


Diseño de un oxímetro de pulso. Prototipo de pruebas.

Lucas Barrera¹, Matías Rodríguez¹, Román Bond¹, Martín Morales^{1,2}, Diego Encinas^{1,3} 

¹SimHPC-TICAPPS. Universidad Nacional Arturo Jauretche. Florencio Varela, 1888, Argentina.
²Centro CodApli. FRLP. Universidad Tecnológica Nacional. La Plata, 1900, Argentina.
³Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata - Centro Asociado CIC. La Plata, 1900, Argentina.

lucasxoom13@gmail.com, matydarkar@gmail.com,
{rbond,martin.morales,dencinas}@unaj.edu.ar

Resumen. Ante el inminente cambio de vida acontecido por la pandemia de COVID-19, se intensificaron los cuidados para aquellas personas más vulnerables a dicho virus, principalmente personas de edad avanzada o con problemas en el sistema respiratorio. Dadas las circunstancias, se hace imperioso el poder realizar controles a distancia sobre aquellos que puedan llegar a ser perjudicados en caso de contraer la enfermedad. Es por ello que se propone abordar el desarrollo de un oxímetro de pulso de bajo costo, integrando la placa MAX30102, una placa Arduino UNO y un visor OLED SS1306.

Palabras clave: Oxímetro, Arduino, Coronavirus, Covid, Max30102.

1 Introducción

Ante la situación de público conocimiento causada por el SARS-COV2 (COVID-19), y sumándose la apremiante disposición de los recursos económicos con los que cuentan los centros de salud. La medición y control de la saturación del oxígeno en sangre del paciente, es esencial para decidir cuándo aplicar los tratamientos necesarios de oxígeno a los pacientes comprometidos.

El Coronavirus, afecta principalmente a los pulmones, por ello la medida de la saturación de oxígeno es vital para saber cuándo es necesario utilizar los recursos de oxígenos intensivos [1].

Un oxímetro de pulso es un dispositivo médico que posibilita el cálculo de la saturación de oxígeno en sangre empleando un método no invasivo para el paciente, es decir, no es necesario obtener una muestra de sangre mediante una punción [2]. Este permite demostrar de manera confiable la saturación de oxígeno capilar periférica (SpO₂) presentadas en el torrente sanguíneo [3] y las pulsaciones por minuto; variables que permiten identificar qué pacientes se encuentran en situación de riesgo y que necesitan por tanto ser hospitalizados como también recibir terapia de oxígeno.

Este tipo de estudios médicos, se realizan con dispositivos cuya tecnología es de sencilla implementación, y dada esta sencillez es posible adaptar su funcionamiento para facilitar el control a distancia para varios pacientes, con dispositivos de uso común

como son los dispositivos móviles. Esto también genera un impacto en los costos empleados para el desarrollo de dicho sistema de medición, por lo que se torna aún más accesible a una mayor cantidad de personas que requieren este control. La función del presente trabajo es explicar el accionar del procedimiento antes explicado y demostrar su validez como método preventivo.

Existen diferentes trabajos relacionados, de los cuales se destacan y se toman como referencia el de Juan Fabián Ramírez Hernández titulado "Análisis, diseño e implementación de un sistema modular de registro de variables cardíacas" [4], el de Muhibul Haque Bhuyan titulado "Design, Simulation, and Implementation of a Digital Pulse Oxygen Saturation Measurement System Using the Arduino Microcontroller" [5] y por último el trabajo titulado "Low cost Pulse Oximeter using Arduino" de Amanda Aracely Castellanos Cárcamo [6],

3 Desarrollo

Como se hizo mención anteriormente, un Oxímetro de Pulso es un dispositivo médico que posibilita el cálculo de la saturación de oxígeno en sangre empleando un método no invasivo, es decir, que no es necesario obtener una muestra de sangre mediante alguna punción.

Se considera que una lectura de oxígeno normal oscila entre el 95 y el 100 por ciento de la muestra tomada [7].

El sistema realizará una medición en busca de hemoglobina, la cual es considerada una hemoproteína cuya función es la de transportar oxígeno mediante la sangre; esta absorbe diferentes cantidades y longitudes de onda de luz según el nivel de oxígeno que esté transportando. Para obtener la SpO₂, es necesario: un par de luces LED (emisor) enfocados a un FotoDiodo (receptor), los LEDs deben estar colocados en una parte translúcida del cuerpo, como puede ser un dedo de la mano, se interpreta la lectura y realizan cálculos [2].

