



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA, COLOMBIA
18 al 21 de septiembre de 2018**



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS FALLOS EN DISPOSITIVOS MÉDICOS UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

David Alejandro Amador Arévalo, Pedro Antonio Aya Parra, Jefferson Sarmiento Rojas, Daniel Alejandro Quiroga Torres, Hernán Alfredo Muñoz Bernal, Antonio Miguel Cruz

**Universidad del Rosario
Bogotá, Colombia**

Resumen

Este artículo presenta una iniciativa de investigación y colaboración entre la Universidad del Rosario y un Hospital de tercer nivel para desarrollar un sistema bajo la arquitectura de una red con topología tipo estrella utilizando internet de las cosas (IoT). El objetivo de esta investigación es diseñar un sistema de monitoreo que permita detectar fallos en dispositivos médicos causados por variables medio ambientales. De este modo, la implementación del sistema se lleva a cabo en un ambiente de atención hospitalaria en donde se presentan casos reales de fallos de dispositivos médicos. Este documento describe un enfoque novedoso para facilitar la investigación en un ambiente poco explorado para la identificación de fallos en equipos médicos. Se presenta un diseño electrónico para la extracción de datos en relación al funcionamiento de un equipo médico, que realiza el monitoreo continuo por medio de diferentes sensores como estrategia para tomar decisiones inteligentes. La contribución principal de este trabajo está en el diseño y la construcción específica tanto del hardware como del software de la arquitectura propuesta. El prototipo del sistema propuesto se prueba actualmente con un equipo médico en un servicio de imagenología.

Palabras clave: arquitectura de red; internet de las cosas; tecnología en salud

Abstract

This article presents a collaborative research between the Universidad del Rosario and a third level hospital to develop a system based on the network architecture with star type topology using the Internet of Things (IoT). The research objective is to design a monitoring system that allows to detect medical devices failures caused by environmental variables. Thus, the implementation of the system is carried out in a hospital care environment where there are cases of medical device failures. This paper describes an innovative approach to facilitate research in an environment almost not explored for the failures identification in medical equipment. An IoT application is developed for the data collection in relation to the medical device function. This application performs continuous monitoring by means of different sensors as a strategy to take intelligent decisions. The main contribution of this project is the design and specific construction of both hardware and software of the architecture proposed. The system prototype is currently tested with a medical device in an imaging service.

Keywords: network architecture; internet of things; health technology

1. Introducción

El término IoT ha sido definido de varias formas; en general, los autores coinciden en decir que IoT es simplemente el uso del internet como medio de "transporte" para hacer posible la comunicación entre objetos o cosas (Ashton, 2009). Lo que hace que los productos inteligentes y conectados sean fundamentalmente diferentes no es Internet en sí, sino la naturaleza cambiante de las "cosas" (Porter, *et al.*, 2014). Las cosas, también llamadas entidades (*entities*) pueden ser dispositivos inteligentes, sensores y cualquier otro objeto que sea capaz de reconocer su contexto y pueda comunicarse con otras cosas, haciéndolo accesible en cualquier momento y en cualquier lugar. Algunos autores, por ejemplo, Cisco¹, han planteado que cuando los seres humanos intervienen en la cadena de interacción entre las cosas, se habla de Internet de Todo (IoE por sus siglas en inglés). Otros simplemente plantean que los humanos son una "cosa" más dentro de IoT (Biron, *et al.*, 2016).

Este documento se enfoca en la implementación de diferentes sensores que permiten monitorear variables medioambientales en el lugar de ubicación de un tomógrafo axial computarizado. Las variables capturadas son la temperatura y humedad relativa del ambiente, las vibraciones en el chasis del equipo, el nivel de ruido en el ambiente y consumo de corriente del equipo. En este trabajo se muestra la construcción específica tanto de hardware como de software en aspectos claves del proceso de instrumentación del equipo médico en un servicio de imagenología. De esta manera, se presenta una solución de IoT enfocada a la supervisión de los diferentes parámetros del entorno físico del servicio donde se encuentra el equipo, en relación a las condiciones de funcionamiento indicadas por el fabricante, con el propósito de identificar cómo los factores externos afectan el rendimiento del equipo y si la alteración de estos factores externos están correlacionados con las fallas del equipo biomédico (Marques, *et al.*, 2016).

