

# Monitoreo de signos vitales de forma remota utilizando IoT.

*Trabajo Terminal No. 2019-B077*

*Alumnos: \*Faydella Rojas Leonardo, Pacheco Delgado José Jacobeth*

*Directores: García Ortega Victor Hugo, Ortega González Ruben*

*e-mail: \*leonardofaydella@hotmail.com*

**Resumen** – El propósito de este trabajo terminal será el desarrollo de un prototipo de sistema embebido que permita el monitoreo de signos vitales con aplicación del internet de las cosas (IOT). El monitoreo se realizará a dos señales de función básica del cuerpo humano, como es la temperatura y el pulso cardíaco, con el objetivo de que dichas entradas se pueden monitorear de manera remota a través de una aplicación móvil. El sistema embebido debe de realizar el cálculo de frecuencia cardíaca para su envío.

Palabras clave – Signos vitales, Procesamiento digital de señales, Internet de las cosas, Sistema embebido, Tecnología LTE, Aplicación móvil, Sockets, SMS, Pulso cardíaco, Temperatura Corporal, Protocolos de comunicación para IoT.

## 1. Introducción

En los hospitales de México, el control de la información sobre el estado de salud de los pacientes es de importancia primordial para que los médicos y enfermeras realicen sus tareas de cuidado eficientemente. Por lo general, el control de la información se realiza a través de un archivo clínico que, según la Norma Oficial Mexicana NOM-168-SSA1-1998, es el "conjunto de documentos escritos, gráficos y de imágenes o de cualquier otro tipo, en los que el personal de salud, debe hacer los registros, anotaciones y certificaciones correspondientes a su intervención, de acuerdo con las disposiciones sanitarias" [1]. Como parte de los documentos que componen este archivo, encontramos hojas de enfermería que, entre otros datos, contienen información personal del paciente y los resultados de un examen físico o monitoreo de signos vitales [2].

En la actualidad existen muchos países con grandes retos en sus sistemas de salud, en los cuales se incluyen las deficiencias relacionadas en infraestructura y personal capacitado para atender poblaciones en crecimiento y con diferentes necesidades médicas. Como se menciona en el artículo "Los retos para mejorar el sistema de salud pública en México" [3] México es uno de los países con menor cantidad de recursos físicos por cada 1,000 habitantes, con una tasa de 1.5 instrumentos de monitoreo para la salud contra la tasa recomendada de 4.7. Además de esta carencia, hay un bajo nivel de recursos humanos capacitados para el cuidado de la salud. En la conferencia del XXI Congreso Internacional de Avances en Medicina (CIAM) se explicó que la OCDE indica que debe de existir una tasa de 3.4 médicos por cada 1,000 habitantes, en lo que en México esta tasa es de 2.4 médicos y en el IMSS solamente se cuenta con una tasa de 1.44. Se presenta el mismo caso en la cantidad de personal de enfermería donde la tasa que, de hecho que indica una fuerte deficiencia [4].

Hoy en día, el personal médico debe ir físicamente para verificar el estado de salud de cada paciente. La periodicidad de la revisión de los signos vitales viene dada por la normatividad de cada institución y por las órdenes médicas para cada paciente. Se hacen registros de enfermería manualmente desde un formato impreso estandarizado; se almacenan en la clínica del paciente registrado o, si el hospital maneja un registro médico electrónico, los datos en este registro deben ser capturados en el sistema.

Se utilizan algoritmos de procesamiento de señales para detectar pequeños cambios en la señal reflejada durante la pulsación y determinar el pulso cardíaco midiendo el intervalo de tiempo entre cada pulso.

Nos enfrentamos a dos retos típicos para la medición óptica para el pulso cardíaco. El primero es el cambio en la señal óptica reflejada que es típicamente menor al 5% de la señal de corriente directa base y en algunos casos menor al 0.1%. En segunda, la señal de entrada base se puede desplazar debido a movimientos o variaciones en la presión sanguínea. Adicionalmente, la capacidad limitada en un dispositivo de este tipo requiere de algoritmos de bajo consumo de energía, en lugar de aquellos algoritmos de procesamiento de señales que se usan más frecuentemente [5].

El autor Mohammad Rezaei propone en [6] dos algoritmos de bajo consumo para el monitoreo de frecuencia cardiaca, utilizando dos tipos de filtro: filtro pasa altas y filtro derivado, concluye que el algoritmo “basado en derivación” es mejor debido la detección de mayor número de pulsaciones, cuando la amplitud cambia rápidamente.

De acuerdo con el experimento realizado por Uma Arun en [7] el procesamiento del pulso cardiaco recolectado a través del ECG puede compartido remotamente por medio de una plataforma en la cual al ingresar un ID de usuario es posible consultar la señal generada.

