

SISTEMA BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA LA MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE VARIABLES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN UN EQUIPO DE REFRIGERACIÓN DEL ÁREA DE FARMACIA DE UN HOSPITAL DE CUARTO NIVEL

Jefferson Sarmiento-Rojas¹, Angie Banesa Baquero Soto², Diana Sofía Ballesteros Coral², Pedro-Antonio Aya-Parra¹, Daniel- Alejandro Quiroga-Torres¹, Hernán Alfredo Muñoz-Bernal¹, Nidia Patricia Córdoba Hernández³, Alexandra Beltran³, Angelmiro Nuñez Cruz³.

¹ Universidad del Rosario, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia.

² Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Programa de Ing. Biomédica, Bogotá, Colombia.

³ Hospital Universitario Mayor de Méderi, Bogotá, Colombia.

Resumen

En el entorno clínico es frecuente escuchar sobre la promoción de la cultura de seguridad, principalmente enfocada al cuidado y seguridad del paciente. En este contexto, existe una gran preocupación por la falta de control y supervisión de los medicamentos en el ambiente hospitalario. Según el Ministerio de Salud y Protección Social existe un porcentaje del 19,4% de lesiones reportadas por el mal manejo que dan las instituciones de salud a los medicamentos.

La falta de control de las variables como la temperatura y humedad en el almacenamiento de los medicamentos está ligada a la alteración de las propiedades químicas de los productos farmacéuticos. El incremento de la temperatura está directamente relacionado con el aumento de la velocidad de deterioro de los medicamentos, mientras que las bajas temperaturas pueden facilitar la formación de gránulos en ciertas vacunas. Es por esto, que la falta de control de estas variables puede convertirse en la causa principal de un evento adverso comprometiendo el estado de salud del paciente y poniendo en riesgo su vida.

En el contexto de las nuevas tecnologías emergentes, el internet de las cosas (IoT) ha permitido entrelazar sistemas de comunicación con diferentes sectores industriales. Un sector que no es ajeno a este cambio tecnológico es el sector salud tanto en el cuidado de las personas como en el seguimiento control de dispositivos y equipos médicos y la construcción de hospitales inteligentes. Estos avances tecnológicos no solo están enfocados a la monitorización de pacientes de forma remota si no a crear todo un ecosistema de control y supervisión los cuales permitan garantizar la calidad de la prestación del servicio a los usuarios.

El propósito de este trabajo es implementar un sistema basado en IoT el cual permita prevenir posibles errores o fallas en la trazabilidad de la conservación de los medicamentos en el servicio de farmacia en un hospital de cuarto nivel. Esto se logra a partir de la supervisión y control del dispositivo médico que conserva la temperatura y humedad de los medicamentos permitiendo que estos mantengan sus propiedades físicas, químicas, microbiológicas, terapéuticas y toxicológicas recomendadas por el fabricante y la normatividad vigente.

El sistema implementado se basó en una arquitectura centralizada de IoT, que hace referencia a una red que sigue protocolos MQTT (Message Queue Telemetry Transport) y HTTPs

(Hypertext Transfer Protocol Secure) los cuales permitieron conectar objetos vía internet para transmitir información con el propósito de realizar comunicación inteligente entre objetos y el sistema central de información.

La implementación final del sistema de monitorización permitió obtener registro continuo de las variables de temperatura y humedad estableciendo alarmas dinámicas con la finalidad de ayudar a identificar y avisar al personal responsable sobre el comportamiento no deseado del equipo de refrigeración, logrando optimizar el registro diario de temperatura y humedad garantizando la trazabilidad del proceso.

Palabras claves: Internet de las cosas; Ingeniería clínica; Hospitales Inteligentes.

Abstract

In the clinical setting, it is common to hear about the promotion of safety culture, mainly focused on patient care and safety. In this context, there is great concern about the lack of control and supervision of medicines in the hospital environment. According to the Ministry of Health and Social Protection there is a percentage of 19.4% of injuries reported due to the mismanagement that health institutions give to medicines.

The lack of control of the variables, such as temperature and humidity in the storage of medicines, is linked to the alteration of the chemical properties of pharmaceutical products. The increase in temperature is directly related to the increase in the speed of medicines deterioration, while low temperatures can facilitate the formation of granules in certain vaccines. For this reason, the lack of control of these variables can become the main cause of an adverse event compromising the health status of the patient and putting their lives at risk.

