

Diseño de un sistema internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de la presión arterial



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 18/ Edición N.35
Enero-Junio de 2021
Reia35010 pp. 1-15

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

✉ ALEJANDRO QUIROZ ESTRADA¹
GUSTAVO ALONSO ACOSTA AMAYA¹
RÓBINSON ALBERTO TORRES VILLA²

1. Politécnico Jaime Isaza Cadavid
2. Universidad EIA

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Quiroz Estrada, A.; Acosta Amaya, G.A.; Torres Villa, R.A. (2021). Diseño de un sistema internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de la presión arterial
Revista EIA, 18(35), Reia35010.
pp. 1-15.
<https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1474>

✉ Autor de correspondencia:

Quiroz Estrada, A. (Alejandro):
Politécnico Jaime Isaza Cadavid
Correo electrónico:
alejandro_quiroz91132@elpoli.edu.co

Recibido: 21-03-2020
Aceptado: 21-12-2020
Disponible online: 06-01-2021

Resumen

Este artículo describe los procesos de diseño y construcción de un equipo biomédico IoT para el monitoreo de la presión arterial de pacientes en su lugar de residencia. El equipo, de fácil operación, puede ser usado directamente por el paciente después de recibir una breve instrucción por parte del personal sanitario. De esta manera se reducen los estados de agitación y estrés que suelen afectar esta variable fisiológica. En la construcción del prototipo se incorporan seis etapas de diseño que van desde la circuitería electrónica requerida para la captación y acondicionamiento analógico de la señal, hasta la inter-conectividad de dispositivos y transferencia de datos a la nube que propone el modelo IoT. Las pruebas y experimentos de validación sugieren que el prototipo cuenta con el potencial de brindar una solución al monitoreo de la presión arterial en el hogar, reduciendo los desplazamientos de los pacientes a los centros hospitalarios.

Palabras Claves: API, presión arterial, método oscilométrico, servidor web IoT.

Design of an internet of things (IoT) system for blood pressure monitoring

Abstract

This article describes the design and building processes of an IoT biomedical equipment for monitoring the blood pressure of patients at their place of residence. The equipment, easy to operate, can be used directly by the patient after receiving a brief instruction from healthcare personnel. In this way, the states of agitation and stress that usually affect this physiological variable are reduced. In the prototype building, six design stages are incorporated, ranging from the electronic circuitry required for analog signal acquisition and conditioning, to the inter-connectivity of devices and data transfer to the cloud proposed by the IoT model. Valida-

tion tests and experiments suggest that the prototype has the potential to provide a solution to monitoring blood pressure at home, reducing the displacement of patients to hospital centers.

Key Words: API, blood pressure, IoT web server, oscillometric method.

I. Introducción

El monitoreo y registro de variables fisiológicas, resulta esencial en la medicina moderna. Tal es el caso de la presión arterial, una variable asociada a problemas graves de salud como ataques cardíacos y accidentes cerebro-vasculares. El diagnóstico y tratamiento de patologías asociadas a esta variable, requiere de medidas frecuentes que implican el desplazamiento regular del paciente a centros clínicos y hospitalarios.

Por otra parte, la presión arterial exhibe un comportamiento dinámico con una significativa variabilidad en el tiempo, Lehman et al. (2015), y se ve notablemente afectada por estados de agitación, aprehensión e impaciencia, frecuentes en pacientes que ven alterada su rutina diaria.

En tal sentido, conviene reducir la incidencia de estos factores en el registro de esta variable fisiológica. Más aun si se tienen en cuenta estadísticas de la Organización Mundial de la Salud - OMS, según las cuales en 2018 cerca de 1.130 millones de personas en el mundo presentaron algún tipo de alteración de la presión arterial, Ordunez (2018).

Básicamente se cuenta con dos métodos para determinar la presión arterial, que se emplean según la condición del paciente y las necesidades de atención médica. El directo es un método invasivo, consiste en introducir un catéter dentro de una arteria para registrar el valor de la presión arterial, Cuesta (2004). Este método es utilizado en cuidados intensivos e investigaciones clínicas. Por otra parte, el método indirecto se utiliza en procedimientos no invasivos, y se dividen a su vez en los métodos de pulso, auscultatorio y oscilométrico, González & Olvera (2013). La gran mayoría de dispositivos automáticos y semiautomáticos que se consiguen en el mercado emplean este último.

En las últimas décadas la ciencia médica ha venido incorporando diferentes tecnologías para el desarrollo de tratamientos más seguros y efectivos. La electrónica para la captación, acondicionamiento y despliegue de variables fisiológicas, Big Data y analítica para procesar grandes volúmenes de datos de diferentes fuentes, e IoT (Internet of Things) para superar las limitaciones de tiempo y lugar de la consulta médica como mecanismo único de interacción médico-paciente, entre otras. De manera particular, la tecnología IoT ha hecho posible la supervisión remota de pacientes, aumentando su compromiso y satisfacción a medida que interactúa con su médico. Adicionalmente ayuda a reducir los desplazamientos y re-ingresos al hospital, Nasiri et al. (2019) y Rodrigues et al. (2018).

II. Metodología

En el desarrollo de este trabajo se llevó a cabo un estudio exhaustivo de la variable fisiológica de interés. Se consultó a expertos del área biomédica, lo que facilitó la selección de los componentes electrónicos y dispositivos biomédicos requeridos en las fases de diseño y construcción de un prototipo funcional de equipo para el monitoreo de la presión arterial.

