

Sistema embebido para monitoreo remoto de presión arterial usando IoT.

Trabajo Terminal No. 2020 – B046

Alumnos: [Cruz Flores Omar, *Oledo Enriquez Gilberto Irving, Vazquez Sandoval Alfredo]

Directores: [Hernández Tovar Rubén, Ortega González Rubén]

e-mail: oledoenriquez@gmail.com ó goledoe1300@alumno.ipn.mx

Resumen – La presión arterial es uno de los signos vitales de mayor relevancia en el ámbito médico debido a que con su medición oportuna y correcta se establecen bases para realizar diagnósticos de salud. Su medición recae mayormente en personal de la salud capacitado, sin embargo, gracias a que la automatización de procesos y el internet de las cosas (IoT) no son temas aislados a las cuestiones médicas, en este documento se propone y explica un sistema embebido capaz de recolectar, procesar, enviar, recibir y mostrar la presión arterial de un paciente adulto para que el personal médico la utilice como apoyo para realizar un diagnóstico clínico.

Palabras claves – IoT, monitoreo, presión arterial, sistema embebido, sistema remoto.

1. Introducción

Reciben la denominación de signos vitales las señales o reacciones que presenta un ser humano con vida, que revelan las funciones básicas del organismo. Según la Organización Panamericana de la Salud estos son: respiración, frecuencia cardíaca, reflejo pupilar, temperatura y la presión arterial [1].

Sin embargo, la presión arterial adquiere especial relevancia al momento de diagnosticar padecimientos cardiovasculares, y debido a que es una variable (entre algunas otras como: la frecuencia cardíaca y la respiración) que en mayor o menor medida es afectada por la altura y por las condiciones geográficas en la que es registrada, se vuelve un signo vital complicado de analizar y/o comprender, para ello partimos de la definición: la presión arterial consiste en la fuerza que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias. En ese sentido, cada vez que el corazón late bombea sangre hacia las arterias, en este punto es cuando la presión es más alta y a esto se le llama presión sistólica. Cuando el corazón está en reposo entre un latido y otro, la presión sanguínea disminuye, entonces se denomina presión diastólica. En la lectura de la presión arterial se utilizan ambos números, la presión sistólica y la diastólica. En general, la sistólica se menciona primero o encima de la diastólica [2].

Una vez definido el concepto de presión arterial, se debe comprender cuándo es que la lectura de ella se considera dentro de estándares normales y cuándo es que podría presentar anomalías de presión, para ello partimos de la premisa que nos brinda la Sociedad Chilena de Cardiología y Cirugía Cardiovascular (Sochicar), que la presión arterial es una variable continua, y que a mayores cifras tensionales mayor es el riesgo cardiovascular se decidió que los sujetos con presión arterial entre 120/80 y 129/84 pueden ser considerados presión normal, mientras que los que tienen cifras entre 130/85 y 139/89 son considerados presión arterial normal alta. Los valores de presión arterial menores de 120/80 son considerados valores óptimos. Se debe enfatizar que los valores normales altos y normales son de mayor riesgo que los valores óptimos, a pesar de estar en el rango normal. La hipertensión arterial generalmente se clasifica como: Primaria, Esencial o Idiopática cuando la presión arterial es constantemente mayor de lo normal, sin causa subyacente conocida. Representa el 85 a 90% de todos los casos de hipertensión. La hipertensión es definida como secundaria cuando la presión arterial es elevada como resultado de una causa subyacente identificable, frecuentemente corregible (el restante 10 a 15% de los sujetos hipertensos) [3].

