

IoT-Based System for Alarm Monitoring Medical Devices in Honduras Public Hospitals

María A. Madrid Ulloa, Engineer¹, and Fernanda de Lourdes Cáceres Lagos, M. Sc.¹,

¹Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Tegucigalpa, Honduras, auxiliadoramadrid@unitec.edu, fernanda_lcl@unitec.edu

Abstract— In the public hospital environment, the lack of centralized alarm systems for vital signs monitors causes deficiencies in the quality of patient monitoring, often putting their safety at risk. Bad management and control of alarms is one of the biggest problems regarding patient monitoring in public hospitals in the country. Mainly, there is no hospital infrastructure that is adequate for the implementation of these centralized systems. The objective of this research is based on the design of a system using IoT to adapt the device to vital signs monitors and, in this way, detect variations in the patient's vital sign parameters. Subsequently send a notification of the detected alarm to the medical staff. It began with an evaluation of the alarm response processes in a public hospital, proposing improvements to cover the main points of the problem. Raspberry Pi was used as the basis of the IoT system and multiple technical tests were carried out for its correct operation. With the proposed architecture of the system, better ideas were obtained to implement for a centralized monitoring system that includes the use of an intelligent device adapted to each vital signs monitor. Through the investigation, results were obtained about the lack of these systems in all public hospitals.

Keywords—alarm, IoT, medical device, monitoring, Raspberry Pi

IoT-Based System for Alarm Monitoring Medical Devices in Honduras Public Hospitals

María A. Madrid Ulloa, Engineer ¹, and Fernanda de Lourdes Cáceres Lagos, M. Sc. ¹,

¹Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Tegucigalpa, Honduras, auxiliadoramadrid@unitec.edu, fernanda_lcl@unitec.edu

Abstract— In the public hospital environment, the lack of centralized alarm systems for vital signs monitors causes deficiencies in the quality of patient monitoring, often putting their safety at risk. Bad management and control of alarms is one of the biggest problems regarding patient monitoring in public hospitals in the country. Mainly, there is no hospital infrastructure that is adequate for the implementation of these centralized systems. The objective of this research is based on the design of a system using IoT to adapt the device to vital signs monitors and, in this way, detect variations in the patient's vital sign parameters. Subsequently send a notification of the detected alarm to the medical staff. It began with an evaluation of the alarm response processes in a public hospital, proposing improvements to cover the main points of the problem. Raspberry Pi was used as the basis of the IoT system and multiple technical tests were carried out for its correct operation. With the proposed architecture of the system, better ideas were obtained to implement for a centralized monitoring system that includes the use of an intelligent device adapted to each vital signs monitor. Through the investigation, results were obtained about the lack of these systems in all public hospitals.

Keywords—alarm, IoT, medical device, monitoring, Raspberry Pi

I. INTRODUCCIÓN

En los hospitales públicos del país se han observado problemas que son detectados en cada una de las áreas de recuperación debido a la falta de un sistema de alarmas centralizados. Muchos de los monitores de signos vitales tienen fallas en sus sistemas de alarmas; desconfiguraciones de las alarmas, problemas con el sonido o volumen del monitor. Estos monitores con frecuencia suelen carecer de un mantenimiento correctivo ideal y son descartados para uso diario, sólo en caso de emergencia.

Constantemente el personal de salud debe monitorear los parámetros del paciente sin poder abandonar el área. Por lo que, debido a la falta de personal médico en cada turno no es posible realizar relevos en cada guardia de monitoreo u otras ocupaciones.

Cuando un monitor presenta falla en su sistema de alarma; como ser: fallas en el sonido del equipo, el personal no puede detectar a tiempo la alarma hasta monitorear de cerca el monitor de signos vitales. Cuando varias alarmas suenan al mismo tiempo, al haber mucha demanda de pacientes el personal no suele distinguir de manera práctica que alarma es más relevante para ser abordada con rapidez, ya que existen otros equipos en

cada área que también producen sonidos parecidos al de los monitores de signos vitales.

