

Monitor Cardíaco con Detección de Parámetros para Prediagnóstico.

C. Arriaga Leal, F. Maciel Maldonado, G. R. Peñaloza Mendoza, M. S. Castro Zenil

Ingeniería Biomédica, Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Pátzcuaro, Michoacán

E-mail: grey@itspa.edu.mx

Resumen— En la actualidad, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las patologías cardíacas son la principal causa de muerte a nivel global. Por ello la ingeniería en general, pero principalmente la ingeniería biomédica, se ha interesado en el desarrollo de equipo para el diagnóstico preventivo de este tipo de males.

El presente trabajo se encuentra enfocado en la aplicación de la instrumentación biomédica física y virtual en el diseño, construcción y procesamiento digital de un electrocardiograma (ECG) de bajo costo, en la que su señal pueda ser mostrada, almacenada y analizada en una computadora para elaborar un prediagnóstico del estado de salud cardíaca actual del usuario. Mediante la implementación de filtros analógicos y digitales se realiza el acondicionamiento y procesamiento de la señal eléctrica proveniente de la segunda derivación de un electrocardiograma. El estudio de la dinámica del corazón mediante un ECG ofrece la posibilidad de generar nuevos servicios que mejoren la calidad de vida, por lo cual, el objetivo principal es realizar un dispositivo de fácil manejo para el usuario que no cuenta con la experiencia o conocimiento del uso de un ECG y que desea conocer su estado de salud.

Palabras clave— Bioseñal, Electrocardiograma, Prediagnóstico cardíaco

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el acelerado avance de la tecnología ha permitido que la ciencia disponga de una gran cantidad de equipo de excelentes características de bajo tamaño y costo, aunado a esto ya las estadísticas obtenidas por la OMS donde indica que las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en el mundo [1]; la ciencia médica ha desarrollado equipos para el diagnóstico de patologías cardíacas con excelentes prestaciones convirtiendo a estos en pieza esencial para la toma de decisiones que llevan a brindar un tratamiento para el buen funcionamiento del corazón y así mejorar la calidad de vida del paciente.

Además el rápido avance de la TIC's (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) en los últimos años, ha generado la implementación de nuevas técnicas en el análisis y manejo de la información, lo cual ha permitido en la cardiología desarrollar nuevas forma de analizar las señales eléctricas del corazón mediante el uso de la estadística y la dinámica cardíaca [2, 3], lo que implica diferentes procesamientos digitales.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

El electrocardiograma llamado ECG (en adelante) es un registro gráfico, como se observa en Fig.1, de la actividad

eléctrica del corazón que principalmente está formado por 3 tipos de onda [4]:

- La onda P: Representa la despolarización auricular
- Complejo QRS: Representa la despolarización del miocardio ventricular.
- Onda T: Indica la repolarización ventricular

Las características de los tres tipos de ondas son mostradas en la Tabla 1 [4, 5].

TABLA 1
PROPIEDADES DE LOS TIPOS DE ONDA DE UN ECG

Onda	Duración	Voltaje Amplitud	Características
P	0.06 – 0.1 s	0.25 mV	Positiva excepto derivaciones a VR
QRS	0.06 – 0.1 s	Q 25% R R 1.60mV S	<0.06s hipertrofia ventricular. >0.1s bloqueo de rama o fasciculares
T	0.1 - 0.25 S	0.1 – 0.5 mV	Normalmente si QRS es muy alta la onda T puede ser hasta 35 % de ella

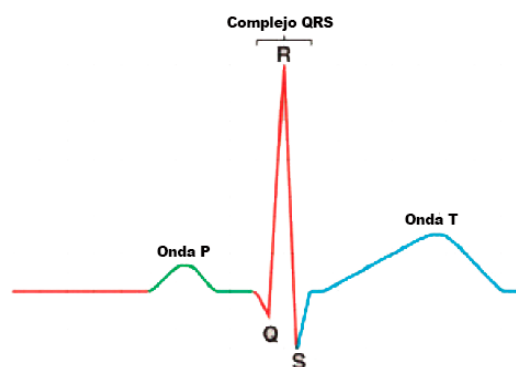


Fig. 1. Gráfica obtenida de un ECG.