Se consideraron varias topologías circuitales para el acondicionamiento analógico de la señal biológica. Basados en el modelo IoT se consideraron diferentes alternativas para la implementación del algoritmo oscilométrico y la interconectividad de dispositivos. La placa IoT elegida cuenta con arquitectura abierta que incorpora un procesador ARM con Linux embebido.

Se adelantó una revisión sistemática de algunas arquitecturas para la implementación de ecosistemas IoT. Finalmente, una vez concluida la fabricación del prototipo, se realizaron numerosas pruebas para la validación experimental del equipo implementado.

III. Aspectos fisiológicos de la presión arterial

El encargado de transportar, bombear y distribuir la sangre por todo el cuerpo es el sistema circulatorio, conformado por una serie de conductos como arterias, venas, capilares, vasos linfáticos y de otros órganos como el corazón. El corazón es el órgano central del sistema circulatorio formado por cuatro cavidades, su peso es entre 250 g en mujeres y 300 g en hombres, OCEANO (1996). Su ciclo se compone de dos fases, sístole y diástole, además presenta un ciclo cardiaco constante y dura menos de un segundo, para frecuencias cardíacas mayores a 60 pulsaciones por minuto. En la fase diastólica se relajan los ventrículos y se llenan de sangre, y en la sistólica se contraen los ventrículos con el fin de eyectar la sangre que contienen, Fundación BBVA (2009).

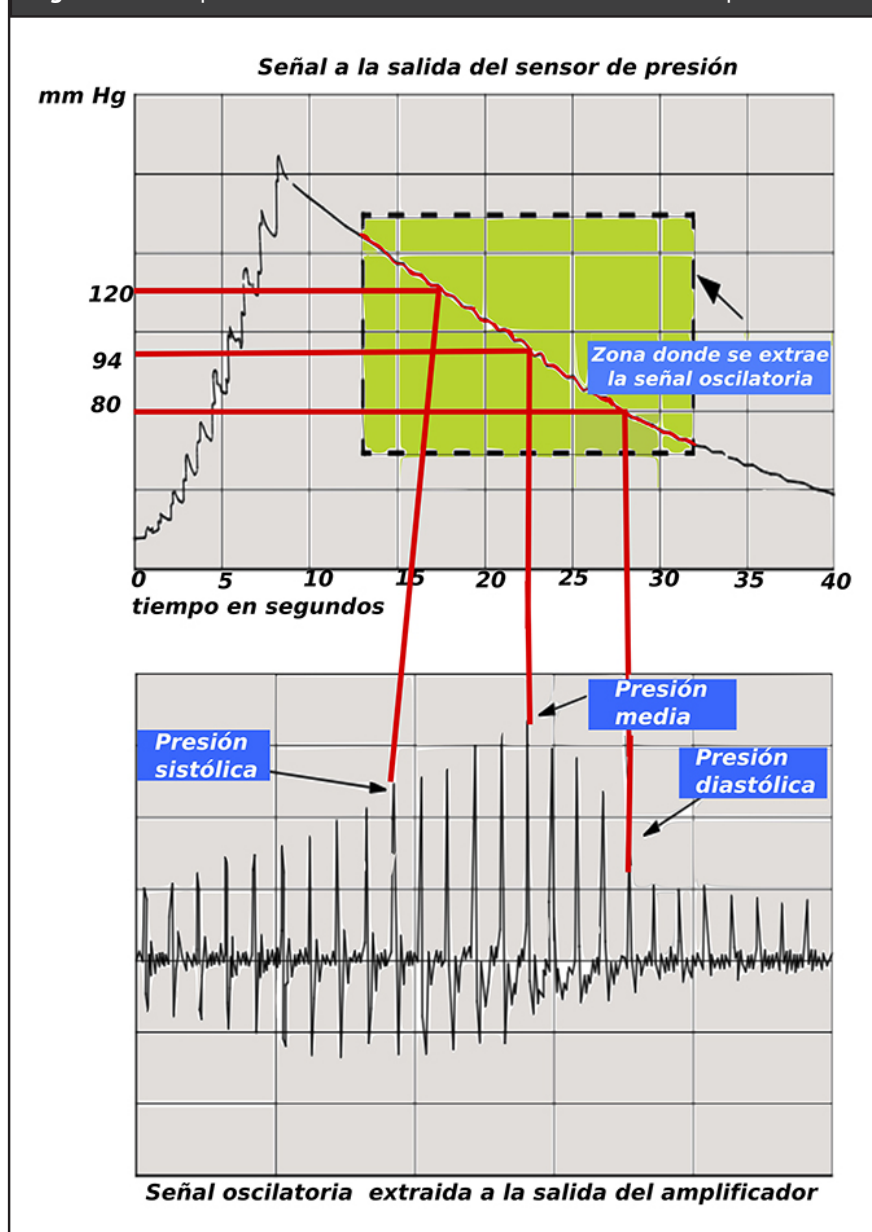
A. Método oscilométrico

Este método es utilizado en sistemas semiautomáticos y automáticos para realizar la prueba de presión arterial. La base de este método es observar los cambios de presión que ejerce un brazalete inflable con el fin de calcular los valores de presión media, sistólica y diastólica, González & Olvera (2013). El procedimiento en parte es igual al auscultatorio, consiste en colocar un brazalete con oclusión en el brazo izquierdo del paciente a la altura del corazón, a demás se conecta a una bomba de aire que reemplaza el inflado manual que realiza la perita del brazalete y a un sensor que mide los cambios de presión. Dicho brazalete se infla hasta una presión aproximada de 200 mmHg, mayor a la presión sistólica típica, una vez alcanza esta presión, se realiza un desinflado lento y constante. A medida que se desinfla el brazalete y se acerca al valor de presión arterial sistólica, las pulsaciones crecen en amplitud, hasta alcanzar el pico más alto correspondiente a la presión arterial media (PAM), Batista et al. (2001).

