

Prototipo Electrocardiógrafo Inalámbrico para la detección de enfermedades que desencadenen la muerte súbita, con software de diagnóstico médico aproximado

Jesus David Quintero P., Sergio Tabares C., Jefferson Perdomo T.

Facultad de Ingeniería
Universidad Surcolombiana
Neiva, Colombia

jdavid@usco.edu.co, Satche92@hotmail.com, jeferper14@gmail.com

Abstract—In this project, it was designed an electrocardiograph device has diagnostics for derivation DII, allowing a visualization of other derivations one at the time. Similarly, the electrocardiograph device, allows the electrocardiogram (ECG) test to be done wirelessly to facilitate the implementation of such test at any place or situation. The prototype is designed to facilitate the implementation of the ECG test in everyday circumstances and from the comfort of home, without losing the effectiveness in the test. It cannot be forgotten that the results of it, must be verified by qualified personnel. The application is developed in MATLAB, therefore, the PC must be licensed for its use. This software works directly with the hardware of the device doing it in real time. It was intuitively designed to facilitate its use. In this order of ideas, it is worth noting the role of diagnosing diseases that this application has. It is a great tool when it comes to analyze the information. The evidence is collected and stored digitally in a PDF format, in which the patient's personal data and the most relevant results of the ECG test in a digital file which can be directly printed. It is important to highlight that these files can be shared via email directly from the software designed. Without forgetting that the software has a database where the tests performed are stored.

Keywords—*diagnosis; derivation; electrocardiograph; ECG; hardware; Matlab; prototype; software; wireless.*

Resumen— En este proyecto, fue diseñado un dispositivo electrocardiógrafo que cuenta con diagnóstico para la derivación DII, permitiendo la visualización de las demás derivaciones, una a su vez. De igual modo, el dispositivo electrocardiógrafo, permite realizar la prueba de electrocardiograma (ECG) de forma inalámbrica para facilitar la aplicación de dicha prueba en cualquier lugar o situación. El prototipo está diseñado para facilitar la aplicación de la prueba de ECG en circunstancias cotidianas y desde la comodidad de su hogar, sin perder la eficacia en la prueba. No se puede olvidar que los resultados de la misma, deben ser verificados por personal cualificado. La aplicación está desarrollada en MATLAB, por lo tanto, el PC (computador personal) debe tener una licencia para su uso. Este software trabaja directamente con el hardware del dispositivo y lo hace en tiempo real. Fue diseñado de manera intuitiva para

facilitar su uso. En este orden de ideas, cabe destacar la función de diagnóstico de enfermedades con la que cuenta la aplicación. Es una gran herramienta a la hora de analizar la información. Las pruebas son recopiladas y almacenadas digitalmente en un archivo con formato PDF, en el que se imprimen los datos personales del paciente y los resultados más relevantes de la prueba de ECG. Es importante destacar que estos archivos se pueden compartir a través de correo electrónico desde el software diseñado. Sin olvidar que el software tiene una base de datos donde se almacenan las pruebas realizadas.

Palabras claves—*diagnostico; derivación; electrocardiógrafo; ECG; hardware; Matlab; prototipo; softwar; inalámbrico.*

I. INTRODUCCIÓN

La principal preocupación del ser humano en el transcurso de los años ha sido su subsistencia. Las múltiples guerras, enfermedades y cambios climáticos que ha tenido que afrontar la raza humana han afectado su probabilidad de vida; dicho resultado genera que los esfuerzos científicos por medio de las diferentes investigaciones y avances tecnológicos estén encaminados a que el porcentaje de vida aumente con el pasar de los años, y de igual forma se disminuya la cifra de muertes producto de enfermedades y catástrofes climáticas.

