

DISPOSITIVO WEREABLE PARA EL MONITOREO DE SIGNOS VITALES UTILIZANDO RED LoRa

Realizado por:
Ing. Casanova Rafael / Correo: casanovarafael547@gmail.com
Ing. Gómez Willy / Correo: willy_gomez19@gmail.com
Ing. Duarte Abraham / Correo: abrahamdaviddf1@gmail.com

Tutor Académico:
Dr. Luis Montiel / Correo: lnmontiel@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
Dra. Maribel Ordoñez **/ Correo:** mordoñez@urbe.edu.ve

Actualmente, las enfermedades cardiovasculares y crónicas representan una de las principales causas de defunción a nivel global, acentuando la necesidad crítica de un monitoreo constante y confiable de los signos vitales. Este tipo de control es esencial para la atención médica oportuna, especialmente en personas vulnerables y en poblaciones con acceso limitado a servicios de salud. Esta situación evidencia la necesidad imperante de diseñar un dispositivo que no solo pueda monitorear variables clínicas fundamentales como la frecuencia cardíaca, la

saturación de oxígeno en sangre (SpO_2) y la temperatura corporal, sino que también tenga la capacidad de comunicar eventos críticos en tiempo real sin depender de redes celulares tradicionales. Aquí surge la oportunidad tecnológica de utilizar redes de comunicación de largo alcance y bajo consumo, como LoRa (Long Range), que funcionan sin internet y permiten cobertura de varios kilómetros.

Esta investigación propone analizar la situación actual de los dispositivos para el monitoreo signos vitales, determinar los requerimientos para la creación del dispositivo wearable, diseñar física y lógico, construirlo el prototipo, y demostrar mediante pruebas su correcto funcionamiento. distribución de planta adecuada no solo optimiza los flujos de trabajo y minimiza costos, sino que constituye un pilar esencial para garantizar la inocuidad y calidad del producto final.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A través de la implementación de los métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos, este apartado tiene como propósito dar respuesta a la problemática planteada, enfrentando los resultados prácticos con la teoría consultada para obtener conclusiones contundentes sobre la eficiencia del sistema bajo la tecnología LoRa. A continuación, se procede a desarrollar cada una de las fases que conforman la investigación.

FASE I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Esta fase de investigación comprende el inicio del proceso, de tal manera que representa el primer paso para que se pueda llevar a cabo el objetivo específico número uno (1) de la presente investigación, dirigido a: Analizar los requerimientos técnicos y médicos para el monitoreo de signos vitales en zonas rurales. En esta etapa se puntualiza la problemática existente respecto a la carencia de infraestructura de red y la necesidad de supervisión médica remota en entornos críticos.

Para cumplir con este objetivo, se procedió a la realización de entrevistas semiestructuradas (ver Anexo A), dirigidas a un grupo de especialistas seleccionados por su experiencia y conveniencia, entre los que destacan los doctores Campos, Méndez y Morán en el área clínica, así como profesionales en el área de ingeniería electrónica. Esto permitió obtener un aporte crítico individual para otorgar visión y objetivos técnicos al proyecto.

Mediante los instrumentos de recolección de datos aplicados tanto al personal médico como a los especialistas en electrónica, fue posible determinar los requerimientos clínicos y técnicos

esenciales para el monitoreo de signos vitales en zonas rurales. Estos hallazgos proporcionan una visión detallada de las especificaciones de precisión autonomía y conectividad bajo la tecnología LoRa que deben considerarse en el diseño del prototipo. De este modo, se garantiza la creación de un dispositivo funcional y seguro que satisfaga los propósitos planteados en la investigación, permitiendo avanzar con bases sólidas hacia la Fase II de diseño del sistema.

