

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

ARQUITECTURA DE MICROCONTROLADORES

Servidor WEB con un ESP32 y un MAX30100

Autores:

Ana Gabriela Torres Bermudez

Alejandra Ordoñez Mondragón

Jacob Sierra Lemus

Carlos Pinedo Guadarrama

October 31, 2024

1 Resumen

Esta práctica presenta la implementación de un sistema de monitoreo biomédico utilizando el sensor MAX30100 y un microcontrolador ESP32. El sistema mide y muestra en tiempo real la saturación de oxígeno en sangre (SpO2) y la frecuencia cardíaca (BPM) a través de un servidor web accesible en cualquier dispositivo móvil conectado a la misma red WiFi. Se incluyen los detalles técnicos y de implementación necesarios para la replicación del sistema, así como una evaluación de su rendimiento y precisión.

2 Introducción

La monitorización de parámetros fisiológicos, como la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en sangre, es esencial para la vigilancia de la salud en diversas situaciones, desde entornos clínicos hasta el autocuidado de pacientes. Estos parámetros son de particular importancia en el control de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Tradicionalmente, la medición de estos indicadores ha requerido dispositivos médicos especializados y costosos; sin embargo, el desarrollo de sensores asequibles, como el MAX30100, junto con microcontroladores de bajo costo y conectividad avanzada, como el ESP32, ha hecho posible implementar soluciones de monitoreo accesibles y portátiles.

En esta práctica, el objetivo fue desarrollar un sistema de monitoreo biomédico que permita la medición de SpO2 y BPM y la visualización de estos datos en un servidor web. Utilizando la capacidad de procesamiento y conectividad del ESP32, el sistema es capaz de capturar datos en tiempo real desde el sensor MAX30100 y transmitirlos vía WiFi, facilitando el acceso a información de salud esencial desde un dispositivo móvil. Este proyecto representa una aplicación de bajo costo y de fácil implementación para la monitorización remota de parámetros vitales.

3 Marco Teórico

La implementación de un sistema de monitoreo de parámetros vitales requiere un conocimiento detallado de los componentes involucrados, en este caso, el sensor MAX30100 y el microcontrolador ESP32, además de comprender cómo funcionan en conjunto para la adquisición y transmisión de datos.

3.1 Sensor MAX30100

El sensor **MAX30100** es un dispositivo de medición óptica diseñado específicamente para aplicaciones biométricas de bajo costo. Este sensor combina dos funciones importantes: la medición de la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en sangre (SpO2). Estas mediciones son posibles gracias a la **tecnología de fotopletismografía (PPG)**, que utiliza cambios en la cantidad de luz absorbida por los vasos sanguíneos en función del volumen de sangre en un área específica del cuerpo (generalmente un dedo o el lóbulo de la oreja).

El MAX30100 posee dos emisores de luz (LED), uno de **luz roja** (660 nm) y otro de **infrarrojo** (940 nm), y un fotodetector. La luz roja y la infrarroja se utilizan debido a

sus diferentes niveles de absorción en tejidos con diferentes concentraciones de oxígeno. La cantidad de luz que el fotodetector detecta tras la reflexión o transmisión a través del tejido varía según el flujo sanguíneo, lo que permite que el dispositivo calcule tanto la frecuencia de los latidos como el nivel de oxígeno en la sangre.

El MAX30100 opera en el protocolo de comunicación **I2C**, lo cual facilita su integración con otros microcontroladores. A continuación, se describe el propósito de cada pin del MAX30100:

- **VCC**: Pin de alimentación, que requiere un voltaje de 1.8V a 3.3V.
- **GND**: Tierra del dispositivo.
- **SCL (Serial Clock Line)**: Pin de la línea de reloj de comunicación I2C. Este pin sincroniza la comunicación entre el MAX30100 y el microcontrolador.
- **SDA (Serial Data Line)**: Pin de datos para la comunicación I2C. Por este pin, se transmiten los datos entre el sensor y el microcontrolador.

