

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ESTETOSCOPIO ELECTRÓNICO DE BAJO COSTO PARA LA AUSCULTACIÓN CARDIACA Y PULMONAR

Quiroz Rico, César D.; Ortiz Ravell, Carlos; Parra Acevedo, Gerardo; Velázquez Solano Frida K.

Resumen— El estetoscopio es un instrumento imprescindible para la auscultación en el área médica; sin embargo, un estetoscopio electrónico puede mejorar esta técnica gracias a la amplificación y filtrado de la señal. En este trabajo, se diseña un estetoscopio electrónico para adquirir sonidos cardíacos y pulmonares, y para mayor sencillez el proyecto se dividió en 5 etapas: 1) acondicionamiento del sensor, 2) filtrado de señal, 3) adquisición y procesamiento con microcontrolador, 4) despliegue de información en LCD, 5) visualización de sonidos en tiempo real a través del software LabView.

A la salida del sensor se tuvo una amplitud máxima de 11dB con ruido electromagnético y ambiental, después del procesamiento se obtuvo una amplitud de hasta 78 dB con una notable reducción de ruido. Todo lo anterior con un error del 4% debido a la linealización de la señal, en conclusión, los estetoscopios electrónicos pueden facilitar el diagnóstico entregado a los pacientes; con la visualización de los sonidos cardíacos, es posible obtener más información con respecto a ciertas patologías, lo que sugiere una mejor funcionalidad en comparación con los estetoscopios convencionales.

Palabras Clave: Estetoscopio, Sonido, Diseño, Auscultación

I. INTRODUCCIÓN

Entre el instrumental médico existente, el más utilizado hoy en día, por su gran valor clínico, es el estetoscopio; este sirve para transmitir sonidos al oído humano al momento de realizar la auscultación, principalmente se trata de sonidos cardíacos y respiratorios, aunque también pueden llegar a ser ruidos peristálticos; el presente trabajo se centra, principalmente, en el procesamiento de los sonidos cardíacos.

El estetoscopio es importante por su practicidad y el diagnóstico certero que proporciona a los médicos, razón por la cual se han buscado distintas formas de mejorarlo, tal es el caso de los estetoscopios digitales que por sus ventajas como lo son el tamaño, portabilidad y características tecnológicas, resultan ser una propuesta de valor, tanto para el área clínica como para la enseñanza [1].

Por otro lado, el mayor inconveniente que presenta el estetoscopio convencional es que no logra una captación del sonido óptima, derivado del ruido existente y la baja intensidad de la señal, ni filtra los sonidos de las diferentes afecciones cardíacas, mientras que, con la implementación de un sistema electrónico, se pueden amplificar las ondas sonoras y se puede seleccionar qué onda quiere filtrarse [2].

Para la elaboración del estetoscopio, es necesario el diseño de un circuito, que permita adquirir los sonidos del corazón con el menor ruido posible. Para esto, se propuso hacer uso de las siguientes etapas: Mesurando, Amplificación, Filtrado y Sistema Digital, el cual incluirá una Adquisición, un Procesamiento y un Despliegue.

En el presente proyecto, se mencionan los objetivos, en el apartado de metodología, se desglosan cada una de las etapas, y posteriormente, se menciona los resultados obtenidos realizando un análisis para concluir las ventajas del diseño del estetoscopio electrónico.

i. Marco Teórico

El estetoscopio es un instrumento que ayuda a la auscultación de los sonidos internos del cuerpo, principalmente cardíacos, pulmonares y peristálticos; este se encuentra conformado por las siguientes partes:

- Olivas: gomas de plástico que se acomodan al oído y obstruyen los ruidos externos.
- Auriculares: arcos metálicos, que conectan las olivas al cuerpo del estetoscopio.
- Tubuladura: tubo flexible que transmite las ondas de sonido.
- Campana: detecta sonidos a frecuencias bajas.
- Diafragma: detecta sonidos a frecuencias altas.