De acuerdo con el Informe del Estado Global en Salud de la Organización Mundial de la Salud (Gómez, 2011), las enfermedades cardiovasculares son responsables de la mayor parte de las muertes en el mundo, por ende, el análisis de señales electrocardiográficas ha tomado preponderancia hoy en día (Romero, 2015). El campo de la medicina y la electrónica han ido de la mano en el estudio y diseño de nuevos prototipos que ayuden a mejorar la calidad de vida de las personas, a través de la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas se estudia la posibilidad de dar un gran avance en el área de la prevención de enfermedades en los seres humanos (Sans, 2012).

La importancia del estudio del corazón por medio de dispositivos como el electrocardiógrafo, facilita la detección de

deficiencias cardiacas que previenen que se presenten casos de muerte súbita (Montagud, 2015). La razón de ser de esta herramienta es muy importante, ya que es utilizada para el análisis de la actividad eléctrica del corazón a través de electrodos que captan y amplían la señal cardiaca con la capacidad de detectar posibles alteraciones.

El motivo por el cual es necesario agudizar en la utilidad del electrocardiógrafo radica en su funcionalidad, ya que es un dispositivo que ayudará a un gran número de personas que son las que se practicarán el examen ECG (Niggemeyer, 2008), entre esas esta la población que padece tensión arterial elevada, niveles de azúcar altos en la sangre, sobrepeso, colesterol elevado, o que posean hábitos como el tabaco o el abuso de las bebidas alcohólicas. También para las personas con problemas respiratorios o cardiacos, población con más de 40 años, y los deportistas antes de iniciar una actividad física. (Cardiomenorca Medical Center, 2015).

La finalidad de este proyecto fue crear un dispositivo inalámbrico con tecnología XBEE de mayor alcance comparado con otras tecnologías; con interfaz pc-usuario visualizado en un sistema computarizado utilizando la plataforma de MATLAB¹, que cuenta con un software de detección de enfermedades elaborado bajo la colaboración y supervisión de un profesional de la salud. Es por ello que se hace necesario ahondar en el estudio de este dispositivo que es de gran utilidad para la sociedad, aportando por medio del campo de la investigación al mejoramiento de sistemas que agudicen su funcionalidad. Con la creación de un electrocardiógrafo inalámbrico con software de diagnóstico médico aproximado se logra el impacto esperado en la población por medio de este tipo de investigaciones.

II. METODOLOGÍA

El prototipo diseñado, brinda una herramienta que permite la prevención de casos de muerte súbita, a través de la detección de enfermedades cardiacas que se deriven de la prueba de ECG, mediante la implementación de un electrocardiógrafo inalámbrico y un software desarrollado en MATLAB.

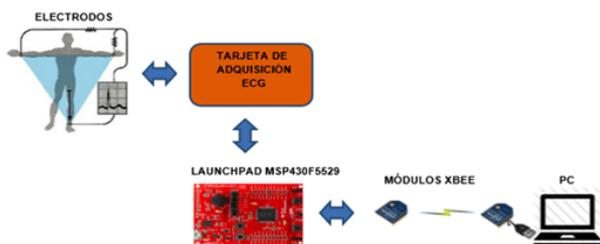


Figura 1. Esquema del sistema de electrocardiografía.

¹ MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).

Este conjunto de componentes conforma el sistema que ha sido denominado PECGI haciendo alusión a Prototipo ECG Inalámbrico, que ofrece la detección de seis posibles enfermedades cardiacas, aplicando los conceptos médicos para su detección y de esta forma aportar a la prevención de la muerte súbita. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 1.

A. Hardware

El prototipo de electrocardiógrafo implementado se ilustra en la figura 2, el cual, está compuesto por: una serie de electrodos, una tarjeta de adquisición ECG, una tarjeta de desarrollo LAUNCHPAD MSP430F5529, dos módulos XBEE (emisor y receptor) y una batería. Adicional al dispositivo se utiliza un computador como medio de visualización y diagnóstico del registro electrocardiográfico.

