



PROTOTIPO DE UN MONITOR CARDIACO IMPLEMENTANDO IOT

Desarrollo de un Prototipo de monitor cardiaco implementando IOT

Prototype of a heart monitor implementing IOT

REBECA VILORIA, GIOVANNI BRACHO
Universidad Popular del Cesar, Colombia

KEYWORDS

Biomedical
IOT
Cardiac activity
WiFi
Web Server
Prototype
Heart monitor

ABSTRACT

The objective of the study is to develop an ambulatory cardiac monitoring prototype implementing IoT. The present work shows the development of a device capable of studying heart rate using IoT technology. The device developed has features such as amplifying, filtering and conditioning the cardiac signal thanks to its architecture and the three electrodes connected to specific points on the human body. When acquiring this data, it is sent through a programmable development module which connects to the Internet via WiFi and sends the information obtained to a web server in the cloud.

PALABRAS CLAVE

Biomédico
IOT
Actividad cardiaca
WiFi
Servidor Web
Prototipo
Monitor cardiaco

RESUMEN

El objetivo del estudio consiste en desarrollar un prototipo de monitoreo cardiaco ambulatorio implementando IoT. En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un dispositivo capaz de estudiar la frecuencia cardiaca utilizando tecnología IoT. El dispositivo desarrollado cuenta con características como amplificar, filtrar y acondicionar la señal cardiaca gracias a su arquitectura y los tres electrodos conectados en puntos específicos del cuerpo humano. Al adquirir estos datos, se realiza el envío a través de un módulo de desarrollo programable el cual se conecta a internet vía WiFi y envía la información obtenida a un servidor web en la nube.

Recibido: 28/ 05 / 2022

Aceptado: 30/ 07 / 2022

1. Introducción

El electrocardiograma es una prueba de bajo costo, rápida, simple y de fácil acceso, esta prueba proporciona información a la condición fisiológica y estructural del corazón, brindando información valiosa de diagnósticos para condiciones sistémicas. El electrocardiograma es una herramienta presente en la medicina durante décadas, que ha sido utilizada por cardiólogos y no cardiólogos en el transcurso del tiempo (Siontis *et al.*, 2021).

Con la realización de un electrocardiograma, es posible el reconocimiento temprano de manifestaciones cardiovasculares y condiciones potencialmente mortales, esta herramienta es utilizada en los centros médicos para la evaluación inicial de los pacientes. La evaluación del ritmo cardíaco durante largos períodos de tiempo es útil para la detección de arritmias. El rendimiento diagnóstico aumenta entre un 15 % y un 39 % con un registro de 24 horas (Bansal & Joshi, 2018). El electrocardiograma en los últimos años se ha convertido en un servicio de fácil acceso para todos, ya que permite determinar el funcionamiento del corazón, con ayuda de estos dispositivos los médicos y los pacientes pueden observar continuamente la frecuencia cardíaca, obtener datos importantes y tomar las medidas adecuadas para evitar daños graves (Rahaman *et al.*, 2019).

La evolución en la tecnología de dispositivos cardiacos ha hecho posible el registro de los impulsos eléctricos del corazón sin presencia de los equipos de electrocardiografía convencionales. Hoy en día existen varias de estas tecnologías, que son portátiles, de tamaño reducido y que pueden ser usados para monitoreo cardiaco durante días o semanas, registrando los impulsos cardíacos durante largos períodos de tiempo. Gracias a este avance, se abre la posibilidad de mejorar la utilidad de esta herramienta en hospitales, dentro de los hogares y en centros de entrenamiento. Gracias a la conexión a internet, es posible transmitir las formas de onda obtenidas para el análisis por parte de personal experto, además de que se cuenta con los informes computarizados ya disponibles (Bansal & Joshi, 2018).

En la actualidad, es cada vez más común encontrar sensores electrónicos usados para la lectura variables en el hogar, oficinas, hospitales, industrias, laboratorios, etc. La información leída por los sensores se transmite a Internet, lo cual suministra una conexión digital de objetos a la nube, es decir se conecta el mundo físico con el digital por medio de computadoras y plataformas web capaces de almacenar y procesar la información recolectada. Esta conexión se conoce como Internet de las Cosas (IoT), con la cual es posible realizar el monitoreo de variables y automatización de procesos de forma rápida y segura, permitiendo conectar una variedad de dispositivos a Internet, logrando una comunicación con las personas y objetos (Luna *et al.*, 2019). Una aplicación de la IoT es en el campo de la salud, con el desarrollo de dispositivos de monitoreo cardíaco, el cual ha crecido en los últimos años, estos dispositivos tienen la ventaja de permitir una mayor movilidad, además de ser útiles en la detección temprana de enfermedades cardiovasculares en comparación con los monitores Holter tradicionales (Li *et al.*, 2020). Es aquí donde se destaca el Internet de las cosas (IoT), el cual tiene el potencial de mejorar las aplicaciones médicas en los dispositivos de electrocardiografía. Los dispositivos IoT, se basan en enfoques basados en datos, que almacenan los datos a una nube donde se pueden agregar y extraer. Internet de las cosas (IoT) es ahora un estándar tecnológico confiable y un campo muy investigado. Los sensores se utilizan en casi todas partes en la actualidad, desde productos cotidianos hasta sistemas de monitoreo industrial.