Cabe mencionar que los sonidos del corazón, y vibraciones dadas por el flujo de la sangre, son expresiones sonoras del cierre de las válvulas cardíacas. Existen 5 focos de auscultación: foco aórtico, foco pulmonar, foco aórtico accesorio de Erb, foco tricuspídeo y foco mitral o apexiano.

El primer sonido se relaciona con el cierre de las válvulas auriculoventriculares al comienzo de la sístole, mientras que el segundo se asocia con el cierre de las válvulas semilunares (aórtica y pulmonar) al final de la sístole. En ocasiones se llega a escuchar un tercer ruido que se aprecia al comienzo del tercio medio de la diástole y se ausculta solo en el foco apexiano (siendo habitual en la niñez y muy raro después de los 40 años), y un cuarto sonido o ruido auricular que es ocasionado por un llenado rápido [3].

Por otro lado, los murmullos (vibraciones o sonidos dados por la turbulencia de la sangre) también pueden ser apreciados.

Los sonidos del corazón y los murmullos tienen amplitudes demasiado pequeñas, con frecuencias de 0.1 a 2000 Hz, así, por debajo de los 20 Hz la amplitud de los sonidos se encuentra por debajo de lo audible, mientras que el final de la

¹CÉSAR QUIROZ, CARLOS ORTIZ, GERARDO PARRA y FRIDA VELÁZQUEZ pertenecen a la carrera INGENIERÍA BIOMÉDICA de la Facultad de Ingeniería y realizaron el proyecto dentro del curso MEDICIONES BIOMÉDICAS I (Email: cesar.quiroz@lasallistas.org.mx).

El proyecto fue asesorado por ING. MARÍA DEL CARMEN ARQUER RUÍZ

frecuencia alta, al ser la región con máxima sensibilidad, es usualmente poco perceptible para el oído humano [4].

Debido a que los sonidos del corazón y los murmullos tienen baja amplitud, los sonidos extraños deben ser minimizados [5].

Respecto a los sonidos respiratorios ocurren en el intervalo de frecuencias de 100 a 1500 Hz, dentro de este intervalo, se consideran los ruidos normales y los ruidos adventicios, como silbilancias, crepitaciones debidos a secreciones en vías aéreas, y colapsos inspiratorios. Los cambios en densidad del gas y en la estructura pulmonar que ocurre en las diferentes enfermedades puede afectar la amplitud y la frecuencia del sonido desde las vías aéreas hacia la superficie del tórax [6].

La auscultación se realiza poniendo el estetoscopio a cada lado de la columna vertebral, en los costados y en la cara anterior del tórax, mientras el paciente inspira y expira según las indicaciones del médico [7].

Para la elaboración de este proyecto, se hace uso de un sensor micrófono Microelectret, el cual es una variante del micrófono de condensador, con una respuesta en frecuencia de 50 a 15,000 Hz y una sensibilidad de -50 dB y -70 dB [8].

II. ANTECEDENTES

La idea del estetoscopio surgió en 1816 con René Théophile Hyacinthe Laennec, quien, enrollando un pedazo de papel y colocándolo en la región precordial de una mujer para escuchar a través de él, descubrió el fenómeno acústico producido considerando que los cuerpos sólidos conducían y algunos otros amplificaban; posteriormente, los prototipos fueron evolucionando a madera.

Para 1828, el Dr. N P Comyns, innovó con un estetoscopio monoaural, el cual consistía en tubos de madera articulados; y el siguiente paso fue el estetoscopio binaural (1829), el cual se trataba de una pieza en forma de trompeta de caoba que llegaba a dos tubos de plomo doblados, pero no eran del todo prácticos pues necesitaban ser sostenidos.

No fue sino hasta 1873 que se introdujo un modelo hecho de puro metal, y en 1876 que se sugirió que el estetoscopio se encontrara sujeto a la cabeza. Para 1900, se concretó la idea con un diafragma simple y una membrana.

En 1907, Bazzi y Bianchi introdujeron el fonendoscopio, que daba una mejor calidad a los sonidos, pues consistía en un doble diafragma, que permitía localizar órganos con precisión, y en 1926, Sato y Nukiyama describieron un magnoscopio, estetoscopio eléctrico con un amplificador de triodo de tres fases.