Los monitores de signos vitales no están interconectados, cada uno funciona como un sistema autónomo e independiente. Es decir, no están conectados a una red de internet local o remota. Por lo cual el personal médico no puede tener un control adecuado de las alarmas, ya que no existe una central física o virtual de monitoreo.

En una entrevista realizada a una enfermera encargada del área de Medicina para Hombres del Hospital General San Felipe de Honduras, se constató que los monitores de signos vitales que tenían el sistema de alarma dañado ya no son utilizados.

La naturaleza de las fallas en los equipos puede ser debido a la desconfiguración de estos, falta de mantenimiento preventivo, uso incorrecto del equipo, entre otras. Al no contar con un sistema de alarmas de los monitores de signos vitales, muchas alarmas pueden ser ignoradas por el personal médico a cargo, ya que en algunas ocasiones el número de alarmas es muy grande y el personal en turno no se da abasto.

El objetivo de esta investigación será la implementación de un prototipo que permita llevar un control óptimo del monitoreo del paciente en cada área de hospitalización y mediante esto el personal de salud podrá atender de manera correcta cada una de las alarmas, ya que estos cuentan con un sistema de alarmas complejo que ha impedido la adquisición de sistemas centralizados.

La propuesta para dicho sistema de alarma consistirá en un sistema electrónico basado en Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) adaptable a un monitor de signos vitales, el cual captará la señal de alarma cuando hay cambios en los signos vitales del paciente como ser la temperatura, saturación de oxígeno, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y la presión arterial.

Esta investigación se encuentra dividida por secciones en donde encontraremos: sección II el sustento teórico, seguido por la metodología, resultados y conclusiones; cerrando con los agradecimientos y referencias.

II. SUSTENTO TEÓRICO

A. Monitoreo continuo del paciente

La monitorización adecuada del paciente en los hospitales es punto clave para una atención de calidad. El control de las alarmas de los monitores de signos vitales en cada área muchas veces no es gestionado debidamente. Las configuraciones

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

predeterminadas de dichas alarmas no suelen ajustarse a la condición del paciente. Se han realizado distintas pruebas para poder disminuir este problema, mediante un método que facilita una la configuración directa de la alarma desde los datos registrados del paciente y su condición actual [1].

El monitoreo continuo por parte del personal médico es mucho más adecuado en comparación a los controles intermitentes de guardias. Actualmente dichos controles con frecuencia son realizados en la práctica clínica. El caso anterior proyecta la eficacia de los monitoreos continuos en comparación con los controles aleatorios intermitentes que son realizados por el personal médico [1].

B. *Fatiga de alarma*

La presencia de una elevada cantidad de alarmas en una sala se detecta como un riesgo para la integridad y seguridad de cada paciente, no sólo por la interrupción del descanso óptimo de cada paciente por el ruido proveniente de cada alarma del monitor de signos vitales si no a la desensibilización por parte del personal de salud ante estas alertas, pasando desapercibidas urgencias reales. Este fenómeno ocurre cuando una gran parte de alarmas falsas son confundidas por alarmas clínicamente relevantes, por lo que conlleva a consecuencias graves para las condiciones clínicas del paciente [2].

C. *Gestión de alarmas*

La reducción de las señales de alarmas mejora la capacidad de respuesta por parte del personal médico, a su vez crea un ambiente más adecuado para la recuperación del paciente. La frecuencia de las señales de alarmas se puede disminuir en gran manera, realizando modificaciones en los sistemas de alarmas integrados en el equipo médico, para la reducción de las alarmas no procesables o duplicadas, adaptado a un método que implique la configuración individual de la alarma, según sea la condición del paciente [2].

La mayor parte de los sistemas utilizados en los hospitales son configurados de manera que el personal de salud pueda percibir fácilmente la señal de alarma en caso de una desviación de los signos vitales, pero el problema de las fatigas de alarmas constantemente provoca una ineficiencia en el trabajo de monitoreo, ya que gran parte de estas alarmas no corresponden a una variación real, si no a una desconfiguración en el sistema de alarma del monitor por otro lado los pacientes en condiciones más críticas suelen verse afectados [3].