Para el cálculo de los valores de presión arterial sistólica y diastólica se toma la presión media o PAM como valor de referencia, que según la literatura los porcentajes para determinar los valores de presión varían según el desarrollador del equipo biomédico, al igual que el algoritmo. El procedimiento en este trabajo para calcular la presión sistólica y diastólica se hace de la siguiente manera. Para la presión sistólica se toma el valor más cercano al 70% con respecto a la PAM, dicho dato se obtiene antes del pico más elevado y para la presión diastólica se toma el dato después de la PAM que este más cercano al 30% con respecto a esta presión de referencia.

En la Fig. 1. se muestra la descripción gráfica del método oscilométrico.

Figura 1. Descripción del método oscilométrico. Fuente: modificado por el autor



B. Descripción del prototipo

Para el dispositivo implementado se diseñaron 6 etapas, La primera es la carga de alimentar eléctricamente todo el dispositivo, la segunda etapa esta compuesta por tres dispositivos, brazalete, bomba de aire y electroválvula, los cuales se encargan del inflado y desinflado del brazalete.

La tercera etapa realiza el sensado de la señal utilizando el sensor de presión diferencial MPX5050DP de la empresa NXP, cuyo rango de operación es de 0 a 50 Kpa, alimentación de 5 V, voltaje de salida es de 0.2 V a 4.7 V, y el error máximo permitido de 2.5% entre 0 °C y 85 °C. La función de transferencia que entrega el fabricante es la siguiente:

$$V_{out} = V_s * (0.018 * P(Kpa) + 0.04) \pm error \quad (1)$$

Donde:

$$V_s = 5.0 V$$

La función de transferencia nominal:

$$V_{out} = V_s * (0.018 * P(Kpa) + 0.04) \pm (er\ de\ p * Factor\ de\ temp * 0.018Vs) \quad (2)$$

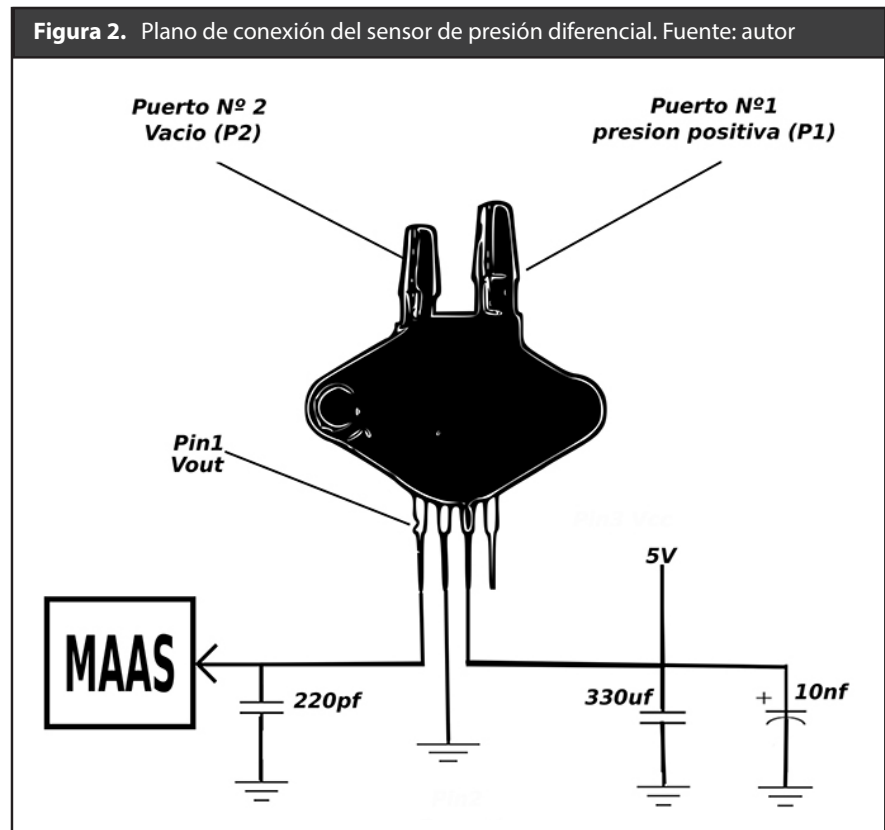
Donde:

$$P = \text{presión en el brazalete}$$

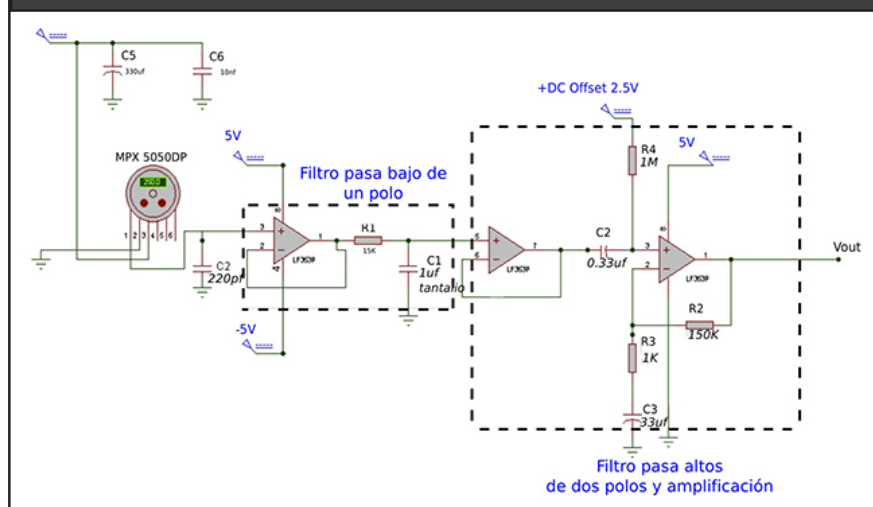
$$er\ de\ p (\text{Error de presión máximo}), \text{ entre } (0 - 50 Kpa) = \pm 1.25 Kpa.$$

$$\text{Factor de temperatura entre } (0^\circ - 85 C^\circ) = 1$$

En la Fig. 2. se muestra el plano de conexión del sensor de presión MPX5050DP.



Para la siguiente etapa se diseña un módulo de acondicionamiento analógico de la señal de presión arterial (MAAS), con el correspondiente filtrado y amplificado para la adquisición, procesamiento y acondicionamiento de la señal biológica, NXP (2012). En la Fig. 3. se muestra el esquema del MAAS.

Figura 3. Diagrama de conexión del MAAS. Fuente: autor

En la etapa de procesamiento digital llegan las señales procedentes de la etapa anterior a las entradas análogas del sistema IoT embebido, Onion Corporation (2020), y se realiza la conversión análogo - digital para poder calcular los valores de presión media, sistólica y diastólica.

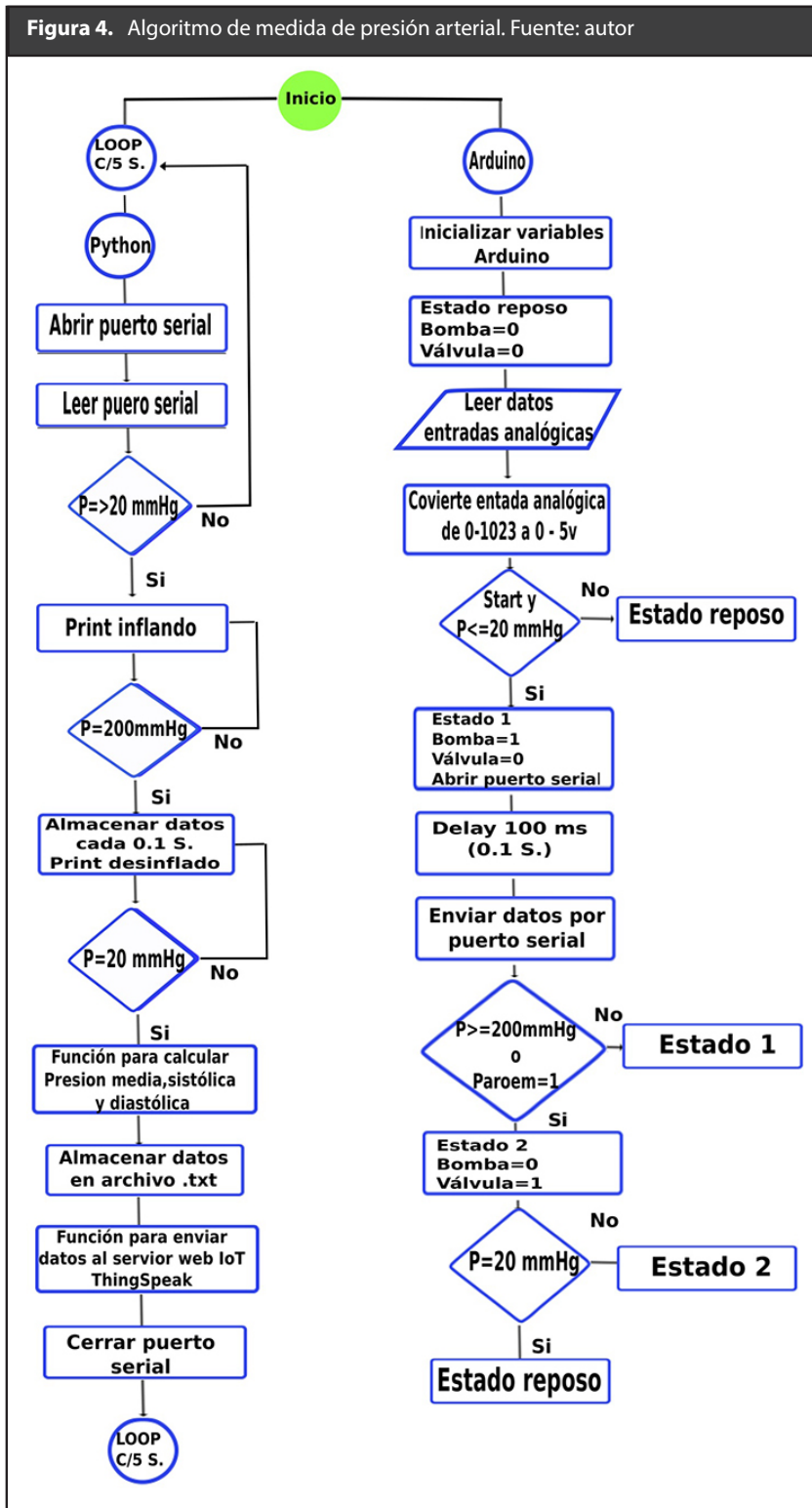
En la última etapa se envían los datos de presión sistólica y diastólica obtenidos de manera inalámbrica y autónoma al servidor web IoT, donde se realiza el almacenamiento y gestión de la información de los pacientes, con la debida notificación tanto al usuario como al personal médico, informando que los datos han sido alojados en el servidor.