En las últimas décadas, lo que se ha propuesto e implementado es el uso de los estetoscopios digitales que permiten la amplificación, filtrado y grabado del sonido; sin embargo, a pesar de las diferentes propuestas con respecto a estos y sus ventajas, no han sido totalmente aceptados, probablemente por la poca familiaridad que existe hacia ellos. [9]

Actualmente también existen estetoscopios que pueden reproducir los sonidos a una aplicación móvil a miles de kilómetros de distancia o enviarlos directamente a un registro médico electrónico, un ejemplo de la evolución de este instrumento es el estetoscopio electrónico 3M *Litmann 3200*. [10]

III. OBJETIVO

i. *Objetivo General*

Desarrollar un instrumento que permita adquirir sonidos cardiacos y pulmonares.

ii. *Objetivos Específicos.*

- Investigar y establecer los parámetros que el instrumento requiere.
- Amplificar la señal proveniente del micrófono.
- Implementar filtros para obtener una señal más limpia.
- Medir los sonidos corporales.
- Desarrollar un programa para adquirir y procesar la señal.
- Visualizar la señal adquirida.

IV. METODOLOGÍA

Se investigan y establecen los parámetros requeridos por el instrumento para diseñar los circuitos y construir el estetoscopio electrónico.

El proyecto se dividió en cinco etapas: 1) acondicionamiento del sensor, 2) filtrado de la señal, 3) adquisición y procesamiento con microcontrolador, 4) despliegue de información en LCD, 5) visualización de los sonidos en tiempo real a través de Labview.

En la Figura 1 se observa la síntesis del proyecto mediante un diagrama de bloques, además del orden en el acoplamiento de las etapas.

La lista de material para la realización del proyecto es la siguiente:

- Micrófono electret
- Fuente de Alimentación Doble
- Osciloscopio
- PicKit 2
- Arduino 1
- LCD 2X16
- PIC16F887
- TL082
- AD620
- Resistencias (varias)
- Capacitores (varios)
- Potenciómetro de precisión de 1kΩ
- Campana de estetoscopio convencional
- Cristal de cuarzo de 20 MHz
- Sonómetro

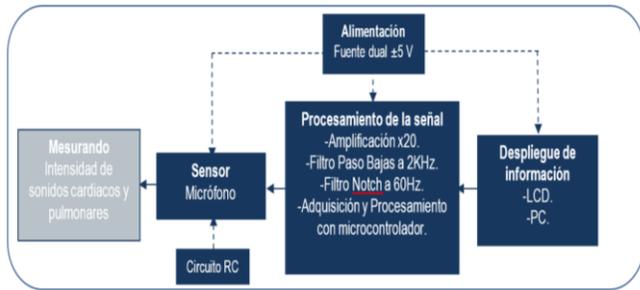


Figura 1 Diagrama de bloques de las partes del sistema de instrumentación

Una vez sabiendo los requerimientos en frecuencia y amplitud con los cuales se deberá diseñar el instrumento, se comienza con su diseño.

En la etapa de amplificación se busca tener una amplificación de 20 a la salida respecto a la señal de entrada. En la etapa de filtrado de la señal se utilizan dos filtros, uno pasa bajas a 2,000 Hz y uno de tipo Notch, para eliminar las posibles interferencias de la componente de corriente continua proveniente de la red eléctrica.

Para la adquisición y procesamiento digital de la señal, se utilizaron dos microcontroladores, uno para controlar una pantalla de LCD y para la medición en decibeles de la señal (en la Figura 2 se observa el diagrama de flujo del algoritmo que se implementó en este microcontrolador) y el otro microcontrolador se utilizó para transmitir la señal analógica a la computadora y poder visualizarla en tiempo real mediante la creación de un programa en LabView.

El diagrama de flujo de la Figura 2 fue el algoritmo utilizado para la programación del microcontrolador; comienza con la declaración de variables para el procesamiento digital, después se configura el microcontrolador preparándolo para la recepción de información analógica, y para el uso del LCD, posteriormente, se realiza el procesamiento digital de la señal.

