

Implementación de oxímetro de pulso con Arduino UNO y sensor óptico MAX30100

Br. Octavio Noé Rivera Aguirre

Br. Emerson Enmanuel López Aguirre

Resumen: Dada la crisis sanitaria que se está viviendo a causa de la pandemia del COVID-19, ha aumentado la demanda y adquisición de instrumentación médica, pero obtener estos productos resulta ser un poco costoso dado al bajo presupuesto que tienen los centros de salud públicos en Nicaragua. Un oxímetro de pulso es un equipo capaz de medir el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre (SPO2) y el ritmo cardíaco en un paciente, lo cual es muy fundamental para detectar fallas en la respiración y en el corazón. Debido a la situación actual resulta ser un equipo de mucha utilidad para los médicos ya que uno de los síntomas más comunes en el COVID-19 son los problemas respiratorios y con este dispositivo que utiliza tecnología optoelectrónica, podrá diagnosticar si un paciente necesita con urgencia ventilación mecánica y al ser un método no invasivo permite obtener un resultado más rápido y efectivo.

Introducción: En este documento se detallará el proyecto de curso de la clase de sistemas de medición que consiste en la implementación de un pulsioxímetro utilizando las ventajas que nos ofrece la placa de desarrollo Arduino y a su vez basándonos en los estudios acerca de la oxihemoglobina y hemoglobina aplicada en el sensor óptico MAX30100.

Un oxímetro permite analizar el nivel de SPO2 en una persona, simplemente colocando un dedo delante de un led rojo, uno infrarrojo y

un fototransistor. La forma en la que se mide el nivel de porcentaje de oxígeno en la sangre es en dependencia de que señal recibe el fototransistor, si el nivel de oxihemoglobina es bastante alto indica que el color de la sangre es muy rojo por lo tanto la luz roja que emite el led llegará con mucha intensidad al fototransistor que estará del otro lado de nuestro dedo, en cambio si el nivel de oxihemoglobina es bastante bajo la sangre tiene un color rojo oscuro haciendo que la luz roja no pueda llegar con mayor intensidad al destino pero la señal emitida por el led infrarrojo llegará con mayor intensidad que cuando se tenía más nivel de oxihemoglobina, todo esto es fundamentado con la ley de Bouguer-Lambert-Beer de la cual se hablará detalladamente más adelante.

Con un oxímetro de pulso, los nicaragüenses pueden estar preparados y ser diagnosticados y tratados antes de enfermar de manera grave ante la pandemia que se vive actualmente.

Hay opiniones divididas entre los funcionarios de salud en cuanto a la recomendación del monitoreo generalizado en casa con un oxímetro de pulso durante la crisis de COVID-19. Los estudios de confiabilidad muestran resultados variados y hay pocos lineamientos para elegir uno. Sin embargo, muchos médicos están aconsejando a sus pacientes conseguir uno, lo cual lo está convirtiendo en el dispositivo predilecto de la pandemia [1]

Otra de las funciones del proyecto es la de mostrar en pantalla los pulsos por minutos que genera nuestro corazón, esto se logró usando el integrado MAX30100 funciones de pulsímetro y oxímetro en un único integrado que podemos usar junto con un procesador como Arduino.

Desarrollo: El pulsioxímetro calcula la saturación de oxígeno(SPO2) y el latido cardíaco (pulso) a través del dedo del paciente. El oxímetro realiza la medición no invasiva del oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos. Detecta los bombeos de sangre como cambios de más o menos absorción.

La hemoglobina (HB) es una proteína globular, que está presente en altas concentraciones en los glóbulos rojos y se encarga del transporte de O₂ del aparato respiratorio hacia los tejidos periféricos; y del transporte de CO₂ y protones (H⁺) de los tejidos periféricos hasta los pulmones para ser excretados. Los valores normales en sangre son de 13 – 18 g/ dl en el hombre y 12 – 16 g/dl en la mujer [2].