Un esquema más representativo del funcionamiento del corazón con respecto a la señal del ECG, se muestra en la Fig. 2, la cual muestra los sucesos que ocurren en el corazón y su correspondiente variación de voltaje [6]. El paso 1 representa el impulso que sale del nodo SA, en el paso 2 las aurículas se contraen y el impulso llega al nodo AV, en el paso 3 el potencial de acción se bifurca y llega a las fibras de Purkinje y por último en el paso 4 los ventrículos se contraen. La frecuencia cardíaca representa la corriente que circula a través del corazón durante un latido y permite medir el ritmo y regularización de este.

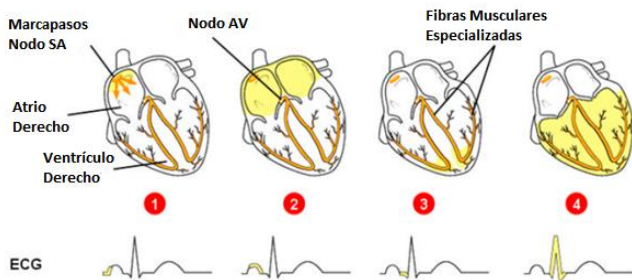


Fig. 2. Generación de gráfica ECG según el ciclo cardíaco.

III. METODOLOGÍA

A. Planteamiento del problema

En México la segunda causa de muerte son las enfermedades cardiovasculares [7], dentro de ellas la hipertensión arterial, afecta al 30.8% de la población mayor de 20 años.

Para los pacientes con este tipo de enfermedades y que requieren controles periódicos su estilo de vida y actividades cotidianas se interrumpen generando así un malestar por lo que muchos terminan abandonando sus revisiones. Así mismo, en nuestra comunidad no se cuenta con el suficiente equipo médico básico, esto hace que todas las poblaciones externas a la cabecera municipal de Pátzcuaro no cuenten con clínicas que tengan equipo para monitoreo cardíaco.

B. Solución Propuesta

Se presenta un dispositivo portátil y de fácil empleo, para analizar el estado de salud actual del corazón por medio de un ECG, esto con la intención de evitar el desplazamiento del paciente hacia un hospital de manera periódica, que el servicio se pueda brindar en todas las poblaciones del municipio, y que el dispositivo le otorgue un prediagnóstico confiable al usuario [4, 5]. El dispositivo constara de 3 bloques principales los cuales serán la adquisición de la señal, el tratamiento analógico y el tratamiento digital (véase Fig. 3).

C. Diseño y Construcción

Diseño de sistemas ECG se han desarrollado a lo largo del tiempo de acuerdo a las necesidades existentes. Se han desarrollado metodologías de bajo costo [8, 9], sistemas de 3 derivaciones dipolares empleando un ADC y el puerto paralelo de una computadora para visualizarlo por medio de Visual Basic [10], entre otros. Pero en ninguno de ellos se obtienen los parámetros de las ondas P, complejo QRS y onda T, así como no otorgan un prediagnóstico a partir de ellas. El esquema eléctrico empleado en el desarrollo del prototipo es el propuesto en [9], del cual existe amplia literatura para conocer su efectividad, por lo cual el proyecto

se centra en la adquisición y manejo de la señal digitalmente.

