

Cardiotrack: “Dispositivo Portátil y Ergonómico para Monitoreo Continuo y Grabación Episódica de ECG con Sistema de Alarmas para Detección de Fibrilación Auricular”

Christian Mucha, Gloria Atencio, Gian Santivañez, Raul Gonzales, Rodrigo Gonzales

Abstract — *Cardiac arrhythmias, particularly atrial fibrillation (AF), are a major health concern globally. This paper introduces Cardiotrack, an innovative and ergonomic portable device developed for the continuous monitoring and periodic recording of electrocardiograms (ECG). The device is equipped with an alarm system for AF detection. Cardiotrack comprises a wearable shirt embedded with electrodes and a detachable case housing the electronic components, including the XSpace Bio board and ESP32 microcontroller. This configuration allows for dependable arrhythmia detection without relying on an internet connection. Users are alerted to arrhythmias via auditory and visual signals. The device also automatically records arrhythmia episodes and stores the data for later analysis. Its software interface facilitates the easy visualization and comparison of ECG signals, thereby improving diagnostic capabilities. Our metrological evaluations show a high correlation with standard ECG devices, confirming Cardiotrack's accuracy and effectiveness in ambulatory cardiac monitoring.*

Keywords- ECG, Holter, arrhythmia detection, portable device, Cardiac monitoring.

I. Introducción

Las arritmias cardiacas son enfermedades cardiovasculares causadas por alteraciones en la conducción o formación de estímulos eléctricos en el corazón [1]. Entre las arritmias, la fibrilación auricular (FA) afecta entre el 1% y el 2% de la población mundial, siendo la arritmia cardiaca más frecuente y una de las principales causas de accidentes cerebrovasculares, insuficiencia cardiaca y muerte súbita debido a su alta morbilidad [3]. Se estima que uno de cada cuatro individuos mayores de cuarenta años padece esta enfermedad, y para el 2030, se prevé que el 3% de la población mayor de veinte años estará afectada por ella [3].

En el Perú, alrededor de un millón de personas sufren de arritmia, con una incidencia mayor en hombres mayores de 40 años [4]. La fibrilación auricular es también la arritmia cardiaca más frecuente en la práctica clínica. Un estudio SAFIR reveló que la prevalencia de esta arritmia supera las 150,000 personas, y se espera que esta cifra se duplique para el 2030 [3]. Asimismo, el aumento de la incidencia de la fibrilación auricular tiene un gran impacto en la salud

pública debido a los altos costos asociados con medicamentos, hospitalización y rehabilitación [5].

El electrocardiograma (ECG) es una modalidad de diagnóstico no invasiva con un impacto clínico significativo en la investigación de enfermedades cardiovasculares [6], utilizado principalmente para confirmar o descartar cardiopatías coronarias y arritmias [7]. Los dispositivos Holter son frecuentemente utilizados en la monitorización ambulatoria del estado del corazón del paciente en su vida habitual durante algunos días y para hallar el origen exacto de sintomatología cardíaca [8]. En entrevistas realizadas a cardiólogos de tres centros de salud en Lima, Perú, se identificaron varias problemáticas en la monitorización cardíaca. Se mencionó que el análisis del ECG estándar requiere mucho tiempo y depende de la experiencia del médico, además de enfrentar desafíos por ruido ambiental, movimientos y discontinuidad en los cables. Adicionalmente, se señalaron problemas, como el tiempo limitado de monitoreo, precisión y sensibilidad

En los últimos años se vienen desarrollando prototipos low-cost que se enfocan en la comodidad, ofrecer una conectividad inalámbrica para la recolección, visualización y análisis de datos. En términos de comodidad, Huda et. al[9] propone un diseño compacto y reducido ubicado entre el esternón y los espacios intercostales. El prototipo de J. Chacón[9] propone un arnés de tela que contiene electrodos y electrónica. O diseños como el de Thongklang et. al[10] & Yang et. al[12] que se enfocan en electrodos incluidos en la ropa y/o extremidades utilizando la fijación elástica del tejido sobre estos para reducir los episodios de ruido durante el movimiento natural del paciente.

