

Dispositivo Electromédico - Simulador de ECG

Rodrigo A. Gonzales, Gloria E. Atencio, Janella K. Aponte, Hector D. Alegría, Angel E. Dianderas

Resumen - Este documento presenta el diseño y la prueba de un simulador de ECG (electrocardiograma) con carcasa de PLA, fabricada bajo bioimpresión 3D por su accesibilidad y adaptabilidad. Además, consta con un mini-interruptor KCD11 para el encendido y apagado; posee un DAC SparkFun I2C MCP4725 de 12 bits para la conversión digital a analógico de las señales ECG y, funciona a partir de un microcontrolador Arduino Mega2560 Rev3, todo ello alimentado por baterías recargables Li-on.

Palabras clave: Arritmia, Electrocardiograma (ECG), Simuladores de ECG, Taquicardia ventricular catecolaminérgica polimórfica (TVCP), Taquicardia ventricular bidireccional

I. INTRODUCCIÓN

Los simuladores de electrocardiograma (ECG), son dispositivos capaces de generar de manera artificial señales eléctricas conocidas, confiables y repetibles que representan la actividad eléctrica cardíaca. Están diseñados para probar y validar el correcto funcionamiento de los monitores de pacientes, mediante la simulación de una gama completa de ritmos cardíacos y una amplia variedad de condiciones de electrocardiograma [1]. La importancia de las formas de onda del electrocardiograma radica en que representa una herramienta clínica muy utilizada por los cardiólogos en las evaluaciones médicas de rutina para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, como son las arritmias, que se define como un latido irregular del corazón, que ocurre cuando los impulsos eléctricos que coordinan los latidos del corazón no funcionan adecuadamente. La señalización defectuosa hace que el corazón lata demasiado rápido (taquicardia), demasiado lento (bradicardia) o de forma irregular [2][3]. Se considera arritmia a la alteración del ritmo cardíaco en frecuencia y/o en forma de la onda.

Hasta ahora, lamentablemente, los simuladores de ECG no cumplen todas las características deseables de un simulador universal que pueda simular todas las arritmias existentes o arritmias específicas de baja incidencia, debido a que muestran deficiencias en amplitudes, formas de onda e intervalos de tiempo de las señales producidas. Entre las arritmias que más cantidad de simuladores son capaces de emular están la fibrilación auricular, aleteo auricular, taquicardia auricular, contracciones ventriculares prematuras, etc [4-11]. En este sentido se plantea como problemática la “Ausencia de simuladores de ECG comerciales que emulen arritmias específicas, usadas para la prognosis de patologías”. Con el fin de solucionar de una manera limitante esta deficiencia y para el alcance del curso, en este trabajo presentaremos el diseño y la prueba de un simulador de ECG versátil, de bajo costo y sintonizable para generar formas de onda de

electrocardiograma (ECG) de 5 arritmias de las cuales 4 son arritmias que se encuentran frecuentemente en los simuladores, las cuales son fibrilación auricular, aleteo auricular, contracción ventricular prematura y ritmo trigeminal. Para la elección de la quinta arritmia se realizó una investigación de las arritmias que no se encuentran en los simuladores investigados, de las cuales se eligió la taquicardia ventricular catecolaminérgica polimórfica debido a los siguientes motivos: Prevalencia de 1:10000 [12], si no se trata, es muy letal, ya que aproximadamente el 30% de los individuos afectados sufren al menos un paro cardíaco y hasta el 80% tienen uno o más episodios sincopales. La muerte súbita puede ser la primera manifestación de la enfermedad [13].

Es importante saber que el diagnóstico clínico se basa en la documentación de arritmias ventriculares polimórficas que son inducidas por estímulos adrenérgicos, como el ejercicio o las emociones.