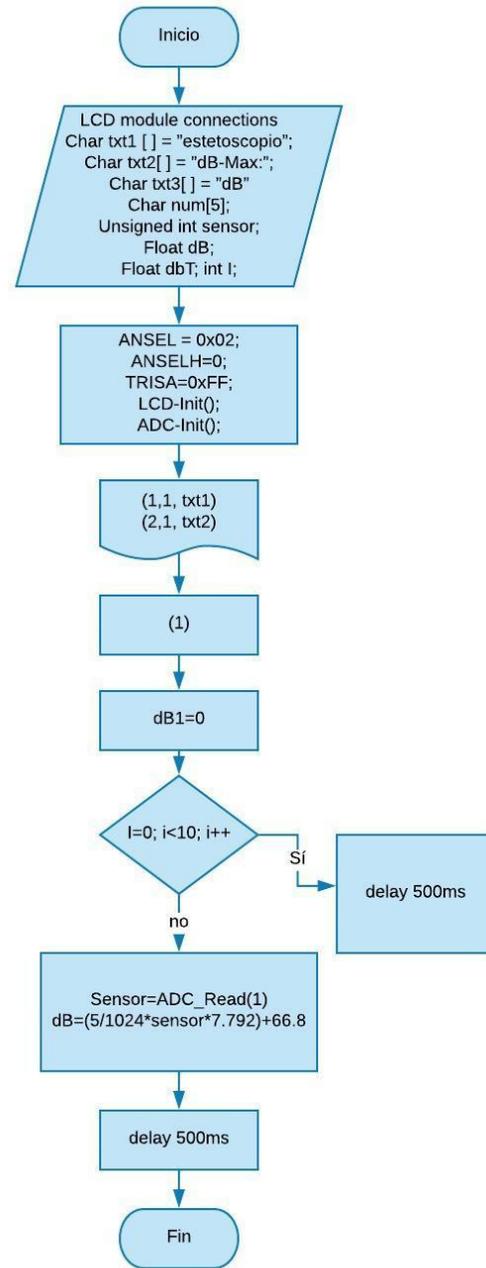


Figura 2 Diagrama de flujo del programa desarrollado en MikroC

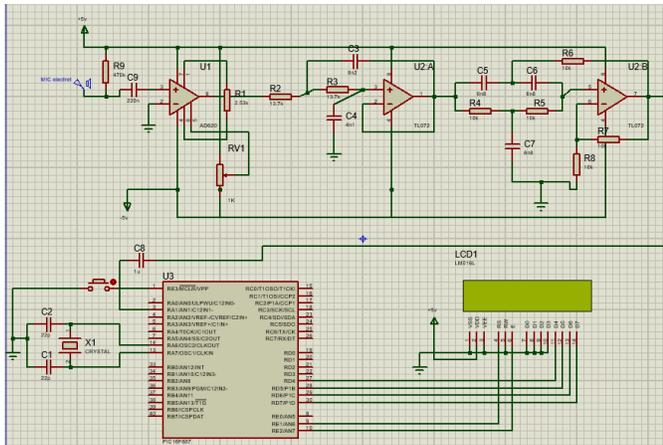


Figura 3 Diagrama del circuito electrónico elaborado en Proteus

En la Figura 3 podemos observar el circuito electrónico con todas las etapas: amplificación, filtrado, procesamiento y despliegue; los mensajes que aparecen en el display nos indica el valor en dB de la señal, el cual va a estar en constante actualización, la condición aquí es que sea mayor a la medición inmediata anterior, con esto se puede lograr la cuantificación en dB del sonido más fuerte captado en unos segundos.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el circuito, en la etapa de amplificación, se obtuvo una ganancia de 20.8; sin embargo, el sensor presentó un voltaje de offset, el cual se replicó en la etapa de amplificación.