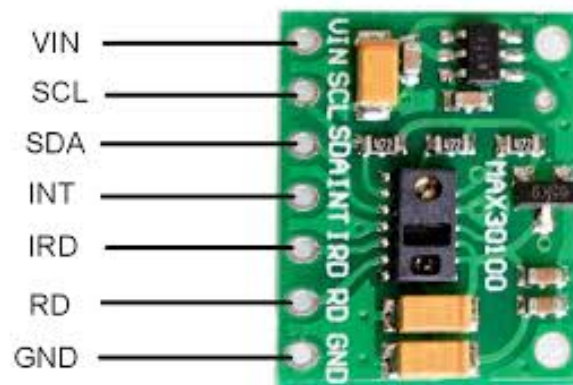


Figure 1: Sensor MAX30100 pinout

Para un funcionamiento óptimo, el sensor debe ser configurado a través de su registro de control, donde se pueden ajustar los niveles de corriente de los LEDs y la resolución de las muestras. Estos parámetros afectan la precisión y la velocidad de muestreo del dispositivo.

3.2 Microcontrolador ESP32

El **ESP32** es un microcontrolador de bajo costo con conectividad integrada WiFi y Bluetooth, ampliamente utilizado en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). Este dispositivo se caracteriza por su capacidad de procesamiento y bajo consumo de energía, lo cual lo hace ideal para aplicaciones de monitoreo y transmisión de datos en tiempo real.

A nivel de hardware, el ESP32 incluye una serie de pines GPIO (General Purpose Input/Output), que pueden configurarse para diversas aplicaciones como comunicación serial, SPI, I2C y PWM. Para esta práctica, se utilizaron los pines de **3.3V** para la alimentación del sensor MAX30100 y el pin de **5V** para alimentar las resistencias conectadas

al sensor, proporcionando así la estabilidad de voltaje necesaria para su funcionamiento. En el sistema, el ESP32 cumple dos funciones principales:

- La adquisición de datos del sensor MAX30100 mediante el protocolo I2C.
- La transmisión de estos datos en tiempo real a través de un servidor web que permite visualizar los valores de SpO2 y BPM desde un dispositivo conectado a la misma red WiFi.

Los pines más relevantes para esta práctica son:

- **VCC (3.3V y 5V):** El pin de 3.3V se utiliza para alimentar directamente el MAX30100, mientras que el pin de 5V alimenta las resistencias de 5kΩ conectadas al circuito.
- **GND:** Conexión a tierra para completar el circuito.
- **SDA (GPIO 21):** Pin de datos para la comunicación I2C con el MAX30100. Este pin recibe la señal de datos enviada desde el sensor.
- **SCL (GPIO 22):** Pin de reloj para la comunicación I2C. Este pin sincroniza la transmisión de datos entre el ESP32 y el sensor.

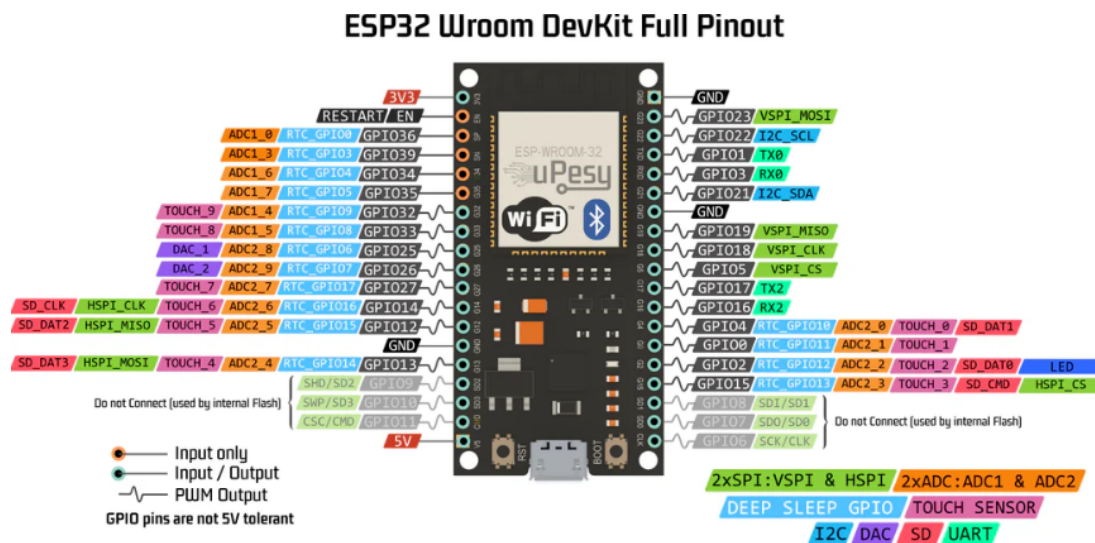


Figure 2: Microcontrolador ESP32 pinout

3.3 Interacción entre el MAX30100 y el ESP32

La interacción entre el MAX30100 y el ESP32 se realiza a través de la comunicación I2C, un protocolo que permite la conexión de múltiples dispositivos usando sólo dos líneas: SDA (para datos) y SCL (para el reloj). El ESP32 actúa como el *maestro* en esta comunicación, mientras que el MAX30100 funciona como un *esclavo*, enviando los datos de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno al microcontrolador cuando se le solicita.