3.1 Fase de Captura

La Espectrofotometría es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas. Se caracteriza por su precisión, sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza (contaminantes, biomoléculas, etc) y estado de agregación (sólido, líquido, gas), se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma [8]. Basados en esta técnica, se puede observar en la Figura 1 y 2 el principio básico de la obtención de valores necesarios para el cálculo de saturación de oxígeno. La hemoglobina oxigenada (HbO₂) permite pasar más luz roja-660 nm y absorbe más radiación infrarroja, por otro lado, la hemoglobina desoxigenada (Hb) absorbe más luz roja y permite pasar más radiación infrarroja-880nm.

El dispositivo MAX30102 (Figura 3) posee un LED rojo, un LED infrarrojo y un fotodetector en la parte superior del encapsulado. Como cada LED emite luz sobre el dedo del paciente, el fotodetector releva las variaciones lumínicas por cambios de volumen de oxígeno en la sangre. El sensor de pulso MAX30102 es un dispositivo que integra un pulsioxímetro y monitor de frecuencia cardiaca. Cuenta con infrarrojo, detectores fotoeléctricos, dispositivos ópticos y circuitos electrónicos de baja frecuencia con supresión de luz ambiental. Es compatible con el protocolo de comunicaciones I2C para facilitar la transmisión de información a Arduino, KL25Z u otros microcontroladores de pulso y oxigenación. El chip puede apagar el módulo o entrar en modo reposo. Para tener lectura del pulso y/o ritmo cardiaco se coloca el dispositivo en los dedos, lóbulo o muñeca. El MAX30102 es un dispositivo que integra un pulsioxímetro y un monitor de frecuencia cardiaca, es la evolución del sensor MAX30100 fabricado por Maxim Integrated.

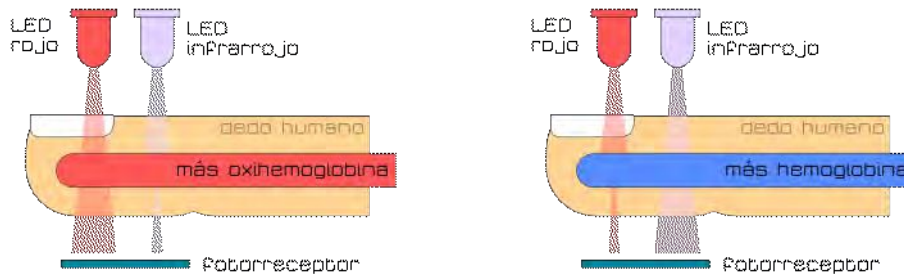


Fig. 1. Método de medición del dispositivo MAX 30102 [9]



Fig. 2. Espectro visible por el ojo humano [10]

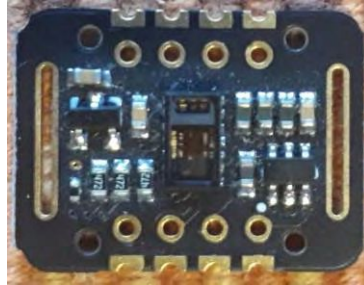


Fig. 3. Dispositivo MAX30102

3.2 Procesamiento de Datos

Arduino UNO (Figura 4) es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB, conector jack de alimentación, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Posee toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, la energía requerida se obtiene por un puerto USB o con un transformador AC-DC.

Este dispositivo permite procesar todos los datos captados mediante el NODEMCU ESP8266, permitiendo generar códigos de manera eficaz y de rendimiento elevado al tener librerías específicas tanto para el procesamiento de datos como para la gestión a conexiones de Internet.

El display OLED SS1306 es una pantalla con una matriz de un color de 128 x 32 puntos. Debido a que la pantalla está basada en la tecnología LED, no necesita retroiluminación ya que tiene un alto contraste. El driver interno es un SSD1306 que se comunica por I2C, un protocolo rápido para este tipo de pantallas. Internamente todo el conjunto funciona a 3.3V, pero tanto la alimentación como los pines de entrada pueden trabajar a 5V, ideal para utilizarlo junto con el dispositivo MAX30102.

3.3 Uso de Datos

Para una mayor aproximación a la integración de los diferentes dispositivos, se especifica cómo se obtienen los datos de entrada para el cálculo de la oxigenación en sangre.

En cada pulsación de la sangre arterial se transmiten valores lumínicos. Considerando solo la sangre arterial, que denominaremos componente arterial (CA) y la cantidad de luz absorbida cambia de acuerdo a la cantidad de sangre, presencia de HbO₂ o Hb. Llamaremos componente estático (CE) al formado por los tejidos, huesos, piel y la sangre venosa. La siguiente fórmula muestra como del cociente de la luz R(roja) e IR (infrarroja) se obtiene la SpO₂:

$$\frac{(CA \text{ luz R}/CE \text{ luz R})}{(CA \text{ luz IR}/CE \text{ luz IR})} = SpO_2 \quad (1)$$

La medición de los cambios en la absorción de la luz permite estimar la saturación de oxígeno arterial y la frecuencia cardíaca. La SpO2 mostrada en la pantalla representa la media de la medición de los últimos segundos, los datos se actualizan cada 0.5 a 1 segundos.

