

Diseño y construcción de un prototipo biomédico para la adquisición vía remota de signos vitales utilizando tecnologías del internet de las cosas (IoT).

G. T. Zárate-Ocaña¹, M. D. Ramos-Cuevas², L. B. Contreras-Cariño¹, J. C. Bélen-Luna¹, C. O. González-Morán¹.

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Valle de México, Laboratorio de Investigación de Desarrollo de Materiales y Procesos inteligentes, Blvd. Universitario s/n, Atizapán de Zaragoza, Estado de México 54500, México.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Centro de Ingeniería Biomédica, Hospital Universitario, Av. Francisco I. Madero s/n, Monterrey, Nuevo León, 64460, México.

* gerzarate12@gmail.com

Resumen— Se desarrolló un prototipo móvil para la obtención de datos de los signos vitales de pacientes utilizando tecnologías del internet de las cosas (IoT). Al paciente se le colocan sensores de: temperatura corporal, frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca, la información se adquiere a una interfaz digital, estos datos se envían a través de un microcontrolador, vía Bluetooth y WiFi, el médico puede ver los datos mediante: una aplicación hecha en Android usando un módulo Bluetooth, y también en una página web utilizando una dirección IP configurada en el prototipo. El proyecto se limita solo de manera local (red local). Este proyecto es original ya que se diseñó y se construyó por completo cada etapa, así como también la comunicación con los dispositivos de conexión inalámbrica. Los resultados obtenidos nos muestran datos como: Frecuencia respiratoria: 16 a 20 respiraciones por minuto, Frecuencia cardiaca: 74 a 76 BPM, Temperatura corporal: 35 (°C) a 35.8 (°C) similares a los rangos revisados en la bibliografía. En conclusión, este prototipo podría ser muy útil para consultorios de bajos recursos, pues es un sistema móvil, ligero, económico, y eficaz en el aspecto de la visualización, ya que se puede monitorear utilizando cualquier dispositivo móvil con la plataforma Android.

Palabras clave— IoT, Microcontrolador, WiFi, Bluetooth

I. INTRODUCCIÓN

En la vida cotidiana las actividades que hacemos diariamente consumen mucho de nuestro tiempo, e incluso pueden llegar a generarnos múltiples problemas, por ejemplo, cuando olvidamos apagar las luces de la casa, en otras olvidamos la fecha en la que nos tocaba una cita con el médico, todas estas actividades de alguna manera influyen en la vida cotidiana de los seres humanos dando como resultado que se genere pérdida tiempo para realizar otras actividades además de gasto de dinero y esfuerzo.

La telemática se entiende como la comunicación a distancia basada en un ordenador y un controlador. Este tipo de tecnología ha generado todo un mundo de aplicaciones y servicios, que han dado lugar a materiales específicos para su utilización en los contextos médicos bajo el termino de telemedicina [1]. La Telemática y la domótica cubren un campo científico y tecnológico de una considerable amplitud,

englobando el estudio, diseño, gestión y aplicación de las redes y servicios de comunicaciones, para el transporte, almacenamiento y procesado de cualquier tipo de información, esto incluye el análisis y diseño de tecnologías y sistemas de conmutación para los servicios biomédicos de un consultorio o sistema hospitalario [2].

En la actualidad se encuentran desarrollando proyectos médicos con IoT. Con la ayuda de los objetos conectados con tecnología IoT, el trabajo del personal médico puede ser mucho más inmediato y preciso, además de facilitar la gestión de los centros hospitalarios y mejorar el bienestar del paciente. Como es el caso del proyecto denominado “The Teddy Guardian” el cual tiene como finalidad obtener datos de temperatura, ritmo cardíaco y nivel de oxígeno en sangre en pacientes de edad infantil. Este dispositivo inteligente ya se está probando en hospitales de Bosnia y Croacia [3].