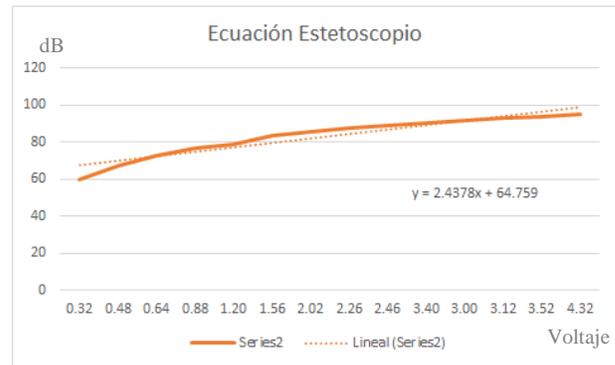
Para ajustar el offset proveniente del sensor, se colocó un potenciómetro de precisión en el pin 5 del AD620, pues este pin es el de referencia con esto podemos lograr un offset en la componente directa de la señal para ajustarlo en el intervalo de 0 a 5v, el cual es el rango de trabajo del convertidor ADC del Microcontrolador, evitando así pérdidas en la señal.

En cuanto a las frecuencias de corte de los filtros, la del paso bajas experimentalmente presentó una caída de tres decibeles con una frecuencia de corte de 2020Hz, mientras que en el filtro Notch o filtro de ranura, se obtuvo una frecuencia de corte experimental de 58Hz.

Las mediciones realizadas con el instrumento y el sonómetro se concentran en la Tabla 1, así como la ecuación de la recta calculada por medio de mínimos cuadrados y el error promedio del instrumento respecto a la teoría obtenidos en la Gráfica 1.

Mediciones Base				
Input	Output	Output Teórica	dB	Error
0.016	0.32	0.33	60	4%
0.024	0.48	0.50	67.40	4%
0.032	0.64	0.67	72.30	4%
0.040	0.88	0.83	76.50	6%
0.056	1.20	1.16	78.70	3%
0.072	1.56	1.50	83.30	4%
0.096	2.02	2.00	85.30	1%
0.110	2.26	2.29	87.30	1%
0.124	2.46	2.58	88.60	5%
0.168	3.40	3.49	90.20	3%
0.152	3.00	3.16	91.50	5%
0.160	3.12	3.33	92.90	6%
0.180	3.52	3.74	93.50	6%
0.220	4.32	4.58	95.10	6%
Relación Mínimos Cuadrados				7.7929593
a+bx				66.8+7.792x
Error promedio				4%

Tabla 1 Mediciones obtenidas con el estetoscopio y sonómetro



Gráfica 1 Relación mínimos cuadrados

Las mediciones de la Tabla 1 sirvieron para linealizar el sensor, para esto se usaron dos métodos, en uno se utilizó Excel mostrando la ecuación de la recta de la Gráfica 1 y en otro se utilizó el método numérico de mínimos cuadrados mostrando la ecuación de la recta de la Tabla 1 en el recuadro de "a + bx", obteniendo mejores resultados con este último método.

