tonos muy bajos.

En una forma sistemática se debe examinar todo el precordio, comenzando desde el sitio en el cual se auscultara el *choque de la punta*, lo cual será seguido por el *borde esternal inferior izquierdo* para avanzar en dirección cefálica auscultando en cada *espacio intercostal*. Seguido a esto se moverá en dirección caudal desde el *borde esternal derecho superior*.

Además de esto, el médico deberá realizar una auscultación sobre la *axila izquierda* y por encima de las *clavículas*. Para finalizar, se deberá auscultar sobre la espalda del paciente, lo cual será con el objetivo de auscultar soplos diastólicos aórtico y pulmonar (Shea, s. f.).

1.3 Fonendoscopio

Inventado en el año de 1816 por René Laënnec, un médico francés que tuvo problemas con la realización de auscultación inmediata (Sánchez, 2012). El examen que se realiza por medio de este instrumento se denomina auscultación, el cual consiste en escuchar los sonidos provenientes de la parte interna de personas, animales o incluso maquinaria.



Figura 5-1: Fonendoscopio

Fuente: <http://bit.ly/2UpnkaM>

En cuanto al uso en seres humanos, el proceso de auscultación se lo realiza comúnmente a los sonidos cardíacos y a los provenientes de la respiración, pero de igual forma se lo puede emplear para sonidos intestinales o producto de soplos en el flujo sanguíneo en venas o arterias, lo cual forma parte fundamental en el proceso de exploración física.

La base física del funcionamiento de un estetoscopio es la propagación de las ondas de los sonidos (Sánchez, 2012). Al ser un instrumento cuya utilidad básica es la captación de sonidos y su posterior transportación se los diseña para que tengan la menor distorsión posible mientras la reducción de la amplitud del sonido no se vea disminuida.

Cualquier objeto al vibrar produce aumento y disminución momentánea de presión en el aire que lo rodea. Ambos fenómenos son estados inestables, los cuales originan perturbaciones en su entorno, creando un efecto de onda de energía la cual se puede llegar a propagar a grandes distancias (Miyara, 2001).

1.3.1 Tipos de fonendoscopios

El desarrollo del fonendoscopio ha originado una división en 3 grupos diferentes con características únicas. Cumplen una función complementaria entre ellos debido a los diferentes materiales usados para su construcción (eKuore, 2017).

1.3.1.1 Fonendoscopios Flexibles Biauriculares

También son denominados “clásicos” y de uso más generalizado como el mostrado en la figura 5-1. Está formado por dos olivas, un arco metálico, un binaural hecho con tubo de goma, y una campana, generalmente construida con acero para una mejor acústica. Dependiendo del tamaño de la campana, el estetoscopio puede ser usado para diferentes pacientes.

- Las campanas grandes son usadas para personas adultas.
- Las campanas medianas son usadas con fines pediátricos.
- Las campanas pequeñas son para neonatos.

1.3.1.2 Estetoscopio Obstétrico

Se los conoce como “estetoscopio de Pinard”. Están diseñados como una sola pieza en forma de campana y contruidos con materiales rígidos como madera o metal. Son usados para escuchar los sonidos cardíacos de los embriones en el seno materno. Por su diseño rígido es usual adoptar posiciones incómodas para su correcta utilización por parte del médico.

1.3.1.3 Estetoscopio Electrónico

Son los más recientes en el mercado y es necesario el uso de baterías para su funcionamiento. Posee control de volumen, mayor respuesta en frecuencia y sensibilidad al sonido. Entre sus características está la posibilidad de grabar el sonido proveniente de la auscultación en tiempo real y ser compartida con otros profesionales del área de la salud.

1.3.2 Componentes

Físicamente un fonendoscopio clásico o acústico está compuesto por la unión mecánica de cuatro partes fundamentales, aunque pueden poseer diversas características en las dimensiones y

material usados en su diseño y construcción, además de existir variantes en las cuales la cantidad de partes utilizadas durante su ensamblaje aumenta.

1.3.2.1 Fono-receptor o Cabeza

Es el extremo que será manipulado por el médico con el objetivo de realizar una correcta exploración del paciente, el cual deberá ser colocado sobre la piel desnuda del paciente a ser examinado, en el foco de auscultación apropiado en cada uno de los pasos de la metodología usada para la evaluación del estado de la persona.

Se puede distinguir diversos tipos de terminal fonocaptora dependiendo de las necesidades y pacientes hacia los cuales estarán dirigidos. Tomando en cuenta la persona que será examinada, el diámetro del terminal fonocaptor puede variar entre el neonatal, el infantil o el destinado para personas adultas.

Dependiendo del rango de frecuencias que se desea captar, se deberá seleccionar entre dos opciones para hacerlo de mejor manera: diafragma o campana. La primera usada en sonidos de alta frecuencia como auscultación del corazón y sonidos cardíacos. La campana es más usada para sonidos de baja frecuencia como la circulación sanguínea (Equipo de redacción profesional Partesdel.com, 2017).



Figura 6-1: Fono-receptor
Fuente: <http://bit.ly/2GqkZXT>

Existen variaciones de diseño en las cuales campana y diafragma están unidas en una sola terminal fonocaptora y son seleccionables por medio de un sistema rotatorio mecánico. Empresas como 3M-Littmann han desarrollado diafragmas sintonizables que pueden cumplir las dos funciones dependiendo de la presión empleada en ellos (3M[Littmann, s. f.).

1.3.2.2 *Tubo*

Sirve de conexión física y conducto de las ondas de sonido desde la terminal hacia los tubos auditivos. Construidos con materiales que brinden aislamiento sonoro con el entorno, para evitar la inclusión de ruidos en el proceso de auscultación. Pueden ser sencillos o dobles así como poseer diferente diámetro, grosor y longitud (Equipo de redacción profesional Partesdel.com, 2017).



Figura 7-1: Tubo de fonendoscopio

Fuente: <http://bit.ly/2GqlqS1>

Los materiales usados es común encontrarse con cloruro de polivinilo, hule o plástico, dependiendo del fabricante, se evita el uso de plastificadores de ftalato o látex de caucho natural, para evitar manchas de grasa, mejorar la higiene y prevenir el desgaste con el uso continuo de este dispositivo médico (3M|Littmann, s. f.).

1.3.2.3 *Auriculares*

Elaborados con materiales rígidos como el acero inoxidable, bronce cromado o el titanio (CENETEC, 2004), sirve de unión entre el tubo y las olivas, por lo cual su diseño incluye algunas características para el confort del médico al usar un estetoscopio, entre las cuales podemos destacar:

- Poseen estrías, pestañas o roscas para fijar las olivas y el tubo flexible.
- Sirven de apoyo del estetoscopio sobre los hombros del médico mientras no esté usando el dispositivo.
- Un arco que servirá para dar presión a las olivas sobre los oídos y se puedan mantener firmes sin provocar molestias.



Figura 8-1: Auriculares de fonendoscopio
Fuente: <http://bit.ly/2ItKYBd>

1.3.2.4 *Olivas*

Los auriculares de un estetoscopio son denominados de esta forma, pueden ser de material blando o rígido dependiendo de las preferencias de cada médico. Son diseñadas para ajustarse en las orejas y aislar de cualquier ruido externo. Por lo general los materiales usados son goma o plástico.



Figura 9-1: Olivas de fonendoscopio
Fuente: <http://bit.ly/2IHIVKs>

1.4 Computador de placa única

También es llamada SBC por su nombre en inglés, son ordenadores que poseen características semejantes a una computadora de escritorio, pero todo condensado en una sola placa de reducido tamaño (González, Urrego y Gordillo, 2014). En la cual se puede encontrar el microprocesador, memoria RAM, conexión USB y demás componentes necesarios para su funcionamiento.

Existen diversas opciones de SBC disponibles en el mercado, provenientes de diferentes marcas y características que los caracterizan a cada uno. Entre las computadoras de placa única más destacados se encuentran los siguientes.

1.4.1 ASUS Tinker Board S

Es desarrollada por la compañía taiwanesa ASUS. Su diseño se basa en la forma de distribución de una Raspberry Pi, con un precio de venta más elevado. Utiliza un procesador Rockchip RK3288 de 32 bits, además de una memoria de 16GB eMMC y ranura para tarjeta microSD. La Tinker Board S está pensada como una SBC capaz de ofrecer durabilidad y estabilidad en el desarrollo de proyectos (Allan, 2018).

1.4.2 Banana Pi M64

Es un dispositivo de plataforma libre manufacturado por la empresa china Shenzhen como línea de bajo costo de SBC. Es compatible con tarjetas diseñadas para Raspberry Pi. Utiliza el Allwinner SoC el cual es cubierto por Linux, y es compatible tanto con el procesador A64 como R18. Posee una memoria RAM de 2GB y otra memoria eMMC de 8GB (Banana Pi, s. f.).

1.4.3 ODROID-C2

Creado por la surcoreana Hardkernel en el año 2016, es una SBC de 64 bits Quad Core con memoria SDRAM de 2GB. Está diseñada para trabajar con software libre como Android y Debian. Posee conexión Gigabit Ethernet, pero carece de antes Wifi y Bluetooth. Tiene capacidad de video 4k por medio de un puerto HDMI 2.0 (Hardkernel, 2016).

1.4.4 Pine A64+

Su desarrollo es fruto de un crowdfunding. Es una SBC que utiliza un procesador Quad Core ARM Cortex A53 de 64 Bit, el cual es capaz de conectar por medio de conexiones bus Euler y Pi-2. Para integrar esta tarjeta con varios sensores y dispositivos. Soporta varios sistemas operativos como: Android, Linux Distro, Remix OS y Windows IoT (PINE A64, 2016).

1.4.5 Raspberry PI 3 B+

Es una SBC desarrollada en Reino Unido por la Fundación Raspberry. Es de uso extendido para el aprendizaje de programación, desarrollo de proyectos electrónicos IoT o DIY. Usa al procesador Arm Cortex A53 Quad-Core de 64 bits a 1.4 GHz con una memoria RAM de 1GB DDR2 para realizar las tareas de procesamiento de información (Raspberry PI Foundation, 2019).

La conectividad inalámbrica es posible gracias a la presencia de una antena Wifi con estándar 802.11 b/g/n/ac y Bluetooth 4.2 BLE. Para las conexiones por medio de cables cuenta con el puerto RJ-45 Gigabit Ethernet, un Hub USB 2.0 con cuatro puertos de máximo 300Mbps/s y un puerto GPIO de 40 pines lo cual se puede ver en la figura 10-1.



Figura 10-1: Microcomputador Raspberry Pi
Fuente: <http://bit.ly/2XvhGG3>

Se puede utilizar una gran variedad de sistemas operativos, especialmente aquellas distribuciones ligeras que son basadas en Linux. La recomendación del fabricante, en especial para nuevos usuarios es el uso de Raspbian, una Linux Distro basada en Debian, desarrollada específicamente para el uso en esta SBC (Raspberry PI Foundation, 2019).

Raspbian cuenta con actualizaciones y soporte por parte de la Fundación Raspberry, es un SO completo, el cual utiliza el entorno de escritorio LXDE y esta optimizado para aplicaciones que realizan operaciones aritméticas complejas con uso de “coma flotante”. Contiene herramientas predeterminadas para desarrollo como IDLE (Raspbian Community, 2019).

Posee conexión para video por medio de HDMI, MIPI DSI y Video Compuesto, además de un conector Jack de 3.5mm para salida de audio. Para un normal funcionamiento necesita de una fuente de alimentación DC que provea 5V en 2.5A, lo cual puede ser realizado por PoE.

1.5 Transductor electroacústico

Los dispositivos capaces de convertir un tipo de energía en uno diferente son aquellos denominados transductores. La palabra electroacústico indica la capacidad de realizar esta

conversión de energía acústica en energía eléctrica, entre los cuales encontramos a micrófonos y parlantes o altavoces.

1.5.1 *Micrófono*

Contienen un transductor de sonido el cual convierte vibraciones producto de la diferencia de presión creada por las ondas acústicas, en una señal eléctrica. El rango de sonidos detectables por un micrófono no debe ser necesariamente igual al rango detectable por el oído humano; pudiendo ser de mayor o menor capacidad (Molina, s. f.).

Entre sus características encontramos direccionalidad, el cual consiste en la sensibilidad del micrófono con las ondas del sonido dependiendo de la dirección en la cual estén ubicadas con respecto a su eje. Se los puede clasificar dependiendo del método por el cual es transformada la señal acústica en eléctrica (García López, 2003).

1.5.1.1 *Micrófonos de carbón*

Debido a características como su bajo costo, gran durabilidad y salida eléctrica alta, llegaron a ser los micrófonos más utilizados para la telefonía y radio (García López, 2003). En gran parte su éxito fue debido a la imposibilidad de amplificar señales. Está formado por una capsula llena de gránulos de carbón contenidos entre una lámina y un diafragma.



Figura 11-1: Micrófono de carbón

Fuente: <http://bit.ly/2Plk8f8>

Este micrófono necesita de una fuente externa que genere el voltaje necesario para que pueda funcionar. Las vibraciones son captadas por el diafragma el cual comprime la capsula, lo cual

varia la resistencia casi de forma lineal en relación con la presión ejercida, este micrófono genera mucho ruido incluso al no existir ningún sonido.

1.5.1.2 *Micrófonos de cinta*

Se logra con la ubicación de cintas dentro de un campo magnético generado por un imán permanente. Son muy sensibles y cuentan con una respuesta en frecuencia uniforme, por lo cual tienen una calidad de sonido muy buena. Por su construcción la señal de salida de estos micrófonos es extremadamente baja.

De igual forma, debido a los elementos necesarios no son nada compactos. Al mismo tiempo son sensibles al viento y fácilmente saturables al ser aplicados en distancias cercanas o con sonidos fuertes («Tipos de micrófonos» 2010). Se los usa comúnmente en estudios de grabación para registrar los sonidos vocales, o instrumentos de baja sonoridad como flautas o violines.



Figura 12-1: Micrófono de cinta

Fuente: <http://bit.ly/2VUmdRX>

1.5.1.3 *Micrófonos de condensador (capacitivos)*

Su construcción consta de dos placas formando un capacitor, una fija y otra móvil, denominada diafragma que se desplaza con la presión de las ondas sonoras. La variación entre la separación de las placas varía su capacitancia, utiliza una fuente de alimentación externa DC que energiza las placas.

Poseen una elevada impedancia de salida, por lo cual se necesita implementar una etapa de *buffer* para acoplarlo con el resto del sistema. La mayoría de micrófonos comerciales traen integrados

este circuito (García López, 2003). Son muy utilizados en grabaciones profesionales, debido a su fidelidad y gran respuesta en frecuencia.



Figura 13-1: Micrófono de condensador
Fuente: <http://bit.ly/2KSbFII>

1.5.1.4 Micrófonos dinámicos

Funcionan de forma análoga a los altavoces de bobina móvil, los cuales toman el principio de inducción electromagnética para su funcionamiento. Se caracterizan por su robustez y altas prestaciones, no requiere de una fuente de alimentación externa además de tener una baja impedancia en la salida de su señal.

Es el modelo más usado para espectáculos en vivo debido a su baja sensibilidad, que solo capta las fuentes sonoras deseadas («Tipos de micrófonos» 2010). En estudios de grabación se usa principalmente para el bombo, caja y charles de una batería.



Figura 14-1: Micrófono dinámico
Fuente: <http://bit.ly/2Pk9PrU>

1.5.1.5 Micrófonos Electret

Basado en el diseño de los micrófonos capacitivos tradicionales se implementó una lámina de material *Electret*, la cual es capaz de mantener su polarización sin necesidad de una fuente externa. Esto posibilita un diseño más compacto y simple para el micrófono. Estas características lo han llevado a ser utilizado en dispositivos móviles.



Figura 15-1: Micrófono Electret
Fuente: <http://bit.ly/2KPq9Co>

Las versiones más sencillas poseen una respuesta en frecuencia casi lineal en todo el rango de frecuencias audibles. Modelos de mayor calidad pueden incorporar preamplificadores diseñados con transistores de efecto de campo *FET*.

1.5.1.6 Micrófonos piezoeléctricos

Este tipo de micrófonos utiliza cristales o cerámicas que serán las encargadas de detectar aquellas ondas con las cuales entrara en contacto. Al inicio se usaba *sal de Roxhelle* para su fabricación, pero debido al fácil deterioro fue remplazado por materiales sintéticos como el *titanato de bario*, como el mostrado en la figura 16-1; que puede trabajar con frecuencias en el rango de KHz.



Figura 16-1: Micrófono piezoeléctrico
Fuente: <http://bit.ly/2VadFt6>

El efecto piezoeléctrico por el cual funcionan es reversible, por lo cual pueden funcionar como fuentes de sonido o micrófono simultáneamente (Molina, s. f.). Además, este tipo de micrófonos tiene una impedancia de salida mucho más elevada en el rango de mega ohmios.

1.5.2 *Altavoz*

El altavoz es una clase de transductor electroacústico que convierte una señal eléctrica en energía acústica. Para esto, el altavoz convierte los impulsos eléctricos en energía mecánica la cual produce movimiento al diafragma, creando vibraciones en el aire. Dependiendo de la cantidad de movimiento se obtiene una potencia sonora y frecuencia distinta (GA, 2003).

La forma de clasificar a los altavoces puede ser similar a los micrófonos por la forma en la cual están contruidos, electrostáticos y dinámicos; así como también por las frecuencias que son capaces de reproducir, lo cual se puede apreciar en la figura 17-1. En la cual se los puede clasificar en tres grandes grupos.

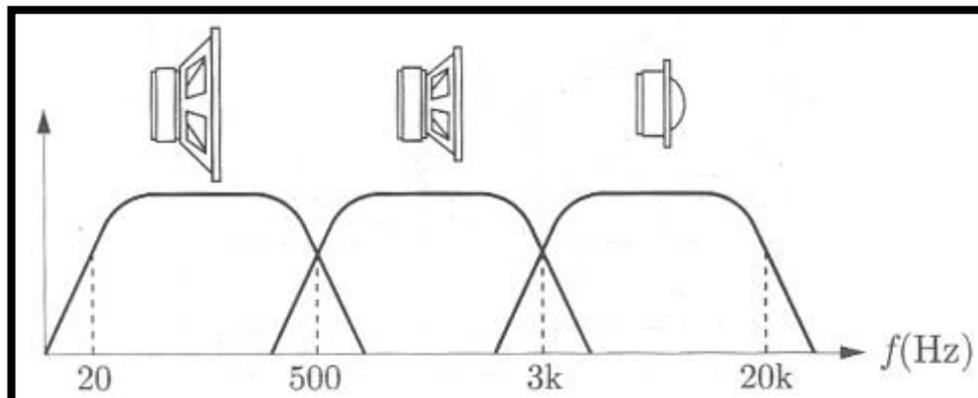


Figura 17-1: Rango de frecuencias de un Woofer, Squawker y Tweeter.

Fuente: <http://bit.ly/2Dq9S0E>

1.5.2.1 *Altavoces agudos o Tweeter*

Son transductores diseñados para el rango alto del espectro de las frecuencias audibles por el ser humano. Normalmente trabaja desde los 2kHz o 3kHz hasta los 18KHz o 20KHz. Físicamente son los de menor tamaño y delicados; por lo cual la etapa de filtraje de audio previo debe poseer una etapa con una elevada pendiente para su protección.

1.5.2.2 *Altavoces medios o Squawker*

Son altavoces destinados para el rango central de las frecuencias audibles. Son de un tamaño intermedio y usados para restar el rango de frecuencias en los cuales deban trabajar tanto el tweeter como el woofer. Debido a su construcción se los puede clasificar en dos categorías: cúpula o cono.

1.5.2.3 *Altavoces graves o Woofer*

Son altavoces diseñados para reproducir el rango bajo de las frecuencias audibles. Son los de mayor tamaño el cual también será un factor determinante en el rango de respuesta. Mientras mayor sea su diámetro el rango de frecuencias que será capaz de reproducir con una menor distorsión será más bajo (InforAudio, s. f.).

En caso de ser capaz de reproducir un rango de frecuencias de valores cercanos a los 20Hz, se denomina a estos tipos de altavoces como subwoofer. La diferencia física de tamaños entra cada tipo de altavoces es reflejado en la figura 18-1.

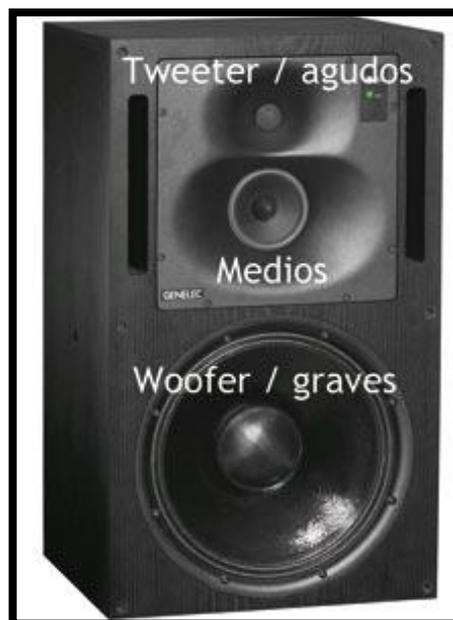


Figura 18-1: Caja acústica con distintos altavoces.