Con la contextualización dada previamente se comprende que la lectura de la presión arterial es uno de los datos de donde los profesionales de salud parten para realizar diagnósticos clínicos, en este escrito proponemos un sistema embebido, que se encargue autónomamente de la recolección de señales que brinda la presión arterial de un ser humano adulto, para posteriormente ser analizada, y enviada a un dispositivo móvil que mostrará los resultados del procesamiento y análisis de este signo vital, para su posterior interpretación médica. El uso del prototipo que proponemos es escalable a diversos ámbitos de la salud humana, sin embargo, el objetivo de este no es el uso libre del sector público, sino el ayudar al personal médico a realizar un diagnóstico general de salud de los pacientes adultos (vistos bajo una perspectiva médica) ¹ o bien mantener un monitoreo del estado salubre de la persona que se está midiendo la presión arterial.

En cuanto al estado del arte, nos encontramos con algunos proyectos que están relacionados con el monitoreo de signos vitales, por ejemplo, en 2013 Pooja Pokharkar *et al* [4] de la Facultad de Ingeniería, Pune, India, en su artículo “*Design and*

¹ Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), desde los 18 años y hasta los 64 las personas se consideran adultos, y a partir de los 65 años en adelante son considerados adultos mayores [11].

Development of Wireless Vitals Monitoring System” propone un sistema que se centra en la monitorización remota de pacientes para garantizar la disponibilidad de servicios médicos de calidad, el cual puede considerarse un medio de adquisición y transferencia de datos entre los sensores de monitorización de los signos vitales de un paciente y un médico en una ubicación remota.

Por otro lado, en 2012 Ru Xue *et al* [5] de la Escuela de Ingeniería de la Información del Instituto de Nacionalidades del Tíbet, XianYang, China en su artículo “*Architecture of Remote Vital Signs Acquisition based - GPS*” presenta una arquitectura de sistema de monitoreo de vida remoto en tiempo real basado en el GPS el cual se puede aplicar al tratamiento médico a distancia, explorando tendencias de enfermedades crónicas potenciales y enfermedades comunicantes, y situaciones urgentes que informan de enfermedades repentinas.

También, en 2014 Meneses Benavides y Lemos Duque [6] de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá, CO en su artículo “*EnViBo: Embedded network for vital sign and Biomedical Signal Monitoring*” presenta la propuesta de una plataforma destinada a la vigilancia ambulatoria de personas adultas con afecciones médicas, que realicen actividades que requieran esfuerzos físicos o actúen en condiciones extremas como es el caso de bomberos y personal de rescate.

Producto o sistema	Tecnologías utilizadas	Signos vitales que monitoriza	Algoritmos utilizados	Sistema de comunicaciones
Design and Development of Wireless Vitals Monitoring System	El sistema consta de electrodos de electrocardiograma (ECG), sondas de SpO2, unidades de acondicionamiento de señal, unidad de microcontrolador msp430, y un módulo GSM.	1. Pulso cardiaco 2. Saturación de oxígeno (Spo2)	El algoritmo que emplearon es el siguiente: Por medio de dos sensores recolectan las señales vitales del pulso y la saturación de oxígeno en la sangre. Posteriormente se acondicionan las señales, lo cual incluye amplificación y filtrado. Después de su acondicionamiento la señal se pasa al microcontrolador msp430, aquí se utiliza un algoritmo diseñado para calcular frecuencia cardiaca y nivel de oxigenación en sangre.	Bluetooth y Tecnología GSM (Global System for Mobile Communications), comúnmente conocida como 2G.
Architecture of Remote Vital Signs Acquisition based – GPS	Este estudio presenta una arquitectura de signos vitales remotos basada en GPS que comprende tres partes, incluida la medición de signos vitales, el sistema integrado avanzado (ARM) y el servidor de comunicaciones GSM.	1. Temperatura corporal 2. Pulso cardiaco 3. Presión arterial	El algoritmo que emplearon es el siguiente: Para recopilar los signos vitales y la posición geográfica, en el sistema integrado se realiza el preprocesamiento de la señal, como filtrar los ruidos y amplificar. Luego, las señales analógicas se transfieren primero a señales digitales utilizando un convertidor de analógico – digital, y luego se transmiten las señales al dispositivo de transmisión a una velocidad en baudios predefinida. Cuando los datos recopilados coinciden con la cantidad de datos predeterminada, el sistema	Tecnología GSM (Global System for Mobile Communications), comúnmente conocida como 2G