Cálculo HR:

Calcula la media de las muestras IR (infrarrojo). Resta la media e invierte los valores. Calcula promedios de 4 posiciones. Calcula el límite promedio obtenido. Detecta los valles y picos como se visualiza en la figura 4. Si identifica dos o más picos, calcula la frecuencia cardíaca. Caso contrario, informa muestra como inválida. Obtiene un promedio de los picos. Dependiendo de la frecuencia de lectura, calcula la cantidad de pulsos por minuto.

Cálculo de SP02:

Primero, obtiene las muestras del led rojo (Y) y del led infrarrojo (X), de manera independiente. A continuación, obtiene el mínimo cerca de los valles y busca máximos entre 2 valles mientras elimina el ruido aportado por valores CE de cada tipo de lectura. Con el valor obtenido de Y calcula el numerador llamado n_num, de manera similar, con el valor de X, obtiene el denominador n_denom. Luego, calcula la proporción utilizando la fórmula 2. Como la señal puede variar entre latido y latido, se elige un valor medio de la proporción calculada. Finalmente, utilizando la media de la proporción obtiene una correspondencia en tabla de referencia llamada n_spo2_calc en el algoritmo de la librería del componente max30102.

$$\frac{n_nume * 100}{denominador} \tag{2}$$

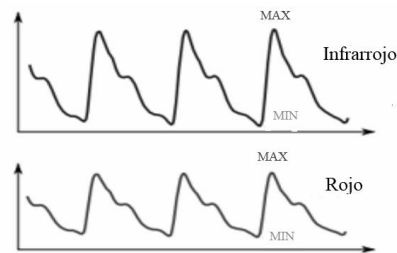


Fig. 4. Valles y Picos en la lectura de los leds rojo o infrarrojo [11]

2.4 Circuito y Pseudocódigo Implementado

A continuación, en la figura 5, se visualiza el diagrama del circuito implementado.

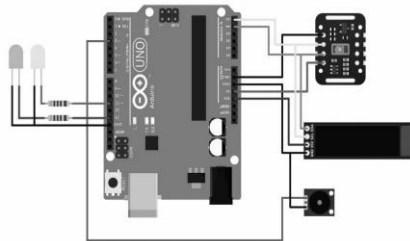


Fig. 5. Circuito del Oxímetro de Pulso

Pseudocódigo desarrollado.

1. Incluye librerías de display, max30102, cálculo de frecuencia cardiaca y SPO2.
2. Define estructuras de datos necesarias (buffers de lecturas de leds rojo e infrarrojo, SPO2,heartRate, flags de validación, asignación de puertos arduino).
3. Setup: imprime mensajes de inicio en display, configura sensor max30102, inicia leds de estado y buzzer.
4. Bucle de captura y procesamiento continuo (informando en el display.serial, led y buzzer los cambio de estado):
 - a. Reconoce la presencia del dedo y resguarda hasta 4 lecturas por segundo. Descarta valores con el objetivo de normalizar lecturas.
 - b. Si recaba suficientes lecturas válidas, informa los valores de SPO2 y HR.
 - c. Mientras el sensor no reconozca la presencia, se mantiene en estado de espera hasta retomar el estado del punto a.

3.5 Análisis de Errores

Es conocido que existen distintos factores que pueden afectar la medición de oximetría, solo por nombrar alguna de ellas: anemia, movimiento durante la medición, sitio de colocación del sensor, esmalte de uñas, pigmentación de la piel, anestesia residual, entre otras.

La precisión y exactitud dependen de las diferentes marcas y estudios realizados que van desde más o menos 10% a menos de 2% en sujetos con saturaciones de oxígeno por encima de 70%. El funcionamiento de los oxímetros disminuye su precisión cuando las SpO2 están por debajo de 70% , lo cual llevaría a serias dudas de su interpretación en pacientes muy hipoxemicos.

Nos proponemos evaluar la concordancia entre dos métodos cuantitativos de medición. Al comparar un nuevo método de medición con un método estándar, una de las

propuestas en este trabajo es saber si la diferencia entre las mediciones de los dos métodos está relacionada con la magnitud de la medición.