In the context of the new emerging technologies, the Internet of Things (IoT) has allowed the interlocking of communication systems with different industrial sectors. A sector that is no stranger to this technological change is the health sector, both in the care of people and in the monitoring of medical devices and equipment, and the construction of smart hospitals. These technological advances are not only focused on remotely monitoring patients, but also creating an entire ecosystem of control and supervision which will guarantee the quality of the service provided to users.

The purpose of this work is to implement a system based on IoT which allows to prevent possible errors or failures in the traceability of the medicines conservation in the pharmacy area in a fourth level hospital. This is achieved through the supervision and control of the medical device that preserves the temperature and humidity of the medications allowing them to maintain their physical, chemical, microbiological, therapeutic and toxicological properties recommended by the manufacturer and current regulations.

The implemented system was based on a centralized IoT architecture, which refers to a network that follows MQTT (Message Queue Telemetry Transport) and HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) protocols. These protocols allowed connecting objects via the internet to transmit information for the purpose of intelligent communication between objects and the central information system.

The final implementation of the monitoring system allowed continuous recording of the temperature and humidity variables by establishing dynamic alarms in order to help identify and warn the responsible personnel about the unwanted behavior of the refrigeration equipment. It

was possible to optimize the daily record of temperature and humidity, guaranteeing the traceability of the process.

Keywords: Internet of things; Clinical engineering; Smart Hospitals

1. Introducción

En la actualidad, la promoción de una cultura de seguridad del paciente constituye el principal objetivo de las entidades prestadoras de salud, brindar una atención segura, sensibilizar a los diferentes actores y coordinar acciones tecnológicas que enfrenten los principales problemas en el entorno de la salud, son los grandes retos que enfrentan la mayoría de los hospitales (Maritza Roa, 2012).

En Colombia, el Ministerio de Salud y Protección Social define la seguridad del paciente como “El conjunto de elementos estructurales, procesos, instrumentos y metodologías basadas en evidencias científicamente probadas que propenden por minimizar el riesgo de sufrir un evento adverso en el proceso de atención de salud o de mitigar sus consecuencias” (Maritza Roa, 2012, p. 10) .

Los errores relacionados con medicamentos constituyen la principal causa de eventos adversos en los hospitales. Según estadísticas del Ministerio de Salud y Protección Social, representan el 19,4% del total de lesiones que producen discapacidad o muerte (Ministerio de Salud, 2009). Bajo la ley colombiana, la resolución 1403 de 2007 del Ministerio de Protección Social es la encargada de establecer los lineamientos básicos de la farmacovigilancia, la cual se puede entender como todas las actividades encaminadas a la detección, evaluación y prevención de los efectos adversos de los medicamentos o de cualquier otro problema relacionado con ellos (Sabogal Carmona et al., 2013).

El grado en que se ven modificadas las propiedades de los medicamentos es diferente y depende de tres variables principalmente: la temperatura, la humedad y el tiempo de permanencia de los medicamentos bajo condiciones diferentes a las indicadas por el fabricante. Según el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), el rango óptimo en el cual debe permanecer la temperatura para conservar las propiedades de los productos farmacéuticos termolábiles se establece de forma genérica entre los 2°C y los 8°C (Ortega Molina et al., 2007). Cuando se trabaja con productos farmacéuticos termolábiles, los servicios encargados de la gestión de los medicamentos deben presentar ante las autoridades de vigilancias y control la validación y trazabilidad de la cadena de frío.

Generalmente el registro de los valores de estas variables se realiza de forma manual por los encargados del servicio en el cual esté ubicado el equipo de refrigeración, lo que genera el registro de medidas subjetivas y falta de veracidad y confianza en los informes presentados. Por lo general, no se cuenta con un registro constante de los datos, impidiendo conocer una trazabilidad confiable de las variables en el tiempo.

El propósito principal de este trabajo es desarrollar un prototipo de solución tecnológica que permita la supervisión y registro de las temperatura y humedad de un equipo de refrigeración, ubicado en el servicio de farmacia del Hospital Universitario Mayor Méderi (HUM) en la ciudad de Bogotá, utilizando como base fundamental el concepto de Internet de las cosas.

2. Arquitectura Propuesta.

El refrigerador en donde se implementó la solución IoT es un refrigerador para farmacias de referencia HYC-260 (ver figura 1) que garantiza temperaturas entre los 2-8°C. El tipo de enfriamiento es de tipo forzado y algunas características especiales son: la generación de alarmas en sitio indicando temperaturas altas/bajas, fallo de alimentación, error del sensor, batería baja y puerta abierta.