			integrado transmite los datos al servidor remoto mediante comunicación inalámbrica. Finalmente, el servidor remoto almacena las señales de detección en la base de datos.	
EnViBo: Embedded network for vital sign and Bio-medical Signal Monitoring	<p>La plataforma de monitoreo se basa en una arquitectura de tres niveles:</p> <p>En la capa inferior los nodos de la red se comunican mediante el uso de Protocolo MiWi P2P, un protocolo compatible con IEEE 802.15.4 de Microchip.</p> <p>En la capa intermedia hay una interfaz de usuario basada en computadora que transmite datos hacia dispositivos y redes inalámbricas mediante transceptores compatibles con IEEE 802.15.1 e IEEE 802.11.</p> <p>En la capa superior o Global Datasink, hay interfaces desarrolladas para correr en computadoras, tabletas y teléfonos inteligentes mediante instrumentos virtuales, páginas web o aplicaciones desarrolladas para dispositivos con sistema operativo Android.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura corporal 2. Pulso cardíaco 3. Frecuencia respiratoria 	<p>El algoritmo que emplea es el siguiente:</p> <p>Se desarrollaron cinco nodos sensores, que transmiten las señales de temperatura, pulso y frecuencia respiratoria. La única señal que se procesa fuera del nodo es la frecuencia respiratoria, los algoritmos de procesamiento de la señal se distribuyen según su complejidad y capacidad computacional de cada nodo. Posteriormente se realizan pruebas de confiabilidad.</p>	Bluetooth y red Wifi.
Sistema embebido para monitoreo remoto de presión arterial usando IoT.	Raspberry Pi, desarrollo móvil en Android Studio, y tecnologías por definir para la obtención de la presión.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presión arterial 	Por definir	Tecnología 4G LTE (Long Term Evolution)

2. Objetivo

Implementar un prototipo de sistema embebido que realice el monitoreo de un signo vital (presión arterial), mediante un sistema de Internet de las cosas (IoT), para el apoyo al personal médico.

Objetivos específicos:

- Implementar un módulo que registre la presión arterial de una persona adulta.
- Diseño del nodo sensor.

- Diseñar un módulo de comunicación remota.
- Aplicación de prueba para el monitoreo.

3. Justificación

La presión arterial toma una importancia de alta estigma a la hora que un médico procede a la revisión de un paciente, o bien sobre la información que brinda el monitoreo de este signo vital se sientan bases médicas para un diagnóstico prematuro de alguna afección arterial. Es por ello por lo que conocer la media normal de la presión arterial permite mantener un régimen de salud apropiado o en su caso ayudar a evitar complicaciones en pacientes que se encuentran en recuperación, así que mantener el conocimiento constante de este signo vital es una pieza fundamental en la recuperación de un paciente.

Según datos del IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social), se registran 7 millones de casos y 50 mil muertes al año, causadas solo por enfermedades cardiovasculares [7], es por ello por lo que cada vez es más significativo conocer estándares considerados normales para este signo vital y sobre ello actuar. Es importante considerar que el desarrollo del prototipo propuesto se debe utilizar como instrumento indicador, y no sustituye el análisis y la valoración de un médico.

El personal capacitado para la recolección y análisis adecuado de este signo vital recae en personal del área de salud, con esta premisa, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se necesitan alrededor de 23 médicos, enfermeras y parteras cada 10.000 habitantes para brindar servicios esenciales de salud a la población [8], lo que equivale a 2.3 médicos, enfermeras y parteras por cada 1000 habitantes. De acuerdo con datos de un artículo del Instituto Nacional de Salud Pública titulado “Brechas en la disponibilidad de médicos y enfermeras especialistas en el sistema nacional de salud”, en México, entre el personal capacitado en el área de salud hay solo 1.96 doctores por cada 1000 habitantes, 2.42 enfermeras por cada 1000 habitantes [9], esto ubica a México por debajo de la media mínima necesaria para brindar servicios de salud esenciales. Con esta información podemos notar la escasez de personal de salud para cubrir las necesidades básicas salubres de un mexicano.