Fuente: <http://bit.ly/2XDIwf7>

1.6 Interferencia electromagnética

A las interferencias electromagnéticas (EMI) se las puede definir como aquellas emisiones de energía o ruido electromagnético que genera un efecto negativo; el cual perjudica la calidad de las señales en la entrada o salida de un sistema. Con lo que se obtiene como resultado un funcionamiento defectuoso del mismo (Ferrer, 2014).

Las interferencias pueden ser un problema ocasional como un problema que convierta en totalmente inutilizable a un sistema (A.T.U.S., 2013). Además de que solo se puede hablar de una interferencia cuando exista un mal funcionamiento en la respuesta obtenida en la salida del sistema. El esquema presentado en la figura 19-1, muestra la secuencia en la cual actúa las señales EMI al afectar un equipo con problema de compatibilidad electromagnética (EMC).

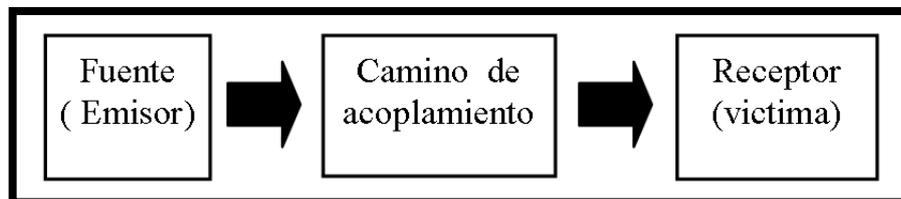


Figura 19-1: Esquema básico de un problema EMC
Fuente: <http://bit.ly/2vbUikD>

Una interferencia considerada como grave no es usual en los sistemas, por ser necesario solo tomar simples precauciones para ser evitadas. Existen tres recomendaciones para mitigar los efectos causados por las señales EMI en un equipo, de las cuales es aconsejado aplicar por lo menos uno de ellas. Las cuales son:

- Supresión de la fuente de emisión del ruido.
- Proteger el acoplamiento contra EMI.
- Hacer el receptor más robusto contra EMI.

Existen tres tipos de señales EMI, las cuales son: eléctrica, intermodulación y radio frecuencia (RFI).

1.6.1 Interferencia Eléctrica

Son producidos por defectos, fallos o problemas existentes en el diseño o mantenimiento de equipos que funcionen con electricidad. Se puede dividir en tres tipos básicos: ruido del equipo eléctrico, ruido generado por dispositivos electrónicos y la interferencia de fuentes naturales, como son los relámpagos.

La maquinaria eléctrica y los sistemas de iluminación son fuente de esta clase de interferencia. Como resultado de la formación de arcos eléctricos y descargas necesarias para su funcionamiento. Además equipos como controladores de temperatura, velocidad de motores y reductores de luz pueden causar este tipo de EMI.

1.6.2 Intermodulación

Se produce por señales fuertes que generalmente no están cerca de la frecuencia de trabajo en la cual está funcionando un sistema inalámbrico de transmisión de información. Estas señales fuertes sobrecargan algún circuito en el receptor inalámbrico, originando que el circuito genere internamente armónicos fruto de esas señales fuertes.

Estos armónicos se combinan en el receptor con la señal que contiene la información transportada, para crear una nueva señal que difiere de la enviada desde el transmisor.

1.6.3 Interferencia de Radio Frecuencia

Este tipo de EMI es causado por las señales de radio frecuencia (RF) que se encuentran cercanas de la frecuencia del receptor inalámbrico afectado. Las señales que interfieren pueden ser resultado de una transmisión intencional, en el caso de frecuencias de radios y televisoras; o con un origen involuntario resultado de algún defecto o característica no deseada de la fuente.

No es necesario que la señal de interferencia esté exactamente en la misma frecuencia que el sistema inalámbrico para que sea problemático. Las señales fuertes de radio frecuencia que estén cerca de la frecuencia de los sistemas inalámbricos pueden afectar al funcionamiento del receptor inalámbrico, al causar problemas con los datos en su recepción.

1.7 Acondicionamiento de señales

La información contenida dentro de las señales no es de utilidad a menos que pueda ser extraída y analizada. En el proceso de adquisición de información se pueden presentar ruidos externos, los cuales alteran la señal original dificultando su interpretación y utilización, por lo cual dependiendo de las necesidades deberán ser filtradas o amplificadas.

Para el acondicionamiento de una señal es necesario la presencia de etapas de filtrado, las cuales eliminan aquella información irrelevante; y una etapa de amplificación, con el objetivo de obtener una señal que pueda ser correctamente analizada por el sistema. Se toma en cuenta los problemas y necesidades para la selección de los distintos filtros y amplificadores.

1.7.1 Etapa de filtrado

Cuando una señal esta mezclada con señales parasitas que dificultan su distinción, se puede recurrir al método de separación de estas por medio de la distribución de las frecuencias. Se analiza y determina el rango de frecuencias en las cuales está la señal deseada para atenuar o cancelar aquellas zonas que no son de interés para el análisis de la información (Moreno, 2009).

Con esto se busca mejorar la calidad en señales con interferencias. Los filtros son clasificados en dos grandes grupos: filtros activos y filtros pasivos. En la tabla 1-1 son listados las ventajas y desventajas de cada uno de estos filtros.

Tabla 1-1: Comparación de ventajas y desventajas entre filtros activos y pasivos

	Filtros Pasivos	Filtros Activos
<i>Elementos</i>	<ul style="list-style-type: none">• Resistores• Capacitores• Inductancias	<ul style="list-style-type: none">• Resistores• Capacitores• Inductancias• Amplificadores operacionales
<i>Ventajas</i>	<ul style="list-style-type: none">• Baratos• Fáciles de implementar• Respuesta aproximada a la función ideal	<ul style="list-style-type: none">• Implementación en cascada• Producen ganancia
<i>Desventajas</i>	<ul style="list-style-type: none">• Respuesta a frecuencia limitada por los componentes pasivos• Dificultad en conseguir elementos	<ul style="list-style-type: none">• Necesita fuente de alimentación• Limitaciones de señal• Límites de alta frecuencia

Realizado por: Vallejo D. 2019

Fuente: <http://bit.ly/2vniBML>

1.7.1.1 Filtros Activos

Su construcción se da gracias a la unión de elementos pasivos como resistencias y capacitores con el uso de amplificadores operacionales, los cuales son encargados de aislar o acoplar las señales al mismo tiempo que las pueden amplificar (Boylestad y Nashelsky, 2009). Existen de diversos tipos, siendo los más básicos: pasa-bajas, pasa-altas y pasa-bandas.

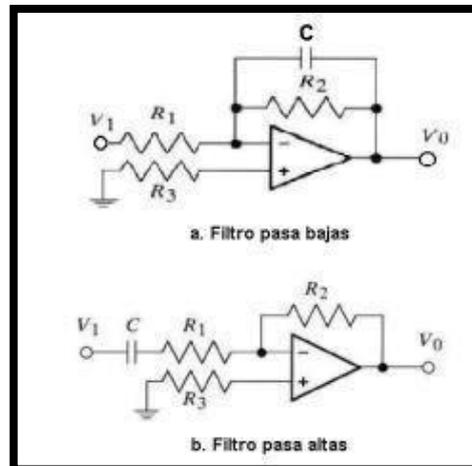


Figura 20-1: Diagrama filtros activos
Fuente: <http://bit.ly/2UMmV72>

Dependiendo de la frecuencia en la cual se encuentra la señal, y aquella para la cual ha sido diseñado cada filtro se obtendrá un resultado distinto. Un filtro pasa-bajo es aquel que da una salida constante con valores de frecuencias que sean menores de la frecuencia de corte del filtro, aquellas frecuencias superiores sufrirán una atenuación.

La reducción de la señal será de -20dB por década, en una escala logarítmica, con un diseño de primer orden. Al aumentar el orden del filtro aumenta su pendiente de forma proporcional (Cabrera, 2005). El mismo funcionamiento se encuentra en filtros pasa-altos, que permiten el paso de frecuencias mayores a su frecuencia de corte, y atenúa aquellas que sean menores.

Para obtener un filtro pasa-banda son necesarias dos etapas, las cuales se deben colocar en secuencia (Acevedo, 2011). La combinación de filtros pasa-bajos y pasa-altos son los que dan como resultado el paso de un rango de frecuencias, atenuando aquellas señales que se encuentren fuera del mismo. Por lo cual existen frecuencias de corte superior e inferior.

1.7.2 Amplificadores de audio

Aquellos amplificadores que su frecuencia de trabajo está dentro del rango audible son aquellos considerados amplificadores de audio. Entre los más comunes están los circuitos activos, que usando la potencia que le brinda una fuente de energía externa, para que sea aumentada la potencia de la señal en la salida del circuito.

En el proceso de amplificación se intenta mantener la forma de la señal, o disminuir la distorsión producida al mínimo. Su trabajo está regido por las leyes de la termodinámica. La potencia de salida no puede exceder a la potencia que brinda la fuente (Picerno, 2009). Dependiendo de su funcionamiento se los ha clasificado en amplificadores clase A, B, AB, C y D.

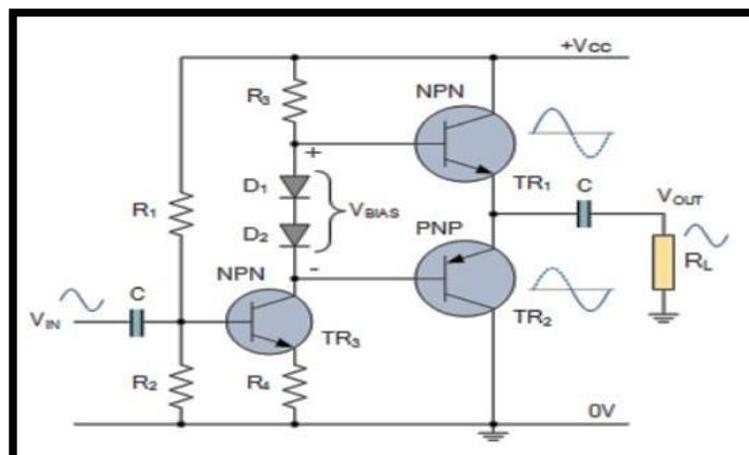


Figura 21-1: Diagrama amplificación de audio – clase AB

Fuente: <http://bit.ly/2vbUikD>

1.7.2.1 Amplificadores de clase A

Esta clase de amplificadores tienen de característica que la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante todo el período de la señal de entrada. Por lo cual hay un gran consumo de energía incluso cuando no hay una señal de entrada.

Estos amplificadores tienen problemas de sobrecalentamiento ya que la mayoría de la energía consumida es disipada en forma de calor. Por lo cual su eficiencia es muy baja incluso cuando su calidad de sonido es alta debido a su reducida distorsión de cruce por cero. Conjuntamente con un elevado costo que lo sitúa solo en equipos de gama alta.

1.7.2.2 Amplificadores de clase B

Un amplificador de potencia funciona en clase B cuando la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada, poseen valores característicos que hacen que la corriente de salida circule durante un semiperíodo de la señal de entrada.

1.7.2.3 Amplificadores de clase AB

Son un diseño híbrido entre los amplificadores de clase A y B. La tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores que permiten a la corriente de salida circular durante menos de un período y más de un semiperíodo de la señal de entrada. Consumen menos corriente que los de clase A.

Su sonido es muy bueno, pero poseen una distorsión que es algo más elevada respecto de las etapas de potencia de clase A. En sistemas de audio de calidad suelen usarse estas dos clases y la D, que posee una eficiencia energética del 80% pero con una distorsión un poco más elevada que las de clase AB.

1.7.2.4 Amplificadores de clase C

Un amplificador de potencia funciona en clase C cuando la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante menos de un semiperíodo de la señal de entrada. Su uso es exclusivo para RF. Utiliza como carga un circuito tanque.

1.7.2.5 Amplificadores de clase D

Aunque estos tipos de amplificadores se usan mayormente para aplicaciones especiales como amplificadores de guitarras, de bajos y de amplificadores para subwoofers; se los puede usar para todo tipo de aplicaciones que incluyen a los amplificadores de Alta Fidelidad. Con esta clase se obtiene amplificadores incluso más pequeños que los de clase AB y más eficientes.

Los amplificadores de clase D usan técnicas de modulación de pulsos para obtener mayor eficiencia. Usan transistores que están encendidos apagados, por lo que consumen la menor cantidad de corriente posible. También, son más eficientes que los de clase A, clase AB, o clase B. Los amplificadores clase D son buenos principalmente por su eficiencia.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLOGICO

2.1 Descripción del prototipo

El prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos para diferenciar sonidos provenientes del área torácica del ser humano, busca dar una alternativa al método tradicional de enseñanza de los métodos de auscultación. En el cual se utiliza el modelo acústico biauricular, que ha sido desarrollado para ser usado en el ejercicio profesional de quienes se han formado en especialidades relacionadas a la salud.

Su ventaja frente a la metodología que se aplica actualmente, es crear una experiencia audible simultánea entre lo escuchado por el médico especialista en el área de la salud y aquellos estudiantes en proceso de formación. En adición, este prototipo permite la grabación de aquellos sonidos, y su análisis posterior. Siguiendo la secuencia de actividades mostrada en el gráfico 1-2.

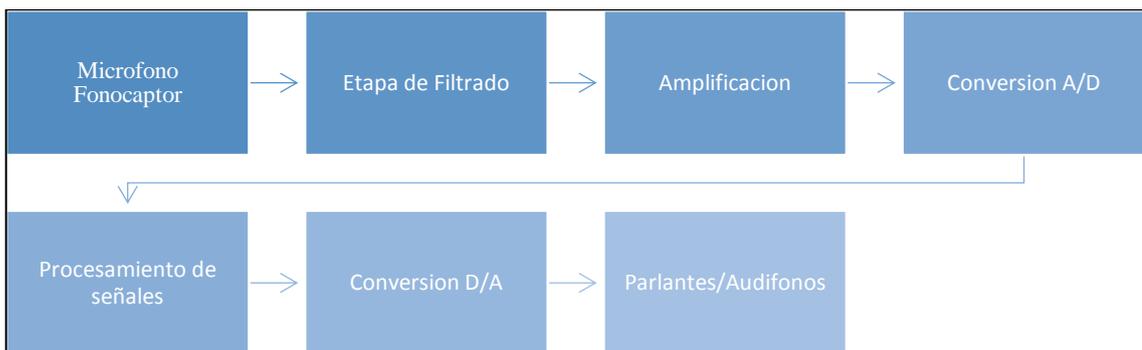


Gráfico 1-2: Diagrama de bloques de funcionamiento

Fuente: Vallejo D. 2019

Se necesita de un transductor de sonido, el cual sea capaz de registrar los sonidos provenientes del área torácica del ser humano, brindando la mayor ganancia posible. Se debe eliminar en lo posible ruidos externos que perjudiquen el proceso de auscultación, por lo cual la señal debe ser filtrada; para obtener la mejor señal sonora posible.

El sonido ingresa por medio de una tarjeta de conversión analógica-digital (ADC) en una SBC, la cual ejecuta dos funciones específicas: la primera es la reproducción del sonido en tiempo real

por un canal de salida de audio, y la segunda es la tarea de almacenamiento, análisis y mostrarlo visualmente en una pantalla para su explicación y estudio más detallado.

El algoritmo de análisis reconoce patrones de amplitud de volumen característicos del primer y segundo ruido cardíaco, que son notoriamente elevados en relación con el tercero y cuarto, para determinar el tiempo de separación entre ellos y poder calcular la frecuencia cardíaca del paciente que ha sido auscultado.

2.2 Requerimientos del prototipo

Este prototipo tiene como finalidad un uso didáctico, por lo cual debe cumplir diversos requisitos, en la parte del hardware y software. Todo está orientado hacia el ambiente de aprendizaje en donde las tecnologías de la información son aplicadas por especialistas del área de la salud, para la formación académica de profesionales de las ciencias de la salud.

Su diseño debe ser sencillo para transportar, y para su ensamble previo al uso. Similar a la sencillez con la cual es utilizado cualquier equipamiento tecnológico de un salón de clases. Debe poseer una forma similar a los fonendoscopios acústicos. El diagrama de sus componentes se ve reflejado en la figura 1-2.

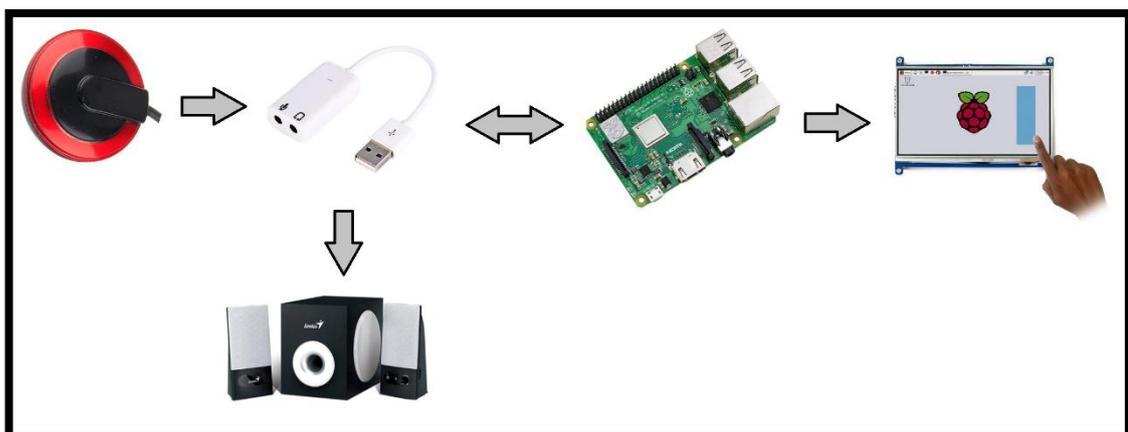


Figura 1-2: Arquitectura general del prototipo de fonendoscopio.
Fuente: Vallejo D. 2019

El procesamiento de la señal es efectuado mediante una secuencia de actividades en las cuales se comienza con el proceso de grabación del sonido, proveniente del proceso de auscultación por medio de la tarjeta de audio; la cual realiza la función de conversión digital-análogo (DAC) y ADC.

Se realiza un pre-procesamiento de la señal grabada, la cual sirve para elaborar un fonograma de la misma. A esta representación gráfica del sonido se extrae aquellos valores extremos de amplitud que representan tanto al primer como segundo ruido cardiaco, los cuales son de interés para el análisis.

En la secuencia final del algoritmo de programación, se calcula el tiempo transcurrido entre cada uno de estos ruidos, para determinar la frecuencia cardiaca de la persona a la cual se ha realizado el proceso de auscultación. Todo este proceso queda expresado de forma visual en el gráfico 2-2.

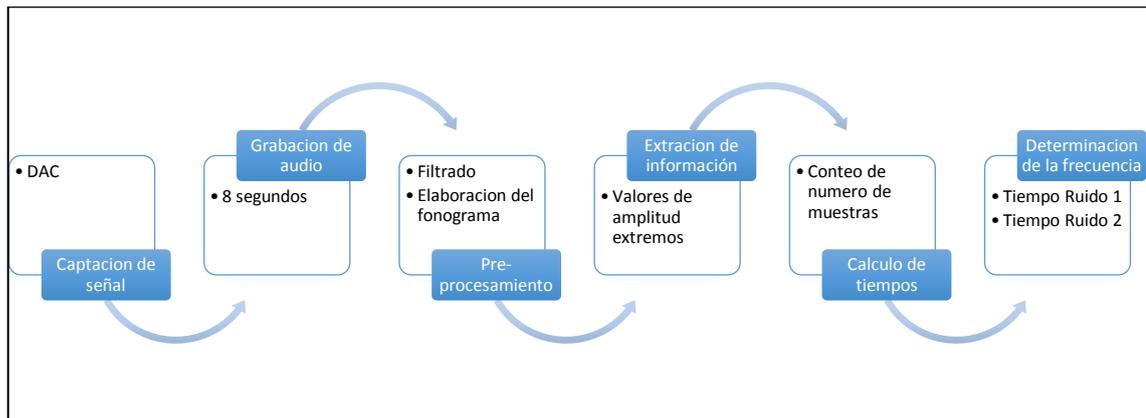


Gráfico 2-2: Procesamiento de señales
Fuente: Vallejo D. 2019

2.3 Diseño del prototipo

El diseño es un proceso sistemático, el cual debe cumplir con varios aspectos para que se pueda considerar que se ha desarrollado una correcta labor (Garcia et al., 2009). Se decide dividir la problemática en diversas etapas, lo cual permite un trabajo más especializado en cada una de ellas; con el fin de obtener un mejor resultado.