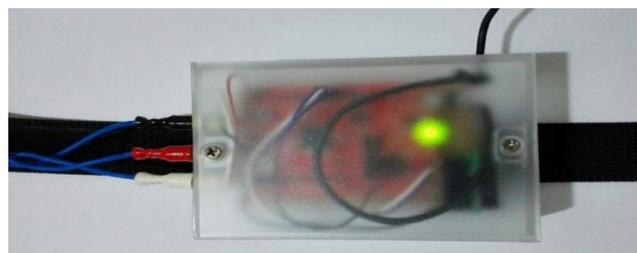


Figura 2. Electrocardiógrafo implementado.

B. Electrodo

Un electrodo CAH (conductive adesive hidrogel), de biopotencial o comúnmente llamada electrodo no es más que una media celda que completa la celda galvánica² por medio de otros electrodos conectados en la piel misma. Es por ello que se necesitan mínimo dos electrodos para poder obtener una lectura electrónica, y al menos tres electrodos para poder obtener una señal bioeléctrica³ razonable. El electrodo se carga como si fuese un capacitor (placa metálica y piel con gel como dieléctrico) y desprende su carga de electrones en el cable conductor y la doble capa eléctrica.

Tarjeta de adquisición ECG. Corresponde a una tarjeta diseñada para adquirir las señales bioeléctricas⁵ del corazón, para posteriormente ser amplificadas y filtradas mediante filtros activos butterworth (Cabrera, 2016), de acuerdo a parámetros de frecuencias usualmente implementadas en la electrocardiografía, como son, 0.5 Hz para el filtro pasa-alto y 50 Hz para el filtro pasa-bajo.

La señal captada a través de los electrodos es recibida por el amplificador de instrumentación INA2126, que fue previamente configurado con la resistencia externa para el control de ganancia a 2 K Ω , con el fin de obtener una amplificación de 45 veces la diferencia de la señal de entrada, según como se observa en la ecuación (1).

² Celda galvánica: Una celda galvánica o pila galvánica es un dispositivo capaz de producir energía eléctrica por medio de reacciones químicas (o al revés, producir reacciones químicas al aplicar electricidad).

³ Señal bioeléctrica. Señales eléctricas producidas por el cuerpo o de forma biológica.

$$G = 5 + \frac{80k\Omega}{R_C} = 5 + \frac{80k\Omega}{2k\Omega} = 45 \quad (1)$$

La MSP430 es una familia de microcontroladores fabricados por Texas Instruments. Construido con una CPU de 16 bits, el MSP430 está diseñado para aplicaciones empotradas de bajo costo, sistemas inalámbricos y/o de ultra bajo consumo de energía. Esta tarjeta ejecuta el muestreo de la señal, por medio de un temporizador, configurado para que realice aproximadamente 300 muestras por segundo, luego las muestras son tomadas por el módulo ADC12 para su conversión análogo a digital en 12 bits de resolución. La señal digital pasa al módulo UART de la tarjeta, para la comunicación serial con el módulo XBEE emisor.

C. Módulos XBEE

Los módulos XBEE trabajan con el protocolo de comunicación Zigbee, que es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Zigbee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas en la banda libre de 2.4GHZ. A diferencia de Bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency Hooping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo, así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc.) el alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256kbps. En el dispositivo, el XBEE emisor, transmite al módulo XBEE receptor que está conectado al PC, donde se llevara a cabo el procesamiento y almacenamiento de la señal. El dispositivo cuenta con una batería de 5 voltios, que suministra aproximadamente 2600mA/h, lo que proporciona una autonomía de aproximadamente 40 horas a plena carga.

D. Computador

Usado para la recepción de la señal proveniente del dispositivo y donde se ejecuta el software de procesamiento y diagnóstico desarrollado en MATLAB.

E. Software

La interfaz gráfica, denominada PECGI como abreviación a "Prototipo Electrocardiógrafo Inalámbrico", se desarrolló sobre MATLAB, ya que es un software que brinda una plataforma amigable con el usuario, sin sacrificar el poder de procesamiento. Para ingresar al software es necesario ejecutar el archivo "Guide_ECG.m", el cual, abre la ventana "Adquisición ECG". PECGI consta de tres ventanas principales para su operación: "Adquisición ECG", "Datos Paciente" y "Diagnostico".

