

Diseño e implementación de un oxímetro de pulso con Labview y la NI MyDAQ

Jorge Antonio Cardona Soto¹, Gabriel Axel Arvizo Gutiérrez¹, Mariano Carrillo Romero¹,
Francisco Rodríguez Rico¹, Sergio González Duarte¹, Georgina Ramírez Lozoya¹

¹Universidad Tecnológica de Chihuahua.

Resumen

La presente investigación muestra el diseño de un oxímetro de pulso, el cual tiene como función medir la saturación de oxígeno en la sangre del paciente (SpO₂) y consiste básicamente en una fuente emisora de luz y un fotodetector, lo cual la hace una prueba no invasiva. Es importante mencionar que la oximetría de pulso es la encargada de detectar el descenso de los niveles de saturación de oxígeno antes de que aparezcan signos físicos como hipoxia, cianosis, taquicardia y bradicardia. La pulsioximetría constituye una de las herramientas fundamentales en la monitorización de la SpO₂. La cual a menudo se considera la quinta muestra vital, solo después del ritmo cardiaco, presión arterial, temperatura y frecuencia respiratoria.

Palabras clave: Oxímetro, Pulso, LabView, Señales, Adquisición, Procesamiento.

Introducción

La oximetría de pulso nos permite monitorear de manera continua e instantánea la oxigenación en la sangre, así como detectar enfermedades a tiempo y evitar el constante chequeo de gases sanguíneos en el laboratorio, además constituye una de las herramientas fundamentales en el monitoreo de la Saturación Arterial de Oxígeno SpO₂ que muy a menudo es considerada la quinta muestra vital a monitorear en un paciente. La oximetría de pulso se encuentra fundamentada en la espectrofotometría y la pletismografía.

El oxímetro de pulso tiene como función medir la saturación de oxígeno en la sangre del paciente y consiste básicamente en una

fuentes emisora de luz y un fotodetector, como fuente emisora de luz por lo general se utilizan diodos emisores de luz (Led) rojos (630nm) e infrarrojos (940nm). Comúnmente el pulsioxímetro es colocado en el dedo índice de la mano del paciente, pero en ocasiones también puede ser colocado en los dedos de los pies, en la nariz o en el lóbulo de una oreja.

En este trabajo se presenta el diseño de un pulsioxímetro que obtiene las señales de pulsioximetría por medio de una tarjeta de adquisición de datos myDAQ de National Instruments y que además es capaz de mostrar el valor del porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre (SpO₂) y el valor del

ritmo cardiaco en una pantalla por medio de una interfaz gráfica diseñada en LabVIEW; esto con el fin de que el pulsioxímetro pueda

ser posteriormente utilizado en una máquina automática de RCP.

Fundamento Teórico

Para la mayoría de los seres vivos resulta esencial el oxígeno, ya que mediante la respiración es usado para convertir los nutrientes en energía. La disminución de oxígeno puede provocar alteraciones físicas e incluso la muerte del organismo.

En los seres humanos el oxígeno es absorbido en los pulmones a través de los alvéolos y transportado hasta los tejidos en dos formas. La primera, mediante moléculas de hemoglobina y la segunda, disuelto como gas en la sangre.

Una molécula de hemoglobina es capaz de transportar hasta un máximo de cuatro moléculas de oxígeno, si por ejemplo una molécula de hemoglobina transporta dos moléculas de oxígeno sería el 50% de la cantidad máxima de oxígeno que puede transportar, la ecuación 1 muestra la expresión matemática para calcular la SpO₂ por molécula.

$$SpO_2 = \frac{2}{4} \times 100\% = 50\%$$

(1)

2 Cantidad que transporta

4 Cantidad máxima que puede transportar

En las últimas décadas, la oximetría de pulso ha tomado gran relevancia como método no invasivo para determinar la SpO₂. Tanto la hipoxemia como la hiperoxemia pueden

evaluarse indirectamente por la medición de la SpO₂.