Figura 1. Refrigerador de farmacia Haier modelo HYC-260.

Para el diseño del prototipo funcional en este proyecto fue necesario seleccionar un sensor SHT11 que cumpliera con las condiciones de funcionamiento del equipo a monitorear, es decir que en sus rangos de trabajo estuvieran valores entre 2-8 °C y que su margen de error de medida no fuera significativo. En la tabla I, se describen las características de funcionamiento de tres sensores encontrados en el mercado, los cuales cumplen con los requerimientos de medición en simultaneo de las variables temperatura y humedad.

Tabla 1. Caracterización de los sensores evaluados.

Parámetro		SHT11	DHT11	DHT22	Unidad
Temperatura					
Resolución	Min	0,04	1	0,1	°C
	Tip	0,01	1	0,1	
	max	0,01	1	0,1	
Rango	Min	-40	0	-40	°C
	max	123,8	50	80	
Exactitud	Tip	± 0,4	± 2	± 0,5	°C
	Min	5	6		
Tiempo de Rta	Min	5	6		s
	max	30	30	<10	
Humedad					
Resolución	min	0,4	1	0,1	%RH
	tip	0,05	1	0,1	
	max	0,05	1	0,1	
Rango	min	0	30	0	%RH
	max	100	90	99,9	
Exactitud	tip	± 3	± 4	± 3	%RH
General					
Alimentación	min	2,4	3,3	3,3	V
	tip	3,3		5	
	max	5,5	5	5,5	
Consumo	sleep	2		15	µW
	midiendo	3		500	
	promedio	90		300	
Precio mercado		72601	7644	16268	\$

Una vez caracterizado el refrigerador HYC-260 y el sensor de medida se procedió a realizar la implementación del sistema IoT el cual permitió la captura y almacenamiento seguro de los datos. De igual manera, se estableció que el tipo de arquitectura que se implementó en el hospital es de tipo centralizado por el tipo de información y configuración de red que se encuentra en el hospital, como se puede observar en la figura 2.

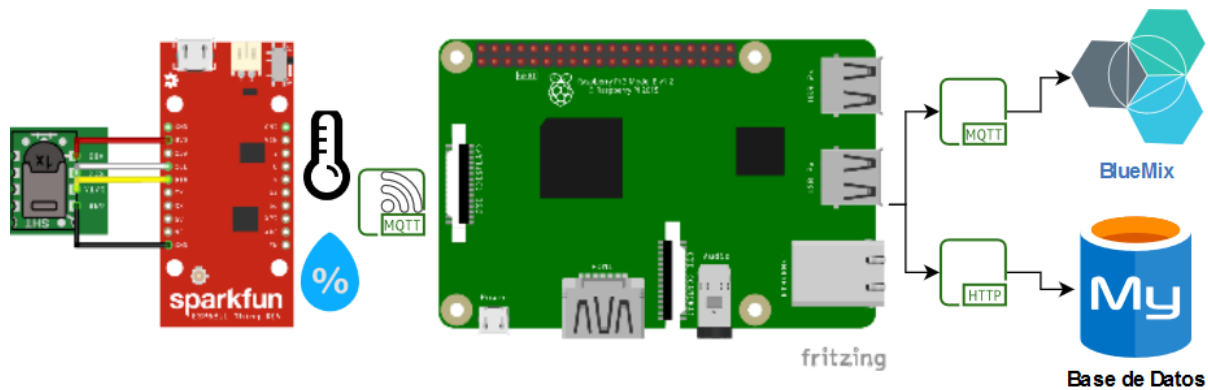


Figura 2. Refrigerador de farmacia Haier modelo HYC-260.

El sensor de temperatura y humedad SHT11 es conectado a la tarjeta de desarrollo ESP8266, que se caracteriza por tener conexión fácil, segura y confiable a internet vía Wifi (Kodali & Soratkal, 2016). Una vez realizada la lectura de temperatura y humedad con una frecuencia de muestreo de 8 segundos, la información de estas variables son publicados utilizando el protocolo de comunicación MQTT (Naik, 2017) en los tópicos “temperatura y humedad” creados en el Broker local, el cual se encuentra implementado en una Raspberry pi 3 (Jutadhamakorn et al., 2017).

