

Estetoscopio electrónico de bajo costo como auxiliar en la realización de auscultaciones, experiencia para determinar la causa de la condición cambiante en pacientes con dificultad cardiaca.

Gustavo Adolfo Martinez Chavez¹

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Delegación D.F. Sur.

Resumen— El estetoscopio es un instrumento acústico utilizado en el ámbito de la medicina para la realización del acto de la auscultación, el cual es un procedimiento clínico que consiste en escuchar los sonidos cardíacos, respiratorios o intestinales, con la finalidad de detectar posibles anomalías que puedan ser un indicio sobre algún tipo de padecimiento de salud, motivo por el cual se le considera como una herramienta fundamental en la evaluación y monitorización de los pacientes.

Cuyo principio de funcionamiento se sustenta en el estudio y empleo de las propiedades mecánicas del sonido, así como las formas para amplificarlo y transmitirlo al examinador, teniendo como particularidad que en este siglo XXI el empleo de los circuitos electrónicos para lograr dicha funcionalidad.

El objetivo del presente trabajo es compartir la experiencia en el desarrollo e implementación de un estetoscopio electrónico de bajo costo, en el cual se emplean circuitos electrónicos existentes en el mercado nacional, con la intención de que este pueda ser utilizado tanto como un dispositivo de vigilancia en unidades de atención médicas, al igual que en el hogar; ya que si es verdad que su adquisición es posible a través de su comprar en tiendas en línea, así como en distribuidores autorizados, el problema radica que los tipos de equipos existentes en muchas ocasiones son demasiado caros, y en muchas de los casos no son asequibles para ser empleados como equipo médico en el hogar.

Por lo anterior se describe un sistema de instrumentación electrónica de bajo costo en que se utiliza una pastilla tipo condensador (Electret), que se usa como refacción en los micrófonos tipo condensador, así como el empleo del amplificador operacional LM358N que es un amplificador de uso general para el acondicionamiento del voltaje de salida y posterior adquisición a través de uso de un microcontrolador PIC16F877 con el cual se realiza la captura y transmisión de la información a través del puerto serie USB a una computadora personal para su posterior análisis, utilizando el programa Labview.

Presentando los resultados preliminares que se obtuvieron con el circuito utilizado para detectar y estudiar sonidos producidos en el interior del cuerpo del paciente.

Finalmente se analizan los alcances y limitaciones de dicho sistema propuesto.

Palabras clave: Estetoscopio, Auscultación, Microcontrolador.

I. INTRODUCCIÓN.

En el presente siglo el empleo de la ciencia y la tecnología han ocupado los distintos ámbitos de la vida en las sociedades, transformando el modo de pensar, de sentir y actuar, en el caso de la medicina, esta no ha sido una excepción, ya que el estetoscopio se considera una herramienta fundamental que es utilizada por todos los estudiantes y doctores como parte de su actividad profesional.

Ya que el estetoscopio les permite auscultar a los pacientes en búsqueda de alguna enfermedad que se contrasta con los síntomas que presentan.

Actualmente en las tienda en línea y centros autorizados de nuestro país es posible adquirir estetoscopios digitales, los cuales incorporan tecnología con herramientas de monitoreo y software que mejora la detección de enfermedades teniendo como particularidad la capacidad de amplificar, visualizar y transmitir información para que el personal médico lo analice.

A partir de esta reflexión se planteó el razonamiento de diseñar e implementar un **estetoscopio** electrónico de bajo costo, con circuitos electrónicos existentes en el mercado nacional y que cuente con altas prestaciones, para su empleo como una herramienta básica utilizada en el diagnóstico y monitoreo de pacientes en una amplia variedad de entornos médicos, desde consultorios de atención primaria hasta salas de emergencia y unidades de cuidados intensivos.

Permitiendo a los profesionales de la salud obtener información primordial sobre el estado que guardan los órganos internos sin necesidad de procedimientos invasivos, como sería el caso de escuchar los latidos del corazón, evaluar los sonidos pulmonares, e incluso dependiendo de la necesidad médica pueda ser empleado para auscultar otras partes del cuerpo, como podrían ser las arterias, venas o áreas específicas de interés clínico.

II. METODOLOGÍA

Para la realización en el diseño y desarrollo del estetoscopio electrónico se consideró el uso de un micrófono de tipo electret, que por su alta impedancia puede ser conecta directamente a la entrada del preamplificador, con la señal obtenida, ya que si pretendemos es escuchar los latidos del corazón, es necesario pensar que el cuerpo humano ejerce la función de absorber gran parte de los sonidos generados, así que a la hora de amplificar dichos sonidos deberemos de tener mucho cuidado de plantear los filtros adecuados en cada paso y siempre que sea posible verificar mediante el uso de un osciloscopio.