En términos de recolección, transmisión y procesamiento existen diversas propuestas [9,11,12-14] que muestran datos en dispositivos móviles, incluso [10,14] proponen analizar estos datos con servidores externos para identificar arritmias. A pesar de los grandes avances en prototipado, se pueden distinguir oportunidades de mejora en términos de comodidad[9-12], de seguridad de datos[10,14], de artefactos generados durante la transmisión[11-13],

capacidades de almacenamiento., dependencia de conectividad a internet o de un teléfono móvil para visualización y análisis de datos.

Por todo lo anterior planteamos el prototipo para monitoreo ambulatorio continuo Cardiotrack, un sistema que está conformado por una camiseta para la fijación de electrodos y case, un dispositivo wearable y una interfaz de visualización de datos.

Este prototipo novel busca ofrecer comodidad integrando en una camiseta un modo de fijación. Los electrodos pasan por debajo de la tela y se aseguran con franjas elásticas. La camiseta presenta 4 agujeros para recibir los cuatro conectores RA, RL, LA y LL. El case, que contiene la circuitería electrónica, se adhiere a la camiseta mediante tiras de velcro a través de ranuras incluidas en el diseño. La electrónica contenida es capaz de monitorear todo el tiempo al paciente, identificar arritmias de forma interna y alertar al usuario mediante una señal sonora y lumínica. Además, registra los episodios de arritmia de forma automática o cualquier evento de forma manual. Finalmente, ofrece la posibilidad de guardar los episodios en una memoria interna y transmitirlos a una interfaz de visualización intuitiva de usar en un dispositivo externo.

II. Metodología

A. Diseño electrónico

Para el desarrollo del prototipo haremos uso de la placa Xspace Bio, el cual cuenta con un microcontrolador ESP32 y dos integrados AD8232 con los cuales captamos las tres primeras derivadas y realizaremos la detección de arritmias. Por ello, como se ve en la figura 1, diseñamos una PCB que está conformada por una unidad de carga con el chip TP4056, que se encarga de cargar baterías de litio de manera segura, evitando sobrecargas y prolongando la vida útil de las baterías. Además, posee una unidad de almacenamiento externo por medio de un conector de memoria SD, para el almacenamiento y transmisión de los datos de ECG que se detectaron. Nuestra placa también incluye un regulador de voltaje AP7347DQ-33FDZW-7, que brinda un voltaje constante de 3.3V a todos los componentes que necesiten alimentación. Se diseñó una etapa de alertas, la cual integra un LED rojo y un buzzer, que se activan cuando se detecta una arritmia. Finalmente, nuestra PCB cuenta con conectores macho que permiten la conexión directa con la placa XSpace Bio.

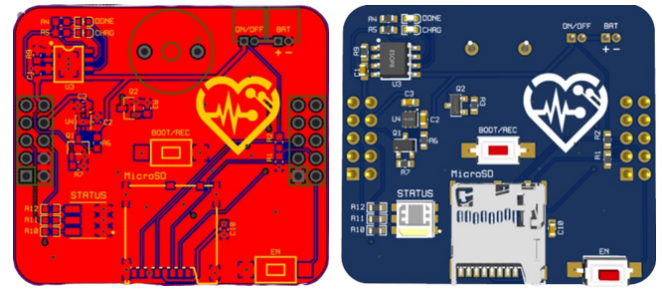


Figura 1. Ruteo de la PCB y vista en 3D.

B. Lógica de programación del microcontrolador

Para el desarrollo del código, seguimos el diagrama de flujo de la figura 2, en el que al encender el dispositivo, se comienza con la detección de las tres derivadas. En la siguiente etapa, durante el loop se realiza la detección de picos R por medio de la comparación de los datos actuales con un valor umbral y con datos anteriores. Con ello, procedemos a la medición de los intervalos R-R, con los que se calculan los latidos por minuto (BPM). Con esta información, se procede a la detección de arritmias por medio de condicionales de evaluación de variables bandera que tendrán valores de 1 y 0, siendo 1 arritmia detectada y 0 que no hay arritmia. Si se detecta una arritmia, el dispositivo activa el buzzer y un LED, prosiguiendo al almacenamiento de los datos en la memoria SD. Si no se detecta ninguna arritmia, los datos se almacenan de forma directa en la tarjeta SD para su posterior análisis. De esta manera, el diagrama de flujo permite que el dispositivo pueda monitorear continuamente el ritmo cardíaco y alertar sobre la presencia de eventos cardíacos anormales.