El prototipo desarrollado actualmente nos permitirá que un médico, o equipo médico, pueda monitorear a distancia la salud de un individuo o de un grupo de individuos, mediante el empleo de medios de diagnóstico y terapéuticos manejados remotamente utilizando tecnologías de hardware y software libre pues son de bajo costo [4]. Además, también se implementará el uso de tecnologías inalámbricas como lo es el módulo WiFi (ESP-01) pues tiene una amplia funcionalidad para la comunicación de RF en la banda WiFi y el módulo de conexión Bluetooth (HC-05) el cual nos brinda la posibilidad de poder interactuar con aplicaciones móviles en la plataforma Android para enviar y recibir información. Dando como resultado el monitoreo de los signos vitales del paciente, obtenidos por medio de los sensores biológicos, y distribuidos de manera inalámbrica a una aplicación móvil y a una página web la cual podrá ser consultada por el médico con tecnología IoT (Internet de las cosas) [5][6][7].

II. METODOLOGÍA

Se diseñó y construyó un prototipo (IoT) en las áreas de telemedicina, para el monitoreo de los signos vitales de un paciente en un consultorio médico o ambulancia en traslado, estas variables son: la frecuencia respiratoria, temperatura del

cuerpo y la frecuencia cardiaca. Estas variables se transmiten vía Wifi y Bluetooth, además son almacenadas en una base de datos (Excel). Estos datos también pueden ser vistos por el paciente y el personal de la salud en un display LCD (Liquid Crystal Display) y mediante dispositivos móviles (Android). Esto ayudará a diagnosticar al paciente antes de realizarle un tratamiento médico.

1) *Diseño del prototipo.* Se hizo el diagrama de la Fig. 1, en donde se adquirieron muestras para poder representar las características del prototipo y sus funciones. La funcionalidad consta de cuatro etapas, en la primera el paciente es atendido por un personal de salud el cual procede a colocar los sensores al paciente. En la segunda etapa se obtienen los datos de dichos sensores mediante tres entradas analógicas, conectadas a la tarjeta de adquisición. La tercera etapa consta en mostrar los signos vitales del paciente mediante la implementación de un display LCD. Para que finalmente estos datos sean enviados por el módulo de adquisición, quien se encargará de enlazar el sistema a una conexión inalámbrica Wifi y Bluetooth, para así ver reflejados los datos de los signos vitales del paciente de manera segura en una página Web y una aplicación móvil para Android, posteriormente se almacena la información en una base de datos, para ser consultada por el médico desde cualquier ordenador que esté conectado a la misma red local de acceso a internet, o con un dispositivo móvil que cuente con la aplicación para Android y una conexión bluetooth [8].

Se desarrolló un diagrama de bloques para poder representar mejor la manera en que están distribuidos y representados los datos de los signos vitales del paciente, obtenidos de los sensores, Fig. 2.

En el siguiente esquema se muestra el control general del sistema:

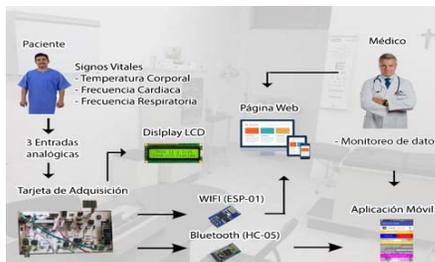


Fig. 1. Diagrama general del proyecto para el monitoreo de datos de los signos vitales mediante el uso de tecnologías IoT.



Fig. 2. Diagrama de bloques para la adquisición vía remota de signos vitales utilizando tecnologías del internet de las cosas IoT.

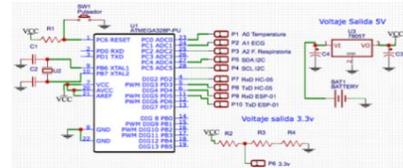


Fig. 3. Diagrama de conexión para la etapa de adquisición utilizando el microcontrolador ATM328P.