Ya que en la bibliografía se identifica que el espectro de frecuencias de los sonidos cardiacos abarquen un amplio espectro de frecuencias, que abarcan desde 0,1Hz hasta 2KHz. con diferentes características de frecuencia, destacando los siguientes rangos de frecuencia entre los 25 a 45 Hz, los 50 y 75 Hz. y 100 y 600 Hz. que son amplitudes muy pequeñas que deben ser amplificadas las cuales corresponden al latido cardíaco correspondientes a la contracción del corazón para bombear sangre a los pulmones y el resto del cuerpo.

Ya que los sonidos pulmonares se producen durante la inspiración y se encuentran en el rango de frecuencia de 60-100 Hz a 2 kHz. Los sonidos pulmonares normales se originan dentro de cada lóbulo del pulmón al inhalar y son de vías respiratorias centrales (tráquea) al exhalar. Es más, tienen distribución de frecuencia entre 70 y 600 Hz. Los sonidos anormales o adventicios son principalmente de dos tipos: sibilancias y crepitantes. Las sibilancias son musicales o sonidos pulmonares anormales continuos con una frecuencia que se extiende aproximadamente desde 100 Hz. a 1000 Hz. Ellos se originan por la turbulencia del aire y las oscilaciones de las paredes de las vías respiratorias estrechas y se escuchan típicamente cuando los pacientes presentan obstrucción de las vías respiratorias. Los Crepitantes son sonidos cortos y no musicales. Tienen una amplia distribución de frecuencia y se originan en vías respiratorias que se abren muy abruptamente en la fibrosis pulmonar cuando las fuerzas retráctiles del pulmonares están aumentados. Se producen por el movimiento de burbujas en el líquido de las vías respiratorias y las secreciones en pacientes con edema pulmonar o con bronquitis crónica.

Para cubrir dicha requerimiento desarrollamos nuestra solución en el entendimiento de que la instrumentación electrónica nos permite obtener mediciones satisfactorias considerando para ello los principios que comprenden el acondicionamiento electrónico mediante el uso de amplificadores operacionales los cuales contribuyen significativamente en la precisión deseada.

Para tal fin se dispuso de un micrófono de tipo electret marca fielect modelo 9767, utilizándose para convertir el sonido en una señal eléctrica; cuyo rango de operación se sitúa entre 50Hz a 15kHz, con directibilidad omnidireccional, impedancia de 1 kΩ y voltaje de alimentación nominal de 5V, destacando su respuesta de frecuencia plana entre los 50 Hz y 2kHz que es el rango en que es posible detectar los sonidos cardíacos.

Se consideró como primer criterio que la etapa de amplificación debería tener una ganancia de 20 que es el factor a considerar entre la señal de la salida respecto a la señal de entrada, así como también para la etapa de filtrado de la señal en que se decidió implementar un filtro pasa bajo de segundo orden en configuración MFB (Multiple Feed back) o Rauch con una frecuencia de corte a 2KHz, que es un tipo de filtro activo de orden alto que se utiliza comúnmente en los amplificadores de instrumentos acústicos, porque tienen la capacidad de reducir la ganancia después del ancho de banda a una velocidad más rápida que los filtros de orden bajo como es el caso del uso de un filtro paso bajo analógico RC, buscando de esta manera obtener una señal limpia antes de hacer la conversión analógica-digital.

En la Figura.1. Se muestra la etapa de acondicionamiento electrónico con preamplificador y filtro de segundo orden, en que la señal del micrófono pasa a un amplificador de orden superior ganancia $G=20$ seguido de un filtro activo con una frecuencia de corte calculada a 2 kHz. mediante el empleo del amplificador operacional LM358.