La reducción de las señales de alarmas mejora la capacidad de respuesta por parte del personal médico, a su vez crea un ambiente más adecuado para la recuperación del paciente. La frecuencia de las señales de alarmas se puede disminuir en gran manera, realizando modificaciones en los sistemas de alarmas integrados en el equipo médico, para la reducción de las alarmas no procesables o duplicadas, adaptado a un método que implique la configuración individual de la alarma, según sea la condición del paciente [2].

Una manera que resultó muy eficaz fue la gestión de alarmas por medio de la clasificación de los diferentes tipos de alarmas emitidas por los equipos médicos que estaban en la

Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), de esta manera se obtuvo un control preciso para poder identificar que alarma irrumpía de manera directa con las alarmas de los monitores de signos vitales. Frecuentemente se hicieron monitoreos de los datos obtenidos en base a la frecuencia en que las alarmas se activaban y que tiempo de respuesta era el óptimo [4].

D. *Enfoque del IoT*

IoT es una red de dispositivos que están conectados entre sí y se encargan de la recopilación, procesamiento de datos e información. El objetivo principal del Internet de las Cosas es la interconexión del mundo físico con el mundo digital. Esta tecnología está conformada por hardware, dispositivos físicos, software, comunicaciones, servicios de red y mecanismos de control [6].

IoT potencia el monitoreo, una gestión de salud de calidad, la accesibilidad y una alta recopilación de datos relevantes del paciente. Un beneficio significativo de las aplicaciones de IoT en el área de la medicina a radicado en varios aspectos como la atención médica con nuevas tecnologías proporcionando datos de la interconexión de recursos para análisis de la salud. La monitorización continua sobre el estado de salud del paciente, el diagnóstico de enfermedades y el uso de sistemas de alarma óptimos se han integrado a la aplicación de IoT con grandes resultados [7].

La combinación de IoT con Raspberry Pi se convierte en una nueva innovación de tecnología para el sistema de salud, permite hacer conexiones de sensores de respiración, frecuencia cardíaca y temperatura, recopilando datos y transfiriéndolos de forma inalámbrica al sitio web. Por medio de dicha tecnología se transmiten los parámetros del paciente a través de dispositivos médicos por una puerta de enlace en donde son analizados y almacenados [8].

Este estudio se basa en el desarrollo de un sistema integrado utilizando el módulo de Raspberry Pi, el cual permite un monitoreo rápido y eficiente del electrocardiograma (ECG). El uso de la Raspberry Pi facilita la creación de un sistema integrado de diagnóstico de ECG que se encarga de la detección en tiempo real y alertar en caso de alguna anomalía en la funcionalidad del corazón del paciente. La arquitectura del sistema está basada en el acondicionamiento de la señal, amplificación de señal y filtrado de los ruidos en términos analógicos [9].

E. *Sistema inteligente para monitoreo remoto*

El siguiente caso se basa en un sistema inteligente para monitoreo remoto de la actividad física del paciente. En la actualidad el uso de Raspberry Pi en la medicina juega un papel fundamental en la rehabilitación preoperatoria. Se realizó el diseño de un dispositivo portátil de monitorización con enlace móvil, este sistema de monitoreo fue desarrollado para facilitar al personal médico el monitoreo del paciente de manera remota [10].

El dispositivo cuenta con un sistema de notificación de alerta para que el personal de salud sea notificado de manera inmediata al haber una variación en la actividad del paciente.

Esta integración de la tecnología IoT en conjunto con Raspberry Pi en un programa de rehabilitación preoperatoria proyectó resultados positivos de un 78% [10].

F. Servidor de vídeo con Raspberry Pi

El uso de Raspberry Pi ha incrementado en la actualidad para diversas aplicaciones y proyectos, entre ellos su uso como servidor de video en tiempo real. Los servidores de video son unidades encargadas del almacenar, procesar y entregar datos de videos a las personas [11].

G. Implementación de una central de monitoreo de signos vitales

Este caso trata de una implementación de una central de monitoreo de 6 monitores de signos vitales en el área de recuperación Post anestésica. De esta manera se cuenta con una vigilancia desde una computadora central que registra los parámetros de los signos vitales de los pacientes post operatorios [12].

