

Desarrollo de un sistema de monitoreo cardiaco para móviles android

Rebeca Rosa Viloría Amaya¹

Alejandro Utria García²

Giovanni Alberto Bracho Tovar³

Liliana Patricia Torres Obregón⁴

Cítese como: Viloría-Amaya, R. R., Utria-García, A., Bracho-Tovar, G. A. y Torres-Obregón, L. P. (2023). Desarrollo de un sistema de monitoreo cardiaco para móviles android. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 71-81). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c264>

Resumen

Con el paso del tiempo, el monitoreo cardíaco ambulatorio ha tomado gran relevancia, siendo un producto de gran ayuda para el diagnóstico de las arritmias cardíacas. En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo biomédico de monitoreo cardiaco ambulatorio, implementando tecnología Bluetooth y aplicaciones móviles Android. El prototipo consta de un sensor con tres electrodos para la captura de la señal cardiaca, un módulo de instrumentación electrónica central que se encarga de amplificar, filtrar y acondicionar la señal cardiaca, la cual es transmitida vía Bluetooth a un dispositivo móvil con Android, en donde se realiza el envío de la señal capturada hacia internet, los datos son alojados en un servidor web en la nube. El último componente del sistema desarrollado es un software de interfaz que permite, al personal médico, visualizar y monitorear los datos del paciente. Se construyó un sistema de monitoreo cardiaco capaz de capturar las señales cardiacas por un periodo mayor a 24 horas.

Palabras clave: android, bluetooth, biomédico, señal cardiaca, servidor web.

Introducción

La electrocardiografía es el registro de la actividad eléctrica que se genera en el corazón. Su análisis detallado suministra información que se registra en la historia clínica de un paciente como apoyo diagnóstico a un examen físico (Portillo, 2008). Es un procedimiento simple, de bajo costo, que se ha convertido en una de las herramientas primordiales en el diagnóstico de trastornos y enfermedades del corazón (Carrión et al., 2009). Entre las técnicas empleadas para el diagnóstico de los trastornos del ritmo cardíaco que se acompañan de síntomas se encuentra la monitorización ambulatoria del ritmo cardiaco, donde se detectan arritmias en pacientes que presentan síntomas como palpitaciones y/o desmayos. Esta técnica también es empleada en la valoración de la eficacia y seguridad del tratamiento farmacológico y no farmacológico de las arritmias, especialmente la fibrilación auricular, entre otros (Arce-León et al., 2015).

¹Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: rviloría@unicesar.edu.co

²Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: autria@unicesar.edu.co

³Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: giovannibracho@unicesar.edu.co

⁴Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: lpatriciatorres@unicesar.edu.co

En Colombia, según un estudio publicado en la revista científica estadounidense Plos One en diciembre de 2018, desarrollado en conjunto por la Fundación Salutia y la Asociación Colombiana de Empresas de Medicina Integral (Acemi), el número de personas diagnosticadas con enfermedades cerebrovasculares (ECV) ha aumentado hasta representar el 28,7 % del índice de mortalidad en el país (Camacho et al., 2018).

Los equipos de monitoreo cardíaco más utilizados requieren de la intervención del paciente para el almacenamiento de los datos, convirtiéndolos en procedimientos con características limitadas y susceptible a errores, una vez finaliza el periodo de monitoreo, el médico cardiólogo se encarga de analizar los datos. Como es el caso del monitoreo cardíaco con Holter, en donde el análisis automático sobrestima ciertos eventos por detección de anomalías, informando más arritmias de las que el paciente realmente tiene; por otro lado, la duración del registro es limitada a 24 horas, por lo cual existe una probabilidad alta de que el paciente no presente síntomas cuando se le practica el examen (Pava, 2006).

A lo largo del tiempo, se han realizado diversos estudios relacionados con el monitoreo cardíaco, como es el caso de Mendoza et al. (2012), quienes diseñaron un sistema portátil de adquisición de datos de señales cardíacas por eventos que transmitía los datos mediante la tecnología inalámbrica Zigbee hasta el dispositivo receptor conectado a un computador ubicado en el hogar del paciente. Estos datos son capturados, almacenados y procesados mediante un software y luego son transmitidos a través de internet a un centro especializado (Mendoza et al., 2012).