La oximetría de pulso es una tecnología capaz de medir la saturación de oxihemoglobina, mediante diodos emisores de luz (LED), tecnología de adquisición de datos, pletismografía y espectrofotometría (Ventosinos, 2010). Esta tecnología está sustentada en la Ley de Beer-Lambert-Bouguer la cual relaciona la intensidad de luz entrante en un medio con la intensidad saliente después de que en dicho medio se produzca absorción, en otras palabras, es posible determinar la concentración de un soluto desconocido, en un solvente, por la absorción de la luz. Los solutos en este caso son la hemoglobina reducida y la oxihemoglobina, con sus respectivos coeficientes de absorción.

La pletismografía es una técnica de diagnóstico que consiste en determinar las variaciones de flujo sanguíneo (volumen o presión) en una arteria o vena.

La espectrofotometría es un método de análisis cuantitativo que utiliza los efectos de las radiaciones electromagnéticas para medir la absorción de luz por una sustancia; esta técnica establece que para medir dos sustancias en solución se necesitan como mínimo dos longitudes de onda. (Ventosinos, 2010)

Los oxímetros de pulso basan su funcionamiento en utilizar una fuente luminosa con dos longitudes de onda: 640nm (rojo) y 940nm (infrarrojo); para aplicarlo

sobre un área del cuerpo que sea lo suficientemente delgada para permitir que la luz atraviese por los vasos sanguíneos y sea captada por un fotodetector (ver Figura 1).

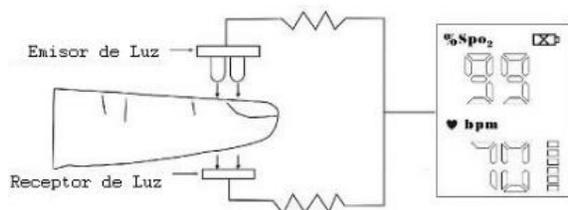


Figura 1. Principio de funcionamiento de un oxímetro de pulso.

El hecho de que las longitudes de onda oscilen entre 640 y 940 nm se debe principalmente a que corresponden a las características absorptivas de las dos hemoglobinas (oxihemoglobina y la oxihemoglobina reducida).

La oxihemoglobina se da cuando la hemoglobina está unida al oxígeno y es la que transporta el O₂ hasta los tejidos. La oxihemoglobina reducida se da cuando la hemoglobina pierde el oxígeno, es decir que no está saturada. (Vizcaíno, 2011)

Para identificar la SpO₂ de la hemoglobina arterial, es necesario utilizar la pulsación normal del flujo arterial. Durante la sístole, aumenta el volumen de la sangre arterial, por lo que la absorción de luz se incrementa hasta su punto máximo. Durante la diástole, el volumen de sangre disminuye y la absorción

de luz alcanza su mínimo. El oxímetro basa su medición de SpO₂ en la diferencia entre la absorción máxima y mínima. Con esto, se concentra en la absorción de luz de la sangre arterial, eliminando el efecto de absorbentes que no son de interés como los tejidos, huesos y sangre venosa.

Por último, tenemos el estudio del pulso arterial el cual no solo se basa en la determinación de la frecuencia cardíaca, para un adulto los valores normales deben estar entre 60 y 90 pulsos por minuto (ppm), sino que también se basa en el análisis de la forma de onda de dicho pulso, ya que puede usarse para el diagnóstico de múltiples enfermedades vasculares y disturbios circulatorios funcionales, además del impacto farmacéutico en el sistema vascular, entre otras aplicaciones.

Métodos

Utilizando la ecuación 2, el pulsioxímetro es capaz de calcular la SpO2 en la sangre del paciente.

$$SpO_2 = \frac{\text{Absorbancia de la luz roja}}{\text{Absorbancia de la luz infrarroja}} \quad (2)$$

En la figura 2, se muestra la gráfica de absorción de luz de la oxihemoglobina y la

deoxihemoglobina, nótese como la oxihemoglobina (HbO₂) tiene una mayor absorción cerca de los 910nm lo cual corresponde al espectro de luz del Led infrarrojo, mientras que la deoxihemoglobina tiene una mayor absorción cerca de los 660 nm que pertenece al espectro de luz del Led rojo. (Vizcaíno, 2011)

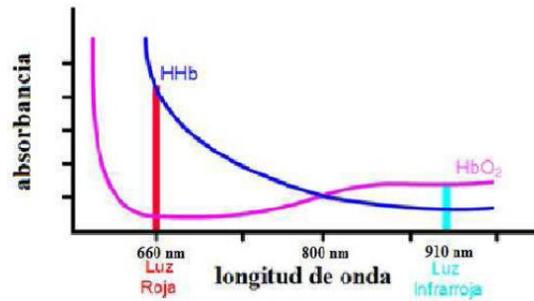


Figura 2. Absorción de la oxihemoglobina y la desoxihemoglobina.