Este proyecto beneficiará a personas adultas que requieran el monitoreo de presión arterial, y al personal médico que pretenda utilizar los resultados del análisis como guía para realizar algún tipo de diagnóstico en los pacientes. Una de las ventajas que posee este sistema es la de permitir al personal médico realizar múltiples pruebas de manera simultánea ya que no se requiere compartir un mismo espacio físico con el paciente, solo es necesario que cada persona adulta se coloque el brazalete inflable y el sistema será capaz de realizar la medición, procesar los datos y enviar la información necesaria al personal capacitado.

Esto impacta de manera directa a la capacidad que tiene cada profesional de la salud para atender a un grupo de pacientes que necesiten este tipo de mediciones, e incluso podría ayudar a subsanar la diferencia del 0.34 que se tiene en entre el número de médicos que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el número de médicos que tiene México, de acuerdo con los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Salud Pública [9].

4. Productos o Resultados esperados

Para el proceso del desarrollo de este sistema se considera el siguiente diagrama a bloques:

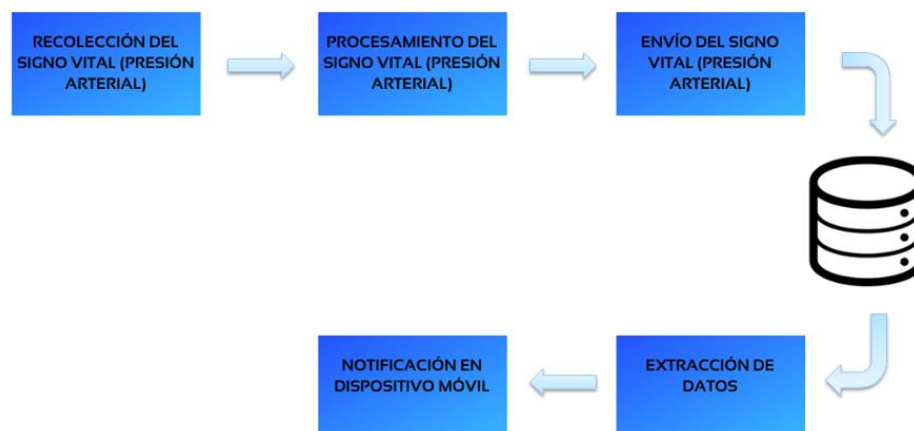


Figura 1: Diagrama a bloques del sistema embebido.

Como se observa en la figura 1, el sistema está conformado por cinco módulos y un servidor de almacenamiento. El primer módulo es el encargado de la recolección del signo vital (presión arterial). Una vez que se recolectan los datos necesarios se procede a realizar el procesamiento oportuno y a enviar la información. Posteriormente son almacenados en un servidor para su extracción y su despliegue en un dispositivo móvil.

Productos esperados del TT:

1. Sistema embebido con aplicación para la obtención del signo vital (presión arterial).
2. Procesamiento de la señal del signo vital (presión arterial).
3. Modulación de comunicación.
4. Manual de usuario.
5. Documentación técnica del sistema.

5. Metodología

Para la implementación de este prototipo se tomó en cuenta una adaptación del modelo en V para el desarrollo de sistemas embebidos, la cual consta de 7 etapas, en las cuales se parte de un análisis y diseño, siguiendo una implementación y por último una depuración e integración final. Las etapas que tiene este modelo se muestran en la Figura 2.