Los sistemas basados en el internet de las cosas (IoT) permiten monitorear las enfermedades cardiovasculares. Estos sistemas han cobrado importancia y son cada vez más comunes, gracias a la evolución de la información y la tecnología. Estos dispositivos ofrecen la posibilidad de recopilar información en tiempo real y así tener una respuesta oportuna del personal médico. La tecnología del internet de las cosas (IoT), ha sido de gran ayuda en el monitoreo de la salud, ofreciendo una gran ventaja en el desarrollo de tratamientos médicos modernos. Gracias a la conectividad constante a Internet, los dispositivos son cada vez más eficientes y potentes. Los dispositivos de monitoreo de salud basados en IoT están constantemente conectados a Internet, así los pacientes pueden ser monitoreados de forma remota. Sin embargo, la incorporación de IoT en los sistemas de monitoreo de la salud es una tarea desafiante, dado que IoT genera una cantidad masiva de datos, lo que requiere sistemas especializados de almacenamiento de datos y Big data para una gestión adecuada (Rahaman *et al.*, 2019).

Los equipos de monitoreo cardiaco disponibles realizan procedimientos de forma limitada a causa de que los datos son guardados automáticamente en un dispositivo por cierto periodo de tiempo, una vez finalizado el estudio, el médico encargado examinar los datos, lo cual no permite una reacción rápida y oportuna ante un diagnóstico por alguna anomalía cardiaca no explicita. Los exámenes cardiacos realizados con Holter son susceptibles a errores, dado que, el análisis automático sobrevalora un porcentaje de eventos por detección de irregularidades revelando alteraciones de las que realmente presenta el paciente (Pava Molano, 2006).

Esta investigación tiene como propósito el hacer uso de los avances tecnológicos e implementarlo en la medicina, con el desarrollo de un prototipo capaz de usar tecnología IoT. Con este proyecto se busca monitorear la actividad cardiaca de manera continua y registrar la información obtenida en internet para poder manipularla desde cualquier parte del mundo. El dispositivo será desarrollado para el monitoreo de personas que presenten síntomas anómalos relacionados al corazón y necesiten de un seguimiento continuo. También será útil para pacientes que, cuentan con un diagnóstico de enfermedades cardiovasculares y requiere un examen periódico. Las lecturas que realiza el dispositivo son en tiempo real y puede ser usado cuando el paciente desarrolla sus

actividades cotidianas. El prototipo tiene las características de ser un dispositivo biomédico capaz de extraer, amplificar y filtrar la actividad eléctrica del corazón y de alta exactitud por su eliminación de ruido, utilizando tecnología inalámbrica de telecomunicación, usando conexión y transmisión de datos mediante internet de las cosas (IoT), diferenciándose a los monitores Holter existentes en el mercado (Chiu, 2017).

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Desarrollar el prototipo de un sistema de monitoreo cardiaco ambulatorio implementando IoT.

2.2. Objetivos específicos

Diseñar y construir el prototipo de un sistema portátil de adquisición de datos de señales cardiacas con tecnologías IoT que permita la toma de datos y el envío de estos a través de internet.

Desarrollar un firmware que permita controlar el sistema de adquisición de las señales cardiacas, el enlace y transmisión de datos vía internet.

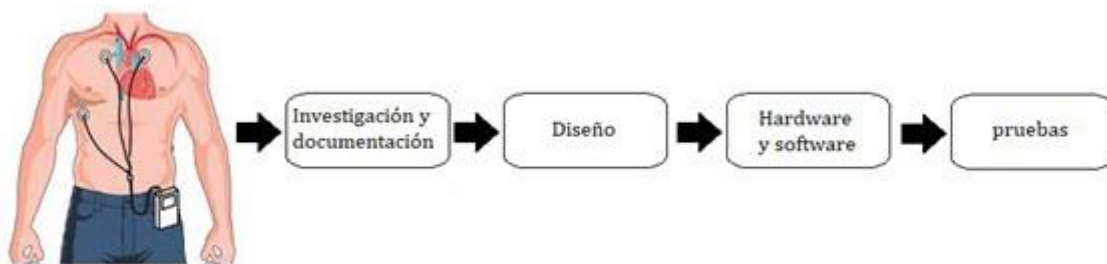
Desarrollar un software con interfaz gráfica amigable al usuario (personal médico) capaz de adquirir, gestionar y procesar los datos del monitoreo cardiaco procedentes del dispositivo y presentarlos al personal médico especializado para su análisis.

Validar un protocolo de pruebas para el sistema, elaborar un instructivo de operación y manual de usuario.

3. Metodología

La metodología usada para el desarrollo del proyecto se conforma por cuatro fases, las cuales se siguieron de manera organizada permitiendo el desarrollo progresivo del proyecto y el cumplimiento de los objetivos planteados como se observa en la figura 1. A continuación se describirán cada una de estas fases:

Figura 1. Metodología propuesta



Fuente: Elaboración propia.

