



Diseño e implementación de un prototipo multimodal para medición de variables fisiológicas en humanos, con comunicación inalámbrica a internet y aplicaciones a la telemedicina

Design and implementation of a multimodal prototype for measuring physiological variables in humans, with wireless internet communication and telemedicine applications

Projeto e implementação de um protótipo multimodal para medição de variáveis fisiológicas em humanos, com comunicação wireless via internet e aplicações de telemedicina

Juan Luis Alava-Mieles ^I
juan.alava@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/000-0003-3217-1499>

Ida Aurora Alava-Mieles ^{II}
Ida.alavam@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6228-2726>

César Vicente Ramírez-Gutiérrez ^{III}
cesar.ramirezg@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9355-9169>

Correspondencia: juan.alava@educacion.gob.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de octubre de 2022 * **Aceptado:** 28 de noviembre de 2022 * **Publicado:** 03 de diciembre de 2022

- I. Docente Unidad Educativa Replica Técnico Simón Bolívar, Ecuador.
- II. Docente Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- III. Docente Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Resumen

Este documento presenta la implementación y desarrollo de un prototipo multimodal que mide ciertas variables fisiológicas humanas, el cual se conecta mediante internet a un servidor AWS con base de datos en MondoBD. Además del desarrollo de una página web y aplicativo móvil, para el uso de los profesionales de salud del centro médico Semic, ubicado en Guayaquil, en donde se de la administración, registro y visualización de la información de los pacientes y la medición enviada por el prototipo. De esta manera, se contribuye a la optimización de herramientas digitales en la gestión médica en relación con la telemedicina, la cual en la actualidad ha ido incrementando su uso he implementación debido a la pandemia del COVID-19, ya que permitiendo una conexión del paciente y médico de manera remota y mejorando la atención de este.

Palabras clave: Variables Fisiológicas; Internet; Servidor; Prototipo; Telemedicina.

Abstract

This document presents the implementation and development of a multimodal prototype that measures certain human physiological variables, which is connected via the Internet to an AWS server with a MondoBD database. In addition to the development of a web page and mobile application, for the use of health professionals from the Semic medical center, located in Guayaquil, where the administration, registration and visualization of patient information and the measurement sent by the prototype. In this way, it contributes to the optimization of digital tools in medical management in relation to telemedicine, which currently has been increasing its use and implementation due to the COVID-19 pandemic, since it allows a patient connection and doctor remotely and improving their care.

Keywords: Physiological Variables; Internet; Server; Prototype; Telemedicine.

Resumo

Este documento apresenta a implementação e desenvolvimento de um protótipo multimodal que mede determinadas variáveis fisiológicas humanas, que está conectado via Internet a um servidor AWS com banco de dados MondoBD. Além do desenvolvimento de uma página web e aplicativo móvel, para uso dos profissionais de saúde do centro médico Semic, localizado em Guayaquil,

onde se administra, registra e visualiza as informações do paciente e a medição enviada pelo protótipo. Desta forma, contribuí para a otimização de ferramentas digitais na gestão médica em relação à telemedicina, que atualmente vem aumentando seu uso e implementação devido à pandemia do COVID-19, pois permite uma conexão paciente e médico remotamente e melhorando seu atendimento.

Palavras-chave: Variáveis Fisiológicas; Internet; Servidor; Protótipo; Telemedicina.

Introducción

El desarrollo de la electrónica ha tenido un gran avance desde sus primeros descubrimientos, al punto de encontrarse en nuestra vida cotidiana. En la medicina también ha tenido un gran impacto, encontrándose en la detección del ritmo cardiaco, radiografías, scanner, incubadoras, medidores automáticos de presión, entre otros, que ayudan al monitoreo, diagnóstico, tratamiento, o mejorar la calidad de vida [1]. Entre ellos se encuentran los sistemas de monitores de variables fisiológicas, en los cuales, mediante el uso de diferentes sensores, llamados biosensores, detectan señales eléctricas, químicas o biológicas producidas por el cuerpo y permiten medir y monitorear diferentes variables, entre las más utilizadas están: actividad cardiaca, temperatura corporal, frecuencia respiratoria, saturación de oxígenos, tasa de pulso cardiaco, entre otros [2].