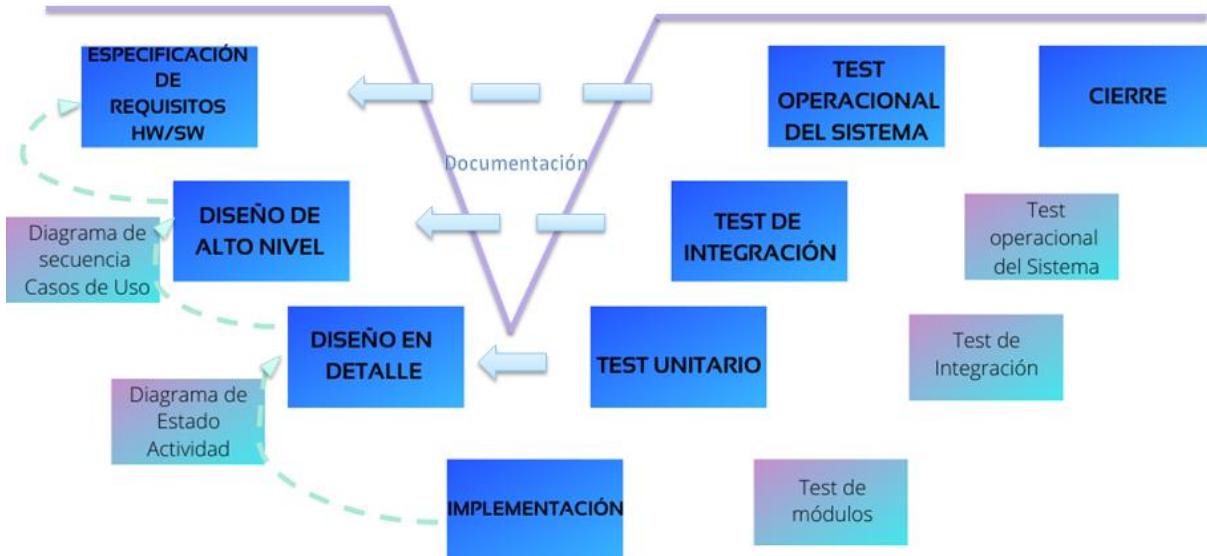


Figura 2: Modelo en V.

Partiendo de la especificación de requisitos, se pretende definir y documentar los diferentes requerimientos del sistema a implementar siguiendo un diseño global el cual tiene como objetivo obtener una visión general del sistema. El diseño en detalle consiste en detallar cada bloque de la fase anterior, aquí se pretende especificar el diseño del sistema embebido, el receptor y la aplicación móvil, seguida de la implementación de cada uno de estos. El test unitario verifica cada módulo de HW y SW de manera individual, en donde se depurará cada uno de los módulos hasta obtener el resultado deseado. La fase de integración acopla los diferentes módulos del sistema siguiendo el test operacional, en donde se realizan las últimas pruebas sobre un escenario real [10].

6. Cronogramas

Revisar Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3.