3.1. Investigación y documentación

En esta fase se realizó una investigación acerca de los temas referentes del proyecto, en la cual se realizaron consultas en libros, revistas, fotografías, tablas y demás documentos que aportaran un marco referencial detallado sobre el sistema eléctrico del corazón y tecnología IoT, para tener las bases necesarias y realizar el diseño del prototipo.

En el desarrollo de la documentación realizada se pudo identificar algunos de los trabajos relacionados al monitoreo cardiaco. Se encontraron múltiples trabajos referentes al tema en mención, como es el trabajo relacionado con el desarrollo un sistema de monitoreo de electrocardiograma de siete derivaciones habilitado para WIFI, para este sistema de transmisión inalámbrica se utiliza Wi-Fi para transmitir los datos de ECG al centro de monitoreo, este es controlado por una unidad de monitoreo de ECG de siete derivaciones (Zhang *et al.*, 2018). Un trabajo similar se realizó en 2018, en el trabajo titulado An Ultra Low Power Personalizable Wrist Worn ECG Monitor Integrated With IoT Infrastructure, donde desarrollaron un dispositivo implementando IoT, el cual permite tener control del corazón y un monitoreo de la frecuencia cardiaca hasta por un mes. El dispositivo es un equipo portátil de muñera y se caracteriza por ser de ultra bajo consumo (Beach *et al.*, 2018). Como resultado de esta fase se obtuvo el listado de antecedentes relacionados al proyecto y el marco conceptual.

3.2. Diseño

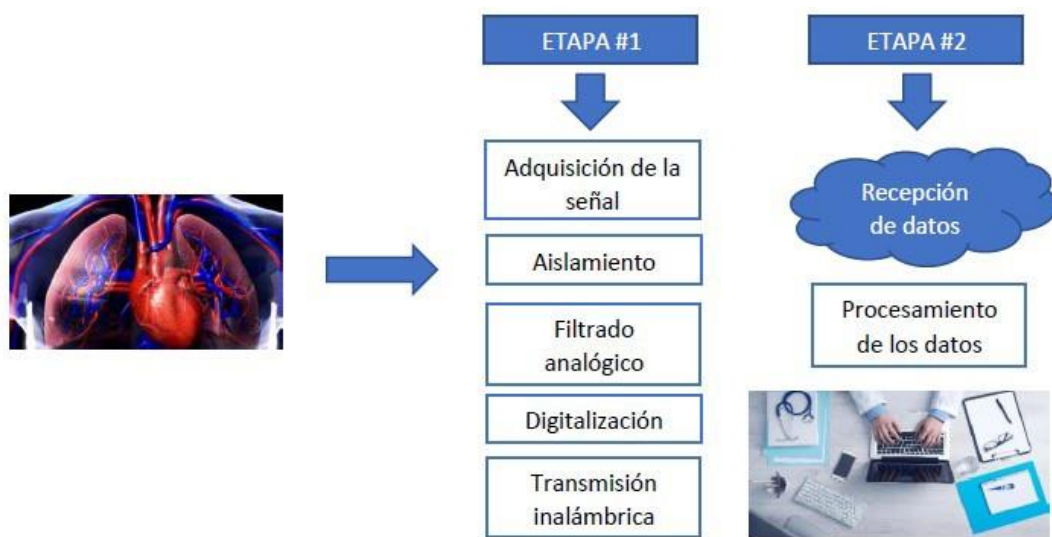
Se realizo una exploración y consulta acerca de los módulos y dispositivos existentes en el mercado, que cumplieran con las características necesarias para adquirir las señales cardiacas. Para lo cual se requería utilizar componentes de bajo consumo y tamaño reducido, con el fin de obtener un prototipo de tamaño y peso reducido,

cómodo para realizar el examen. Después de realizar este análisis, se elaboró un diagrama de bloques como se observa en la figura 2, el cual muestra las etapas que conforman el dispositivo final; este consta de dos etapas que operaran conjuntamente para obtener los resultados esperados.

La primera etapa está integrada por una serie de pasos para la adquisición y el envío de las señales bioeléctricas, en la cual las señales del corazón son adquiridas por medio de 3 electrodos conectados a la piel. Para adquirir y procesar la señal cardiaca, se determinó utilizar un módulo para el procesamiento de esta señal, este módulo tiene la función de filtrar los datos obtenidos. Posteriormente se realiza la digitalización de la señal y la transmisión inalámbrica de los datos, para lo cual el dispositivo debe estar conectado a una red Wi-Fi.

La segunda etapa está conformada por los pasos de recepción y procesamiento de los datos. En esta etapa se realiza el desarrollo del software de visualización, el cual es utilizado por el personal médico para consultar el examen de los pacientes. Como resultado de esta fase se realizo el diseño del prototipo el cual permitiera el cumplimiento de los objetivos planteados, además se identificaron los alcances y limites del proyecto, así como la selección de los módulos y demás dispositivos a utilizar.