En Bogotá, Gualteros (2016) desarrolló un prototipo ECG portátil de tres derivaciones que transmite la información a dispositivos Android para su visualización.

Trabajos similares fueron realizados en Ecuador por Calle y Señalín (2015), quienes diseñaron un electrocardiógrafo, en el cual la señal obtenida se digitaliza y se transmite vía Bluetooth hacia una *Tablet*. La señal adquirida se muestra en una aplicación Android y es compartida vía internet hacia instituciones especializadas o hacia cualquier destino del mundo.

En México, los autores Cifuentes (2016) diseñaron un electrocardiógrafo portátil, el cual adquiere, procesa, digitaliza y envía la señal cardíaca vía Bluetooth a un dispositivo móvil. El dispositivo grafica la señal en tiempo real mientras se realiza la prueba y la envía a un especialista a través de una aplicación web para que valore al paciente en función de la señal obtenida de forma remota.

Métodos

En este trabajo se implementó una metodología de forma ordenada y secuencial plasmada de la siguiente manera:

Fase de investigación y documentación

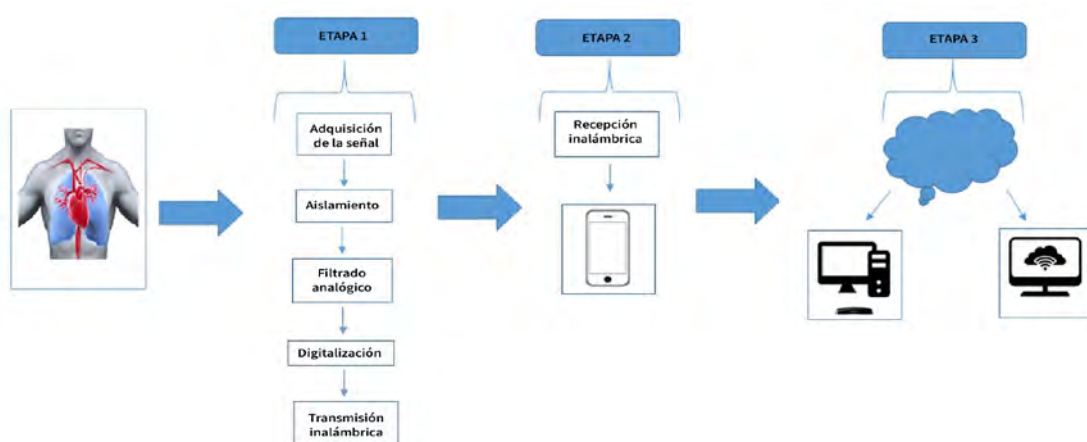
Se adquirió la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del proyecto, con la ayuda de libros, revistas, fotografías, tablas y documentos.

Fase de diseño

Para esta fase se elaboró un diagrama de bloques (ver Figura 1), en el cual se describe las etapas que conforman el prototipo, desde la adquisición de la señal cardíaca hasta la visualización y procesamiento de dicha señal. Se desarrolló un prototipo por medio de componentes de bajo consumo de potencia; el cual captura las señales eléctricas del corazón y las envía a un servidor remoto, la información capturada es enviada de forma continua o en periodos de tiempos configurables, definidos según criterio del médico especialista.