En la figura 3, se puede apreciar un pulsioxímetro de uso doméstico, véase que tiene un tamaño compacto además de que muestra el porcentaje de la saturación de oxígeno en la sangre así como las pulsaciones

por minuto en la pantalla incorporada a él. Por otro lado, en la figura 4, se puede ver un pulsioxímetro utilizado principalmente en clínicas y hospitales.



Figura 3. Pulsioxímetro de uso domestico



Figura 4. Pulsioxímetro de clínicas y hospitales

Diseño del proyecto

El pulsioxímetro desarrollado para este proyecto cuenta con una interfaz directa, es decir que, la salida del fotodetector se conecta directamente a la tarjeta NI myDAQ, la cual a su vez es conectada a una computadora en donde se realiza todo el acondicionamiento de la señal de salida por medio del software LabVIEW.

El NI myDAQ es un dispositivo de adquisición de datos portátil y totalmente

energizado por USB; combina hardware con ocho instrumentos definidos por software listos para ejecutar, incluyendo un generador de función, osciloscopio y multímetro digital. El NI myDAQ incluye dos entradas y salidas analógicas a 200 kS/s y 16 bits, ocho entradas digitales y líneas de salida y un multímetro digital de 60 V para medir voltaje, corriente y resistencia. En la figura 5, se puede ver un dispositivo NI myDAQ. (Instruments, ni.com, 2015)



Figura 5. NI myDAQ

Al contar con una interfaz directa en este proyecto, no se necesita más circuitería que la necesaria para energizar el fotodiodo y el led rojo e infrarrojo.

El fotodiodo es un dispositivo semiconductor capaz de conducir una cantidad de corriente eléctrica proporcional a la luz que lo ilumina, es capaz de convertir la luz en electricidad para de esta forma informar que hubo un

cambio en la iluminación. El fotodiodo tiene la capacidad de responder de manera más rápida que una fotorresistencia a los cambios de oscuridad a iluminación y viceversa, además de que tiene un tiempo de respuesta más pequeño.

El Led es un tipo especial de diodo, que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica emite luz. Dependiendo del material de que está hecho el Led, será la emisión de la longitud de onda y por ende el color. (Unicrom, 2012)

En la figura 6, se puede apreciar el diagrama eléctrico del proyecto, empezando de izquierda a derecha primero se observa la computadora conectada por medio de USB a la tarjeta de adquisición de datos NI myDAQ, el pin AGND, DGND y AI0-, así como los polos negativos de los Led's se encuentran conectados a tierra.

El fotodiodo se encuentra conectado por medio de una resistencia de 220Ω al pin que suministra 5V de la NI myDAQ; del nodo formado por la resistencia y el fotodiodo, sale un cable a la entrada analógica 0+ (AI 0+) del NI myDAQ, este pin es por donde se recibe la señal de salida del fotodiodo para luego ser enviada a la computadora en donde será acondicionada y por último mostrada en función de la SpO2 y el ritmo cardiaco en una interfaz gráfica diseñada en LabVIEW.

El fotodiodo se debe de polarizar inversamente para que su funcionamiento sea el correcto, de esta forma, el fotodiodo producirá una cierta corriente cada vez que sea iluminado.

El Led rojo e infrarrojo se encuentran conectados a la salida digital 0 y 1 de la NI myDAQ respectivamente, por estos dos pines se envía la señal que energiza los diodos permitiendo que estos puedan iluminarse.