El proceso de diseño se separa en dos partes principales, las cuales se las desarrolla en paralelo; estas son la parte física (hardware) y la programación (software); que son utilizados por el prototipo. Para su desarrollo se toma en cuenta las características ambientales y necesidades de un salón de clases.

2.3.1 Desarrollo del hardware

Se divide la parte física del prototipo en cuatro etapas de adquisición de información, las cuales son previas al análisis y procesamiento de la señal; y una etapa posterior para mostrar el resultado

del proceso de auscultación en tiempo real. El medio usado para presentar el resultado debe cumplir con ciertas características.

El sistema es alimentado con baterías por dos razones principales: evitar el ruido y señales EMI que se genera en los 60Hz por la presencia de fuentes de alimentación, conectadas a la red de energía alterna; y obtención de mayor libertad de movimiento del dispositivo, en relación con fuentes conectadas a un punto fijo.

Para el proceso de adquisición del sonido proveniente de la zona torácica, se necesita de un transductor de alta sensibilidad y con una respuesta lineal en el rango de frecuencias menores a los 5kHz. Esta señal obtenida será la parte medular del prototipo, en torno a la cual se desarrolló todo el sistema del estetoscopio.

Se decide usar un transductor piezoeléctrico, como el mostrado en la figura 2-2; para captar el sonido proveniente del corazón. La selección de este fonocaptor es debido a su capacidad de registrar el sonido cardíaco, como vibraciones en la pared torácica de un ser humano; al mismo tiempo que no registra sonido existente en el ambiente.



Figura 2-2: Micrófono piezoeléctrico
Fuente: Vallejo D. 2019

La etapa de filtrado esta implementada con dos circuitos integrados TLV2254A, los cuales son OPAMs de bajo nivel de voltaje. Son utilizados en aplicaciones alimentadas por baterías, porque la corriente necesaria para energizar el circuito es nominalmente de 34 μ A por canal, además del rango de voltaje va desde los 3V hasta los 5V.

El diseño del filtro pasa altas necesita tener una frecuencia de corte de 15Hz, para eliminar la señal generada por la corriente continua. Esto es seguido por un filtro pasa-bajas con frecuencia

de corte de 800Hz para eliminar todos aquellos sonidos ambientales, que son perjudiciales en el proceso de auscultación. La figura 3-2 muestra el circuito de filtros activos.

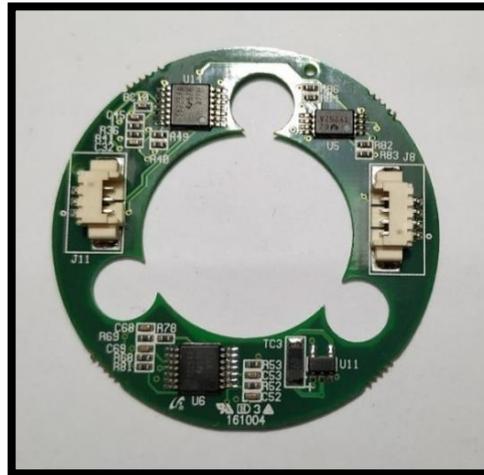


Figura 3-2: Circuito de filtros activos
Fuente: Vallejo D. 2019

El sonido resultante de este proceso, es reproducido en el interior de una manguera de silicona de grado médico; la cual tiene características similares a las mangueras usadas por estetoscopios acústicos. Esto sirve para dar una sensación similar al uso de modelos acústicos. En la cual el sonido será dirigido hacia un micrófono electret como se muestra en la figura 4-2.



Figura 4-2: Micrófono Electret
Fuente: Vallejo D. 2019

La señal obtenida por el segundo micrófono es filtrada y amplificada, previo a ingresar en la tarjeta ADC que permite su ingreso en el SBC; debido a la baja potencia. Este proceso es realizado en dos etapas diferentes, las que son efectuadas en un solo circuito impreso.

El diagrama eléctrico del circuito que realiza estas acciones es el mostrado en la figura 5-2: está conformado por un circuito preamplificador de micrófonos Electret, el cual está conectado por medio de un filtro pasa altas, con un circuito amplificador de potencia de audio desarrollado en base del integrado TDA2822M.

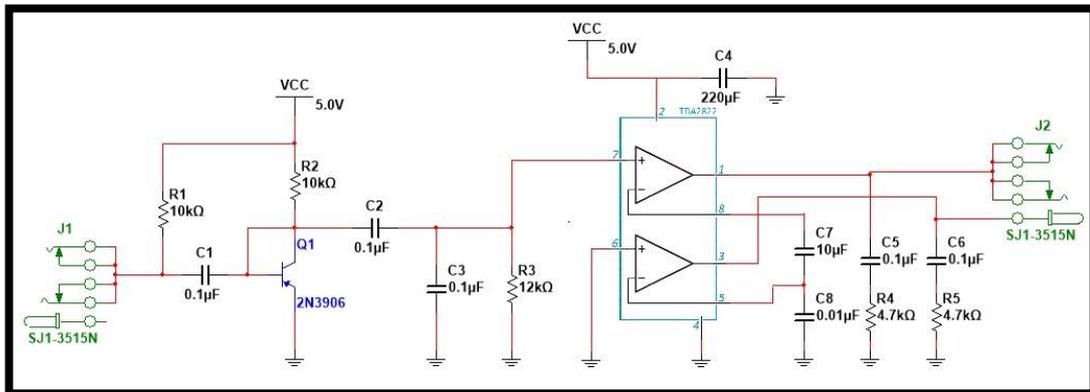


Figura 5-2: Circuito de amplificación y filtrado para micrófono Electret
Fuente: Vallejo D. 2019

El circuito preamplificador, que se lo puede visualizar en la figura 6-2; está diseñado alrededor del transistor 2N3906. Este circuito es el encargado de energizar el micrófono por medio de la resistencia R1 de 10KΩ, lo cual permite que se pueda captar señales débiles con un menor ruido, debido a que se necesita una menor sensibilidad por parte del amplificador interno existente en el micrófono Electret.

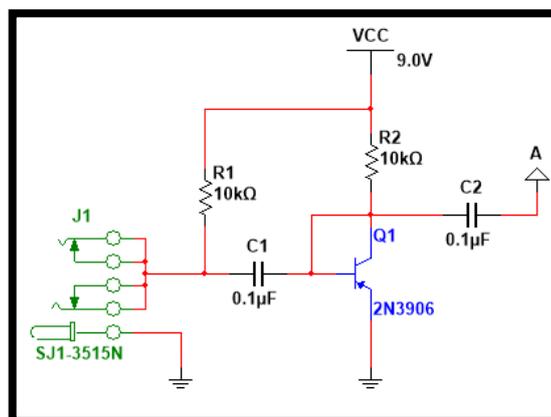


Figura 6-2: Preamplificador micrófono Electret
Fuente: Vallejo D. 2019

El capacitor C1 de 0.1μF filtra la componente DC previo a su ingreso en el transistor Q1. La resistencia R2 polariza el transistor, que se encuentra en configuración de Emisor común, mientras que la conexión entre su Colector y Base por medio de un corto circuito tiene doble propósito:

polarizar la Base de Q1 para establecer un punto de trabajo óptimo e introducir una realimentación negativa que da estabilidad y linealidad al circuito.

La señal pre-amplificada por el transistor Q1 ingresa a una nueva etapa de amplificación por medio del capacitor C2. El capacitor C3 sirve como filtro de altas frecuencias que son consideradas ruido. Para la amplificación de esta señal, se implementó el circuito integrado TDA2822M en modo de amplificador de puente, o monofónico.

La selección de este amplificador corresponde a ser de clase AB, por lo cual es de un bajo consumo energético, bajo nivel de distorsión de la señal, buena calidad de audio a un costo muy reducido. El diagrama electrónico en la figura 7-2 muestra sus conexiones, siendo el pin 7 el ingreso de la señal desde el pre-amplificador; y los pines 1 - 3 los que entreguen la señal amplificada.

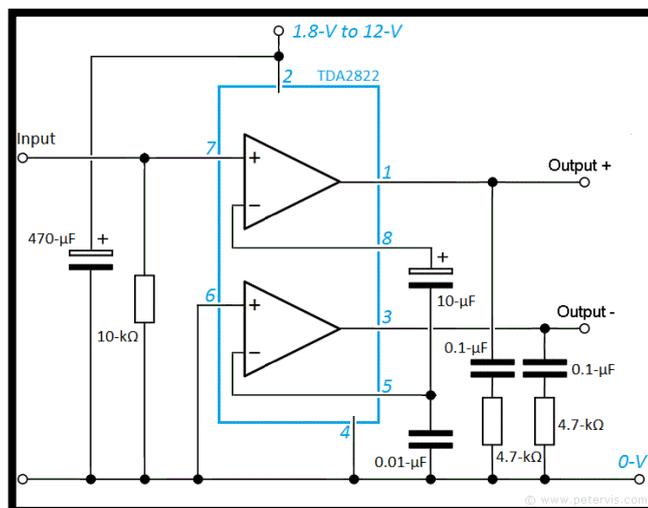


Figura 7-2: TDA2822m en configuración puente
Fuente: Vallejo D. 2019

Además se ha seleccionado este CI por ser desarrollado con la finalidad de ser utilizado en dispositivos móviles. Su diseño es compacto, al estar en un encapsulado MINIDIP de 8 pines, necesita una corriente de 6mA para un trabajo normal con un voltaje de 9v; lo que en conjunto con el pre-amplificador es un consumo total de 6.5mA.

Para la conversión ADC de la señal, se utiliza una tarjeta de audio USB; debido a que las placas SBC normalmente no poseen esta característica; esta clase de tarjetas también incluyen integrados DAC, lo cual es usado la salida de audio. Donde es conectado los parlantes o audífonos que son usados para la escucha del sonido proveniente del proceso de auscultación.

Debido a las características de baja frecuencia del sonido que se desea escuchar; los parlantes deben poseer un woofer o subwoofer, que son los altavoces con capacidad de reproducir frecuencias menores a 500Hz. Se ha seleccionado al conjunto de parlantes Genius SW-F2.1 500, mostrado en la figura 8-2.



Figura 8-2: Parlantes Genius SW-F2.1 500
Fuente: <http://bit.ly/2VhGCDy>

Este sistema de parlantes tiene una respuesta en frecuencia desde los 30Hz hasta los 20KHz en una configuración del sistema de 2.1 canales. El subwoofer posee una potencia RMS de 6W con un diámetro de 102mm, amplificación interna activa y necesita de una conexión AC. También posee dos tweeter de 3W, lo que da una potencia total del sistema de 12W.

Los audífonos que se utilizan deben ser de igual forma capaces de trabajar en este rango de frecuencias. Se ha escogido el uso de Skullcandy Hesh 2.0 (S6HSDZ-058). Los mismos que tienen una impedancia de 35Ω , un rango de frecuencias de 20Hz a 20KHz y un tamaño de 50mm de diámetro.

Para la selección de la SBC a ser utilizada se considera las características del procesador, memoria RAM, necesidad de las conexiones disponibles para audio y video, memoria RAM, opciones de conectividad de datos, así como audio y video; y finalmente el SO. En la tabla 1-2 están mostradas estas características de modelos de alto desempeño.

La información mostrada es utilizada para la toma de una decisión en la selección.

Tabla 1-2: Comparación de características de computadores de placa reducida

<i>Placa</i>	ASUS	Banana Pi	ODROID-		Raspberry PI
<i>Características</i>	Tinker Board S	m64	C2	PINE A64+	3 B+
<i>Procesador</i>	Rockchip RK3288 ARM Cortex-A17 Quad Core 1,8 GHz	ARM Quad Core Cortex-A53 1,2 GHz	Amlogic S905 SoC 4 x ARM Cortex-A53 1.5GHz 64bit ARMv8	Quad-Core ARM Cortex A53 64-Bit	Broadcom BCM2837B0 Quad Core Cortex-A53 64 bits 1,4 GHz
<i>Memoria RAM</i>	2 GB LPDDR3	2 GB DDR3	2 GB DDR3	Hasta 2GB DDR3	1 GB LPDDR2
<i>Conectividad</i>	Gigabit Ethernet, Wifi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.0 + EDR	Gigabit Ethernet, Wifi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.0	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet, Wifi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.0	Gigabit Ethernet, Wifi dual. 802.11 b/g/n/ac, Bluetooth 4.2
<i>USB</i>	4 x USB 2.0	2 x USB 2.0	4 x USB 2.0 + 1 x USB 2.0-OTG	2 x USB 2.0	4 x USB 2.0
<i>Salida de video</i>	HDMI-CEC, MIPI DSI	HDMI 1.4, MIPI DSI	HDMI 2.0	MIPI DSI	HDMI, MIPI DSI
<i>Salida de audio</i>	3.5mm Jack, HDMI	3.5mm Jack, HDMI	HDMI/I ² S	3.5mm Jack	3.5mm Jack
<i>Potencia</i>	5V, 2A – 3A	5V, 2A	5V, 2A	5V, 2A	5V, 2.5A
<i>SO</i>	Android 6, Debian 9	Android, Linux	Android, Linux	Android, Linux, Remix OS, Windows	Linux, Raspbian
<i>Costo</i>	\$78.14	\$72.39	\$83.53	\$45	\$41.70

Realizado por: Vallejo D. 2019

Fuente: <http://bit.ly/2GBtIXy>

Los requerimientos del sistema son cubiertos por casi todas las SBC, por lo cual la decisión final es tomada debido al costo y la disponibilidad en el mercado local. Por lo cual la Raspberry PI 3 B+ resulto escogida; en la cual está instalado el SO Raspbian por recomendación del fabricante por garantizar estabilidad en el trabajo.

2.3.2 *Desarrollo del software*

Una vez digitalizada la señal proveniente del proceso de auscultación, esta es sometida a un proceso de análisis que permita al estudiante de medicina o médico profesional utilizar esa información reiteradamente. Por lo cual se considera necesario un registro sonoro y visual del proceso de auscultación realizado. Lo cual está siguiendo la lógica mostrada en la gráfico 3-2.

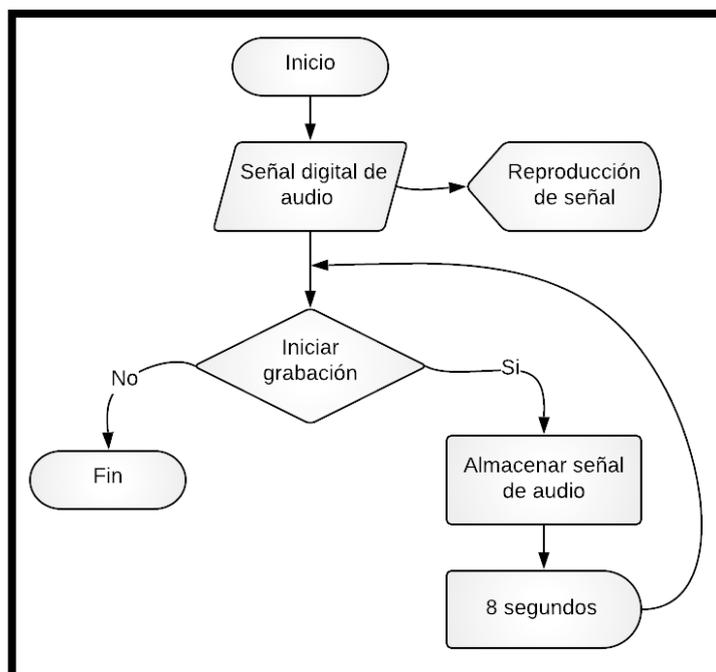


Gráfico 3-2: Diagrama de flujo grabación
Fuente: Vallejo D. 2019

Para el registro sonoro, la señal obtenida es almacenada en un archivo de audio con período limitado de tiempo. El momento para el inicio de esta grabación debe ser escogido por el profesional de la salud, por lo cual es necesario una opción que permite realizar esta tarea. De forma adicional se toma en cuenta que cuando se esté realizando esta actividad, se debe evitar cualquier tipo de interferencia con el fin de obtener la señal deseada.

El sonido almacenado del proceso de auscultación es analizado por el algoritmo de programación, el cual debe ser capaz de detectar los picos de señal; que representan el momento en el cual es posible escuchar al primer y segundo ruido cardíaco. Esto sirve para conocer la frecuencia cardíaca de la persona examinada.

2.4 Implementación del prototipo

La implementación es desarrollada en forma secuencial para corregir aquellos inconvenientes existentes en su funcionalidad. Se comenzó por la parte lógica de la programación; para dejar la implementación física como segunda etapa de la construcción del prototipo. La programación se desarrolla íntegramente con el lenguaje Python y las librerías listadas en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Librerías de Python utilizadas.

Librería	Nombre utilizado	Función
Csv		Leer archivos CSV
Math	M	Acceso a funciones matemáticas
Matplotlib		Producción de graficas
matplotlib.pyplot	plt	
Numpy	np	Procesamiento de objetos multidimensionales
Os		Funcionalidad para operaciones dependientes del sistema
PIL		Capacidad para procesamiento de imágenes
Pyaudio		Interacción de Python con tarjetas de I/O de audio
Random		Generación de números pseudo-aleatorios
scipy.io.wavfile	waves	Manipulación de archivos .WAV en Python
Struct		Conversión entre valores de Python y estructuras C
Sys		Acceso a variables del sistema
Threading		Operaciones en paralelo por medio de subprocesos
Time		Funciones de tiempo
TKinter	Tk - tk	Creación de interfaces graficas
Wave		Interface para trabajar con el formato de sonido WAV

Realizado por: Vallejo D. 2019

Las librerías como “math” y “numpy” son utilizadas para realizar operaciones como la transformada rápida de Fourier, la cual es la encargada del análisis de la grabación y puesta en un vector de datos que pueda ser analizado por el programa. La interfaz gráfica es desarrollada con la herramienta “TKinter”.

La primera función creada es la grabación de audio, la cual almacena el sonido con una extensión .WAV; que es fácilmente almacenada y compartida por su uso generalizado. Las librerías “scipy” y “pyaudio” son necesarias para ser capaces de manejar esta clase de información en la programación desarrollada.

En el análisis se realiza una FFT de la señal almacenada en la memoria del dispositivo. El cual compara cada instante de la grabación en busca de picos de señal que representan el primer y segundo ruido. En el instante que son detectados, son almacenados en el archivo “tiempos.csv” para ser visualizados posteriormente. Todo este proceso se expresa gráficamente en el diagrama de flujo de la gráfico 4-2.

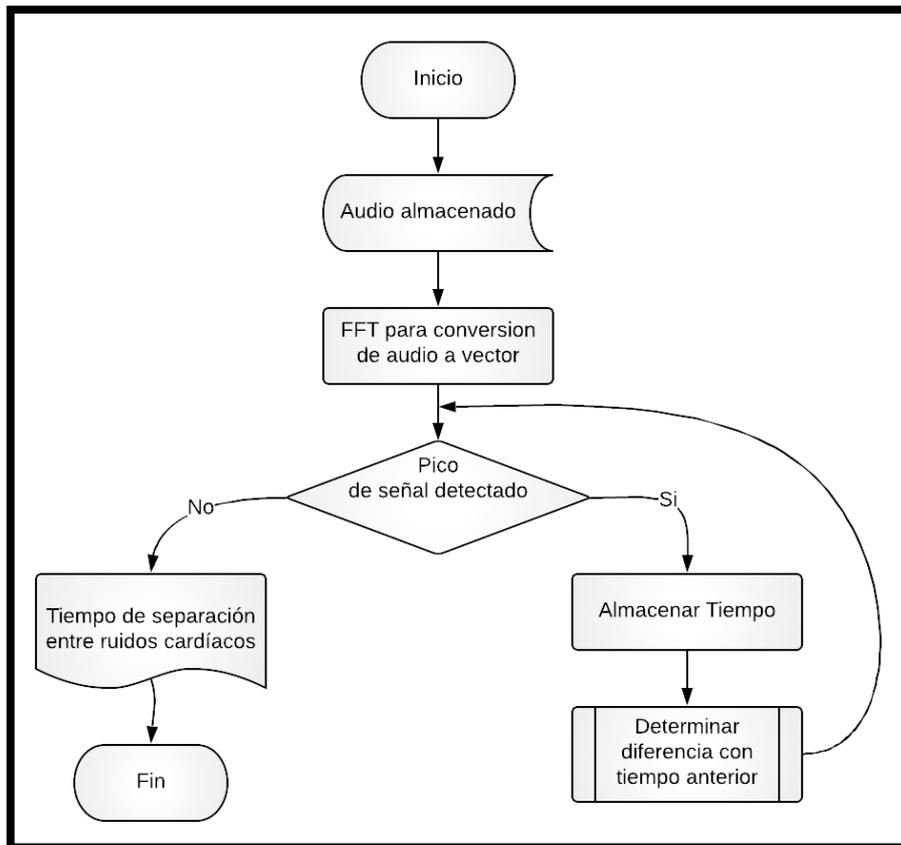


Gráfico 4-2: Diagrama de flujo análisis de audio
Fuente: Vallejo D. 2019

La programación dispone de una ventana la cual muestra los resultados del análisis realizado, mediante un gráfico de la amplitud de la señal en función del tiempo (fonograma); además de un listado del tiempo transcurrido entre cada uno de los ruidos cardíacos.