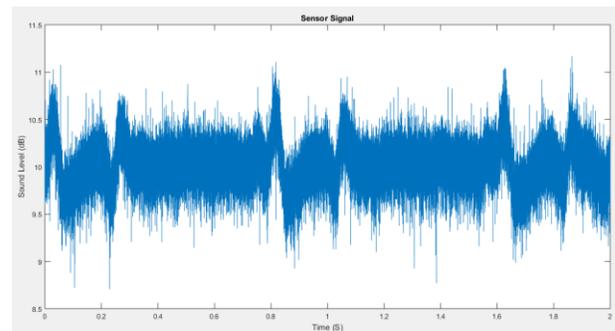


Figura 4 Señal del sonido carotideo a la salida del sensor

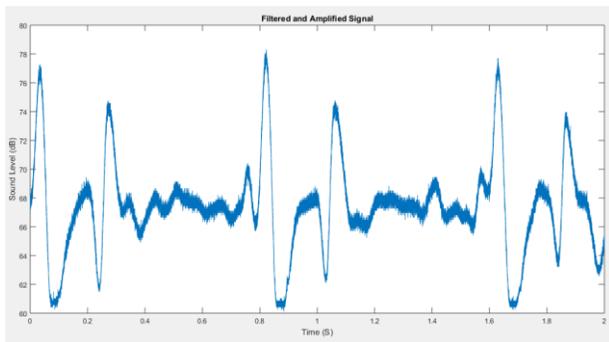


Figura 5 Señal del sonido carotideo filtrada y amplificada

En las Figuras 4 y 5, se muestran las señales tomadas de la arteria carótida, las cuales primero fueron observadas en el osciloscopio, guardadas y posteriormente desplegadas en *Matlab*; en la Figura 5 se puede observar lo ruidosa que es la señal a la salida del sensor, mientras que en la Figura 6 se presenta una señal filtrada y amplificada, la cual se ingresó al microcontrolador PIC16F887 mediante un acoplamiento capacitivo.

La medición de señal en la carótida de la figura 4 y 5 se realizó en ese sitio debido a la facilidad para colocar el estetoscopio, la fácil localización de la arteria carotídea y además de la rapidez para su colocación, pues no se tiene que pasar el estetoscopio por debajo de la ropa como se haría en el caso de auscultar el corazón o la espalda buscando sonidos respiratorios. Todo lo anterior no afecta nada en las mediciones del instrumento.

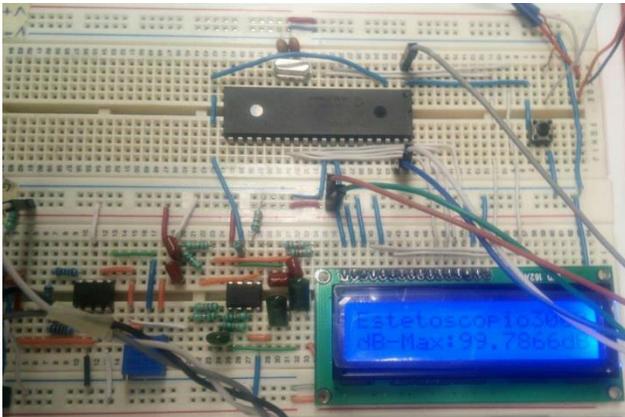


Figura 6 Circuito en Protoboard



Figura 7 Señal vista en LabView

Para la visualizada de la señal por medio de *LabView*, Figura 7, se conectó el microcontrolador a la salida del circuito para su digitalización, posteriormente se leyó y se desplegó la señal mediante una comunicación serial con una computadora. La discretización de la señal permitió desplegarla con menos ruido respecto un osciloscopio.

El amplificador de instrumentación utilizado (AD620) tiene la ventaja de poder eliminar un voltaje de offset mediante el ingreso de un voltaje igual al de offset, pero con signo contrario, por ejemplo: al ingresar 1V en el pin de referencia del amplificador, la señal a la salida tendrá 1v de offset, si ingresan -560mV en ese pin, la señal a la salida tendrá un offset negativo de 560mV, con esto se pudo ajustar a 1v la señal de salida del amplificador para poder ingresarla al microcontrolador, ya que este no trabaja con voltajes negativos.

Cabe mencionar que los sonidos cardíacos y pulmonares tienen frecuencias dentro del rango de 0.1 a 2000Hz, por lo cual, debido a las limitaciones del sensor, se decidió usar únicamente un filtro paso bajas, pues el rango de frecuencias que capta el sensor va de 50Hz a 15KHz.

La atenuación a 3dB del filtro paso bajas fue de 2020Hz y la frecuencia de corte central en el filtro Notch fue de 58Hz, con esto el circuito tuvo un rendimiento aceptable pues pudo filtrar la señal de buena manera (Ver imagen 5).

Se empleó un acoplamiento capacitivo de la señal con la finalidad de que la componente alterna de la señal quede intacta y no haya pérdidas de información.

Por otro lado, mediante la realización de un análisis económico, se pudo comparar los precios comerciales de los estetoscopios que tienen características similares al desarrollado en el presente trabajo con el cálculo del costo de nuestro estetoscopio.