Figura 1

Diagrama de bloques de funcionamiento del prototipo

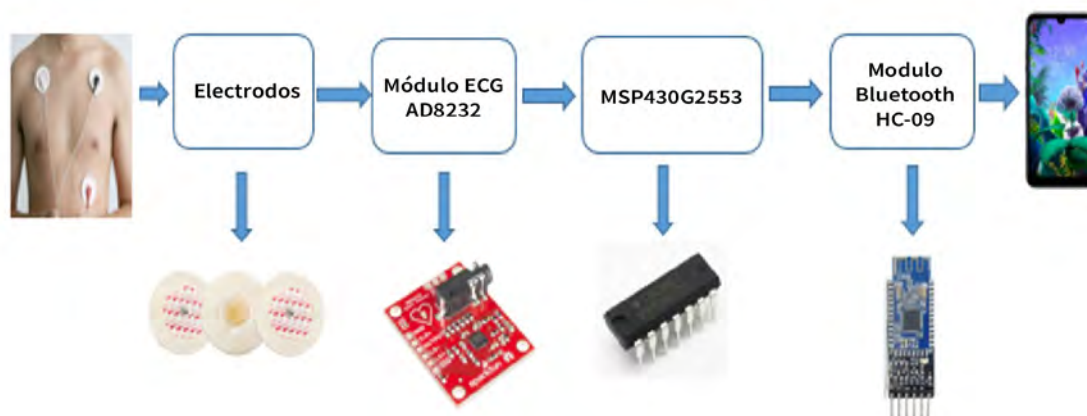


Fase de implementación

Para la adquisición y visualización de la señal ECG, se desarrolló un aplicativo en Java con interfaz de usuario, el cual recolecta los datos almacenados en la base de datos e ilustra la señal cardíaca, permitiendo la visualización al médico especialista. En la Figura 2 se puede apreciar el diagrama de bloques de los componentes del prototipo.

Figura 2

Diagrama de bloques del monitor cardíaco



Evaluación de resultados

Para finalizar con la fase de desarrollo del prototipo, se creó el manual de usuario para el correcto manejo del sistema y se realizaron las pruebas necesarias para determinar la confiabilidad del sistema con el médico cardiólogo.

Resultados

Para el desarrollo del prototipo se llevó a cabo las siguientes etapas:

Etapas de desarrollo de hardware

Se desarrolló el hardware del prototipo que permite obtener la señal cardíaca y transmitir los datos recolectados hacia el dispositivo móvil por medio de comunicación Bluetooth.

Electrodos

Un electrodo es un dispositivo sensor fijado a la piel que detecta actividad eléctrica positiva o negativa en el corazón (Wesley, 2017), cumpliendo la función de actuar como transductor del circuito de adquisición de la señal. Para el desarrollo de prototipo, se eligieron electrodos universales de ECG con 50 piezas, los cuales son electrodos de bajo costo, de acceso fácil y cuentan con hidrogel que mejora la conducción.

Para la obtención de la señal, se utilizaron 3 electrodos. Los conectores de los electrodos vienen con colores diferentes para diferenciarlos:

R: Parte superior derecha del pecho (Right), evitando prominencias óseas (rojo).

L: Parte superior izquierda del pecho (Left), evitando prominencias óseas (amarillo).

F: Parte inferior izquierda del abdomen (Foot), evitando prominencias óseas (verde).

Módulo ECG AD8232

“El AD8232 es un módulo de acondicionamiento de señales integrado para ECG, diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales en presencia de condiciones ruidosas, como las creadas por el movimiento o la colocación remota de electrodos” (Analog Devices, 2020, párr. 1). En la Figura 3 se puede observar el módulo AD8232.

Figura 3

Módulo AD8232



Fuente: Sparkfun Electronics (s.f.).

Microcontrolador MSP430G2553

Una de las principales razones de elegir este microcontrolador es que dispone de programador y emulador, lo que facilita las tareas de desarrollo. Además, emplea un compilador C específico con generación de código optimizada y posibilidad de control directo de las interrupciones y periféricos (Texas Instruments, 2020).