F. Adquisición ECG

Maneja la ejecución del programa y enlaza con las otras ventanas que hacen parte del software. En ella se visualiza la lectura electrocardiográfica tomada en tiempo real por el

hardware del dispositivo. Al finalizar con el tiempo de lectura estimado, brinda una pequeña información acerca del número de latidos detectados, la amplitud máxima en voltaje y la distancia promedio (en tiempo) entre pulsos consecutivos. Esta ventana se observa en la figura 3.

G. Datos Personales

Al seleccionar el botón "Datos Paciente" de la ventana principal, se accede a una nueva ventana llamada "Datos Personales" como se observa en la Figura 4, la cual, contiene un formulario que debe llenar el usuario antes de iniciar la prueba ECG. Si el número del documento suministrado ya se encuentra creado en la base de datos, automáticamente la información del paciente se verá reflejada en el formulario. De lo contrario, se debe ingresar la información de forma manual.

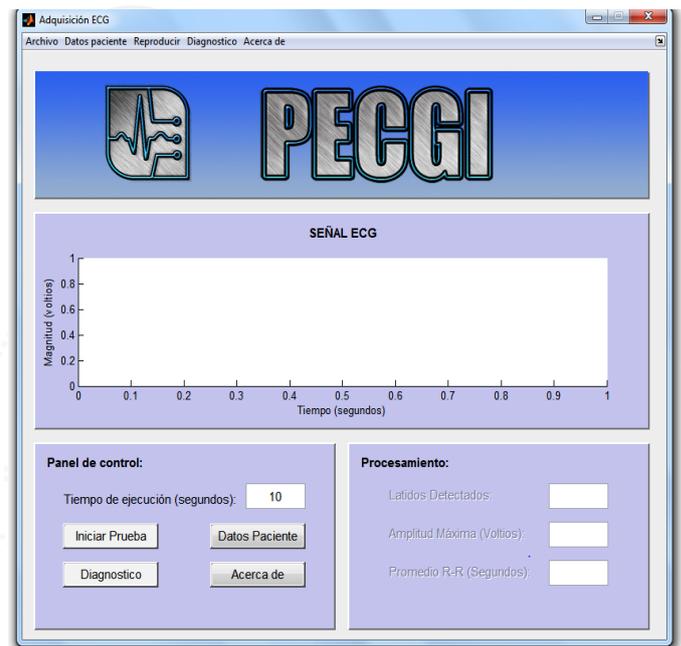


Figura 3. Ventana Adquisición ECG.

H. Diagnóstico

Por otra parte, PECGI, está en la capacidad de proporcionar un diagnóstico de apoyo al personal médico o al usuario. Este se genera luego del análisis que se realiza en el software sobre variables indispensables como: La amplitud, la ausencia de ondas, los tiempos de ocurrencia y duración de las ondas principales para la detección de cierta enfermedad y cardiopatías en particular (American heart association, 2015). Las enfermedades que el software está en capacidad de detectar son las siguientes: Bradicardia (Thompson, 2014), fibrilación auricular, hipertrofia auricular, isquemia y taquicardia.

El software almacena las lecturas y diagnósticos realizados que se deseen conservar, de igual forma posibilita la opción de cargar hasta dos lecturas para realizar un análisis comparativo y evaluar el progreso del paciente. El prototipo genera un reporte de toda la información de la prueba realizada, como, por ejemplo: datos básicos del paciente, grafica de la señal, tiempos y amplitudes de las ondas, el diagnóstico de posibles

cardiopatías, entre otras. Este reporte se genera en formato PDF.

También se cuenta con la posibilidad de compartir esta información por correo electrónico directamente desde el aplicativo desarrollado, el cual despliega una ventana emergente solicitando el ingreso de la dirección de correo electrónico destinataria.



Figura 4. Ventana “Datos Paciente”.