C. *Algoritmia del sistema*

Para el desarrollo y el ajuste del algoritmo se realiza una serie de pruebas. En la primera, por medio de dos potenciómetros se simula un voltaje de entrada procedente del filtro pasa bajos y pasa altos, con el fin de verificar que los datos si llegan al puerto y que se realiza la conversión análogo - digital de la información para ser leída por el sistema embebido. Con la otra prueba a partir de una base de datos suministrada por el experto en el área biomédica se calibra el algoritmo. La señal que recibe el sistema embebido en términos de voltaje es aproximadamente 0.2 V a una presión de 0 Kpa, y 4,7 V a 50 Kpa.

La información procedente de los filtros se aloja en dos vectores, en el primer vector (arreglo 1) se almacenan los datos de la señal oscilatoria para identificar el máximo valor correspondiente a la presión de referencia o PAM. A partir de este valor basados en método oscilométrico se identifica el valor mas cercano al 70% equivalente a la presión sistólica y el 30% que equivale a la diastólica. Con los datos obtenidos en el arreglo 1, se identifica su valor en ese mismo instante de tiempo en el arreglo 2, estos serán los valores pertenecientes a cada presión. Debido a que el desarrollo se realiza en un procesador monoplaca IoT con Linux embebido la automatización de los procesos y las tareas programadas del dispositivo se hacen a través de algunas herramientas como el bootup/startup, Core electronics (2018). Con esta herramienta se lanza un script de saludo inicial, el estado del sistema mostrado por medio del

display, y ejecuta el algoritmo presión arterial. Con el Cron, que es otra forma de automatizar tareas se ejecuta un algoritmo del estado del tiempo cada 15 minutos y con los callbacks se llaman algunas funciones o subprogramas. En la Fig. 4. se muestra el algoritmo oscilométrico y las tareas automatizadas.



D. Arquitectura IoT

Dentro del ecosistema IoT son diversas las arquitecturas que se proponen debido a los diversos proveedores de servicios y dispositivos que lo componen. Sin embargo, hay una base o pilar para construir ecosistemas simples o con mayor robustez, según sea la necesidad y la aplicación para desarrollar. Algunas de las características fundamentales de una arquitectura IoT son la interconectividad, servicios relacionados con objetos, heterogeneidad, cambios dinámicos y la escalabilidad. Al igual los dispositivos IoT deben contar con ciertos requisitos para que puedan disponer de capacidades de comunicación tales como la comunicación basada en la identificación, compatibilidad, capacidades basadas en la ubicación, seguridad, protección de la privacidad y en algunos casos autoconfiguración, Cobos (2016).

E. Plataformas software

Existen múltiples alternativas para almacenar, analizar y visualizar los datos recolectados por los diversos sensores dentro de una arquitectura IoT, una de ellas son las plataformas software o servidores web IoT. La elección del servidor dependerá de las necesidades, los requerimientos y la experticia del desarrollador, puesto que algunas son orientadas a la educación y otras al ámbito profesional. Algunas ofrecen un ecosistema completo tanto de software y hardware, otras en cambio son privadas, con un cargo o costo por el uso de su arquitectura. En las de código abierto el desarrollador puede elegir los dispositivos con los que desea formar su red IoT. Dentro de las plataformas libres podemos encontrar soluciones como ThingSpeak, FIWARE, openMTC, SiteWhere y Webinos, cada una de ellas con sus particularidades y diferencias. Así mismo se presentan soluciones privadas como AWS IoT, IBM's Watson Plataforma y Samsung's Smart Things, Champaneria & Nakhuva (2015).

