

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PULSE OXIMETER

López. Lina, Valbuena. Sergio, Valbuena. Daniela, Sierra. Laura, Buitrago. Nikol.

lopezolarlina@gmail.com, svalbuenacasas@gmail.com,
laurajulianasierra2419@gmail.com, nidodo03@gmail.com

Colegio Sagrado Corazón de Jesús- Samacá

Recibido. Marzo del 2022 Revisado. Mayo del 2022 Aceptado. Julio del 2022

Abstract.

In this document, the theoretical foundations, and the construction process of a pulse oximeter as a low-cost alternative are presented. With this, the aim is to collect data related to oxygen saturation in the inhabitants of Samacá town. The project was consolidated from a documentary scan that allowed electronic designs, the generation of tests and the collection of data in a sample of the population. In this way, the project combines the areas of medicine, robotics and social extension of Sagrado Corazón de Jesús, Samacá's school.

Keywords. Oxygen saturation, hemoglobin spectrophotometer, electronics, medicine, social development.

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN OXÍMETRO DE PULSO

Resumen.

En este documento se muestran los fundamentos teóricos y el proceso de construcción de un oxímetro de pulso como alternativa de bajo costo con el que se busca realizar tomas de datos relacionadas con la saturación de oxígeno en los habitantes de la comunidad del municipio de Samacá. El proyecto se consolidó a partir de un barrido documental que permitió los diseños electrónicos, la generación de pruebas y la toma de datos en una muestra de la población. De esta manera el proyecto combina las áreas de medicina, robótica y extensión social del colegio Sagrado Corazón de Jesús de Samacá.

Palabras clave. Saturación de oxígeno, hemoglobina espectrofotómetro, electrónica, medicina, desarrollo social.

Introducción.

Los oxímetros permiten conocer la saturación de oxígeno que posee el torrente sanguíneo, es decir, la cantidad de oxígeno disponible. Unos niveles óptimos de saturación indican que las células del cuerpo están recibiendo la cantidad adecuada de oxígeno, sin embargo, si estos niveles disminuyen, uno de sus principales síntomas es la dificultad para respirar o disnea, hecho que se ha convertido en criterio de vital importancia para el diagnóstico de pacientes con COVID-19.

En este orden la pandemia de la COVID-19, gran parte de la población se vio obligada a entrar en aislamiento preventivo con el fin de evitar los contagios. Sin embargo, el problema de la capacidad hospitalaria colombiana en general supone un gran riesgo para las poblaciones dependientes permanentemente del servicio, pues al saturarse la red no es posible acceder al centro de salud, por lo que las personas en situación de riesgo recurrieron a realizar un seguimiento de sus signos vitales desde casa y los médicos recomendaban que, al presentarse un caso de hipoxemia o hipoxemia severa, debían acudir de inmediato a un centro de salud.

II. Metodología

La investigación se realizó en la comunidad de la urbanización Dinastía del municipio de Samacá de acuerdo con el problema presentado en el monitoreo de enfermedades del sistema cardiovascular en zonas alejadas y personas que mantienen su aislamiento voluntario por diversos factores y la necesidad que surge a partir de la saturación del sistema sanitario del país.

El objetivo que se busca con la construcción del dispositivo de bajo costo es principalmente suplir la dependencia constante de los usuarios a los hospitales, y concretar el seguimiento del estado de salud de los pacientes; además, la investigación se desarrolla mediante el uso de la tecnología con el fin de implementarla y concretar el proyecto.

En primer lugar, se recurrió a una investigación documental y de referentes teóricos acerca de la disciplina en contexto, se identificaron y analizaron artículos de los tipos de electrocardiógrafos, enfermedades y afecciones relacionadas. Además, se contextualizó la problemática en la población en la que se desarrollaría el proyecto por medio de un podcast en el que participaron varios especialistas.

Una vez categorizada y definida esta primera parte, se procedió a realizar un compendio de datos e información para el diseño del proyecto. Se consultaron qué materiales son necesarios en la elaboración del dispositivo y se concretó los componentes del electrocardiógrafo, la estructura electrónica, diagrama electrónico y el diseño que de manera adecuada se adapta

a las necesidades y asimismo características adicionales que resultarían óptimas y de mayor rendimiento para el dispositivo.