La oximetría básicamente es la interpretación de la coloración sanguínea que depende de la SaO₂. El cambio de color de la sangre al saturarse de oxígeno, es debido a las propiedades ópticas de la molécula de Hb (específicamente de la porción heme). A medida que la sangre se desoxigena se vuelve menos permeable a la luz roja, el tejido pierde entonces su apariencia rosada, tomando un tinte azulado; de manera que, visto de una manera simplista, el oxímetro sólo tiene que medir lo rojo de la sangre arterial e interpretarlo en términos de saturación, pudiendo entonces establecer que el oxímetro de pulso mide la absorción de luz de longitudes de onda específicas que dependerá de la proporción existente entre Hb oxigenada y Hb desoxigenada.

La luz consiste en "paquetes" de energía que se conocen como cuantos. La intensidad de un

rayo de luz está en función con la cantidad de cuantos que se generan por segundo. Los átomos de toda molécula se hallan en constante vibración, y estas vibraciones son similares a las que generan las ondas luminosas. En general, la luz tiende a ser absorbida al llegar a una sustancia cuando su frecuencia luminosa coincide con la vibración de los átomos de esa sustancia. Las características vibratorias de una determinada molécula pueden representarse como un espectro, o sea un gráfico de la absorbancia de energías electromagnéticas por la molécula a diversas longitudes de onda. La fracción de luz absorbida en una longitud de onda específica se denomina absorptividad o coeficiente de extinción.

El espectrofotómetro genera una luz de intensidad conocida que penetra en la solución y mide la intensidad de la luz que sale de ella al ser transmitida a una superficie metálica cubierta por óxido. Si la fuente luminosa tiene longitudes de onda acordes con las frecuencias vibratorias de ciertas moléculas que hay en la solución, se puede medir indirectamente la concentración de esas moléculas. Esta medición se basa en el principio de que la intensidad luminosa que se absorbe al pasar por la solución es proporcional a la concentración de esa molécula en solución (ley de Beer) [3]

Los oxímetros de pulso son espectrofotómetros de longitud de onda dual, con capacidad pletismográfica, que funcionan mediante la colocación de un lecho vascular arterial pulsátil entre una fuente de luz de dos longitudes de onda y un detector luminoso. El árbol vascular pulsante crea un cambio en el patrón de absorción de la luz, modificando la porción captada por el detector, resultando en una curva pletismográfica. La amplitud de la onda dependerá de la magnitud del pulso arterial, de la longitud de onda de la luz utilizada y de la saturación de oxígeno de la Hb arterial. El principio en el que se basa la determinación de la saturación de oxígeno con

el oxímetro de pulso es la ley de Beer-Lambert, que establece que la absorción total de un sistema de absorbedores es igual a la suma de sus índices de absorción independientes. De modo tal, que, ante una fuente de luz de intensidad constante, y una concentración de Hb dada, la saturación de oxígeno de la Hb es una función logarítmica de la intensidad de la luz transmitida a través de la muestra de Hb.

La ley de Beer-Lambert afirma que la totalidad de luz que emana de una muestra puede disminuir debido a tres fenómenos de la física, que serían los siguientes: El número de materiales de absorción en su trayectoria, lo cual se denomina concentración; las distancias que la luz debe atravesar a través de las muestras. Denominamos a este fenómeno, distancia del trayecto óptico; las probabilidades que hay de que el fotón de esa amplitud particular de onda pueda absorberse por el material, esto es la absorbencia o también coeficiente de extinción

Ley de BOUGUER-LAMBERT-BEER:

$$A = -\varepsilon \cdot c \cdot d$$

Donde, A = Absorbencia, ε = Coeficiente molar de extinción, d = Recorrido (en cm) y c = Concentración molar.

Implementación:

Materiales que se utilizaron para la construcción del pulsioxímetro:

- Arduino UNO
- LCD 16x2
- Modulo MAX30100
- Jumpers

Módulo MAX30100:

La serie MAX3010x es un sensor óptico, que basa su funcionamiento en el distinto comportamiento que la sangre tiene ante la luz,

en función de su grado de saturación de oxígeno. Para ello, el MAX30100 incorpora dos LED, uno de espectro rojo y otro de infrarrojo. El MAX30100 se pone sobre la piel, por ejemplo, en el dedo o la muñeca. El sensor detecta la luz reflejada, y determina el grado de saturación.