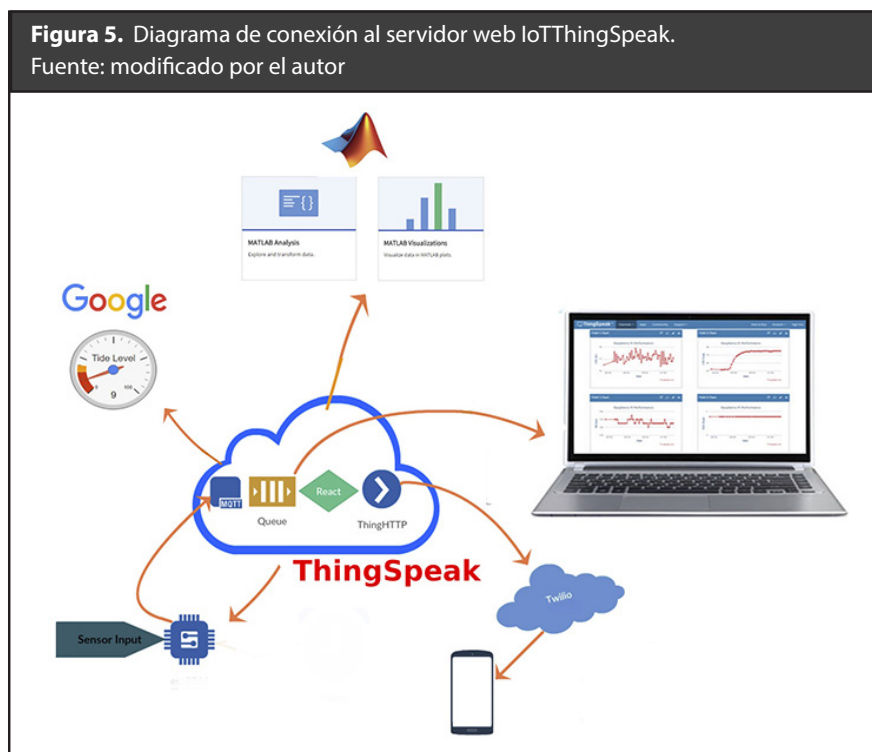
F. Interfaz de programación de aplicaciones (API)

Una API es una serie de comandos y funciones ya predefinidas que permiten crear programas y/o aplicaciones para ciertos sistemas o ecosistemas. Su función principal es visualizar, manipular y analizar los datos, simplificando en gran medida el trabajo de los desarrolladores puesto que no requieren iniciar su desarrollo desde cero, permitiéndoles la conexión al ecosistema de objetos y la interconexión entre los dispositivos, logrando así una comunicación inteligente entre los sensores y las aplicaciones. Otra de las ventajas del uso de las API es que permiten la conexión de dos o varias aplicaciones de diferentes desarrolladores para darle un valor o servicio agregado a su aplicación, por ejemplo, la integración de servicios de geolocalización haciendo uso de la API de Google, pagos en línea por medio de API bancarias, API de redes sociales, entre otras, Claus (2016) y Bose et al. (2018).

Para este proyecto se utilizó el servidor web IoT ThingSpeak, una aplicación IoT de código abierto diseñada sobre una API que permite almacenar y recuperar los datos obtenidos por los sensores u objetos inteligentes utilizando el protocolo HTTP a través de una red de área local, Gómez, Oldenhof & Teernstra (2014). Algunas de las características que la hacen como una de las mejores aplicaciones web son las API, disponibles de una manera amigable, y abierta para que el desarrollador pueda modificar su código fuente y poderlo descargar a su propio servidor.

ThingSpeak está compuesto por un espacio de desarrollo de aplicaciones web de código abierto basado en Ruby, además cuenta con APIs REST full y MQTT. La

visualización de la información se puede hacer por medio de canales públicos y privados. Cuenta con integración de Matlab que permite realizar scrips para visualizar y analizar la información, de redes sociales como Twitter. Otras herramientas como React, TimeControl y TweetControl, se utilizan para la ejecución de acciones basadas en condicionales y para la manipulación remota de dispositivos, Lourerio (2015) y Vélez (2019). En la Fig. 5. se muestra el diagrama de conexión al servidor web IoT ThingSpeak.



Empleando una de las herramientas que tiene este servidor ThingSpeak, se hace uso de React. Con esta herramienta se lanza una petición por medio de HTTP, para que cada vez que el paciente se realice una nueva toma de presión arterial sea notificado tanto el usuario como al personal médico vía e-mail. En caso que se presente una presión arterial fuera de los rangos normales se enviará un alerta notificando al médico la eventualidad. Para darle mayor robustez a la herramienta React se enlazó con la aplicación web IFTTT (If This Then That), Mathworks (2020). Dicha aplicación permite la automatización de tareas y procesos como automatismos para redes sociales, asistentes de voz, sistemas domóticos, envío de correos electrónicos, llamadas y mensajes de texto por medio de la integración de lo que la empresa denomina recetas o applets.

III. Resultados

A continuación, se muestran algunos resultados obtenidos con el prototipo diseñado. La señal biológica se obtuvo por medio del simulador de presión arterial y signos vitales BP PUPM 2 NIBP, Fluke (2019). Los datos adquiridos fueron enviados por el dispositivo construido de manera automática al servidor web IoT para el alojamiento y gestión de la información.

En la Tabla I se muestran los datos obtenidos a partir de la simulación de un paciente con taquicardia.

Tabla 1. Simulación de un paciente con taquicardia

Taquicardia 120/105 (110) 130 BPM 0.40 CC				
UNIDADES (mmHg)				
Prueba	1	2	3	4
Prototipo	108.34/1 02.5 mmHg	118.34/1 02.5 mmHg	115.84/1 05 mmHg	121.67/1 04.17 mmHg

Los datos de la Tabla II corresponden a la simulación de un paciente saludable.

Tabla 2. Simulación de un paciente saludable

Saludable 120/80 (93) 75 BPM 0.68 CC UNIDADES				
(mmHg)				
Prueba	1	2	3	4
Prototipo	125.01/7 7.50 mmHg	126.67/8 4.17 mmHg	116.74/7 4.17 mmHg	125.01/7 7.50 mmHg

Para el modo geriátrico, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla III.