En esta siguiente etapa metodológica se procede al desarrollo y elaboración del dispositivo biomédico, teniendo en cuenta como base el diseño del proyecto Electrocardiograma con Arduino del canal de YouTube ALSW. La siguiente es la lista de componentes electrónicos y materiales requeridos en la realización del instrumento.

- Materiales

Arduino Uno

pantalla OLED 128*74 píxeles

Amplificador operacional LM358

Fototransistor 750-1000 nm

LED Infrarrojo 950nm

LED rojo 650nm

Elementos conductores como cables y “jumpers”

Aislantes tales como resistencias

Protoboard

Para el ensamblaje inicial y simulación del diseño a elaborar, se empleó una protoboard o placa de prueba en la cual, se realizó la conexión correspondiente de componentes como el Arduino Uno a entradas y salidas analógicas, el sensor de electrocardiograma y los electrodos, luego, por medio de cable USB tipo A/B se procedió a conectar el Arduino a un PC y de esta manera programar la placa con el código correspondiente. Posteriormente, se efectuaron pruebas para verificar el correcto funcionamiento del ensamblaje y código programado evidenciando la gráfica de frecuencia cardiaca. Habiendo comprobado esta parte, y con el diseño puesto en la protoboard, se conectó y configuro el módulo de bluetooth en la aplicación de un dispositivo Android para que esta vez la gráfica sea visualizada en la pantalla de dicho dispositivo y así, hacer el diseño mucho más compacto y fácil en el momento de trasladar. Finalmente, se agregaron las siguientes características para dar facilidad en el manejo del electrocardiógrafo; ensamblaje de la batería de litio como fuente permanente de energía, desmontaje del microcontrolador de la placa de Arduino y montaje de todos los componentes en la baquelita perforada, soldando de manera permanente las conexiones.

Para la creación del oxímetro de pulso existen diversos subsistemas claves de los cuales comprenden tres principales:

1. Un subsistema de entrega de luz que incluye interruptores y conductores analógicos junto con diodos emisores de luz (LED) en longitudes de onda rojas (660 nm) e infrarrojas (IR) (950 nm). Algunos sistemas también incluyen fuentes verdes (530 nm) para su uso con métodos de fotopleletismografía (PPG) que determinan la frecuencia cardíaca mediante la vigilancia de los cambios de volumen en los vasos sanguíneos de la piel.
2. Un subsistema de detección de luz que incluye un fotodiodo, una cadena de acondicionamiento de señales y un convertidor analógico-digital (ADC).
3. Un DSC o microcontrolador para coordinar los subsistemas de entrega y detección de luz, así como para calcular SPO a partir de los datos medidos.

Teniendo el oxímetro listo, la siguiente etapa metodológica consiste en la aplicación del proyecto en la comunidad samaquense como fase de prueba, para esto requerimos de:

Aplicación de la comunidad (encuestas)

Como se hizo el análisis de los resultados (margen de error)

Resumen de lo que se habló en la metodología (conclusiones)

III. **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Para llevar a cabo el proyecto se deben tener en cuenta tres aspectos importantes como lo son el apartado biomédico, electrónico y la extensión social de la institución educativa Colegio Sagrado Corazón de Jesús.

A. FUNDAMENTOS BIOMÉDICOS

En materia biomédica resulta necesario conocer los conceptos que implican la saturación de oxígeno, su medición, evaluación y funcionalidad.

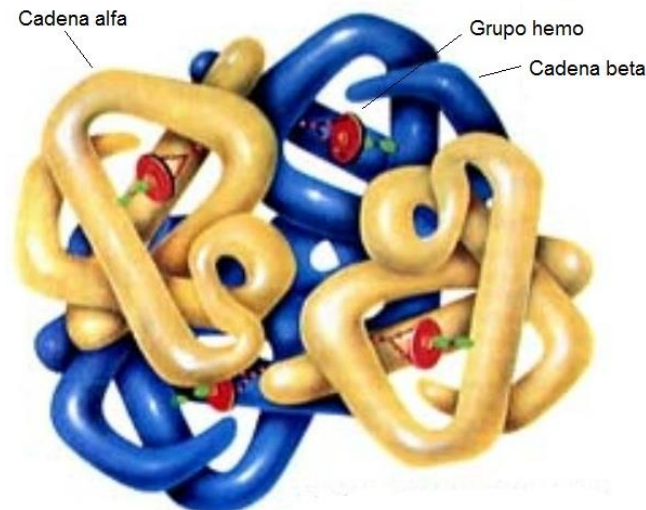
- Saturación de oxígeno

Es el parámetro de la cantidad de hemoglobina que está limitada al oxígeno molecular. Define la saturación porcentual del oxígeno en la sangre y se expresa como saturación de oxígeno arterial (sao₂) y saturación de oxígeno venoso (SvO₂). El rango normal de sao₂ es 95-100%. Los valores por debajo del 90% se consideran baja saturación de oxígeno y requieren oxígeno suplementario externo. [1]