Para la construcción de la parte física del prototipo se tomó como base un micrófono piezoeléctrico, encargado de captar los ruidos cardíacos. El sonido captado es filtrado por el circuito de filtros activos. El circuito alimentado por una batería de ion de litio de 3.7v, 620mAh, con una autonomía de 40 horas de trabajo.

La señal es reproducida en el interior de la manguera quirúrgica; la cual transporta el sonido obtenido hasta el micrófono Electret, como se observa en la figura 9-2; proceso que se realiza para obtener una señal que se pueda utilizar en el amplificador de potencia.



Figura 9-2: Manguera con micrófono Electret
Fuente: Vallejo D. 2019

El sonido captado por el micrófono electret es amplificado con el integrado TDA2822M, dando la ganancia necesaria para que la señal pueda ser detectada de la tarjeta de audio USB en el SBC Raspberry Pi 3 B+. Este circuito de amplificación es alimentado por una batería de 9v el cual tiene un consumo de corriente de 12mA, con una autonomía mayor de un mes. Este circuito es expuesto en la figura 10-2.

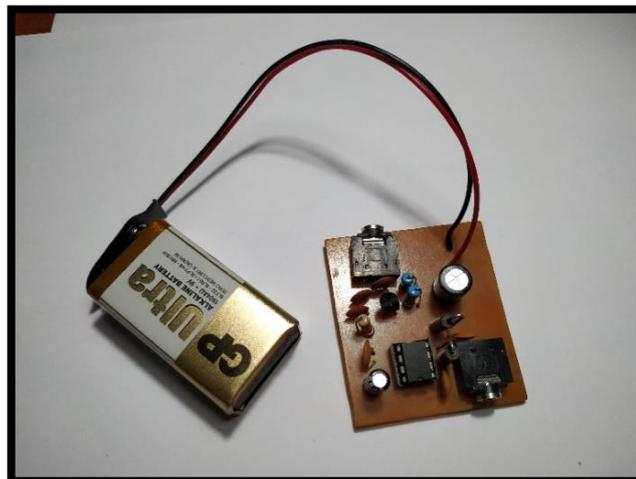


Figura 10-2: Circuito de acondicionamiento de la señal
Fuente: Vallejo D. 2019

La tarjeta de audio USB realiza la conversión de señal analógica-digital para el ingreso de información; así como la transformación digital-analógica que permite el funcionamiento en tiempo real del estetoscopio electrónico con fines didácticos; se utiliza una tarjeta como la mostrada en la figura 11-2. Para la reproducción del audio grabado se puede usar cualquier canal disponible en la SBC Raspberry Pi.



Figura 11-2: Tarjeta de audio USB
Fuente: <http://bit.ly/2KQ2EJs>

2.4.1 Análisis de respuesta de la señal

Es evaluado el comportamiento del micrófono piezoeléctrico seleccionado para ser ubicado en el fonocaptor del fonendoscopio, con una señal generada de forma artificial para comprobar su respuesta a los estímulos sonoros. El comportamiento de la señal obtenida se lo puede apreciar en la figura 12-2.

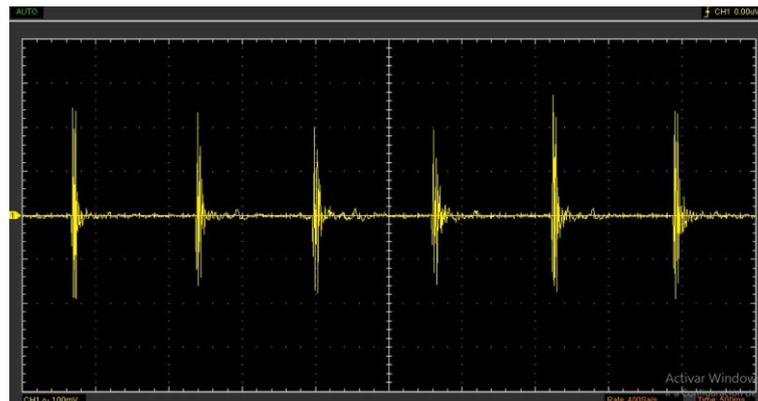


Figura 12-2: Señal captada por el micrófono piezoeléctrico
Fuente: Vallejo, D. 2019

Se aprecia que el ruido proveniente del ambiente no es captado de forma significativa por lo cual se considera adecuada la selección de esta clase de micrófono para realizar el procedimiento de auscultación. Del cual es obtenido un sonido con una amplitud de señal bajo el cual posee una gran cantidad de ruido.

En la figura 13-2 se puede apreciar la señal resultado de la auscultación directamente del micrófono. Se puede notar una periodicidad de la señal la misma que posee una amplitud reducida y gran presencia de ruido, lo cual dificulta su análisis tanto por software como visualmente.

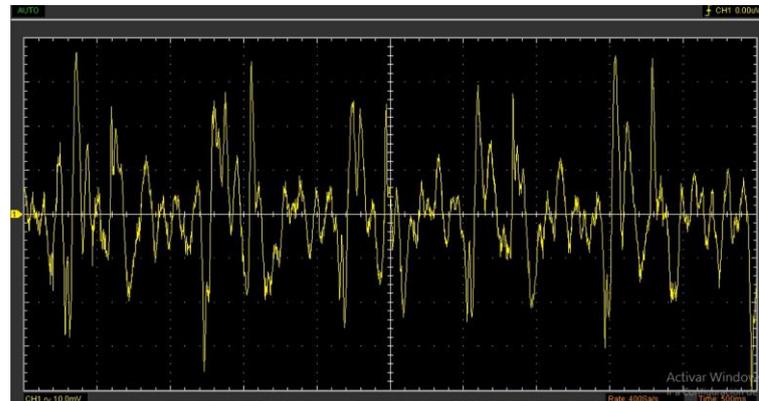


Figura 13-2: Auscultación a la salida del micrófono
Fuente: Vallejo, D. 2019

Se obtiene un voltaje pico a pico (Vpp) menor a los 80mV, el cual no puede ser detectado por la tarjeta de audio para ingresar su señal en la SBC y ser procesada. Por lo cual primero se aplica una etapa de filtrado utilizando amplificadores operacionales. El resultado de esta etapa de filtrado es mostrado en la figura 14-3.

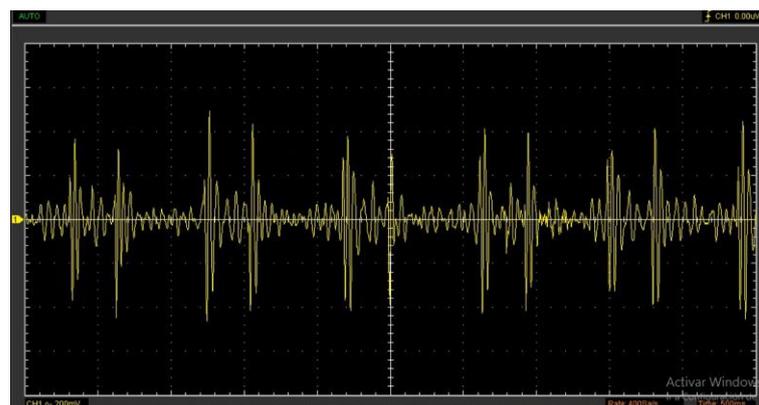


Figura 14-2: Señal filtrada y amplificada
Fuente: Vallejo, D. 2019

Con la primera etapa de filtrado se consigue una amplitud en la señal cercano a los 800mV con una baja cantidad de ruido. A pesar de esto la señal continua siendo demasiado débil para ser ingresada, por medio de la tarjeta de audio USB en la SBC Raspberry Pi; encargada de procesar la información proveniente del proceso de auscultación.

Por lo cual, en una segunda etapa de amplificación, se opta por usar un micrófono electret; los cuales poseen gran sensibilidad. Esto se realiza para que sea capaz de captar esta débil señal de audio y usar una nueva etapa de filtrado y amplificación. Como resultado de esta nueva etapa tenemos la señal visualizada en la figura 15-2.

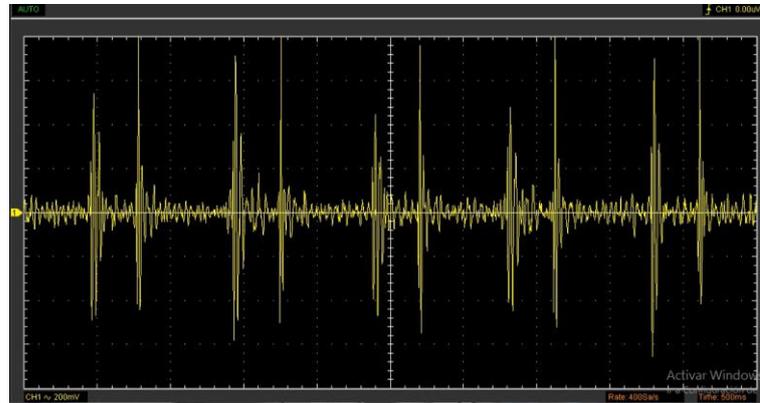


Figura 15-2: Señal amplificada

Fuente: Vallejo, D. 2019

En esta figura se muestra como la señal de audio ha logrado superar una amplitud de 1V. Con esta magnitud la señal es detectada por el algoritmo de análisis del sonido proveniente del proceso de auscultación del área torácica.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos, en torno al uso práctico del prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos propuesto en este proyecto. Se han realizado pruebas que permitieron determinar la utilidad del mismo, en el procedimiento de auscultación. Así como también la funcionalidad y fácil manejo que tiene el prototipo en un aula de clase.

Del mismo modo se presentan resultados comparativos, basados en la visión de los profesionales y estudiantes vinculados al área de la salud. Quienes son los principales beneficiarios de la propuesta de valor existente por la innovación en el prototipo presentado.

3.1 Pruebas del procedimiento de auscultación con el prototipo

En esta sección se describen los resultados de las auscultaciones realizadas con el prototipo de fonendoscopio electrónico, este procedimiento se llevó a cabo con el fin de comprobar en la práctica la calidad de la señal acústica captada, al momento de ser aplicado de manera didáctica.

El prototipo permite escuchar los dos ruidos más conocidos del ciclo cardíaco, en ese sentido con fines de análisis el Ruido 1 corresponde a la etapa de sístole, mientras que el Ruido 2 a la etapa de diástole. Cabe indicar, que la amplificación de las señales de los sonidos cardíacos captados por el prototipo está dada en decibelios (dB). Mediante la visualización gráfica se puede apreciar la interferencia de ruido a la señal de entrada.

Un fonendoscopio acústico puede captar sonidos que varían en un rango de entre los 5dB a los 20 dB, lo cual depende de las características del mismo, su marca y actualizaciones (3M|Littmann, s. f.); por otra parte mediante la visualización gráfica arrojada por el prototipo se puede apreciar la interferencia de ruido a la señal de entrada

La frecuencia captada a través del número de muestras que se ven reflejadas en los fonogramas, esto respalda la capacidad del prototipo de registrar datos que son de utilidad durante el procedimiento de auscultación. Esta información puede ser utilizada por los profesionales y

estudiantes para obtener datos reales sobre la frecuencia cardíaca de la persona sometida a una auscultación, en tiempo real y a posteridad.

Como referencia en torno a los rangos de frecuencia cardíaca normales que se pueden registrar durante un procedimiento de auscultación, a continuación se presenta la tabla 1-3 con el rango de valores que se tiene en cuenta al estimar la calidad de la señal auscultada.

Tabla 1-3: Rangos de frecuencia cardíaca según edades

Grupo	Edad	Nro. Latidos por minuto (BPM)
<i>Recién nacido</i>	Nacimiento – 6 semanas	120 – 140
<i>Infante</i>	7 semanas – 1 año	100 – 130
<i>Lactante mayor</i>	1 -2 años	100 – 120
<i>Pre-escolar</i>	2 – 6 años	80 – 120
<i>Escolar</i>	6 – 13 años	80 – 100
<i>Adolescente</i>	13 – 16 años	70 – 80
<i>Adulto</i>	16 – 65 años	60 – 80
<i>Adulto mayor</i>	65 años y más	65 – 75

Realizado por: Vallejo D. 2019

Fuente: <http://bit.ly/2VavAQi>

De este modo se presenta a continuación las pruebas de auscultación realizadas en diez diferentes personas, que a su vez se corresponden a cuatro grupos de edad distintos, lo cual ha aportado a comprobar la capacidad acústica del fonendoscopio con fines didácticos.

3.1.1 Prueba de auscultación en un infante

Para este caso se ha hecho las pruebas acústicas en un infante menor a un año de edad, los infantes según fuentes médicas normalmente poseen un ciclo cardíaco más acelerado debido a su etapa de vida, por tanto al momento de hacer la auscultación con el prototipo, la figura 1-3 arrojada desvelo una mayor continuidad entre los ruidos 1 y 2.

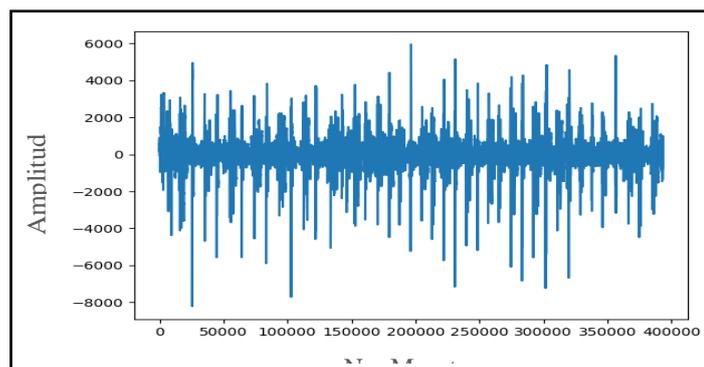


Figura 1-3: Fonograma de auscultación de un infante

Fuente: Vallejo D. 2019

En el fonograma obtenido se refleja la señal captada en la auscultación, la cual representa dos ruidos (sístole-diástole) que aparecen continuamente en grupos de dos. En el caso del infante se aprecia también una presencia alta de otros ruidos por el movimiento que realizan los infantes, aun cuando estos han sido filtrados.

Como se puede apreciar en la figura 1-3, la amplitud de señal captada por el prototipo ha alcanzado picos altos de 6,00 dB y bajos de -8,00 dB, que son generados por los ruidos producidos por el corazón del infante. En torno a la señal acústica audible reflejada en el fonograma se tienen picos de 2,00 dB a los 6,00 dB, lo que implica que el prototipo permite la captación de sonidos aun cuando estos sean casi imperceptibles.

Realizando un análisis relacional entre los niveles de amplitud alcanzados y los picos más altos registrados en ocho segundos establecidos como tiempo base en el prototipo, se tiene que la media de sonido en la auscultación del infante es de 4,00 dB, este valor en comparación a los niveles que pueden registrarse con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), indica que el prototipo capta niveles de sonidos más bajos, lo cual le daría mayor precisión.

Por otra parte, la media de sonido registrada para este caso está dada en relación a 14 latidos en 8 segundos, lo que implica un aproximado de 105 BPM, valor que se encuentra dentro del rango normal considerado para un infante.

A continuación en la tabla 2-3 se aprecian los datos relacionales de amplitud versus frecuencia.

Tabla 2-3: Amplitud en relación a frecuencia – caso infante

<i>Datos fonograma Infante</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
3,00	6
4,00	4
5,00	3
6,00	1
<i>Media: 4,00 dB</i>	Total: 14
	Frecuencia aproximada 105 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

El prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos ha permitido que los ruidos producidos por el corazón del infante sean captados y amplificados con una señal acústica calificada como satisfactoria por quienes participaron en las pruebas de auscultación, los cuales estimaron en un valor cercano a 110BPM el ritmo cardiaco del recién nacido.

3.1.1 Prueba de auscultación en mujeres adolescentes

La prueba de auscultación realizada en mujeres adolescentes fue practicada en dos personas, de este modo se lograron obtener resultados comparativos en torno a la amplitud de señal que el prototipo puede generar dependiendo de la persona que sea auscultada.

En este sentido, la auscultación realizada con el prototipo a las adolescentes de 15 y 16 años que participaron en este procedimiento, arrojó un fonograma con resultados diferentes para cada caso. Cabe señalar, que debido a su edad la frecuencia con la que el ruido 1 y 2 se presentan en las gráficas de auscultación no es tan continua con lo fue en el caso del infante, puesto que las personas en etapa de adolescencia cuentan ya con una frecuencia cardiaca estabilizada.

La amplitud de señal obtenida en el caso de la adolescente de 15 años (caso A) alcanzó picos altos de 6,00 dB y picos bajos de -6,00 dB (figura 2-3). En lo que respecta a la señal audible se tiene un rango de 2,00 dB a 6,00 dB, lo que refleja al igual que en el caso anterior que durante la prueba se pudieron captar sonidos que no son perceptibles con facilidad.

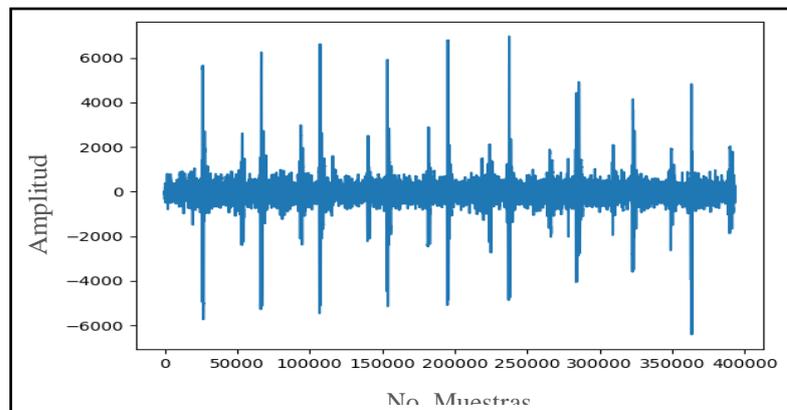


Figura 2-3: Fonograma de auscultación de una adolescente (caso A)
Fuente: Vallejo D. 2019

Para el caso “A” al realizar el análisis de relación entre la amplitud alcanzada y los picos más altos registrados dentro de la frecuencia, se ha obtenido una media de sonido de 5,00 dB, esto en comparación a los niveles registrados con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), indica que el prototipo se encuentra al mismo nivel que un fonendoscopio común.

En este caso la media de sonido registrada está dada en relación a 9 latidos en 8 segundos, lo que significa un aproximado de 67 BPM, valor que se encuentra mínimamente por debajo del rango normal esperado para un adolescente. El médico encargado de esta medición estimó en 70BPM su ritmo cardiaco.

A continuación en la tabla 3-3 se aprecian los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “A”.

Tabla 3-3: Amplitud en relación a frecuencia – adolescente caso “A”

<i>Fonograma Adolescente (Caso A)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
4,00	1
4,50	2
5,80	2
6,00	1
6,50	3
<i>Media: 5,00 dB</i>	Total 9
	Frecuencia aproximada 67 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

En el caso de la adolescente de 16 años (caso B) los picos altos de señal alcanzaron un rango de entre 3,00 dB, y picos bajos – 2,00 dB (figura 3-3). Del mismo modo la señal audible presento valores de entre 1,00 dB a 3,00 dB, a diferencia del caso anterior los sonidos detectados por el prototipo fueron relativamente perceptibles, sin embargo fueron captados por el fonoscopio electrónico.

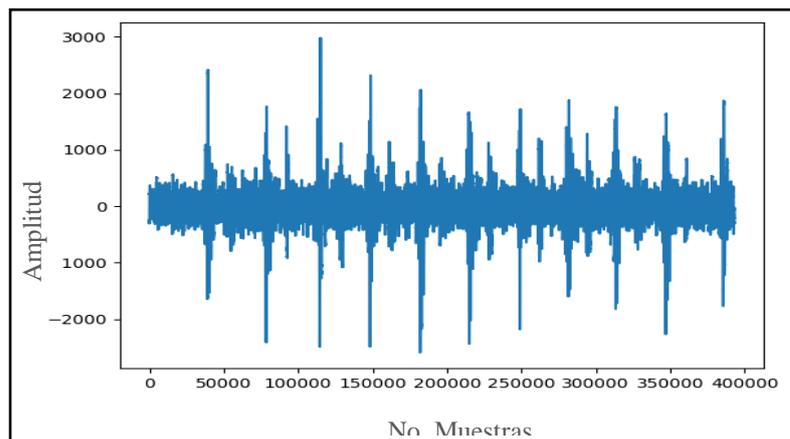


Figura 3-3: Fonograma de auscultación de una adolescente (caso B)

Fuente: Vallejo D. 2019

Con respecto a la relación entre la amplitud alcanzada y los picos más altos registrados dentro de la frecuencia, para este caso se ha obtenido una media de sonido de 2,00 dB, al comparar este valor con los niveles que son registrados con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), se ha podido determinar que el prototipo al igual que en el caso del infante, es capaz de captar sonidos casi imperceptibles, lo que le atribuiría mayor precisión.