El flujo de datos comienza con la inicialización del MAX30100 en el ESP32, donde se configuran las tasas de muestreo y los niveles de intensidad de los LEDs. Una vez que el

sensor empieza a capturar las señales de SpO2 y BPM, los datos son enviados al ESP32 en intervalos regulares. El microcontrolador procesa estos datos y los transmite al servidor web implementado, utilizando su conectividad WiFi integrada. La página del servidor se refresca automáticamente cada segundo, mostrando los valores actualizados de SpO2 y BPM en tiempo real.

Esta comunicación I2C y la capacidad de transmisión del ESP32 permiten que el sistema proporcione una solución de monitoreo eficiente y en tiempo real, sin necesidad de cables adicionales o interfaces complejas, lo cual resulta en un sistema accesible y de fácil implementación en aplicaciones biomédicas.

3.4 Tecnologías Utilizadas

Además de la fotoplethysmografía (PPG) utilizada en el MAX30100, el ESP32 implementa una serie de tecnologías avanzadas que hacen posible la transmisión y visualización remota de los datos:

- **Protocolo HTTP y WiFi:** La conectividad WiFi del ESP32 permite la creación de un servidor web local que puede ser accedido mediante una dirección IP desde cualquier dispositivo conectado a la misma red. Este servidor utiliza el protocolo HTTP para recibir solicitudes y enviar los datos en formato de texto.
- **Interrupciones y Callback Functions:** El código de la práctica incluye una función de callback que detecta cada latido registrado por el sensor. Esta función permite que el ESP32 envíe los datos al servidor sin interrupciones, proporcionando una respuesta rápida y en tiempo real.
- **JavaScript en el Cliente Web:** La página web generada por el ESP32 incluye un script en JavaScript que solicita actualizaciones al servidor cada segundo, mostrando los datos más recientes de SpO2 y BPM.

Con estas tecnologías, el sistema logra captar, procesar y mostrar información fisiológica de manera continua y accesible, utilizando componentes de bajo costo y con una implementación sencilla en el ámbito biomédico y de Internet de las Cosas.

4 Objetivos

- Implementar un sistema de monitoreo de SpO2 y BPM utilizando el sensor MAX30100 y el ESP32.
- Configurar el ESP32 como un servidor web para mostrar los datos en tiempo real en un dispositivo móvil.

5 Materiales y Métodos

- **ESP32:** Microcontrolador con conectividad WiFi para la transmisión de datos.
- **Sensor MAX30100:** Sensor para la medición de SpO2 y BPM.

- **Resistencias de 5k Ω :** Tres resistencias para asegurar la correcta alimentación de los circuitos.
- **Cables de conexión y protoboard:** Para el montaje y conexión de componentes.
- **IDE de Arduino:** Software utilizado para programar el ESP32.

Para las conexiones, se utilizó el siguiente esquema:

- **VCC del MAX30100:** Conectado al pin de 3.3V del ESP32.
- **GND del MAX30100:** Conectado al GND del ESP32.
- **SDA y SCL del MAX30100:** Conectados a los pines GPIO 21 y GPIO 22 del ESP32, respectivamente.
- **Resistencias de 5k Ω :** Conectadas entre el pin de 5V del ESP32 y los pines de alimentación del sensor para estabilizar el voltaje.

6 Desarrollo del Proyecto

La programación del ESP32 se llevó a cabo en el IDE de Arduino, utilizando bibliotecas específicas para la lectura de datos del sensor MAX30100 y la implementación del servidor web. A continuación se detalla el flujo de trabajo del sistema:

- **Conexión WiFi:** Se configuran las credenciales de red en el ESP32, permitiéndole conectarse a la red WiFi local.
- **Inicialización del Sensor MAX30100:** El sensor se inicializa para empezar a medir SpO2 y BPM.
- **Configuración del Servidor Web:** Se crea un servidor web en el puerto 80, donde se establece una página de inicio para visualizar los datos de SpO2 y BPM.
- **Obtención de Datos y Envío al Servidor:** El ESP32 actualiza los valores del sensor cada segundo y los envía al servidor web, permitiendo su visualización en un dispositivo móvil.