En los últimos años se ha dado un crecimiento en el uso e implementación de la telemedicina, la cual, integra la electrónica con las tecnologías de la comunicación, permitiendo una conexión entre los profesionales de la salud y el paciente. Dentro de la telemedicina se tiene la teleconsulta, tele diagnóstico, telecirugía, entre otros. En el Ecuador se han tenido algunos proyectos de Telemedicina, iniciándose en 1998 con una telecirugía, con el proyecto Fundación Cinterantes, y continuando a lo largo de los años con diferentes proyectos de telemedicina [3] [4]. Adicionalmente debido a la emergencia mundial por el covid-19, en la actualidad ya es cotidiano escuchar términos de telemedicina o telesalud, relacionados a las consultas, tratamiento, procedimientos, etc. En los cuales el medico puede cuidar la salud del paciente de manera remota mediante una conexión online.

Con lo expuesto anteriormente, este trabajo plantea el diseño e implementación de un prototipo multimodal para medición de variables fisiológicas en humanos, la cual permita una comunicación inalámbrica con una página web y aplicación móvil en la donde el personal médico

que trabaja en el Centro Médico “Semedic” podrá visualizar y monitorear las variables obtenidas por el prototipo biomédico.

Para la implementación del prototipo, se utilizó; para la medición de las variables, sensores comerciales con comunicación I2C, para el módulo de comunicación, las tarjetas electrónicas arduino nano y ESP8266. El servidor se implementó en una máquina virtual de Amazon Web Services con la base de datos en Mongo DB y se usó la arquitectura cliente servidor para la comunicación. Finalmente, mediante framework Flutter se desarrolló la página web y el aplicativo móvil.

Telemedicina

Esta sección se da una breve descripción sobre la telemedicina. La telemedicina se relaciona con la atención médica remota, lo cual significa que el doctor y paciente no tienen contacto físico, por lo cual se puede dar una atención y diagnóstico oportuno. Por lo tanto, este sistema se puede aplicar en cualquier especialidad médica. Por consiguiente, el uso de la tecnología ha permitido facilitar y solucionar diversos inconvenientes presentados como: la distancia, falta de personal, transporte, entre otros [5].

Red de telemedicina

Para comprender mejor lo que es la telemedicina, en la Figura 1, se muestra la estructura fundamental de la red de telemedicina. Esta red está compuesta por pacientes, médicos, especialistas, periféricos de adquisición de datos, equipos de comunicación y un medio de transmisión. Todos estos componentes interactúan entre sí para lograr una comunicación entre el médico y paciente, empleando como nexo el Internet.

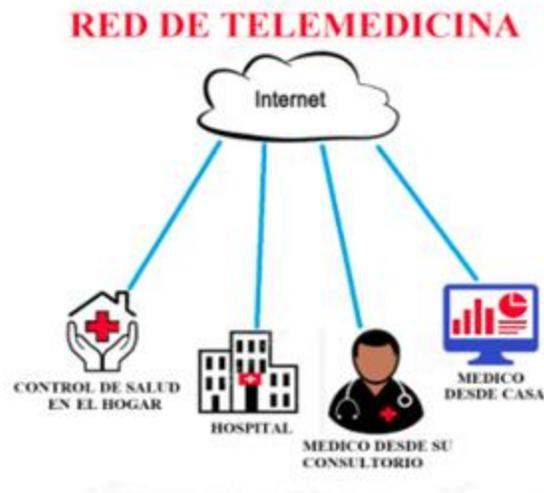


Figura 1: Red de telemedicina

Variables fisiológicas

El control de los signos vitales se lo realiza a través de la medición de las variables fisiológicas mediante el uso de sensores que perciben la señal analógica y la transforma en digital con el uso de un microcontrolador para su visualización. La monitorización puede ser de modo invasiva y no invasiva [2]. Para el presente proyecto emplea la medición de las variables de manera no invasiva, es decir el sensor no atraviesa ni penetra la piel para la toma de datos.

Las variables fisiológicas humanas que se miden en el prototipo son: frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, presión arterial, saturación de oxígeno y temperatura corporal.

Sensores fisiológicos

Los sensores son dispositivos electrónicos que miden un cambio en una propiedad física, la almacenan y dan una respuesta de la misma. Las variables físicas como longitud, peso, temperatura, presión y electricidad pueden ser medidas con ayuda de sensores fisiológicos, dichas variables son de gran importancia para la evaluación del estado funcional de los seres humanos [6].

Los sensores fisiológicos utilizados en este proyecto se detallan a continuación:

- Termómetro infrarrojo temporal MLX90614.
- Sensor De Frecuencia Cardiaca Oxímetro Max30100.

- Módulo de ritmo cardíaco ECG Ad8232.
- Tensiómetro de presión arterial comercial

Internet de las cosas IdC

El internet de las cosas o internet de los objetos (IdC) es de gran importancia ya que recopila, estudia y reparte datos convirtiéndolos en información para el IdC. El internet es uno de los inventos más revolucionarios en la historia, ya que ha tenido un impacto importante en diferentes áreas como la educación, finanzas, y la forma de vida en general [7].