Un personal de salud puede atender dicha central, esto facilita que el personal de salud no tenga que estar supervisar de cerca cada paciente. Esta central de monitoreo brinda el acceso para poder sacar reportes impresos, configurar o ajustar el monitor de cada paciente sin una manipulación del equipo de manera directa. Esta implementación mejora la atención y diagnóstico del paciente en gran escala. El sistema de monitoreo utilizado fue Mindray Hypervisor VI programa para poder registrar y almacenar todos los datos de cada monitor de signos vitales [12].

H. Diseño de software para monitorización del paciente

Se realizó un diseño de un software para un sistema central inalámbrico de monitorización de los pacientes. Los monitores de signos vitales se conectan a un módulo mono canal que transmite la señal por medio de WiFi. Los datos que se reciben son transmitidos a un receptor inalámbrico que multicanal que es conectado a la computadora en la estación central [13].

Todos los datos recibidos se muestran a través del software, de esta manera el personal de salud puede tener un control del estado del paciente por medio de su dispositivo móvil. Este software también permite que el personal de salud establezca configuraciones de alerta en caso de haber una anomalía con los signos vitales del paciente. Cuando hay una variación significativa el sistema alerta de manera casi inmediata para que el personal de salud aborde la situación [13].

Este sistema enfatiza en la calidad de atención de los pacientes por medio de innovaciones, ya que normalmente el personal de salud debe trasladarse a la cama donde se encuentra el paciente para monitorear sus signos vitales. Con este sistema los médicos y enfermeras pueden revisar los datos del paciente a través de un monitor central que custodia de manera simultánea todos los monitores del área [13].

El objetivo general de esta investigación es el diseño de un prototipo basado en IoT que se adapte a los monitores de signos

vitales para la detección de variaciones en los parámetros de los signos del paciente [13].

III. METODOLOGÍA

En este capítulo se muestra un planteamiento de las metodologías de investigación, técnicas y enfoques implementados para el desarrollo y construcción del proyecto.

Se planteó como variable dependiente el sistema IoT detectará la señal de alarma emitida por el monitor de signos vitales y que a su vez enviará una notificación de alerta al teléfono móvil del personal de salud.

Como variables independientes se consideraron:

- Arquitectura del Sistema: Diseño de arquitectura para adaptar un sensor de cámara al monitor de signos vitales.
- Componentes electrónicos: Elementos electrónicos adaptados en conjunto a la placa de Raspberry Pi, para el funcionamiento del sistema IoT.
- Señal de alarma: Notificación emitida por el monitor de signos vitales que será captada por el sistema IoT.
- Parámetros del monitor de signos vitales: Datos registrados por el monitor de signos vitales que al variar activaran el sistema de alarmas del monitor emitiendo una luz que será captada por el sistema IoT.

El desarrollo del sistema IoT para un sistema de alarma de monitor de signos vitales es un proyecto que necesita de una metodología de desarrollo ágil con un enfoque descriptivo para su diseño. Esta metodología brinda una estructura general de la estructura del sistema, se requiere la implementación de habilidades y técnicas adecuadas para el proceso de desarrollo.

El enfoque descriptivo se adapta al proyecto de manera adecuada, ya que se necesita la recopilación y análisis de datos para poder definir la funcionalidad optima del proyecto. En la Fig. 1 se proyecta de manera gráfica el ciclo del desarrollo del proyecto. El ciclo de desarrollo se dividió en varios pasos:

- Revisión bibliográfica: Se realizó una investigación a fondo sobre los sistemas de alarmas, como son abordadas por el personal de salud y los problemas ocasionados por fatigas de alarmas en los hospitales públicos.
- Visita y entrevista: Se realizó visitas y entrevista al personal de salud de un hospital público para poder conocer como abordan y gestionan las alarmas de los monitores de signos vitales en cada área del hospital.
- Decisión de estructura: Se seleccionó un diseño que fuera adaptable adecuadamente para solventar de la mejor forma el problema con respecto al monitoreo de las alarmas de los monitores de signos vitales.
- Selección de componentes: Se realizó la recopilación y revisión de los datos obtenidos para poder seleccionar los materiales y componentes necesarios para la construcción optima del sistema. Se eligieron los componentes electrónicos necesarios para la

adaptación al módulo de Raspberry Pi y una funcionalidad correcta.