Figura 2. Diagrama funcional del sistema

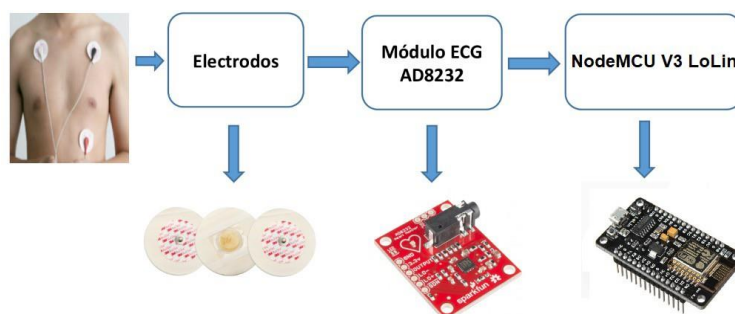


Fuente: Elaboración propia.

3.3. Hardware y software

A partir de los componentes identificados en la fase 1 y con el fin de garantizar la portabilidad del prototipo, se seleccionaron dispositivos eléctricos de bajo consumo de potencia, lo más pequeños posibles y especializados, con el fin de tratar de forma óptima la señal y finalmente que pudiera ser visualizada para su análisis e interpretación. En la figura 3 se puede observar los principales dispositivos que conforman el hardware.

Figura 3. Dispositivos del Hardware



Fuente: Elaboración Propia.

Para adquirir la señal cardiaca del paciente, se utilizaron electrodos universales de ECG, dado que estos electrodos tienen las características de ser de fácil acceso, además de manejar una relación cantidad precio que

lo hacen accesible para las pruebas realizadas, estos electrodos cuentan con una mejora de conducción por tener hidrogel en ellos.

Los conectores de los electrodos vienen diferenciados por tres colores y tres letras los cuales ayudan a identificar su ubicación. A continuación se observa la nomenclatura manejada por los electrodos:

R (Right): Su color es rojo y va ubicado en la parte superior derecha del pecho.

L (Left): Su color es amarillo y va ubicado en la parte superior izquierda del pecho.

F (Foot): Su color es verde y va ubicado en la parte inferior izquierda.

El hardware del proyecto está conformado por un módulo de control e instrumentación, el cual es el encargado de realizar todos los procesos y el flujo de la información adquirida, es responsable de la toma de decisiones de todos los procesos del prototipo. Este módulo está integrado por una tarjeta NodeMCU V3 y el módulo AD8232. El módulo de instrumentación y control es el encargado de centralizar los procesos y el flujo de información, así como la toma de decisiones de todos los procesos en el prototipo. Tiene como eje central la tarjeta NodeMCU V3, quien recibe la señal de entrada proveniente del módulo de adquisición, la procesa y toma las decisiones pre-condicionadas en el código de programación (firmware). Esta tarjeta también es la encargada de comunicar el prototipo desarrollado con la interfaz de usuario.

Para la lectura de señales cardiacas se utilizó el módulo AD8232, el cual está compuesto por un amplificador de instrumentación que permite graficar las señales eléctricas del corazón, para luego analizar los datos. El módulo AD8232 está conformado por un amplificador operacional que permite crear un filtro de paso bajo de tres polos para eliminar el ruido adicional. Además para mejorar el rechazo en modo común de las frecuencias de línea en el sistema y otras interferencias no deseadas. Después de un cambio brusco de la señal que hace girar el amplificador (por ejemplo una condición de desconexión), el módulo AD8232 se ajusta automáticamente a un corte de filtro más alto, esta característica permite que el AD8232 se recupere rápidamente y, por lo tanto, tome medidas válidas poco después de conectar los electrodos al sujeto. El módulo AD8232, es un módulo de acondicionamiento de señales para ECG y está diseñado para adquirir, filtrar y amplificar pequeñas señales biopotenciales en presencia de condiciones ruidosas, tales como las creadas por el movimiento y/o la colocación remota de electrodos. El módulo permite que un conversor análogo digital con un microcontrolador incorporado adquiera la señal de salida fácilmente. El AD8232 puede implementar un filtro de pasa alto de dos polos que elimina los ruidos de movimiento y el potencial de half-cell del electrodo. Este filtro está acoplado con la arquitectura de instrumentación del amplificador para permitir tanto la ganancia grande como el filtrado de paso alto en una sola etapa, ahorrando así espacio y costo (*Analog Device, 2013*).

La tarjeta NodeMCU V3, fue seleccionada porque cuenta con conectividad Wi-Fi, además de tener un consumo ínfimo y ser un dispositivo de precio bajo. Otra ventaja que ofrece este componente es que se puede programar este microcontrolador mediante el IDE de Arduino (Carricondo Monter, 2017). La tarjeta NodeMCU V3, funciona como el cerebro del Hardware, es el encargado de procesos como el control, de la adquisición de datos y el envío de los datos a través de conexión Wi-Fi, estos datos son enviados a internet a un servidor web de base de datos. El software empleado para llevar a cabo la programación de la tarjeta NodeMCU V3 es Arduino en su versión 1.8.16 el cual tiene un IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), es de código abierto y facilita la escritura de código y su carga en las placas de desarrollo. Para el envío de los datos desde La Tarjeta NodeMCU V3 al Servidor Web, se escogió el protocolo HTTP para realizar la transmisión de la información adquirida.