Se ha observado que el ritmo sinusal se acelera con el ejercicio y que más allá de una frecuencia cardíaca de 120-130 latidos por minuto, aparecen latidos prematuros ventriculares que al principio son aislados y monomórficos y luego aumentan con la frecuencia cardíaca a cuádrigeminismo, trigeminismo y bigeminismo. Posteriormente, los latidos prematuros ventriculares se vuelven polimórficos y, finalmente, forman ráfagas de taquicardia ventricular polimórfica no sostenida.[14]

El dispositivo está diseñado específicamente para la simulación de las 5 arritmias anteriormente mencionadas. Se basa en conectar el simulador a la fuente de poder, el cargador transmitirá la corriente y esta será almacenada en la batería, el sensor de batería permitirá controlar el tiempo posible de uso. Prendemos el equipo, vemos el menú y seleccionamos el tipo de arritmia a simular, elegimos los parámetros convenientes y empezamos la simulación. El dispositivo cuenta con una tabla de valores internos a la cuál accedemos en la memoria ROM, esto por medio del microprocesador. La señal será emitida como un valor binario la cuál será convertida con un DAC (Digital Analogue Converter) y amplificada posteriormente por un circuito amplificador, se subdividen la señal en el número de salidas que se tendrán (electrodos) y posteriormente hay una filtración de ruido. Finalmente, se da la etapa de la atenuación, donde con un divisor de tensión y otro resistivo, se acondiciona la señal y se la devuelve al tamaño inicial con la que fue capturada, obteniendo la señal continua del ECG analógica.

II. METODOLOGÍA

A. Prototipado

Nuestro prototipo consiste en un circuito PCB, un circuito externo, un microcontrolador, una carcasa compuesta de 4 partes (Parte frontal, trasera, soportes para los botones, parante para la carcasa) además de esto tenemos los componentes por separado, 4 botones, 2 conectores banana, una pantalla LCD TFT, un switch de on/off.

B. Diagrama de bloques de la solución

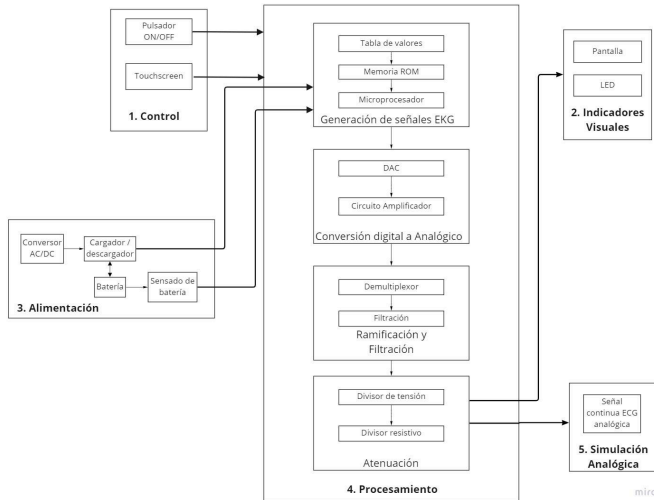


Figura 1. Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques se muestran los bloques: 1.Control (se encarga de controlar las acciones del simulador) 2.Indicadores visuales (mostrarán cómo responde el dispositivo a los estímulos externos que se regulan en el bloque control), 3.Alimentación (sistema que en conjunto se encargará de alimentar al dispositivo con el fin de que pueda funcionar con normalidad), 4.Procesamiento (Es el bloque más denso ya que en este es donde van a ser procesadas todas las señales analógicas para volverse digitales y filtrarse) y 5.Simulación analógica (la señal que se enviará a la pantalla con las frecuencias de interés a mostrar).

C. Esquema de funciones

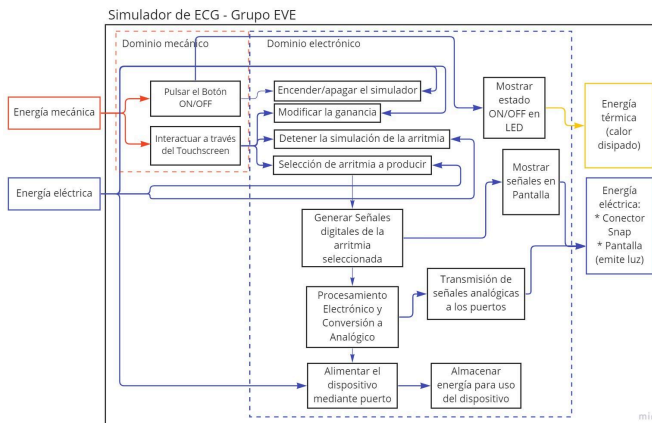


Figura 2. Esquema de Funciones

En el esquema de funciones se muestran 2 regiones las cuales corresponden al dominio mecánico y otro al dominio eléctrico, también tenemos dos flujos de energía que están compuestos por energía mecánica y eléctrica.