A partir de lo que mencionan los autores en [8], se puede utilizar dispositivos de IoT para la supervisión de signos vitales en grupo transmitiendo los datos de manera inalámbrica, en su caso específico de aplicación en un asilo, definieron que los usuarios prefieren algo ligero, que no requiera cargar las baterías constantemente, barato y que los permita mantener sus actividades del día.

Con base al resultado que obtuvieron en el estudio [9] al hacer uso de IoT compararon el desempeño del sistema con otros dispositivos comerciales y observaron una mayor precisión en una menor cantidad de pulsaciones por minuto.

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre las características y los proyectos similares o productos existentes en el mercado.

Dispositivos	Características	Precio en el mercado
Dispositivo en el mercado: Apple watch	Puede medir el ritmo cardíaco de un usuario y puede notificarlo cuando detecta patrones en sus datos cardíacos que parecen ser fibrilación auricular o arritmias. El reloj también puede enviar datos del pulso cardiaco de un usuario a un médico a través de PDF. [10]	\$9,999.000 MXN
Proyecto Universidad de Ciencia y Tecnología Charotar (India): Monitor de pulso cardiaco y detector de ataques al corazón usando IoT	Implementación de sistema de monitoreo de frecuencia cardiaca y un sistema de reconocimiento de ataque cardiaco. El paciente lleva los sensores que envían la información a una aplicación en S.O. Android y el sensor de latidos permite verificar las lecturas y transmitirlas por Internet. [11]	No disponible
Fitbit Charge 2	Sus dispositivos realizan el monitoreo del pulso cardiaco a través de un fotopletismógrafo, con un tiempo de batería de 5 días. Como se menciona en [7] se ha cuestionado la eficiencia de la tecnología “PurePulse” para el monitoreo del ritmo cardiaco, teniendo factores que afecta	\$2,999 MXN

**Tabla 1.** Productos y proyectos similares.

Es considerable la alta necesidad de alternativas tecnológicas a la problemática que se afrontan los sistemas de salud en México, el plantear una solución tecnológica e innovadora que facilite al personal de salud mantener un monitoreo de los signos vitales más esenciales de los pacientes de manera remota, para mantenerlos bajo supervisión de tal forma, que se optimice la carga de trabajo conforme al personal disponible para estas actividades, y la cantidad de pacientes que requieren un cuidado clínico de tercer y primer nivel.

## 2. Objetivo

Desarrollar un sistema embebido para el monitoreo de temperatura corporal y frecuencia cardiaca que envíe los datos de dichas señales para que a través de un módulo de comunicación pueda transmitir los datos a un dispositivo móvil, en el que mediante una aplicación se pueda realizar el monitoreo de forma remota.

1. Configurar el sensor del pulso cardiaco.
2. Configurar el sensor de temperatura corporal.
3. Programar y configurar los dos puntos anteriores en el sistema embebido.
4. Programar y configurar el módulo de comunicación.
5. Implementación de la aplicación móvil de prueba.
6. Configuración del sistema embebido.

## 3. Justificación

Con los datos planteados previamente, es considerable la alta necesidad de alternativas tecnológicas a la problemática que se afrontan los sistemas sanitarios en México, el plantear una solución tecnológica e innovadora que facilite al personal de salud mantener un monitoreo de los signos vitales más esenciales de los pacientes de manera remota, para mantenerlos bajo supervisión de tal forma, que se optimice la carga de trabajo conforme al personal disponible para estas actividades, y la cantidad de pacientes que requieren un cuidado clínico de tercer y primer nivel.

El monitoreo de signos vitales básicos como la actividad cardiaca y la temperatura corporal son una parte integral de la atención a los pacientes hospitalizados, la indicación más temprana y pronta de cualquier anormalidad presentada precede enfermedades críticas, como se menciona en el artículo [12].

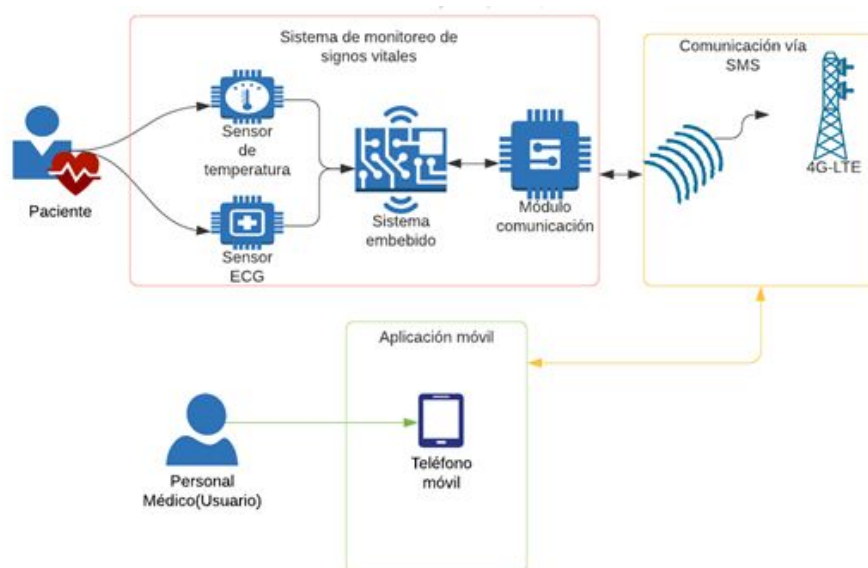
A pesar de que las unidades de cuidados intensivos cuentan con instrumentos potentes que brindan mediciones precisas y continuas de los signos vitales, representan una dificultad para el personal en guardia en el aspecto de mantenerse con la información necesaria en tiempo real, sin tener que acceder físicamente a dicha instrumentación y llevar a cabo la supervisión necesaria para asegurarse del estado de salud de sus pacientes.