El firmware desarrollado, consiste en capturar 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 wi-fi hacia el servidor web. La tarjeta NodeMCU V3 tiene el control directo del hardware permitiendo 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.

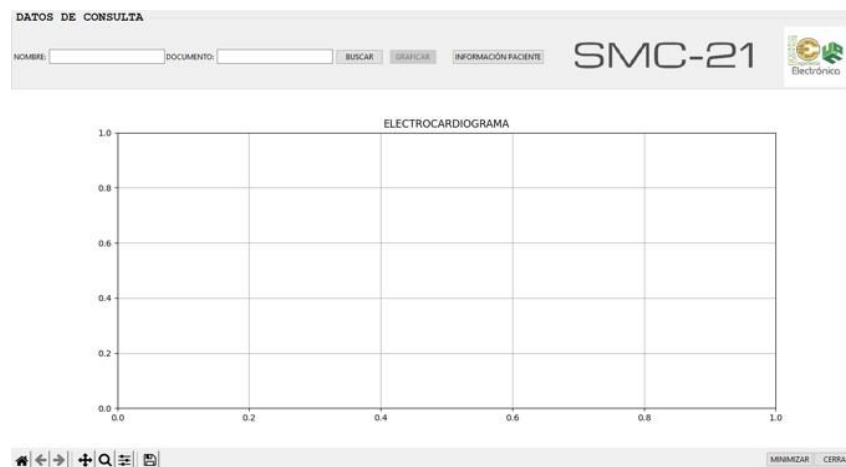
La interfaz gráfica fue desarrollada en el entorno de desarrollo Python 3.9. Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado, orientado a objetos y de uso generalizado con semántica dinámica, que se utiliza para la programación de propósito general (Chun, 2001). La interfaz gráfica de usuario (GUI) fue creada con ayuda de la librería incorporada con Python llamada Tkinter, dicha interfaz se encarga de tomar los datos alojados en el servidor phpMyAdmin, para que posteriormente sean graficados y visualizados el médico especialista, este proceso requiere una conexión a internet para que pueda ser ejecutada. La GUI debe ser manipulada solo por el personal previamente capacitado. Para gestionar la recepción de los datos se realizó un código en PHP, el cual contiene protocolo de como recibir y organizar los datos que son enviados desde el dispositivo al servidor web. Para la consulta de datos se realizó un código en PHP, que permite adquirir los datos del servidor web, para ser almacenados en el software de interfaz gráfico desarrollado. En la figura 4 se puede observar que la ventana principal de la interfaz permite realizar el registro de un único paciente para así después permitir la visualización y análisis del ritmo cardiaco. Además, el software cuenta con una segunda ventana como se observa en la figura 5, en donde se puede visualizar la gráfica correspondiente a la señal cardiaca del paciente, que se mostrará, y además hay botones que cumplen tareas específicas.

Figura 4. Ventana principal del software aplicativo

Fuente: Elaboración propia.

Para hacer uso de la interfaz gráfica, se requiere registrar la información del paciente, llenando todos los campos obligatorios, de lo contrario no se podrá seguir avanzando. Una vez se llenan los campos, se registra al paciente y estará habilitado el botón de graficar para realizar el examen.

Figura 5. Segunda ventana de la interfaz gráfica



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 4, el software cuenta con varios campos, el cual permite obtener la información del paciente y ser utilizada para completar la historia clínica del paciente. En la figura 5 se puede visualizar la segunda ventana de la interfaz gráfica, en la cual se consulta la información del paciente y así se pueden graficar los datos de la señal cardiaca del paciente. En esta pestaña es posible realizar anotaciones para la historia clínica del paciente. En la Ventana número dos, se debe consultar el paciente registrado por numero de documento o nombre, una vez se ingresen estos datos se puede buscar la información en la base datos, si la información ingresada es incorrecta, se arrojará una advertencia y el botón graficar no se activará. Después que el botón graficar este habilitado, es posible visualizar la señal eléctrica del corazón en el entorno gráfico.

3.4. Pruebas

En esta fase se realizaron las pruebas necesarias para garantizar la confiabilidad del sistema. Se realizaron pruebas de encendido del dispositivo, pruebas de conexión, verificación de conectividad, pruebas de recepción de datos y pruebas de conectividad del software. Se realizaron pruebas con el módulo AD8232 para conocer los alcances y la confiabilidad del módulo. Al realizar las pruebas, se obtuvo como resultado una señal definida y clara. Para la