- Hemoglobina

Esta es una proteína que transporta oxígeno desde los pulmones a los tejidos y órganos del cuerpo y que se encuentra en el interior de los glóbulos rojos; además de ser la encargada de devolver dióxido de carbono a los pulmones. Cada molécula de dicha proteína puede atar cuatro moléculas de oxígeno debido a sus cuatro grupos hemo. [2]

Figura 1: Estructura de la hemoglobina.



Fuente: 1.-Bases fisiológicas | Volviendo a lo básico (ffis.es) Figura 1

B. FUNDAMENTOS ELECTRÓNICOS

- Funcionamiento del oxímetro

La oximetría significa la medición óptica de la saturación de hemoglobina. y el dispositivo que realiza este trabajo se llama oxímetro. Este actúa como un espectrofotómetro, el cual mide la intensidad de la luz transmitida a una determinada longitud de onda. Adicionalmente, posee un fotodetector que convierte esa intensidad en corriente eléctrica, a través de la cual se expresarán los datos.

Existen dos leyes que permiten conocer esa intensidad a registrar:

1) *Ley de Lambert:*

La potencia de una radiación electromagnética monocromática que incide perpendicularmente en una superficie decrece exponencialmente con el espesor del medio atravesado.

2) *Ley de Beer:*

La absorción es directamente proporcional a la concentración de la solución.

3) *Ley Lambert-Beer:*

$$I = I_0 e^{-\varepsilon(\lambda)cd}$$

ε = Coeficiente de extinción de la sustancia absorbente.

λ = Longitud de onda

c = concentración de la sustancia absorbente

d = longitud del camino óptico a través del medio.

[3]

- Oximetría de pulso

El dispositivo emite dos señales en distinta longitud de onda para determinar la cantidad de hemoglobina y desoxihemoglobina. Esto debido a tres propiedades en las que se aplican las leyes de Lambert y Beer.

1. Entre mayor luz absorbida mayor será la concentración de las sustancias absorbidas, en este caso, la hemoglobina. Entre mayor cantidad de proteína por unidad de área, mayor cantidad de luz es absorbida.

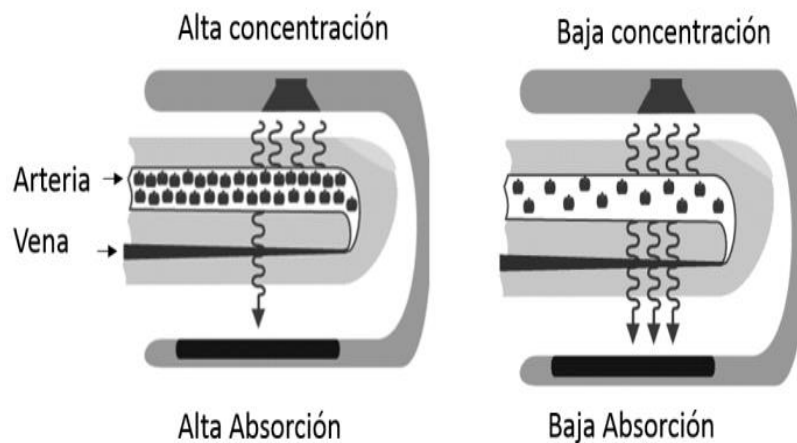


Figura 2: Demostración de la luz absorbida según la concentración de sustancia.

1. La cantidad de luz es proporcional a la longitud del camino recorrido por esta. Por ejemplo: para una misma concentración, pero en arterias de distinto espesor, se

absorberá más luz en la de mayor espesor por la hemoglobina va a viajar a través de un camino más largo.