A través de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos y el análisis de las respuestas obtenidas de los especialistas médicos e ingenieros, se logró cumplir con los dos primeros objetivos de esta investigación. Inicialmente, se analizaron los métodos actuales y las complicaciones del monitoreo tradicional, identificando las brechas tecnológicas en zonas rurales. Posteriormente, este diagnóstico permitió determinar los requerimientos técnicos y funcionales indispensables para la creación del dispositivo wearable, tales como la precisión de los sensores MAX30102 y MLX90614, la autonomía energética y la conectividad LoRa. Con estas especificaciones claramente definidas, se establecen las bases sólidas para proceder a la Fase II, centrada en el diseño físico y lógico del dispositivo, cumpliendo así con la secuencia metodológica planteada.

FASE II. BÚSQUEDA Y CREACIÓN DE DOCUMENTACIÓN NECESARIA

En esta fase de investigación se determinan los requerimientos técnicos necesarios para el correcto desarrollo de un dispositivo wearable de monitoreo, de modo que éste se ajuste a las necesidades de supervisión constante en pacientes ubicados en zonas con baja cobertura de red. Una vez definidos estos requisitos, se da inicio al proceso de diseño y desarrollo del prototipo, con el fin de satisfacer las necesidades médicas de los usuarios y los objetivos planteados en este Trabajo Especial de Grado.

En este contexto, se establece, a través de un análisis basado en la revisión de manuales operativos y hojas de datos de los fabricantes, la funcionalidad que deberán poseer todos los componentes destinados al desarrollo de un sistema portátil de monitoreo de signos vitales basado en tecnología LoRa. A continuación, se detallan las características técnicas de los componentes seleccionados de manera individual:

- ESP-wroom-32 placa de desarrollo 2.4 ghZ

El ESP32 integra conmutadores de antena, balun de RF, amplificadores de potencia, amplificadores de bajo ruido, filtros y módulos de gestión de energía, logrando que la solución

completa ocupe el área mínima en la placa de circuito impreso (PCB). Se presenta como un chip de modo dual que combina Wi-Fi de 2.4 GHz y Bluetooth, fabricado con la tecnología TSMC de ultra bajo consumo de 40 nm. Este componente ofrece un rendimiento superior en disipación de potencia y radiofrecuencia (RF), garantizando seguridad, confiabilidad y una alta escalabilidad para diversas aplicaciones de monitoreo.

Cuadro 16
Características esp-32

Conectividad: Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE.
Periféricos: 12 canales de ADC, 2 DAC, 3 UART, 3 SPI, 2 I2C y sensores de efecto Hall
Voltaje de operación: 2.2V a 3.6V.
Procesador: Dual-core Xtensa® 32-bit LX6 de hasta 240 MHz.
Memoria: 520 KB de SRAM interna y 4 MB de memoria Flash externa.

Fuente: Casanova, Gómez, Duarte (2026)

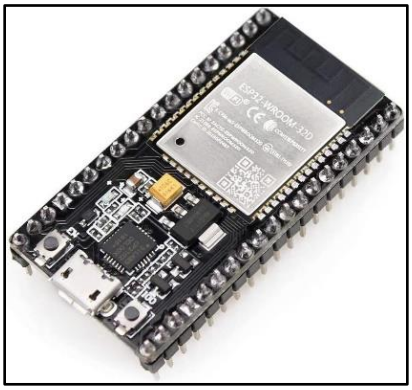


Figura 1: esp-wroom-32.
Fuente: Amazon estados unidos (2026).

- Sensor max30102

Es un módulo biosensor integrado que combina un sistema de oximetría de pulso y monitoreo de frecuencia cardíaca. Utiliza dos LEDs (rojo e infrarrojo) junto con un fotodetector de bajo ruido para medir la saturación de oxígeno y el pulso mediante fotopletismografía, permitiendo una detección no invasiva y de bajo consumo energético.

Cuadro 17
Características del sensor max30102

Características:
Voltaje de alimentación: 1.8V a 3.3V
Corriente en reposo: 0.7µA
Interfaz de datos: I2C
Resolución del ADC: Hasta 18 bits configurables.
Temperatura de operación: -40°C a +85°C.

Fuente: Casanova, Gómez, Duarte (2026)

Figura 2: Sensor MAX30102.