- **Elaboración de código:** Se programó y cargó un código en el módulo principal para las funciones de captura de señal y envío de notificación.
- **Pruebas iniciales:** Se realizaron diferentes pruebas para la verificación del cumplimiento de funciones programadas en el módulo de Raspberry Pi, con el propósito de comprobar que cumpla con el objetivo principal.
- **Diseño final y montaje:** Se adaptaron y configuraron todos los componentes eléctricos al módulo de Raspberry Pi para su funcionalidad.
- **Pruebas con monitor de signos vitales:** Se realizaron pruebas para corroborar que funciona correctamente y pueda captar la señal de alarma del monitor de signos vitales para luego transmitir una notificación al teléfono móvil del personal de salud.

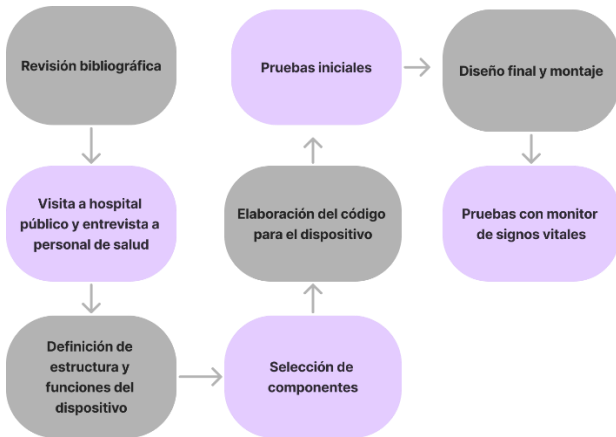


Fig. 1 Metodología de estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se realizará una presentación de todos los resultados obtenidos durante el proyecto, por medio de un análisis a fondo de cómo se llegó a lograr el objetivo mediante las investigaciones realizadas y los datos obtenidos en el proceso.

A. Flujo de la gestión de alarmas en un hospital público

El flujo inicial proporciona una visualización general de las fases y en la que se llevan a cabo los procesos del monitoreo del paciente con respecto a sus signos vitales. Al poder hacer una identificación de los inconvenientes presentados durante el proceso, se diseñó de manera estratégica una solución para optimización del flujo de trabajo por parte del personal médico, mejorando la eficiencia del proceso ya atención para un beneficio directo sobre la atención de las alarmas en cada área. Partiendo de la definición del proceso dentro del hospital se

procede con el flujo ideal de la notificación que debe enviar el sistema propuesto.

B. Diagrama de flujo del proceso de envío de notificación de alarma

En la Fig. 2 se muestra el proceso general del funcionamiento que debe seguir el sistema IoT. Principalmente se realizó una evaluación y análisis de la forma óptima para lograr que este ayude con la gestión de alarmas de los monitores de signos vitales. Se observó de qué manera el personal atiende las señales de alarmas y cuáles son los controles que llevan sobre las mismas.

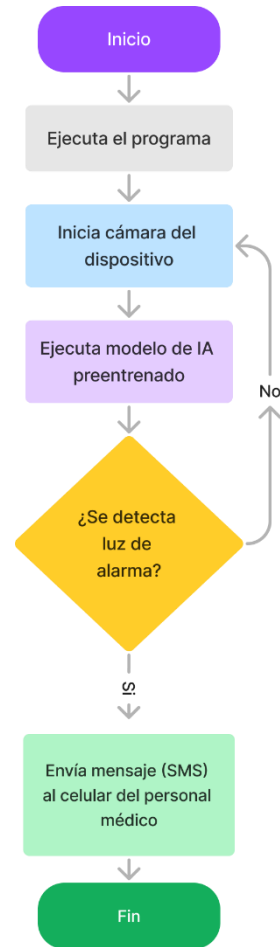


Fig. 2 Proceso de notificación para el sistema IoT.