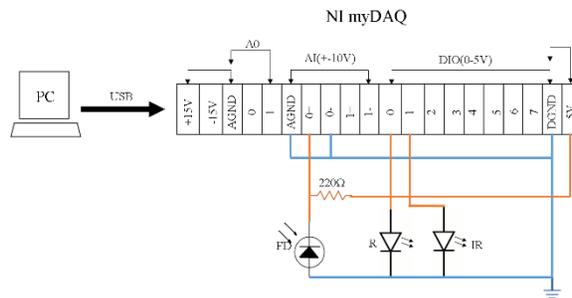


Figura 6 Diagrama eléctrico del circuito

Diseño del software e interfaces gráficas

LabVIEW es un entorno de programación flexible, perfecto para el desarrollo y construcción de una amplia variedad de

aplicaciones, es ideal para cualquier sistema de medidas y control. (Instruments, ni.com, 2015)

En la figura 7, se muestra el Panel frontal del Instrumento Virtual (VI) desarrollado en la interfaz gráfica de este proyecto. En la imagen se observa una gráfica de tipo Chart en la cual se mostrará la señal del ritmo cardiaco detectada por el fotodiodo, de igual forma se encuentran dos indicadores de tipo

numérico en donde se despliega el valor del SpO2 y el número de pulsaciones por minuto.

Para calcular el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre, primero es necesario calcular una razón entre el voltaje mínimo y máximo del Led rojo e infrarrojo, dicha razón se calcula mediante la fórmula 3.



Figura 7. Panel frontal del oxímetro de pulso

$$R = \frac{(V_{maxR} - V_{minR}) * V_{minIR}}{(V_{maxIR} - V_{minIR}) * V_{minR}} \quad (3)$$

V_{maxR} Voltaje máximo obtenido con el Led Rojo

V_{minR} Voltaje mínimo obtenido con el Led Rojo

V_{maxIR} Voltaje máximo obtenido con el Led infrarrojo

V_{minIR} Voltaje mínimo obtenido con el Led infrarrojo

Una vez obtenida la razón entre los voltajes de los dos led's, es posible calcular el SpO2 mediante la fórmula 4.

$$SpO2 = (10.0002 * R^3) - (52.887 * R^2) + (26.871 * R) + 96.283 \quad (4)$$

Diseño y elaboración del dispositivo y de las tablillas

En la figura 8, se aprecia el diseño del oxímetro de pulso de este proyecto, como se puede ver, el diseño está basado en un pulsioxímetro doméstico como el mostrado en la figura 3. La forma se pensó para que el pulsioxímetro fuera como una pequeña pinza, lo cual hace más fácil su sujeción al dedo,

además de que al cerrarse sobre el mismo, este queda parcialmente hermético, evitando de esta forma la entrada de luz procedente del exterior la cual puede afectar las mediciones del fotodetector. Todo el diseño se realizó en el software SolidWorks.



Figura 8. Diseño del oxímetro de pulso.

En la figura 9, se muestra una imagen de un corte transversal realizado a la carcasa del pulsioxímetro, en la imagen se puede observar cómo está construido el oxímetro y los elementos que conforman la carcasa, de igual forma se puede apreciar que dentro de una de las tapas del oxímetro de pulso se encuentra el circuito impreso que contiene los componentes electrónicos del proyecto.

Al contar con una interfaz directa, el proyecto no requiere de más circuitería que la del fotodiodo y los dos Led's. En la figura 9, se muestra la representación 3D del circuito diseñado en el software Ares; en la tablilla únicamente se aprecia la resistencia de 220Ω que se conecta al fotodiodo, además de varios orificios en donde se colocarán los cables para realizar la conexión de los componentes electrónicos así como los pines de la NI myDAQ.

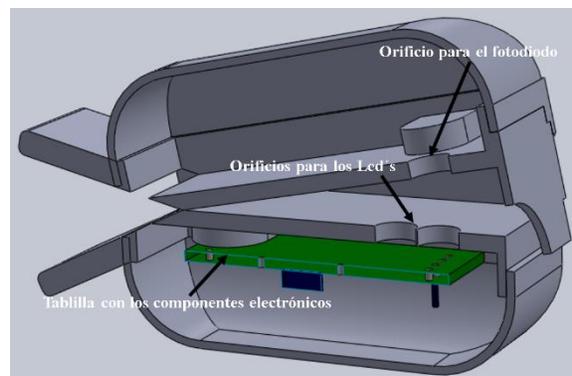


Figura 9. Corte transversal en la carcasa.