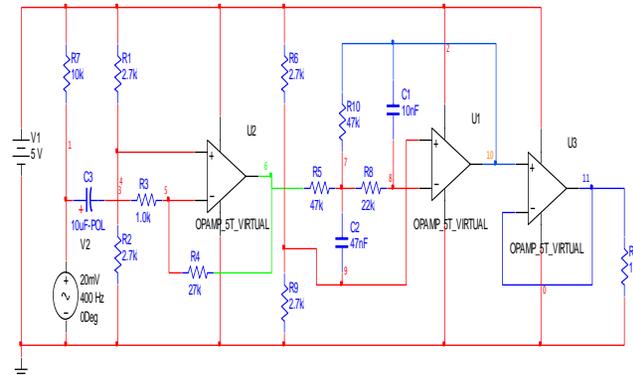


Figura.1. Etapa de acondicionamiento electrónico preamplificador y filtro la señal del micrófono pasa a un amplificador con una ganancia de 20, seguido de un filtro paso bajo en que utiliza el amplificador operacional LM358 con una frecuencia de corte en 2 kHz.

Posteriormente mediante el empleo de un microcontrolador PIC16F877A, se realiza la captura y transmisión de los datos almacenados a través de la configuración de la función UART que controla los puertos y registros serie; ya que el uso de esta plataforma se considera como de bajo costo y de uso gratuito tanto en hardware como de software, empleando el compilador “PIC C Compiler” de la empresa CCS (Custom Computer Services) para ejecutar la captura de la información, en que se hace uso de una pantalla de cristal líquido LCD 16X2, en que se indica el valor en dB (decibelios) de la señal, para lograr la cuantificación del sonido más fuerte captado por segundos.

Ya que a través del uso de una computadora personal previamente instalado el programa LabView, se procedió a la captura y representación gráfica de los valores, ya que dicho programa es una plataforma de desarrollo empleada para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual pensado de exprofeso para proyectos que involucran tanto hardware y/o software en banco de pruebas.

Finalmente se describe la solución, implementación y resultados obtenidos de dicho estetoscopio, al poder recolectar, ordenar, analizar y representar el conjunto de datos obtenidos en pacientes.

III.RESULTADOS

A. Prueba del Circuito.

Se realizaron varias mediciones reales con pruebas básicas del circuito. Mientras que se aumentaban los valores de voltaje del micrófono, cuyo rango de operación se sitúa entre los 20 a 250 mVolts como señal de entrada, se registraba el voltaje a la salida del amplificador y del filtro, tal como se muestra en la Figura.2. En que se observa un comportamiento acordes con el acondicionamiento electrónico para obtener un rango de Voltaje adecuados entre 0-5Volts, como una razón de cambio entre la variable de salida respecto a la variable de entrada, obteniendo con ello la ecuación en la razón de cambio ó de la variable de entrada al tener cierta señal de salida.

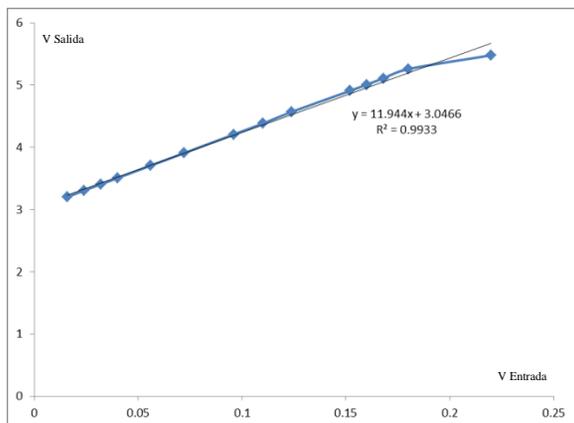


Figura.2. Respuesta en la etapa de acondicionamiento de la señal de entrada con el micrófono para obtener un rango de Voltaje adecuados entre 0-5Volts, mediante el uso del amplificador operacional LM358.

E. Prueba experimental.

Para poder obtener la señal acústica a la salida del estetoscopio analógico, se realizó la colocación del micrófono electret en el tubo de plástico como parte de la campana del estetoscopio. Y de esta manera proceder a su interconexión con el circuito de acondicionamiento, se procedió tal como se muestra en la Figura 3