Adquisición de la señal ECG

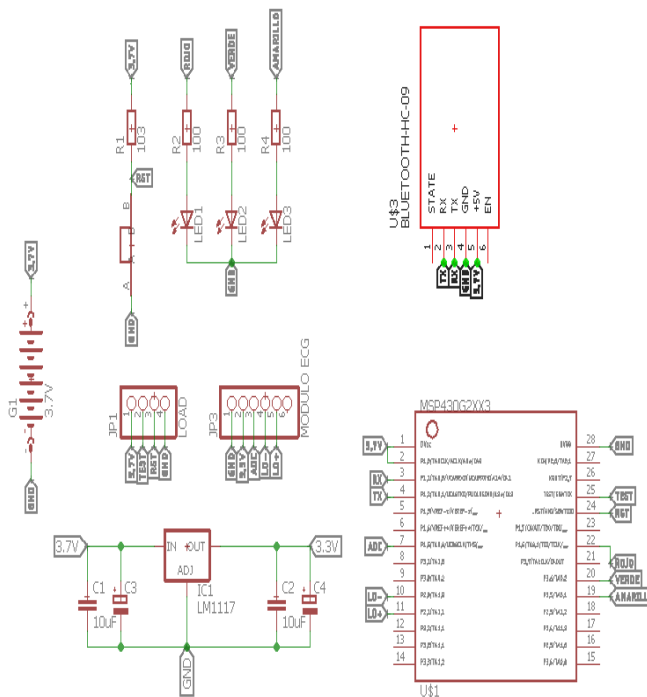
La etapa de adquisición de datos está conformada por tres electrodos pegados a la piel que detectan la actividad eléctrica positiva o negativa en el corazón y un componente de hardware compuesto por el módulo AD8232, el cual recibe los datos proporcionados por los tres electrodos, estos datos son tomados por el microcontrolador MSP430G2553 para procesarlos y convertirlos en pulsos cardiacos.

Módulo de instrumentación y control

El módulo de instrumentación y control se encarga de centralizar los procesos y la toma de decisiones en el prototipo. Está compuesto por un microcontrolador, un módulo Bluetooth HC-09 y un regulador LM1117, como se puede observar en la Figura 4. El microcontrolador MSP430G2553 recibe la señal de entrada proveniente del módulo de adquisición, las procesa y toma las decisiones preconicionadas en el código de programación (firmware). El modulo Bluetooth HC-09 es el encargado de comunicar la interfaz de usuario desarrollada en el sistema operativo Android con el módulo de control e instrumentación.

Figura 4

Esquema del módulo de instrumentación y control



Etapa de desarrollo del firmware

El firmware que se desarrolló tiene el control directo del hardware, lo que permite la interacción con el software, de esta manera, se controlan las instrucciones externas como la adquisición de la señal, además de la transmisión de datos hacia el software.

Figura 5

Esquema de etapa de desarrollo del firmware



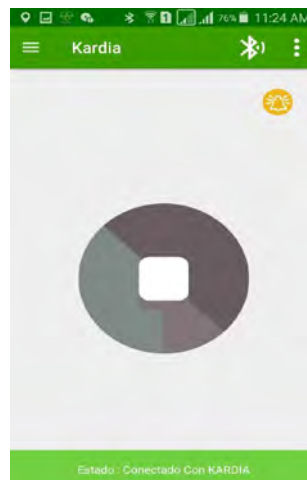
El firmware captura la señal cardiaca proveniente de los electrodos, para luego ser procesada en el conversor ADC, el cual convierte la señal análoga a digital para ser enviada por medio de Bluetooth al móvil Android. El microcontrolador MSP430G2553 permite la recepción y emisión de datos a través del puerto serie del microcontrolador.

Etapa de diseño de aplicativo Android

Se desarrolló un aplicativo en la plataforma Android, el cual recibe los datos provenientes del hardware y los transmite hacia internet, esta información es alojada en una base datos. En la Figura 6 se puede observar la pantalla principal de la App Kardia. La App registra los datos del usuario asociados a una cuenta de Google, además, cuenta con un botón de pánico que envía un mensaje de texto al número de emergencia ingresado por el usuario con la ubicación del paciente. El paciente debe contar con saldo para poder enviar el mensaje de texto y el botón de pánico no requiere que el dispositivo tenga acceso a internet para poder operar. La aplicación móvil funciona para versiones Android 5.0 y versiones posteriores.

Figura 6

Pantalla principal App Kardia



La App Kardia captura y almacena los datos provenientes del prototipo para luego ser enviados a un servidor web, cumpliendo la función de puente, que enlaza el prototipo con el móvil Android, permitiendo la captura, almacenamiento y envío de los datos a internet. El programa de desarrollo de la App permite acceder a funciones del móvil, para esto solicita permisos para uso de GPS, Bluetooth, envío de mensajes de textos, etc., además, está conformado por múltiples actividades para acceder a funciones de la App como login, modificación de perfil, etc.

