



# Desarrollo de un monitor respiratorio con saturación de oxígeno

Ana Daniela del Río Pulido

# Contenido

---

- Objetivo
- Introducción
- Metodología
  - Temperatura corporal
  - Saturación de oxígeno
- Análisis de datos
- Conclusiones
- Anexos



Imagen obtenida de:

[https://contentsparks.com/wp-content/uploads/2015/10/reading-297450\\_1280-300x225.png](https://contentsparks.com/wp-content/uploads/2015/10/reading-297450_1280-300x225.png)

# Objetivo

Elaborar un dispositivo para medir diversas variables fisiológicas de pacientes para almacenarlas y realizar un análisis estadístico de ellas.

En particular, las variables que se medirán serán la saturación de oxígeno en sangre y la temperatura.

# Motivación

---

- Pandemia
- Herramienta para monitorear signos vitales a la distancia. Así, evaluar la progresión de pacientes actuales o dar seguimiento a pacientes en recuperación por covid-19.
- Afectación en pulmones; indicador de salud, nivel de oxigenación.
- Oximetría es una técnica óptica no invasiva



# Introducción



Imagen obtenida de:

<https://www.shankman.com/wp-content/uploads/shankman.comimagesimguploaderimagesIntroduction-47b187be81da6d128c88a21d9689457dee2c7b15.png>

# Óptica: transmitancia y absorbancia.

---

Transmitancia: relación entre la intensidad de la luz que atraviesa un material y la intensidad de luz en ausencia de dicho material

Absorbancia: es menos logaritmo de la transmitancia.

Ley de Lambert-Beer para fluido de densidad homogénea:

$$T = \frac{I_1}{I_0}$$

$$A = -\log(T) = \epsilon LC$$

Donde T es la transmitancia,  $I_0$  es la intensidad de luz incidente,  $I_1$  es la intensidad de luz transmitida, A es la absorbancia, el coeficiente de extinción molar, L la longitud del material atravesado y C es la concentración de la muestra.

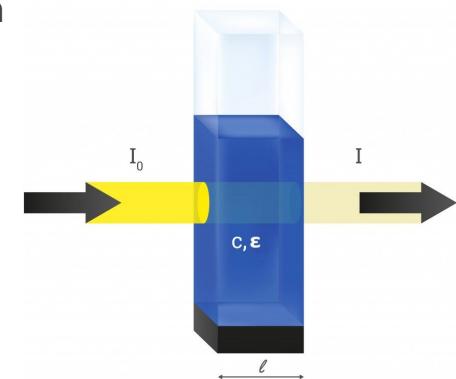


Imagen obtenida de:  
<https://www.scienceabc.com/wp-content/uploads/2019/10/Vector-scheme-of-Beer-Lambert-lawpetrroudn431s.jpg>

# Saturación de oxígeno

- La saturación de oxígeno en la sangre se puede conocer por las propiedades ópticas de los componentes de la sangre.
- Eritrocitos compuestos por hemoglobina, encargada de transportar oxígeno. Transporta hasta 4 moléculas de oxígeno: oxihemoglobina ( $O_2 Hgb$ ) o desoxihemoglobina (DHgb)

$$\% \text{ de saturación de } O_2 = \frac{O_2 Hgb}{O_2 Hgb + DHgb} \times 100$$

- 95-100% Paciente normal
- <90% Emergencia clínica (OMS 2010, pg. 9)

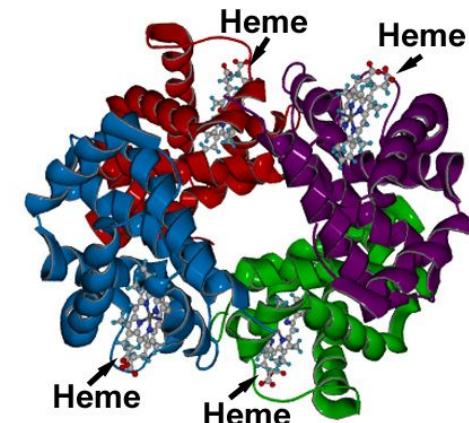
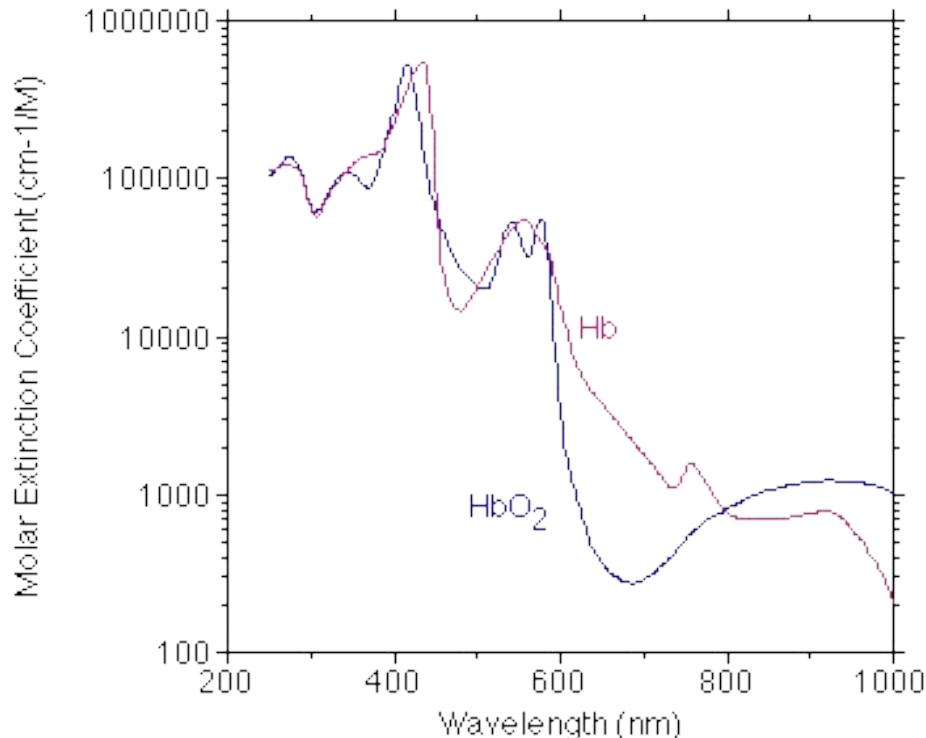


Imagen de hemoglobina:  
[https://fmss12ucheme.files.wordpress.com/2013/05/hhemo\\_rib1.jpg](https://fmss12ucheme.files.wordpress.com/2013/05/hhemo_rib1.jpg)

# Espectro de absorción

---

- Oxihemoglobina: absorbe ligeramente más en el infrarrojo, que corresponde a 950 nm
- Desoxihemoglobina: absorbe ligeramente más en 650 nm, luz roja



Espectro de absorción obtenido de:  
<https://omlc.org/spectra/hemoglobin/>

# Factores que afectan las mediciones

---

---

- Pintarse las uñas hace que cambie la absorbancia (Rojas-Pérez 2006, pg. S196).
- En pacientes de piel negra aumentó el margen de error de 3% a 5% (Rojas-Pérez 2006, pg. S196).
- Temperatura corporal.
- El sitio de colocación (Rojas-Pérez 2006, pg. S195).
- Carboxihemoglobina. (American Thoracic Society 2011).

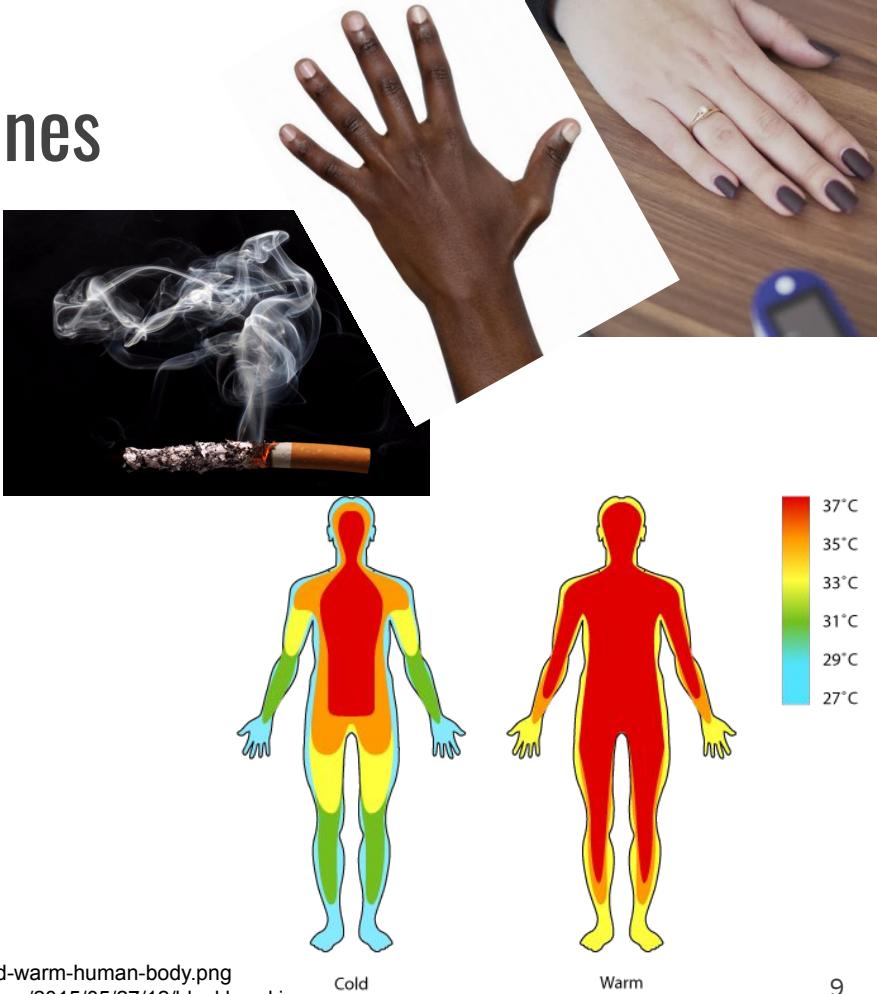


Imagen de humo: [https://lifestartseminars.com/wp-content/uploads/2017/02/cigarette\\_smoke.jpg](https://lifestartseminars.com/wp-content/uploads/2017/02/cigarette_smoke.jpg)

Imagen de temperatura: <https://empoweryourknowledgeandhappytrivia.files.wordpress.com/2014/11/cold-warm-human-body.png>

Imagen de mano: [https://static.independent.co.uk/s3fs-public/styles/story\\_medium/public/thumbnails/image/2015/05/27/12/blackhand.jpg](https://static.independent.co.uk/s3fs-public/styles/story_medium/public/thumbnails/image/2015/05/27/12/blackhand.jpg)

Imagen de mano con barniz de uñas: <https://www.clinicalguard.com/media/wysiwyg/xDoes-nail-polish-affect-pulse-oximetry-readings.jpg.pagespeed.ic.P-ErTl-Djh.jpg>

# Metodología



Imagen obtenida de:

<https://www.dreamstime.com/stock-illustration-cute-little-witch-stirring-potion-cauldron-young-girl-costume-cartoon-halloween-illustration-image72763780>

# General

---

1. Desarrollar un circuito para medir temperatura corporal.
2. Desarrollar un circuito para medir saturación de oxígeno.
  - a. Alimentar dos LEDs: rojo e infrarrojo.
  - b. Durante 1 s mantener encendido el LED rojo y apagado el infrarrojo; alternar.
  - c. Guardar las mediciones hechas por el sensor.