2) *Adquisición de datos:* Para la adquisición de datos de los signos vitales, se diseñó un circuito en el software de (Proteus 8.6), utilizando el microcontrolador ATM328P con el cual se recaudó la información de las 3 entradas analógicas para los sensores, (Temperatura corporal, Frecuencia cardiaca y Frecuencia Respiratoria) y dos entradas analógicas para la comunicación con el display LCD utilizando un bus de datos I²C. La Fig. 3 muestra el diagrama utilizado para el sensor de temperatura corporal del paciente medida en grados centígrados. Además, se incorporó el módulo WiFi y el módulo Bluetooth a la placa. El microcontrolador atmel ATM328P es quien controla las funcionalidades de cada sensor en la tarjeta de adquisición. Para el suministro eléctrico de los sensores de frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca se diseñó una fuente simétrica, ya que los amplificadores de instrumentación (AD620) y amplificadores operacionales (UA741CP y TL084CN) utilizados, requieren de voltaje positivo, negativo y GND para su correcto funcionamiento.

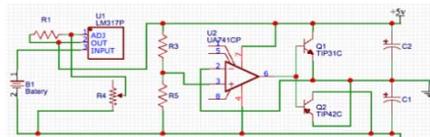


Fig. 4. Diagrama esquemático de la fuente simétrica para los sensores de frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca.

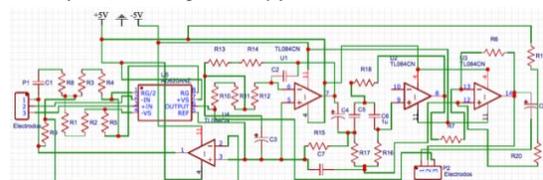


Fig. 5. Diagrama esquemático del sensor de frecuencia cardiaca ECG.

En la Fig. 5, se puede observar la etapa de adquisición de las señales del sensor de frecuencia cardiaca donde se amplifica la señal obtenida de los electrodos utilizando un amplificador de instrumentación (AD620), el sistema desarrollado utiliza cinco etapas de amplificadores operacionales para aumentar la ganancia de las señales recogidas por los electrodos, además utiliza un filtro paso bajos (LPF) de cuarto orden (-80 [dB/década]) para eliminar las frecuencias superiores a 150 Hz. Para atenuar las bajas frecuencias se utilizó un filtro paso altas (HPF) de cuarto orden (-80 [dB/década]) colocados en cascada dos filtros

iguales de segundo orden con una frecuencia de corte 0.5 Hz, un filtro notch de 60Hz para eliminar el ruido ambiental y así evitar que se altere la señal del ECG [9]. Para la etapa de amplificación se utilizó un amplificador operacional (TL084CN). En la Fig. 6 puede observarse el diagrama de bloques del diseño de filtros utilizado para el sensor de ECG.



Fig. 6. Diagrama de bloques del diseño de Filtros ECG

En la Fig. 7, se diseñó un diagrama que permite obtener los datos de la frecuencia cardiaca, utilizando un puente de Wheatstone mismo que mide la resistividad de una galga extensiométrica, con esto se obtienen las diferencias de voltaje. Por medio de la programación, los voltajes son interpretados en respiraciones por minuto de un paciente [9].

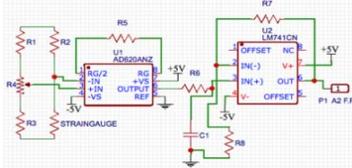


Fig. 7. Diagrama del sensor de frecuencia respiratoria

Se elaboró el prototipo, a partir del diseño electrónico, mediante un circuito impreso que tiene las etapas de adquisición de señales de los sensores. También se agregaron los conectores para el suministro eléctrico de los módulos WiFi y Bluetooth. Adicionalmente se integró un display LCD que se comunica por medio de un bus de datos I²C a las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición. El prototipo terminado con todas las etapas tanto de adquisición como comunicación (IoT) se puede apreciar en la Fig. 8.

3) *Pruebas:* Para mayor movilidad del prototipo se diseñó un chaleco especial, montando el prototipo en la parte frontal del chaleco, en la parte derecha del chaleco salen los cables que van conectados a los electrodos que se utilizan para monitorear las señales del sensor de frecuencia cardiaca, el cable del sensor de temperatura corporal, va conectado en la axila del paciente y finalmente el sensor de frecuencia respiratoria van en la parte inferior del abdomen. En la parte trasera del chaleco se implementó una bolsa para almacenar una batería portátil de 5000 mA, con un voltaje de salida de 5V a 2A, para el suministro eléctrico del sistema de adquisición, el sensor de temperatura corporal y la comunicación inalámbrica. También se agregó una batería de 9V para el suministro eléctrico de la fuente simétrica que va

conectada a los sensores de frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca.