III. RESULTADOS

En el desarrollo del prototipo ECG, fueron aplicados conceptos teóricos y prácticos de la ingeniería electrónica y

biomédica, con el fin de obtener resultados satisfactorios y benéficos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas en general.

En la figura 5, se observa el dispositivo ECG desarrollado y su postura en el cuerpo del paciente. A través de electrodos dispuestos según una de las doce derivaciones medicamente reconocidas (Yanowitz, 2016), el electrocardiógrafo recolecta las señales bioeléctricas del corazón, con el fin de filtrarlas y procesarlas para ser transmitidas de forma inalámbrica a un computador que permite su visualización y análisis.



Figura 5. Postura del dispositivo.

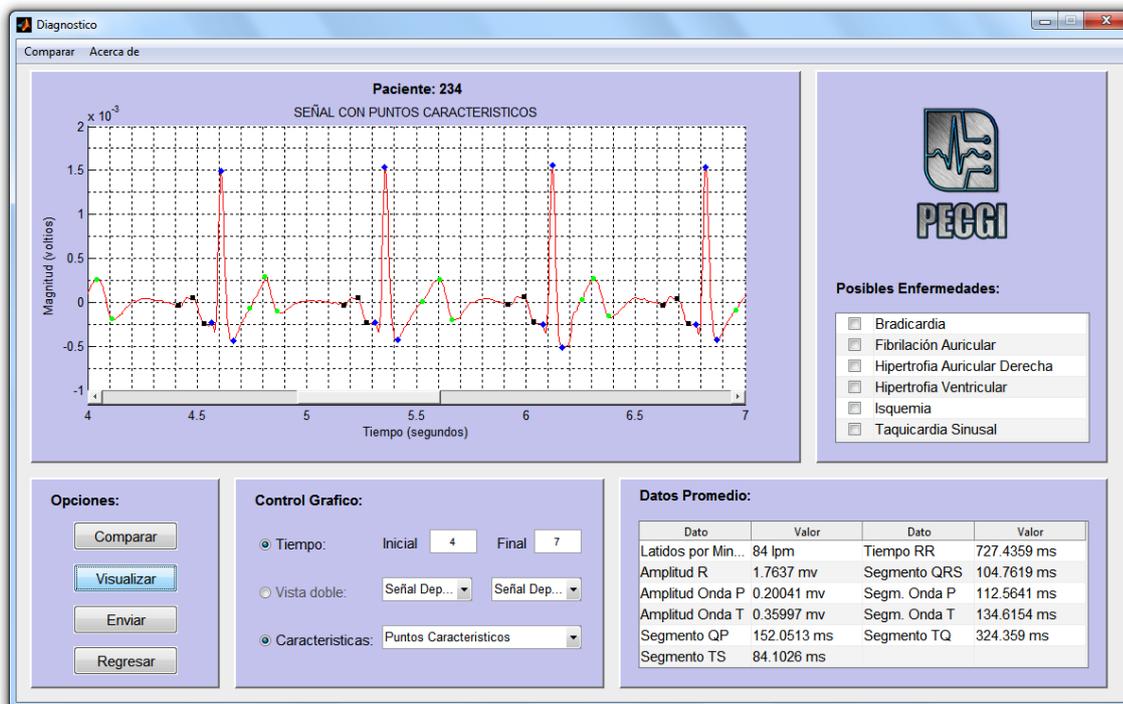


Figura 6. Ventana “Diagnostico”.

PECGI, ofrece al usuario, obtener una recopilación de información muy completa acerca del estado y comportamiento eléctrico del corazón; es posible realizar pruebas seleccionando el tiempo de las mismas; permite el conteo de las pulsaciones del corazón; reconoce de forma individual o grupal las ondas características de la señal cardiaca; admite la visualización de la señal original, depurada, filtrada, con los puntos característicos y la detección de pulsos.