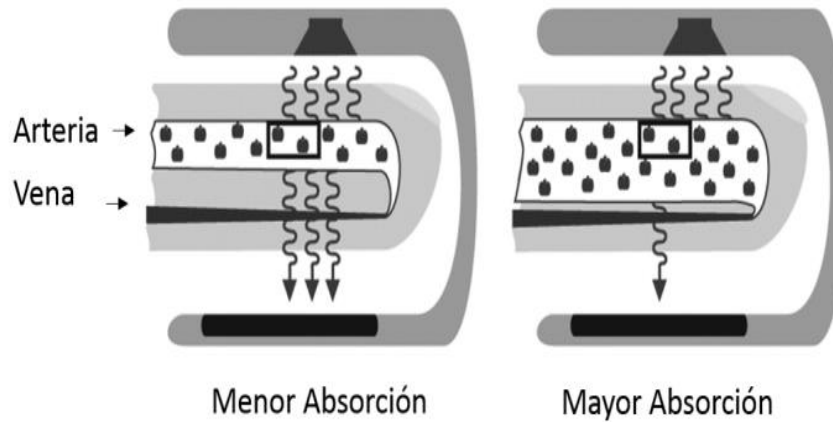


Figura 3: Demostración de la absorbancia según espesor.

2. La hemoglobina absorbe mayor cantidad de luz infrarroja a longitud de onda de 650nm y la desoxihemoglobina absorbe mayor radiación infrarroja con una longitud de onda de 950 nm. Por esta razón, el oxímetro emite aquellos dos haces de luz en dos longitudes de onda distintas. La relación entre longitud de onda y proteína se puede ver en la figura 1.

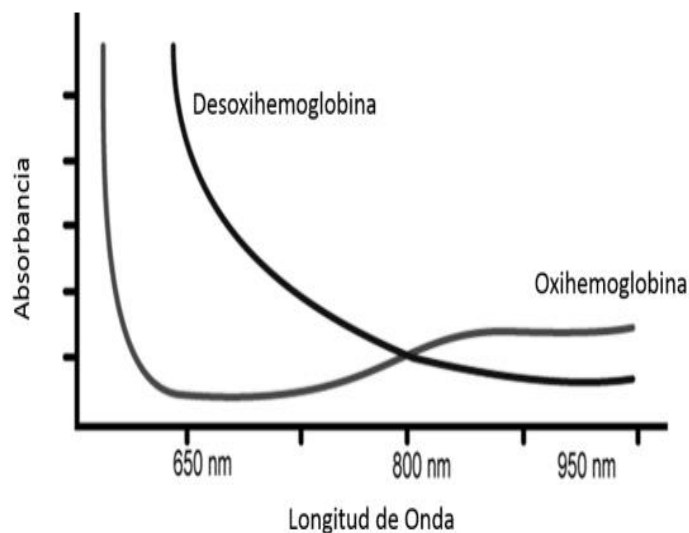


Figura 4: Longitud de onda y su absorbancia según proteína. [4]

- La onda pletismográfica.

Esta onda es la responsable de representar el cambio de volumen del flujo sanguíneo, sin embargo, se ve afectada debido a que la sangre arterial no es la única sustancia presente que absorbe luz, como por ejemplo la piel. El instrumento no tiene manera de determinar estos

tejidos por lo que serían tenidos en cuenta y sería un inconveniente para la correcta medición de los datos. Sin embargo, la sangre arterial es la única sustancia presente en la extremidad que presenta una absorbancia pulsante. La señal que llega al oxímetro sería una suma de la absorbancia de la sangre arterial y otros tejidos por lo que se realiza una operación bastante simple: una resta que realiza el instrumento. [5]

- *Componentes:*

Para realizar el montaje final del dispositivo resulta imperante una búsqueda previa acerca de los componentes y su funcionalidad teniendo en cuenta su protagonismo en el oxímetro.

- Arduino Uno

Consiste en una placa que se basa en el microcontrolador ATmega328P y contiene 14 pines de entrada y/o salida tanto digitales como PWM además de 6 pines análogos, un cristal de 16Mhz, puestos de alimentación y otros elementos que le contribuyen a generar una versatilidad sin igual, por su gran capacidad y utilidad. [6]

- pantalla OLED 128*64 píxeles

Permite controlar cada píxel individualmente y mostrar tanto texto como gráficos destacan por su gran contraste, mínimo consumo de energía y buena calidad de imagen, Para manejar la pantalla es necesario utilizar un microcontrolador con al menos 1K de RAM, este espacio cumple la función de buffer para el display. (Cambiar porque utilizamos la LCD) [7]