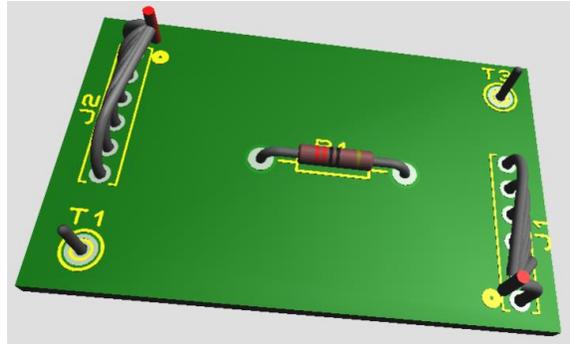


Figura 9. Representación del circuito 3D en Ares.

Una vez terminado el diseño de la tablilla en el software Ares, se procedió a realizar la impresión de dicho circuito en una placa

fenólica, el resultado se muestra en la figura 10.

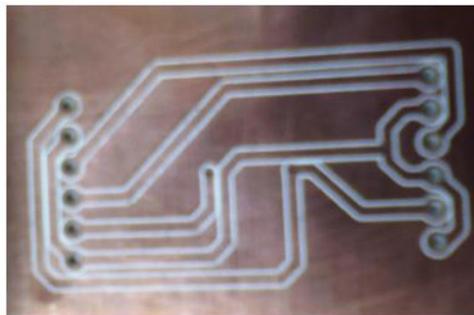


Figura 10 Circuito impreso

Ya con el circuito impreso en una placa fenólica, únicamente se soldaron todos los componentes que debía de contener la tablilla. Como se puede ver en la figura 11, la tablilla únicamente cuenta con una

resistencia y varios cables en donde se conectan los Led's y el fotodiodo, además de otros cables extra para conectar la tablilla a la NI myDAQ.

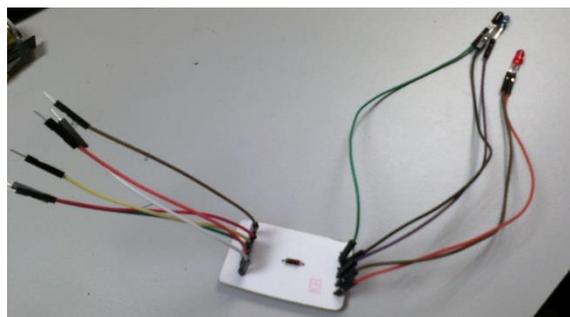


Figura 11. Tablilla terminada

Integración software y hardware

La tarjeta de adquisición de datos NI myDAQ se conecta a una computadora por medio de un cable USB, una vez conectada, la tarjeta esta lista para usarse.

Por medio del programa diseñado en LabVIEW, son enviadas señales por los puertos de salida digitales D0 y D1 al Led rojo e infrarrojo, los Led's prenden de manera alternada, iniciando primeramente el rojo, seguido por el infrarrojo, los Led's permanecen en estado alto aproximadamente un segundo para luego pasar al otro Led.

El dedo índice, se coloca justo encima de los Led's permitiendo de esta forma que la luz atraviese todo el tejido y llegue hasta el fotodiodo. El fotodiodo recibe las señales procedentes de los Led's y por medio del canal analógico AI0+ de la NI myDAQ envía una única señal de salida a la computadora.

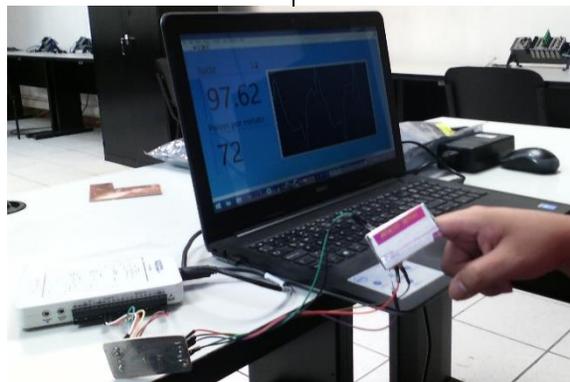
La señal de salida del fotoreceptor es recibida por la computadora y mediante la programación de LabVIEW son medidos el voltaje mínimo y máximo que entregan el Led rojo e infrarrojo, esto con el fin de poder calcular la razón existente entre la luz roja e

infrarroja que logra atravesar el dedo; una vez obtenida esta razón y mediante la fórmula (3) se calcula la saturación de oxígeno en la sangre del paciente.