Tabla 3. Simulación de un paciente geriátrico

Geriátrico 150/110 (123) 95 BPM 0.40 CC				
UNIDADES (mmHg)				
Prueba	1	2	3	4
Prototipo	135.01/11 9.10 mmHg	150.01/1 15 mmHg	153.34/10 9.17 mmHg	156.67/11 4.17 mmHg

Tabla 4. Datos obtenidos en hombres y mujeres mayores de 50 años

Sexo	Prueba 1.	Prueba 2.
Masculino	140/89 mmHg	141/88 mmHg
Femenino	135/83 mmHg	137/81 mmhg
Femenino	144/86 mmHg	145/87 mmHg
Femenino	136/84 mmHg	138/86 mmHg

En la Tabla V se muestran los resultados obtenidos en pacientes (hombres y mujeres) cuyas edades están entre los 18 y 33 años.

Tabla 5. Datos obtenidos en hombres y mujeres jóvenes

Sexo	Prueba 1.	Prueba 2.
Masculino	97/70 mmHg	143/70 mmHg
Masculino	131/87 mmHg	154/71 mmHg
Masculino	103/56 mmHg	113/97 mmHg
Masculino	89/80 mmHg	114/92 mmHg
Masculino	102/90 mmHg	92/60 mmHg
Masculino	131/70 mmHg	130/75 mmHg
Masculino	93/83 mmHg	99/82 mmHg
Masculino	125/70 mmHg	123/75 mmHg
Masculino	150/100 mmHg	150/90 mmHg
Masculino	125/80 mmHg	123/81 mmHg
Femenino	123/85 mmHg	121/84 mmHg
Femenino	134/62 mmHg	136/67 mmHg

IV. Discusión

Para el cálculo de la precisión, exactitud, error absoluto, y la correlación en las medidas, se hace uso de algunas fórmulas estadísticas como se muestran en las siguientes ecuaciones. Las conclusiones de los resultados se basaron en la norma de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), Industria y Comercio (2019), la cual establece que los errores en equipos nuevos debe ser menor o igual 3 mmHg y para equipos en uso menor o igual 4 mmHg.

Para el cálculo de la precisión, se utiliza la desviación estándar como se muestra en la ecuación 3.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Donde:

X_i = Medida de cada dato.

\bar{X} = Media.

La exactitud se calcula a partir del porcentaje de error determinado como se muestra en la ecuación 4.

$$\% \text{ de Edet} = \frac{\bar{X} - \mu}{\mu} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

\bar{X} = Media.

μ = Valor de referencia.

El cálculo del error absoluto se presenta la ecuación 5.

$$e = \frac{|\sum X_i - X|}{N} \quad (5)$$

Donde:

X_i = Medida de cada dato .

\bar{X} = Media.

N = Numero de muestras.

La correlación de las medidas se calcula como se muestra en la ecuación 6.

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (6)$$

Donde:

r es el coeficiente producto-momento de correlación lineal.

$$x = X - \bar{X}; y = Y - \bar{Y}$$

En la Tabla. I modo taquicardia, el error absoluto en la presión sistólica es 3,95885 mmHg mayor al valor permitido y la diastólica es 1,04175 mmHg menor a 3 mmHg. No hubo exactitud, aunque ambas presiones estuvieron cercanas al valor de referencia, $\pm 5,66799745$ mmHg para la presión sistólica y $\pm 1,2501$ mmHg para la presión diastólica. Solo se presenta repetibilidad en el valor 102,5082 mmHg, que corresponde a una toma de la presión diastólica. La correlación en las medidas solo se presenta en la presión sistólica.

En el modo saludable, para la presión sistólica y diastólica presentan una precisión de $\pm 4,48220778$ mmHg y $\pm 4,19468801$ mmHg, respectivamente. No se presentó exactitud, pero sí precisión. Ambas presiones presentan repetibilidad en el dato 125.01/77.5062 (82.5066) mmHg, al igual que correlación en las medidas. El error absoluto es de 3,3096 mmHg para la presión sistólica y 2,9169 mmHg para la diastólica.

Para el modo geriátrico una de las tomas en la presión sistólica fue exacta al valor de referencia (150.012 mmHg), aunque en la diastólica no hubo ningún dato exacto, presentó una precisión igual $\pm 4,10401905$ mmHg, muy cercano al valor de referencia. Ambas presiones presentan correlación, pero sin repetibilidad en las medidas. El error absoluto en la presión diastólica es 2,70855 mmHg, en la sistólica el error es igual 6,87555 mmHg, mayor al permitido que es 3mmHg.

De la Tabla IV las tomas tienen correlación en las medidas y están dentro del rango permitido para pacientes de 50 años en adelante, cuyo rango en la presión sistólica está entre 110-160 mmHg, y en la diastólica es de 70-100 mmHg.

En la Tabla V los resultados obtenidos con el prototipo concuerdan con los rangos de presión arterial de personas jóvenes estipulados, que van de 100-139 mmHg en la presión sistólica, y 60-89 mmHg en la presión diastólica. Algunas tomas pueden variar entre cada resultado por el algún factor como estrés o el síndrome de bata blanca.