7. Referencias

- [1] O. Chacon Baltazar, A. Choque Campero, O. J. Choquecallata Mamani y R. Choquecallata, «Valor Normal de los Signos Vitales en Adultos de la Provincia Cercado debido a la Altura,» *Revista Científica Ciencia Médica*, vol. 13, n° 1, pp. 19-21, 2010.
- [2] D. L. J. Berenguer Guarnaluses, «Algunas consideraciones sobre la hipertensión arterial,» *MEDISAN*, vol. 20, n° 11, pp. 2434-2438, 2016.
- [3] R. A. Sánchez, M. Ayala, H. Baglivo, C. Velázquez, G. Burlando, O. Kohlmann, J. Jiménez, P. López Jaramillo, A. Brandao, G. Valdés, L. Alcocer, M. Bendersky, A. J. Ramírez y A. Zanchetti, «Guías Latinoamericanas de Hipertensión Arterial,» *Revista chilena de cardiología*, vol. 29, n° 1, pp. 117-144, 2010.
- [4] P. Pokharkar, D. Patil, A. Zaidy, R. Krishnan, K. Gadre y D. Sonawane, «Design and Development of Wireless Vitals Monitoring System,» 06 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6757106>. [Último acceso: 06 Noviembre 2020].
- [5] R. Xue, Z.-S. Wu, J. Chen y A.-N. Bai, «Architecture of remote vital signs acquisition based — GPS,» 17 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6201911>. [Último acceso: 06 Noviembre 2020].
- [6] G. Meneses Benavides y J. D. Lemos Duque, «EnViBo: Embedded network for vital sign and Biomedical Signal Monitoring,» 21 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6860431/>. [Último acceso: 06 Noviembre 2020].
- [7] «La Hipertensión Arterial de la población en México, una de las más altas del Mundo,» IMSS, 15 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/201707/203>. [Último acceso: 06 Octubre 2020].
- [8] «La OPS/OMS destaca la necesidad de formar más personal de enfermería en América Latina y el Caribe,» Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud, [En línea]. Available: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10947. [Último acceso: 06 octubre 2020].
- [9] I. N. d. S. Pública, «Brechas en la disponibilidad de médicos y enfermeras,» 20 Diciembre 2017. [En línea]. Available: http://www.cifrhs.salud.gob.mx/site1/residencias/brechas_medico_enf_esp.pdf. [Último acceso: 06 Octubre 2020].
- [10] A. Perez, O. Berreteaga, A. Ruiz de Olano y A. Urkidi, «Una metodología para el desarrollo de hardware y software,» *Systemics, Cybernetics and Informatics Journal*, vol. 3, n° 2, pp. 70-75, 2006.
- [11] O. M. d. I. S. (OMS), «Recomendaciones mundiales sobre la actividad física para la salud,» [En línea]. Available: https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/es/. [Último acceso: 06 Noviembre 2020].

8. Alumnos y directores

Cruz Flores Omar. - Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2018360761, Tel. 5577862650, email: ocruzf1700@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Oledo Enriquez Gilberto Irving. - Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014170825, Tel. 5535031628, email: goledoe1300@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Vazquez Sandoval Alfredo. - Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2016602506, Tel. 5584571782, email: avazquezs1502@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Hernández Tovar Rubén. - Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en la ESIME-IPN, Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, especialidad en Ingeniería Eléctrica, opción Comunicaciones en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección Comunicaciones de 1993 a 1995, email: rhtovar@ipn.mx

Firma: _____

Ortega González Rubén. - Recibí el grado de licenciatura en ingeniería eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 1999, el grado de M.Sc. en ingeniería de sistemas en el Instituto Politécnico Nacional, México, el de M.Sc. en ingeniería eléctrica, electrónica de computadores y sistemas de la Universidad de Oviedo, Oviedo, España, en 2009. El grado de Ph.D con mención honorífica en ingeniería electrónica por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, en 2012. He sido profesor en la Escuela Superior de Computo, Instituto Politécnico Nacional desde 1995. Mis principales campos de investigación son en el modelado y control de convertidores de potencia aplicados en la generación de energía en el ámbito de las microrredes, Smart grids y energías renovables, así como procesamiento digital de señales, email: rortegag@ipn.mx

Firma: _____

CARÁCTER: Confidencial
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y
Artículos 108, 113 y 107 de la Ley Federal de
Transparencia y Acceso a la Información Pública.
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta
y teléfono.

Anexo 1.

Nombre del alumno: Cruz Flores Omar

TT No:

Título del TT: Sistema embebido para monitoreo remoto de presión arterial usando IoT.

[illegible]

Anexo 2.

Nombre del alumno: Vazquez Sandoval Alfredo

TT No:

Título del TT: Sistema embebido para monitoreo remoto de presión arterial usando IoT.

[illegible]

Anexo 3.

Nombre del alumno: Oledo Enriquez Gilberto Irving

TT No:

Título del TT: Sistema embebido para monitoreo remoto de presión arterial usando IoT.

[illegible]