En la figura 12 se puede apreciar la unión de software y hardware; la tablilla se encuentra conectada a la tarjeta NI myDAQ y esta a su vez se encuentra conectada a una computadora en la cual se está ejecutando el VI diseñado para este proyecto.

En la interfaz gráfica del panel frontal de LabVIEW, se muestran dos indicadores de tipo numérico en los cuales se imprime el porcentaje de saturación de oxígeno y los latidos por minuto del paciente, además de una gráfica de tipo chart en la cual se aprecia la señal de salida del fotodiodo.

El dedo índice se encuentra dentro de una pinza en la cual están los Led's y el fotodiodo, ya que estos deben de estar en un ambiente completamente oscuro para que de esta forma el fotodiodo pueda recibir las señales de los Led's sin ninguna intervención de la luz artificial o natural que se encuentre presente en una habitación.



Prueba de funcionamiento y análisis de los resultados

Las pruebas para saber si el oxímetro funcionaba de manera correcta fueron realizadas a un individuo del sexo masculino de 20 años de edad, sin ningún problema respiratorio o enfermedad de las vías respiratorias, sin antecedentes de problemas respiratorios en su familia, no cuenta con una inclinación al cigarro y se encuentra en aparente buen estado de salud.

Una vez colocado el dedo índice de la mano derecha del paciente dentro de la pinza, se procedió con la ejecución del VI, al cabo de aproximadamente dos segundos apareció el porcentaje de saturación de oxígeno del

paciente en el indicador tipo numérico del panel frontal de LabVIEW y después de otros segundos más la cantidad de latidos por minuto del paciente apareció en el segundo indicador de tipo numérico del panel frontal.

El resultado final arrojó que el paciente contaba con una saturación de oxígeno en la sangre del 97.62%, además de un ritmo cardiaco de 72 latidos por minuto.

En la figura 13, se puede apreciar las pruebas realizadas al paciente y ver el valor de la SpO2 y el ritmo cardiaco en la interfaz gráfica diseñada en LabVIEW.

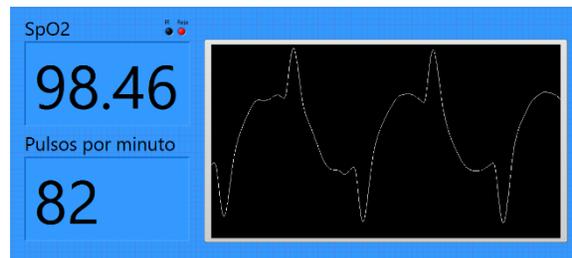


Figura 13 Pruebas del funcionamiento del pulsioxímetro

Resultados

El oxímetro de pulso es de tamaño compacto y gran confiabilidad, ya que tras varias mediciones realizadas con el mismo, se obtuvo que todos los resultados de las mediciones entran en calidad de aceptables.

La tarjeta de adquisición de datos NI myDAQ, es idónea para este proyecto, ya que cumple a la perfección con las necesidades del mismo.

El oxímetro cuenta con una pinza parcialmente cerrada, dentro se encuentran el Led rojo, infrarrojo y el fotodiodo, esta caja tiene unas dimensiones aproximadas de 2x5x3 cm. Los cables procedentes de los componentes de la caja se encuentran conectados a la tablilla previamente diseñada y elaborada para este proyecto, la tablilla cuenta con unas dimensiones aproximadas de 3x4 cm. Por último, la tablilla es conectada a su vez a la tarjeta NI myDAQ y está conectada de igual manera a una computadora.

Para corroborar el correcto funcionamiento del oxímetro de pulso de este proyecto, se realizaron mediciones de la saturación de

oxígeno a varias personas en aparente buen estado de salud, luego, haciendo uso de un oxímetro de pulso portátil amablemente facilitado por una clínica, se procedió a medir la saturación de oxígeno en la sangre de los mismos individuos para así comparar los resultados de ambas mediciones.

Al final de este proceso se pudo observar que en casi todos los casos las mediciones realizadas por ambos oxímetros eran prácticamente las mismas o variaban tan solo por algunas décimas (ver tabla 2).