[1] Cisco Systems, Inc. Es una Multinacional de Tecnologías Norteamericana situada en San Jose, California,

Este tipo de aplicaciones incorpora en su implementación diferentes tarjetas electrónicas que permiten la programación de código abierto como ESP8266-01 y Raspberry Pi 3, que se basan en hardware y software Open source, y que se utilizan como herramienta en el proceso de adquisición y la transmisión de datos. De igual manera, se incorporan diferentes tipos de micro sensores en la construcción de estos sistemas, que se utilizan para adquirir datos sobre las variables objeto de estudio (Marques, *et al.*, 2016). En ese sentido, se deben tener en cuenta sensores capaces de capturar valores de temperatura, humedad, ruido, vibraciones y corriente de línea.

2. Configuración Del Sistema

Los sistemas de programación ESP8266-01 (Arduino) y Raspberry Pi se han utilizado con éxito en otros esfuerzos de recopilación de datos similares, incluyendo redes de monitoreo y evaluación de variables ambientales en diferentes espacios cerrados o áreas urbanas tal como presenta (Gómez, *et al.*, 2016), de la misma forma ha sido implementado para sistemas de salud inteligentes (Catarinucci, 2015) y entornos adaptativos para el cuidado y supervisión de adultos mayores (Zallio, *et al.*, 2017). Gran parte de estos estudios han demostrado la fiabilidad y la facilidad del uso de las tarjetas de programación (ESP8266-01 y Raspberry pi) para la recopilación de datos de forma remota.

Uno de los propósitos es mostrar la aplicación realizada y cómo a través de una plataforma en la web se pueden desarrollar diferentes aplicaciones en un campo específico. Es así como una parte de este trabajo se centra en el uso del protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) (Kraijak, *et al.*, 2015), recientemente utilizado para diferentes proyectos relacionados con IoT aunque inusualmente se considera en dispositivos médicos. Por otra parte, la mayoría de sistemas de salud basados en IoT se enfoca en sensores físicos, y del mismo modo, se consideran para este proyecto algunos sensores comerciales utilizados en la industria para el monitoreo de equipos electrónicos y mecánicos (Gómez, *et al.*, 2017). A partir de lo expuesto, en la Figura 1 se presenta de manera general la descripción del sistema implementado:

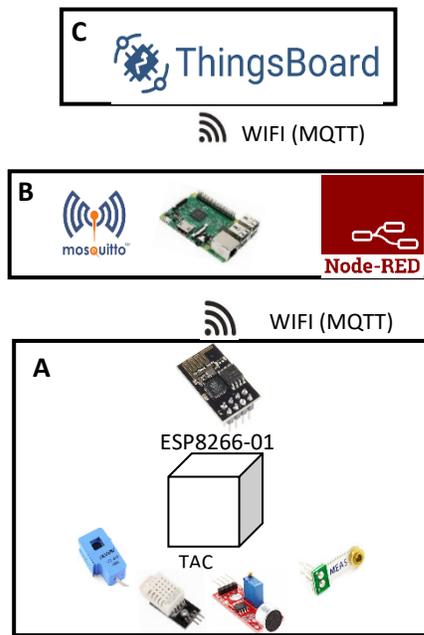


Figura 1. El sistema está conformado por: (A) sensores conectados a la tarjeta ESP8266-01; (B) el Broker o servidor Mosquito instalado en la tarjeta Raspberry Pi al igual que la herramienta de desarrollo para IoT Node Red; (C) la plataforma de IoT Thingsboard utilizada para el almacenamiento y visualización de los datos.

La composición general del sistema propuesto incluye un sensor de temperatura y humedad relativa (DHT11) de salida digital, básico y de bajo costo con excelentes características técnicas. Un sensor de sonido (KY-038) que permite detectar de forma precisa ondas sonoras de baja intensidad, apropiado para sistemas mecánicos. Un sensor de vibración (minisense 100) de bajo costo con alta sensibilidad a bajas frecuencias con un rango dinámico en la detección de vibración o impacto. Finalmente, un sensor de corriente (AC 100amp) no invasivo con núcleo de ferrita utilizado para medir el consumo de electricidad o el comportamiento de la red de alimentación de un sistema eléctrico (Schwartz, 2016). La medición de las diferentes variables será almacenada a una base de datos (Maria DB) usando el protocolo de comunicación MQTT. Este protocolo es útil para el monitoreo del estado del equipo en estudio. Para el caso de este proyecto, las variables medidas con el sistema permitirán correlacionar el fallo con las de instalación y el entorno actual donde está funcionando, de modo que se pueda detectar una anomalía a tiempo y de esta forma realizar planes de mantenimiento teniendo en cuenta las condiciones externas del equipo.