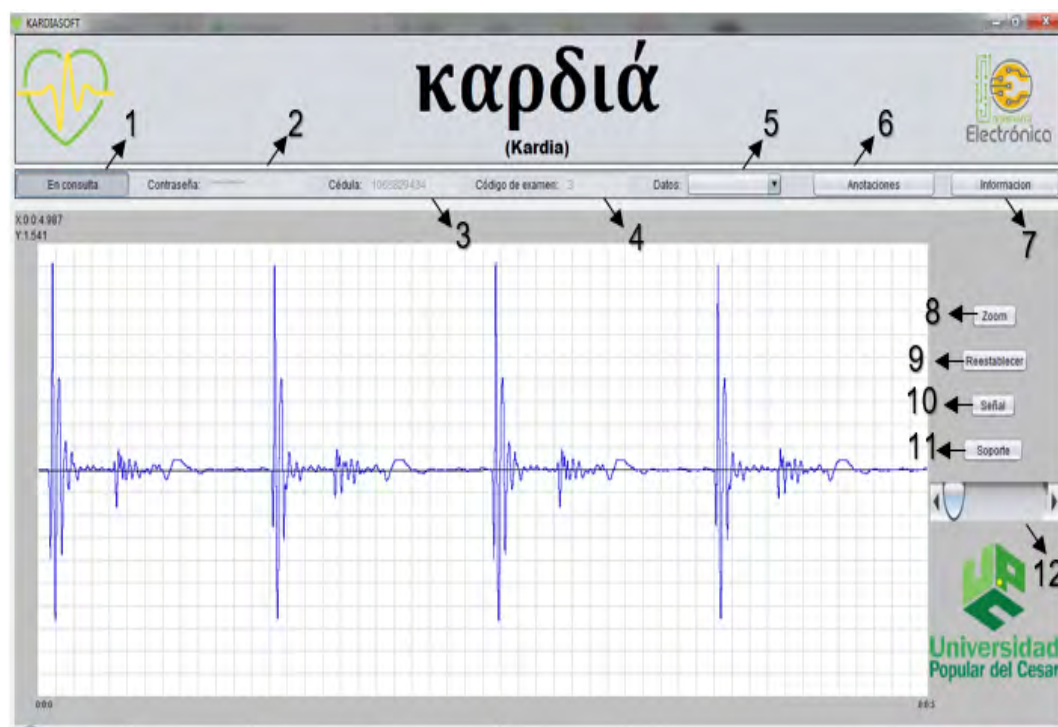
Etapas de diseño de aplicativo Java

Se desarrolló un aplicativo en Java con interfaz de usuario, que extrae los datos almacenados en el servidor web gratuito MyASP.NET y grafica la señal cardiaca, permitiendo, al médico especialista, visualizar la señal obtenida para su análisis. La interfaz gráfica fue desarrollada en el entorno de desarrollo NetBeans IDE 8.0.2, la interfaz requiere de una conexión a internet para operar y no tiene interacción con la aplicación móvil, es de uso exclusivo para el personal médico capacitado.

La pantalla principal de la interfaz permite interactuar con la señal graficada, permitiendo realizar zoom, modificar los niveles de amplitud, restablecer a la señal original y brindar la información del equipo de trabajo (ver Figura 7).

Figura 7

Pantalla principal Software aplicativo



Botón 1: consultar las pruebas realizadas al paciente.

Botón 2: se ingresa la contraseña del servidor web.

Botón 3: se ingresa el número de cédula del paciente a consultar.

Botón 4: sirve para ingresar el código del examen que se desea visualizar.

Botón 5: permite seleccionar y visualizar las pruebas realizadas.

Botón 6: permite consultar las anotaciones realizadas por el especialista.

Botón 7: consultar la información del paciente.

Botón 8: sirve para ampliar la señal.

Botón 9: sirve para volver a las propiedades iniciales de la señal.

Botón 10: sirve para modificar la amplitud de la señal.

Botón 11: sirve para consultar los datos de los autores.

Botón 12: permite el desplazamiento en la señal.