- Amplificador operacional LM358

El amplificador LM358 es un circuito integrado de 8 pines que opera mediante una única fuente de alimentación en un amplio rango de voltaje; diseñado para usos generales, tales como amplificadores, filtros de paso alto y bajo, filtros de paso de banda en frecuencia muy baja y sumadores analógicos y siendo compensado internamente puede ser configurado como un tampón con una ganancia de 1. [8]

- Fototransistor 750-1000 nm

Son transductores electroópticos estrechamente relacionados que convierten la luz incidente en corriente eléctrica en aplicaciones tales como detección de posición/presencia, medición de intensidad de luz y detección de pulso óptico de alta velocidad se pueden usar en modo activo o en modo interruptor. En el modo activo, el transistor es un elemento analógico con una salida lineal que es proporcional a la intensidad de la luz. [9]

- Protoboard

Es una tablilla de plástico con orificios, en la cual se pueden armar de manera fácil circuitos electrónicos mediante la utilización de componentes electrónicos y cables, ideal para prototipos. [10]

- Resistencias

Son componentes pasivos que se utilizan para oponer resistencia al flujo de corriente en un punto dado, su magnitud de resistencia depende de su cantidad de Ohms (Ω) y mientras menor sea el valor de la resistencia, mayor será el flujo de los electrones. [11]

- LED Infrarrojo

Son un tipo específico de diodo emisor de luz, el cual produce luz en el espectro infrarrojo. La luz en este rango no es visible para el ojo humano, pero puede ser detectada por una variedad de dispositivos electrónicos. [12]

- LED rojo

Constituye un tipo especial de semiconductor, cuya característica principal es convertir en luz la corriente eléctrica de bajo voltaje que atraviesa su chip. [13]

- Cables jumpers

Son un tipo de socket rectangular de plástico que cuenta con dos o más sockets metálicos en su interior de tal manera que cuando se introducen y se empujan hacia los pines de un circuito, estos son capaces de cerrar el circuito cubriendo los pines dando como resultado una conexión temporal. [14]

C. ELEMENTOS SOCIALES

La población de Samacá cuenta con una cantidad de 21.203 habitantes aproximadamente, de los cuales el 30% corresponde a población urbana, mientras que el área rural se determina con un aproximado de 70% de la población. A pesar de la presencia del sistema de salud disponible, en el departamento se han presentado numerosos casos de COVID-19 comprometiendo la salud de la población en general.

Con el fin de involucrar el proyecto en la comunidad, se realizó un estudio etnográfico enfocado en el área Dinastía del municipio de Samacá. Esta técnica permite comprender los

aspectos de la vida social e incorpora la perspectiva de las personas. [15] Por lo tanto, al momento de realizar las pruebas, se efectuaron preguntas acerca de la salud general como edad, género, antecedentes patológicos y la comparación entre los resultados generados por el oxímetro elaborado y uno comercial.

IV. MONTAJE

Para la construcción del oxímetro se optó por usar el montaje de Biomakers en su segunda versión implementando una protoboard tanto para la fase experimental como para la toma de pruebas, por consiguiente, se procedió a la conexión de cables, resistencias que dicho sea de paso se optó por tomar las de capacidad de $47K\Omega$, condensadores de $10n\mu$ y demás elementos como el amplificador operacional *LM358* a la protoboard siguiendo el esquema del cual nos basamos para el desarrollo.