En la Figura 2 se presenta de manera general el servicio de imagenología donde se encuentra el Tomógrafo Axial Computarizado (TAC). Según el proveedor del equipo uno de los parámetros más sensibles en este servicio, en relación al equipo, es la variación de temperatura; por tal motivo, es clave monitorear en todo momento el estado de este parámetro.



Figura 2. Implementación del sensor de temperatura y humedad relativa al interior del servicio.

El Gantry es una de las partes más importantes del TAC; tal como se presenta en la Figura 3, esta parte del equipo se encarga de alojar los tubos de rayos X, el colimador, los detectores y todo el sistema mecánico. A partir de lo expuesto, se determina ubicar los sensores de vibración y sonido en esta parte del equipo, fundamental para detectar fallos críticos.



Figura 3. Área de ubicación de los sensores de sonido y vibración para la detección de anomalías de funcionamiento.

Por otra parte, como se puede apreciar en la Figura 4, el sistema eléctrico está compuesto por tres líneas (fases) principales de alimentación, donde suministra energía al transformador de aislamiento que sirve de protección para el equipo (TAC).

Para interconectar los sensores a una red wifi (con una velocidad de bajada de 6.41 Mbps y una velocidad de subida de 14.09 Mbps), se utilizó una tarjeta ESP8266-01, la cual gestiona la transmisión de datos de cada sensor, la comunicación con el bróker y finalmente la transmisión de la información en un intervalo de 5 segundos sobre el comportamiento de cada uno de los parámetros externos (sensores) al equipo.



Figura 4. Instalación del sensor de corriente para la medición del consumo y comportamiento de la red eléctrica del equipo.

En términos de software, la tarjeta Raspberry pi hace las veces de servidor o bróker. En este caso, se instaló mosquito el cual permite la administración de datos y mensajería entre placas. Mosquito permite ser gestionado mediante Node Red y la configuración de red tipo estrella, haciendo más eficiente la transmisión de datos de cada uno de los sensores conectados a las tarjetas ESP8266-01 en el servidor o bróker. El protocolo de comunicación MQTT permite el envío de mensajes desde uno o varios clientes (publicadores) o tarjetas ESP8266-01 hasta un servidor o bróker, (instalado en Raspberry Pi) y la visualización de las variables en la web a través de la suscripción de las cosas en la plataforma de ThingsBoard.

3. Resultados

La búsqueda del análisis de posibles fallas en equipos médicos hacer parte de una necesidad creciente en los nuevos ambientes de trabajo de ingeniería biomédica, ya que, al mejorar la detección temprana de riesgos o fallas relacionados con el funcionamiento de los equipos médicos, se busca colocar a prueba nuevas tecnologías que permitan de manera inteligente utilizar nuevas herramientas, tomando como base el análisis del comportamiento de un sistema en particular.

Paralelamente, se ha encontrado diferentes aspectos que son importantes a la hora de implementar este tipo de soluciones, como lo son la infraestructura, el sistema de refrigeración, el desempeño regular de las actividades de rutina con los pacientes, entre otras. En este contexto, la implementación de un sistema inteligente, resultado de la primera fase de implementación, se entiende como la identificación de ciertos parámetros que facilitan el análisis para generar un patrón en particular para la detección y el análisis del comportamiento de cada variable que

permite deducir diferentes medidas asociadas con cada actividad, por ejemplo, vibración el sistema mecánico, consumo de corriente en cada fase del examen.

A manera de ejemplo en la Figura 5 se muestra el comportamiento de la señal de vibración, a partir del momento en que el equipo médico comienza la toma del examen a un paciente. Esto permite tener información clave sobre la descripción de esta variable de acuerdo a la duración e intensidad de movimiento que pueda presentar en cada una de las rutinas o fases de la toma del examen; en este caso se registro la información en un tiempo de una (1) hora.