El programa de desarrollo del software está conformado por librerías y declaración de variables, que permiten extraer los datos alojados en el servidor web para ser graficados y visualizados por el personal médico. Asimismo, cuenta con un panel para graficar la señal cardiaca, así como múltiples botones y una barra deslizadora para interactuar con la señal graficada.

Etapas de ajustes y pruebas

Finalmente, se realizó los ajustes finales al proyecto: pruebas y correcciones pertinentes para su presentación, además, se realizó el manual de usuario del prototipo.

Discusión

Visualización de la señal

La señal es visualizada por medio de una interfaz de usuario llamado Kardia, consiste en un archivo ejecutable que no requiere instalación, se puede observar en la pantalla principal del software Kardia. Los datos provenientes del dispositivo móvil son alojados en un servidor web; para el envío de datos al servidor web, el teléfono móvil debe contar con una conexión a internet. La aplicación móvil, almacena los datos que recibe en la memoria del dispositivo móvil como un archivo txt, estos paquetes son enviados de forma automática cada 10 minutos y tienen un peso de 3.4 MB. Para efectos del proyecto, se utilizó un servidor web gratuito MyASP.NET, el cual tiene una capacidad de 1 GB de almacenamiento, lo que permite realizar un monitoreo continuo de hasta dos días.

Para la descarga de los datos desde el servidor web, se debe contar con una conexión a internet y tener disponible la contraseña para acceder a los datos, esta contraseña es de uso exclusivo del personal médico. Una vez se ingresan los datos del paciente como el número de

cédula, el código del examen, se inicia la descarga de los datos desde el servidor (ver Figura 8), si los datos ingresados no se encuentran registrados en la base de datos o son erróneos, el software muestra una ventana emergente para notificar al personal médico (ver Figura 9).

Figura 8

Descarga de datos desde el servidor

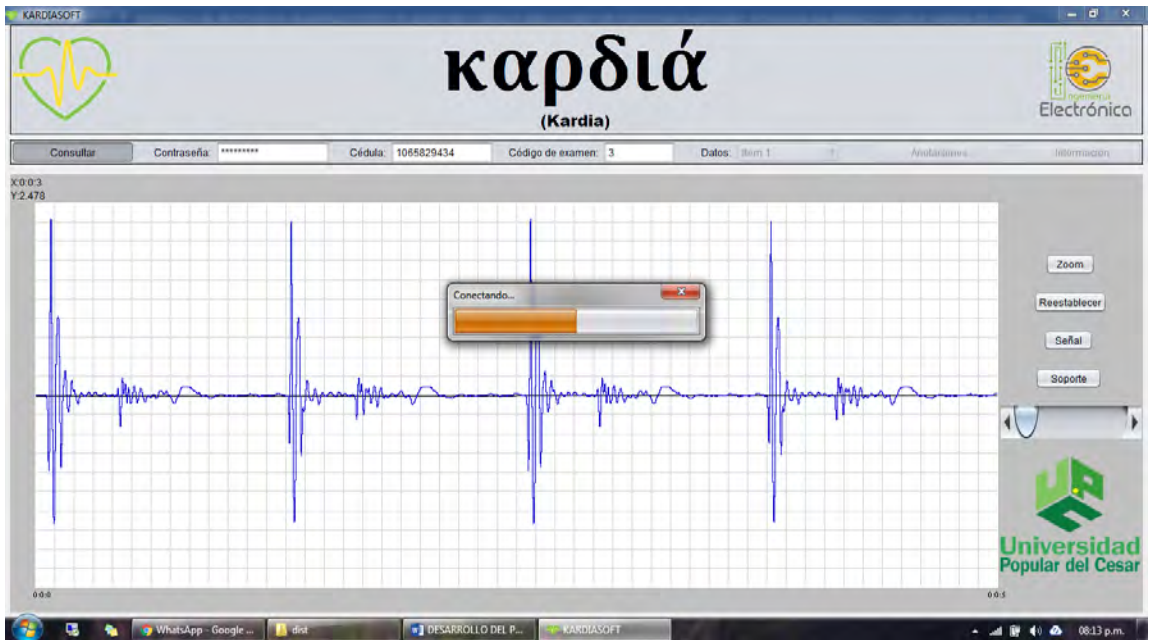
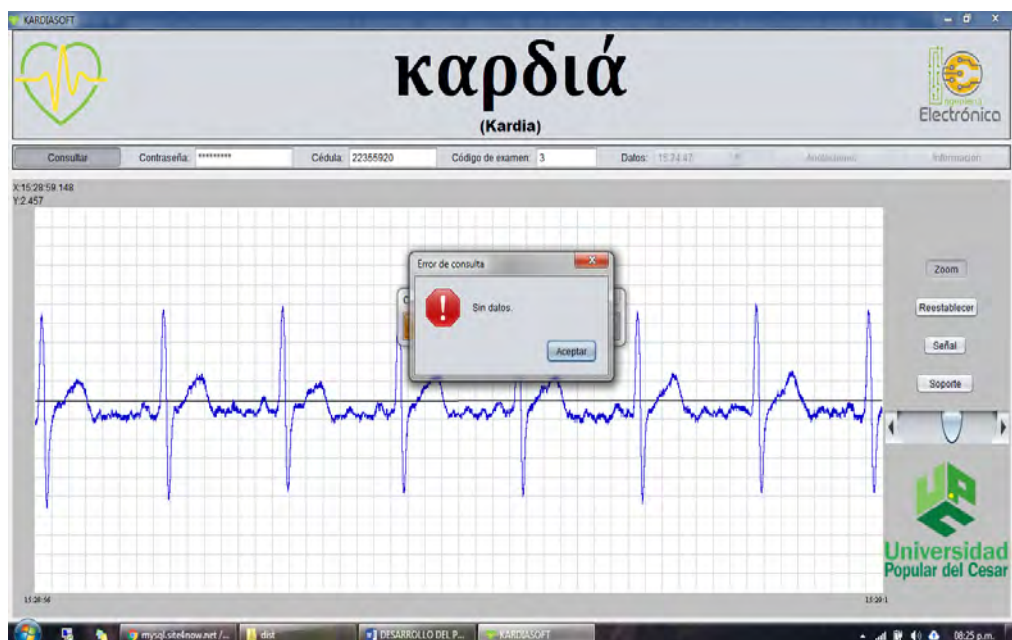