C. Proceso del diseño de arquitectura del sistema

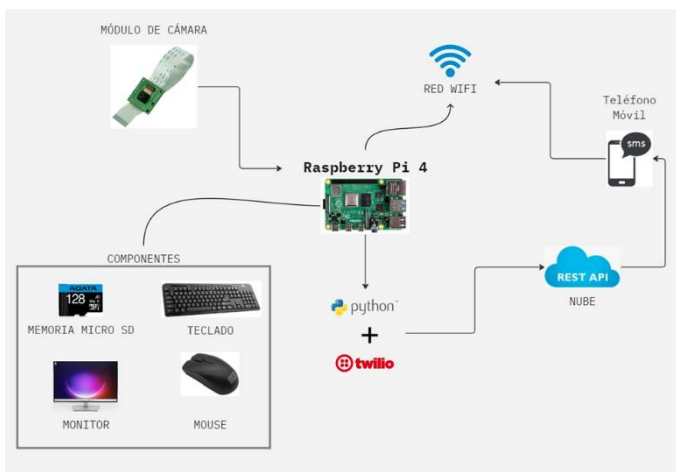
En la Fig. 3 se realiza una representación gráfica del proceso de diseño de la arquitectura del sistema donde se muestran todos los dispositivos que se encuentran interconectados y que se comunican para la funcionalidad de sistema alrededor de Internet de las Cosas. Mediante esto se hace una recopilación, análisis y se comparten los datos.

El inicio del proceso de configuración del sistema IoT consiste en seleccionar, descargar e instalar el sistema operativo

en una memoria USB 16GB o microSD 128GB, la versión que se utilizó fue Rasperry Pi OS (Legacy, 64-bit) Full.

La instalación del sistema operativo es el inicio del proceso de configuración de la Rasperry Pi, ya que cada sistema operativo contiene las configuraciones del sistema de los módulos necesarios para cada propósito. En esta investigación, se utilizó el sistema operativo Raspbian porque contiene el módulo de cámara requerido para la versión de cámara 1.3 implementada en este proyecto.

La implementación del microprocesador Rasperry Pi 4 model B de 4GB RAM fue determinante, ya que este módulo ofrece conexión Wifi, Bluetooth para la conectar el Mouse y el teclado, 2 puertos USB2, 2 puertos USB3, un puerto Micro HDMI para la conexión del monitor y la ranura de conexión del módulo de cámara.



La interconexión de estos componentes de entrada y salida permite la manipulación y control de la Rasperry Pi.

Fig. 3 Arquitectura del Sistema propuesto.

Parte de la configuración del entorno de desarrollo incluye habilitar todas las interfaces y actualizaciones del sistema operativo, todo esto relacionado al hardware. Así mismo, se debe configurar las herramientas de software requeridas para asegurar la ejecución del programa.

Las librerías implementadas son:

- 1) PiCamera: detecta y permite la manipulación de la cámara.
- 2) OpenCV: procesa las imágenes captadas por la cámara.
- 3) TensorFlow Lite: entrena y utiliza el modelo de Aprendizaje automático y permite predecir un resultado (ML, por sus siglas en inglés).
- 4) Twilio: envía la notificación de alarma al celular a través de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés).

Por último, fue necesario ejecutar el programa escrito en código Python, mismo que a través de las librerías preinstaladas es capaz de reconocer la luz de alarma del monitor mediante el modelo pre entrenado y conectarse a la nube para enviar la

notificación de alarma a través del Servicio de Mensajes Cortos (SMS, por sus siglas en inglés) implementado la plataforma de Twilio.

En la Fig. 4 se muestra el número de celular remitente asignado por la herramienta Twilio después de configurar una cuenta en la plataforma con el plan gratuito.

Esto es posible gracias a la previa configuración de las credenciales de la cuenta en el programa Python, quien utiliza la API de Twilio instalada para conectarse a la nube y enviar el SMS al número de celular destinatario perteneciente al equipo médico previamente definido.

También, se puede visualizar el mensaje de texto con la notificación de alarma recibida.



Fig. 4 Notificación de alerta enviada al celular.