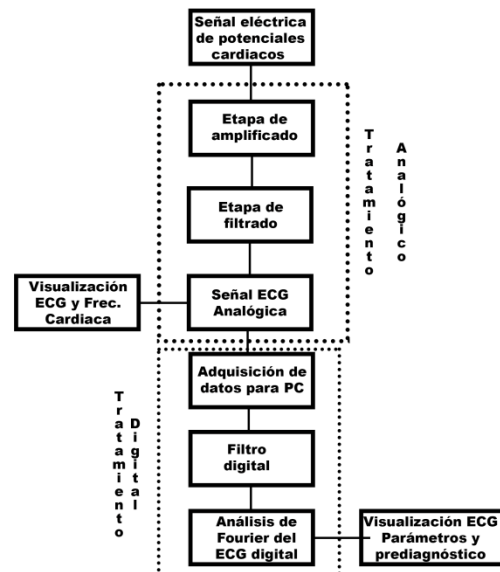


Fig. 3. Diagrama a bloques del sistema propuesto

a) Visualización ECG analógico: En esta etapa se emplea una pantalla grafica de 128 x 64 pixeles para la visualización del ECG y de la frecuencia cardíaca. La salida del circuito analógico propuesto en [9], otorga una señal de salida con referencia en 2.5 volts que va de 0 a 5v. Para la visualización de la gráfica se emplea un microcontrolador ATmega 328 que nos permite convertir la señal analógica a digital a una frecuencia de muestreo de 1500 Hz, (la frecuencia máxima en el que el sistema trabaja es de 150Hz por lo que se emplea un muestreo 10 veces mayor) y un mapeo al tamaño de alto de pantalla. Para el mapeo a la pantalla se emplea la siguiente relación:

$$\text{Alto} = 40 * \frac{1024 - \text{SeñalECG}}{1024} + 10$$

Esto permitirá imprimir la señal que irá de 0 a 1023 (digital) en la pantalla en los pixeles dentro del rango de 10 a 50.

b) Tratamiento digital: El tratamiento digital se compone de 2 partes, la adquisición de la señal y el análisis de ella.

La adquisición de la señal analógica se realiza por medio de un microcontrolador arduino enlazado con Labview, por lo tanto por medio de la aplicación LIFA Arduino pasa a funcionar como una tarjeta de adquisición de datos que permite comunicar el circuito analógico con Labview esta seña es visualizada en pantalla en una computadora, además se almacena en un archivo TMDS para posteriormente analizar la señal. En la Fig.4 se muestra la interfaz de adquisición de la señal con sus funciones.

El análisis de la señal se realiza una vez almacenada, es llamada ésta y por medio de filtros digitales paso alto y paso bajo por medio de análisis de Fourier se obtienen las ondas P, T y el complejo QRS. A partir de estos se pueden obtener todos los parámetros del ECG que se comparan con los estándares y se determina si el ECG indica buena salud o existe algún problema médico. El código gráfico de los filtros se muestra en la Fig. 5.

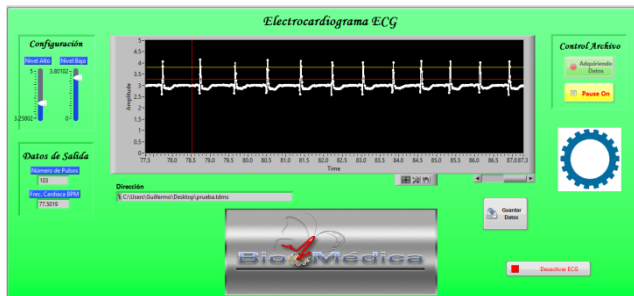


Fig. 4. Interfaz de adquisición de la señal.

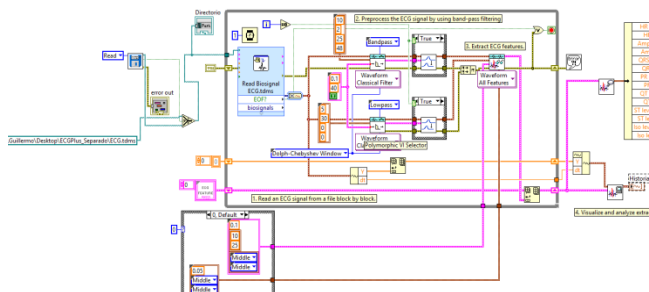


Fig. 5. Código gráfico en Labview de la interfaz de análisis.

Para la obtención aproximada de los parámetros del ciclo cardiaco, se emplea el siguiente procedimiento.

- i. Adquisición del vector de datos: Se llaman los datos guardados por medio de la adquisición de datos, esta genera un vector de tiempo y uno de amplitud.
- ii. Filtrado de la señal (filtro paso alto y paso bajo). Se emplean las herramientas de filtro de LabVIEW (Biosignal Filtering) configurándolas en las frecuencias de 0.05Hz y 150 Hz, respectivamente, esto permite obtener una señal más limpia.
- iii. División de la señal. Esta se realiza analizando la velocidad de cambio entre datos, Figura 6, se parametriza para identificar tres posibilidades una pendiente lenta en forma de recta (línea negra en la Figura 7), un cambio medio con características de curva (la pendiente cambia de signo en un intervalo definido), línea verde en la Figura 7, y un cambio rápido entre valores y de pendiente (línea roja en la Figura 7). Para hacer esto se emplean la derivada sucia para detectar la velocidad de cambio y el cambio de signo en la pendiente, posteriormente se agrupan en tres secciones para obtener tiempos de

duración, amplitudes con pendientes positivas o negativas, detección del valor máximo y mínimo mediante comparación, etc. Esto es lo que nos permite obtener la aproximación de los parámetros.