En el proyecto se consideró la tarjeta electrónica Arduino nano, y el módulo ESP8266, la primera se emplea para la recolección de datos, y la segunda permite la conectividad al microcontrolador asociado a la red WiFi utilizando el protocolo TCP/IP integrado.

Servidor y base de datos.

Arquitectura cliente/servidor

La arquitectura Cliente/Servidor es un ejemplo de aplicación distribuida, cada asignación es compartida entre proveedores de servicio (servidores) y demandantes (clientes). La aplicación Cliente manda la orden a la aplicación Servidor, y este último al estar en ejecución, es el encargado de atender dichas peticiones. En la Figura 2, se puede observar como es una arquitectura cliente/servidor [8].



Figura 2: Arquitectura cliente/servidor

Base de datos

Una base de datos es una cadena estructurada de información, ordenada en forma de registros y guardada de manera electrónica, la cual es descifrable por un ordenador. Cada unidad autónoma es un registro de información que puede estar formado por diferentes tipos de datos recopilados en esta base de datos [9].

Se emplea MongoDB como sistema de base de datos, en el cual se almacenan los datos en forma documentada y no en tablas, es decir los datos se guardan en documentos tipo JSON.

Diseño del prototipo

Esquema general del sistema

El sistema planteado está comprendido por sensores de variables fisiológicas, los cuales permiten tener una lectura del paciente por medio del sistema de adquisición de datos, el mismo que está compuesto por tarjetas de desarrollo para complementar la etapa de adquisición y tratamiento de datos de las variables medidas. El dispositivo de conectividad a internet permite el intercambio de información con los diferentes usuarios de la red de telemedicina, el servidor o nube es el encargado de realizar la conexión al módulo de adquisición con la base de datos y las aplicaciones web o móvil, la base de datos es responsable de guardar variables y generar reportes. Para finalizar, la página web y la aplicación móvil se presentan como las interfaces para el usuario final, las cuales son las encargadas de mostrar las variables en tiempo real y las variables históricas.

En la Figura 3, se muestra la estructura del prototipo y como está conectada cada una de las partes que componen el sistema.

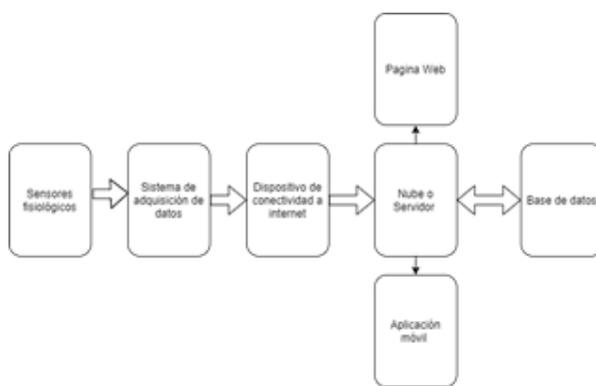
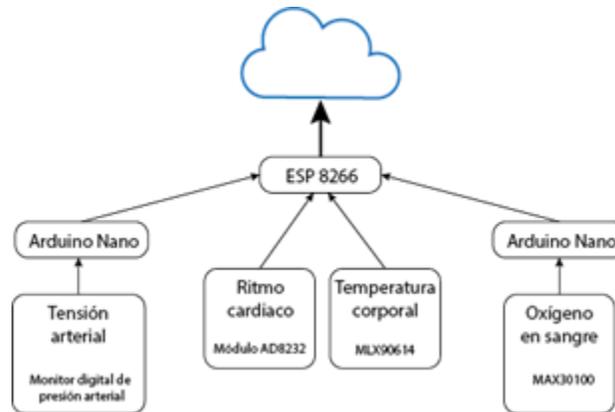


Figura 3: Estructura general del prototipo

Esquema del sistema de adquisición de datos

En la implementación del módulo se usó dos tipos de tarjetas electrónicas: Arduino Nano y ESP8266, la primera trabaja con los datos recopilados, mientras, la segunda tarjeta tiene como función, enviar todos los datos a un servidor.

**Figura 4:** Conexión del prototipo y distribución de elementos

En la Figura 4, se observa cómo se envían los datos a la nube. De las variables medidas en el prototipo, los datos de la presión arterial y oxígeno de la sangre son tomados por el arduino nano y luego enviados al módulo ESP8266 mediante comunicación I2C, mientras que los valores del ritmo cardiaco y la temperatura corporal se envían directamente al módulo ESP8266. Posteriormente el módulo ESP8266 se conecta a una red Wifi y envía los datos recopilados al servidor, para poder ser visualizados en la página web y aplicativo móvil.