D. Matriz morfológica






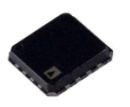









Componentes	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Switch ON / OFF	 Boton switch FZ1713-H7	 Mini-interruptor KCD11	 Edm Interruptor Luminoso Rojo Empotrado 4 Patillas 45035
DAC	 AD9742ARUZRL7	 SparkFun I2C DAC - MCP4725	 AD5593RBCPZ-RL7
Material carcasa	 PLA	 PETG	 ABS
Microcontrolador	 ESP32-U4WDH	 Arduino Mega2560 Rev3	 SparkFun Qwiic Pro Micro - USB-C (ATmega32U4)
Batería	 Pilas alcalinas Radioshack AAA x6	 Pila Duracell 9V	 Batería Recargable Li-ion 3.7V 1000ma x2

Figura 3. Matriz Morfológica

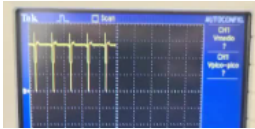
De las 3 opciones que tenemos en la matriz morfológica se eligió la opción 3 como la solución óptima basándonos en criterios técnicos y económicos. Donde se comparan las 3 propuestas en los criterios técnicos por su funcionalidad, facilidad de ensamblaje, consumo de energía óptimo, seguridad, peso/tamaño (portabilidad), facilidad de manejo, facilidad de programación y en los criterios económicos por su costo de fabricación, costo de mantenimiento y disponibilidad en el mercado.

III. RESULTADOS

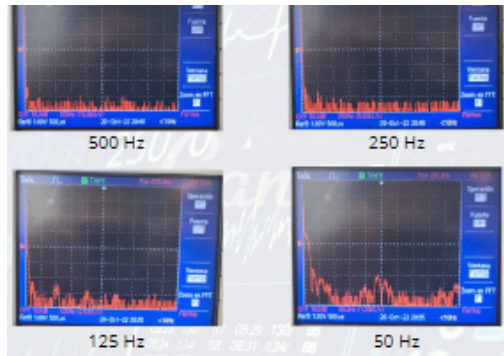
Los circuitos del simulador de ECG diseñados se montaron en una placa de circuito impreso y se alojaron en una caja de plástico de color negro, obtenido por impresion 3D, como se muestra en la siguiente figura.



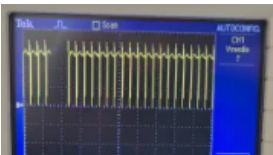
La carcasa cumple con los requisitos de portabilidad, precio y ergonomía. A continuación, se muestran las arritmias que se logró simular en un osciloscopio y el análisis a diferentes frecuencias las cuales son 50,125,250 y 500 Hz. Ritmo sinusal normal (60 bpm):



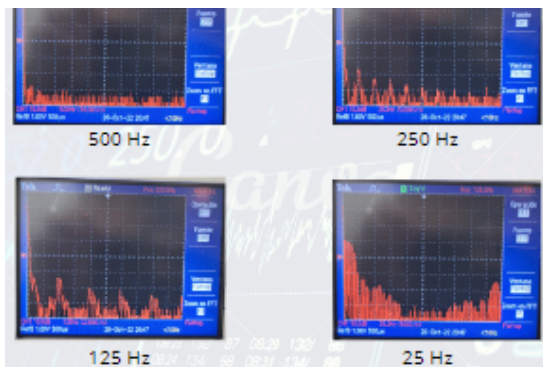
Análisis en frecuencia- FFT(Ritmo sinusal normal)



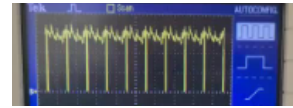
Taquicardia sinusal (150 bpm)



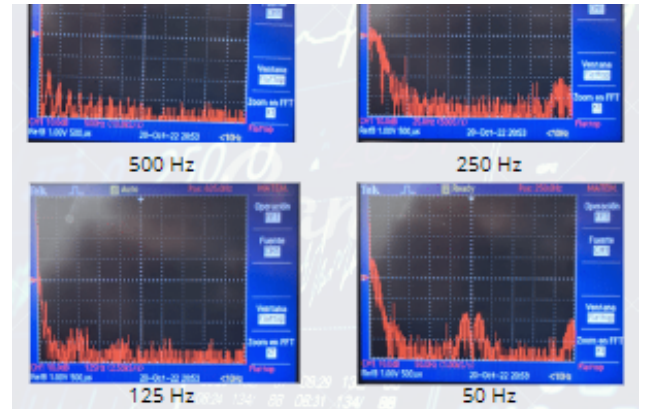
Análisis en frecuencia- FFT (Taquicardia sinusal)



