

Low cost Pulse Oximeter using Arduino

Amanda Aracely Castellanos Cárcamo, Merlin Guadalupe Majano Reyes, Sophia Mariella Sánchez Urbina.¹

Abstract—This work presents the design and construction of a prototype of a pulse oximeter, simple, low cost and easy to use. Which is able to measure heart rate and plethysmography wave for SpO_2 , continuously and non-invasively. This article presents in detail the development process, detailing some basic concepts, the budget, the design of the circuit and the chassis.

Keywords— Oximeter, pulse, BPM, hemoglobin, Arduino, plethysmography.

I. INTRODUCCIÓN

El oxímetro de pulso es un dispositivo muy importante que es utilizado en pacientes neonatos, pediátricos y adultos en general; en distintas áreas como: unidades de cuidados intensivos, emergencia, quirófanos, hospitalización, cirugía ambulatoria, neonatología, sala de recuperación, traslados interhospitalarios; y sirve para la prevención de enfermedades o anomalías respiratorias, como es el caso de hipoxia, taquicardia, bradicardia, arritmia, entre otras.[1]

Por lo que es de suma importancia para el monitoreo en los pacientes críticos, hospitalizados y quirúrgicos. El sensor se coloca generalmente en el dedo, pero existe otros lugares como en el lóbulo de la oreja, el dedo del pie, o alrededor del pie en casos de neonatos y pediátricos.

El objetivo general que tiene el proyecto es de diseñar y construir un instrumento de bajo costo que sea capaz de medir la frecuencia cardíaca y al mismo tiempo muestre la curva pletismográfica para SpO_2 . Se debe construir un sensor que sea el adecuado para poder captar la señal, considerando los factores que afecten la calidad de la señal y exactitud de los valores de frecuencia cardíaca.

El oxímetro de pulso nos permitirá visualizar una señal analógica que será nuestra curva pletismográfica y al mismo tiempo poder obtener la frecuencia cardíaca. Se necesita una longitud de onda la cual será emitida desde un LED infrarrojo y será captada por un fototransistor; la señal pasará por una etapa de filtrado y amplificación para posteriormente finalizar en la etapa del microcontrolador (Arduino) como un Convertidor Analógico Digital (ADC), graficar la curva pletismográfica y el conteo de la frecuencia cardíaca. Al mismo tiempo tiene que ser un modelo de oxímetro con una interfaz simple para el usuario, será de bajo costo, pero a la misma forma con resultados fiables.

Entre las limitaciones está la adquisición por medio de los elementos de bajo costo, ancho de banda preciso ante las variaciones de impedancia en la piel de cada sujeto de prueba forma, aunque también las condiciones ambientales,

posicionamiento del dedo y condiciones de aislada afectan la señal adquirida por el sensor. Otra limitante es que el oxímetro no será capaz de proporcionar un valor de la saturación parcial de oxígeno.

El trabajo contiene II. Introducción teórica donde se presentan los conceptos que son importante para conocer un poco sobre el principio de funcionamiento del dispositivo, III. Simulación y Evidencia del Diseño Electrónico, IV. Prototipo y Diseño PCB, V. Evidencia de Resultados.

II. INTRODUCCIÓN TEÓRICA Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

A. La sangre

La sangre es una sustancia líquida de color rojo, que circula por las arterias y venas del cuerpo, se compone por una parte líquida o plasma contiene agua, sales y proteínas y la parte sólida que contiene glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. [2]

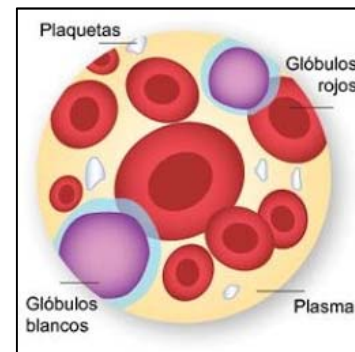


Fig. 1. Componentes de la sangre. [2]

Las funciones principales de la sangre son:

- **Transporta:** La sangre es la principal responsable del transporte de nutrientes y materiales importantes a lo largo de nuestro cuerpo. En primer lugar, la sangre toma el oxígeno procesado por los pulmones para transportarlo a todas las células del cuerpo y después, recoge el dióxido de carbono de todos los tejidos y células y lo devuelve a los pulmones.
- **Regula:** La sangre también es un regulador de muchos factores del cuerpo. Supervisa la temperatura del cuerpo y la mantiene a un nivel que es tolerado con facilidad. Es responsable de controlar la concentración de iones de hidrógeno en el cuerpo, conocido como el equilibrio pH. La administración de los niveles de agua y sal requeridos por cada célula del cuerpo también se encuentran bajo los deberes de regulación de la sangre. Además, se encarga

¹ Amanda Aracely Castellanos Cárcamo (e-mail: amanda_al12@hotmail.com)
Merlin Guadalupe Majano Reyes (e-mail: merlin_majano@hotmail.com) Sophia
Mariella Sánchez Urbina (e-mail: sophiesanchezu@gmail.com). Pertenecen a la
Cátedra de Bioinstrumentación dirigida por la Ing. Carlos Alvarado. en la
Universidad Don Bosco, El Salvador.
978-1-7281-3185-6/19/\$31.00 ©2019 IEEE

de regular la presión sanguínea, restringiéndola bajo un rango normal.

- Protege: La sangre tiene la importante tarea de proteger al cuerpo del trato de las infecciones y las enfermedades causadas por las bacterias. Las células blancas de la sangre son responsables de salvaguardar a los diferentes órganos del cuerpo, produciendo anticuerpos y proteínas capaces de luchar y matar a los gérmenes y virus que puedan causar serios daños en las células corporales. [3]

1) Hemoglobina

La hemoglobina es una proteína globular, que está presente en las altas concentraciones en los glóbulos rojos y se encarga del transporte de oxígeno del aparato respiratorio hacia los tejidos periféricos y del transporte de dióxido de carbono en el proceso de la respiración celular.

Se sabe que por cada litro de sangre hay 150 gramos de hemoglobina, y que cada gramo de hemoglobina disuelve 1.34ml de oxígeno, en total se transportan 200 ml de oxígeno por litro de sangre. Esto es 87 veces más de lo que el plasma solo podría transportar. Sin un transportador de oxígeno como la hemoglobina, la sangre tendría que circular 87 veces más rápido para satisfacer las necesidades corporales. [4]

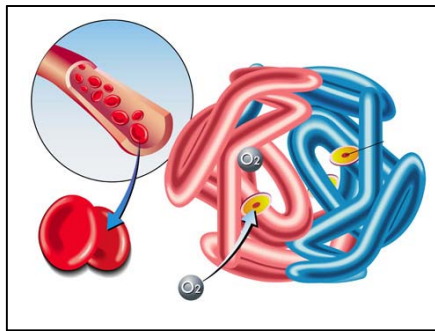


Fig. 2. Hemoglobina [5]

Cuando la hemoglobina esta oxigenada se denomina oxihemoglobina dando el color rojo a la sangre arterial. Cuando la hemoglobina esta desoxigenada se denomina hemoglobina reducida lo que ocasiona el color rojo azulado oscuro típico de la sangre que circula en las venas.

B. Frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca, o pulso, es el número de latidos cardíacos por minuto. Estos latidos son generados por el corazón y se deben a que es una bomba de tejido muscular y como cualquier bomba, el corazón, necesita una fuente de energía para poder funcionar. Por comodidad se expresa siempre en contracciones por minuto, ya que cuando nos tomamos el pulso lo que notamos es la contracción del corazón (sístole), es decir cuando expulsa la sangre hacia el resto del cuerpo.

TABLA 2. VALORES NORMALES DE LA FRECUENCIA CARDÍACA EN REPOSO. [6]

Recién nacido	(0 a 1 mes)	70 a 190 BMP
Bebes	1 a 11 meses	80 a 160 BPM
	1 a 2 años	80 a 130 BPM
Niños	3 a 4 años	80 a 120 BPM
	5 a 6 años	75 a 115 BPM
	7 a 9 años	70 a 110 BPM
	10 años o mas	60 a 100 BPM

Adultos

Atletas bien entrenados

60 a 100 BPM

40 a 60 BPM

La frecuencia cardiaca en reposo puede variar dentro de este rango normal. Aumentará como respuesta a una variedad de cambios, como el ejercicio, la temperatura corporal, los desencadenantes emocionales y la posición del cuerpo, como, por ejemplo, por un corto tiempo después de levantarse rápidamente.