Por lo mencionado anteriormente, resulta de importancia el tiempo que requieren dichos instrumentos de monitoreo que debe utilizarlos el personal médico. Complicando el proceso de recopilación de signos vitales, debido a que los pacientes con estados de salud más críticos requieren de mediciones más frecuentes a las que se registran normalmente.

A consecuencia de las razones planteadas, tomamos en cuenta que la mayoría de los pacientes siguen siendo monitoreados de la misma forma que se ha realizado durante décadas, donde el personal médico toma rondas intermitentes para medir los signos vitales. Dichas rondas se pueden realizar en un lapso entre 8 a 12 horas, pero dichas visitas pueden incrementar si existe una sospecha de deterioro de estado de salud, tal como hace referencia el artículo [12].

Planteados los hechos, nuestra propuesta comprende un dispositivo electrónico con un sensor para detectar el pulso cardíaco y uno para medir la temperatura corporal que permitan mantener un monitoreo de forma continua a través de la lectura de la frecuencia cardiaca y temperatura corporal, que se enviarán al dispositivo móvil del personal médico para su visualización y registro.

#### 4. Productos o Resultados esperados



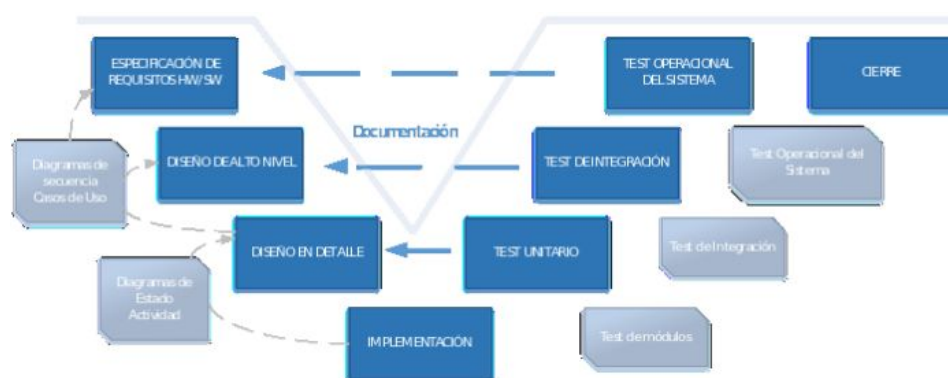
**Figura 1.** Arquitectura del sistema.

**Productos esperados:**

1. Sistema embebido para el monitoreo de signos vitales
2. Aplicación móvil para revisar el monitoreo de signos vitales.
3. Documentación del sistema.
4. Manual de usuario.

## 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, que consisten en partir 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. Es importante aclarar que la metodología a utilizar se adapta al proyecto a realizar, como se define en [13] concluimos que nos permite tener un mejor flujo en lo correspondiente a las etapas del proyecto.



**Figura 2. Modelo en V**

Para lograr el objetivo, 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, 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.

## 6. Cronogramas

CRONOGRAMA Nombre de alumno: Pacheco Delgado José Jacobeth TT No:

Título del TT: Monitoreo de signos vitales de forma remota utilizando IoT.

Actividades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	<del>Ago</del>	<del>Sep</del>	Oct	Nov	Dic
Requerimientos											
Análisis del sensor de temperatura											
Análisis del sistema embebido											
Análisis de la aplicación											
Diseño de interfaz de sensor de temperatura											
Diseño del sistema embebido											
Diseño de la aplicación											
Implementación de interfaz de sensor de temperatura											
Implementación del sistema embebido											
Implementación de aplicación											
Pruebas de integración											

CRONOGRAMA Nombre de alumno: Faydella Rojas Leonardo TT No:

Título del TT: Monitoreo de signos vitales de forma remota utilizando IoT.