Fuente: Amazon Estados Unidos (2026)

- Sensor mlx90614

Es un termómetro infrarrojo digital diseñado para la medición de temperatura sin contacto físico. Este dispositivo integra un detector termopila de alta resolución y un procesador de señales digitales (DSP), lo que permite obtener lecturas precisas de la temperatura de un objeto a distancia
mediante la detección de su energía infrarroja.

- **Sensor mpu6500**

Es un dispositivo de seguimiento de movimiento de alto rendimiento que integra un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes en un solo chip. Este sensor permite detectar el movimiento, la orientación y la inclinación del usuario con alta precisión, siendo un reemplazo avanzado del módulo MPU6050 para aplicaciones que requieren mayor velocidad de respuesta.

- **Modulo lora ra-01**

Es un transceptor de radiofrecuencia de largo alcance basado en la tecnología de modulación por espectro ensanchado LoRa. Este módulo permite la transmisión inalámbrica de datos a distancias superiores a varios kilómetros con un consumo de energía mínimo, ofreciendo una alta inmunidad a las interferencias, ideal para entornos rurales.

- **Neo-6m gps**

Es un receptor GPS de alto rendimiento que permite obtener coordenadas geográficas (latitud y longitud) con gran precisión. Integra una antena cerámica de alta ganancia y una memoria EEPROM para almacenar datos de configuración, lo que facilita una rápida adquisición de señales satelitales incluso en condiciones de baja visibilidad.

Figura 6: NEO-6M GPS

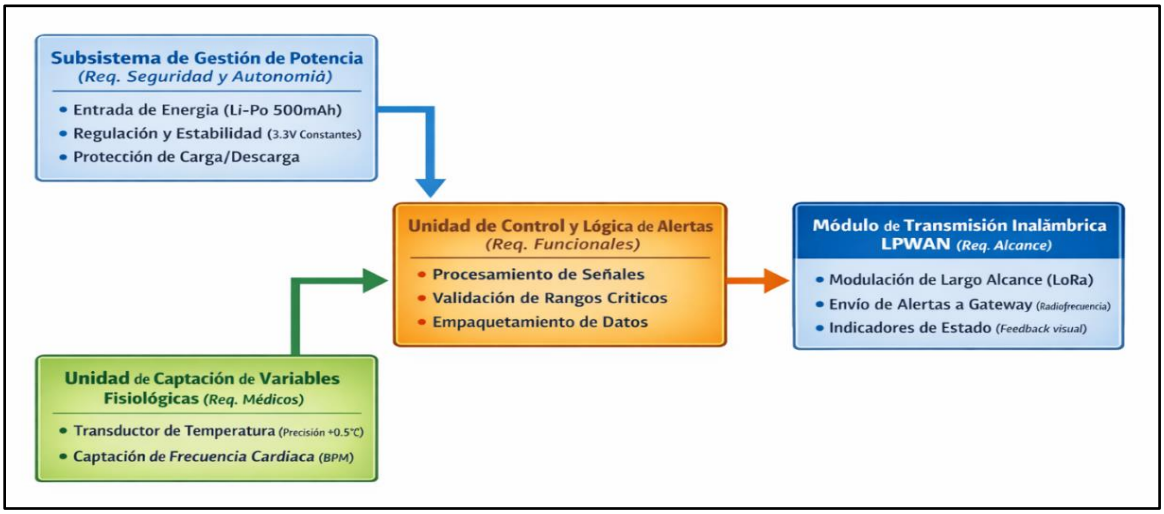


Fuente: Amazon Estados Unidos (2026)

El diagrama presentado en la Figura 11 sintetiza la arquitectura funcional del prototipo, derivando directamente de los requerimientos identificados en las consultas a especialistas. En este esquema se observa cómo la unidad de gestión de potencia garantiza la seguridad eléctrica y la autonomía de 8 a 12 horas exigida,

mientras que la unidad de captación asegura la fidelidad de las lecturas médicas. Este flujo lógico de información y energía establece la base estructural necesaria para proceder, en la siguiente fase, al diseño detallado de los circuitos y la selección final de pines de conexión del hardware.