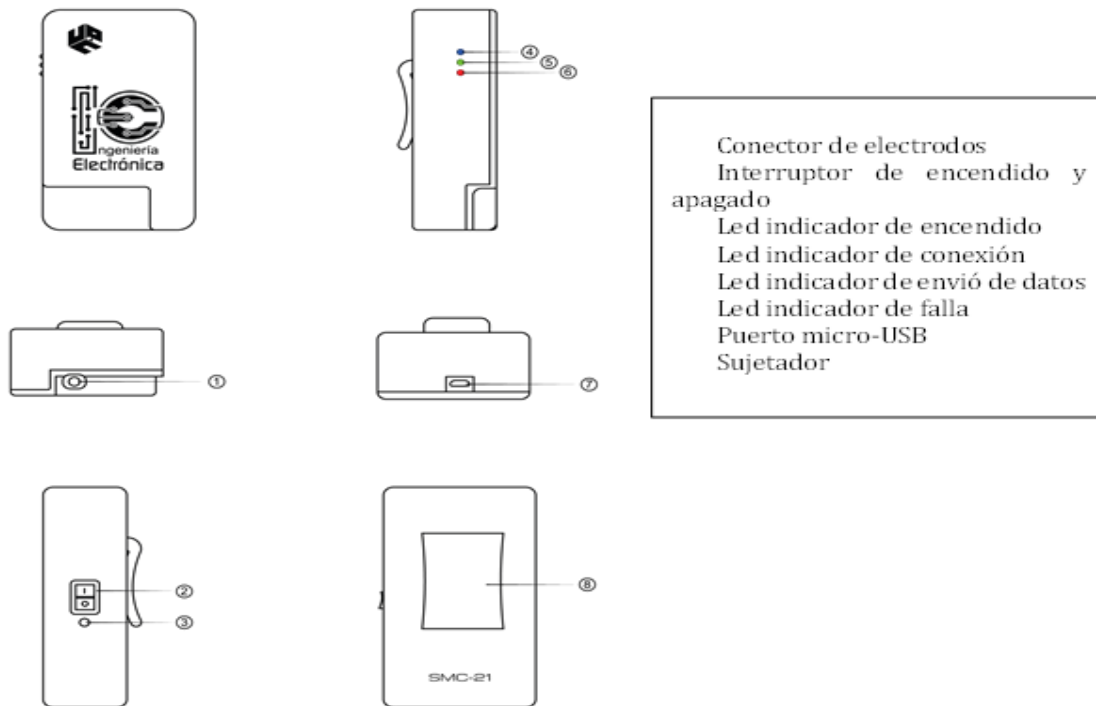
fuentes de alimentación del prototipo se utilizó una batería de 7.2 V a 1230 mA. Se procedió a realizar pruebas al prototipo con asesoría de un médico cardiovascular.

4. Resultados

En esta sección, se mostrará el resultado final del prototipo y el software aplicado. Se tomó como base la norma técnica NTC-IET 60601-2-10 con el fin de realizar la validación del prototipo de un sistema portátil de monitoreo cardíaco.

El dispositivo diseñado cuenta con las características de reducido tamaño y peso, siendo ergonómico para el paciente. A continuación, en la figura 6 observamos las características físicas del dispositivo:

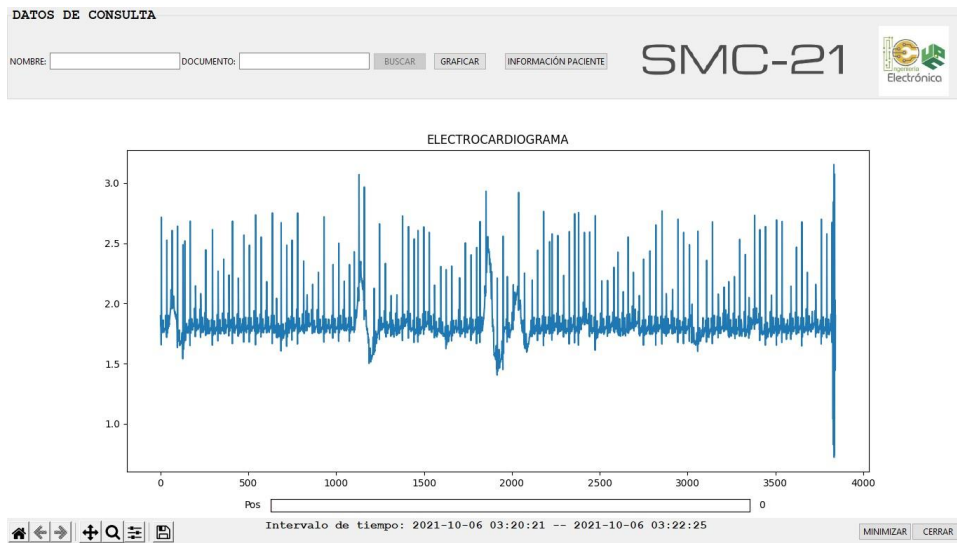
Figura 6. Características físicas de SMC-21



Fuente: Elaboración propia.

Una vez el dispositivo se encuentre encendido y conectado a la red, procede a la captura de los datos y posteriormente a graficar la información capturada. La interfaz gráfica desarrollada, recolecta los datos almacenados en el servidor web y permite graficar la señal cardíaca, para el análisis por parte del médico especialista. Esta interfaz requiere de conexión a internet para poder operar. La interfaz gráfica no tiene interacción con el prototipo desarrollado y esta aplicación es de uso exclusivo para el personal médico. En la figura 7, se puede observar la señal eléctrica del corazón en el entorno gráfico, mostrando la totalidad de los datos recolectados.