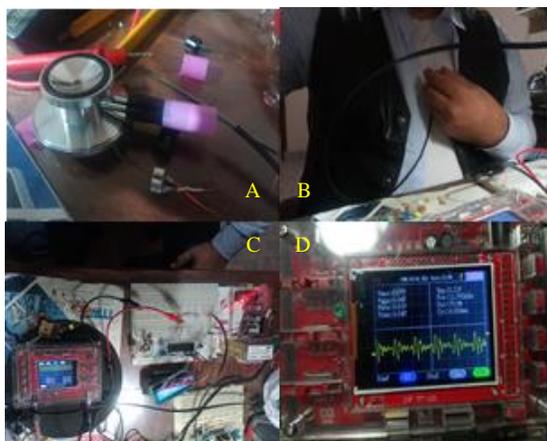


Figura 3. **Inciso A:** colocación del micrófono en el interior del tubo, en el cual hace la conexión entre el diafragma/campana y el propio micrófono. **Inciso B:** colocación de la campana y/o diafragma sobre la parte superior izquierda del pecho donde se unen desde la cuarta hasta la sexta costilla presionando suavemente **Inciso C:** en que se puede observar la instrumentación del circuito y del microcontrolador PIC16F876. Inciso D: Empleo del osciloscopio DSO138 en que se puede observar los sonidos normales del corazón (que suenan así: "pum pum"). Estos sonidos también se conocen como presión arterial sistólica y diastólica, el primer "pum" que es el sonido de la presión sistólica ocurre cuando las válvulas mitral y tricúspide del corazón se cierran, y el segundo sonido la diastólica que ocurre cuando las válvulas aórtica y pulmonar se cierran.

Al escuchar el corazón con un estetoscopio, el médico puede determinar si el sonido es anormal si se indica turbulencia, coloquialmente se denomina "soplo cardíaco", y suele identificarse con un ruido silbante o áspero.

Se obtuvo que con el primer ruido con una duración de 0.18 Seg. y una frecuencia de 25 a 34 Hz; y el segundo ruido dure cerca de 0.5 Seg. con una frecuencia de 50 a 75 Hz.

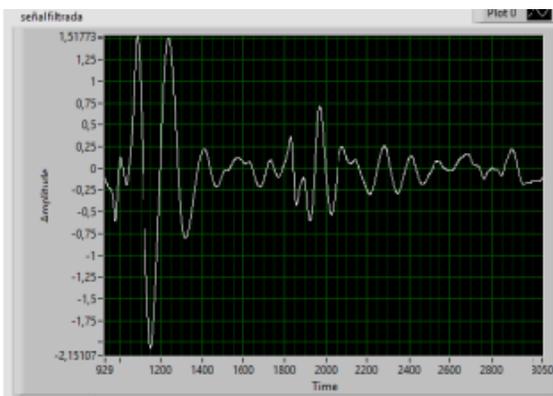
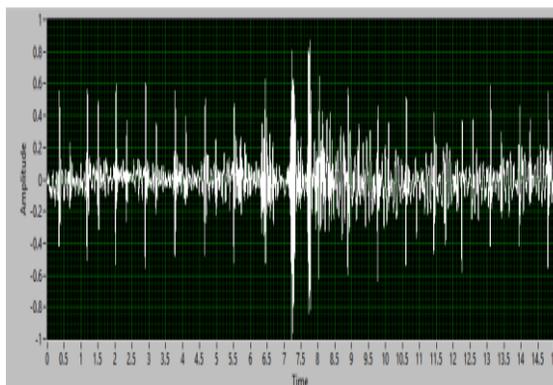


Figura 4. Representación gráfica de las medidas obtenidas con el estetoscopio electrónico en el ambiente LabVIEW en que se puede observar que el primer ruido se sitúa en 0.18 Seg. y una frecuencia de 25 a 34 Hz; y el segundo ruido cerca de 0.5 Seg. con una frecuencia de 50 a 75 Hz.

Para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos en relación a la medida de la frecuencia cardiaca, se hizo uso de un Sonometro Digital Marca: Soonda Modelo: S8607; el cual es un instrumento que responde ante un sonido de una forma aproximada a como lo haría el oído humano. Siendo esta una herramienta imprescindible al momento de decidir medir la presión sonora el cual cuenta con un rango de 30-130dB.

Estos datos nos muestran que el diferencia existente entre la información obtenida con el prototipo de estetoscopio electrónico puede ser considerada confiable en relación con la estimada por un instrumento de medida comercial; obteniéndose como resultado en el cálculo del error absoluto porcentual promedio de 7.04%, como se indica en la Tabla.1.

Paciente	Prototipo	Sonómetro	Error	Error Absoluto	Error (%)
Niño	110.00	117.00	-7.00	0.0636	6.36
Adolecente	73.00	77.00	-4.00	0.0548	5.48
Adolecente	80.00	87.00	-7.00	0.0875	8.75
Hombre A	130.00	115.00	15.00	0.1154	11.54
Hombre B	135.00	140.00	-5.00	0.0370	3.70
Hombre C	120.00	127.00	-7.00	0.0583	5.83
Hombre D	110.00	115.00	-5.00	0.0455	4.55
Mujer A	50.00	53.00	-3.00	0.0600	6.00
Mujer B	110.00	115.00	-5.00	0.0455	4.55
Mujer C	55.00	62.00	-7.00	0.1273	12.73
Mujer D	100.00	108.00	-8.00	0.0800	8.00

Promedio 0.07 7.04%

APERTURA	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Prototipo	126.55	68.54	97.55
Sonómetro	129.18	73.73	101.45

Tabla.1. Valores obtenidos con el prototipo de estetoscopio electrónico propuesto y el Sonómetro Digital Marca: Soonda Modelo: S8607.