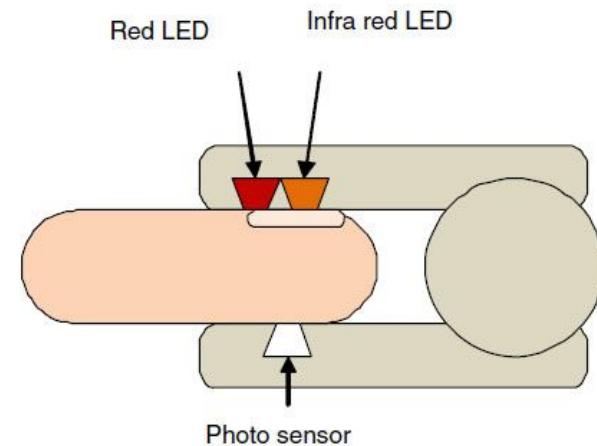


Imagen obtenida de:  
[https://www.analogictips.com/wp-content/uploads/2018/11/blood-oxygen-meters\\_featured.jpg](https://www.analogictips.com/wp-content/uploads/2018/11/blood-oxygen-meters_featured.jpg)

# Temperatura corporal



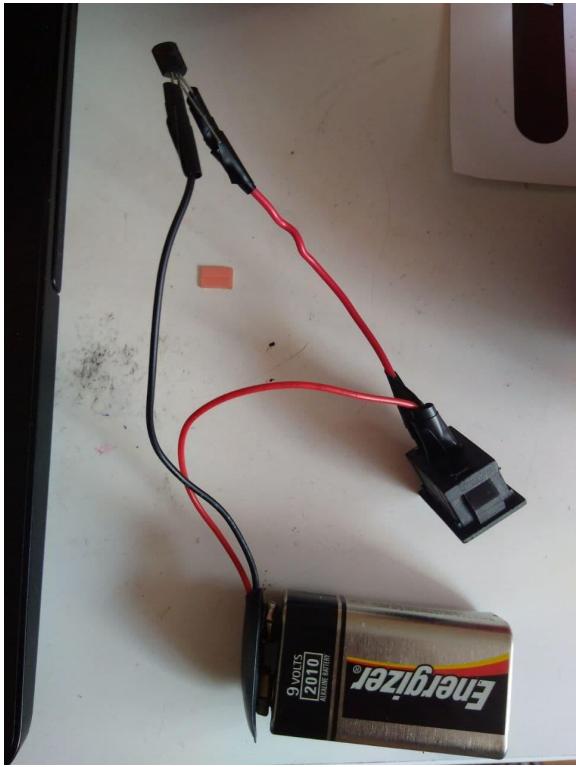
Imagen de humano:

[https://cdn4.iconfinder.com/data/icons/love-cartoon-1/100/boy\\_stick\\_stickman\\_human\\_alone\\_happy-512.png](https://cdn4.iconfinder.com/data/icons/love-cartoon-1/100/boy_stick_stickman_human_alone_happy-512.png)

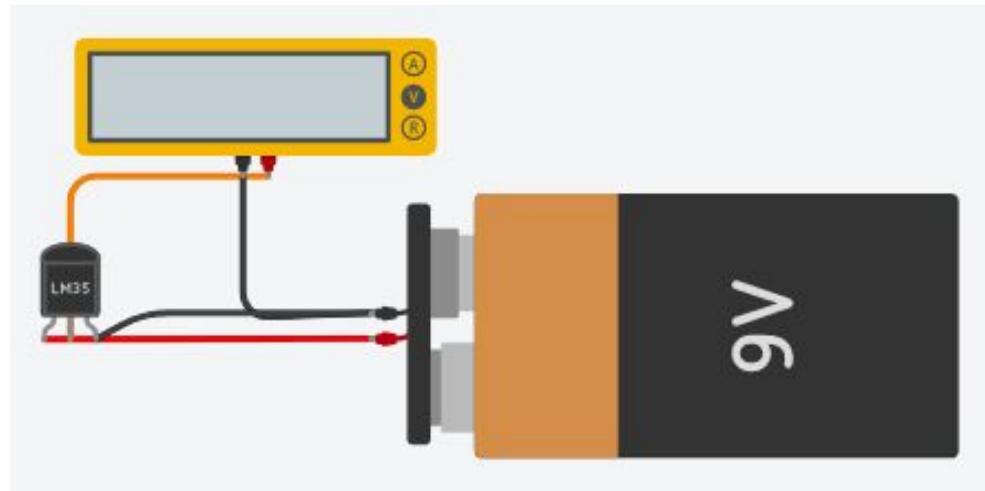
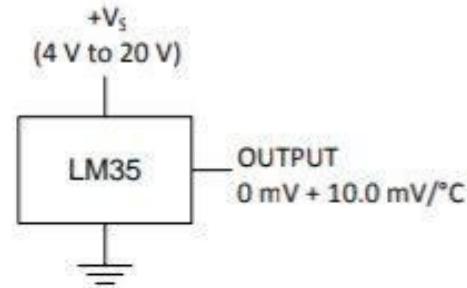
Imagen de temperatura obtenida de:

<https://thumbs.dreamstime.com/z/illustration-global-warming-earth-thermometer-indicating-rising-temperature-93636821.jpg>

# Temperatura: sensor LM-35



Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $2^{\circ}\text{C}$  to  $150^{\circ}\text{C}$ )



# Implementación

---

Incluido en el oxímetro?

Extensible



# Varios sujetos

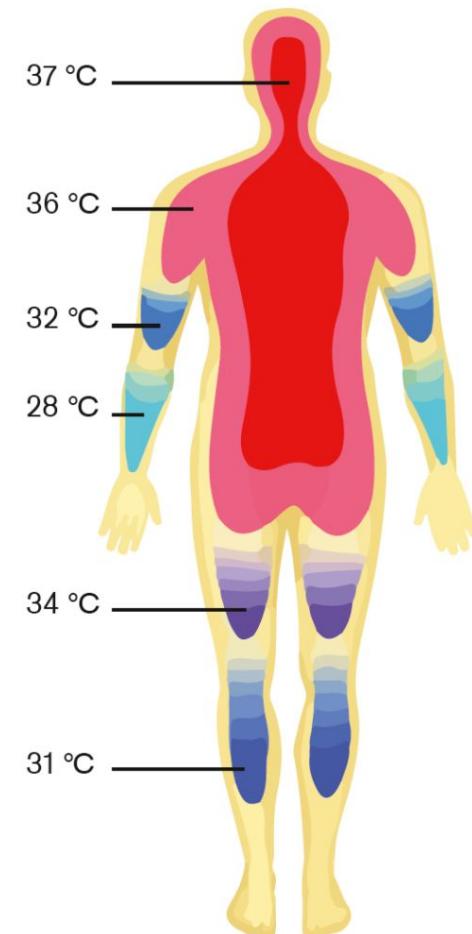
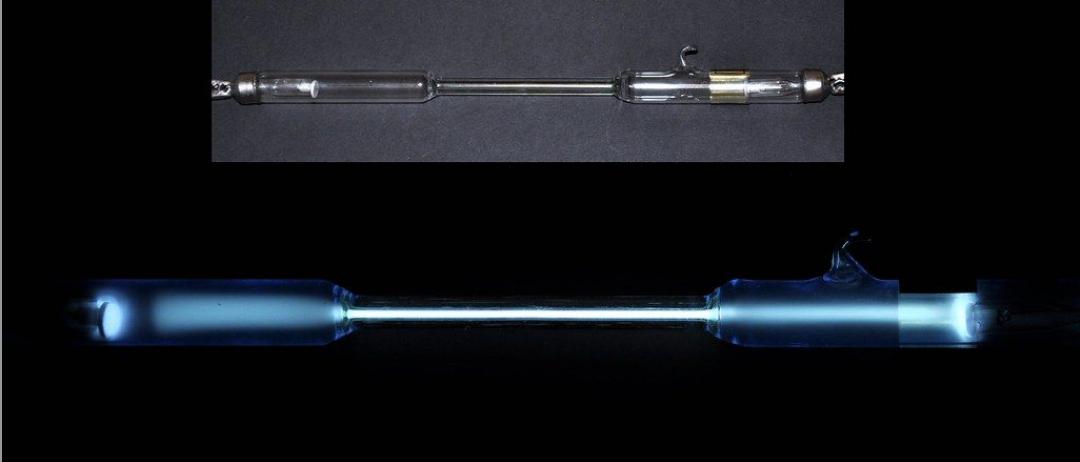


Imagen de temperaturas corporales obtenida de:  
<https://thebigbangphysics.es/termografia-aplicada-para-temperatura-corporal-covid-19/>

# Saturación de oxígeno



Tubo de descarga con oxígeno:  
[https://c1.staticflickr.com/3/2700/4182657282\\_4f34a57ba3\\_b.jpg](https://c1.staticflickr.com/3/2700/4182657282_4f34a57ba3_b.jpg)  
Imagen de sangre:  
<http://i.huffpost.com/gen/2048404/thumbs/o-BLOOD-SAMPLE-facebook.jpg>

# Limitación: equipo disponible

## ----- Sensor

- HW-502 Módulo para medir el pulso cardiaco. LPT80A de 430 a 1070 nm
- (rango de longitud de onda?) HW-490 Receptor infrarrojo, TL838 a 940 nm

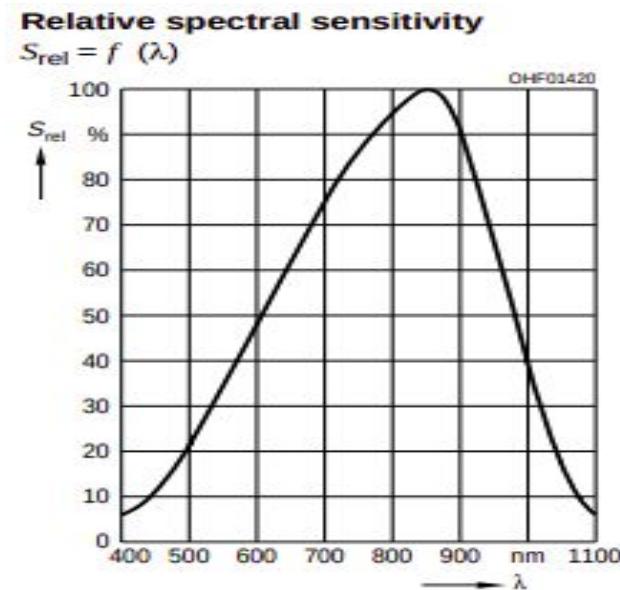


Figura del LPT80A:

[https://www.osram.com/ecat/Radial%20Sidelooker%20LPT%2080%20A/com/en/class\\_pim\\_web\\_catalog\\_103489/prd\\_pim\\_device\\_2219650/](https://www.osram.com/ecat/Radial%20Sidelooker%20LPT%2080%20A/com/en/class_pim_web_catalog_103489/prd_pim_device_2219650/)

# Reto: Proximidad LEDs-dedo-sensor

---

---

## Material:

- HW-489 LED infrarrojo
- HW-502 Módulo para medir el pulso cardiaco (sensor LPT80A)
- LED rojo
- 2 resistencias de 330 ohms
- Arduino UNO

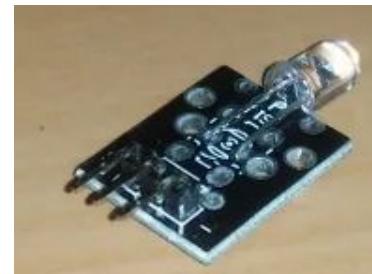


Imagen del módulo HW-489 y HW-502: HW-<https://www.instructables.com/Arduino-37-in-1-Sensors-Kit-Explained/>

Imagen del arduino uno:

[https://store-cdn.arduino.cc/usa/catalog/product/cache/1/image/520x330/604a3538c15e081937dbfb20aa60aad/a/0/a000066\\_featured\\_1\\_2.jpg](https://store-cdn.arduino.cc/usa/catalog/product/cache/1/image/520x330/604a3538c15e081937dbfb20aa60aad/a/0/a000066_featured_1_2.jpg)

Imagen del led rojo: <http://www.taydaelectronics.com/media/catalog/product/cache/1/image/500x500/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/a/-a-1554.jpg>

Imagen de resistencias: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41zlzAaQE-L.\\_SX342\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41zlzAaQE-L._SX342_.jpg)

Varios prototipos

---

Prototipo 1

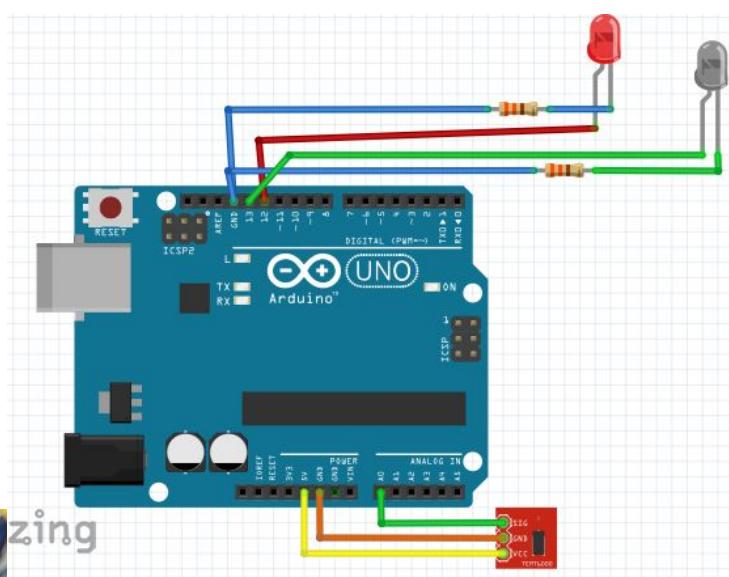
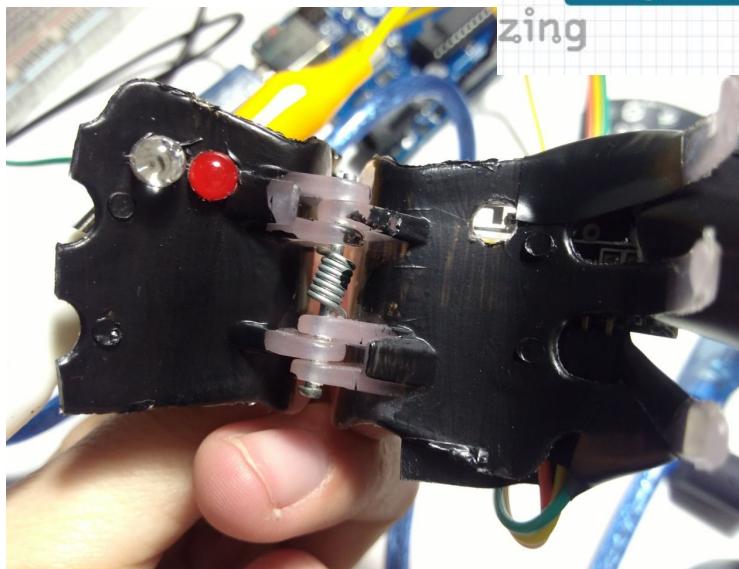
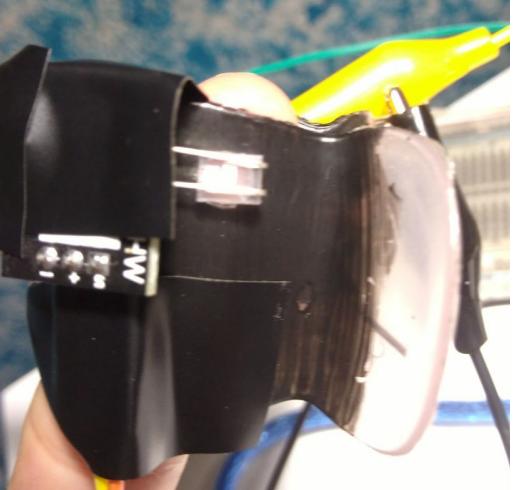
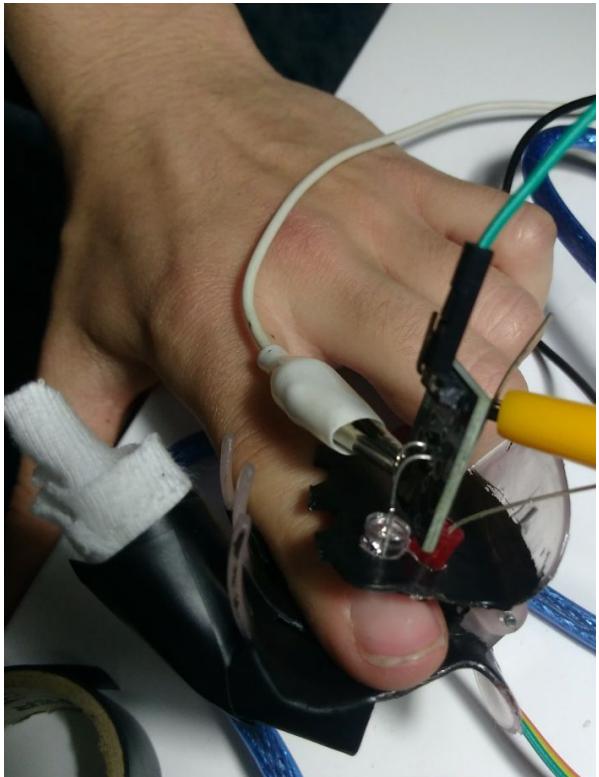


Prototipo 3



Prototipo 2

# Circuito



# Método que arrojara los valores más estables

---

- Máximos y mínimos (vea de Pascalis 2015, pg. 25)

$$\% \text{sat de } O_2 = \frac{(Rojo_{max} - Rojo_{min})/Rojo_{min}}{(IR_{max} - IR_{min})/IR_{min}}$$

- Valores promedio en ciertos intervalos
  - Desechar valores de transición. De 20 datos recopilados mientras el LED rojo estaba encendido, se desecharon los primeros 5 y los últimos 5. Sólo se consideraron 10 datos.

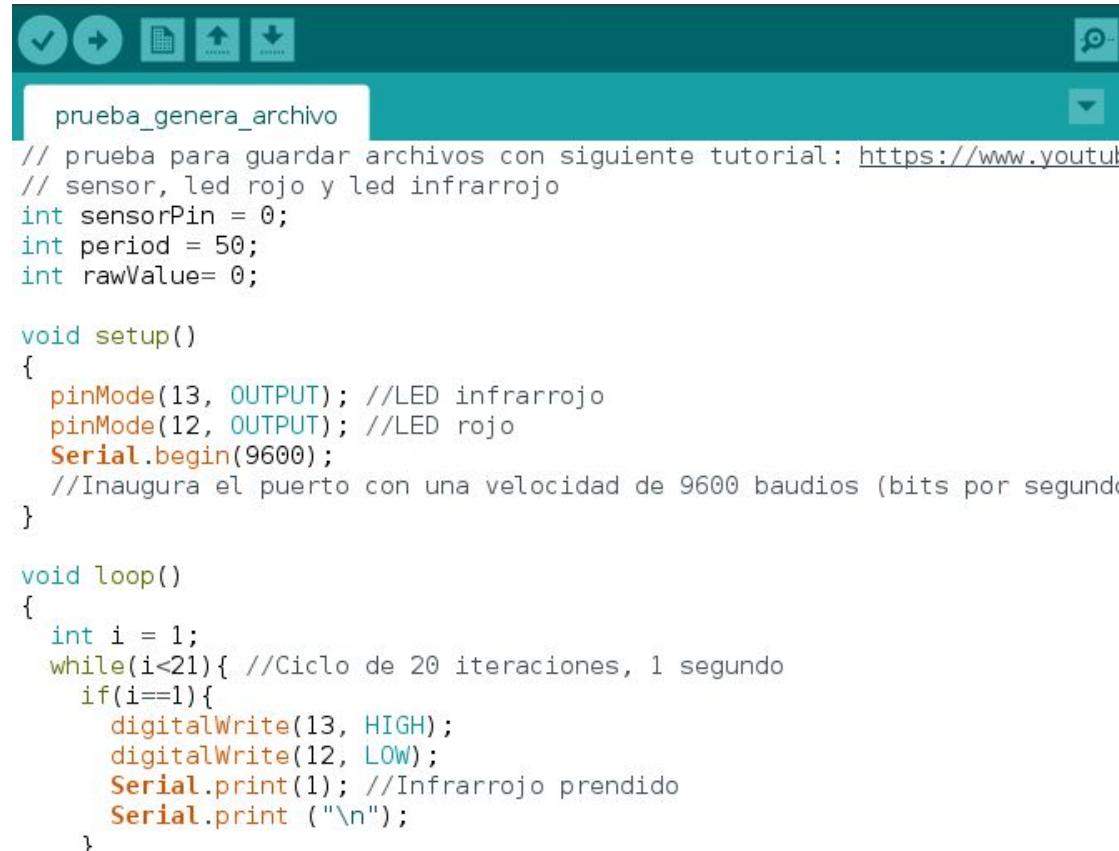
# Código en Arduino

---

Enciende el led rojo  
1s mientras IR  
apagado.