[illegible]

## 7. Referencias

- [1] Norma Oficial Mexicana del Expediente Clínico. "Hojas de enfermería", 2003.
- [2] Torres, M. "Calidad de los registros clínicos de enfermería: Elaboración de un instrumento para su evaluación", 2011 pp. 17-25.
- [3] A.García, "Los retos para mejorar el sistema de salud pública en México", El Economista, 2019. [Online]. Available:<https://www.eleconomista.com.mx/estados/Los-retos-para-mejorar-el-sistema-de-salud-publica-en-Mexico-20190105-0001.html>
- [4] Milenio Digital, "Falta de personal e infraestructura en el sector salud: Castellero", Milenio, 2019. [Online]. Available: <https://www.milenio.com/salud/imss-sufre-deficit-medicos-atencion-salud>
- [5] P. Canale, A. Fontanella, E. Torti, G. Danese, and F. Leporati, "Development of a real-time heart rate estimation algorithm on a lowpower device," in 2017 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2017, pp. 1-4.
- [6] M. Rezaei and A. S. Basu, "Comparison of Two Low-Power Signal Processing Algorithms for Optical Heart Rate Monitoring," *2018 IEEE SENSORS*, New Delhi, 2018, pp. 1-4.  
doi: 10.1109/ICSENS.2018.8589811
- [7] U. Arun, S. Natarajan and R. R. Rajanna, "A Novel IoT Cloud-based Real-Time Cardiac Monitoring Approach using NI myRIO-1900 for Telemedicine Applications," 2018 3rd International Conference on Circuits, Control, Communication and Computing (I4C), Bangalore, India, 2018, pp. 1-4.  
doi: 10.1109/CIMCA.2018.8739701
- [8] J. Huang, T. Wang, T. Su and K. Lan, "Design and deployment of a heart rate monitoring system in a senior center," *2013 IEEE International Workshop of Internet-of-Things Networking and Control (IoT-NC)*, New Orleans, LA, 2013, pp. 43-47.  
doi: 10.1109/IoT-NC.2013.6694052
- [9] S. Krachunov et al., "Energy efficient heart rate sensing using a painted electrode ECG wearable," 2017 Global Internet of Things Summit (GIOTS), Geneva, 2017, pp. 1-6.  
doi: 10.1109/GIOTS.2017.8016260
- [10] J. Spitzer, "Apple's latest ECG-monitoring watch: 12 things to know.", *Beckershospitalreview.com*, 2019. [Online]. Available:  
<https://www.beckershospitalreview.com/healthcare-information-technology/apple-s-latest-ecg-monitoring-watch-11-things-to-know.html> [Accessed: 23- Sep- 2019].
- [11]: Patel, Nehal. (2018). " Heart Attack Detection and Heart Rate Monitoring Using IoT" IJIACS. Academic Science, vol. 7, no. 4, pp. 611-615, Abril 2018.
- [12]: Bonnici T, Tarassenko L, Clifton DA, Watkinson P. The digital patient. *Clin Med (Lond)*. 2013;13(3):252-257. doi:10.7861/clinmedicine.13-3-252
- [13]: PEREZ, A; et al. "Una metodología para el desarrollo de hardware y software embebidos en sistemas críticos de seguridad". Systemics, Cybernetics and Informatics Journal, vol 3, Num. 2, 2006, pp. 70-75.

## 8. Alumnos y directores

Leonardo Faydella Rojas.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2016630108 , Tel. 5570520586, email leonardofaydella@hotmail.com

Firma: \_\_\_\_\_

CARÁCTER: Confidencial  
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos 108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.  
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.

José Jacobeth Pacheco Delgado.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2016630496 , Tel. 5583722168, email jpachecod1200@alumno.ipn.mx

Firma: \_\_\_\_\_

Víctor Hugo García Ortega.- Ing. en Sistemas Computacionales egresado de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional (IPN-1999). Maestría en Ingeniería de Cómputo con especialidad en Sistemas Digitales en el Centro de Investigación en Computación del IPN (2006). Actualmente es profesor Titular en la Escuela Superior de Cómputo del IPN trabajando en el área de Sistemas embebidos, Arquitectura de Computadoras y Procesamiento Digital de Imágenes y Señales. Teléfono 57296000 Ext 52064, email vgarciao@ipn.mx.

Firma: \_\_\_\_\_

Rubén Ortega González.- Dr. En ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España en 2012, M.Sc en ingeniería de sistemas en el Instituto Politécnico Nacional, México, M.Sc. en ingeniería eléctrica, electrónica de computadores y sistemas de la Universidad de Oviedo, Oviedo, España, en 2009 y grado de licenciatura en ingeniería eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 1999. Actualmente es profesor en la Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional desde 1995. Interés: 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. Teléfono: 57296000 Ext 52064 , email: rortegag@ipn.mx.

Firma: \_\_\_\_\_