Para nuestro análisis de errores se suma un oxímetro comercial aprobado por la ANMAT. La Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica es un organismo que se encuentra dentro del ámbito del Ministerio de Salud de la Nación [12]. Es autárquico, con jurisdicción en todo el territorio de la Nación. Entre sus funciones, rescatamos:

“El control y fiscalización sobre la sanidad y calidad de las drogas, productos químicos, reactivos, formas farmacéuticas, medicamentos, elementos de diagnóstico, materiales y tecnología biomédicos y todo otro producto de uso y aplicación en la medicina humana.”

En la figura 7 se muestra una porción del comunicado donde se aprueba el uso del dispositivo (oxímetro comercial) a utilizar para contrastar los resultados contra nuestro dispositivo:



Fig. 7. Declaración ANMAT [13]

En la Figura 8, el dispositivo comercial que seleccionamos para el análisis de errores.



Fig. 8. Oxímetro de pulso Yonker YK-81A

A continuación, podemos ver una comparación que hicimos con un oxímetro comercial de mediciones de HR y SP02:

Tabla 1. Mediciones en paralelo.

Prototipo		Oxímetro Comercial		HR		SpO2	
HR	SpO2	HR	SpO2	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
93	100	59	95	76	34	97.5	5
187	98	58	94	122.5	129	96	4
68	99	62	96	65	6	97.5	3
125	99	86	93	105.5	39	96	6
187	96	62	96	124.5	133	96	0
187	96	59	94	123	130	95	2

Media de HR: 102,75

Desviación estándar HR: 78,5

Medias SP02: 96,3

Desviación estándar SP02: 3,3

4 Conclusiones

El presente proyecto permitió abordar distintas problemáticas tanto en lo que respecta al uso y configuración de hardware, como en software. El sistema al estar integrado por dispositivos que son de código abierto, permitió que muchas dudas y contrariedades fueran resueltas mediante la lectura e investigación en distintos foros; es por ello que se aconseja seguir empleando este tipo de dispositivos a futuro, ya que posibilitan al desarrollador sortear los obstáculos que se presentan a la hora de implementar mejoras de una forma más segura, y rápida.

Si bien el prototipo presentado realiza los cálculos correctos, no se puede garantizar que el rendimiento del sistema se mantenga a lo largo del tiempo. Para ello se recomienda establecer una simulación para poder probar el sistema en su completitud continuamente.

Por último, no se puede asegurar que las mediciones de HR sean confiables debido a la desviación estándar tan grande que hay entre el oxímetro comercial y el desarrollado. En cuanto a las mediciones de SP02 podemos garantizar que son confiables ya que la desviación resultó ser muy leve.

Referencias

1. Shi, Y., Wang, G., Cai, X. P., Deng, J. W., Zheng, L., Zhu, H. H., ... & Chen, Z. An overview of COVID-19. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 21(5), 343-360. (2020).
2. Tremper, K. K. Pulse oximetry. *Chest*, 95(4), 713-715. (1989).
3. Basaranoglu, G., Bakan, M., Umutoglu, T., Zengin, S. U., Idin, K., & Salihoglu, Z. Comparison of SpO2 values from different fingers of the hands. *Springerplus*, 4(1), 1-3. (2015).
4. Juan Fabián Ramírez Hernández, Análisis, diseño e implementación de un sistema modular de registro de variables cardíacas. Universidad Nacional Autónoma de México.

5. Bhuyan, M. H., & Sarder, M. R.. Design, Simulation, and Implementation of a Digital Pulse Oxygen Saturation Measurement System Using the Arduino Microcontroller. *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*, 15(2), 105-111. (2021).
6. Cárcamo, A. A. C., Reyes, M. G. M., & Urbina, S. M. S. Low cost Pulse Oximeter using Arduino. In 2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON) (pp. 1-6). IEEE. (2019).
7. Franck, A. (2021). Covid-19: ¿Cómo saber si tengo una adecuada saturación de oxígeno en sangre?. 2022, Junio 22, de Noticias UNSL. Sitio web: <http://www.noticias.unsl.edu.ar/05/05/2021/covid-19-como-saber-si-tengo-una-adecuada-saturacion-de-oxigeno-en-sangre/>
8. Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., ... & Fiñana, I. T. Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba, 1-8. (2010).
9. <https://polaridad.es/monitorizacion-sensor-pulso-oximetro-frecuencia-cardiaca/>
10. <https://culturacientifica.com/2016/08/16/el-espectro-electromagnetico/>
11. Mazón, A., Rojas, S., Sánchez, E., Ramírez, G., & Cabrera, A. Oxímetro de pulso para monitoreo no invasivo aplicado en el monitoreo atlético. In *Memorias del VII Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud*. (2016)
12. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica. <https://www.argentina.gob.ar/anmat>
13. Declaración de conformidad o PM 2596-4 ANMAT. https://helena.anmat.gob.ar/uploads/pdfs/dc_22559_30714943533_10782.pdf