Obtiene 20 valores  
durante, alterna

Utiliza valores 1 y 3  
como indicadores



The screenshot shows the Arduino IDE interface with a sketch titled "prueba\_genera\_archivo". The code is as follows:

```
prueba_genera_archivo
// prueba para guardar archivos con siguiente tutorial: https://www.youtube.com/watch?v=...
// sensor, led rojo y led infrarrojo
int sensorPin = 0;
int period = 50;
int rawValue= 0;

void setup()
{
    pinMode(13, OUTPUT); //LED infrarrojo
    pinMode(12, OUTPUT); //LED rojo
    Serial.begin(9600);
    //Inaugura el puerto con una velocidad de 9600 baudios (bits por segundo)
}

void loop()
{
    int i = 1;
    while(i<21){ //Ciclo de 20 iteraciones, 1 segundo
        if(i==1){
            digitalWrite(13, HIGH);
            digitalWrite(12, LOW);
            Serial.print(1); //Infrarrojo prendido
            Serial.print ("\n");
        }
    }
}
```

# Código en Python

---

Crea archivo

Todo el análisis  
de datos

```
1 import serial
2 # Basado en: https://www.youtube.com/watch?v=vayAp84ved8
3
4 arduino_port = "/dev/ttyACM0"
5 baud = 9600
6 fileName = "1_E_9pm.csv" #26_0_10pm
7 samples = 1000
8 i = 0
9
10 ser= serial.Serial(arduino_port, baud)
11 print("Conectado al puerto Arduino: "+arduino_port)
12
13 file = open(fileName, "w")
14 print("Creo archivo.")
15
16 while i < samples:
17     getData= ser.readline() #muestra los datos en terminal
18     datos = getData.decode('utf-8')
19     # Vea: https://stackoverflow.com/questions/31529421/weird-output-value-bvalue-r-n-in-python-serial-read#31529530
20     file.write(datos)
21     print(datos) # b'872\n'
22     i +=1
23 print("Terminamos la recolección de datos!")
24
25 file.close()
```

# Coeficiente de absorción de agua y hemoglobina

—  
Calibrar con agua

$$\text{Absorción en rojo} \approx 10^{-3} \left[ \frac{1}{cm} \right]$$

$$\text{Absorción en IR} \approx 10^{-2} \left[ \frac{1}{cm} \right]$$

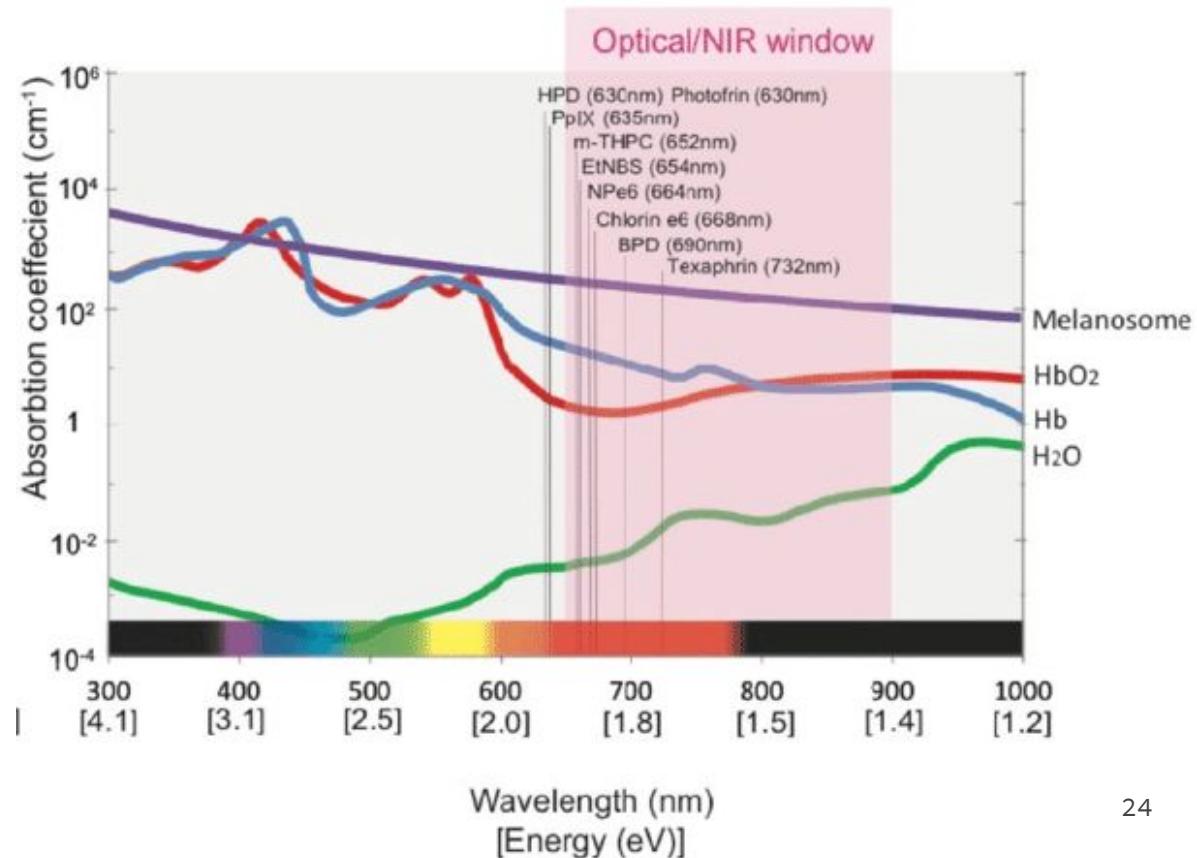


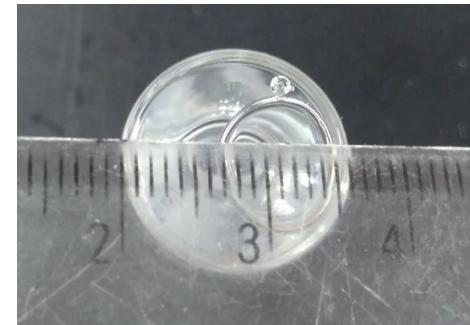
Imagen de absorción obtenida de:

[https://www.researchgate.net/figure/Absorption-spectrum-of-chromophores-and-water-in-the-radiation-therapy-spectral-range-and\\_fig1\\_309885482](https://www.researchgate.net/figure/Absorption-spectrum-of-chromophores-and-water-in-the-radiation-therapy-spectral-range-and_fig1_309885482)

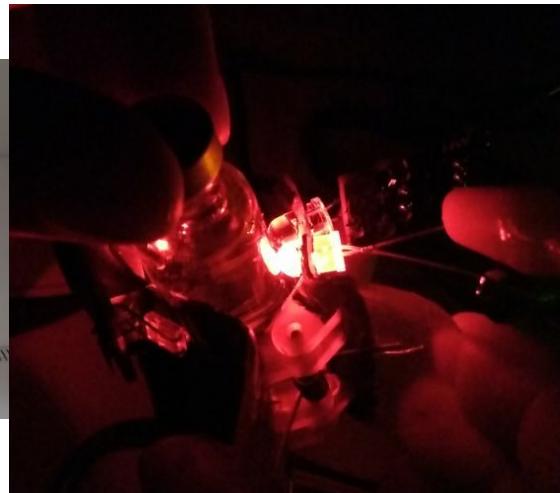
# Calibración

---

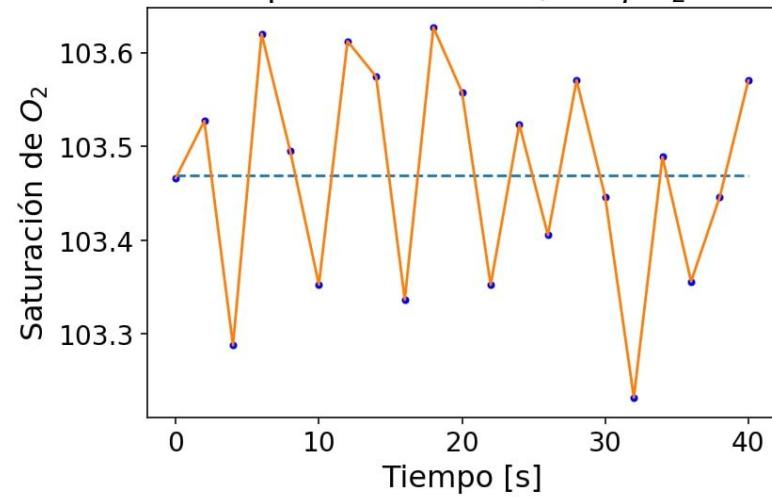
Envases de vidrio de  $1.6 \pm 0.1$  cm de diámetro



Agua de la llave



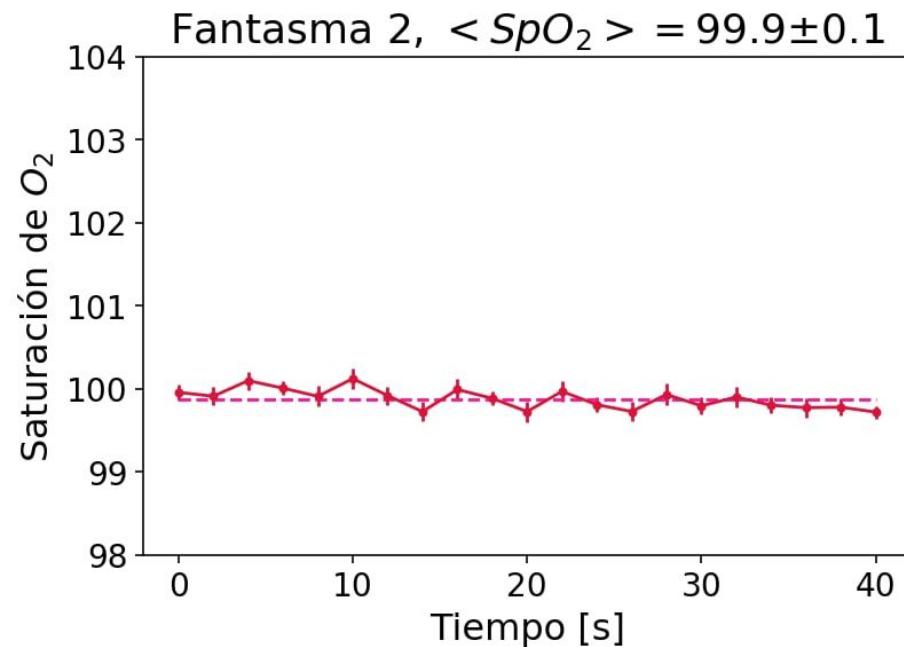
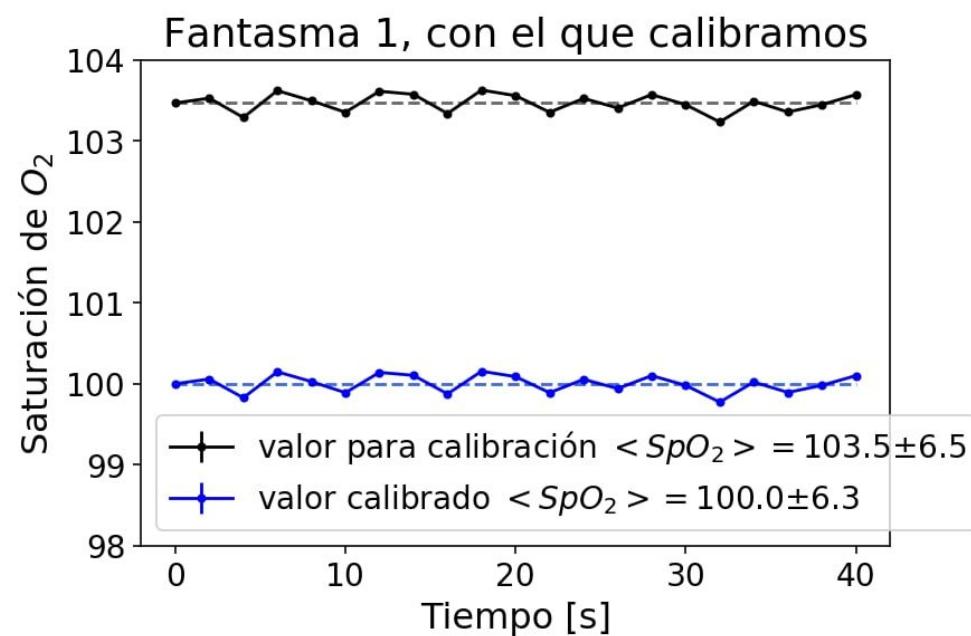
Fantasma usado para calibración,  $\langle SpO_2 \rangle = 103.5 \pm 6.5$