La frecuencia cardiaca teniendo como valores normales entre 60 y 100 latidos por minuto, una frecuencia cardíaca fuera de ese rango se considera como arritmia o trastorno del ritmo cardiaco. Una frecuencia cardiaca menor a 60 latidos por minuto se conoce como bradicardia y una frecuencia cardiaca mayor a 100 se considera taquicardia.

1) Taquicardia:

La taquicardia se da cuando la frecuencia cardíaca es demasiado rápida, incluso estando en reposo. No hay un límite estricto, pues depende de la situación particular de cada persona, pero generalmente se considera taquicardia cuando las pulsaciones por minuto se mantienen por encima de 100.

A este ritmo de contracción tan rápido, que puede llegar hasta 400 pulsaciones por minuto en casos extremos, el riego sanguíneo corporal se puede ver comprometido. [7]

2) Bradicardia :

La bradicardia se define como un ritmo cardíaco demasiado lento, generalmente por debajo de 60 pulsaciones por minuto. Al igual que la taquicardia, la bradicardia puede comprometer el riego sanguíneo a los tejidos y órganos del cuerpo, por lo que algunos síntomas son similares, aunque en la bradicardia aparecen sobre todo al realizar ejercicio o durante la actividad diaria normal. [7]

C. Oxímetro de pulso

El oxímetro de pulso monitorea la saturación de hemoglobina arterial (SpO_2) basándose en la absorción diferencial de luz. El oxímetro de pulso es probablemente una de las mejores herramientas de monitoreo que hayan sido desarrolladas en los últimos años y brinda información no solo de la saturación de la hemoglobina, sino también de la frecuencia y ritmo del pulso periférico.

La oximetría de pulso se fundamenta en la espectrofotometría y la pletismografía. La espectrofotometría, permite calcular la concentración de una sustancia en solución, a partir de su absorción óptica, a una longitud de onda determinada; y la pletismografía, permite medir los cambios en el flujo sanguíneo o el volumen de aire en diferentes partes del cuerpo. [8]

El oxímetro de pulso, mediante el empleo de dos fuentes de emisión de luz (Un LED rojo y un LED infrarrojo) de distintas longitudes de onda y un detector (Fotodiodo), mide la absorción relativa de los tejidos biológicos debido al flujo sanguíneo arterial pulsátil convirtiéndose estas variaciones lumínicas en una señal de corriente en el detector. La longitud de onda provocada por la luz roja es absorbida en mayor manera por ciertas moléculas de oxihemoglobina. Mientras que la longitud de onda infrarroja es absorbida por moléculas desoxihemoglobina o hemoglobina reducida

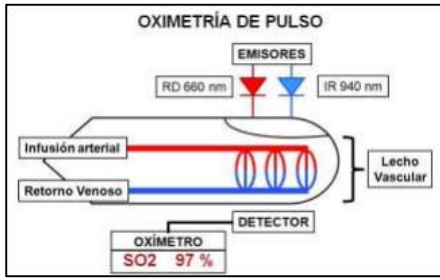


Fig. 3. Esquema del funcionamiento del sensor de un oxímetro. [9]

La absorción de la luz está dada por:

- Absorción correspondiente debido a la sangre pulsante.
- Absorción fija correspondiente a la sangre arterial no pulsante.
- Absorción fija correspondiente a la sangre capilar y venosa.
- Absorción fija correspondiente al tejido.

En la Figura 4 se observa que la señal posee una parte dinámica (AC) que cambia según pulsa la sangre en la estructura anatómica y otra componente estática (DC) asociada a la absorción óptica de los tejidos en la estructura que no “pulsan” (Sangre acumulada, huesos, cartílagos; etc.)