D. Pruebas del Sistema

Una vez que todo el entorno fue configurado exitosamente, se instalaron un conjunto de herramientas para poder habilitar el aprendizaje automático en la Rasperry Pi 4. De esta manera, el programa de Python utilizó el modelo pre entrenado con la herramienta de TensorFlow Lite y así poder detectar la alarma del monitor. Además, se configuró una cuenta con plan gratis dentro de la plataforma de Twilio. Y así poder configurar el ID y el TOKEN de la cuenta en el programa de Python.

Se realizaron múltiples pruebas con un monitor de signos vitales dentro del laboratorio de biomédica de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa. Usando un simulador de paciente de la marca BC Group se realizó una simulación de arritmias para generar alarmas en el monitor.

Como se muestra en la Fig. 5, el programa detectó exitosamente la señal de alarma del monitor de signos vitales y mostro un recuadro verde. En ese momento, se conectó a la nube y envió el SMS con la notificación de alerta al celular predefinido.

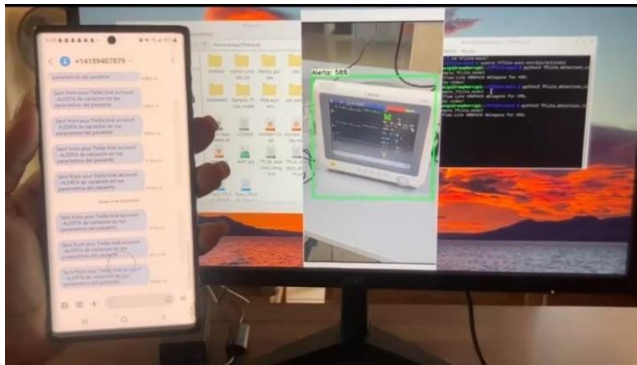


Fig. 5 Ejecución del sistema propuesto.

V. CONCLUSIONES

Se logró el diseño e implementación de un sistema IoT para la gestión y control de alarmas de un monitor de signos vitales. Facilitando el trabajo de atención médica a los pacientes por medio del monitoreo de alarmas, a través del envío de una notificación al celular del personal médico sobre la variación en los signos vitales del paciente.

Por medio de la investigación realizada sobre las distintas formas de comunicar al personal médico sobre la activación de la alarma del monitor de signos vitales, se concluyó que la herramienta Twilio era la forma más práctica para enviar una notificación personalizada al celular. Ya que la capa gratuita proporciona un número telefónico universal que permite enviar SMS a cualquier el número de teléfono destino.

En la elaboración de la propuesta de arquitectura del sistema era necesario considerar varios aspectos. Primeramente, la compatibilidad del Sistema Operativo de la Raspberry Pi 4 con el resto de sus elementos: cámara, teclado y ratón bluetooth. Por lo que, utilizamos Raspbian (Legacy, 64-bit) Full esta versión es una extensión del sistema operativo Debian Bullseyes compatible con el módulo de cámara utilizado en su versión 1.3. además, esta versión permite la conectividad vía Bluetooth con el teclado y el ratón. Por último, es importante asegurar la escalabilidad del sistema y la interoperabilidad dentro del ecosistema IoT.

Este proyecto puede ser implementado en el sector hospitalario privado como una innovación para los sistemas centralizados de alarmas en caso de que cuenten con uno, esta innovación se basaría principalmente en la recopilación constante de todos los datos fisiológicos del paciente por una monitorización a través del módulo de cámara que registraría dichos datos. Los cuales se serían cargados directamente a la nube y se enviaría una notificación de prioridad, según fuese la condición del paciente.

Otra manera de aplicabilidad sería la implementación del sistema IoT, en áreas específicas donde hay más demanda de pacientes en estado crítico, como UCI. Es importante el estudio y comportamiento del personal médico en dichas áreas ya que la necesidad de un monitoreo constante es vital para la seguridad del paciente.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un agradecimiento principalmente a mis padres por apoyarme a financiar este proyecto, esto ha permitido poder llevar a cabo mi investigación como ingeniera. Hago un agradecimiento a la ingeniera Fernanda por el apoyo indispensable para la mejora de esta investigación y ser una excelente guía en el proceso, con su orientación he podido actuar correctamente en desafíos de mejoras. Por último, agradezco de todo corazón el apoyo que recibí de mi pareja como asesora técnica durante cada fase del proyecto y por apoyarme a que la investigación y desarrollo del prototipo para que fueran posibles.