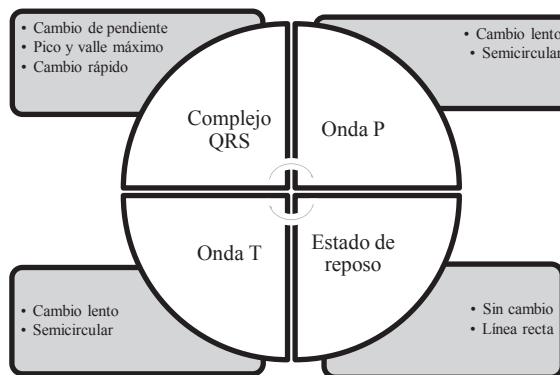


Figura 6.- Características de las señales del ECG.

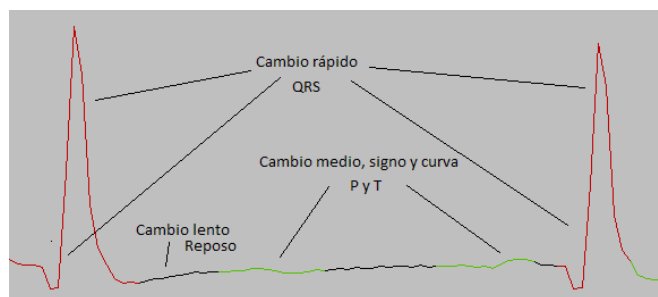


Figura 7.- Secciones de la señal de ECG adquiridas

IV. RESULTADOS

La Fig. 8 muestra el monitor cardiaco ECG con 3 electrodos del diseño propuesto con todos sus elementos físicos. La Fig. 9 muestra la señal adquirida y los resultados del análisis de la misma.



Fig. 8. Producto terminal

Las amplitudes y formas de onda son similares, mediante inspección visual, a las señales típicas de un ECG de monitoreo ambulatorio en la derivación DI.

- a).- Prueba piloto: Para esta prueba se visitaron 3 poblaciones externas a la cabecera municipal de Pátzcuaro, Michoacán, las cuales fueron: Santa Clara del Cobre,

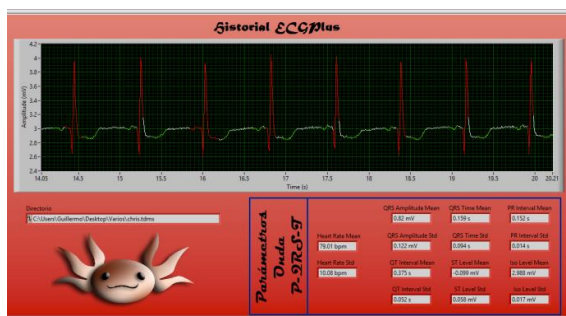


Fig. 9. Ejemplo de análisis

Tzurumútaro y La Cadena, en estas poblaciones se ofrecieron estudios de manera gratuita con un ECG de marca Sonolife ECG600G interpretativo que está calibrado adecuadamente, este permite obtener todos los parámetros de la onda ECG, así mismo se realizó el estudio con nuestro prototipo, dando como resultado 100 estudios, de los cuales algunos resultados se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2
RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS

Parámetro	Paciente	ECG Sonolife 600G	Monitor cardiaco propio
Tiempo Complejo QRS	1	0.073 S	0.07 S
	2	0.078 S	0.09 S
	3	0.083 S	0.09 S
Amplitud Complejo QRS	1	1.25mV	1.35 mV
	2	1.32mV	1.39 mV
	3	1.31mV	1.21 mV
Tiempo Onda P	1	0.065 S	0.07 S
	2	0.083 S	0.07 S
	3	0.093 S	0.08 S
Amplitud Onda P	1	0.15 mV	0.13 mV
	2	0.23 mV	0.20 mV
	3	0.18 mV	0.21 mV
Tiempo Onda T	1	0.23 S	0.32 S
	2	0.20 S	0.26 S
	3	0.20 S	0.26 S
Amplitud Onda T	1	0.20 mV	0.15 mV
	2	0.20 mV	0.18 mV
	3	0.43 mV	0.48 mV
Frecuencia Cardiaca	1	64 bpm	61 bpm
	2	79 bpm	79 bpm
	3	75 bpm	76 bpm