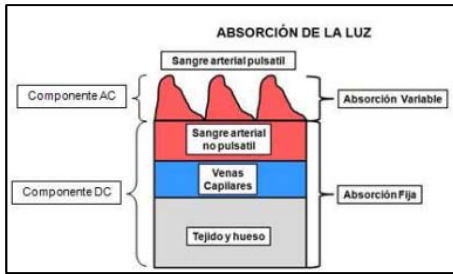


Fig. 4. Absorción de la luz por los diferentes componentes del dedo. [9]

D. Curva pletismográfica

La señal pulsátil es la base de la pulsioximetría, y en la curva pletismográfica representa estos cambios de volumen del flujo sanguíneo. La sangre arterial es la única sustancia presente en la extremidad que presenta una absorbancia pulsante mientras que los restantes tejidos no cuentan con esta característica.[10] Por ende, cualquier absorbancia variable en el tiempo se debe a sangre arterial. Por otro lado, cualquier absorbancia no variante, se produce por sustancias como la piel y otros tejidos “no pulsantes”.

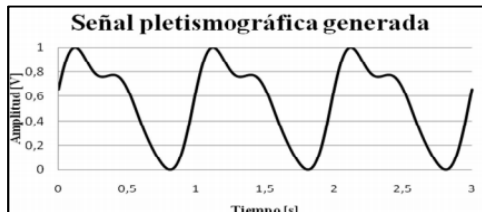


Fig. 5. Señal pletismográfica. [9]

La curva pletismográfica está formada por una línea ascendente que corresponde al pico de la presión sistólica, a continuación, la onda inicia una línea descendente que se corta debido a la pequeña hendidura causada por el cierre de la válvula aortica, la incisura dicrótica, marcando el final de la sístole ventricular. Durante la diástole, la presión y la onda continúan disminuyendo hasta que la

pared aortica retrocede empujando la sangre hasta la periferia, este es el final de la diástole y de la onda.

III. SIMULACIÓN Y EVIDENCIA DEL DISEÑO ELECTRÓNICO

A. Diagrama funcional del oxímetro

- Consiste en un LED infrarrojo (emisor) y un fotodetector (receptor).
- Una etapa de filtrado, tanto para frecuencias bajas como altas.
- Una etapa de amplificación de la señal.
- Sistema embebido, el cual usaremos el Arduino.
- Monitor para mostrar la frecuencia cardíaca y la curva pletismográfica.

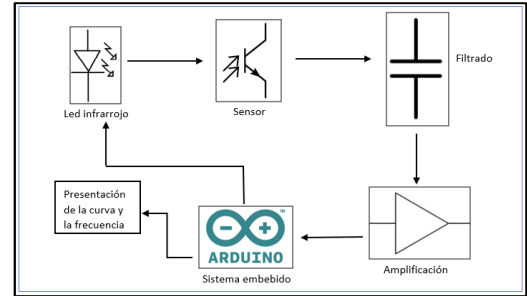


Fig. 6. Diagrama de bloques de funcionamiento.

Para comenzar a diseñar nuestro circuito lo primero que se considero fue el sensor a utilizar, el cual tiene que ser un sensor óptico capaz de capturar la señal del LED infrarrojo, por lo que se decidió trabajar un fototransistor. El fototransistor tiene características que nos ayudan para captar la señal de LED infrarrojo.

B. Cálculo de la ganancia

Al querer capturar una señal como la de la curva pletismográfica debemos considerar que es una señal de muy bajos valores de presión por lo tanto lo primero que se decidió fue que nuestro circuito debería tener una etapa de amplificación la cual tiene que ser grande.

Por lo tanto, se decidió que la ganancia la deberíamos de tener es de 51 en base a pruebas realizadas, porque al tener un mayor valor de ganancia se observaba saturación y la onda no se mostraba completa, los cálculos se realizaron de la siguiente manera

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

Despejando R_1 en Ec. 1 y donde $A=51$ y $R_2 = 100K\Omega$

$$R_1 = \left(\frac{100K}{(51 - 1)} \right) = 2K\Omega$$

C. Cálculo de las frecuencias de corte

También se tiene de considera el ancho de banda de la curva las cual tiene un rango de frecuencia útil de 1Hz a 3Hz, por lo que se tiene que diseñar un filtro pasa alto para eliminar las frecuencias menores y un filtro pasa bajo para eliminar las frecuencias mayores que podrían afectar nuestra señal.