A. Interfaz de visualización de los datos

Proporcionar un diagnóstico de apoyo al personal médico o al usuario. Este se genera luego del análisis que se realiza en el software sobre variables indispensables como: La amplitud, la ausencia de ondas, los tiempos de ocurrencia y duración de las ondas principales para la detección de cierta enfermedad en particular. Las enfermedades que el software está en capacidad de detectar son las siguientes: Bradicardia, fibrilación auricular, hipertrofia auricular, hipertrofia ventricular, isquemia y taquicardia sinusal. Las enfermedades serán diagnosticadas como positivo si en el recuadro de "posibles enfermedades" en la Figura 6 aparecen chequeadas.

B. Apariencia física del Hardware

La elaboración de la tarjeta de adquisición ECG, visible en la figura 7, se realizó en una placa base de una sola cara de cobre, con las medidas que se observan en la tabla 1. La impresión de las pistas se efectuó con la técnica de transferencia de tinta por medio de calor. La caja que contiene el dispositivo está construida en acrílico transparente de 3 mm de calibre.



Figura 7. Apariencia interna del dispositivo.

Tabla 1. Medidas del dispositivo.

Componentes	Alto (cm)	Ancho (cm)	Profundo (cm)
Caja del prototipo	8,5	12,5	4,7
Launchpad MSP430F5529	5,5	7	0,2
Tarjeta de adquisición	6,5	10	0,2
Xbee	3	2,5	0,2
Batería	9	2,5	2,5

C. Desempeño del prototipo

Para analizar el desempeño del prototipo es necesario calcular la precisión (P) y sensibilidad (S) que el dispositivo posee al realizar las pruebas ECG a través de las ecuaciones (2) y (3) respectivamente. Para llevar a cabo este análisis se tendrá en cuenta las muestras obtenidas por los voluntarios, en la feria realizada el 21 de junio de 2016 llamada INNOVASOFT, en la Universidad Surcolombiana. Las pruebas tuvieron una duración de un minuto cada una.

Con el fin de determinar la precisión y sensibilidad del software en la identificación de las ondas P, T y complejos QRS de la señal cardiaca, se realiza un conteo del número de puntos correctos (PC), puntos perdidos (PP) y puntos errados (PE) para cada una de las ondas. Las Tablas II, III y IV contienen las estadísticas en detección de las ondas P, complejos QRS y ondas T respectivamente.

Luego de tener estas variables, se deben aplicar en las siguientes ecuaciones.

$$P(\%) = \frac{PC}{PC + PE} \times 100 \quad (2)$$

$$S(\%) = \frac{PC}{PC + PP} \times 100 \quad (3)$$

Tabla 2. Estadísticas detección onda P.

Nº DE PRUEBA	PC	PP	PE	TOTAL
1	73	5	5	83
2	77	7	2	86
TOTAL	150	12	7	169

Operando los valores almacenados en la tabla 2 se obtiene como resultado en precisión P (%) = 95.54% y en sensibilidad S (%) = 92.59% para la detección de la onda P.

Tabla 3. Estadísticas detección Complejo QRS.

Nº DE PRUEBA	PC	PP	PE	TOTAL
1	79	5	0	84
2	77	7	3	87
TOTAL	156	12	3	171

Operando los valores almacenados en la tabla 3 se obtiene como resultado en precisión P (%) = 98.11% y en sensibilidad S (%) = 92.85% para la detección del Complejo QRS.

Tabla 4. Estadísticas detección onda T.

Nº DE PRUEBA	PC	PP	PE	TOTAL
1	74	5	4	83
2	76	7	3	86
TOTAL	150	12	7	169

Operando los valores almacenados en la Tabla 4 se obtiene como resultado en precisión P (%) = 95.54% y en sensibilidad S (%) = 92.59% para la detección de la onda T. A partir de los resultados obtenidos se puede apreciar un alto valor de precisión y sensibilidad en el dispositivo para la detección de los puntos característicos de la señal.