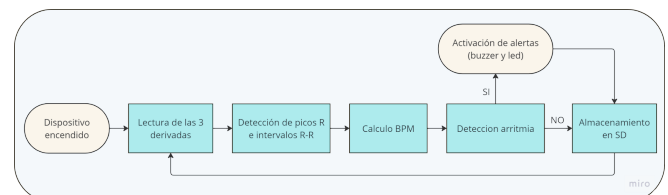


Figura 2. Diagrama de flujo del código.

C. Diseño e Impresión del case

El case del dispositivo está conformado por dos piezas: base y tapa. La base incluye áreas exclusivas destinadas al módulo XSpace Bio 1.0 ensamblado a la PCB de CardioTrack, batería de LiPo de 100 mAh y orificios para la conexión USB-C, botón de encendido, ensarte de bandas de velcro, y salida de 4 cables electrodos. La tapa del prototipo contiene 3 orificios: de izquierda a derecha(Figura 3) tenemos el agujero para salida lumínica, el agujero para el botón de grabación manual, un agujero para el acceso al

botón Enable del módulo XSpace Bio 1.0 y un agujero para el retiro de la memoria SD, además de un bajo relieve para el imago tipo y nombre del grupo. El fijado de las dos piezas aprovecha la fricción entre los rieles para asegurarse.

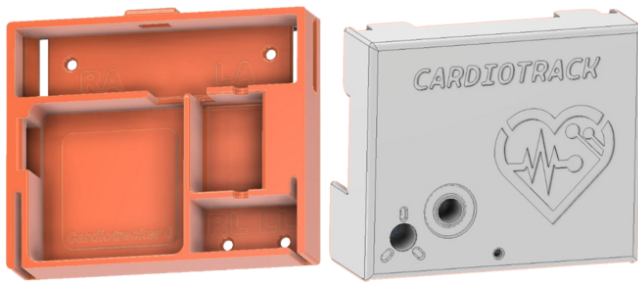


Figura 3. Base y tapa del case de Cardiotrack. Fuente: Elaboración propia.

D. Diseño de la interfaz de visualización

Para la muestra de la arritmia adquirida, se diseñó una interfaz con el software Visual Studio. Considerando la visualización de las 3 arritmias se implementaron 6 botones que muestran las primeras 3 derivaciones del ECG. Estos botones permiten la visualización de las señales así como la comparación entre las mismas en una escala de 10mm/mmV en el eje Y y una velocidad de 25mm/s en el eje X.

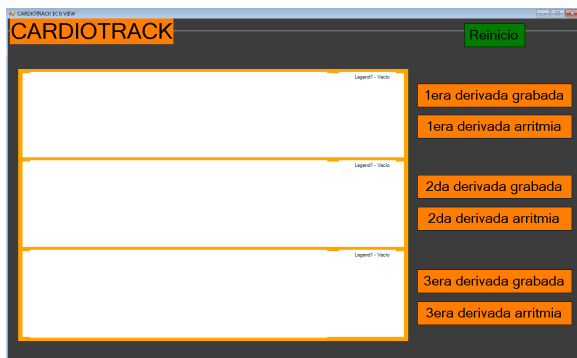


Figura 4. Interfaz Cardiotrack para muestra de señales EKG. Fuente: Elaboración propia.

E. Verificación de funcionalidad

Se implementaron técnicas de metrología para medir y analizar los parámetros clave de las señales ECG, como amplitud, duración de los picos R, y los intervalos RR. Se hicieron comparaciones cuantitativas y cualitativas entre los datos obtenidos del ESP32 y el SM400 Contec.

Estas técnicas se realizaron para asegurar que nuestras mediciones y sus respectivas gráficas sean precisas y consistentes. Ello basado en un modelo básico haciendo uso de repeticiones con valores fijos y en correlación con arritmias de alta incidencia y otras con no tanto número de pacientes.