Para calcular la frecuencia de corte para los filtros se realizaron los siguientes cálculos:

$$F = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

- Filtro pasa alto
Tomando $R=1M\Omega$ y $C=100nF$

$$F = \frac{1}{2\pi(1M)(100n)} = 1.59Hz$$

- Filtro pasa bajo
Tomando $R=1.5K\Omega$ y $C=100nF$

$$F = \frac{1}{2\pi(150K)(100n)} = 10.61Hz$$

Se realizaron pruebas con estos valores para ver cómo se comportaba la onda, si las frecuencias de cortes tienen un rango adecuado y nos muestra una onda sin ruido y sin saturación. Por lo que al final se llegó a la conclusión de que estaban bien los cálculos y se trabajó con esos valores detallados anteriormente.

D. Diseño del circuito

El diseño del circuito que implementaremos será el siguiente, el cual posee el filtro pasa banda, el fototransistor y LED infrarrojo

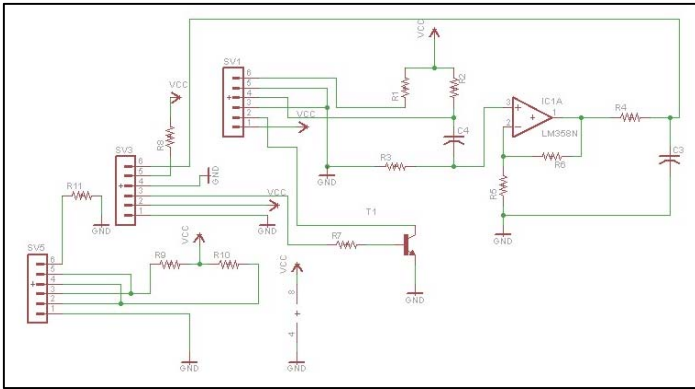


Fig. 7. Circuito final.

En el circuito que se muestra en la figura 7 se le agregaron cuatro LEDs los cuales dos de ellos servirán como indicadores de alarma al momento que no se encuentre en valores normales para la frecuencia cardíaca, los rangos que se escogieron fueron valores menores a 60 BPM la persona tendría bradicardia por lo que uno de los LED color rojo que funciona como alarma se encendería y valores mayores a 100 BPM cuando se encuentra en taquicardia se encendería el otro LED color rojo; un tercer LED en color verde se utilizará para la señal pulsátil, cada vez que se registre un pico en la señal, este se encenderá y el cuarto LED en color rojo como indicador de seguridad que el equipo esta encendido, de lo contrario permanecerá apagado. También se le agrego un buzzer, este sonara cada vez que haya un pico en la señal y también funciona como alarma auditiva para los mismos rangos de los leds, la frecuencia del buzzer es diferente en cada rango.

IV. PROTOTIPO Y DISEÑO PCB

A. Prototipo

El diseño del prototipo para el sensor (pinza de dedo) se muestra en la figura 8, el cual nos permitirá establecer una distancia fija entre el emisor infrarrojo y el receptor. Debido a la importancia de aislamiento de las irradiaciones de luz natural como artificial, sobre todo los 50 Hz de la luz ambiental ya que este tipo de sistemas son muy sensibles a ella, se ha previsto un diseño más hermético capaz de aislar la interferencia de luz.



Fig. 8. Impresión final 3D del chasis para sensor dedal.

Para la implementación se decidió un chasis que tiene incorporada una pantalla Oled de 128x64" que muestra los datos de BPM recogidos con la plataforma Arduino y al mismo tiempo presenta la curva pletismográfica, además de esto se decidió incorporar en el chasis los cuatro LEDs indicadores, un botón on/off y un botón accionador, como se muestra en la figura 9.