Ilustración 1 Imagen del módulo MAX30100

La pulsioximetría óptica es un método no invasivo para determinar el porcentaje de saturación de oxígeno en sangre. Su funcionamiento se basa en que la hemoglobina (Hb) y la hemoglobina saturada (oxihemoglobina, HbO₂) tienen distintos coeficientes de absorción de luz para distintas longitudes de onda.

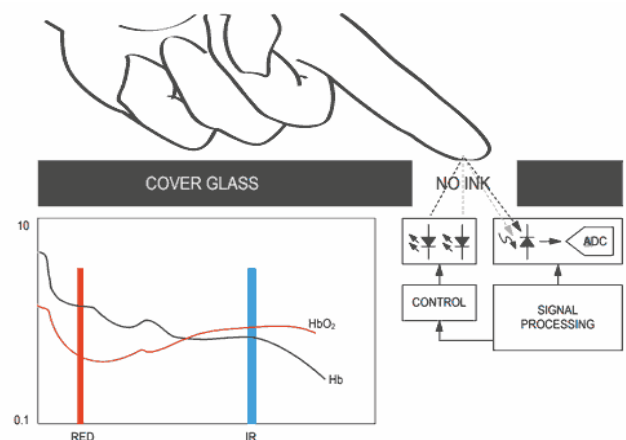


Ilustración 2 Imagen de la toma de medidas en el dedo para obtener la señal de onda pletismográfica.

La sangre oxigenada absorbe mayor cantidad de luz infrarroja, mientras que la sangre poco oxigenada absorbe mayor luz roja. En partes del cuerpo donde la piel es suficiente fina y bajo la que pasan vasos sanguíneos, es posible emplear esta diferencia para determinar el grado de saturación.

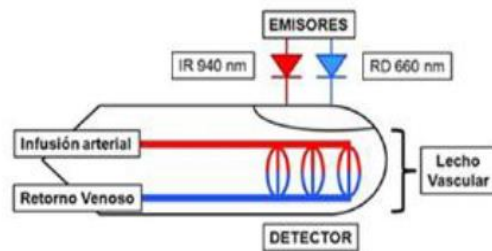


Ilustración 3 Imagen de los vasos sanguíneos en donde se muestra la absorción de la luz según la sangre oxigenada y desoxigenada

El MAX30100 incorpora dos LED, uno de espectro rojo (660nm) y otro de infrarrojo (880nm), así como fotodiodos para medir la luz reflejada y un ADC de 18 bits y frecuencia de muestreo de 50sps (samples per second) a 3200sps.

También dispone de la electrónica necesaria para la amplificación y filtrado de la señal, cancelación de luz ambiental y rechazo a frecuencias de 50-60Hz (luz artificial) y compensación de temperatura.

Circuito utilizado:

Primeramente, se deseaba utilizar un circuito hecho a base de un fototransistor, un led infrarrojo y un led rojo, pero para poder llevar a cabo esto se requería que el ancho de longitud de onda del fototransistor fuese de 440nm-1100nm debido a que la longitud de onda del led rojo e infrarrojo se encuentra dentro de estas especificaciones, sin embargo, este fototransistor no se encontró en ninguna tienda de Nicaragua. También se planeaba hacer uso de un circuito amplificador que amplificara el voltaje que se obtiene del fototransistor, y este a su vez sería enviado a un filtro pasa banda para disminuir el ruido. Sin embargo, al no encontrar estos

componentes se recurrió al sensor MAX30100 que tiene integrado todo lo descrito anteriormente.

El sensor MAX30100 ofrece mayor compensación de la señal ante el ruido, además que cuenta con aplicaciones como lo es medir el ancho del latido del corazón hasta medir temperaturas del cuerpo humano, sin embargo, de las muchas aplicaciones que nos ofrece este sensor solamente se aplicó la medición de los BPM (latidos del corazón por minuto) y el nivel de saturación de la sangre SPO2, ya que para registrar el nivel de luminosidad roja e infrarroja se requiere el uso de vectores de tipo de variable `uint16_t`, diversas variables globales más las librerías para poder hacer funcionar el código que fueron obtenidas por las librerías desarrolladas por SparkFun, disponible en https://github.com/sparkfun/SparkFun_MAX3010x_Sensor_Library. Lo que, en fin, provoca el aumento del uso de la memoria dinámica del microcontrolador ATmega328P integrado en la placa de desarrollo Arduino Uno, por lo tanto, se tuvo que depurar el código para poder obtener los registros necesarios y almacenarlos en las distintas variables y arreglos utilizados y así obtener una medida eficiente, para poder ser visualizada en el monitor serial de Arduino IDE y en un display LCD 16x2.