Figura 11: arquitectura funcional del prototipo



Fuente: Casanova, Gómez, Duarte (2026)

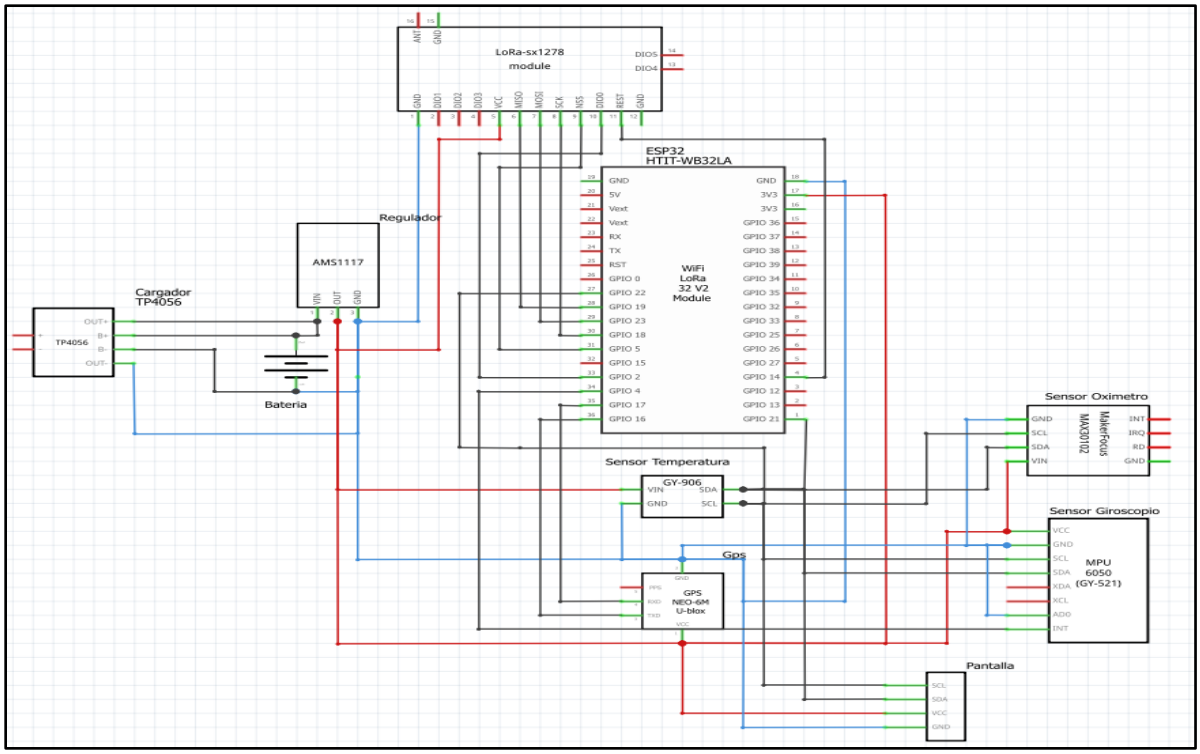
FASE III. ESQUEMA GENERAL DEL HARDWARE

Una vez establecidos los requerimientos funcionales y la arquitectura lógica en la fase anterior, se procede a la ejecución de la Fase III, la cual se centra en la configuración del Esquema General de Hardware. En esta etapa se materializa la integración física de los componentes electrónicos, definiendo las interconexiones eléctricas, la distribución de señales y el sistema de alimentación necesarios para consolidar el prototipo funcional. Para ello, se emplea el software de diseño electrónico, permitiendo la creación de diagramas esquemáticos que garantizan la integridad de las comunicaciones vía I2C y SPI, así como la estabilidad térmica y eléctrica del sistema wearable bajo condiciones de operación continua.