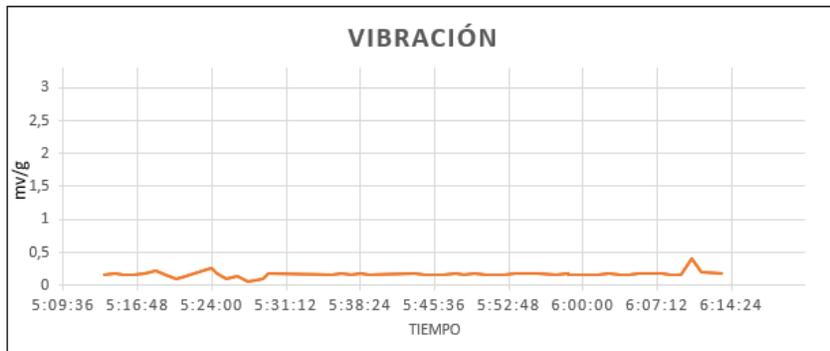


Figura 5. Muestra del comportamiento de vibración del equipo en un rango de tiempo de una hora promediando los datos enviados por el sensor cada minuto.

Por otra parte, a manera de ejemplo en la Figura 6 se presenta el comportamiento de la variable temperatura, la cual está ubicada en el servicio de TAC, permitiendo monitorear de manera constante los cambios de temperatura que existan en relación al sistema de aire acondicionado.

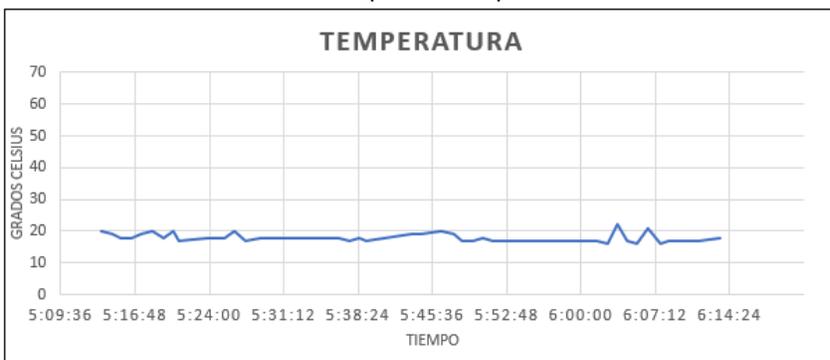


Figura 6. Muestra del comportamiento de temperatura del equipo en un rango de tiempo de una hora, promediando los datos enviados por el sensor cada minuto.

Los resultados obtenidos ayudaron sin lugar a duda a redefinir nuevos sistemas de monitorización e identificar los elementos claves como una oportunidad de mejora continua en la atención oportuna frente a las necesidades que muchos equipos médicos de alta complejidad requieren. Por otra parte, se considera importante la utilización de tecnología de bajo costo frente a los servicios que brinda dada la flexibilidad y adaptabilidad de este tipo de sistemas en diferentes entornos clínicos.

En particular, este conjunto de indicadores (vibración, sonido, temperatura, humedad, corriente) son claves en el rendimiento de usabilidad, con el fin de proporcionar al grupo de ingeniería y a

otras partes responsables del mantenimiento de los equipos médicos, contar con nuevas herramientas para el proceso de toma de decisiones frente al funcionamiento de la fase de operación y terminación de las pruebas, concluyendo en lo siguiente:

- Empoderamiento del grupo de ingeniería como herramienta de control
- Reducir los costos de oportunidad en términos de falla de equipos médicos
- Mejorar la eficiencia y la calidad del servicio de imágenes diagnósticas
- Aumentar la cantidad de servicios de IoT en otras áreas del hospital

4. Conclusiones

Esta investigación desarrolló un nuevo enfoque para el diseño e implementación de un sistema IoT que ayuda en la captura de datos a gran escala, de tal forma que permite combinar paradigmas, encontrando patrones de comportamiento de un equipo médico bajo la supervisión de diferentes variables en un ambiente hospitalario.

Este proceso se llevó a cabo en tres fases fundamentales, que ayudo a canalizar las actividades, ejecutando varios procesos en paralelo sin interferir entre sí, de tal manera que el grupo de trabajo se dividió en tareas principales evaluando la viabilidad del sistema en todo momento. La extracción de las diferentes variables objeto de estudio, se realizó en conjunto bajo el criterio del grupo de ingenieros del hospital y los investigadores de la Universidad.

Las fases de prueba del sistema permitieron identificar fácilmente los datos necesarios que permiten la identificación de la veracidad y confiabilidad de cada una de las pruebas, determinando si la solución tiene un valor real o no; permitiendo tener un panorama de los resultados relevantes, que pueden ser buenos indicadores de deterioro permitiendo prever fallos en un equipo médico.