Aleteo auricular



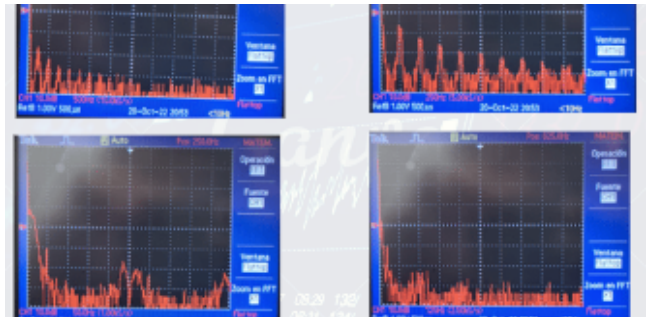
Análisis en frecuencia- FFT(Aleteo auricular)



Fibrilación auricular (150 bpm)



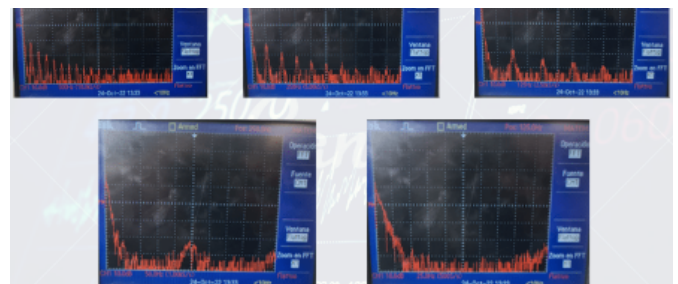
Análisis en frecuencia- FFT(Fibrilación auricular)



Bigeminismo



Análisis en frecuencia- FFT(Aleteo auricular)



IV. DISCUSIÓN

El prototipo 3 fue seleccionado según los criterios técnicos y económicos. Durante la elaboración no se consiguieron exactamente los componentes, en el caso de ABS se optó por PLA ya que era el disponible en los laboratorios de veo donde se llevó a cabo la impresión. Otro componente que se vió en la necesidad de cambiar fue la fuente de alimentación, se compró adaptador de batería pero este por alguna razón se descargaba rápido, por lo que sospechamos un corto circuito en el sistema eléctrico [15]. Se cambió la fuente de alimentación por una directa de tipo usb que al final no pudo ser implementada por falta de tiempo. Las simulaciones de las arritmias se logró momentáneamente de manera óptima en los osciloscopios que se encuentran en el V; sin embargo, la amplitud de estas ondas no era la esperada, esto se debió a las limitaciones propias del osciloscopio el cuál trabajaba con cuadrados los cuales representan un voltaje, cada cuadrado de 1cm pueden representar 2V en nuestro caso trabajamos en la escala de milivoltios debido a la naturaleza de la señal pero aún así estábamos limitados ya que la escala no era la adecuada [16]. Fuera de esos detalles se logró simular las 5 tipos de arritmias a las diferentes frecuencias que se propusieron. Respecto a la carcasa el diseño en inventor fue clave para los planos de diseño, vista explosiva y escalado al momento de la impresión 3D se hicieron 3 prototipos de los cuales se modificaron los parámetros de las piezas y el soporte con el fin de evitar el error por la reducción en la impresión el cuál suele ser de 0.2 a 0.3mm [17]. Al momento de ensamblar las piezas con la parte electrónica, todo cuadró como era esperado, con los botones en la parte frontal, apoyados por un soporte el cuál le brinda solidez al ser presionados y que puedan funcionar correctamente, la pantalla se sostiene por tornillos al igual que el circuito PCB, se espera que esto no afecte su funcionamiento dado el grosor y el espacio que ocupan dichos elementos.