Figura 9

Prueba de error software aplicativo



Si el dispositivo móvil no cuenta con una conexión a internet, la aplicación activa el modo trabajar sin conexión a internet. La aplicación móvil recibe los datos y los almacena en la memoria del dispositivo móvil como un archivo txt hasta que el dispositivo tenga acceso a internet y pueda enviar los datos al servidor web; una vez el dispositivo móvil tenga acceso a internet, la aplicación buscará los archivos guardados y los envía de forma automática, luego emitirá una notificación del envío de los datos. El envío de los paquetes al servidor Web se ejecuta una vez el dispositivo cuente con una conexión a internet, en la Figura 10 se observa la hora en la que es recibido el archivo en el servidor web gratuito MyASP.NET.

Figura 10

Recepción de datos servidor web

	Id	lat	lng	file	time	user_id
	1	0.0	0.0	uploads/0000.txt	2019-12-31 09:30:38	1
	3	0.0	0.0	uploads/0003.txt	2020-01-16 13:23:40	3
	6	10.45966645	-73.261297	uploads/JSON_Alejandro_Utria_20191123_095105.txt	2020-01-16 15:24:47	3
	7	10.45961211	-73.26133832	uploads/0003.txt	2020-01-16 23:33:02	3
	8	10.45950795	-73.26127441	uploads/JSON_Alejandro_Utria_20191123_095105.txt	2020-01-17 00:06:28	3
	12	10.45951328	-73.2612781	uploads/JSON_3_20200205_102721.txt	2020-02-05 10:38:12	3
	13	10.45376924	-73.25494044	uploads/JSON_3_20200223_112443.txt	2020-02-23 11:25:35	3
	14	10.45371062	-73.25500133	uploads/JSON_3_20200223_113756.txt	2020-02-23 11:40:14	3
	15	10.45950333	-73.26129101	uploads/JSON_3_20200327_104555.txt	2020-03-27 10:46:15	3
	16	10.45949473	-73.26131942	uploads/JSON_3_20200327_104619.txt	2020-03-27 10:55:35	3
	17	10.45952085	-73.26132161	uploads/JSON_3_20200327_110300.txt	2020-03-27 11:13:40	3
	18	0.0	0.0	uploads/JSON_3_20200416_132642.txt	2020-04-16 13:27:10	3
	19	10.45959219	-73.26130536	uploads/JSON_3_20200416_133124.txt	2020-04-16 14:25:45	3