Montaje del sistema de adquisición de datos

Con el fin de organizar la distribución de los sensores, tarjetas utilizadas y demás componentes se realizó una placa electrónica, misma que fue desarrollada en el programa ARES de Proteus. En esta placa se encuentra de forma compacta, dos tarjetas de arduino nano, un módulo ESP8266, conectores para los sensores de saturación de oxígeno en la sangre, sensor de temperatura, sensor de ritmo cardíaco, el monitor de tensión arterial, leds indicadores y resistencias de pull-up para la comunicación I2C. Además de un circuito de regulación con dos salidas de 3.3V y 5V, con lo cual se alimentará los sensores y tarjetas utilizados. En la Figura 5, se muestra la placa diseñada.

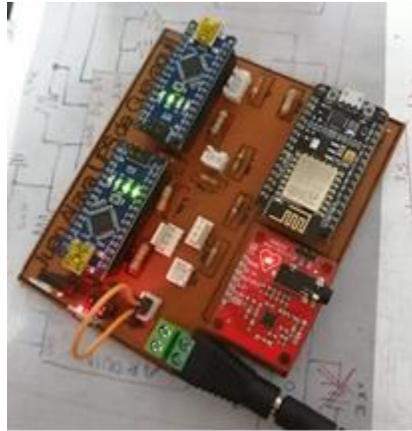


Figura 5: Placa electrónica del módulo de telemedicina

A continuación, se diseñó de la carcasa el software Inventor de Autodesk. La misma alberga en su inferior la placa electrónica y además se tiene un soporte para uno de los sensores. En la Figura 6, se muestra las impresiones 3D de la carcasa.

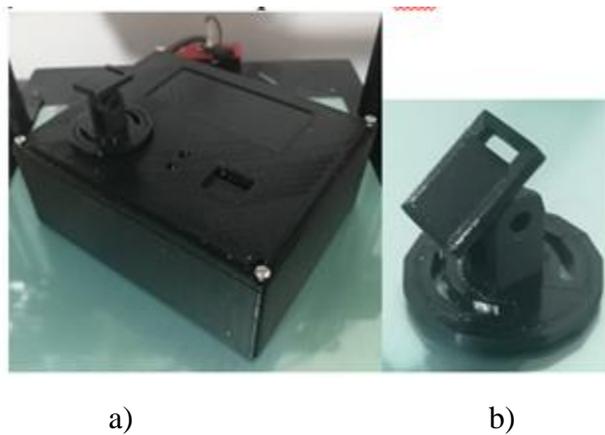


Figura 6: a) Carcasa ensamblada b) soporte para sensor de temperatura

En la Figura 7, se muestra el prototipo con los sensores y demás componentes.



Figura 7: Módulo de telemedicina ensamblado

Configuración del servidor y base de datos

El servidor es una computadora virtual alojada en los servidores de Amazon Web Services, que cumple con características mínimas de manejo de datos. Esta se conecta con MongoDB, el cual es usado como gestor de datos.

Finalmente, el servidor seleccionado utiliza el conjunto de buenas prácticas de REST API para conectarse con los clientes que en este caso será el sistema de adquisición de datos y los usuarios finales como son la página web y aplicativo móvil por medio de solicitudes de tipo http del lado del servidor y formato JSON para las interfaces gráficas.

En la Figura 8, se muestra la comunicación entre el servidor y el cliente.



Figura 8: Funcionamiento del servidor

Página web y aplicativo móvil

Para la interfaz de usuario final se utilizó el framework Flutter, que permite realizar tanto aplicaciones móviles como aplicaciones web. Esta interfaz ofrece la facilidad de usar el mismo código para obtener aplicaciones en ambas plataformas, siempre que se tome en cuenta el criterio

de diseño responsive para un resultado satisfactorio en ambas plataformas. En la Figura 9, se muestra el diseño para la página web y aplicación móvil.



Figura 9: Interfaz implementada tanto en página web como aplicativo móvil.

Las pantallas implementadas fueron dos, un dashboard donde muestra los datos obtenidos en tiempo real de los pacientes utilizando el sistema de adquisición de datos, y otro una base de datos de pacientes anteriores los cuales permite el desarrollo del historial de pacientes, elementos primordiales en un sistema de administración para una clínica médica.