La media registrada para el caso “B” está dada en relación a 11 latidos en 8 segundos, lo que representa un aproximado de 83 BPM, valor que se encuentra relativamente por encima del rango normal esperado para una persona en esta etapa de vida. En este caso el profesional que la examinó estimó su ritmo en 80BPM.

A continuación en la tabla 4-3 se aprecian los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “B”.

Tabla 4-3: Amplitud en relación a frecuencia – adolescente caso “B”

<i>Fonograma Adolescente (Caso B)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
1,90	5
2,00	3
2,30	1
2,50	1
3,00	1
<i>Media: 2,00 dB</i>	Total 11
	Frecuencia aproximada 83 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

Aun cuando los resultados entre las dos participantes son totalmente diferentes, en lo que concierne a la calidad de la amplitud de la señal y en la práctica, el sonido detectado por el prototipo fue calificado como satisfactorio, al permitir que de manera didáctica se analicen diferencias entre las dos auscultadas.

3.1.2 Prueba de auscultación en mujeres adultas

Para esta prueba se contó con la participación de cuatro mujeres adultas con edades entre 26 a 54 años, las cuales en los respectivos fonogramas obtenidos al ser auscultadas con el prototipo de fonoscopio electrónico, se evidenció una frecuencia entre los ruidos 1 y 2 relativamente estable, respondiendo a la vez a la frecuencia cardíaca de una persona adulta.

Como se mencionó en el caso anterior, los resultados en cuanto a la amplitud de señal obtenidos en la auscultación de una mujer adulta varía totalmente dependiendo de la persona. Para el caso de la participante “A”, que se encuentra en una etapa post-parto; se obtuvo una señal con picos altos de hasta 3,00 dB y picos bajos de hasta -4,00 dB (figura 4-3).

La señal audible en este caso osciló entre 1,00 dB y 3,00 dB, en este procedimiento de auscultación, al igual que el anterior los sonidos captados por el prototipo son casi imperceptibles.

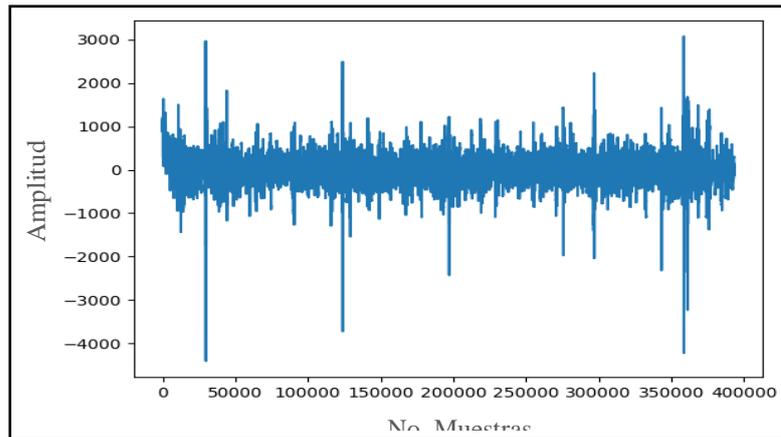


Figura 4-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso A)
Fuente: Vallejo D. 2019

Al realizar el análisis de relación entre la amplitud alcanzada y los picos más altos registrados dentro de la frecuencia, se ha obtenido para este primer caso una media de sonido de 2,00 dB, si se lo compara con los niveles registrados con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), el valor indica una vez más que el prototipo es capaz de registrar sonidos aún más bajos y brindaría mayor precisión a nivel didáctico.

Para este caso la media de sonido registrada está dada en relación a 6 latidos en 8 segundos, lo que implica un aproximado de 45 BPM, valor que se encuentra bastante por debajo del rango normal esperado para un adulto. Pero de igual forma el medico estimo que su frecuencia cardiaca es aproximada a 50BPM. A continuación en la tabla 5-3 se aprecian los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “A”.

Tabla 5-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “A”

<i>Fonograma Mujer adulta (Caso A)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
1,50	2
1,90	1
2,30	1
2,50	1
3,00	1
<i>Media: 2,00 dB</i>	Total 6
	Frecuencia aproximada 45 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

En lo que corresponde al caso “B”, en el fonograma de la mujer auscultada se obtuvo una señal con picos altos de hasta 6,50 dB y picos bajos de hasta aproximadamente - 5,00 dB (figura 5-3); la señal audible por su parte osciló entre 2,00 dB y 6,50 dB, lo que podría considerarse como sonidos imperceptibles.

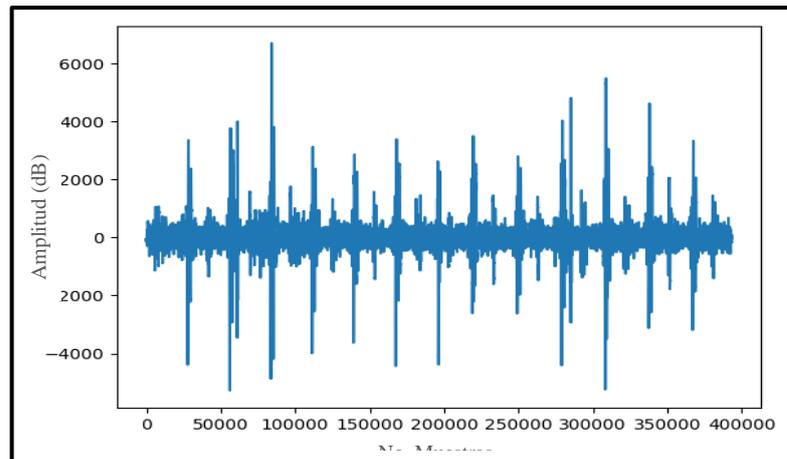


Figura 5-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso B)
Fuente: Vallejo D. 2019

En el análisis de relación entre la amplitud alcanzada en esta auscultación y los picos más altos registrados, se ha observado para este caso una media de sonido de 4,00 dB, al comparar este valor con los niveles que puede registrar un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), se comprueba una vez más que el prototipo ha sido capaz de permitir el registro de sonidos inferiores al rango que un fonendoscopio común puede captar.

La media de sonido registrada para el caso B está dada en relación a 15 latidos en 8 segundos, lo que significa un aproximado de 113 BPM, valor que se encuentra por sobre la el rango normal esperado para una mujer adulta. Con una pequeña variación a los 110BPM los cuales fueron estimados por el profesional de la salud.

En la tabla 6-3 se aprecian los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “B”.

Tabla 6-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “B”

<i>Fonograma Mujer adulta (Caso B)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
2,50	2
2,90	1
3,00	2
3,90	3
4,00	1
5,00	2
5,90	1
6,5	1
<i>Media: 4,00 dB</i>	Total 15
	Frecuencia aproximada 113 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

La tercera auscultada es una mujer que supera los 50 años de edad (caso C), los resultados del fonograma obtenido reflejan una señal con picos altos de hasta 5,00 dB y picos bajos de hasta aproximadamente - 6,00 dB (figura 6-3); en cuanto a la señal audible se registró un rango de 3,00 dB y 5,00 dB, estableciendo una vez más que el fonendoscopio electrónico en esta prueba tuvo la capacidad de registrar sonidos difíciles de escuchar.

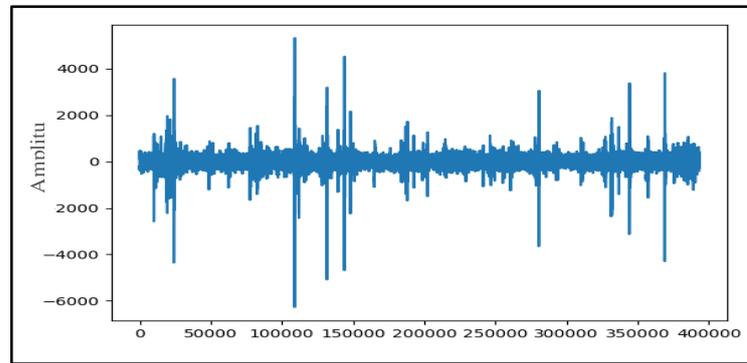


Figura 6-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso C)
Fuente: Vallejo D. 2019

Para este caso el análisis de relación entre la amplitud y los picos más altos registrados dentro de la frecuencia de 8 segundos establecida para el prototipo, se ha logrado determinar en esta auscultación una media de sonido de 3,80 dB, en comparación a los niveles registrados con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), cabe indicar que es uno de los valores más bajos a nivel de sonido que el prototipo ha permitido captar.

En el caso “C” la media de sonido registrada está dada en relación a 7 latidos en 8 segundos, lo que quiere decir un valor aproximado de 53 BPM, cuando el medico estimó que la paciente tiene un ritmo estimado de 55 BPM; valor que acorde a los rangos normales preestablecidos se encuentra por debajo de lo esperado para una mujer adulta. En la tabla 7-3 se aprecian los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “C”.

Tabla 7-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “C”

<i>Fonograma Mujer adulta (Caso C)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
3,00	2
3,50	1
3,80	1
3,90	1
4,30	1
5,00	1
<i>Media: 3,80 dB</i>	Total 7
	Frecuencia aproximada 53 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

Para la última auscultación de este grupo se contó una mujer que supera los 50 años de edad y que además dio a conocer que padece de una afección conocida comúnmente como soplo cardíaco (caso D). Teniendo en cuenta este antecedente los resultados obtenidos del fonograma muestran una señal con picos altos de hasta aproximadamente 15,00 dB y picos bajos de hasta casi los -20,00 dB (figura 7-3).

La señal audible en el caso “D” se encuentra en un rango de aproximadamente los 8,00 dB y los 14,00 dB. En base lo obtenido en esta auscultación entonces es posible afirmar que el prototipo ha podido registrar sonidos relativamente un poco más altos que los registrados en casos anteriores, pero que aún continúan siendo ruidos imperceptibles.

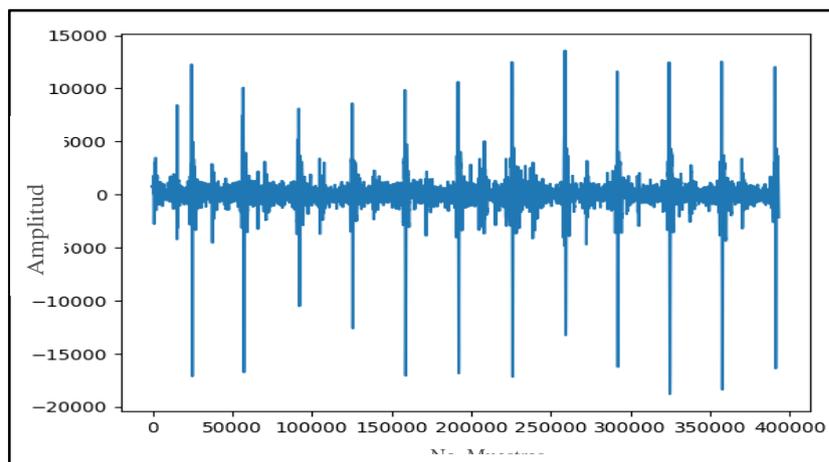


Figura 7-3: Fonograma de auscultación de una mujer adulta (Caso D)
Fuente: Vallejo D. 2019

En lo que respecta al caso “D”, el análisis de relación entre la amplitud y los picos más altos registrados por el prototipo, dejan observar una media de sonido de 12,00 dB, en comparación a los niveles obtenidos con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), es propicio indicar que este valor se encuentra dentro del rango establecido como normal al escuchar a través de un fonendoscopio común.

En este último caso la media de sonido obtenida está dada en relación a 13 latidos en 8 segundos, lo que significa un aproximado de 98 BPM, siendo estimado un valor de 100BPM por el medico; valor que se encuentra por encima del rango normal dado para una persona adulta. En la tabla 8-3 se encuentran los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “D”.

Tabla 8-3: Amplitud en relación a frecuencia – mujer adulta caso “D”

<i>Fonograma Mujer adulta (Caso D)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
8,00	2
9,00	1
10,00	2
11,00	1
12,00	2
13,00	4
14,00	1
<i>Media: 12,00 dB</i>	Total 13
	Frecuencia aproximada 98 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

En base a los valores obtenidos para este caso, del mismo modo que en los anteriores se ha determinado que la amplitud de señal del prototipo, a nivel didáctico es satisfactoria, y permitiría a su vez a los estudiantes y profesionales de la salud acceder a un análisis que brindaría mayor especificidad para cada caso médico que se les presente.

3.1.3 *Prueba de auscultación en hombres adultos*

Para esta prueba se contó con la participación de tres hombres adultos de entre 25 y 26 años de edad. Como en los casos anteriores, entre los auscultados los resultados del fonograma son diferentes para cada persona. Del mismo modo al ser adultos la continuidad de los ruidos 1 y 2 aparecen de forma estable, ya que la frecuencia cardiaca en adultos viene marcada por una desaceleración de la misma.

En cuanto a la amplitud de señal obtenida para cada caso, se tiene que en el fonograma del primer auscultado (caso A) se alcanzó picos altos de hasta 10,00 dB y picos bajos de – 10,00 dB (figura 8-3); en cuanto a la señal audible para este caso se tienen un rango de entre 5,00 dB y 10,00 dB, lo que implica que el prototipo captó sonidos relativamente más altos en relación a los casos anteriores, debido a que la auscultación en los hombres varía en relación a las mujeres.

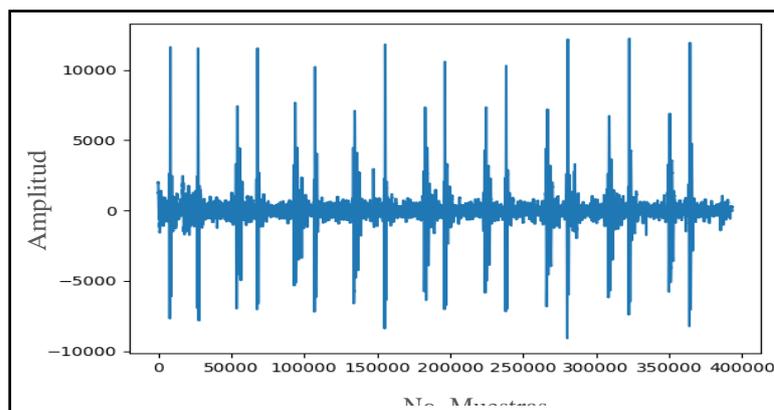


Figura 8-3: Fonograma de auscultación de un hombre adulto (caso A)

Fuente: Vallejo D. 2019

Para el caso “A”, al realizar el análisis de relación entre la amplitud alcanzada y los picos más altos registrados dentro de los 8 segundos de frecuencia establecidos en el prototipo, se tiene una media de sonido de 9,00 dB, al comparar este valor con el rango registrado con un estetoscopio acústico (5 dB - 20 dB), se determina que prototipo ha captado sonidos relativamente imperceptibles, y dentro de mismo rango en que lo hace un fonendoscopio regular.

La media de sonido registrada para este caso está dada en relación a 18 latidos en 8 segundos, lo que representa un aproximado de 135 BPM, valor que se encuentra por encima del rango normal esperado para un hombre adulto, cuando el profesional de la salud estimo que su ritmo cardiaco es un valor cercano a 130BPM.

A continuación en la tabla 9-3 se encuentran los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “A”.

Tabla 9-3: Amplitud en relación a frecuencia – hombre adulto caso “A”

<i>Fonograma Hombre adulto (Caso A)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
6,00	6
7,00	2
9,00	2
10,00	1
15,00	7
<i>Media: 9,00 dB</i>	Total 18
	Frecuencia aproximada 135 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

En el segundo caso (caso B) el fonograma reflejó una señal con picos altos de 20,00 dB y picos bajos de -20,00 dB (figura 9-3); la señal audible obtuvo picos de entre 10,00 dB y 20,00 dB, una

vez más y al igual que en los casos anteriores el prototipo permitió durante las prueba captar sonidos relativamente perceptibles al oído humano.

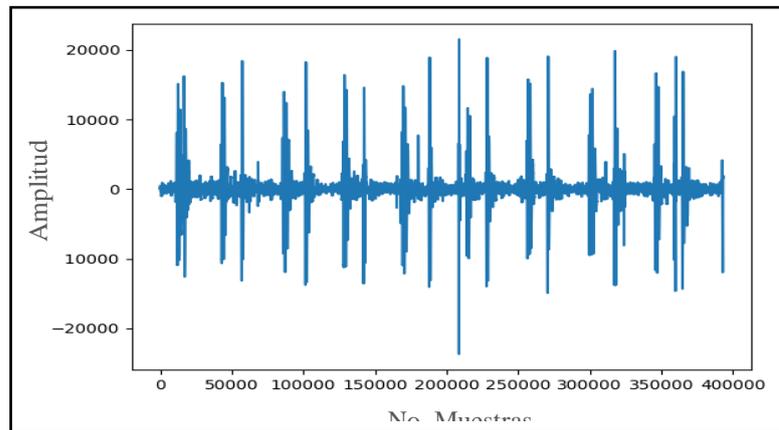


Figura 9-3: Fonograma de auscultación de un hombre adulto (caso B)
Fuente: Vallejo D. 2019

En lo que respecta al análisis de relación entre la amplitud y los picos más altos obtenidos en este caso, se ha determinado una media de sonido de 16,00 dB, en comparación con el rango registrado por un fonendoscopio acústico (5 dB - 20 dB), el prototipo al igual que este instrumento ha logrado captar un sonido relativamente altos en comparación a los otros grupos auscultados, pero aun así imperceptibles si no se cuenta con la ayuda de un instrumento como el estetoscopio.

Para el caso “B” la media de sonido obtenida está dada en relación a 18 latidos en 8 segundos, lo que representa al igual que en el anterior caso un aproximado de 135 BPM, valor que se encuentra por encima del rango normal y es igual al valor calculado por el médico.

En la tabla 10-3 se presentan los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “B”.

Tabla 10-3: Amplitud en relación a frecuencia – hombre adulto caso “B”

<i>Fonograma Hombre adulto (Caso B)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
14,00	1
15,00	6
16,00	3
17,00	1
18,00	6
20,00	1
<i>Media: 16,00 dB</i>	Total
	18
	Frecuencia aproximada
	135

Realizado por: Vallejo D. 2019

Para el último caso (caso C) el fonograma muestra una señal con picos altos de hasta 20,00 dB y picos bajos de – 15,00 dB (figura 10-3); en lo que respecta a la señal audible los picos varían entre los 5,00 dB y 20,00dB, lo cual se corresponden con los resultados de los casos anteriores.

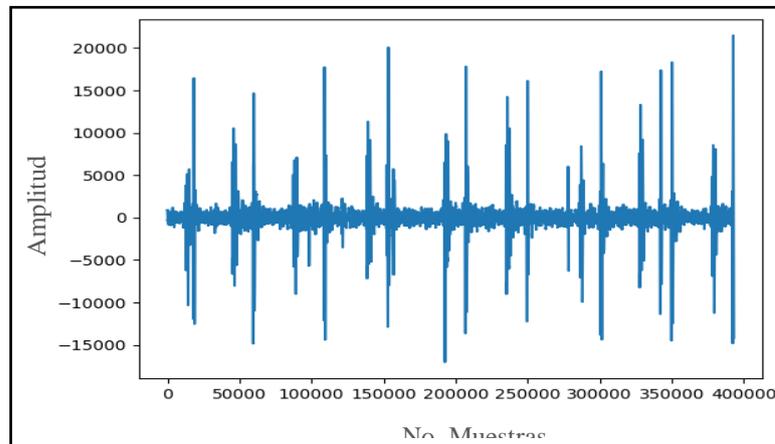


Figura 10-3: Fonograma de auscultación de un hombre adulto (caso C)
Fuente: Vallejo D. 2019

En el análisis de relación entre la amplitud y los picos más altos obtenidos para el caso “C”, se ha observado una media de sonido de 16,00 dB, al comparar con un fonendoscopio acústico (5 dB - 20 dB), es posible decir que el prototipo de fonendoscopio electrónico es capaz de hacer registros al mismo nivel que el estetoscopio común, captando sonidos imperceptibles que aportarían para un análisis didáctico.

La media de sonido obtenida para este caso está dada en relación a 15 latidos en 8 segundos, lo que significa un aproximado de 113 BPM, similar a la frecuencia de 110BPM estimada por el médico, valor que se encuentra por encima del rango normal.