III. Resultados

A. Implementación del prototipo

Una vez completadas las etapas previas, se colocó la PCB conectada al Xspace Bio dentro de la carcasa, la cual fue asegurada al polo mediante velcro. Este polo cuenta con bolsillos en donde reposan los latiguillos de los electrodos.



Figura 5. Implementación real de uso del dispositivo. Fuente: Elaboración propia.

B. Interfaz de usuario:

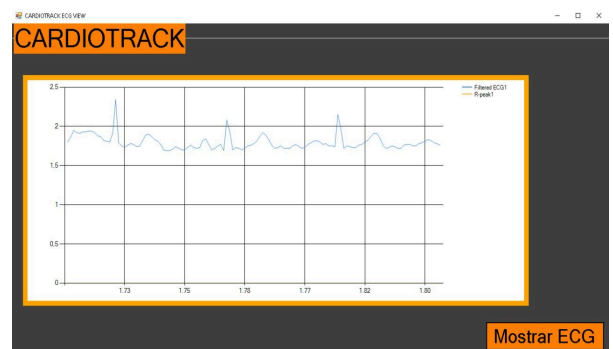


Figura 6. Interfaz Cardiotrack mostrando 1era derivada de EKG. Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz de usuario se puede visualizar la información recogida de nuestro dispositivo mediante el archivo en CSV que se guardó en la microSD, esta muestra la señal capturada y también tiene la opción de al volver a apretar el botón reiniciar el sistema.

C. Metrología

Las pruebas revelaron una alta correlación entre las señales registradas por nuestro sistema y las obtenidas del SM400 Contec. Las técnicas de metrología confirmaron que los valores de amplitud y duración de los picos R, así como los intervalos RR, presentaban

diferencias mínimas, dentro de los márgenes de error entre el rango de 2.87% - 15%.

Las imágenes de ploteo demostraron visualmente que las señales eran casi indistinguibles entre sí, validando así la capacidad de nuestro sistema para capturar y procesar señales ECG de manera efectiva.

PRUEBA 1		
Valor del equipo patrón	Valor del equipo bajo prueba	Error
30	28	2,0
60	56	4,0
100	95	5,0
120	110	10,0
140	131	9,0
180	167	13,0
200	185	15,0

PRUEBA 2		
Valor del equipo patrón	Valor del equipo bajo prueba	Error
30	26	4,0
60	55	7,0
100	93	11,0
120	109	11,0
140	130	10,0
180	171	9,0
200	188	12,0

PRUEBA 3		
Valor del equipo patrón	Valor del equipo bajo prueba	Error
30	27,4	2,6
60	55	5,0
100	92	8,0
120	109	11,0
140	129	11,0
180	163	17,0
200	182	18,0

PROMEDIO DE PRUEBAS		
Valor del equipo patrón	Valor promedio del equipo bajo las 03 pruebas	Error promedio bajo las 03 pruebas
30	27,13	2,87
60	55,33	4,67
100	93,33	6,67
120	109,33	10,67
140	131,67	10
180	167	13
200	185	15,0

Tabla 1. Informe de metrología de frecuencia cardiaca en 30,60, 100,120,140,180,200 bpm.

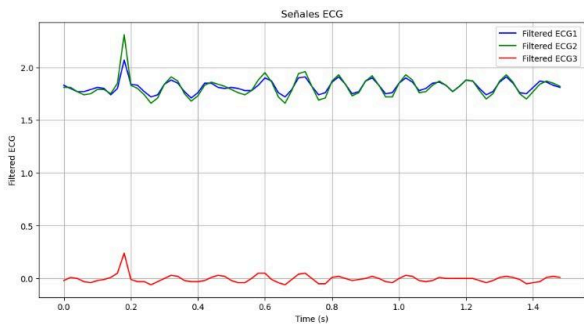


Figura 7. Fibrilación Auricular graficada en Python. Fuente: Elaboración propia.

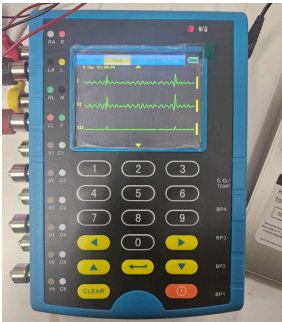


Figura 8. Fibrilación Auricular en el dispositivo Contec. Fuente: Elaboración propia.