Para concluir, estos sistemas pueden en gran medida aumentar la calidad del servicio, permitiendo el constante control y mejora en el uso de equipos médicos. Dos implicaciones directamente relacionadas con este trabajo desarrollado podrían ser: la creación de un sistema de monitoreo continuo en tiempo real, accesible e inteligente por medio de tecnología de bajo costo, integrados de una manera no invasiva.

Por otra parte, un enfoque de diseño del entorno para detectar diferentes variables por separado, su sinergia puede ser utilizado en un estudio más extenso sobre la arquitectura, características y sugerir nuevas mejoras en la conexión de objetos inteligentes.

5. Agradecimientos

Agradecimientos a la gestión administrativa del hospital y al personal de las diferentes áreas, que permitieron llevar a cabo el proyecto de manera satisfactoria; su atención y colaboración son parte de este trabajo.

6. Referencias

- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. RFID J. Vol. 22, No 7, pp. 97–114.
- Barata, D., Louzada, G., Carreiro, A., & Damasceno, A. 2013. System of acquisition, transmission, storage and visualization of pulse oximeter and ECG data using android and MQTT. Procedia Technology, 9, 1265-1272.
- Biron J. and Follett J. 2016. Foundational Elements of an IoT Solution. Consultado el 18 de junio de 2018 en https://s3.amazonaws.com/tpg-thingworx/files/uploads/20160627125233/WP_oreilly-media_foundational-elements-of-an-iot-solution_978-1-491-95097-5_EN.pdf
- Catarinucci, L., De Donno, D., Mainetti, L., Palano, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., & Tarricone, L. 2015. An IoT-aware architecture for smart healthcare systems. IEEE Internet of Things Journal, 2(6), 515-526.
- Gómez, J. E., Marcillo, F. R., Triana, F. L., Gallo, V. T., Oviedo, B. W., & Hernández, V. L. 2017. IoT For Environmental Variables in Urban Areas. Procedia Computer Science, 109, 67-74.
- Kraijak, S., & Tuwanut, P. 2015. A survey on internet of things architecture, protocols, possible applications, security, privacy, real-world implementation and future trends. In Communication Technology (ICCT), 2015 IEEE 16th International Conference on (pp. 26-31).
- Marques, G., & Pitarma, R. 2016. An indoor monitoring system for ambient assisted living based on internet of things architecture. International journal of environmental research and public health, 13(11), 1152.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. 2014. How smart, connected products are transforming competition. Harvard Business Review, 92(11), 64-88.
- Schwartz, M. 2016. Internet of Things with ESP8266. Packt Publishing Ltd. ISBN 978-1-78646-802-4
- Zallio, M., Berry, D., & Casiddu, N. 2016. Adaptive environments for enabling senior citizens: An holistic assessment tool for housing design and IoT-based technologies. In Internet of Things (WF-IoT), 2016 IEEE 3rd World Forum on (pp. 419-424). IEEE.

Sobre Los Autores

- David Alejandro Amador Arévalo: estudiante de intercambio del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Döblinger Hauptstraße en Viena, Austria. david.amador@urosario.edu.co
- Pedro Antonio Aya-Parra: Ingeniero Biomédico, Magíster en Ingeniería Electrónica. Instructor de prácticas del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. pedro.aya@urosario.edu.co
- Jefferson Sarmiento-Rojas: Ingeniero electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica. Instructor de prácticas del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. jefferson.sarmiento@urosario.edu.co

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS FALLOS EN DISPOSITIVOS MÉDICOS UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

- Daniel Alejandro Quiroga-Torres: Ingeniero Biomédico y Electrónico. Profesor Auxiliar de Carrera del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. daniel.quiroga@urosario.edu.co
- Hernán Alfredo Muñoz-Bernal: Diseñador Mecánico y Tecnólogo en Automatización, Auxiliar de Laboratorio de Ingeniería Clínica del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario. hernan.bernal@urosario.edu.co
- Antonio Miguel-Cruz: Ingeniero Nuclear, Magíster y Doctor en Bioingeniería. Post Doctor del *Hospital For Sick Children* y de la *University of Alberta*. Director del programa de Ingeniería Biomédica, Universidad del Rosario antonio.miguel@urosario.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)