Diagrama Esquemático

El diagrama esquemático constituye el mapa fundamental del dispositivo, donde el microcontrolador ESP32 actúa como el núcleo de procesamiento central. La interconexión se ha estructurado de manera modular para facilitar la escalabilidad del sistema; en este sentido, se destaca la implementación de un bus de datos compartido para los sensores médicos y la interfaz visual, optimizando el uso de los pines GPIO y reduciendo la complejidad del cableado.

Figura 12 Diagrama esquemático



Fuente: Casanova, Gómez, Duarte (2026)

FASE V: INTEGRACIÓN ENTRE EL HARDWARE Y EL SOFTWARE

Una vez validados los esquemas de hardware y el diseño lógico del ordinograma, la **Fase V** comprende la materialización del sistema mediante la escritura del firmware. En esta etapa, se realiza la convergencia entre los componentes físicos y las instrucciones lógicas, configurando el entorno de desarrollo y las librerías necesarias para que el microprocesador ESP32 gestione eficazmente cada periférico.

La codificación se realizó en lenguaje C++ utilizando el entorno Arduino IDE. A continuación, se presentan los segmentos más críticos del firmware, donde se observa la configuración de los periféricos y la lógica de multiplexación I2C necesaria para el funcionamiento de los sensores médicos. Se observa la etapa de inicialización de periféricos, donde se establece la comunicación con el bus I2C y se configuran los protocolos de enlace para los sensores biomédicos y el módulo LoRa.

Figura 16: Escritura del firmware

```
#define TFT_SCL 18
#define TFT_MOSI 23

#define ADDR_MUX 0x70
#define CANAL_MAX  1
#define CANAL_MPU  2
#define CANAL_MLX  3

Adafruit_GC9A01A tft(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);

MAX30105 sensorParticulas;
Adafruit_MPU6050 mpu;
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
OneWire oneWire(BUS_ONEWIRE);
DallasTemperature sensores(&oneWire);

int modoPantalla = 0;

long valorIR = 0;
long tiempoUltimoLatido = 0;
int promedioBPM = 0;
const byte TAMANO_MUESTRA = 4;
byte tasasLatido[TAMANO_MUESTRA];
byte indiceLatido = 0;

float tempContactoC = 0.0;
float tempObjetoC = 0.0, tempAmbienteC = 0.0;
float acelX = 0, acelY = 0, acelZ = 0;

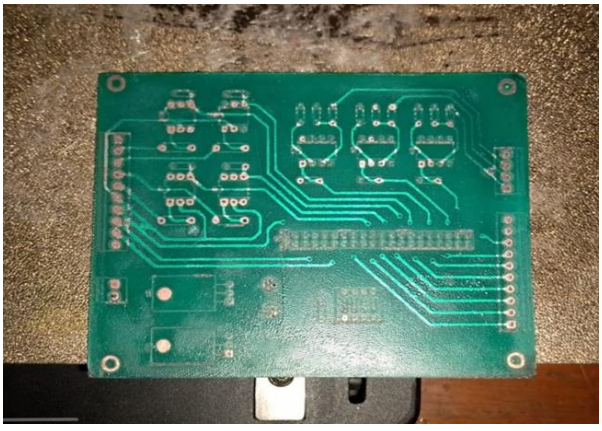
unsigned long ultimaActualizacion = 0;
unsigned long ultimoEnvioLoRa = 0;
```

Fuente: Casanova, Gómez, Duarte (2026)

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DEFINITIVO Y LAS PRUEBAS FINALES

Una vez completadas las fases de diseño, integración y programación, la fase VI representa la culminación del desarrollo, donde se materializa el dispositivo wearable y se valida su funcionamiento bajo condiciones reales. Este proceso se llevó a cabo en cuatro etapas principales: el ensamblaje y encapsulado del prototipo, las pruebas unitarias de cada subsistema, las pruebas de integración y funcionamiento general, y finalmente las pruebas de campo en entorno simulado.

Figura 20: Prototipo del PCB sin soldar



Fuente: Casanova, Gómez, Duarte (2026)

Los resultados fueron positivos, con una calificación promedio de 4.2/5 en satisfacción general, destacando la ligereza del dispositivo y la intuitividad de la interfaz gráfica. La culminación de esta fase valida que el prototipo desarrollado cumple con todos los objetivos planteados en la investigación.