En la figura 14, se puede ver un diagrama de cómo quedó finalmente constituido el oxímetro de pulso de este proyecto.

Tabla 2. Comparación entre el oxímetro de pulso desarrollado y el de clínica.

	Oxímetro SpO2	Oxímetro SpO2 clínica	Oxímetro PPM	Oxímetro PMM clínica
Paciente 1	96.5%	97%	74	74
Paciente 2	97.8%	98%	82	80
Paciente 3	96.9%	97%	68	70
Paciente 4	97.2%	97%	76	75

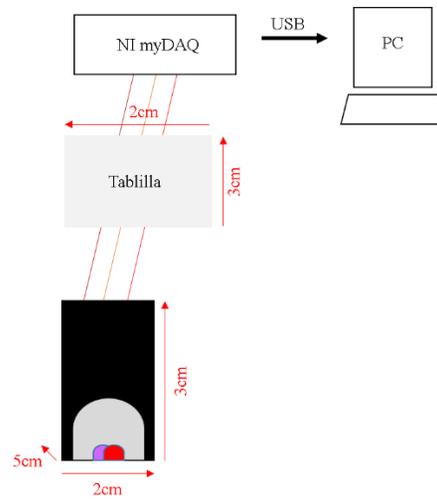


Figura 14 Diagrama final del oxímetro de pulso

Conclusiones

El proyecto cuenta con una carcasa que lo protege de la luz exterior, que a su vez sirve para asegurar los leds en el lugar correcto para realizar las mediciones y además tiene un hueco a un lado cuyo tamaño y forma permite introducir el dedo en su interior con facilidad. El interior de la carcasa tiene un recubrimiento que evita que la luz en su interior se refleje y afecte los valores obtenidos. Para hacer más fácil el cambio de una plataforma a otra si es que en algún momento se desea hacerlo los cables que se utilizan para conectar el circuito a la myDAQ pueden ser removidos de la peineta haciendo uso de un destornillador.

Después de varias pruebas realizadas con el oxímetro a varios individuos se pudo observar que por lo general un paciente sano que no presenta enfermedades respiratorias tiene una saturación de 97-98%.

Si en un futuro se utiliza el oxímetro de pulso como controlador de una máquina automática de RCP, se obtendrían grandes beneficios, ya que a la par de estar practicando las maniobras de resucitación, se estaría monitoreando la saturación de oxígeno del paciente, teniendo esto más probabilidades de sobrevivir al conocerse si las maniobras surten o no el efecto deseado.

Referencias Bibliográficas

Cardiología, R. E. (Agosto de 1999). revespcardiol.org. Obtenido de revespcardiol.org: <http://www.revespcardiol.org/es/guias-practica-clinica-sociedad-espanola/articulo/152/>

CONTROL, P. (2011). lucas-cpr.com. Obtenido de lucas-cpr.com: http://www.lucas-cpr.com/es/lucas_rcp/lucas_rcp

Instruments, N. (2015). ni.com. Obtenido de ni.com: <http://www.ni.com/mydaq/what-is/esa/>

Instruments, N. (2015). ni.com. Obtenido de ni.com: <http://www.ni.com/labview/why/esa/>

Medynet. (2013). Medynet.com. Obtenido de Medynet.com: <http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/SoporteVitalBasico.htm>

Melo, C., Minhondo, J., Scanziani, S., & Sucoff, A. (Mayo de 2006). Fing.edu.uy. Recuperado el 28 de Junio de 2013, de http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/gestsoft/Presentaciones/Retrabajo%20-%20G11/Retrabajo_Grup011.doc

Sánchez, R. A. (2012). Parada Cardiorrespiratoria. Málaga.

Unicrom, E. (2012). unicrom.com. Obtenido de unicrom.com: http://www.unicrom.com/Tut_fotodiodo.asp

Ventosinos, A. S. (2010). Sistema óptico autónomo para la medida de parámetros biomédicos. Catalunya.

Vizcaíno, S. R. (2011). Diseño y construcción de un prototipo de oxímetro de pulso. Quito.

ZOLL. (2005). ZOLL. Obtenido de ZOLL: <http://www.zoll.com/uk/medical-products/cardiac-support-pump/autopulse/>