En la tabla 11-3 se observan los datos relacionales de amplitud versus frecuencia para el caso “C”.

Tabla 11-3: Amplitud en relación a frecuencia – hombre adulto caso “C”

<i>Fonograma Hombre adulto (Caso C)</i>	
<i>Amplitud alcanzada (dB)</i>	<i>Nro. de picos altos registrados (8 s)</i>
10,00	3
14,00	2
15,00	1
16,00	4
17,00	3
20,00	2
<i>Media: 16,00 dB</i>	Total 15
	Frecuencia aproximada 113 BPM

Realizado por: Vallejo D. 2019

Basado en los tres casos en análisis se ha determinado que la amplitud de señal para cada uno fue satisfactoria, y permite además analizar con especificidad cada caso que se les presenta al profesional de la salud y estudiantes del área médica.

Como conclusión de este ítem cabe señalar, que las pruebas de auscultación realizadas aportaron a comprobar la calidad de la amplificación de señal del prototipo, obteniendo en su mayoría un resultado satisfactorio. Esta característica es vital, ya que es en sí la base para que el fonendoscopio electrónico cumpla con una aplicación didáctica en el proceso enseñanza-aprendizaje en el área de la salud, teniendo una mejor práctica frente a los diversos casos que se podrían encontrar en la práctica profesional.

3.2 Pruebas de funcionalidad y manejo del prototipo

Las pruebas de funcionalidad y manejo del prototipo se llevaron a cabo para comprobar la funcionalidad del micrófono, amplificación, filtros, tarjeta de audio, microcomputador, baterías, y componentes que lo conforman; convirtiéndose en una herramienta de ayuda para especialistas del área de la salud y estudiantes en el aula de clase.

Del mismo modo se probó el algoritmo de programación, con el fin de determinar la funcionalidad de las opciones de grabado, análisis y generación de resultados que se reflejan en los fonograma obtenidos, se comprobaron además las funciones de secuencia del mismo, así como el tiempo necesario para presentar los resultados.

A partir de ellos se ha logrado cumplir con los requerimientos previos, y correcciones necesarias para poner en funcionamiento y llevar a la práctica al prototipo.

Una vez realizada la revisión preliminar, se procedió a poner en marcha el prototipo, para lo cual se contó con la presencia del Dr. Raúl Martínez, quien es docente del Instituto Stanford en la carrera de Enfermería. El fin de realizar esta prueba fue contar con un criterio profesional en cuanto la factibilidad y facilidad de uso del prototipo diseñado.

De esta manera se puso a consideración del profesional del área de la salud la posibilidad de manejar el fonendoscopio electrónico, y se obtuvieron opiniones tanto de la parte física del prototipo, como el software desarrollado para obtener el fonograma realizado a diferentes personas en edad y género.

3.2.1 *Funcionalidad y manejo del hardware del prototipo*

Con el fin de obtener una opinión sobre la parte física del prototipo se le presento al profesional de la salud el fonendoscopio ensamblado, con el cual procedió a realizar algunas pruebas de auscultación de práctica.

Desde el punto de vista del profesional, el prototipo cuenta con la forma básica de un estetoscopio, lo cual permite que su manipulación sea sencilla al momento de realizar una auscultación. Del mismo modo dio a conocer que la recepción de sonido fue satisfactoria y le permitió identificar los ruidos comunes que son captados en una auscultación cardiaca.

En cuanto a la amplificación, el prototipo permitió compartir los ruidos sistólicos y diastólicos escuchados en el aula de clase, considerando la aceptación satisfactoria del fonendoscopio electrónico con fines didácticos que le permitió dar a conocer a los estudiantes, claves prácticas para llevar a cabo un procedimiento de auscultación.

Se logró tener un trabajo continuo del prototipo de fonendoscopio sin necesidad de carga por un tres días; en los cuales la batería encargada de alimentar el fonocaptor y la primera etapa de filtrado se ha descargado después de 22 horas de uso. Por otra parte, la batería encargada de la segunda etapa de amplificación ha tenido una duración de 30 días de uso continuo.

En la figura 11-3 se puede apreciar el prototipo ensamblado, que fue presentado para la prueba realizada por el profesional de la salud.



Figura 11-3: Prototipo de fonendoscopio electrónico

Fuente: Vallejo D. 2019

3.2.2 Funcionalidad y manejo del software del prototipo

El software desarrollado para el prototipo permite obtener información, analizarla y generar resultados. El profesional médico pudo apreciar y manipular la interfaz gráfica, en la figura 12-3 se observa la ventana de Bienvenida. El profesional de la salud expresó que le parece un diseño sencillo, y que advierte claramente los pasos a seguir para iniciar a obtener información relacionada un procedimiento de auscultación



Figura 12-3: Ventana de bienvenida

Fuente: Vallejo D. 2019

La opción (INICIO) de acceso a la ventana de Inicio mostrado en la figura 13-3, en la cual se encuentran las opciones (Grabar – Analizar - Resultados) que le permiten almacenar y realizar un análisis de la información que se obtiene al momento de auscultar, a través de una lectura de audio en tiempo real. La opción (Salir) finaliza la ejecución del programa.



Figura 13-3: Ventana de inicio

Fuente: Vallejo D. 2019

En la segunda ventana, se cuenta con la opción (Grabar), la cual realiza la grabación durante 8 segundos del sonido captado por el prototipo. Esta acción se realiza mientras se ha generado la ventana Grabar (figura 14-3) el cual muestra el fonograma en tiempo real. Esto servirá como una señal gráfica de la operación de grabación.

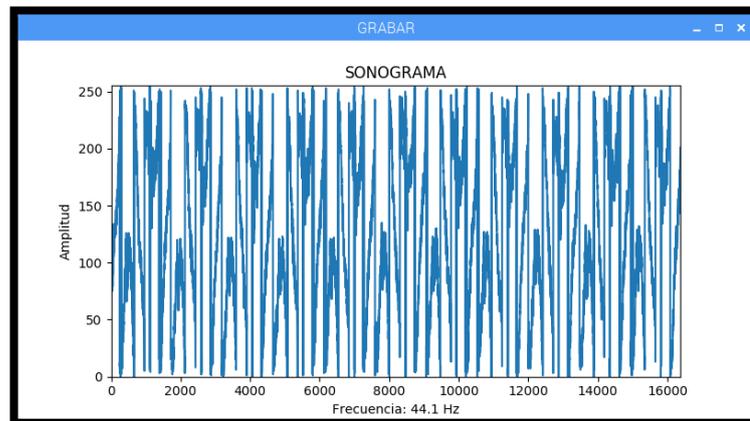


Figura 14-3: Ventana proceso de grabación
Fuente: Vallejo D. 2019

Aun cuando el fonograma apreciado en esta ventana, no aporta una información valiosa; se vuelve un instrumento útil de forma didáctica en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Cuando el proceso de grabación ha terminado, se muestra el botón (Atrás) como se muestra en la figura 15-3.

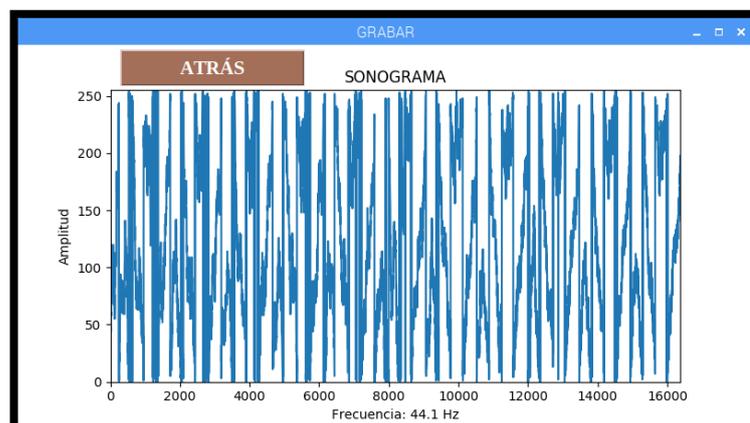


Figura 15-3: Ventana de grabación finalizada
Fuente: Vallejo D. 2019

Este botón devolverá al usuario a la pantalla Inicio, en la cual se procede con el análisis de la señal al ser presionada el botón (Analizar). Se puede apreciar los leves cambios que se dan al momento de que el software realiza el proceso de análisis de resultados, a través de intercambio de colores; lo cual es visualizado en la figura 16-3.

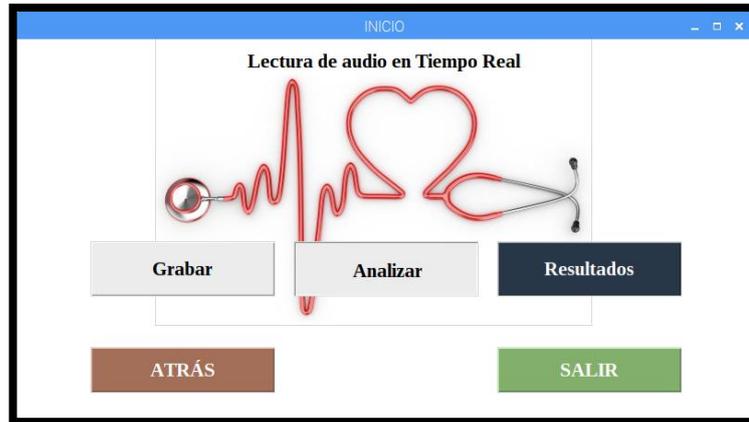


Figura 16-3: Pantalla de inicio – análisis de resultados
Fuente: Vallejo D. 2019

Finalmente, el software del prototipo presenta la ventana de resultados (figura 17-3), en la cual se muestra el fonograma final que refleja la auscultación realizada. En cuanto a esta última ventana el profesional de la salud expresó, que a nivel didáctico o profesional obtener un resultado de este tipo es bastante útil, ya que permitiría el análisis de una auscultación no solo en tiempo real sino también después de la auscultación, por lo que sugirió que sería valioso contar con una versión impresa del fonograma que refleja los resultados.

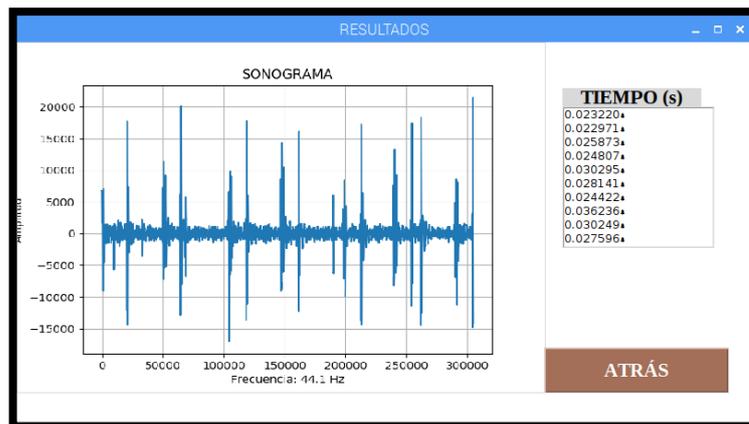


Figura 17-3: Ventana de resultados
Fuente: Vallejo D. 2019

Del mismo modo, manifestó que los datos que se presentan en la gráfica podrían aportar a un mejor entendimiento del procedimiento de auscultación, y a nivel de práctica profesional aportaría a mejorar el análisis de patologías específicas que se presentan con cada paciente.

En general, en lo que respecta a las pruebas de funcionalidad y manejo realizadas, se han obtenido opiniones satisfactorias que respaldan la aplicabilidad del prototipo a nivel académico. Tanto el hardware como el software fueron calificados como funcionales y sencillos de manejar, y aun

cuando existieron recomendaciones para su mejora, el prototipo logró satisfacer las expectativas de quienes podrían utilizarlo con fines didácticos.

3.3 Comparación del prototipo de fonendoscopio con métodos convencionales de auscultación

Como se pudo observar, los resultados obtenidos de frecuencia cardiaca con el uso del prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos en comparación con los estimados por la experiencia y practica de profesionales de la salud tienen un rango de error el cual es mostrado en la tabla 12-3.

Tabla 12-3: Error existente entre frecuencias medidas y estimadas en diversos pacientes.

Caso	Valor Estimado	Valor Determinado	Error Relativo	Error absoluto	Error absoluto porcentual
<i>Infante</i>	110	105	5	0.04545	4.5%
<i>Adolescente A</i>	70	67	3	0.04286	4.3%
<i>Adolescente B</i>	80	83	-3	0.03750	3.8%
<i>Mujer A</i>	50	45	5	0.10000	10.0%
<i>Mujer B</i>	110	113	-3	0.02727	2.7%
<i>Mujer C</i>	55	53	2	0.03636	3.6%
<i>Mujer D</i>	100	98	2	0.02000	2.0%
<i>Hombre A</i>	130	135	-5	0.03846	3.8%
<i>Hombre B</i>	135	135	0	0.00000	0.0%
<i>Hombre D</i>	110	113	-3	0.02727	2.7%
<i>Valores promedio</i>			2.81818	0.03752	3.8%

Realizado por: Vallejo D. 2019

Estos datos nos muestran que el diferencia existente entre la información obtenida con el prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos puede ser considerada confiable en relación con la estimada por un profesional de la salud al solo utilizar un fonendoscopio acústico. Teniendo un error absoluto porcentual promedio de 3.8%

3.4 Comparación de la apreciación del prototipo de fonendoscopio con métodos convencionales

Con el fin de contar con la visión del personal relacionado al área de la salud, en cuanto a hacer uso de nuevas tecnologías que aporten al proceso de enseñanza-aprendizaje de los métodos de exploración física, principalmente la auscultación, se ha aplicado una encuesta a 20 personas,

entre ellos profesionales médicos que ejercen la docencia, y estudiantes de diferentes carreras médicas, quienes hacen uso y conocen del manejo de herramientas como el fonendoscopio.

Mediante el análisis de las respuestas dadas por los encuestados se cuenta entonces con información que permitió establecer una comparativa, así como las ventajas que les supondría a los profesionales médicos y estudiantes el uso de un prototipo de fonendoscopio electrónico en el ámbito académico.

A continuación se aprecia entonces los resultados de las encuestas aplicadas, a través de los cuales se demostrará la acogida del prototipo propuesto en este trabajo, así como el interés de quienes conocen de su manejo para aplicarlo con fines de mejorar la transmisión de conocimientos en el ámbito de la salud.

- **Pregunta 1: ¿Considera útil el uso del estetoscopio electrónico con fines didácticos en el proceso de enseñanza/aprendizaje de los métodos de auscultación en la carrera de medicina?**

En torno a esta pregunta el 100% de los encuestados respondieron de forma afirmativa en cuanto a considerar útil el uso de un estetoscopio electrónico a nivel didáctico, y con fines de enseñanza como se lo puede observar en el gráfico 1-3. Cabe recalcar que la mayoría de los participantes encuestados dieron a conocer que sin duda, el contar con una herramienta de este tipo aportaría a desarrollar una clase más práctica, específica, y que contribuya a obtener mejores resultados en el proceso de aprendizaje.

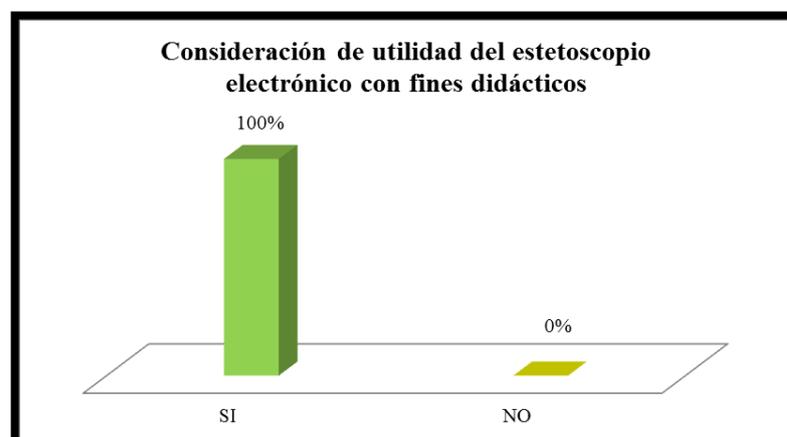


Gráfico 1-3: Resultados pregunta 1
Realizado por: Vallejo D. 2019

Por otra parte, y viendo a la herramienta como un elemento de uso profesional, los encuestados indicaron que aportaría gracias a sus múltiples funciones, a un análisis más detallado de sonidos poco comunes, que podrían estar relacionados a patologías que no son fáciles de detectar.

- **Pregunta 2: ¿Considera que el prototipo presentado mejoraría el aprendizaje del proceso de auscultación médica en la formación de profesionales de la salud?**

En cuanto a la pregunta dos se obtuvo del mismo modo un 100% de respuestas positivas, que respaldan la propuesta de que el prototipo de fonendoscopio electrónico aportara en la mejora del aprendizaje del proceso de auscultación de los estudiantes relacionados al área de la salud, como es representado en el gráfico 2-3.

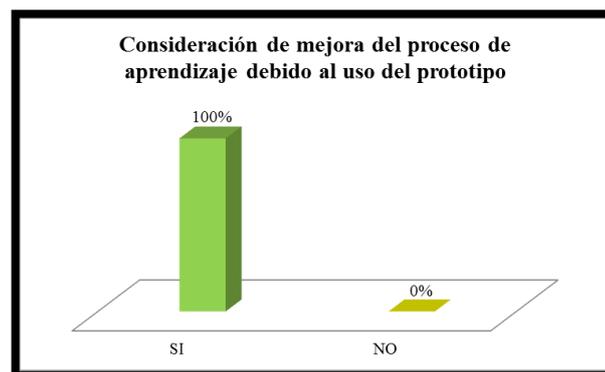


Gráfico 2-3: Resultados pregunta 2
Realizado por: Vallejo D. 2019

Consideran que esta herramienta contribuiría a desarrollar de manera práctica y con mayor precisión las capacidades necesarias para detectar una patología a través de la auscultación.

- **Pregunta 3: ¿Cuál ha sido el nivel de dificultad con el uso del estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

Para la pregunta tres se obtuvieron resultados diferenciados, sin embargo, cabe señalar que la mayoría de los encuestados, es decir un 75%, consideraron el uso del estetoscopio electrónico como práctico y didáctico, lo que a su vez denota la facilidad con que tanto estudiantes y profesionales médicos de las carreras de salud, podrán manejar la herramienta, así como los resultados e información que esta genera.

Por su parte un 15% de los participantes encontraron el uso de la herramienta regular, es decir que no lo encontraron complicado, pero tampoco lo consideraron como un cambio en su proceso

de aprendizaje, del mismo modo un 10% de los encuestados expresaron que el uso del prototipo les fue difícil, primordialmente en cuanto al manejo de resultados que la herramienta arroja. Esta información es visualizada en el gráfico 3-3

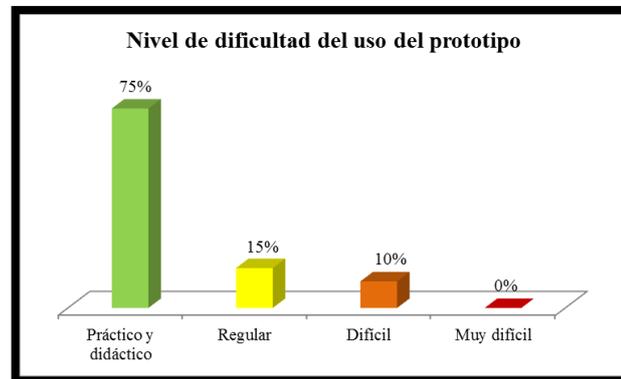


Gráfico 3-3: Resultados pregunta 3
Realizado por: Vallejo D. 2019

- **Pregunta 4: ¿Qué diferencias encuentra entre el proceso de auscultación con un estetoscopio acústico y el prototipo de estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

La pregunta cuatro es clave en este estudio, ya que permite respaldar la propuesta de que el prototipo de fonendoscopio electrónico será una herramienta valiosa en el proceso de enseñanza/aprendizaje de los profesionales de la salud.

De este modo, al comparar el prototipo propuesto con un estetoscopio acústico comúnmente usado en la medicina; los encuestados respondieron en su mayoría (55%), que el proceso de auscultación con el prototipo, así como los resultados obtenidos son mejores frente al estetoscopio regular, el cual según un 30% de los encuestados es mejor que el prototipo propuesto. Como se muestra en el gráfico 4-3.