V. Conclusión

- Los resultados obtenidos en las tomas de presión arterial realizadas con el prototipo fueron aceptables, no obstante, la precisión y exactitud deben ser mejoradas para reducir el error en las medidas, y de esta manera poder ser implementado en los seguimientos clínicos y domiciliarios.
- Es muy importante tener en cuenta aspectos como el desinflado del sistema y el tiempo de muestreo de la señal biológica que está estrechamente ligada a la capacidad de cómputo del sistema embebido, puesto que mientras más datos se puedan procesar y almacenar, los resultados calculados por el algoritmo arterial serán mucho más exactos y precisos.
- Dentro del mundo IoT son muchas las soluciones hardware y software propuestas por los diferentes proveedores de servicios, aunque es importante tener en cuenta elementos como la seguridad de los dispositivos, los datos de los usuarios y del servidor web IoT. De igual manera es clave dentro de un ecosistema inteligente que exista interconexión e interoperabilidad de los dispositivos.

- Una de la mejora podría ser la sustitución de la válvula ON/OFF por una válvula proporcional, ya que de esta forma el desinflado puede ser mucho más controlado y podría mejorar los resultados de la toma de tensión arterial.

Referencias

- Batista, O., Del Rey, R., Ramos, J., Ruso, R. (2001). Una implementación efectiva del método oscilométrico para la medición de la presión arterial. Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. La Habana, Cuba. Disponible en: <https://docplayer.es/45718453-Una-implementacion-efectiva-del-metodo-oscilometrico-para-la-medicion-de-la-presion-arterial.html>
- Bose, J., Das, K., Sahni, N. (2018). Web APIs for Internet of Things. Doi: 10.1109/ICAC-CI.2018.8554612
- Champaneria, T., Nakhuva, B. (2015). Study of varius Internet of things plataforms. International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES) Vol.6, No.6
- Claus, T. (2016). APIs Para Dummies, Edicion limita IBM. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Cobos, A. (2016). Diseño e implementación de una arquitectura IoT basada en tecnologías Open Source. (Tesis en Master Universitario De Ingeniería De Telecomunicación), Departamento de Ingeniería Telemática, Escuela Técnica Superior De Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Core electronics. (2018). Startup with Onion omega 2. Retrieved from: <https://core-electronics.com.au/tutorials/onion/onion-omega-2-how-to-run-python-script-on-startup-boot.html>
- Cuesta, A. (2004), Medición de la tensión arterial, errores más comunes. (Trabajo investigativo), Departament d'Infermeria, Universiat de València, Valencia.
- Fluke. (2019). BP Pump 2 NIBP Blood Pressure Simulator. Disponibe en : <https://www.fluke-biomedical.com/products/biomedical-test-equipment/patient-monitor-simulators/bp-pump-2-nibp-blood-pressure-simulator>
- Fundación BBVA. (2009). Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos y de la Fundación BBVA, 1.a edición. Bilbao, Editorial Nerea, S. A.
- Gómez, M., Ondelhof, D., Teernstra, L. (2014). ThingSpeak an API and Web Service for the Internet of Things. Disponible en : <https://www.semanticscholar.org/paper/ThingSpeak--an-API-and-Web-Service-for-the-of-Maureira/5dcd7d5c5a6e30aa5fa3bc2fbcfb2caa5d2e0798#paper-header>
- González, J. U., Olvera, D. J. (2013). Diseño y construcción de un sistema de monitoreo de signos vitales. (Tesis en Pregrado De Ingeniería en comunicaciones y Electrónica), Departamento De Ingeniería en comunicaciones y Electrónica, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F.
- Industria y Comercio. (2019). Organización internacional de métrología legal (OIML). Disponible en: <https://www.sic.gov.co/oiml>

Lehman, L. H. et al. (2015). "A Physiological Time Series Dynamics- Based Approach to Patient Monitoring and Outcome Prediction," in IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 19, no. 3, pp. 1068-1076.

Loureiro, R.(2015). Estudio plataformas IoT, Universitat Oberta de Catalunya. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC-0615memoria.pdf>

Mathworks. (2020). React to channel activity with notification from IFTTT. Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/use-ifttt-to-send-text-message-notification.html>

Nasiri, S., Sadoughi, F., Tadayon, M. H., & Dehnad, A. (2019). Security Requirements of Internet of Things-Based Healthcare System: a Survey Study. Acta informatica medica: AIM: journal of the Society for Medical Informatics of Bosnia & Herzegovina: casopis Društva za medicinsku informatiku BiH, 27(4), 253–258. <https://doi.org/10.5455/aim.2019.27.253-258>

NXP. (2012). Blood Pressure Monitor Fundamentals and Design. Disponible en: <https://www.nxp.com/docs/en/applicationnote/AN4328.pdf>

OCEANO. (1996). Autodirectiva oceano color volumen VI. Barcelona, Barc: OCEANO GRUPO EDITORIAL ISBN: 84-7764-930-8.

Onion Corporation. (2020). Onion Omega 2 Documentation. Disponible en: <https://docs.onion.io/omega2-docs/omega2p.html>

Ordunez, P. (2018). Hearts in the Americas: Hearts en Cuba. TEMAS DE SALUD. Disponible en:<http://temas.sld.cu/hipertension/tag/oms/>

Rodrigues, J. J. et al. (2018). "Enabling Technologies for the Internet of Health Things," in IEEE Access, vol. 6, pp. 13129-13141, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2789329.

Vélez, A. (2019). Arquitecturas de referencia para IoT con transferencia segura de información. (Tesis en Especialización De Seguridad Informática), Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional abierta y a distancia, Tuluá.