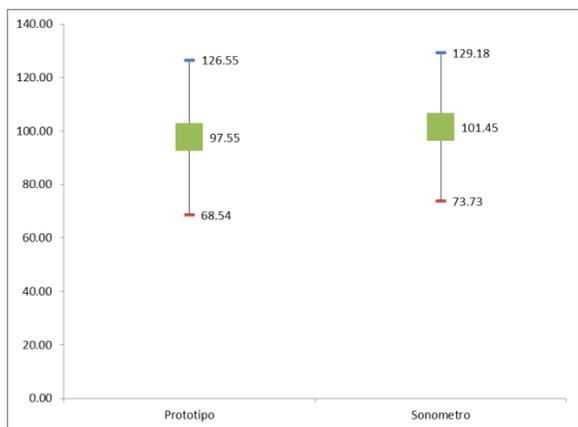


Figura 5. Comparación en el cálculo de los valores de la densidad del aire expresado en Kg/m³, para este caso tenemos el valor promedio, máximo y mínimo mediante el algoritmo conocido CIPM 2007.

IV.DISCUSIÓN

Se ha conseguido crear un estetoscopio electrónico de bajo costo, que cuente con la funcionalidad de ser empleado durante la realización del acto médico de la auscultación tanto en el área médica como en el hogar, con la intención de monitorizar los sonidos cardíacos y pulmonares principalmente.

Con ello se ha pretendido asegurar mediciones precisas en la respuesta de dicho estetoscopio, dando como resultados tener una repetitividad en las mediciones; ya que es posible escuchar y ver sonidos anormales.

Se ha buscado dar una descripción detallada del tipo hardware empleado, cumpliendo con el objetivo de poder desarrollar un prototipo de estetoscopio digital con el menor presupuesto, cuyo precio de sus componentes oscila entre \$1 y \$20 dólares americanos dentro del mercado nacional.

En el desarrollo de este proyecto, se aseguró que en ningún momento existirían corrientes de fuga o fenómenos de inducción electromagnética hacia el paciente, ya que el sistema de instrumentación electrónica en ningún momento tiene contacto con el paciente; ya que se hace uso de la misma campana de un estetoscopio convencional, para la obtención de la señal sonora mediante la inserción del micrófono electret unido al mismo tubo de goma de dicho estetoscopio.

Los resultados de los experimentos muestran que el sistema cumple con los criterios de diseño electrónico para la obtención de la medición de la señal relacionada con los sonidos cardíacos y pulmonares, con el propósito de coadyuvar en el diagnóstico de patologías con los pacientes.

De igual manera, durante la realización de las pruebas se pudo observar que el personal médico utiliza la parte acústica en el diagnóstico, cuando el sistema ofrece la representación visual de los resultados para su análisis, ya que se muestra la representación de los sonidos corporales en la escala de decibeles (dB.) lo que facilitaría más a detalle su estudio.

Por lo que es conveniente seguir trabajando en lo relevante a la opción de poder contar con un estetoscopio electrónico de bajo costo, en que se haga uso de los algoritmos de análisis de señales para entender mejor el funcionamiento del corazón y/o pulmones, situación que vendría a facilitar la toma de decisiones permitiendo un elevado grado de precisión en la detección de aquellos padecimientos con mayor incidencia entre la población mexicana, tal es el caso de la **estenosis aórtica**, que es aquel padecimiento en que la válvula aórtica no se abre completamente, lo cual disminuye el flujo de sangre que se bombea desde el corazón.

El principal inconveniente que se observó en el desarrollo del proyecto es que se ha podido comprobar lo difícil que puede llegar a ser mantener el ruido nulo.

Aunque se tenga un buen acondicionamiento electrónico, no se conseguirá hacer un instrumento aceptable. Si no se cuenta con componentes electrónicos de precisión como son la resistencia y condensadores, amplificadores de bajo ruido, así como poder realizar el prototipo en una placa de circuito impreso, y poder integrar todo el sistema en una cápsula para poder apantallararlo.