# Calibración: revisando con fantasma 2

---  
Factor de calibración:

$$\frac{100}{\langle SpO_2 \text{ del fantasma} \rangle} = \frac{100}{103.5}$$



# Protocolo para los sujetos

---

- Colocar el reloj-sensor de temperatura durante 2 min.
- Medir temperatura.
- Medir saturación de oxígeno en mismas condiciones lumínicas. Después de las 6:30 pm (atardecer). Luces apagadas, brillo de la pantalla de computadora al mínimo.
- Oxímetro desarrollado en el dedo índice de la mano izquierda.
- Oxímetro comercial en el dedo índice de la mano derecha.
- 40 s de registro

# Análisis de datos

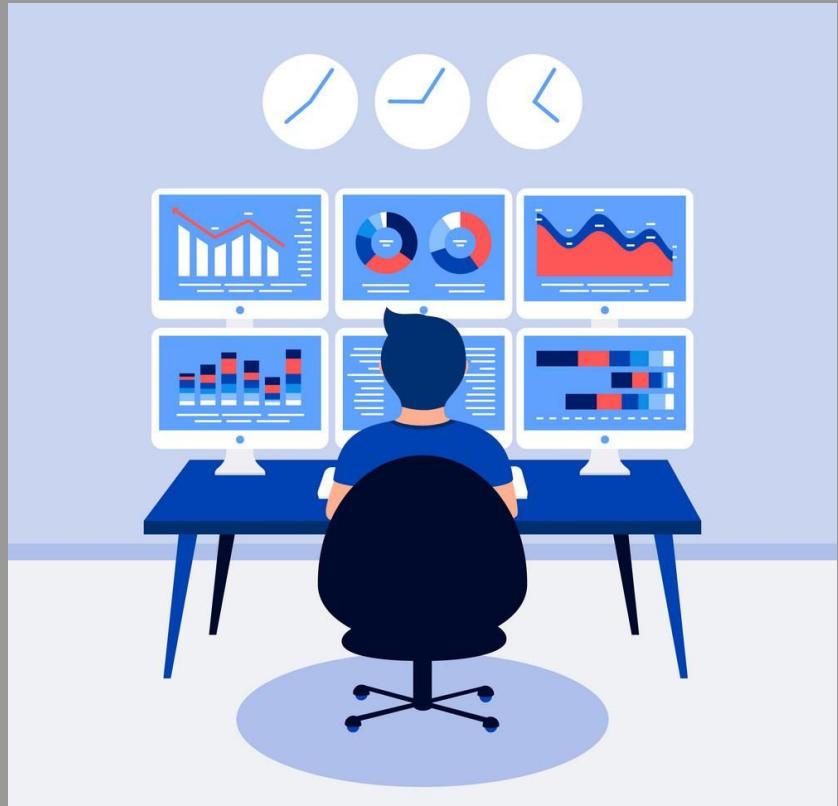


Imagen obtenida de:

<https://www.oogazone.com/wp-content/uploads/2018/06/best-free-data-analysis-design-concept-vector-library.jpg>

# Incertidumbres

---

Asociadas a mediciones del sensor cuando está encendido: led rojo o led IR.

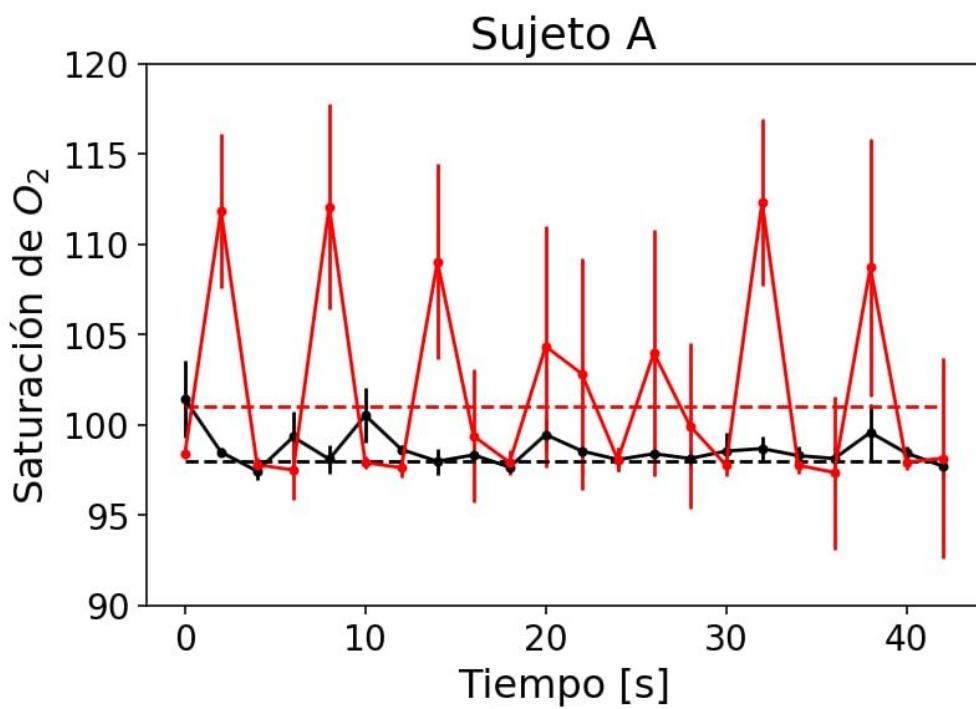
Propagación de incertidumbres de un cociente

$$\text{Sea } R = \frac{A}{C}$$

$$\sigma_R = R \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_C}{C}\right)^2}$$

# Incertidumbres

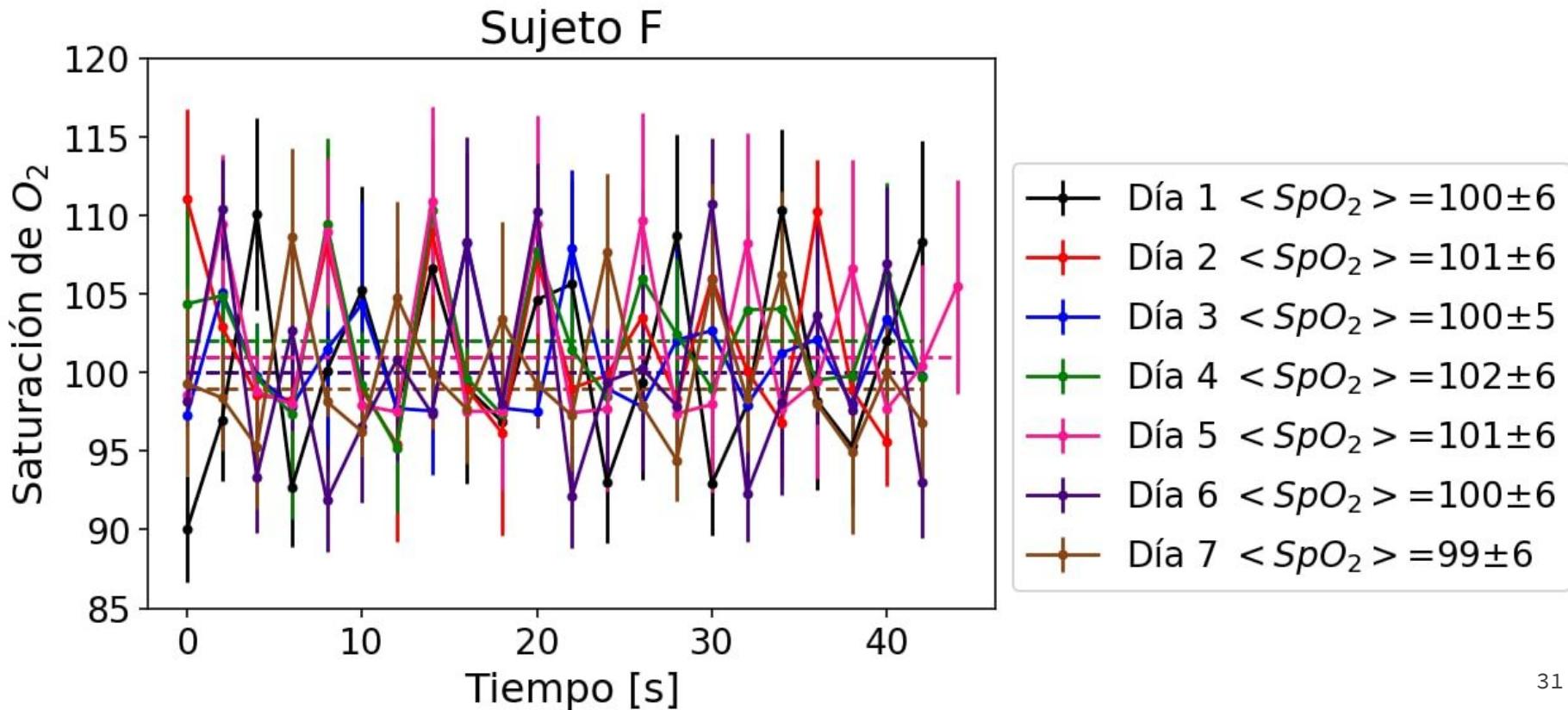
---



¿Cómo se ven los datos?