El dispositivo wearable demostró ser técnica y operativamente viable, logrando un equilibrio óptimo entre precisión de medición, autonomía energética, capacidad de comunicación de largo alcance y usabilidad. Con la finalización exitosa de esta fase, se da por concluida la etapa de construcción y validación del prototipo, cumpliendo así con el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación.

CONCLUSIONES

El análisis exhaustivo y la validación rigurosa de los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer las siguientes generalizaciones, formuladas para responder a cada uno de los objetivos específicos planteados en el estudio. Estas conclusiones se alinean con el objetivo general, enfocado en el desarrollo de un dispositivo wearable para el monitoreo de signos vitales utilizando red LoRa. A continuación, se presentan las conclusiones alcanzadas al finalizar la investigación.

Se identificó la necesidad de monitorear frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno (SpO_2), temperatura corporal y detección de caídas. Críticamente, se definió como requisito esencial la integración de un módulo de comunicación LoRa (basado en el chip SX1278) y un módulo GPS (NEO-6M), para garantizar la transmisión de alertas y la ubicación del usuario sin depender de redes convencionales, junto con un microcontrolador de bajo consumo (ESP32-WROOM-32U) y una arquitectura de energía optimizada.

Esta investigación logró desarrollar y validar un prototipo de dispositivo wearable para el monitoreo de signos vitales utilizando red LoRa, cumpliendo integralmente con los objetivos planteados. La solución propuesta representa una alternativa técnica y económicamente viable para el monitoreo remoto y la emergencia médica en contextos rurales, contribuyendo al campo de la ingeniería aplicada a la salud y sentando las bases para futuros desarrollos en telemedicina inclusiva y tecnologías de comunicación de largo alcance para aplicaciones médicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Amazon. (s.f.). **HiLetgo ESP-WROOM-32 ESP32 ESP-32S Desarrollo Board**. Disponible: https://www.amazon.com/-/es/HiLetgo-ESP-WROOM-32-desarrollo-microcontrolador-amplificadora/dp/B0718T232Z

Electrónica Gurú. (2019). **¿Qué es un contacto normalmente cerrado?** Disponible: https://electronica.guru/app01/11763/que-es-un-contacto-normalmente-cerrado

ResearchGate. (2005). **Los desafíos de la computación vestible (Parte 1). Publicación de investigación**. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/3215205_The_challenges_of_wearable_computing_Par.

SE.com. (s.f.). **¿Cuál es la diferencia entre dispositivos eléctricos y electrónicos?** Disponible: https://eshop.se.com/in/blog/post/what-is-the-difference-between-electrical-and-electronic-devices.html

CK-12 Foundation. (s.f.). **Dispositivo Electrónico. En CK-12 Middle School Physical Science Flexbook 2.0.** Disponible: https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-physical-science-flexbook-2.0/section/20.17/primary/lesson/electronic-device-ms-ps/

Instituto Nacional de Imagenología Biomédica y Bioingeniería. (2024). **¿Cómo obtener una lectura precisa con oxímetros de pulso? MedlinePlus.** Disponible: https://magazine.medlineplus.gov/es/art%C3%ADculo/como-obtener-una-lectura-precisa-con-oxímetros-de-pulso

Universidad Europea. (2024). **Definición Actual de Electromedicina.** Disponible: https://universidadeuropea.com/blog/que-es-electromedicina/#definicion-actual-de-la-electromedicina

Universidad Internacional de Valencia. (2019). **Qué es wearable y qué tipos de dispositivos existen**. Disponible: https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-wearable-y-que-tipos-de-dispositivos-existen

Taylor & Francis. (s.f.). **Biosensors. Knowledge: Biomedical Engineering**. Disponible: https://taylorandfrancis.com/knowledge/Engineering_and_technology/Biomedical_engineering/Biosensors/