Como se observa en la Tabla 2, los parámetros obtenidos con el equipo de marca y con nuestro prototipo son semejantes. Al realizar el análisis estadístico de los datos, separando pacientes sanos y pacientes con alguna patología cardiaca se obtuvieron los siguientes resultados:

- Error en complejo QRS: En tiempo y amplitud se tiene un error de 5 a 0%.
- Error Onda P: En esta onda se incrementa un poco el error llegando a tener un error máximo del 15%.
- Error Onda T: Mediante la metodología empleada

en la construcción física del prototipo, la onda T es muy débil, por lo que el error llega hasta un 40%.

La muestra fueron 80 pacientes sanos y 20 enfermos cardiacos (arritmias, hipertensos y con infartos previos). En la detección de pacientes con problemas cardiacos, el dispositivo tuvo una fidelidad del 90%, fallando solamente en 2 pacientes dando parámetros de pacientes sanos, mientras que en los pacientes sanos solamente se tuvo 1 inconsistencia.

V. CONCLUSION

Se logró obtener un Monitor Cardiaco por medio de un ECG que permitiera otorgar un prediagnóstico a partir de las señales cardiacas de un usuario en posición de reposo. Se obtuvo un producto terminal de bajo costo por la metodología implementada y que puede ser empleado por cualquier usuario sin conocimientos de medicina. Los resultados de las pruebas pilotos en pacientes demuestran que el prototipo tiene una efectividad promedio del 85%, dando de manera efectiva los parámetros de frecuencia cardiaca y complejo QRS, la obtención de los parámetros de las ondas P y T serán analizados y mejorados en una etapa futura. Así mismo se generó un expediente médico automático para 100 pacientes, esto permite enviar y mantener de forma digital la información de paciente. Como trabajo futuro queda pendiente el envío automático de la información a la dirección deseada, así como la aplicación de medición de parámetros adicionales como oxigenación, temperatura, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015, Enero). Nota descriptiva [en línea]. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/>
- [2] Mansier P, et al. Linear and nonlinear analyser of heart rate variability a minireview. Cardiovascular Research. 1996; 31:371-379
- [3] Stanley E. Exotic statistical physics: applications to biology, medicine, and economics. Physic A 285 2000; 1-17
- [4] Guyton A. Tratado de fisiología médica, 4 ed, México, Interamericana Mc Graw Hill, 1992
- [5] Bayés de Luna A, Fiol-Sala M. La electrocardiografía de la cardiopatía isquémica. Correlaciones clínicas y de imagen e implicaciones pronosticas. Barcelona; Pub. Permanyer; 2012.
- [6] EDISON INSTITUTE. Lectures. [En Línea] Reino Unido, 2003. Disponible en <http://www.edison.edu/faculty/klaser/bsc1005/23-CirculationPPT/Modules23-04to23-12.ppt>
- [7] Subsecretaría de prevención y promoción de la salud. [En línea]. Disponible en <http://www.spps.gob.mx/noticias/949-enfermedades-corazon-segunda-causa-muerte-mujeres.html>
- [8] Y. Hernández, J. D. Chailloux, C. Busoch Y A. Requeiro, "Nuevo Sistema de Bajo Costo para adquisición y acondicionamiento de señales electrocardiográficas", en Cuarto Congreso de la Sociedad Cubana de bioingeniería, La Habana. 2001.
- [9] Alva Carlos, Reaño Wilfredo, Castillo Joel, "Diseño y Construcción de un Electrocardiógrafo de bajo costo", Universidad Ricardo Palma, Lima Perú, 2011.
- [10] M. Yapur, J Rodríguez, W. Gaibor, "Monitor de electrocardiografía a través de una computadora personal", Rev. Tec. ESPOL, Oct. 2005