REFERENCIAS

- [1] B. Andrade-Méndez, D. O. Arias-Torres, y L. O. Gómez-Tovar, «Fatiga de alarmas en Unidad de Cuidados Intensivos: relevancia y tiempo de respuesta», *Enferm. Intensiva*, vol. 31, n.o 3, pp. 147-153, jul. 2020, doi: 10.1016/j.enfi.2019.11.002.
- [2] M. Cvach, «Monitor Alarm Fatigue: An Integrative Review», *Biomed. Instrum. Technol.*, vol. 46, n.o 4, pp. 268-277, jul. 2012, doi: 10.2345/0899-8205-46.4.268.B. Andrade-Méndez, D. O. Arias-Torres, y L. O. Gómez-Tovar, «Fatiga de alarmas en Unidad de Cuidados Intensivos: relevancia y tiempo de respuesta», *Enferm. Intensiva*, vol. 31, n.o 3, pp. 147-153, jul. 2020, doi: 10.1016/j.enfi.2019.11.002.
- [3] J. P. L. Leenen, H. J. M. Rasing, J. D. van Dijk, C. J. Kalkman, L. Schoonhoven, y G. A. Patijn, «Feasibility of wireless continuous monitoring of vital signs without using alarms on a general surgical ward: A mixed methods study», *PLOS ONE*, vol. 17, n.o 3, p. e0265435, mar. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0265435.
- [4] «Managing clinical alarms: Using data to drive change: Nursing Management». Consultado: 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://journals.lww.com/nursingmanagement/Fulltext/2013/11001/Managing_clinical_alarms_Using_data_to_drive.3.aspx
- [5] M. Liu et al., «Optimization Strategies to Reduce Alarm Fatigue in Patient Monitors», en *2020 Computing in Cardiology*, sep. 2020, pp. 1-4. doi: 10.22489/CinC.2020.024.
- [6] A. Saidi, M. Hadj Kacem, I. Tounsi, y A. Hadj Kacem, «A formal approach to specify and verify Internet of Things architecture», *Internet Things*, p. 100972, oct. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100972.
- [7] N. S. Mosavi y M. F. Santos, «Internet of things for precision intensive medicine», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 201, pp. 732-737, ene. 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.03.099.
- [8] R. Kumar y M. P. Rajasekaran, «An IoT based patient monitoring system using raspberry Pi», en *2016 International Conference on Computing Technologies and Intelligent Data Engineering (ICCTIDE'16)*, ene. 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICCTIDE.2016.7725378.
- [9] Y. M. Obeidat y A. M. Alqudah, «An Embedded System Based on Raspberry Pi for Effective Electrocardiogram Monitoring», *Appl. Sci.*, vol. 13, n.o 14, Art. n.o 14, ene. 2023, doi: 10.3390/app13148273.
- [10] K. Al-Naime, A. Al-Anbuky, y G. Mawston, «Internet of Things Gateway Edge for Movement Monitoring in a Smart Healthcare System», *Electronics*, vol. 12, n.o 16, Art. n.o 16, ene. 2023, doi: 10.3390/electronics12163449.
- [11] F. Salih y M. S. A. Omer, «Raspberry pi as a Video Server», en *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEE)*, ago. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICCCEE.2018.8515817.

- [12] Y. J. Fierro Marquez, «Implementación de una central de monitoreo de signos vitales para mejorar la atención de los pacientes del área de recuperación post anestésica del nuevo Hospital Santa Gema de Yurimaguas», Univ. Nac. Mayor San Marcos, 2023, Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19697>.
- [13] V. D. Hai, P. M. Hung, L. H. Phuong Trung, D. V. Hung, N. D. Thuan, y P. D. Hung, «Design of software for wireless central patient monitoring system», en 2017 International Conference on Information and Communications (ICIC), jun. 2017, pp. 214-217. doi: 10.1109/INFOC.2017.8001675.