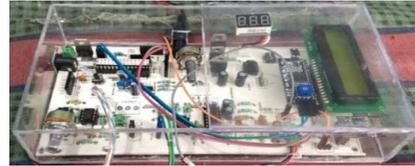


Fig. 8. Prototipo final para la obtención de los variables de los signos vitales con conexión (IoT).



Fig. 9. Prototipo final y obtención de los Signos vitales en un paciente

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos nos muestran datos como: Frecuencia respiratoria: 16 a 20 respiraciones por minuto, Frecuencia cardiaca: 74 a 76 BPM, Temperatura corporal: 35 (°C) a 35.8 (°C) similares a los rangos revisados en la bibliografía. Los datos obtenidos con el prototipo (IoT) fueron almacenados en una base de datos representados en un documento .xslm de Microsoft Excel. La Tabla 1, muestra la base de datos correspondiente a las variables obtenidas del prototipo.

Tabla 1. Tabla de datos adquiridos por el Prototipo (IoT).

Fecha	Hora	Temperatura del paciente (°C)	Frecuencia Cardiaca (BPM)	Frecuencia Respiratoria (Resp. Por min.)	No.
25/06/2018	03:44:14 p.m.	35.04	74	16	1
25/06/2018	03:43:54 p.m.	35.42	74	16	2
25/06/2018	03:43:54 p.m.	35.9	74	17	3
25/06/2018	03:43:54 p.m.	35.9	75	17	4
25/06/2018	03:43:54 p.m.	35.39	75	18	5
25/06/2018	03:43:54 p.m.	35.39	75	18	6
25/06/2018	03:43:55 p.m.	35.39	75	18	7
25/06/2018	03:43:55 p.m.	35.39	75	19	8
25/06/2018	03:43:55 p.m.	35.88	76	19	9
25/06/2018	03:43:55 p.m.	35.88	76	19	10
25/06/2018	03:43:55 p.m.	35.88	76	19	11
25/06/2018	03:43:56 p.m.	35.88	76	20	12

Los datos obtenidos por los sensores se registraron en la Tabla 1, se observa que hay doce registros y cada uno representa la medición de la temperatura del paciente en (°C) la cual varía de entre los 35.04 (°C) a 35.88 (°C), la frecuencia cardiaca en (BPM) que va desde los 74 (BPM) a 76 (BPM) y finalmente la frecuencia respiratoria (RPM) que va desde las 16 (RPM) hasta las 20 (RPM). Así como también se registra la fecha y la hora en que fueron tomados los datos de cada sensor.

Los datos obtenidos por el electrocardiograma son representados por medio de pulsos eléctricos en la gráfica de la Fig. 10, en la escala se puede observar el voltaje obtenido de cada pulso eléctrico del corazón, así como el tiempo (seg.) en el que van transcurriendo estas señales. Para su

representación gráfica se programó en el Software Matlab donde se muestra la señal analógica del sensor ECG.

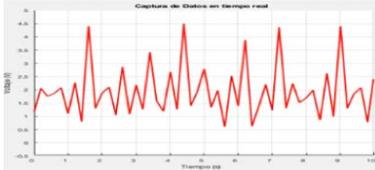


Fig. 10. Gráfica de los datos adquiridos por el sensor ECG

Finalmente, la visualización numérica de los datos obtenidos por los sensores, fueron enviados mediante la tarjeta de comunicación inalámbrica (IoT) a una dirección IP la cual puede ser visualizada mediante un navegador web como se muestra en la Fig. 11. Así como a una aplicación móvil diseñada para Android la cual utiliza la comunicación bluetooth que imprime las variables de los sensores del prototipo, representada en la Fig. 12.