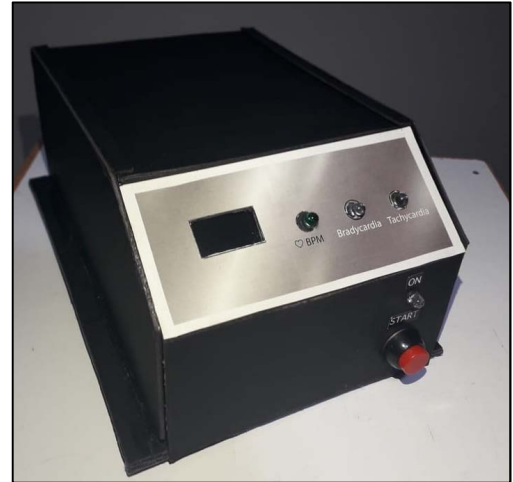


Fig. 9. Chasis implementado

B. Diseño de placa

Para el diseño del esquemático se utilizó el software Eagle [11], el cual quedo de la siguiente manera:

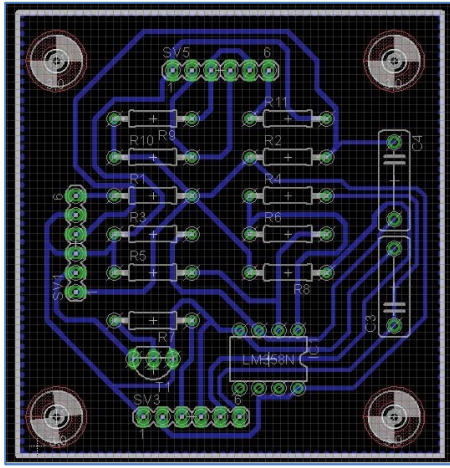


Fig. 10. Diseño de la placa impresa.

TABLA 3. ELEMENTOS UTILIZADOS

Cantidad	Elemento
1	Fototransistor
1	LED infrarrojo
3	LEDS rojos
1	Buzzer
2	Resistencia de 220 Ω
1	Resistencia de 47K Ω
1	Resistencia de 1M Ω
1	Resistencia de 2K Ω
1	Resistencia de 100K Ω
1	Resistencia de 150K Ω
1	Resistencia de 100 Ω
1	Resistencia de 330 Ω
2	Capacitores de 100nF
1	LM358

V. EVIDENCIA DE RESULTADOS

Se realizaron pruebas para comprobar el funcionamiento correcto del prototipo, se evidencia la forma típica de la curva pletismográfica junto al conteo de pulsaciones por minuto de cada sujeto de prueba. Se consideraron 3 sujetos de prueba para la evaluación y en las siguientes figuras se observan los resultados.



Fig. 11. Sujeto de prueba 78 BPM, sexo femenino (4 años)

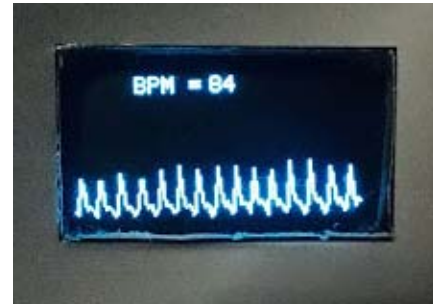


Fig. 12. Sujeto de prueba 84 BPM, sexo femenino (21 años)

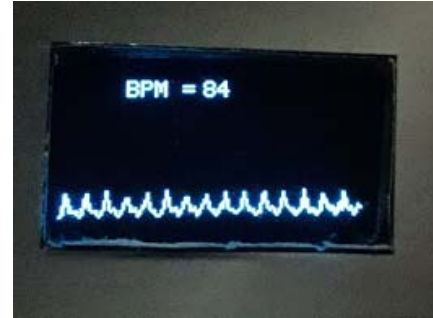


Fig. 13. Sujeto de prueba 84 BPM, sexo masculino (46 años)

Los resultados obtenidos son los esperados, porque podemos observar la señal pletismográfica y al mismo tiempo se puede visualizar el valor de las BPM. En las tres figuras anteriores se presentan en una pantalla pequeña, pero a continuación presentamos la visualización de la curva por medio de Arduino, por la que observaremos una mejor visualización de la señal debido a la amplitud de la pantalla.

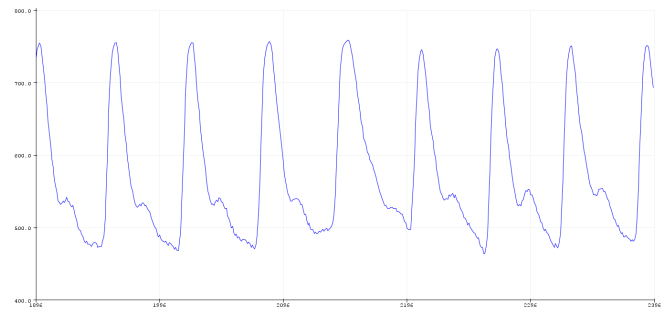


Fig. 14. Señal pletismográfica en el plotter de Arduino.