7 Resultados

La implementación del sistema permitió obtener lecturas de SpO2 y BPM de forma precisa y estable, mostrándose una actualización de los valores en tiempo real. Los datos fueron mostrados correctamente en el servidor web, accesible desde dispositivos móviles conectados a la red WiFi, y los valores obtenidos fueron consistentes con el estado fisiológico del usuario, confirmando la precisión de la medición.

Se muestra a continuación en la Figura 3 el resultado de la lectura del monitor serial, así como también la Figura 4 y Figura 5 se presentan las lecturas de los datos en el servidor WEB.

```
Beat!
Frecuencia cardíaca: 77.03 bpm / SpO2: 95 %
Beat!
Beat!
Frecuencia cardíaca: 91.67 bpm / SpO2: 96 %
Beat!
Beat!
Frecuencia cardíaca: 134.64 bpm / SpO2: 96 %
Beat!
Frecuencia cardíaca: 69.34 bpm / SpO2: 96 %
Beat!
Beat!
Frecuencia cardíaca: 108.56 bpm / SpO2: 96 %
Beat!
Frecuencia cardíaca: 96.02 bpm / SpO2: 96 %
Beat!
Frecuencia cardíaca: 52.04 bpm / SpO2: 96 %
Frecuencia cardíaca: 52.04 bpm / SpO2: 96 %
Frecuencia cardíaca: 0.00 bpm / SpO2: 0 %
```

Figure 3: Lectura en Monitor Serie

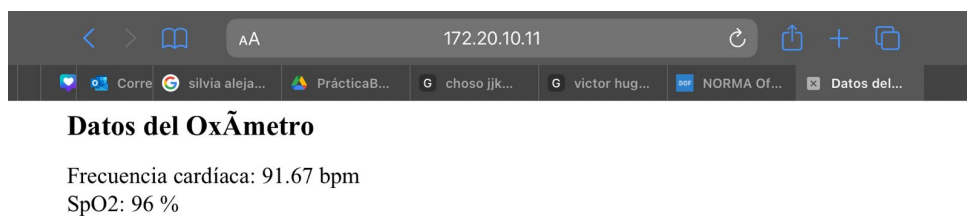


Figure 4: Lectura 1 Servidor WEB

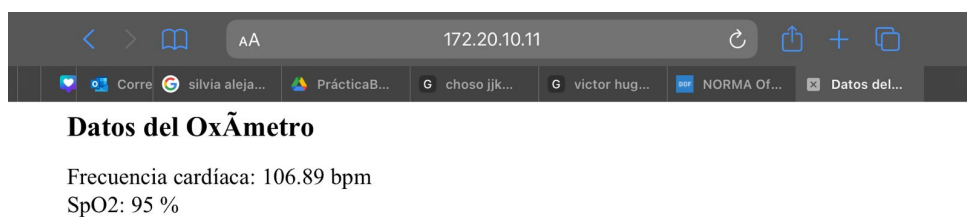


Figure 5: Lectura 2 Servidor WEB

8 Conclusión

La práctica demostró la efectividad del uso del ESP32 y el sensor MAX30100 para aplicaciones biomédicas de monitoreo de salud. Además, la implementación de un servidor web permitió una visualización remota de los parámetros de SpO2 y BPM, lo cual puede ser de gran utilidad para el monitoreo de pacientes en tiempo real y a bajo costo. Este sistema presenta una opción viable para el desarrollo de dispositivos de monitoreo portátil y de fácil acceso, aplicable en entornos clínicos y de autocuidado.

References

- [1] Espressif Systems. (2020). ESP32 Technical Reference Manual. Espressif Systems. Recuperado de <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>
- [2] Maxim Integrated. (2014). MAX30100 Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health. Maxim Integrated. Recuperado de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>
- [3] Espressif Systems. (2021). ESP-IDF Programming Guide. Espressif Systems. Recuperado de <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>
- [4] González, J. (2019). Internet of Things with ESP32 and LoRaWAN. Elektor.
- [5] Kasban, H., Zidan, H., y Sharshar, T. (2015). Photoplethysmography (PPG) research at the physiological measurement laboratory of the National Research Institute of Astronomy and Geophysics. International Journal of Biomedical Engineering and Technology, 18(1), 31-57. <https://doi.org/10.1504/IJBET.2015.074871>