V. CONCLUSIÓN.

A lo largo de la historia médica, los médicos han dependido de sus habilidades al momento de realizar el examen físico exhaustivo y el uso del sentido común para diagnosticar y tratar a los pacientes. No obstante en el presente siglo, el uso de la tecnología ha avanzado y ahora se utilizan estetoscopios electrónicos para realizar el acto de la auscultación cardiaca, permitiendo obtener un diagnóstico considerando como base los sonidos que se pueden escuchar del corazón, comúnmente conocidos como ruidos cardiacos, que son sonidos generados por las vibraciones del corazón, que de modo usual se les sitúan dentro de un rango de frecuencia de 30 a 250 Hz.

Si bien las pruebas preliminares mostradas en el presente trabajo no constituyen un ensayo clínico formal, su propósito fue el de exponer una idea del potencial del sistema desarrollado, con la intención de cooperar en el fortalecimiento a los procesos médicos de prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades coronarias como respiratorias, tanto en medios hospitalarios como extra hospitalarios.

Ya que el dispositivo puede ser útil para la detección temprana de la condición de enfermedad coronaria como es el caso de la estenosis aórtica, tanto para su uso en el hogar como en unida médica, siendo necesario su ajuste y validación.

En el presente documento no se describe el análisis de las señales obtenidas en los fonocardiogramas, ya que se está trabajando en el análisis de las mismas teniendo como fundamento los métodos y técnicas de Fourier, en especial la transformada rápida de Fourier, buscando obtener características de tiempo y frecuencia en el estudio de señales digitalizadas y muestreadas. Ya que se considera que la naturaleza del estetoscopio electrónico propuesto puede proporcionar una plataforma fácil de usar, lo que el suscrito considera que el acto de la auscultación sea una experiencia que vale la pena tomar en cuenta. Por tanto, se observó que es factible la aplicación de este dispositivo para el apoyo en el diagnóstico médico y de seguimiento de pacientes con cardiopatías.

Finalmente fue posible la implementación de un estetoscopio electrónico, empleando para ello circuitos electrónicos existentes en el mercado nacional, con tecnología simple y de bajo costo, tal es el caso del amplificador LM358, que resulta ser un amplificador operacional diseñado para usos generales, tales como amplificadores, filtros de paso alto y bajo, filtros de paso de banda en frecuencia muy baja y sumadores analógicos, en relación a los amplificadores de alta gama como son los circuitos CMOS que son amplificadores operacionales de alta velocidad utilizados para amplificar señales de sistemas de medición y garantizar de esa manera mediciones precisas y confiables y que son componentes esenciales en cualquier equipos de medición de precisión utilizados ampliamente en laboratorios y entornos de investigación científica.

Tal es el caso de los amplificadores operacional de precisión NCS21911 de la familia NCS2191x de la compañía Onsemi en que es posible obtener deriva cero de alta precisión y un voltaje de desviación de entrada bajo al igual que una deriva de compensación baja a lo largo del tiempo y a la temperatura.

Los cuales son ampliamente utilizados como parte de sistemas de procesamiento de señales en que se hace uso de un procesador o microprocesador que posee un conjunto de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad, permitiendo analizar, transformar y transmitir señales digitales, directamente desde sistemas digitales.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. Ávila-Tómas, M. Mayer-Pujadas, V. Quesada-Varela. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas. *Aten Primaria*. 53 (2021), pp. 81-88.
Sitio web:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.014> | Medline.
2. F. Lonrari, O. Gamarra, G. Piella, B. Bijnens. La integración de la inteligencia artificial en el abordaje clínico del paciente: enfoque en la imagen cardiaca. *Rev Esp Cardiol. [En línea]*, 74 (2021), pp. 72-80
3. Webster, J. G. (2010). 7.9 Heart Sounds. En J. G. Webster, *Medical Instrumentation Application and Design* (págs. 314- 318). Wiley.
4. 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/medico-s-buscan-pistas-futuro-sus-estetoscopios>
5. http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/biomedica/guias_tecnologicas/9gt_estetoscopio.pdf
6. Webster J.G. *Medical Instrumentation. Application and Design*. Edición 3. John Wiley & Sons, 1998, 308-312.
7. Olansen J.B., Rosow E., *Virtual Bio-instrumentation*. Biomedical, Clinical and Healthcare applications in LabVIEW. Prentice Hall PTR., 2002. Page 115.