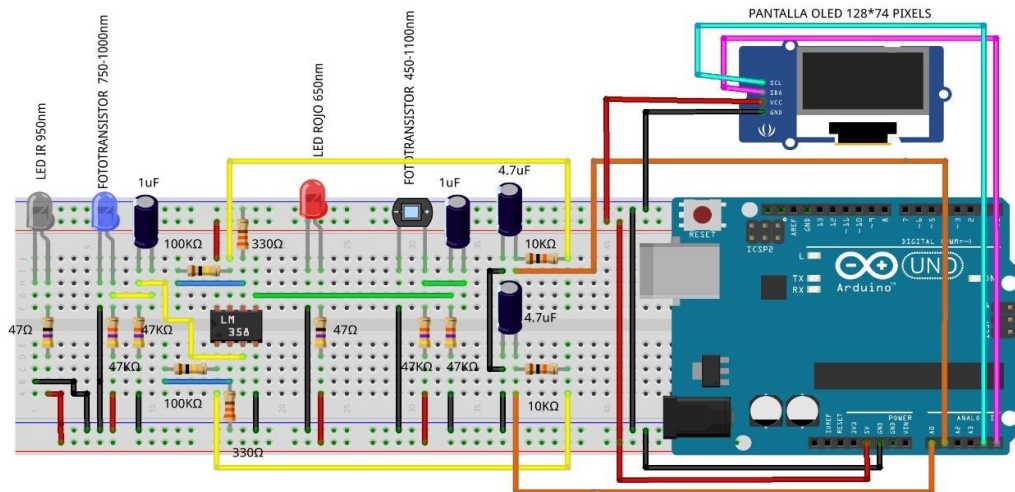


Figura 5: Diagrama del montaje del oxímetro de pulso

Se empleó la impresión en 3D para la construcción de la pinza que se coloca en el dedo del voluntario y la carcasa de la pantalla OLED aunque esta última no tuvo utilidad en el resultado final; a la pinza se le agregó un resorte modificado para evitar holguras durante la toma de datos y una vez estuvo preparada se ubicaron en sus respectivos orificios los LEDs y fototransistores según la ubicación requerida, sin embargo no se pudo usar la frecuencia predestinada en uno de los dos fototransistores debido a falta de existencias, debido a esto, el Amplificador Operacional *LM358* se reemplazó por uno similar de la serie *LM358N*, el cual ofrece ciertas mejoras en la toma de frecuencias con el fin de contrarrestar el efecto del fototransistor.

Mientras se realizaba la construcción y montaje del circuito se desarrolló también la programación necesaria para el funcionamiento del oxímetro, así pues, se modificó el algoritmo de la pantalla cambiando de LCD a OLED. Para el cambio de pantalla se recurrió a la escritura del código, según las características presentes en el visor, se actualizaron las

bibliotecas y librerías indispensables y la información sobre el nivel de saturación de sangre que se obtuvo en la toma de muestras.

Una vez se consiguió generar el programa para las dos pantallas se replicó la programación de la placa Arduino Uno desde la página de BIOMAKERS [16] para lograr tanto la recepción y traducción de datos como la emisión de variables, como lo es la saturación de oxígeno en la sangre. Habiendo finalizado los ajustes del código, se puso a prueba el circuito con la pantalla OLED, resultando en el funcionamiento del oxímetro, sin embargo, no se obtuvieron datos en el visor; se reintentó la prueba esta vez con la pantalla LCD y se obtuvo el resultado esperado según la programación antes realizada, por lo tanto, se tomó la pantalla LCD como dispositivo de salida de variables.

```
#include <LiquidCrystal.h>
//***** Conexion LCD 16x2 ****//
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
// *** Variables *** //
float spo2=0;    // %spo2
float spo2total=0; //sumatoria de ambas señales
//Sensores Fototransistores//

int sensor=A0;    //Fototransistor 790nm - 1050nm IR (950nm)
int valorSensor;
int sensor2=A1;  //Fototransistor 400nm - 1100nm ROJO
int valorSensor2;

unsigned int  intensidad_infrarrojo; // intensidad reflejada HbO2 (oxihemoglobina)
unsigned int  intensidad_rojo;      //intensidad reflejada Hb (hemoglobina)

////
const int numReadings = 100; //numero de muestras para promedio

int readings[numReadings]; // Lecturas de la entrada analogica
int index = 0; // El indice de la lectura actual
int total = 0; // Total
float average = 0; // Promedio
```

Figura 6: Programación Pantalla LCD líneas 1-19

```

Serial.begin(9600);
// Iniciamos todas las lecturas a la entrada 0
for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
readings[thisReading] = 0;

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.clear();
    lcd.print("CALCULO DE SpO2");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Oximetro Arduino");
    lcd.setCursor(0, 1);
    delay(500);
    lcd.clear();
}

void loop()
{
    //lectura de Fototransistores
    valorSensor=analogRead(sensor);
    intensidad_infrarrojo=valorSensor;

    valorSensor2=analogRead(sensor2);
    intensidad_rojo=valorSensor2;

    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.write("OXIMETRO");