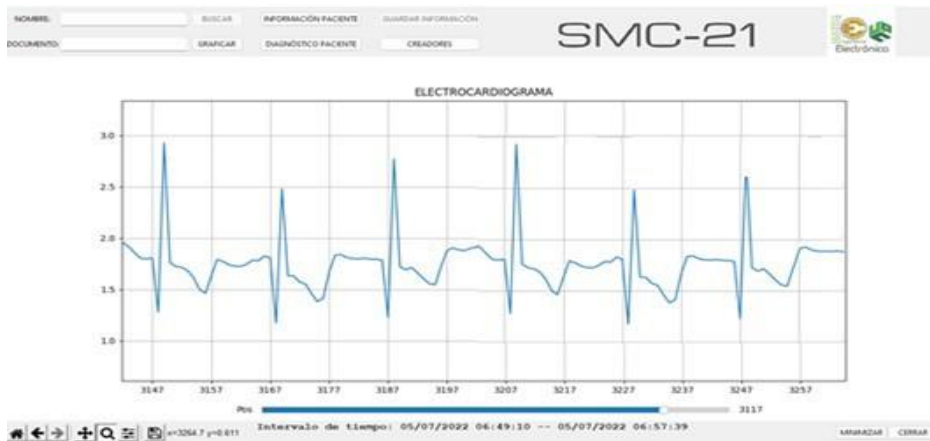
Figura 7. Grafica señal cardiaca



Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda de la barra de desplazamiento y la barra de herramientas, puede moverse por la grafica y ampliar el intervalor de tiempo en el cual se desea realizar el analisis o se observa alguna anomalia por parte del personal medico, como se observa en la figura 8.

Figura 8. Grafica señal cardiaca



Fuente: Elaboración propia

La informacion recolectada es enviada a un servidor web y alojada en una base de datos. Para diferenciar la hora en que fue recibida los datos, se tomó el formato de hora UNIX que maneja el servidor para conocer la hora exacta en la que llegan los datos. En la figura 9, se puede visualizar los datos alojados en el servidor web.

Figura 9. Datos recibidos Servidor Web

ID	Fecha	Num	Dat
1	1635782306	1	826
2	1635782310	1	760
3	1635782310	1	975
4	1635782314	1	492
5	1635782314	1	706
6	1635782314	1	333
7	1635782314	1	773
8	1635782314	1	361
9	1635782314	1	997
10	1635782314	1	195
11	1635782314	1	942
12	1635782314	1	101
13	1635782314	1	978
14	1635782314	1	58
15	1635782314	1	999
16	1635782314	1	109
17	1635782314	1	985
18	1635782314	1	136
19	1635782314	1	944
20	1635782314	1	178
21	1635782314	1	820
22	1635782314	1	288
23	1635782314	1	756
24	1635782314	1	372
25	1635782314	1	667

Fuente: Elaboracion Propia

El programa de desarrollo del software fue diseñado en el lenguaje de programación Python y 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. Cuenta con un panel para graficar la señal cardiaca, así como múltiples botones y una barra deslizadora para interactuar con la señal graficada.

La señal adquirida es visualizada a través de una interfaz de adquisición de datos, la cual consiste en un archivo ejecutable que no requiere instalación, los datos provenientes del prototipo son alojados en un servidor web, para el envío de datos al servidor web, el prototipo debe contar con una conexión a internet. Estos datos son enviados de forma automática al servidor web. Para efectos del proyecto se utilizó un servidor web phpMyAdmin y permite realizar el monitoreo de un paciente hasta durante una semana.

5. Discusión

Los dispositivos usados para el desarrollo del sistema fueron adquiridos con el fin de aprovechar la exactitud de cada componente usado, disminuir el porcentaje de error y evitar el uso de sensores y medidores cableados que puedan interferir con la comodidad del paciente. Gracias a estos, los resultados obtenidos en el desarrollo de este prototipo muestran una óptima integración de todos los elementos utilizados. La tarjeta NodeMCU V3 puede considerarse como el cerebro del prototipo y todo el sistema conformado por el hardware y la interfaz gráfica, permitieron el correcto análisis de los datos obtenidos mediante el módulo de adquisición AD8232, el cual se reflejó satisfactoriamente en las mediciones obtenidas en las pruebas realizadas.

Se identificó que un factor limitante en la eficiencia del prototipo está relacionado con el módulo de adquisición AD8232, el cual a pesar de ofrecer una señal de salida clara, esta señal se ve afectada constantemente por el ruido generado durante el movimiento y roce de los cables pertenecientes a los tres electrodos. Provocando que los datos obtenidos resulten alterados durante algunas actividades. Al tratarse de un dispositivo de aplicación a la salud, no se puede permitir el procesamiento de datos erróneos que pudieran propiciar falsas alarmas, por lo cual es de vital importancia el análisis por parte del médico especialista.

Como mejora al punto anterior, se contempla hacer un cambio del sensor utilizado por uno que evite el uso de cables para los electrodos, reduciendo así el ruido que entra al sistema de monitoreo cardiaco, lo que permitirá ofrecer una mayor precisión en los datos procesados y una mayor confiabilidad en el sistema, buscando la mejor opción relación calidad- costo.

Otro punto importante es el alcance que tiene este prototipo de monitoreo, ya que al conectarse directamente a una red inalámbrica con conexión a Internet permite conocer el estado del paciente en todo momento y así mismo enviar los mensajes de alerta a cualquier dispositivo que tenga acceso a la web.