Resultados

Una vez el sistema implementado se procedió a realizar pruebas entre el dispositivo de adquisición de datos, el servidor, base de datos e interfaz de usuario. Obteniéndose los siguientes resultados para los sensores utilizados.

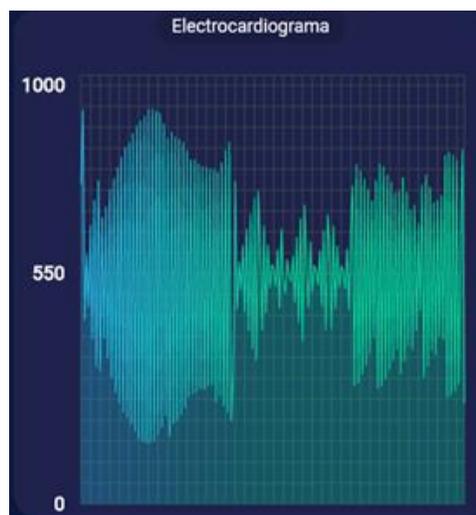


Figura 10: Pruebas ECG enviado desde el dispositivo a través del servidor implementado



Figura 11: Sensor de temperatura y tensiómetro conectados a través del internet.

Utilizando dispositivos estandarizados y de uso comercial se procedió a validar el prototipo comparándolos siguientes resultados mostrados en las tablas a continuación.

Figura 12: Comparación entre un oxímetro comercial y el prototipo

Paciente	50DL DSN (%)	Max30100 (%)	Error (%)
1	97	97	0.0
2	99	99	0.0
3	99	99	0.0
4	98	97	1.01
5	96	97	1.01

Figura 13: Comparación entre un termómetro comercial y el prototipo

Paciente	DET306 (°C)	MLX90614 (°C)	Error (%)
1	36.7	35.39	3.57
2	34.8	36.63	5.29
3	36.2	36.77	1.57
4	36.6	35.93	1.83
5	35.2	34.75	1.27

De los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se observa que el oxímetro se redujo su error llegando a obtener valores muy cercanos al dispositivo estandarizado por lo que no habría

inconvenientes al implementarlo en el centro médico. Mientras que, en el sensor de temperatura corporal debido a su error de precisión por las condiciones constructivas de este, se obtuvo un error a considerar al momento de implementarlo aun así satisface la funcionalidad de este sensor.

Conclusiones

Se desarrolló un sistema de adquisición de datos de las variables fisiológicas de humanos, a partir de un modelo comercial, en el que se implementó tanto hardware como software, mediante el IDE de Arduino y sensores compatibles con este.

Se validó el prototipo implementado con dispositivos estandarizados y de uso comercial para las variables de temperatura y concentración de oxígeno en la sangre obteniendo errores aceptables.

Se diseñó e implementó una página web con dominio gratuito y una aplicación móvil para el sistema operativo Android, los cuales permitieron realizar la gestión de datos enviados por el dispositivo. Además, de permitir la interacción con el usuario final en este caso pacientes o médicos.

Se desarrolló la programación del módulo de comunicación inalámbrica, que establece la conexión entre servidor web y la base de datos, de esta forma se realiza el envío de datos que proveen los sensores del prototipo

Referencias

1. R. Areny, “La ingeniería electrónica y la medicina”. DYNA, vol. 71, pp. 64-67, 1996.
2. C. Gutiérrez, “Sistema de monitoreo Continuo de Signos Vitales con Sensores No Invasivos y Transmisión Inalámbrica de Datos”, Proyecto de titulación, Universidad de concepción, Concepción, Chile. Marzo, 2016.
3. H. Roldán, “Desarrollo de un modelo de gestión de servicios de TI para aplicaciones de telemedicina en el Ecuador”, Proyecto de titulación master, Quito, Ecuador. Enero, 2016.
4. Desarrollo de un modelo de gestión de servicios de TI para aplicaciones de telemedicina en el Ecuador
5. D. Alvarado, “Telecirugía: un análisis tecnológico de la telecirugía laparoscópica”, Proyecto de titulación, Guatemala. Mayo, 2005.

6. B. Eiggins, “Chemical sensors and biosensors” (J. Wiley (ed.); Primera Ed). John Wiley & Sons Ltd. 2002.
7. D. Evans, “The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything”. Cisco IBSG, pp. 2–10, 2011.
8. E. Marini, “El Modelo Cliente/Servidor”, pp 5–6, Octubre, 2012.
9. L. Rodríguez, L. “Bases de datos documentales: estructura y principios de uso”. In CINDOC-CSIC.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).