```

Figura 7: Programación Pantalla LCD líneas 22-43

```

// calculo de % de saturacion de Oxigeno basada en la Ley de Beer-Lambert
spo2total=((float)intensidad_rojo+(float)intensidad_infrarrojo);
spo2=((float)intensidad_infrarrojo/spo2total);
spo2=100.0*spo2;
spo2=spo2+47;
Serial.print(valorSensor);
Serial.print("\t");
Serial.print(valorSensor2);
Serial.print("\t");
// Restamos la ultima lectura:
total= total - readings[index];
// Leemos del sensor:
readings[index] = spo2;
// Añadimos la lectura al total:
total= total + readings[index];
// Avanzamos a la proxima posicion del array
index = index + 1; |

```

Figura 8: Programación Pantalla LCD líneas 45-61

```

// Si estamos en el final del array...
if (index >= numReadings)
// ...volvemos al inicio:
index = 0;

// Calculamos el promedio:
average = total / numReadings;
// Lo mandamos a la PC como un valor ASCII
///<***** LCD 16X2 *****/
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("%SpO2: ");
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print(average);

```

Figura 9: Programación Pantalla LCD líneas 62-73

Al haberse comprobado todo se procedió a la optimización y compactación del oxímetro ubicando los fototransistores en la pinza y la adecuación de los componentes dentro de una caja con el fin de hacer más portable el aparato para su posterior uso en la toma de datos.

V. RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos trazados en la presente investigación se aplicó el instrumento en 22 personas las cuales cuentan con la siguiente caracterización:

El 68,2% eran de género femenino y el 31,8% masculino de los cuales el 95,5% no presentaba ninguna patología previa y el porcentaje restante, problemas respiratorios. De los encuestados, sólo el 18,2% tuvo COVID-19 y el 84,6% tenían vacunas contra esta enfermedad. Además, el 81,8% casi nunca toman su saturación de oxígeno.

De igual manera, dentro de los resultados se señala que al realizar las pruebas con el oxímetro construido se aplicaron las mismas pruebas en el mismo personal alcanzando coincidencias del 68% lo que indica la necesidad se convierte en una alternativa para el análisis de este tipo de casos. Al tratarse de un oxímetro que podía presentar leves variaciones con respecto a sus datos, se optó por tomarlos en rangos de realizar algunos ajustes para alcanzar cotas más altas, sin embargo, para los habitantes de la comunidad seleccionada.

Rango de saturación oxímetro de prueba

22 respuestas

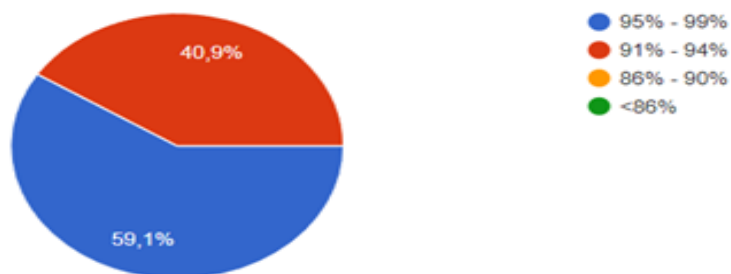


Figura 10: Porcentaje de resultado de saturación de oxígeno representado en rangos. Valor tomado con el oxímetro elaborado por el grupo.

Rango de saturación oxímetro comercial

22 respuestas

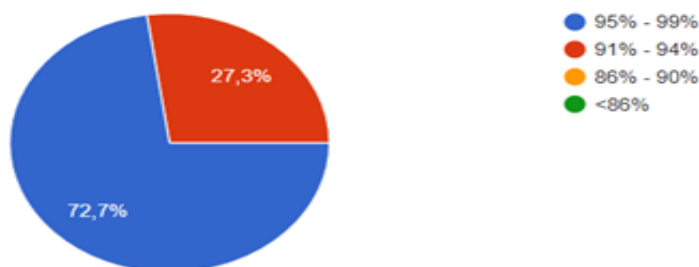


Figura 11: Porcentaje de resultado de saturación de oxígeno representado en rangos. Valor tomado con un oxímetro comercial.

Margen de error

22 respuestas

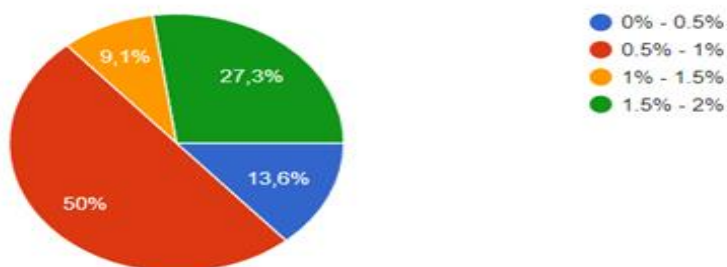


Figura 12: margen de error presentado entre el oxímetro elaborado y su homónimo comercial según los valores enteros, no los rangos.