Sujeto con mayor variabilidad en su incertidumbre

# ¿Cómo se ven los datos de 1 sujeto?



# Oxímetro comercial

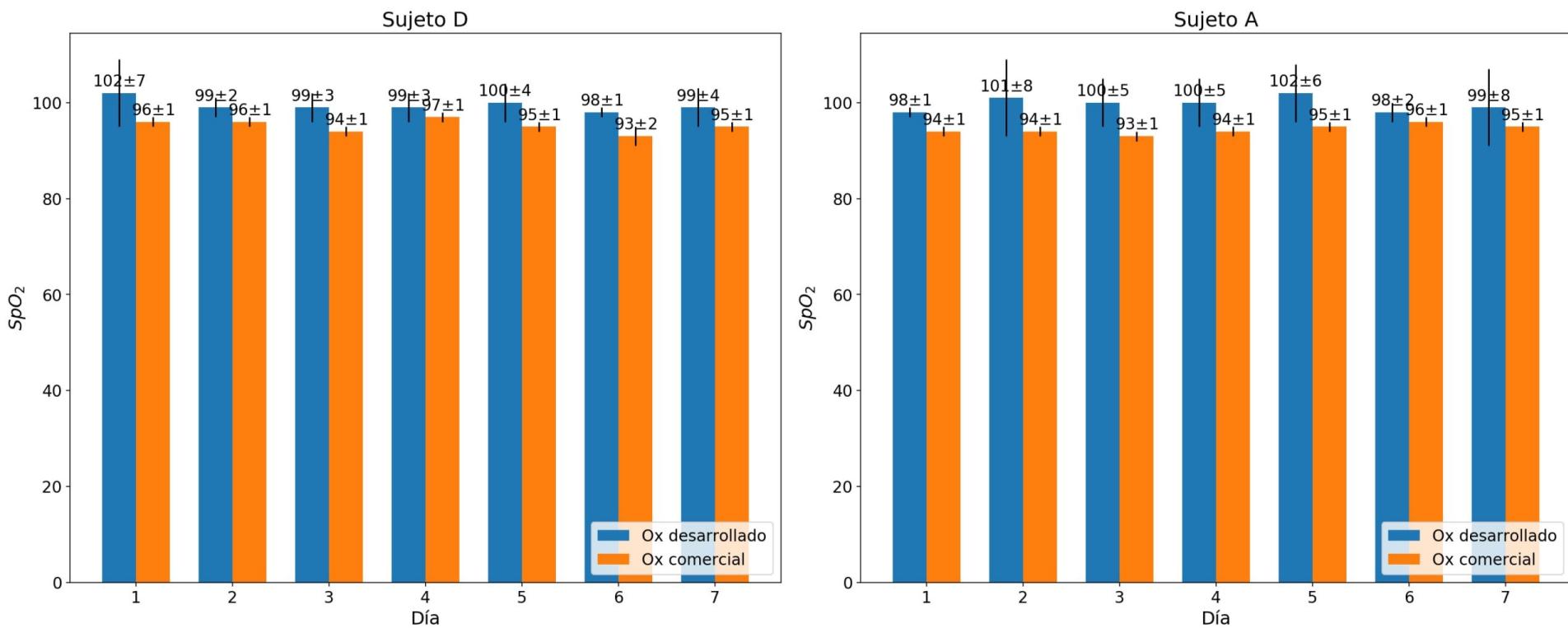
---

- Oxímetro de pulso comercial: marca ChoiceMMed, modelo MD300C2, fabricado en China por Beijing Choice Electronic Technology (Maxtec 2020).
- Incertidumbre de  $\pm 1\%$



# Promedios oxímetro desarrollado y comercial: A y D

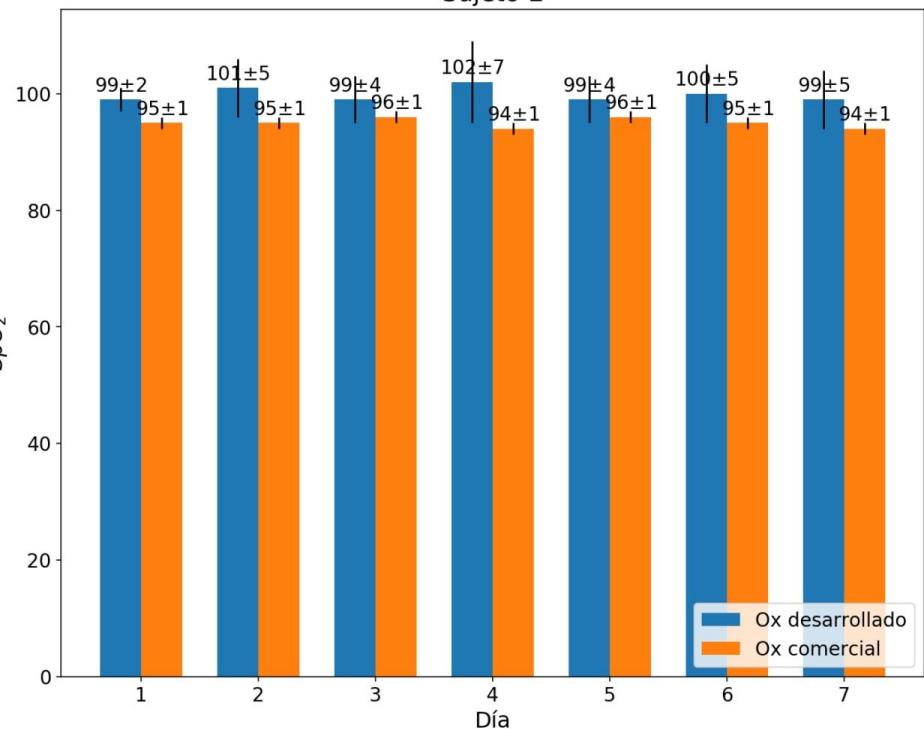
---



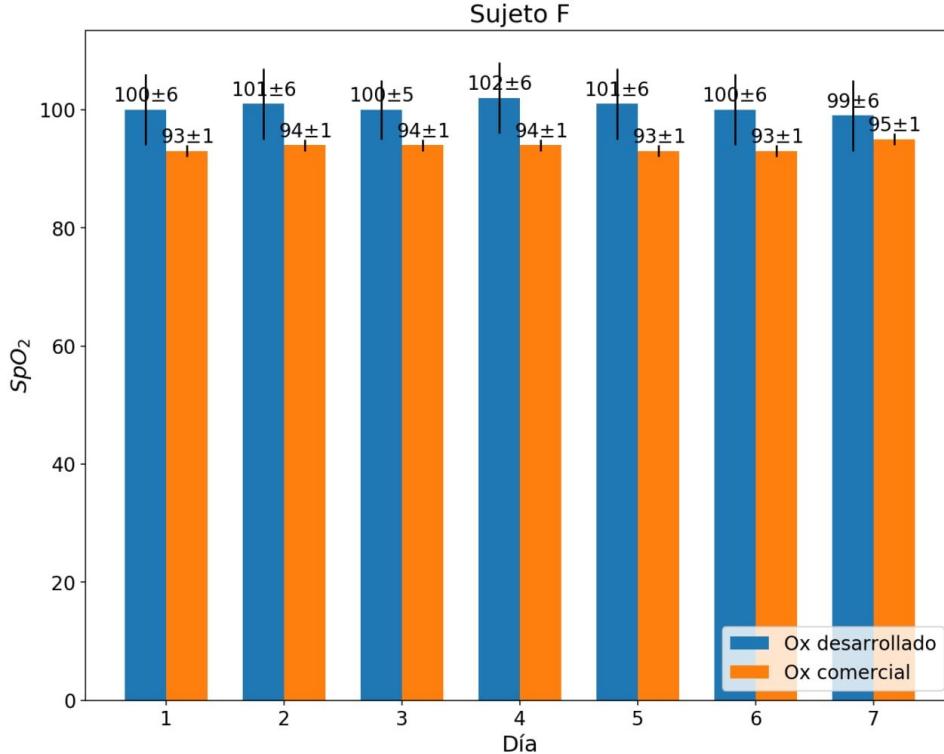
# Sujetos E y F

---

Sujeto E

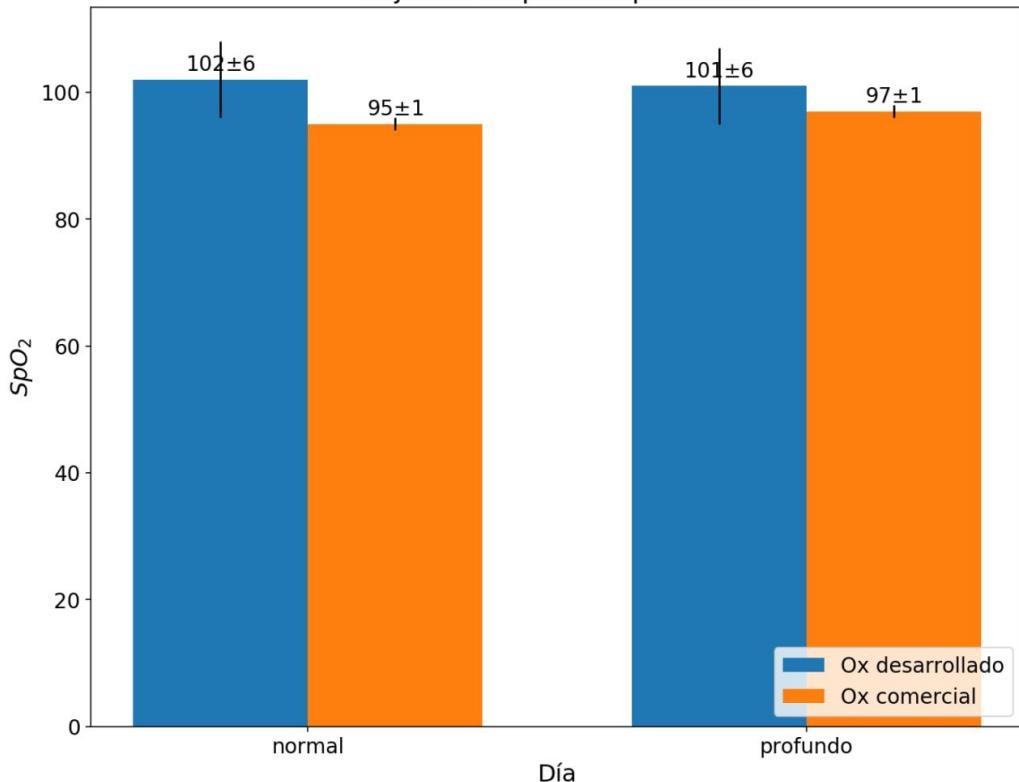
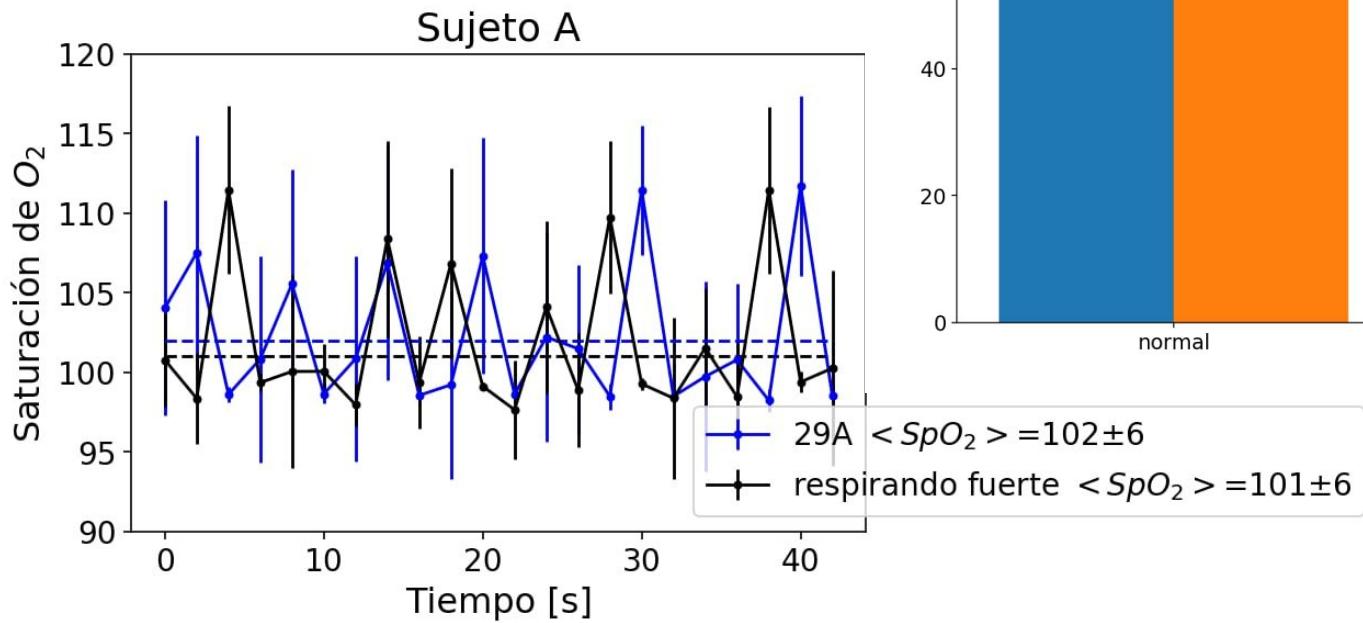