Referencias

[1] E. C. Rojas Fernández, J. A. López Rodríguez, y J. V. Roldan Fernández, “Estudio transversal: Prevalencia de arritmias cardíacas supraventriculares y factores asociados en pacientes adultos atendidos en consulta cardiológica. Hospital José Carrasco Arteaga, Cuenca, 2018”, Rev. Médica Hosp. José Carrasco Arteaga, vol. 13, núm. 1, pp. 95–99, 2021.

[2] C. A. Del Águila-Hernández y F. Carreazo-González, “Características clínicas y epidemiológicas de la fibrilación auricular en pacientes del Hospital Regional de Ica,” presentado en SPM 2018 - Fibrilación auricular Hospital Regional de Ica.pdf, [Consultado: 6 de julio de 2019

[3] M. H. Guerrero, “UNIVERSIDAD RICARDO PALMA”, Edu.pe. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2881/LSERQUEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Asimismo%2C%20en%20un%20estudio%20SAFIR,este%20duplicar%C3%ADa%20para%20el%2020305>.

[4] “EsSalud advierte que varones mayores de 40 años son los que más padecen de arritmias cardíacas - Essalud”. Essalud. [En línea]. Disponible: <http://noticias.essalud.gob.pe/?inno-noticia=essalud-advierde-que-varones-mayores-de-40-anos-son-los-que-mas-padecen-de-arritmias-cardiacas#:~:text=Por%20su%20parte,%20el%20doctor>

[5] R. Soto-Becerra et al., “Guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con fibrilación auricular en el Seguro Social del Perú (EsSalud)”, An. Fac. Med. (Lima Peru : 1990), vol. 80, núm. 2, pp. 250–263, 2019.

[6] Y. Sattar y L. Chhabra, «Electrocardiogram», en StatPearls, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Accedido: 30 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549803/>

[7] Gobierno Regional de Cajamarca. Resolución Directoral. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4339664/R.D.N%C2%B0138-2023-HGJ-DE.pdf>.

[8] J. L. Palma Gámiz, A. Arribas Jiménez, J. R. González Juanatey, E. Marín Huerta, y E. Simarro Martín-Ambrosio, «Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en la monitorización ambulatoria del electrocardiograma y presión arterial», Rev. Esp. Cardiol., vol. 53, n.o 1, pp. 91-109, ene. 1999.

[9] N. Huda, S. Khan, R. Abid, S. B. Shuvo, M. M. Labib, y T. Hasan, «A Low-cost, Low-energy Wearable ECG System with Cloud-Based Arrhythmia Detection», IEEE Conference Publication | IEEE Xplore, 5 de junio de 2020. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9230619>

[10] J. A. Chacón Capera, «Propuesta sistema Holter ECG para detección de arritmias enfocado a IOT», Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD, 25 de abril de 2018. Disponible en: <https://repositorio.udistrital.edu.co/handle/11349/13513>

[11] A. Thongklang, P. Thongnawakun, T. Chanwimalueang, N. Rattanajaruskul, y D. Sueaseenak, “An ArduinoBLE based Digital Holter for Thai Ambulatory and Personal Healthcare”, 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech). IEEE, mar. 09, 2021. doi: 10.1109/lifetech52111.2021.9391964.

[12] C. M. Yang, S.-R. Liu, H.-W. Chang, J.-J. Huang, y C.-C. Chen, “Wearable 12-lead ECG monitoring system by the adjustable textile electrodes”, 2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). IEEE, ene. 06, 2024. doi: 10.1109/icce59016.2024.10444417.

[13] S.-Y. Lee, P.-W. Huang, M.-C. Liang, J.-H. Hong, y J.-Y. Chen, «Development of an Arrhythmia Monitoring System and Human Study», IEEE Journals &

Magazine | IEEE Xplore, 1 de noviembre de 2018. Disponible en:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8490696>

POR EVENTOS IMPLEMENTANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA Y
MÓVILES ANDROID” Febrero 2020.DOI:10.13140/RG.2.2.17426.07360

- [14] G. Bracho, R. Vilorio, A. Utría “DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA PORTÁTIL DE MONITOREO CARDIACO AMBULATORIO