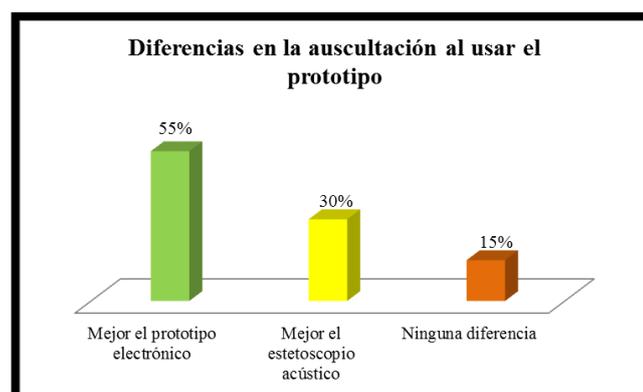


Gráfico 4-3: Resultados pregunta 4
Realizado por: Vallejo D. 2019

Esto principalmente se respalda no en la herramienta como tal, sino en la experiencia y pericia del profesional médico. De igual modo, un 15% de los participantes expresaron no encontrar ninguna diferencia al usar el prototipo y el estetoscopio acústico, es decir; los dos les parecen útiles a nivel educativo.

- **Pregunta 5: ¿Qué característica sugiere se debe mejorar en el estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

Con el fin de contar con una visión proponente en cuanto a mejoras para innovar el prototipo presentado en este estudio, en esta pregunta se dio apertura a los encuestados para que sugirieran mejoras que le brinden un mejor rendimiento al fonendoscopio como herramienta didáctica.

De este modo, el 55% de los encuestados; consideran necesario que desde el prototipo se puedan realizar impresiones del fonograma. Lo cual les permitirá a los profesionales de medicina y estudiantes, llevar a cabo un análisis y registro físico de los sonidos obtenidos por el fonendoscopio electrónico.

Por su parte el 35% de los participantes, sugirieron que se deberá mejorar la amplificación de sonido con el que cuenta el prototipo; esto fundamentalmente porque es la base a través de la cual quienes hacen uso de esta herramienta, obtienen de manera directa información sobre las patologías de un paciente. Como se muestra en la figura 5-3.

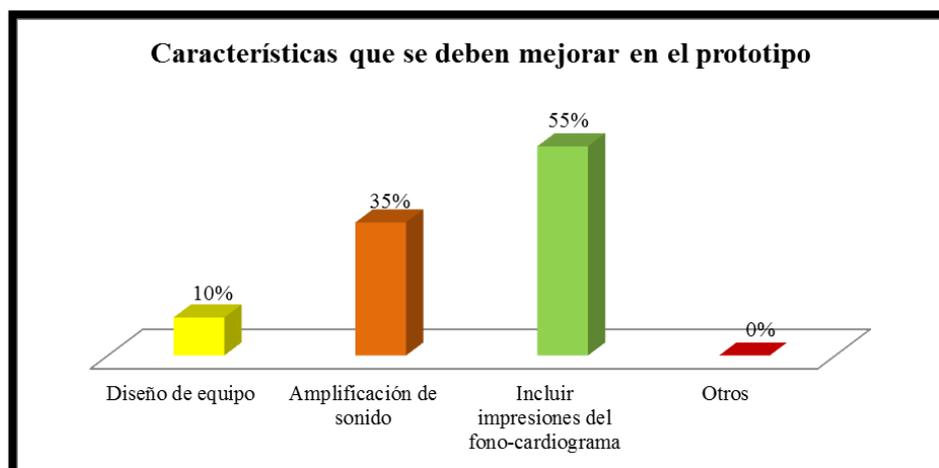


Gráfico 5-3: Resultados pregunta 5
Realizado por: Vallejo D. 2019

Finalmente, solo un 10% de los encuestados sugirieron la mejora en el diseño del equipo, lo cual habría sido sugerido anteriormente por quienes participaron en las pruebas de funcionalidad y

manejo del prototipo, por lo cual será tomada en cuenta esta observación como una recomendación para el presente trabajo.

- **Pregunta 6: ¿Está de acuerdo en utilizar el estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

En cuanto a la pregunta seis, el 100% de los encuestados respondieron de forma afirmativa en torno a que están de acuerdo en utilizar el prototipo de estetoscopio electrónico en el área de la enseñanza con fines didácticos. Mostrado de una forma visual en el gráfico 6-3.

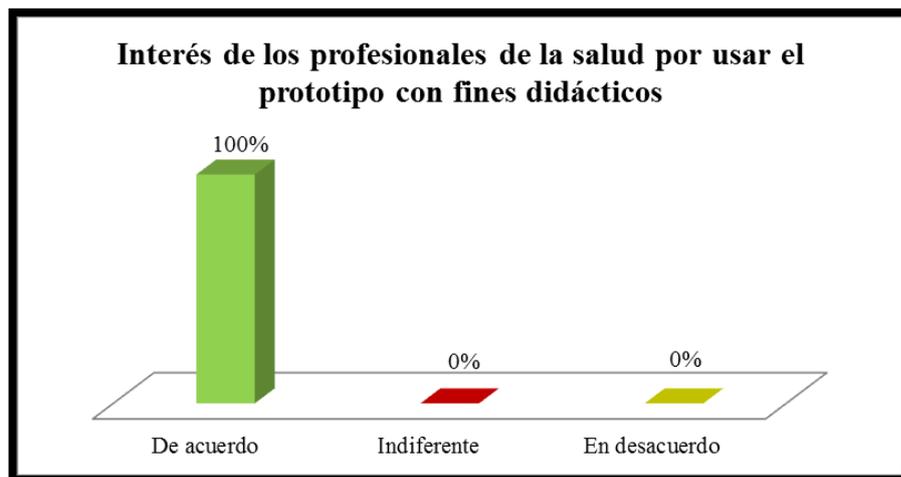


Gráfico 6-3: Resultados pregunta 6
Realizado por: Vallejo D. 2019

Los participantes expresaron que una herramienta como el prototipo propuesto sería de gran ayuda en las aulas, ya que puede aportar a que los profesionales de la salud compartan su conocimiento de manera más práctica; y que los estudiantes sean capaces de desarrollar habilidades que les permitan obtener resultados concretos, veraces y de mayor fiabilidad. Todo esto al momento de atender un paciente a través de la auscultación.

- **Pregunta 7: ¿Cómo calificaría la calidad del sonido escuchado en el estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

Teniendo en cuenta que el sonido es el principal elemento con el que un fonendoscopio aporta al análisis que los profesionales de la medicina hacen sobre un paciente, es vital valorar la calidad del sonido que se ha establecido para el prototipo presentado en este estudio.

De esta manera el 50% de los encuestados calificó con un 5 al sonido generado por el prototipo, nota máxima lo que significa una calidad muy buena. Por su parte un 35% de los participantes

consideraron que el fonendoscopio electrónico cuenta con una calidad de sonido buena, lo cual significó una calificación sobre 4, mientras que un 15% de los encuestados consideraron que el prototipo solo cuenta con una calidad de sonido media.

De este modo se puede concluir para esta pregunta, que el trabajo realizado en torno a la calidad del sonido del prototipo fue el acertado, y este elemento puede aportar sin duda a un aprendizaje más práctico y didáctico. Resultados representados en el gráfico 7-3.

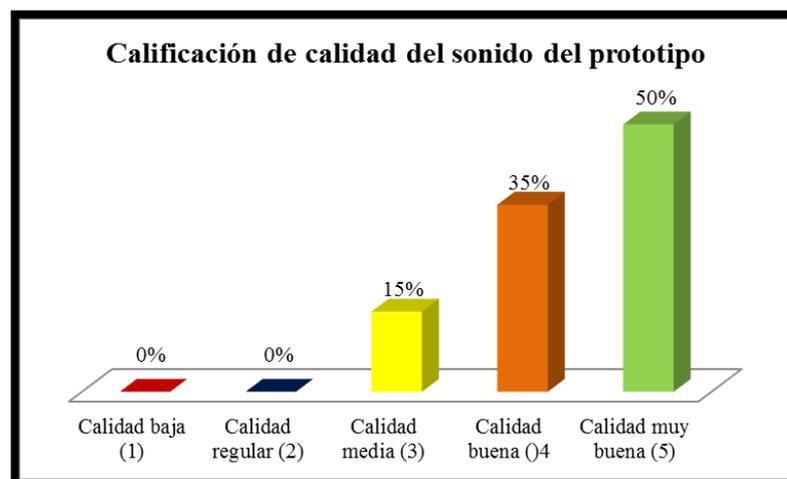


Gráfico 7-3: Resultados pregunta 7
Realizado por: Vallejo D. 2019

- **Pregunta 8: ¿Cuál sería la calificación del diseño y funcionamiento del estetoscopio electrónico con fines didácticos presentado?**

Al igual que en el ítem anterior, a través de la pregunta ocho se ha obtenido la visión de los encuestados en torno al diseño y funcionamiento del prototipo, de este modo se ha determinado que el 65% de los participantes consideran que el fonendoscopio electrónico con fines didácticos propuesto en este estudio, cuenta con un diseño y funcionamiento bueno.

Este criterio implicó una calificación de 4 puntos dada por los encuestados, por su parte el 35% restante consideró que el prototipo cuenta con un muy buen diseño y funcionamiento, que se muestra en el gráfico 8-3. De este modo, queda respaldado que tanto la propuesta de diseño (hardware) y funcionamiento (software) del prototipo, cumple con requerimientos adecuados para el ámbito de la enseñanza.

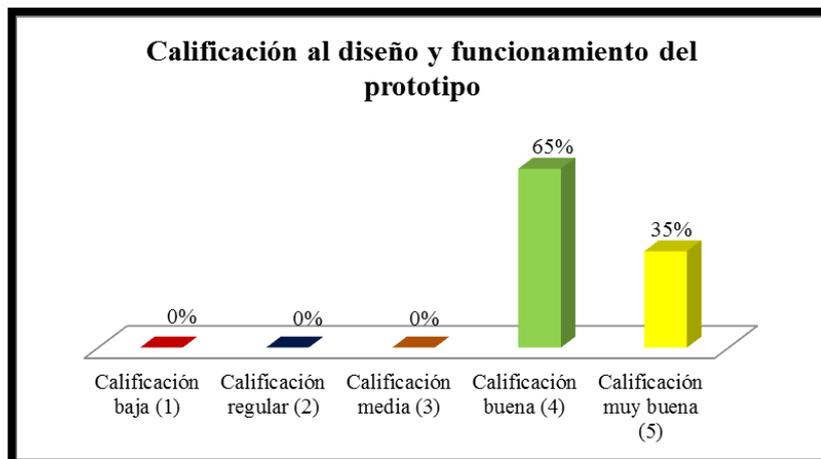


Gráfico 8-3: Resultados pregunta 8
Realizado por: Vallejo D. 2019

Como se ha podido apreciar a través de los resultados obtenidos en la encuesta aplicada, y teniendo en cuenta una visión comparativa, cabe señalar que el prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos cuenta con varias ventajas, que lo hacen mucho más útil en comparación con el estetoscopio acústico, sobre todo en el ámbito de la enseñanza.

Teniendo en cuenta que la tecnología hoy en día facilita gran cantidad de actividades cotidianas es propicio entonces, proponer el contar con más y mejores herramientas que contribuyan a optimizar la didáctica en los salones de clase de educación superior, en este caso de las áreas relacionadas al ámbito de la medicina y la salud en general.

Por lo que la propuesta de un prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos es no solo una innovación, sino una herramienta que puede aportar en el desarrollo de habilidades de tipo práctico en los estudiantes, además de ser una opción para mejorar las capacidades de quienes ejercen la docencia y la medicina como profesión.

3.5 Análisis de costos

Para lograr el funcionamiento del prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos se ha necesitado de la utilización de varios componentes, en el cual no está especificado cada uno de los elementos de los cuales están conformados. Son listados en la tabla 13-3, acompañados de su costo; aquellos que realizan una tarea de forma individual.

No se considera el costo por el desarrollo de software.

Tabla 13-3: Listado de costos de elementos necesarios para el prototipo

<i>Componente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor Total</i>
<i>Micrófono piezoeléctrico</i>	1	\$50	\$50
<i>Módulo de filtrado para bajas frecuencias</i>	1	\$150	\$150
<i>Batería de carga solar</i>	2	\$14	\$28
<i>Cable apantallado</i>	1	\$2	\$2
<i>Manguera de silicona de grado medico</i>	1	\$2	\$2
<i>Micrófono Electret</i>	1	\$5	\$5
<i>Circuito de amplificación de audio</i>	1	\$40	\$40
<i>Cable de audio de 3.5mm</i>	2	\$5	\$10
<i>Tarjeta de audio USB</i>	1	\$8	\$8
<i>Raspberry PI 3 B+</i>	1	\$70	\$70
<i>Fuente de alimentación para Raspberry PI</i>	1	\$12	\$12
<i>Audífonos Skullcandy Hesh 2</i>	1	\$50	\$50
<i>Parlantes Genius SW-F2.1 500</i>	1	\$57	\$57
<i>Pantalla Raspberry Pi 7"</i>	1	\$110	\$110
<i>Mini Teclado Mouse Inalámbrico USB</i>	1	\$14	\$14
		<i>Total</i>	\$ 608.00

Realizado por: Vallejo D. 2019

CONCLUSIONES

- Se implementó un prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos que permite diferenciar sonidos provenientes del área torácica del cuerpo humano. Este prototipo capta las vibraciones en la pared torácica, generadas en el área interna, por un micrófono piezoeléctrico para convertirlas en sonido.
- Los sonidos cardíacos captados por el prototipo en el proceso de auscultación, permitió determinar que el sonido se encuentran en una escala baja de decibelios (dB), por lo cual se debe evitar ruidos externos que originen una retroalimentación negativa en la señal.
- Se debe buscar un lugar sosegado que facilite el proceso de auscultación del área torácica en la labor del profesional de la salud con el uso del prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos.
- Se ha desarrollado un algoritmo de programación que permite la funcionalidad del software del prototipo de fonendoscopio electrónico; el cual genera la interfaz gráfica, crea archivos para almacenar la información de audio, frecuencias y tiempo; gestiona los canales de entrada y salida de audio a ser utilizados, y muestra los rangos de análisis de las frecuencias útiles del audio grabado.
- Se ha logrado que el prototipo tenga la capacidad de captar sonidos cardíacos humanos, mostrar resultados y generar un fonograma que permite un análisis del comportamiento cardíaco de seres humanos en un corto período de tiempo. Se puede compartir esta información que es almacenada durante el proceso de auscultación.
- Mediante las pruebas de análisis de la señal acústica obtenida en las auscultaciones realizadas con el prototipo, se determinó que los resultados del procedimiento varían dependiendo de la persona que sea auscultada; lo cual es influenciado por edad, género y condición de salud. Sin embargo los parámetros obtenidos con el prototipo son de utilidad para un análisis a nivel didáctico e inclusive profesional.
- La aplicación de una encuesta permitió obtener una comparación entre el prototipo de fonendoscopio electrónico con el uso de un estetoscopio acústico. Con esto se ha determinado que el prototipo cuenta con aceptación por parte de los estudiantes y profesionales de la salud.

- El prototipo de fonendoscopio electrónico con fines didácticos al ser utilizado, ha dado como resultado tener un margen de error promedio de 3.8% entre la frecuencia obtenida con el prototipo y la medida por el médico, lo cual es un valor muy pequeño.

RECOMENDACIONES

- A futuro, se puede adicionar funciones como electrocardiograma, de análisis con electrodos ECG los cuales permitan un mayor estudio por parte de los profesionales de la salud tratantes.
- Asegurarse que la carga de la batería sea la adecuada para evitar inconvenientes en el uso del prototipo, que pueda ocasionar un funcionamiento inadecuadamente durante el proceso de auscultación.
- Se recomienda que el uso del fonendoscopio electrónico con fines didácticos sea en lugares lo más sosegados posibles, para una mejor representación del fonograma.
- Manejarse con el cuidado respectivo el equipo debido a la sensibilidad de cada uno de sus componentes; los cuales pueden resultar dañados por acciones bruscas sobre ellos.

GLOSARIO

A	Amperios
ADC	Conversión Análoga-Digital
BLE	Bluetooth de bajo consumo
BPM	Latidos por minuto
DAC	Conversión Digital-Análoga
dB	Decibelios
DIY	Hazlo tú mismo (Do It Yourself)
CI	Circuito integrado
EMC	Compatibilidad Electromagnética
EMI	Interferencia Electromagnética
eMMC	Sistema de memoria no volátil integrado.
GB	Gigabyte
GPIO	Entrada/Salida de propósito general
HDMI	Interfaz multimedia de alta definición
Hz	Hercio (Hertz)
IoT	Internet de las cosas
I ² S	Sonido Integrado Interchip (Integrated Interchip Sound)
KHz	Kilohercio
KΩ	Kilo ohm
LXDE	Entorno ligero de escritorio X11 (Lightweight X11 Desktop Environment)
mA	mili Amperios
mm	milímetros
mV	mili voltios
PoE	Alimentación a través de Ethernet
RAM	Memoria de acceso aleatorio
RMS	Valor efectivo (Root Mean Square – Raíz Media Cuadrática)
SBC	Computador de placa única (Single Board Computer)
SO	Sistema operativo
SoC	Sistema en chip (System on a chip)
TIC	Tecnología de la información
V	Voltaje
V _{pp}	Voltaje pico a pico
W	Watt
Ω	Ohm

BIBLIOGRAFÍA

3M|LITTMANN, *Anatomía de un Estetoscopio: Estetoscopios Littmann / 3M*. [en línea]. s. f. [Consulta: 7 febrero 2019 a]. Disponible en: https://www.littmann.3m.com.ar/3M/es_AR/estetoscopios-littmann-la/centro-educativo/como-elegir/anatomía/.

3M|LITTMANN, *Cómo Elegir un Estetoscopio: Estetoscopios Littmann / 3M*. [en línea]. s. f. [Consulta: 27 febrero 2019 b]. Disponible en: https://www.littmann.3m.com.ar/3M/es_AR/estetoscopios-littmann-la/centro-educativo/como-elegir/.

A.T.U.S., *Tipos de Interferencia. Audio-Technica* [en línea]. 2013. [Consulta: 28 abril 2019]. Disponible en: <https://www.audio-technica.com/cms/site/26971e97bf9429d3/index.html>.

ACEVEDO, David, *Amplificación. preamplificación y procesamiento de las señales de audio* [en línea]. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga: 2011. Disponible en: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1818/digital_21938.pdf?sequence=1.

ALLAN, Alasdair, *The New Tinker Board S. Hackster Blog* [en línea]. 2018. [Consulta: 27 abril 2019]. Disponible en: <https://blog.hackster.io/the-new-tinker-board-s-ea4ff8a21307>.

ARCIGA, Noel, MONROY, Bernardo, MUÑOZ, Norberto y PÉREZ, Julio, *Estetoscopio electrónico inalámbrico* [en línea]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. S.l.: 2008. [Consulta: 19 noviembre 2018]. Disponible en: <https://repositorio.itesm.mx/handle/11285/629497>.

BANANA PI, *BPI-M64 Quad-core Development Board. bpi* [en línea]. s. f. [Consulta: 27 abril 2019]. Disponible en: <http://www.banana-pi.org/m64.html#m64r18>.

BOYLESTAD, Robert L. y NASHELSKY, Louis, *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*. 10ma. Mexico DF: Pearson Educación. 2009. ISBN 9786074422924.

CABRERA, Jose, *Filtros Activos*. [en línea]. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria: 2005. Disponible en: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29861/filtros.pdf>.

CENETEC, *Guía Tecnológica No. 9: Estetoscopio* [en línea]. 2004. s.n. Mexico DF: 2004. Disponible en: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/9gt_estetoscopio.pdf.

DÍAZ, Irwin, *Desarrollo de un Sistema de Adquisición de Sonidos Respiratorios* [en línea]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. S.l.: 2008. [Consulta: 19 noviembre 2018]. Disponible en: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/181>.

DUQUE RAMIREZ, Luis Guillermo. y **RUBIO VANEGAS, Humberto.**, *Semiología médica integral* [en línea]. 1ra. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia. 2006. [Consulta: 30 enero 2019]. ISBN 9586559157. Disponible en: <https://vdocuments.mx/semiologia-medica-integral.html>.

EKUORE, *Estetoscopio, evolución y tipos de fonendoscopio* / *eKuore. Medicina* [en línea]. 2017. [Consulta: 26 abril 2019]. Disponible en: <https://www.ekuore.com/es/evolucion-tipos-fonendoscopio-estetoscopio/>.

EQUIPO DE REDACCIÓN PROFESIONAL PARTESDEL.COM, *Partes del estetoscopio*. *Partesdel.com* [en línea], 2017. [Consulta: 7 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.partesdel.com/estetoscopio.html>.

FERRER, Lluís, *Introducción a la compatibilidad electromagnética*. En: *DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA (ed.), Jornades de Conferències d'Enginyeria Electrònica del Campus de Terrassa* [en línea]. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona: pp. 4. 2014. Disponible en: http://www.jcee.upc.edu/JCEE2002/FERRER_PON_02.pdf.