Sujeto F



# Respirando profundo

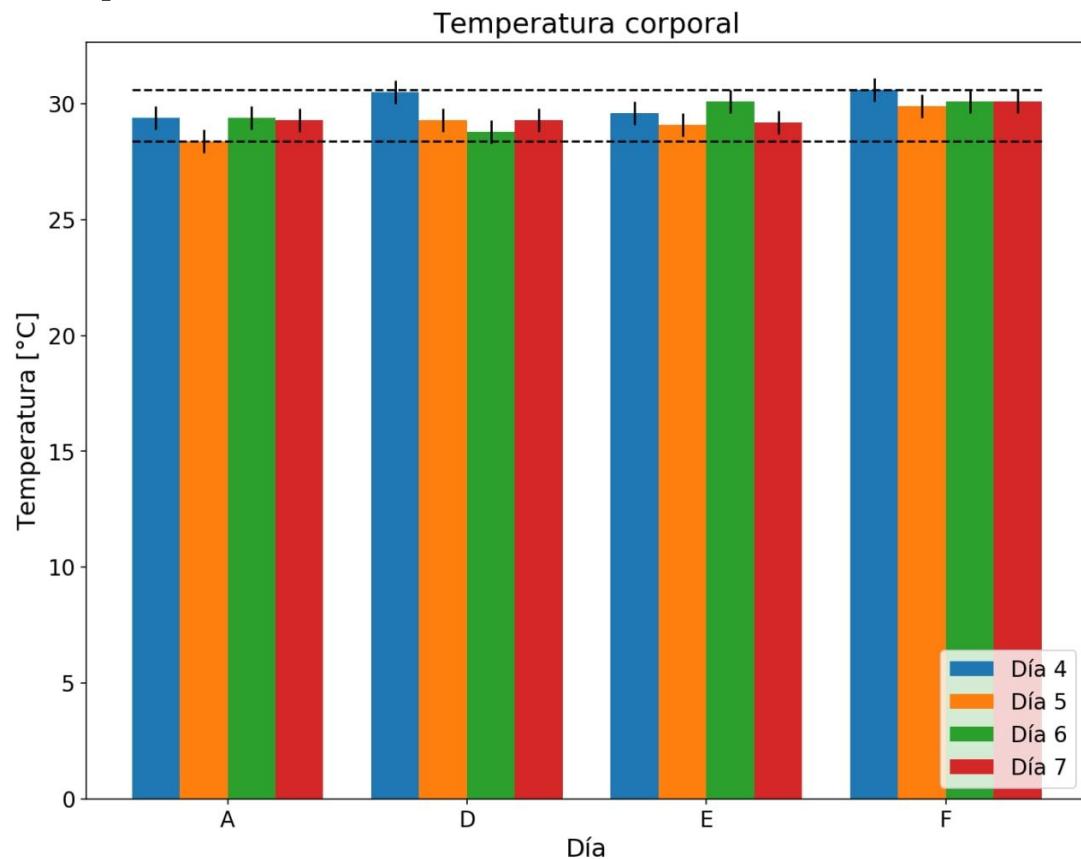
— — —



# Gráficas de temperatura corporal

Variación de 2.2°C

Rango: 28.4 a 30.6°C



# Pruebas estadísticas

---

- Prueba T de student de dos distribuciones independientes
- Suponemos distribución normal
- Datos de: oxímetro desarrollado, oxímetro comercial y temperatura

# Oxímetro desarrollado y oxímetro comercial

---

$$n = 26$$

Promedio ox desarrollado =  $99.9 \pm 1.2$

Promedio ox comercial =  $94.6 \pm 1.1$

$$t = 16.86$$

$$p = 3.56 \times 10^{-23}$$

# Oxímetros y temperatura corporal

---

$$n_{oximetro} = 26$$

$$n_{temperatura} = 16$$

Promedio ox desarrollado =  $99.9 \pm 1.2$

Promedio temperatura =  $30.2 \pm 2.4$

$$t = 124.78$$

$$p = 1.29 \times 10^{-55}$$

$$n_{oximetro} = 26$$

$$n_{temperatura} = 16$$

Promedio ox comercial =  $94.6 \pm 1.1$

Promedio temperatura =  $30.2 \pm 2.4$

$$t = 119.21$$

$$p = 8.78 \times 10^{-55}$$

# Conclusiones



Imagen obtenida de:

[http://lowres.cartoonstock.com/business-commerce-presentation-meeting-speaker-speech-conference-mfln7326\\_low.jpg](http://lowres.cartoonstock.com/business-commerce-presentation-meeting-speaker-speech-conference-mfln7326_low.jpg)

# Conclusiones

---

- Se logró desarrollar un oxímetro de pulso.
- La muestra T student mostró que no hay diferencia significativa entre el oxímetro desarrollado y el comercial.
- Tampoco hay diferencia significativa entre oxímetro desarrollado y temperatura.

# Trabajo a futuro

---

Utilizar otro sensor, por ejemplo:  
BPW20RF de 400 a 1100 nm

Disminuir fuentes de variabilidad:

- Profundidad máxima
- Encapsulado de ruido ambiental

Hacerlo portátil; incluir antena y batería

Utilizar otra substancia con absorbancia conocida para comprobar calibración

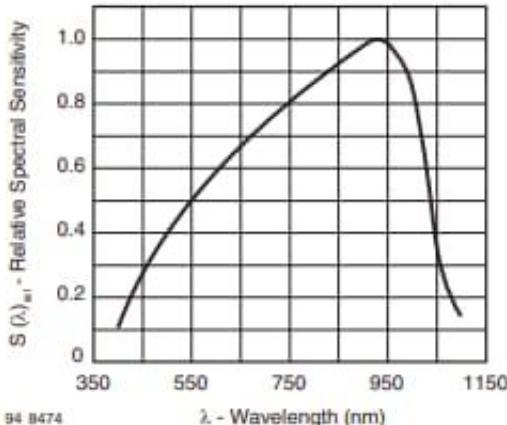
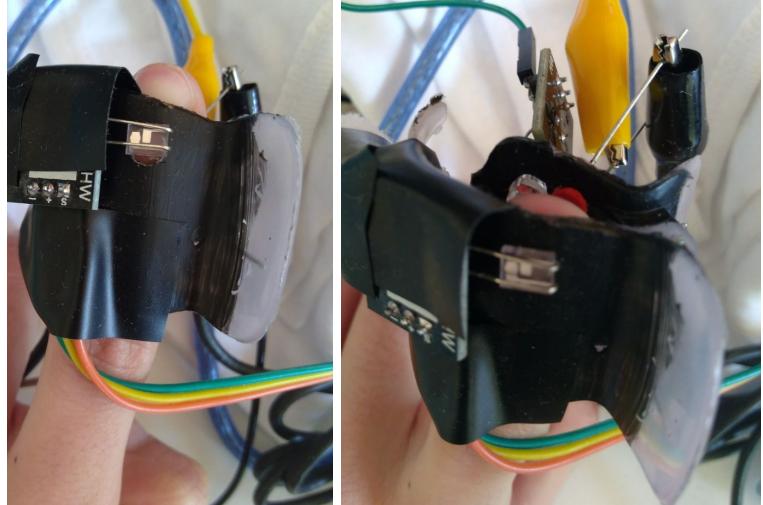


Fig. 7 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

# Referencias

- American Thoracic Society (2011). Oximetría de pulso.  
<https://www.thoracic.org/patients/patient-resources/resources/spanish/pulse-oximetry.pdf>. Accesado el 7 de diciembre de 2020.
- Bevington, P.R., & Robinson, D.K. (2003), Data reduction and error analysis. MacGraw Hill, New York.
- Maxtec (2020). Hoja de especificaciones del MD300 C2 Pulse Oximeter.  
<https://cdn.maxtec.com/product-docs/R204P23-md300-c2-datasheet.pdf>. Accesado el 8 de diciembre de 2020.
- Organización Mundial de la Salud (2010). Manual de Oximetría de Pulso Global.  
<http://www.lifebox.org/wp-content/uploads/WHO-Pulse-Oximetry-Training-Manual-Final-Spanish.pdf>. Accesado el 7 de diciembre de 2020.
- Prahl, Scott (1999). Optical Absorption of Hemoglobin.  
<https://omlc.org/spectra/hemoglobin/>. Accesado el 7 de diciembre de 2020.
- Rojas-Pérez, Eduardo Martín (2006). “Factores que afectan la oximetría de pulso”. In: Revista mexicana de anestesiología [Internet] 29.Supp 1.
- <https://hackaday.io/project/170752-oximeter-do-it-yourself>
- <https://www.hackster.io/giulio-pons/really-homemade-oximeter-sensor-7cf6a1>
- [https://www.tkkrlab.nl/wiki/Arduino\\_KY-039\\_Detect\\_the\\_heartbeat\\_module](https://www.tkkrlab.nl/wiki/Arduino_KY-039_Detect_the_heartbeat_module)
- de Pascalis, Andrea (2015). “Sviluppo e validazione di un pulsossimetro a riflettanza indossabile al dito”.  
[https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/108810/3/2015\\_07\\_De\\_Pascalis.pdf](https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/108810/3/2015_07_De_Pascalis.pdf)
- <https://fritzing.org>



Imagen obtenida de:

[https://as1.ftcdn.net/jpg/01/65/99/48/500\\_F\\_165994815\\_BzUNaOCtf2jVwXY2cVD6jaiUH5UTSPV.jpg](https://as1.ftcdn.net/jpg/01/65/99/48/500_F_165994815_BzUNaOCtf2jVwXY2cVD6jaiUH5UTSPV.jpg)