VI. CONCLUSIONES

Tener acceso a información como circuitos y programación de un oxímetro o dispositivos similares, permite la masificación de estos en una comunidad que no conoce la relevancia de tomar este tipo de datos para el seguimiento de su propia salud física; más aún, cuando una enfermedad como el COVID-19 puede alterar estas cifras y poner en riesgo la salud de la persona.

Del proceso de construcción del oxímetro de pulso, se aprendió el cálculo y la medida de la saturación, lo cual era necesario para la programación del dispositivo, así mismo, de su confiabilidad al recoger los resultados de las pruebas tomadas en la comunidad.

Hubo una gran acogida por parte de la comunidad al realizar la toma de pruebas, además del impacto que tuvo en esta, puesto que la mayoría de la población no tenía conocimiento sobre la función de este dispositivo médico.

La construcción del oxímetro de pulso a partir de los materiales utilizados necesita de mejoras en cuanto a programación y estructura. Sin embargo, se pudo comprobar su veracidad mediante la comparación de resultados con un oxímetro comercial.

Referencias.

- [1] Sinha, S. (25 de febrero de 2021). *¿Cuál es la saturación de oxígeno?* News Medical. [https://www.news-medical.net/health/What-is-Oxygen-Saturation-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/health/What-is-Oxygen-Saturation-(Spanish).aspx)
- [2] Xie, J., Covassin, N., Fan, Z., Singh, P., Gao, W., Li, G., ... & Somers, V. K. (2020). Association between hypoxemia and mortality in patients with COVID-19. In *Mayo Clinic Proceedings* (Vol. 95, No. 6, pp. 1138-1147). Elsevier.
- [3] INdC, N. I. H. (2015). Instituto Nacional del Cáncer de los Institutos Nacionales de la Salud de EE. UU. [Online].
- [4] UnitElectronics. (s.f.). Amplificador operacional LM358N. Recuperado el 7 de septiembre de 2021 de <https://uelectronics.com/producto/lm358-amplificador/>
- [5] Smith, A. (2011). *Introducción a Arduino*. <http://www.cs.unca.edu/~bruce/Spring15/180/IntroArduinoBook.pdf>
- [6] NaylampMechatronics. (s.f.). Display Oled 0.96. Recuperado el 7 de septiembre de 2021. <https://naylampmechatronics.com/oled/83-display-oled-096-spi-12864-ssd1306.html>
- [7] Scweber, B. (11 de septiembre de 2018). *Cómo utilizar fotodiodos y fototransistores con mayor eficacia*. <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-use-photodiodes-and-phototransistors-most-effectively>
- [8] UnitElectronics. (s.f.). *Protoboard 400 Pts*. <https://uelectronics.com/producto/protoboard-400-pts/>
- [9] Mecatronica Latam. (23 de abril de 2021). *Diodo LED*. <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/diodo/diodo-led/>
- [10] Rambal. (s.f.) *Emisor Led Infrarrojo*. <https://rambal.com/ir-distancia-tacto/1186-emisor-infrarrojo.html>
- [11] Platt, Charles, Encyclopedia of Electronics Components. *Power Sources & Conversion*, Volume I, O'Reilly Media Inc., U.S.A., Pages 17--19.
- [12] Restrepo, E. (2011). Técnicas etnográficas. *Documento de trabajo*, 1-39.
- [13] Fundación para la Formación e Investigación Sanitarias de la Región de Murcia. (s.f.). *Estructura de la molécula de hemoglobina* [Imagen]. http://www.ffis.es/volviendoalobasico/1bases_fisiologicas2.html
- [14] Github. (s.f.). *Oxímetro BioMakers V2* [Imagen]. <https://github.com/BioelectronicaSeEscribeConB/OXIMETRO-ACTUALIZADO/blob/master/OXIMETRO%20FINAL.png>

[15] Bencomo, S., Villazana, S., & Salas, B. (2016). Design and construction of a pulse oximeter. *Diseño y construcción de un oxímetro de pulso. Rev. Ing. UC*, 23(2), 162-71.