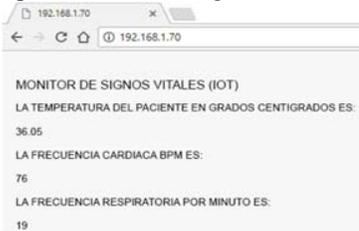


Fig. 11. Impresión de datos de los signos vitales del paciente en una página web utilizando el módulo (ESP-01).



Fig. 12. Pantalla de la aplicación móvil para Android, utilizando la comunicación Bluetooth con el prototipo de signos vitales.

IV. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Se desarrolló el prototipo de un dispositivo de obtención de datos de signos vitales de un paciente utilizando tecnologías del Internet de las cosas (IoT) de bajo costo, el cual transmite sus mediciones a una base de datos, un display LCD para consulta del paciente o personal de salud y una conexión inalámbrica (WiFi y Bluetooth). Este tipo de equipos pueden ser de gran utilidad en el sector salud del país en condiciones de mayor vulnerabilidad dada la necesidad de múltiples equipos de monitoreo de bajo costo. A través del circuito implementado en la plataforma de software libre, se

logró determinar variables como: la temperatura corporal, la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardiaca de una persona. Con este trabajo se sentaron las bases para el desarrollo de un sistema portátil e inalámbrico, para la captura y procesamiento de datos de signos vitales de un paciente, que cumple con las características de IoT. El prototipo podrá trabajar al tiempo que permite al médico realizar otras actividades. Este proyecto surge como una necesidad para darle solución a los problemas de conectividad y manejo de variables biológicas, para ser implementado en consultorios médicos, ambulancias de traslado o centros de salud que sean de bajos recursos y así hacer este tipo de registros biomédicos con el fin de facilitar la generación de diagnósticos o dar mejor seguimiento a los tratamientos médicos.

Como trabajo a futuro, se considera mejorar la precisión en la medición de las variables obtenidas por los sensores, ya que suelen tener algún tipo de variación comparadas con la instrumentación médica que actualmente se utiliza. Y la integración de un protocolo de comunicación global de internet, entre el prototipo IoT y el médico.

V. CONCLUSIÓN

Este prototipo podría ser muy útil para consultorios de bajos recursos, ambulancias de traslado y clínicas particulares, ya que es un sistema móvil, ligero, económico, y eficaz en el aspecto de la visualización de los datos, pues se puede monitorear utilizando cualquier dispositivo móvil o a través de un equipo de cómputo con conexión a internet. También ayuda al médico a tener un historial de los parámetros fisiológicos que se están midiendo por medio de los sensores y con esto pueda interpretar cambios en la salud del paciente, para así implementar algún tratamiento médico que permita mejorar su calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Liniala P, Jenny PD. La telemedicina, vol 1, pp 87-100, 2002
- [2] Fatema N, Brad SR. Security Requirements, Counterattacks and Projects in Healthcare Applications Using WSNs – A Review. Int J. of Comput. Netw. and Comm. vol 2(2), pp 1-9, 2014
- [3] John N. The internet of things has opened up anew frontier of domestic abuse, 2017
- [4] Goldman L, Shafer AI. Approach to the patient: history and physical examination. vol 24, pp 15-23, ISBN: 9781437716047, 2011
- [5] Jr, M. H. A Pathophysiological Model-Driven Communication for Dynamic Distributed. pp 7-14, 2016
- [6] Abouei J, Brown D, Plataniotis KN, Pasupathy S. Energy Efficiency and Realibility in Wireless Biomedical Implant Systems. Doi: 10.1109/2011.2105497, 2011
- [7] Purdum J. Beginning C for Arduino. Technology in Action. vol 1, pp 10-215, ISBN: 978-1-4302-4776-0, 2012
- [8] Hosseini M, Yu Jiang, Poliang W, Richard BB, Ren S, Sha L. A Pathophysiological Model-Driven Communication for Dinamic Distributed Medical Best Practice Guidance Systems. 2016
- [9] Sedra AS, Smith KC. Circuitos Microelectrónicos, vol 4, pp 884-946, ISBN: 0-19-511663-1, 2012