IV. CONCLUSIONES

Se presentan distorsiones y ruidos causados por los movimientos de los electrodos, ruido muscular, errores en la ubicación de los electrodos, reutilización de los adhesivos desechables. Esto propicia la aparición de artefactos que no logran ser eliminados por los filtros implementados, por tanto,

podrían ser confundidos con enfermedades cardíacas como por ejemplo la taquicardia.

El tipo de filtro digital usados en el tratamiento de la señal es butterworth, debido a las ventajas que este presenta por tener una banda de paso plana que no distorsiona ni desfasa la señal procesada.

La no utilización de estrategias y algoritmos para la detección y corrección de errores genera problemas en la comunicación del electrocardiógrafo con la PC, es por eso que el software está diseñado no solo para detectar los errores sino también para corregirlos durante la marcha, la prueba no es detenida si ocurre un error de lectura, sino que continua mientras el error es identificado y descartado.

Aunque el software cuenta con un algoritmo para la detección de enfermedades cardíacas, es importante resaltar que los resultados de este procesamiento y posterior diagnóstico, deben ser tenidos en cuenta si se cuenta con la supervisión de personal capacitado para su lectura.

Los usos de dispositivos de última generación garantizan una mejor eficiencia energética, permitiendo darle al dispositivo una mayor autonomía y portabilidad.

Se reducen los costos de un dispositivo que comúnmente solo lo encontramos en centros médicos, para hacerlo de fácil acceso al público.

Se presentaron muchas dificultades debido a la falta de apoyo de los distintos centros médicos para la realización de las pruebas en equipos electrocardiográficos certificados.

La señal ECG, es obtenida de forma digital, proceso que facilita su almacenamiento y permite volver a ser examinada posteriormente.

REFERENCIAS

- [1] American heart association, 2015. What is Cardiovascular Disease? Consultado el 8 de junio de 2016. http://www.heart.org/HEARTORG/Caregiver/Resources/WhatisCardiovascularDisease/What-is-Cardiovascular-Disease_UCM_301852_Article.jsp
- [2] Cabrera P. J., 2016. Filtros Activos. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Consultado el 8 de junio de 2016 <http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29861/filtros.pdf>
- [3] Cardiomenorca Medical Center, 2015. *José María Julián Medicina Intensiva*. Consultado el 7 de junio de 2016. <http://www.cardiomenorca.es/cardiologia%20en%20Menorca.html>
- [4] Gómez, L. A., 2011. Las enfermedades cardiovasculares: un problema de salud pública y un reto global. *Biomédica Instituto Nacional de Salud*, Volumen 31, No. 4. Colombia.
- [5] Montagud, V., 2015. Muerte súbita. Fundación española del corazón. Universidad de Valencia. Consultado el 7 de junio de 2016. <http://www.fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares/muerte-subita.html>
- [6] Niggemeyer, E., 2008. El electrocardiograma (ECG). Plataforma europea independiente sobre cardiopatías congénitas. Consultado el 8 de junio de 2016. <http://www.corience.org/es/diagnostico-y-tratamiento/diagnostico-de-cardiopatias-congenitas/electrocardiograma-ecg/>
- [7] Romero, J. L., 2015. Análisis de señales electrocardiográficas usando técnicas de procesamiento digital. Universidad abierta de Cataluña. Consultado el 7 de junio de 2016. http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/40186/6/jlorenz_oroTFC0115memoria.pdf
- [8] Sans, S., 2012. Enfermedades Cardiovasculares. Institut d' Estudis de la Salut, Barcelona. Consultado el 7 de junio de 2016. <http://es.uhealthsystem.com/enciclopedia-medica/cardiac/index/diagtest>
- [9] Thompson, G., 2014. Bradycardia (Slow Heart Rate). WebMD. Consultado el 8 de junio de 2016. <http://www.webmd.com/heart-disease/tc/bradycardia-slow-heart-rate-overview>.
- [10] Yanowitz, Frank G., 2016. Introduction to ecg interpretation. University of Utah School of Medicine. Consultado el 8 de junio de 2016. <http://ecg.utah.edu/pdf/>