El cálculo se realizó sumando el costo unitario de cada uno de los componentes, el monto total de este es de \$ 1,603.40.

El precio del estetoscopio con más características y más avanzado es el Littmann 3200 (\$ 13,136).

El segundo estetoscopio es un prototipo de la marca Ekuore, el modelo es Pro Kit y a pesar de ser un modelo que no tiene la magnitud comercial de Littmann, tiene una tecnología muy buena y características similares a las que ofrece el Littmann 3200.

Por último, se realizó la comparativa con un Littmann convencional modelo Classic III el cual no ofrece ninguna de los beneficios digitales que presentamos, es decir no se puede amplificar la señal adquirida, no se puede filtrar a frecuencias establecidas y tampoco se puede visualizar la señal adquirida ni observar cuantos decibeles expresa nuestra señal. El precio del Littmann Classic III es de \$2,860.

Se puede resaltar el último caso en el que el precio del estetoscopio convencional es casi 2 veces de lo que costo realizar este proyecto y casi 8 veces más que su versión electrónica.

Es importante mencionar que el porcentaje de error promedio, Tabla 1, del instrumento de medición es del 4%, esto es comparando las mediciones prácticas respecto a las calculadas, teniendo como referencia para las mediciones un sonómetro proporcionado por la Universidad La Salle, además, las condiciones acústicas del lugar donde se evaluó la

respuesta en frecuencia y amplitud del estetoscopio tenía un ruido menor a lo que indica la NOM-CH-56-1985, con esto se aseguran mediciones precisas en la respuesta del estetoscopio logrando tener una repetitividad en las mediciones; además es un complemento para diagnosticar padecimientos cardíacos, ya que se pueden escuchar y ver sonidos anormales, además de que, por su composición física de armado, puede ser instalado fácilmente en consultorios y hospitales.

El estetoscopio diseñado en este proyecto, no tiene contacto directo con el paciente en su parte electrónica, pues la campana del estetoscopio fue unido mediante un tubo de goma flexible al sensor, esto nos asegura que en ningún momento habrá corrientes de fuga o algún otro fenómeno eléctrico inducido al paciente por medio de este instrumento.

VI. CONCLUSIONES

Se logró diseñar un estetoscopio electrónico de bajo costo el cual cumple con las características necesarias para realizar una buena medición de la señal relacionada con los sonidos cardiacos y pulmonares con la finalidad de poder optimizar este recurso y obtener un mesurando confiable para el diagnóstico de patologías con el paciente, logrando complementar el historial clínico del paciente.

Al buscar un estetoscopio de alta calidad, la mejor opción es uno electrónico, sin embargo, el problema es su elevado precio, por lo que resulta relevante la opción de contar con un estetoscopio electrónico de bajo costo.

Se realizó la adquisición de la señal mediante dos programas diferentes: Matlab y LabView, siendo que en LabView se puede observar la señal en tiempo real y tiene una interfaz más amigable con el usuario y en Matlab se pueden realizar análisis de las diferentes tomas que se van realizando.

De igual forma, es importante tomar en cuenta que la gran mayoría de los médicos sólo utilizan la parte acústica en el diagnóstico, cuando la parte visual puede resultar ser un perfecto complemento para el análisis de la señal adquirida, ya que es mejor tomar una decisión si se tienen dos fuentes de información, en este caso la auditiva y la complementaria que es la visual; aunado a esto, se tiene el despliegue de los decibeles de los sonidos corporales los cuales pueden ser una tercera fuente de datos para un análisis más completo y complejo.

Memoria de cálculo.