El seguimiento y registro de los datos de temperatura y humedad con el sistema de monitorización también nos permitió crear un sistema de alarma para identificar si la temperatura estaba por encima o por debajo de los rangos óptimos de trabajo de la cadena de frío, es decir de los 2°C a los 8°C. Cada vez que la temperatura presentaba variaciones altas,

se debía principalmente a la apertura de puertas del refrigerador, mientras más correos se enviarán durante los primeros 15 minutos seguidos al primer correo, significaba que el refrigerador había estado abierto por mucho tiempo o presentaba temperaturas bajas. Se enviaba un correo alertando al personal encargado de este proceso.

La función del Broker es garantizar la calidad de los datos adquiridos antes de ser publicados en la nube, este proceso permite que si existe un error en la lectura del sensor o existe alguna pérdida de datos estos sean depurados y corregidos por este para su posterior publicación en la nube. Es por esto que a este tipo de arquitecturas (ver figuras 2) se les conoce como de tipo centralizado. Una vez la información es validada por el Broker, este se encarga de publicar en la plataforma Bluemix de IBM los valores de temperatura y humedad (Kobylnski, Bennett, Seto, Lo, & Tucci, 2014) utilizando el protocolo de comunicación MQTT. Una vez recibidos los datos en la nube, se inician los procesos de generar una interfaz multiplataforma para observar el comportamiento de temperatura y humedad y generación de alertas vía email correspondientes al personal asistencial en caso de existir alguna alerta son ejecutados.

Para garantizar el almacenamiento seguro de los datos en el sistema, se implementó una base de datos de tipo relacional implementada en MySQL (Bell, 2016), alojada en un servidor externo. Para el almacenamiento de la información en la base de datos, el Broker por medio del protocolo HTTP junto con un certificado de seguridad SSL (Naik, 2017) se comunica y transfiere la información a una Api, creada en un lenguaje de programación del lado del servidor PHP, la cual se encarga de almacenar la información en la base de datos.

3. Resultados.

La página web se diseñó por medio de la plataforma de IBM Bluemix como se muestra en la figura 2, donde se puede observar el registro de la temperatura y humedad del interior del refrigerador por dos formatos, numérico y gráfico; así mismo, conocer las características del refrigerador como la ubicación, serie, placa e identificar la fecha en la que se están registrando los datos la interfaz web puede verse en la figura 3.



Figura 3. Interfaz web de monitoreo y alertas generadas.

De igual manera el servicio de alertas función de acuerdo con lo establecido es decir se logra identificar cuando la temperatura o humedad estaban por encima o por debajo de los rangos óptimos de trabajo de la cadena de frío, en la figura 3 se puede observar el correo que se genero al presentarse una alerta con la variable temperatura.

En la figura 4 se presenta la distribución normal de las variables de temperatura y humedad en un diagrama de cajas. En el que se puede observar que para las dos variables se presentaron datos atípicos para las mediciones generando alertas al personal asistencial encargado del área de farmacia.

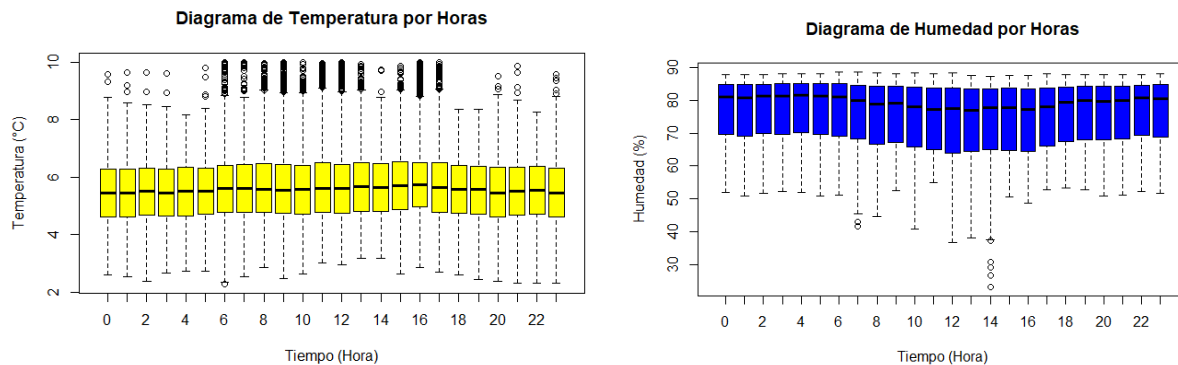


Figura 4. Diagrama de cajas de Temperatura y Humedad por hora.