V. CONCLUSIONES

Simular una arritmia es sumamente necesario debido a la importancia de obtener una óptima calibración de los electrocardiógrafos; la cantidad de arritmias que pueden simular los dispositivos convencionales es bastante amplia teniendo en algunos casos de hasta 200 arritmias; sin embargo, con la aparición de nuevas enfermedades y otros factores, se han producido nuevas arritmias las cuales no han podido ser calibradas en los electrocardiógrafos lo cuál es un serio problema teniendo en cuenta que una de esas enfermedades puede ser el COVID-19 y como ya hemos visto, ha cobrado millones de víctimas. La impresión 3D es una herramienta sumamente útil al momento de prototipar ya que te permite hacer diversas modificaciones durante la marcha y así abaratar costos. No siempre se pueden conseguir los componentes eléctricos adecuados por lo que hay que saber adaptarse durante la marcha. La utilización de un circuito PCB es bastante útil ya que nos permite reducir mucho el cableado y espacio de un circuito. Cada pantalla TFT tiene su configuración de pines por lo que

habrá que considerar eso al momento de la programación.

VI. REFERENCIAS

- [1] Mantilla-Gaviria, Ivan. Análisis tiempo-frecuencia mediante la transformada de Wigner Ville de la actividad auricular para la identificación de arritmias auriculares en el ECG superficial, 2006.
- [2] "Arritmia cardíaca". Mayo Clinic.
<https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/heart-arrhythmia/symptoms-causes/svc-20350668> (accedido el 17 de agosto de 2022).
- [3] M. A. Quiroz-Juárez, J. A. Rosales-Juárez, O. Jiménez-Ramírez, R. Vázquez-Medina, y J. L. Aragón, "ECG patient simulator based on mathematical models", *Sensors (Basel)*, vol. 22, núm. 15, p. 5714, 2022.
- [4] BC Biomedical. MULTI-PARAMETER PATIENT SIMULATOR PS-2105 USER MANUAL, 2013.
- [5] "MiniSim 1000 Patient Simulator". Netech Biomedical.
<https://www.netechbiomedical.com/minisim-1000-advanced> (accedido el 21 de agosto de 2022).
- [6] Gossen Metrawatt. SECULIFE PS200 MULTI-PARAMETER PATIENT SIMULATOR
- [7] "Ritmie Module. Simulador de Arritmias para TechPatient". HE Instruments.
<https://www.heinstruments.com/ritmic-module-simulador-de-arritmias.html> (accedido el 20 de agosto de 2022).
- [8] "PS410 Cardiac and Arrhythmia Simulator". Biomedical Testing Equipment Solutions | Fluke Biomedical.
<https://www.flukebiomedical.com/products/biomedical-test-equipment/patient-monitor-simulators/ps410-multiparameter-arrhythmia-cardiac-simulator> (accedido el 19 de agosto de 2022).
- [9] "ST-16. Simulador/Calibrador". AB Medica Group.
<https://abmedicagroup.com/producto/st-16-simuladorcalibrador/> (accedido el 20 de agosto de 2022).
- [10] "Nasco Interactive ECG Simulator Box". MedicalDeviceDepot.
<https://www.medicaldevicedepot.com/Nasco-Interactive-ECG-Simulator-Box-p/101-102.htm> (accedido el 20 de agosto de 2022).
- [11] Fluke Biomedical. ProSim™ 8 Vital Signs Simulator Users Manual, 2011.
- [12] Catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia. (s. f.). Orphanet.
https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/Disease_Search.php?lng=ES&data_id=3525&MISSING%20CONTENT=Catecholaminergic-polymorphic-ventricular-tachycardia&search=Disease_Search_Simple&title=Catecholaminergic%20polymorphic%20ventricular%20tachycardia.
- [13] Katritsis, D. G., Gersh, B. J. y Camm, A. J. (2014). Catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia. Oxford University Press.
https://doi.org/10.1093/med/9780199685288.003.1431_update_002
- [14] Imberti, J. F., Underwood, K., Mazzanti, A. y Priori, S. G. (2016). Clinical Challenges in Catecholaminergic Polymorphic Ventricular Tachycardia. *Heart, Lung and Circulation*, 25(8), 777–783.
<https://doi.org/10.1016/j.hlc.2016.01.012>
- [15] Autofram, P. (n.d.). 10 motivos por los que se descarga la batería. Autofram.cl. Retrieved December 6, 2022, from <https://autofram.cl/10-motivos-por-los-que-se-descarga-la-bateria/>
- [16] EL OSCILOSCOPIO. (n.d.). Ugr.Es. Retrieved December 6, 2022, from <https://www.ugr.es/~juanki/osciloscopio.htm>
- [17] El grosor mínimo de pared para la impresión 3D. (n.d.). Formlabs. Retrieved December 6, 2022, from <https://formlabs.com/latam/blog/grosor-minimo-pared-impresion-3d/>