A continuación, se presenta el diagrama de conexiones utilizado para este proyecto:

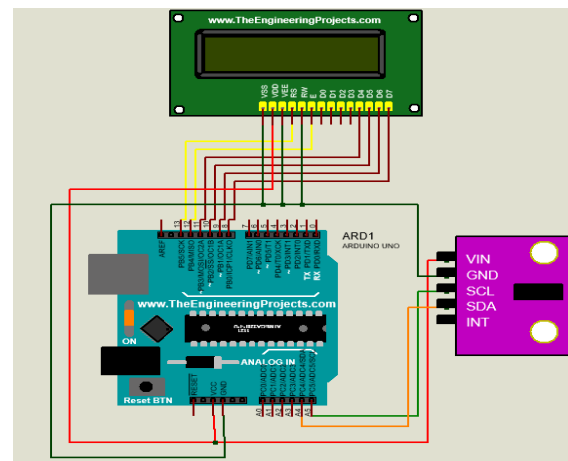


Ilustración 4 Imagen del diagrama de conexiones del sensor, la placa Arduino Uno y el display LCD.

Es muy necesario el uso de la librería de SparkFun, ya que sin ella el sensor no entrará en funcionamiento y este circuito no cumplirá con lo esperado.

El código utilizado se muestra a continuación:

```
#include <Wire.h>
#include "MAX30105.h"
#include "spo2_algorithm.h"
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
MAX30105 particleSensor;
#define MAX_BRIGHTNESS 255

#if defined(__AVR_ATmega328P__) || \
defined(__AVR_ATmega168__)
//Arduino Uno doesn't have enough SRAM to
store 50 samples of IR led data and red led
data in 32-bit format

//To solve this problem, 16-bit MSB of the
sampled data will be truncated. Samples
become 16-bit data.

uint16_t irBuffer[50]; //infrared LED
sensor data

uint16_t redBuffer[50]; //red LED sensor
data

#else
uint32_t irBuffer[50]; //infrared LED
sensor data

uint32_t redBuffer[50]; //red LED sensor
data

#endif

int32_t spo2; //SPO2 value
int8_t validSPO2; //indicator to show if
the SPO2 calculation is valid
int32_t heartRate; //heart rate value
int8_t validHeartRate; //indicator to show
if the heart rate calculation is valid

void setup()
{
    lcd.begin(16, 2);
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Initializing...");
```

```
// Initialize sensor
if (!particleSensor.begin(Wire,
I2C_SPEED_FAST)) //Use default I2C port,
400kHz speed
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("sensor not found");
    Serial.println("MAX30105 was not
found. Please check wiring/power. ");
    while (1);
}

lcd.setCursor(3,0);
lcd.print("OXIMETRO");
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print("UNI");
delay(3000);

Serial.println("Place your index
finger on the sensor with steady
pressure.");

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Ponga su dedo");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("estable ");
delay(3000);

particleSensor.setup(55, 4, 2, 200, 411,
4096); //Configure sensor with these
settings
}

void loop()
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print("BPM:");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print("SPO2:");

    //read the first 50 samples, and
determine the signal range
    for (byte i = 0 ; i < 50 ; i++)
    {
        while (particleSensor.available() ==
false) //do we have new data?
```

```

    particleSensor.check(); //check the
    sensor for new data

```

```

    redBuffer[i] =
    particleSensor.getRed();
    irBuffer[i] = particleSensor.getIR();
    particleSensor.nextSample(); //we're
    finished with this sample so move to next
    sample
    Serial.print(F("red="));
    Serial.print(redBuffer[i], DEC);
    Serial.print(F(", ir="));
    Serial.println(irBuffer[i], DEC);
}

```

```

//calculate heart rate and SpO2 after
first 50 samples (first 4 seconds of
samples)

```

```

maxim_heart_rate_and_oxygen_saturation(irB
uffer, 50, redBuffer, &spo2, &validSP02,
&heartRate, &validHeartRate);

```

```

//Continuously taking samples from
MAX30102. Heart rate and SpO2 are
calculated every 1 second

```

```

while (1)
{
    //dumping the first 25 sets of samples
    in the memory and shift the last 25 sets of
    samples to the top
    for (byte i = 25; i < 50; i++)
    {
        redBuffer[i - 25] = redBuffer[i];
        irBuffer[i - 25] = irBuffer[i];
    }
}

```

```

//take 25 sets of samples before
calculating the heart rate.