Los valores obtenidos fueron analizados con un diagrama de densidad, donde se puede evidenciar dos zonas de mayor concentración de valores de Humedad y Temperatura. La primera zona se ubica en la parte superior donde concentra valores en un rango de temperatura entre los 5 y 10 °C con una humedad mayor al 80% de la humedad relativa. Por otro lado, en la parte inferior existe una densidad considerable de valores con una temperatura menor a 6 °C y una humedad oscilando entre 60 y 75% HR.

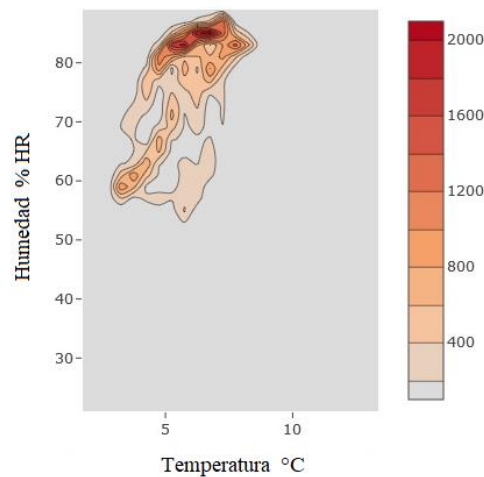


Figura 2. Gráfico de densidad 2D de Temperatura y Humedad.

4. Conclusión.

El sistema implementado mostró resultados satisfactorios para el hospital ya que se logro obtener un registro confiable y seguro de las variables de temperatura y humedad del congelador. De igual manera, se logró garantizar una trazabilidad de las variables para efectos de auditorias y controles de las entidades correspondientes. Sin embargo, para entregar detalles de exactitud, precisión, sensibilidad del sistema es necesario la recolección de mas datos y el contraste de estas con el debido equipo patrón para las variables de temperatura y humedad. Además, se logro implementar un sistema de alertas tempranas el cual es de gran

ayuda para detectar e informar fallos al personal encargado con el fin de que se tomen acciones a tiempo que permitan el correcto almacenamiento de los medicamentos y de esta manera dar cumplimiento con la normatividad.

5. Referencias.

- Bell, C. (2016). MySQL for the Internet of Things. Apress.
- Cobos Campos, R., Salvador Collado, P., Gómez Gener, A., & Boj Borbones, M. (2006). Estabilidad máxima de los medicamentos termolábiles fuera de nevera. *Farmacia Hospitalaria*, 30(1), 33–43. [https://doi.org/10.1016/S1130-6343\(06\)73941-1](https://doi.org/10.1016/S1130-6343(06)73941-1)
- Jutadhamakorn, P., Pillavas, T., Visoottiviset, V., Takano, R., Haga, J., & Kobayashi, D. (2017). A scalable and low-cost MQTT broker clustering system. 2017 2nd International Conference on Information Technology (INCIT), 1–5. <https://doi.org/10.1109/INCIT.2017.8257870>
- Kobylinski, K., Bennett, J., Seto, N., Lo, G., & Tucci, F. (2014). Enterprise Application Development in the Cloud with IBM Bluemix. *Proceedings of 24th Annual International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 276–279. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2735522.2735552>
- Kodali, R. K., & Soratkal, S. (2016). MQTT based home automation system using ESP8266. 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 1–5. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2016.7906845>
- Maritza Roa, M. de la P. S. (2012). Lineamientos para la implementación de la Política de Seguridad del Paciente. Buenos y Creativos.
- Ministerio de Salud, M. de S. (2009). GUÍA TÉCNICA “BUENAS PRÁCTICAS PARA LA SEGURIDAD DEL PACIENTE EN LA ATENCIÓN EN SALUD.” Ministerio de Salud.
- Naik, N. (2017). Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. 2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SysEng.2017.8088251>
- Ortega Molina, P., Astasio Arbiza, P., Albaladejo Vicente, R., Arrazola Martínez, P., Villanueva Orbáiz, R., & Juanes Pardo, J. R. de. (2007). Mantenimiento de la cadena del frío para las vacunas: una revisión sistemática. *Gaceta Sanitaria*, 21, 343–348. <https://doi.org/10.1590/S0213-91112007000400014>
- Sabogal Carmona, J., Diaz Rodriguez, E., & Espinosa Espinosa, I. (2013). Fundamentos de farmacovigilancia. Bogotá DC.
- Sánchez, G. A. C., & Saavedra, E. F. C. (2012). Implementación de las Buenas Prácticas de Almacenamiento en el almacén especializado de medicamentos del Hospital Belén de Trujillo, 2011. *UCV-SCIENTIA*, 4(1), 56–63.

Sobre los autores

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

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

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