Ganancia $G = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ (1)

$G = \frac{R4}{R3} \left(1 + 2 \frac{R2}{Rg} \right)$ (2)

Conversión a dB $= 20 \log(G)$ (3)

Diseño Filtro PB $PB = 2000Hz$ (4)

$$K = 2\pi f_0 C_1 = 2\pi(2000Hz)(8.2nF) = 1.0304 \times 10^{-4}$$

$$C_2 = mC = 0.5(8.2nF) = 4.1nF$$

$$R_2 = \frac{\alpha}{2mK} = \frac{1.4142}{2(0.5)(1.0304 \times 10^{-4})} = 13.7k\Omega$$

$$m = \frac{\alpha^2}{4} = \frac{1.4142^2}{4} = 0.5$$

$$R_1 = \frac{2}{\alpha K} = \frac{2}{(1.4142)(1.0304 \times 10^{-4})} = 13.7k\Omega$$

REFERENCIAS

[1] C. Tinoco Mesquita, J. Costa dos Reis, L. Silveira Simoes, E. Cardoso de Moura, G. Amarante Rodrigues, C. Cunto de Athayde, HI Lima Machado y P. Gemal Lanzieri, <<Digital Stethoscope as an Innovative Tool on the Teaching of Auscultatory Skills>> Universidad Federal Fluminense, pp. 187 – 189, noviembre 2012.

[2] C. Fernando Carrasco Mora. (2014). Diseño y construcción de un estetoscopio electrónico de bajo costo con filtrado de frecuencias para la detección de afecciones pulmonares y cardiacas. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3031/Tesis.pdf?sequence=1>

[3] H. A. Cruz Ortega y F. X. Calderón Montera, «El corazón y sus ruidos cardíacos normales y agregados,» Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM, vol. 59, n° 2, pp. 49 - 55, 27 octubre 2015.

[4] Webster, J. G. (2010). 7.9 Heart Sounds. En J. G. Webster, Medical Instrumentation Application and Design (págs. 314-318). Wiley.

[5] R. A. Peura, «Blood Pressure and Sound,» de Medical Instrumentation Application and Design, 4° ed., Wiley, 2010, pp. 314 - 318 .

[6] I. Sánchez (2003) «Aplicaciones clínicas del estudio objetivo de los ruidos respiratorios en pediatría» Revista chilena de pediatría, vol. 74, n° 3, pp. 259-268, ISSN 0370-4106.

[7] J. Fernández (2014) «Manual CTO de Neumología y cirugía torácica» Grupo CTO. ISBN 978-84-16153-13-8.

[8] CUI INC. CMA-4544PF-W ELECTRET CONDENSER MICROPHONE [Internet]. 2013. p. 1–4. Available from: cui.com

[9] P. J. Bishop, «Evolution of the stethoscope» Journal of the Royal Society of Medicine, vol. 73, pp. 448 - 456, junio 1980.

[10] Bernstein Lenny. (2016). Los médicos buscan pistas para el futuro de sus estetoscopios. 6/09/17, de El Economista Sitio web: <http://eleconomista.com.mx/entretenimiento/2016/01/09/medicos-buscan-pistas-futuro-sus-estetoscopios>

[11] Rivero Eduardo. (2012). La evolución del estetoscopio. 6/09/17, de UNOCERO Sitio web:

<https://www.unocero.com/noticias/ciencia/salud/la-evolucion-del-estetoscopio/>

- [12] H. Markel, «The Stethoscope and the Art of Listening» The New England Journal of Medicine, pp. 551 - 553, 09 febrero 2006.
- [13] M. H. Crawford, Current Diagnosis & Treatment in Cardiology, 2° ed., USA: McGraw-Hill/Appleton & Lange, 2002.
- [14] Isahia David. (2017). ¿Cómo funciona un estetoscopio? 6/09/17, de muyfitness Sitio web: https://muyfitness.com/como-funciona-un-estetoscopio_13121451/
- [15] S/A. (2017). Estetoscopio. 6/09/17, de Ecured Sitio web: <https://www.ecured.cu/Estetoscopio>
- [16] García Awad Carlos. (2015). Laennec El inventor del estetoscopio y maestro de la tuberculosis. 6/09/17, de Revista colombiana de Neumología
- [17] ANALOG DEVICES. Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620 * [Internet]. 2011. Available from: www.analog.com
- [18] Flash-based E, Microcontrollers BC, Technology W. CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology. 2009.