```

```

for (byte i = 25; i < 50; i++)
{
    while (particleSensor.available() ==
    false) //do we have new data?
        particleSensor.check(); //check
        the sensor for new data
}

```

```

    redBuffer[i] =
    particleSensor.getRed();
    irBuffer[i] =
    particleSensor.getIR();

```

```

    particleSensor.nextSample(); //we're
    finished with this sample so move to next
    sample

```

```

    Serial.print(F("red="));
    Serial.print(redBuffer[i], DEC);
    Serial.print(F(", ir="));
    Serial.print(irBuffer[i], DEC);

```

```

    Serial.print(F(", HR="));
    Serial.print(heartRate, DEC);

```

```

    Serial.print(F(", HRvalid="));
    Serial.print(validHeartRate, DEC);

```

```

    Serial.print(F(", SP02="));
    Serial.print(spo2, DEC);

```

```

    Serial.print(F(", SP02valid="));
    Serial.println(validSP02, DEC);
}

```

```

lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(heartRate);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print(spo2);
lcd.print("%");
lcd.print(" ");

```

```

//After gathering 25 new samples
recalculate HR and SP02

```

```

maxim_heart_rate_and_oxygen_saturation(irB
uffer, 50, redBuffer, &spo2, &validSP02,
&heartRate, &validHeartRate);

```

```

}
}

```

Parte de estos códigos son tomados de los ejemplos de la librería SparkFun MAX3010X, sin embargo, se han modificado para aprovechar de mejor forma la memoria dinámica del microcontrolador.

Observaciones:

El sensor cumple con los requisitos, aunque es muy inestable en ocasiones, por lo cual se recomienda utilizar un prensador de dedo que contenga a este sensor para que de esta forma se evite las interferencias no deseadas y la misma inestabilidad de presión por parte de la persona cuando coloca su dedo.

Un oxímetro comercial en Nicaragua ronda con valores de alrededor de los 40 a los 80 dólares, a como se puede observar en la siguiente imagen de la empresa SERMER.



Ilustración 5 Imagen publicitaria de un oxímetro de la empresa SERMER Nicaragua.

Y en cuanto a al gasto promediado en la elaboración de este proyecto se estima a continuación:

Producto	Precio
Arduino UNO	\$15
LCD 16X2	\$5
MAX30100	\$5.8
JUMPERS	\$2
Total:	\$27.8

Donde se puede observar que se puede realizar un oxímetro con la mitad del dinero que se podría gastar en la adquisición de uno de estos productos.

Conclusiones:

El pulsioxímetro es muy útil a la hora de controlar los pulsos de corazón además de ser de los sensores más utilizados en medicina, por su gran fidelidad y su fácil aplicación.

El proceso de construcción del circuito debe tener sumo cuidado en la parte más importante que es el sensor en donde factores externos no deben afectar la medida.

Es posible bajar los costos en adquisición de este producto para los centros de salud públicos, ya que es un instrumento de medición muy necesario para detectar anomalías en posibles pacientes de COVID-19.

Se puede mejorar el procesamiento de esta información mediante filtros digitales utilizando softwares o filtros analógicos en hardware, la implementación de mejoras a la estabilidad del sensor requiere más trabajo pero es posible realizarlo.

Referencias

- [1] T. Parker-Pope, «¿Qué es el oxímetro de pulso? ¿De verdad necesito uno en casa?,» *New York Times*, 15 Febrero 2021.
- [2] M. V. A. C. E. G. Nora Brandan, «Hemoglobina,» Cátedra de Bioquímica – Facultad de Medicina - UNNE, Corrientes, Argentina, 2008.
- [3] «Oximetría y capnografía,» *Hospital general de Culiacán*, 2016.