El sistema se construyó para usarse en interiores, donde exista un punto de acceso WiFi a Internet a no más de 40 metros, y, en caso de ser necesario extender el alcance, pueden usarse repetidores WiFi.

Para la descarga de los datos desde el servidor web, se debe contar con una conexión a internet y tener disponible los datos de registro del paciente. Una vez se ingresan los datos del paciente como el número de

cedula o el nombre, se inicia la descarga de los datos desde el servidor, 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.

Si el prototipo no cuenta con una conexión a internet, se desactiva el envío de los datos al servidor web y se enciende un led rojo indicando que el equipo esta desconectado. Luego que se restablezca la conexión a internet, se inicia nuevamente el envío de la información al servidor web.

Según las pruebas realizadas, se considera que los resultados obtenidos en este prototipo son satisfactorios, una vez se superen los puntos que limitaron los resultados en esta etapa, se abre la posibilidad para desarrollar un sistema con mejores características y más eficiente.

6. Conclusiones

Al terminar el desarrollo y análisis de resultados obtenidos en este proyecto, se mencionan los más representativos:

- Se diseñó y se construyó el prototipo de un sistema portátil de adquisición de datos de señales cardiacas con tecnologías IoT, el cual se conecta a internet a través de Wi-Fi, toma los datos de actividad cardiaca y realiza el envío de estos a un servidor web por medio de internet donde son almacenados y son graficados por un software de interfaz gráfica para su posterior análisis.
- En el diseño del hardware se desarrolló un firmware, el cual permite el control del sistema de adquisición de la señal cardiaca mediante el entorno de programación de Arduino, consiguiendo la integración de distintos módulos; de igual manera se diseñó y se elaboró la caja del prototipo por medio de impresión 3D, logrando obtener una estructura de tamaño reducido, poco peso y cómoda para realizar el examen.
- Para la visualización de los datos adquiridos, se desarrolló un software de interfaz gráfica ejecutable elaborado en Python, este por medio de una conexión a internet hace una consulta y obtiene los datos del monitoreo de la actividad cardiaca, que están almacenados en un servidor web y provienen del prototipo; para ser presentados al personal médico especializado facilitando el análisis de los datos.
- Finalmente, se realizó un protocolo de pruebas de funcionamiento del prototipo, supervisando y validando su operación con la asesora del proyecto, comprobando el correcto funcionamiento del sistema; se elaboró un manual de instrucciones para el correcto uso del prototipo de parte de los usuarios de este.

Referencias

- Analog Device. (2013). *Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End. Analog Device*. Devices Analog. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8232.pdf>
- Bansal, A., & Joshi, R. (2018). Portable out-of-hospital electrocardiography. A review of current technologies. *Journal of arrhythmia*, 34(2), 129-138.
- Beach, C., Krachunov, S., Pope, J., Fafoutis, X., Piechocki, R. J., Craddock, I., & Casson, A. J. (2018). An ultra low power personalizable wrist worn ECG monitor integrated with IoT infrastructure. *Ieee Access*, 6, 44010-44021.
- Carricondo Monter, A. (2017). *Desarrollo de un sistema de monitorización domiciliaria basado en la plataforma NodeMCU V3* (Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Valencia). Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10251/92938>.
- Chiu, G. S. (2017). *Cardiología. El Manual Moderno*.
- Chun, W. (2001). *Core python programming (Vol. 1)*. Prentice Hall Professional.
- Li, J., Ashraf, A., Cardiff, B., Panicker, R. C., Lian, Y., & John, D. (2020). Low power optimisations for iot wearable sensors based on evaluation of nine QRS detection algorithms. *IEEE Open Journal of Circuits and Systems*, 1, 115-123. DOI:10.1109/OJCAS.2020.3009822
- Luna, J. I., Acosta, M. A., Rangel, F. J., & Aceves, J. F. (2019). Monitoreo de signos vitales usando IoT. *Pistas Educativas*, 41(134), 751-769
- Pava Molano, L. (2006). Monitoría electrocardiográfica ambulatoria de 24 horas (Holter) en arritmias supraventriculares. En M. F. Cabrales Neira, & D. I. Vanegas Cadavid (Eds.), *Manual de Métodos Diagnósticos en Electrofisiología Cardiovascular* (p.p. 71-78). Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular.
- Rahaman, A., Islam, M. M., Islam, M. R., Sadi, M. S., & Nooruddin, S. (2019). Developing IoT Based Smart Health Monitoring Systems: A Review. *Rev. d'Intelligence Artif.*, 33(6), 435-440.
- Siontis, K. C., Noseworthy, P. A., Attia, Z. I., & Friedman, P. A. (2021). Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nature Reviews Cardiology*, 18(7), 465-478.
- Zhang, J., Sun, R., & Wang, S. (2018, 13-15 octubre). The design of seven-lead electrocardiograph monitoring system based on Wi-Fi (Presentación de comunicación). 11th International Congress on Image and Signal, Beijing, China . DOI: 10.1109/CISP-BMEI.2018.8633042