GA, Grupo de Acústica, *Altavoces. Curso de Acústica* [en línea]. 2003. [Consulta: 22 abril 2019]. Disponible en: <http://www.ehu.eus/acustica/espanol/electricidad/altaves/altaves.html>.

GARCIA LÓPEZ, Miguel, *Transductores Básicos*. [en línea]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Valladolid: 2003. Disponible en: <https://analfatecnicos.net/archivos/35.TransductoresBasicos.pdf>.

GARCIA, Mónica, PERIS, Jordi, ALCAIDE, Jorge, MONTERDE, Rafael, GÓMEZ, Tomás, FERRER, Pablo, COLLADO-RUÍZ, Daniel y GÓMEZ-SENENT, Eliseo, *Fundamentos del diseño en la ingeniería* [en línea]. 1. València: Universitat Politècnica de València. 2009. [Consulta: 18 octubre 2017]. ISBN 978-84-8363-386-1. Disponible en: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/34c2348d-cce6-4480-b37a-c2c7b64d8c80/TOC_0989_02_01.pdf?guest=true.

GONZÁLES, K., URREGO, D. y GORDILLO, W., *Estudio sobre Computadores de Placa Reducida Raspberry Pi Modelo B y Cubieboard2 en la Creación de Proyectos con Base Tecnológica de Gran Impacto Social*. *ENGI Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería* [en línea], vol. 3, no. 1, pp. 6-10. 2014. DOI 2256-5612. Disponible en: http://revistas_electronicas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Revistas_electronicas/article/view/164.

GUERRERO, Juan, *Bioseñales*. [en línea]. Valencia: 2011. Disponible en: http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T2_OCW.pdf.

HARDKERNEL, *ODROID-C2*. *ODROID* [en línea]. 2016. [Consulta: 27 abril 2019]. Disponible en: <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-c2/>.

HERRERA GARCÍA, Liusel, TABOADA CRISPI, Alberto y PAZ VIERA, Juan, *Diseño de Estetoscopio Digital Basado en PSoC*. VIII Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería [en línea]. s.n., Santa Clara: pp. 4. 2009. [Consulta: 19 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/202974888_Disenio_de_Estetoscopio_Digital_Basado_en_PSoC.

INFORAUDIO, *Tipos de Altavoces*. [en línea]. s. f. [Consulta: 22 abril 2019]. Disponible en: <https://www.inforaudio.com/tienda/content/19-tipos-de-altavoces>.

JUIÑA QUILACHAMÍN, Daniela María, *Diseño y construcción de un prototipo de estetoscopio digital con fines didácticos* [en línea]. Quito, 2016. S.l.: 2016. [Consulta: 5

septiembre 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/14424>.

LLANIO NAVARRO, Raimundo y PERDOMO GONZÁLEZ, Gabriel, *Propedéutica clínica y semiología médica Tomo I [en línea]*. La Habana: s.n. 2003. ISBN 959-7132-87-5. Disponible en: [https://clea.edu.mx/biblioteca/PROPEDEUTICA CLINICA Y SEMIOLOGIA MEDICA Tomo I.pdf](https://clea.edu.mx/biblioteca/PROPEDEUTICA_CLINICA_Y_SEMIOLOGIA_MEDICA_Tomo_I.pdf).

LLORET, Joan, *El Estetoscopio: Escuchar los sonidos del cuerpo [en línea]*. Valencia: Universitat de València, Vicerrectorado de Investigación. 2010. [Consulta: 19 noviembre 2018]. ISBN 2171-911X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5882454>.

MIYARA, Federico, *El sonido, la música y el ruido. [en línea]*, 2001. Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/sonmurui.pdf>.

MOLINA, José Luis, *TRANSDUCTORES DE SONIDO. Profesor Molina [en línea]*. s. f. [Consulta: 11 febrero 2019]. Disponible en: http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/trans_sonido.htm.

MONDRAGÓN, Noel Arciga, *Estetoscopio electrónico inalámbrico [en línea]*. División de Ingeniería y Arquitectura. S.l.: 2008. [Consulta: 22 enero 2019]. Disponible en: <https://repositorio.itesm.mx/handle/11285/629497>.

MORENO, Asunción, *Filtros. [en línea]*. Universitat Politècnica de Catalunya. Catalunya: 2009. Disponible en: https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=11480/2011/1/52847/tema3._filtros_v2.3-2742.pdf.

NACHON, Horacio, *CIENCIAS BIOLÓGICAS: ANATOMÍA Y FISIOLÓGIA DEL SISTEMA CARDIOVASCULAR. Anatomía y Fisiología del Sistema Cardiovascular [en línea]*. 2008. [Consulta: 13 enero 2019]. Disponible en: <http://hnncebiol.blogspot.com/2008/01/sistema-cardiovascular.html>.

PICERNO, Alberto, *Amplificador de potencia de audio. La Biblia del LCD y Plasma [en línea]*. 2009. [Consulta: 14 febrero 2019]. Disponible en: <http://electronicacompleta.com/lecciones/amplificador-de-potencia-de-audio/>.

PINE A64, *PINE A64+*. *PINE64* [en línea]. 2016. [Consulta: 28 abril 2019]. Disponible en: https://www.pine64.org/?page_id=1194.

RASPBERRY PI FOUNDATION, *FAQs - Raspberry Pi Documentation*. [en línea]. 2019. [Consulta: 10 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/>.

RASPBIAN COMMUNITY, *Raspbian*. [en línea]. 2019. Disponible en: <https://www.raspbian.org/RaspbianAbout>.

ROGUIN, Ariel, *Rene Theophile Hyacinthe Laënnec (1781-1826): the man behind the stethoscope. Clinical medicine & research [en línea]*, vol. 4, no. 3, pp. 230-5. 2006. [Consulta: 14 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17048358>.

SÁNCHEZ, Lourdes, *Principios Físicos de Estetoscopio Y Ecógrafo [en línea]*. 2012. Trabajos Médicos. S.l.: 2012. [Consulta: 31 enero 2019]. Disponible en: <http://trabajosmedicos.blogspot.com/2012/07/principios-fisicos-de-estetoscopio-y.html>.

SHEA, Michael J. MD., *Auscultación cardíaca - Trastornos cardiovasculares. Manual MSD versión para profesionales [en línea]*. s. f. [Consulta: 31 enero 2019]. Disponible en: https://www.msmanuals.com/es-ec/professional/trastornos-cardiovasculares/abordaje-del-paciente-cardiaco/auscultacion-cardiaca#v27888147_es.

Tipos de micrófonos. productormusical.es [en línea], 2010. [Consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.productormusical.es/tipos-de-microfonos/>.

TREJO GARCÍA, Claudia Atala, MALDONADO MUÑIZ, Gabriela y CAMACHO Y LÓPEZ, Salvador M., *Práctica básica de enfermería. [en línea]*. Pachuca: s. f. [Consulta: 14 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n1/p1.html>.

ANEXOS

Anexo A: Encuesta para docentes y profesionales de la salud

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Informática y Electrónica

Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales

Instrucciones para la encuesta

- Mucho agradeceré su participación en esta encuesta con finalidad de obtener el título de Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales.
- La encuesta está dirigida para DOCENTES/PROFESIONALES de medicina.
- Gracias por su colaboración.

Marque con una X la respuesta que considere correcta

- **¿Considera útil el uso del estetoscopio electrónico con fines didácticos en el proceso de enseñanza/aprendizaje de los métodos de auscultación en la carrera de medicina?**

Sí No

¿Por qué? _____

- **¿Considera que el prototipo presentado mejoraría el aprendizaje del proceso de auscultación médica en la formación de profesionales en la salud?**

Sí No

- **¿Cuál ha sido el nivel de dificultad con el uso del estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

Muy difícil Difícil Regular Fácil y didáctico

- **¿Qué diferencias encuentra entre el proceso de auscultación con un estetoscopio acústico y el prototipo de estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

Mejor el prototipo de estetoscopio electrónico con fines didácticos

Mejor el estetoscopio acústico

Ninguna diferencia

- **¿Qué característica sugiere se debe mejorar en el estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

Diseño del equipo (tamaño, materiales, presentación)

Amplificación de sonido (calidad, ganancia)

Incluir impresiones del fono-cardiograma

Otros _____

- **¿Está de acuerdo, como docente, en utilizar el estetoscopio electrónico con fines didácticos para la enseñanza del proceso de auscultación a estudiantes de medicina?**

De acuerdo Indiferente Desacuerdo

Con una escala del 1 al 5; siendo 1 la calificación más baja y 5 la calificación más alta.

- **¿Cómo calificaría la calidad del sonido escuchado en el estetoscopio electrónico con fines didácticos?**

1 2 3 4 5

- **¿Cuál sería la calificación del diseño y funcionamiento del estetoscopio electrónico con fines didácticos presentado?**

1 2 3 4 5

Anexo B: Encuesta para estudiantes del área de la salud

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Informática y Electrónica

Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales

Instrucciones para la encuesta

- Mucho agradeceré su participación en esta encuesta con finalidad de obtener el título de Ingeniero Electrónico en Control y Redes Industriales.
- La encuesta está dirigida para ESTUDIANTES de ciencias de la salud.
- Gracias por su colaboración.

Marque con una X la respuesta que considere correcta

- ¿Considera útil el uso del estetoscopio electrónico con fines didácticos en el proceso de enseñanza/aprendizaje de los métodos de auscultación en la carrera de medicina?

Sí No

¿Por qué? _____

- ¿Considera que el prototipo presentado mejoraría el aprendizaje del proceso de auscultación médica en la formación de profesionales en la salud?

Sí No

- ¿Cuál ha sido el nivel de dificultad con el uso del estetoscopio electrónico con fines didácticos?

Muy difícil Difícil Regular Fácil y didáctico

- ¿Qué diferencias encuentra entre el proceso de auscultación con un estetoscopio acústico y el prototipo de estetoscopio electrónico con fines didácticos?

Mejor el prototipo de estetoscopio electrónico con fines didácticos

Mejor el estetoscopio acústico

Ninguna diferencia

- ¿Qué característica sugiere se debe mejorar en el estetoscopio electrónico con fines didácticos?

Diseño del equipo (tamaño, materiales, presentación)

Amplificación de sonido (calidad, ganancia)

Incluir impresiones del fono-cardiograma

Otros _____

- ¿Está de acuerdo, como estudiante, que sería útil contar con un estetoscopio electrónico con fines didácticos durante su periodo de formación académica?

Sí No

¿Por qué? _____

Con una escala del 1 al 5; siendo 1 la calificación más baja y 5 la calificación más alta.

- ¿Cómo calificaría la calidad del sonido escuchado en el estetoscopio electrónico con fines didácticos?

1 2 3 4 5

- ¿Cuál sería la calificación del diseño y funcionamiento del estetoscopio electrónico con fines didácticos presentado?

1 2 3 4 5

Anexo C: Algoritmo de programación

```
import csv
import math          as m
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy         as np
import os
import PIL
import pyaudio
import random
import scipy.io.wavfile as waves
import struct
import sys
import threading
import time
import Tkinter      as Tk
import Tkinter      as tk
import wave

from matplotlib          import pyplot      as plt
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure   import Figure
from matplotlib.widgets  import Slider
from numpy               import *
from PIL                 import *
from PIL                 import Image
from PIL                 import ImageTk
from random              import randint
from scipy.fftpack      import fft
from time                import sleep
from tkFont              import *
from tkFont              import Font
from Tkinter             import *
from Tkinter             import TclError

global boton
global contenido_time
global parte
def inicio():
    v_inicio = Toplevel()
    v_inicio.title('INICIO')
    v_inicio.geometry('796x412+0+0')
    v_inicio.configure(bg = color_fondo)
    v_inicio.focus_set()
    v_inicio.grab_set()
    v_inicio.transient(master=root)
    im = PIL.Image.open('latido.jpg')
    photo = PIL.ImageTk.PhotoImage(im)
    imagen = Label(v_inicio,image=photo).place(x=150,y=-20)
    Label(v_inicio, text='Lectura de audio en Tiempo Real',font=t1,bg=color_fondo).pack(pady=10)
    bot_cal=Button(v_inicio,text='Grabar',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_b3,command=grabar).place(x=80,y=220,
width=200,height=60)
    bot_res=Button(v_inicio,text='Analizar',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_b3,command=analizar).place(x=300,y=220,
width=200,height=60)
    bot_eva=Button(v_inicio,text='Resultados',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_b3,command=resultados).place(x=520,y=220,
width=200,height=60)
    bot_atras=Button(v_inicio,text='ATRÁS',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_D2,command=v_inicio.destroy).place(x=80,y=335,
width=200,height=50)
    bot_salir=Button(v_inicio,text='SALIR',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_D1,command=root.destroy).place(x=520,y=335,
width=200,height=50)
    v_inicio.wait_window(v_inicio)
def analizar():
    global v_inicio
    condicion = 0
    variable_paso = 0
    appear = 0
    os.remove('picos.csv')
    os.remove('tiempo.csv')
    os.remove('tiempos.csv')
    os.remove('nueva.png')
    sleep(1)
    file = open('/home/pi/AHORA/picos.csv', 'w')
    file = open('/home/pi/AHORA/tiempo.csv', 'w')
    file = open('/home/pi/AHORA/tiempos.csv', 'w')
```

```

file.close()
archivo = 'ahora.wav'
muestreo, sonido = waves.read(archivo)
print 'Frecuencia:',muestreo
print 'Valores de audio original:',sonido
print 'Suma Frecuencias original:',len(sonido)
tamano = np.shape(sonido)
muestras = tamano[0]
m = len(tamano)
canales = 1
if (m>1):
    canales = tamano[1]
if (canales>1):
    canal = 0
    uncanal = sonido[:,canal]
    print('un canal')
    print uncanal
else:
    uncanal = sonido
inicia = 2.001
termina = 10.001
a = int(inicia*muestreo)
b = int(termina*muestreo)
parte = uncanal[a:b]
print '-----'
print 'Valores de audio parte:',parte
print 'Suma Frecuencias parte:',len(parte)
figure = plt.figure()
plt.plot(parte)
plt.title('SONOGRAMA')
plt.xlabel('Frecuencia: 44.1 Hz')
plt.ylabel('Amplitud')
plt.grid(True)
if save:
    figure.savefig('nueva.png')
j=0
val_amplitud = 130
while (j<len(parte)):
    if parte[j]>val_amplitud:
        tono_alto = j
        doc=open('/home/pi/AHORA/picos.csv',"a")
        doc.write('%d' %tono_alto)
        doc.write("\n")
        doc.close()
        while (parte[j+1]>150 ):
            j=j+1
        j=j+1
    print '-----'
print('archivo de parte[] grabado...')
waves.write('parte01.wav', muestreo, parte)
frec = open('picos.csv')
contenido = frec.readlines()
dimension = len(contenido)
dim_frec = dimension
print 'Dimension picos posibles:',dimension
while dimension>0:
    a = dimension-1
    mayor = int(contenido[a])
    dimension = a-1
    menor = int(contenido[dimension])
    dimension = a
    dim_frec = dim_frec-1
    if(dim_frec>0):
        frecuencia = mayor-menor
        separacion_frec=1000
        if(frecuencia>separacion_frec):
            frequency = float(frecuencia)
            tiempo = float(frequency/44100)
            doc = open('/home/pi/AHORA/tiempo.csv',"a")
            doc.write('%f' %tiempo)
            doc.write("\n")
            doc.close()
time = open('tiempo.csv')
contenido_time = time.readlines()
dimension_time = len(contenido_time)
time.close

```

```

while dimension_time>0:
    dimension_time = dimension_time-1
    end_time = float(contenido_time[dimension_time])
    print end_time
    doc=open('/home/pi/AHORA/tiempos.csv',"a")
    doc.write('%f' %end_time)
    doc.write("\n")
    doc.close()
def resultados():
    v_resultados = Toplevel()
    v_resultados.title('RESULTADOS')
    v_resultados.geometry('796x412+0+0')
    v_resultados.configure(bg = color_fondo)
    v_resultados.focus_set()
    v_resultados.grab_set()
    v_resultados.transient(master=root)
    im = PIL.Image.open('nueva.png')
    im = im.resize((570, 380))
    photo = PIL.ImageTk.PhotoImage(im)
    imagen = Label(v_resultados,image=photo).place(x=0,y=0)
    textores = Label(v_resultados, text = "TIEMPO (s)",font=t1).place(bordermode = OUTSIDE, height = 20, width = 150, x=
590, y= 50)
    listbox = Listbox(v_resultados)
    listbox.pack()
    send = open('tiempos.csv')
    contenido_t = send.readlines()
    cant = len(contenido_t)
    print contenido_t
    for dato in contenido_t:
        listbox.insert(END, dato)
        listbox.place(x=590,y=70)
    listbox.place(x=590,y=70)
bot_atras=Button(v_resultados,text='ATRÁS',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_D2,command=v_resultados.destroy).place(x
=570,y=332, width=200,height=50)
    v_resultados.wait_window(v_resultados)
def grabar():
    v_grabar = Toplevel()
    v_grabar.title('GRABAR')
    v_grabar.geometry('796x412+0+0')
    v_grabar.configure(bg = color_fondo)
    v_grabar.focus_set()
    v_grabar.grab_set()
    v_grabar.transient(master=root)
    matplotlib.use('TKAgg')
    audio = []
    CHUNK = 1024*16
    FORMAT = pyaudio.paInt16
    CHANNELS = 1
    RATE = 44100
    RECORD_SECONDS = 12
    WAVE_OUTPUT_FILENAME = "ahora.wav"
    p = pyaudio.PyAudio()
    stream = p.open(
        format = FORMAT,
        channels = CHANNELS,
        rate = RATE,
        input = True,
        output = True,
        frames_per_buffer = CHUNK,
        start = True
    )
    fig, ax = plt.subplots()
    plt.title('SONOGRAMA')
    plt.xlabel('Frecuencia: 44.1 Hz')
    plt.ylabel('Amplitud')
    canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, v_grabar)
    canvas.get_tk_widget().pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=1)
    x = np.arange(0,2 * CHUNK,2)
    line,=ax.plot(x,np.random.rand(CHUNK))
    ax.set_ylim(0, 255)
    ax.set_xlim(0, CHUNK)
    frames = []
    for i in range(0, int(RATE / CHUNK * RECORD_SECONDS)):
        data=stream.read(CHUNK, exception_on_overflow = False)
        frames.append(data)
        audio = np.fromstring(data, np.int16)

```

```

data_int = np.array(struct.unpack(str(CHUNK*2)+'B',data),dtype='b')[::2]+127
line.set_ydata(data_int)
fig.canvas.draw()
fig.canvas.flush_events()
frames = "".join(frames)
fig = plt.figure()
s = fig.add_subplot(111)
amplitude = np.fromstring(frames, np.int16)
s.plot(amplitude)
fig.savefig('tfft.png')
stream.stop_stream()
stream.close()
p.terminate()
wf = wave.open(WAVE_OUTPUT_FILENAME, 'wb')
wf.setnchannels(CHANNELS)
wf.setsampwidth(p.get_sample_size(FORMAT))
wf.setframerate(RATE)
wf.writeframes(b''.join(frames))
wf.close()
bot_atras=Button(v_grabar,text='ATRÁS',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_D2,command=v_grabar.destroy).place(x=110,y
=5, width=200,height=40)
sleep(0.2)
v_grabar.wait_window(v_grabar)
root = Tk()
root.title('BIENVENIDA')
root.geometry('796x412+0+0')
color_fondo = '#%02x%02x%02x' % (255,255,255)
root.configure(bg = color_fondo)
color_letras = '#%02x%02x%02x' % (254,245,231)
color_D1 = '#%02x%02x%02x' % (130,175,107)
color_D2 = '#%02x%02x%02x' % (163,111,88)
color_b3 = '#%02x%02x%02x' % (40,55,71)
t1 = Font(family='Times New Roman', size=16,weight='bold')
t2 = Font(family='Times New Roman', size=14)
im = PIL.Image.open('1.jpeg')
photo = PIL.ImageTk.PhotoImage(im)
imagen = Label(root,image=photo).place(x=280,y=30)
Label(root,text='Facultad de Informatica y Electronica',font=t2,bg=color_fondo).place(x=250,y=270)
Label(root,text='Escuela de Ingenieria Electronica, Control y Redes
Industriales',font=t2,bg=color_fondo).place(x=160,y=290)
Label(root,text='FONENDOSCOPIO ELECTRÓNICO CON FINES
DIDACTICOS',font=t1,bg=color_fondo).place(x=100,y=10)
bot_salir=Button(root,text='SALIR',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_D2,command=root.destroy)
bot_salir.place(x=80,y=335, width=200,height=50)
bot_inicio=Button(root,text='INICIO',font=t1,fg=color_fondo,bg=color_D1,command=inicio)
bot_inicio.place(x=520,y=335, width=200,height=50)
sleep(0.2)
root.mainloop()

```

Anexo D: Fotografías de participantes en pruebas con el prototipo.