VI. CONCLUSIONES

- A la hora de la adquisición de la señal la melanina y el esmalte en las uñas pueden provocar ruido y por ende no se logrará visualizar la forma de onda esperada. Una mala colocación del dedo también puede afectar la señal ya que el muestreo no se estaría realizando correctamente alterando el conteo de pulsos.
- Existe una pequeña diferencia entre los valores teóricos a los experimentales debido al ruido generado por el movimiento del cable del sensor o del paciente.
- El sensor debe ser aislado en lo mayor posible de otras fuentes de luz, sean estas naturales o artificiales ya que la radiación infrarroja que puedan generar influye en la medición de las variables.

- Se prefirió utilizar un fototransistor en lugar de un fotodiodo ya que el fototransistor se utiliza para amplificar dado que nuestra señal es de amplitud pequeña optamos por este sensor.
- El sistema embebido Arduino es una excelente opción para este tipo de aplicaciones, pues cuenta con buen número de entradas analógicas, la conexión es muy sencilla.
- Con este proyecto se logró reforzar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la asignatura de bioinstrumentación y podemos confirmar que la electrónica y medicina pueden trabajar de la mano, para mejorar, brindar un mejor diagnóstico o tratar enfermedades y de esta forma prolongar la vida del paciente.
- Este prototipo podría ser utilizado para monitorización de pacientes, aunque no es un oxímetro que posee todas las funciones, pero si es capaz de detectar la señal pletismográfica y las BPM.

- [9] HugeDomains, *Diseño y construcción de un oxímetro portátil*. 2019.
- [10] B. Salas, S. Villanza and S. Bencomo, "Design and construction of a pulse oximeter", *Revista Ingeniería UC*, no. 23, 2016.
- [11] Autodesk, *Eagle CadSoft*. Autodesk.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda que al paciente a quien se le está realizando la prueba esta lo más quieto posible, tratar de no realizar movimientos bruscos, que tenga las uñas despintadas y limpias para que la señal no se vea afectada por estos factores. Y manipular el equipo de manera adecuada.

Como recomendaciones para mejorar el proyecto proponemos incorporar un LED rojo, mediante este arreglo se podría calcular el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre; la implementación de una pantalla de mayor tamaño para una mejor visualización de la curva pletismográfica; también se podrían mejorar el código para obtener una frecuencia cardíaca más exacta; una recomendación muy importante para mejorar este prototipo es poder diseñar un sensor que no se vea afectado por los mínimos movimientos del paciente y así no afecte las respectivas mediciones; también que se haga menos uso de cables (jumper) para disminuir el ruido en la señal.

VIII. REFERENCIAS

- [1] R. Beebe and D. Funk, *Fundamentals of emergency care*. Albany, N.Y.: Delmar, 2001.
- [2] Graña, R. (2019). *Funciones de la sangre*. [online] Comofuncionaque.com. Available at: <https://comofuncionaque.com/funciones-de-la-sangre/>
- [3] Google Sites, *La sangre y sus componentes*. 2019.
- [4] J.G Webster, *Desing of Pulse Oximeter*. Madison Avenue New York: Taylor & Francis Group, 1997.
- [5] Bayard Revistas S.A., *La Hemoglobina*. 2019.
- [6] Amigo, J., Amigo, J., Julia, M. and perfil, V. (2019). *¿Cuántas son las pulsaciones normales y máximas por edad?*. [online] Canal Biosanitario. Available at: <https://revistadigital.inesem.es/biosanitario/pulsaciones/>
- [7] Curiosoando. (2019). *¿Qué es la bradicardia y la taquicardia?*. [online] Available at: <https://curiosoando.com/bradicardia-y-taquicardia>
- [8] "Pletismografía: MedlinePlus enciclopedia médica", Medlineplus.gov, 2019. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003771.htm>. [Accessed: 18- Jul- 2019].