Conclusiones

Se diseñó un sistema portátil de monitoreo cardíaco capaz de capturar las señales cardíacas por un periodo mayor a 24 horas, las señales son procesadas y enviadas vía Bluetooth al dispositivo móvil, los datos son almacenados y graficados por una interfaz gráfica para su posterior análisis.

El dispositivo es de estructura liviana, de tamaño reducido y cómoda para realizar el examen; cuenta con una App Android para la recepción de la señal cardíaca proveniente del prototipo, actuando como puente para la transmisión de los datos vía internet y como herramienta de recolección de la información del paciente.

La señal cardíaca es visualizada por medio un software aplicativo que obtiene los datos del monitoreo cardíaco procedente del dispositivo móvil alojados en un servidor web y permite visualizarlos, con el fin de ser presentados al personal médico especializado en un espacio de trabajo con múltiples herramientas que facilitan el análisis de los datos.

Referencias

- Analog Devices. (2020). AD8232 Datasheet - Analog Devices. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/544648/AD/AD8232.html>
- Arce-León, A., Rodríguez-Rodríguez, J. y Pedrote, A. (2015). Monitorización ambulatoria del ritmo cardíaco. Más allá del Holter de 24 horas. *Cardiacore*, 50(3), 102-105. <https://doi.org/10.1016/j.carcor.2015.05.004>
- Calle, A., y Señalín, B. (2015). Diseño de un EKG (electrocardiógrafo) con visualización en tiempo real de la señal cardíaca en una Tablet o dispositivo Android [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Dspace. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41325>
- Camacho, S., Maldonado, N., Bustamante, J., Llorente, B., Cueto, E., Cardona, F. y Arango, C. (2018). How much for a broken heart? Costs of cardiovascular disease in Colombia using a person-based approach. *Plos one*, 13(12), e0208513. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208513>
- Cifuentes, C., Peña, J. y Prieto, T. (2016). *Electrocardiógrafo portátil para dispositivos móviles con monitoreo remoto* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/21306>
- Gualteros, J. (2016). *Prototipo ECG con transmisión de información a dispositivos Android* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/2843>
- Mendoza, F., Núñez, L. y Bracho, G. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de monitoreo cardiaco de señales cardiacas por eventos implementando la tecnología de transmisión inalámbrica Zigbee e Internet* [Tesis de pregrado, Universidad Popular del Cesar].
- Pava, L. (2006). Monitoria electrocardiográfica ambulatoria de 24 horas (Holter) en arritmias supraventriculares. En M. Cabrales y D. Vanegas (Eds.), *Manual de métodos diagnósticos en electrofisiología cardiovascular* (pp. 71-78). Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular.
- Portillo, M. (2008). Electrocardiografía: técnica de interpretación básica. *VI Foro de Pediatría de Atención Primaria de Extremadura*. <https://spapex.es/foro-pediatrico/2009/realizacion-e-interpretacion-del-ecg-en-pediatria>
- Sparkfun Electronics (s.f.). SparkFun Single Lead Heart Rate Monitor - AD8232. <https://www.sparkfun.com/products/12650>
- SparkFun Electronics. (2020). Sparkfun Start Something. Obtenido de Sparkfun Web Site: <https://www.sparkfun.com/products/12650>
- Texas Instruments. (2020). MSP430G2553 Datasheet - Texas Instruments. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/465770/TI1/MSP430G2553.html>
- Wesley, K. (2017). *Huszar. Interpretación del ECG: monitorización y 12 derivaciones* (5.ª ed.). Elsevier.