# Código en arduino



```
// prueba para guardar archivos con siguiente tutorial
// sensor, led rojo y led infrarrojo
int sensorPin = 0;
int period = 50;
int rawValue= 0;

void setup()
{
    pinMode(13, OUTPUT); //LED infrarrojo
    pinMode(12, OUTPUT); //LED rojo
    Serial.begin(9600);
    //Inaugura el puerto con una velocidad de 9600 baudios
}

void loop()
{
    int i = 1;
    while(i<21){ //Ciclo de 20 iteraciones, 1 segundo
        if(i==1){
            digitalWrite(13, HIGH);
            digitalWrite(12, LOW);
            Serial.print(1); //Infrarrojo prendido
            Serial.print ("\n");
        }
        int rawValue = analogRead (sensorPin); //lee pin
        Serial.print (rawValue); //imprime valor de 0.05s
        Serial.print ("\n");
        i = i+1;
        delay (period);
    }
}
```

```
int rawValue = analogRead (sensorPin); //lee pin
Serial.print (rawValue); //imprime valor de 0.05s
Serial.print ("\n");
i = i+1;
delay (period);
}

while(i<41){ //Otro ciclo de 20 iteraciones, 1 segundo
    if(i==21){
        digitalWrite(13, LOW);
        digitalWrite(12, HIGH);
        Serial.print(3); //Rojo prendido
        Serial.print ("\n");
    }

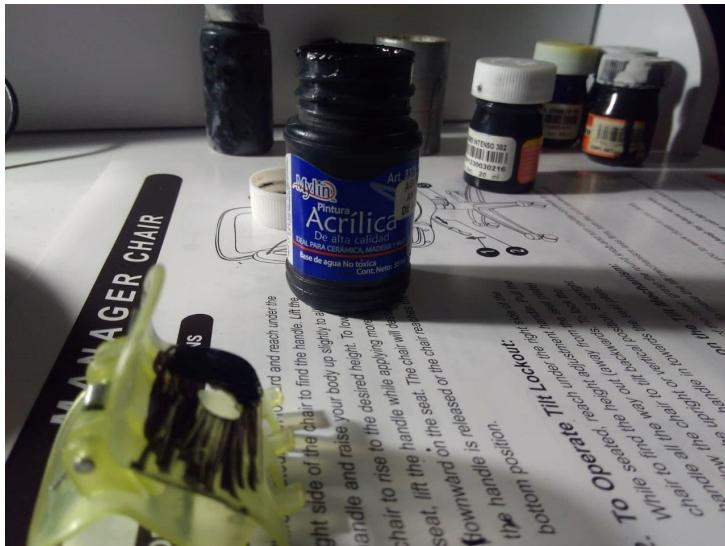
    int rawValue = analogRead (sensorPin);
    Serial.print (rawValue); //imprime valor cada 0.05s
    Serial.print ("\n");
    i = i+1;
    delay (period);
}
```

# Prototipos

# Prototipo 1

---

Pinzas de cabello, hoyos de diámetro de 0.7 mm



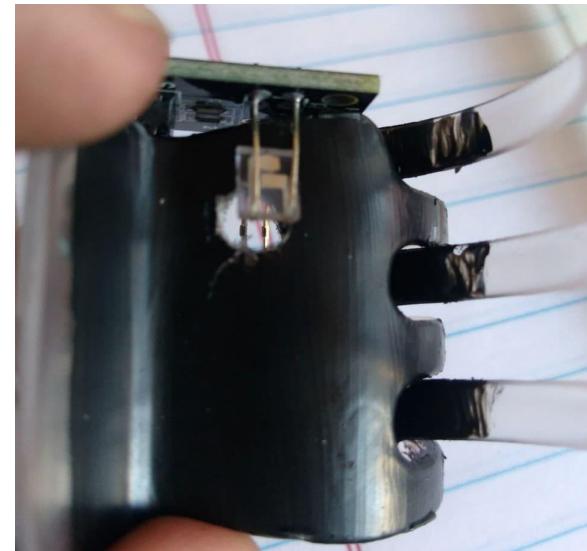
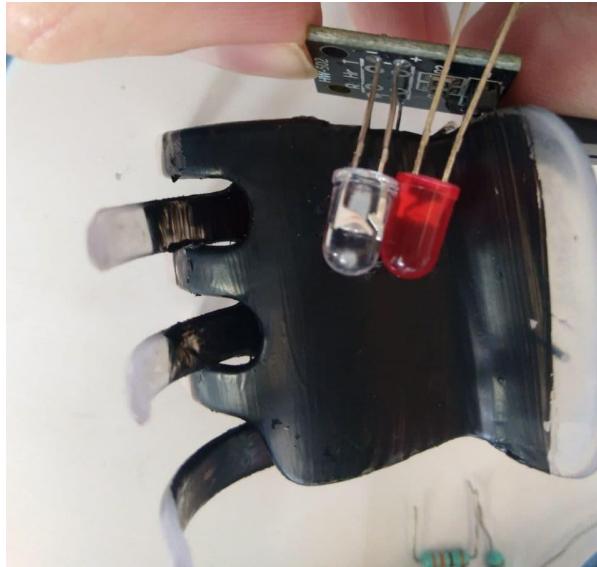
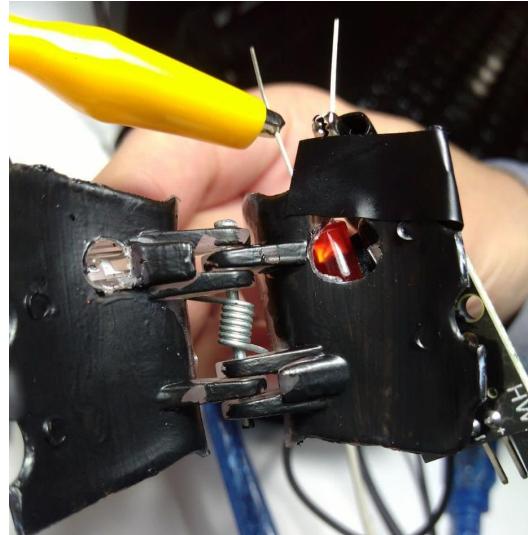
¡Incompatibilidad de diseño!

Imagen del módulo HW-502:  
HW-<https://www.instructables.com/Arduino-37-in-1-Sensors-Kit-Explained/>

# Prototipo 2

---

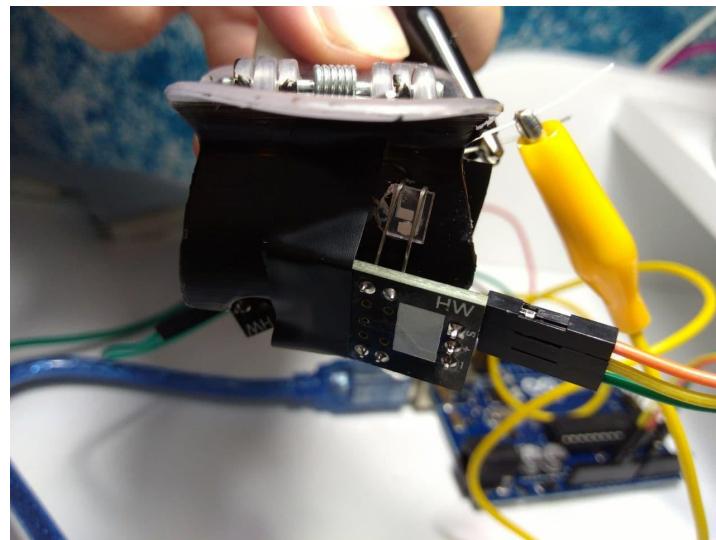
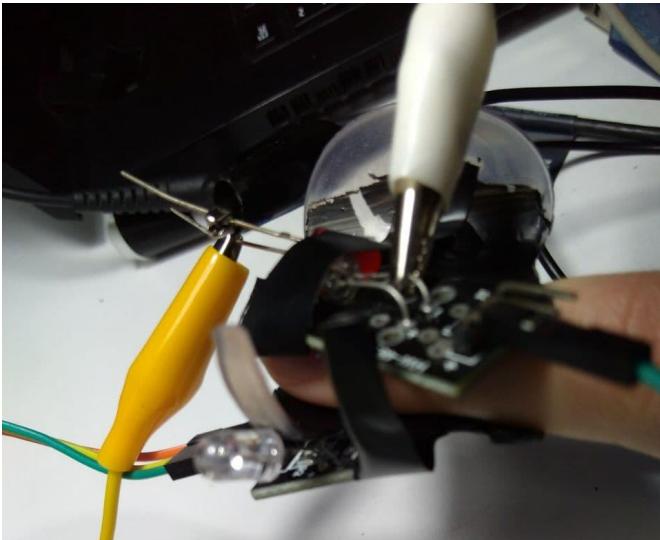
Pinza con hoyos de 0.5 y 0.8 mm



# Detalles...

---

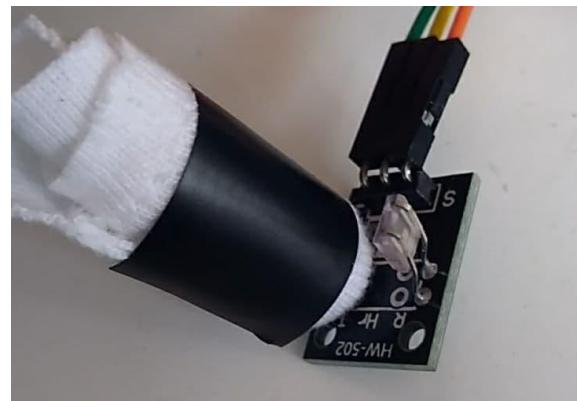
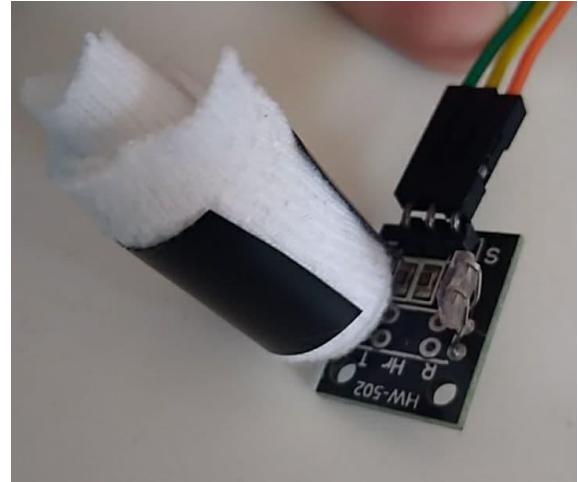
Prototipo 2 implica que todo el tiempo está el LED infrarrojo prendido y de vez en cuando enciende el rojo. ¿Cómo solucionarlo?



# Bloquear LED IR

---

Algodón + cinta de aislar



Referencias sobre algodón buen aislante:

<https://www.thoughtco.com/examples-of-electrical-conductors-and-insulators-608315>

<https://ufdc.ufl.edu/AA00017425/00001/3j>

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ra/c8ra05530k#!divAbstract>

# Prototipo 3

---

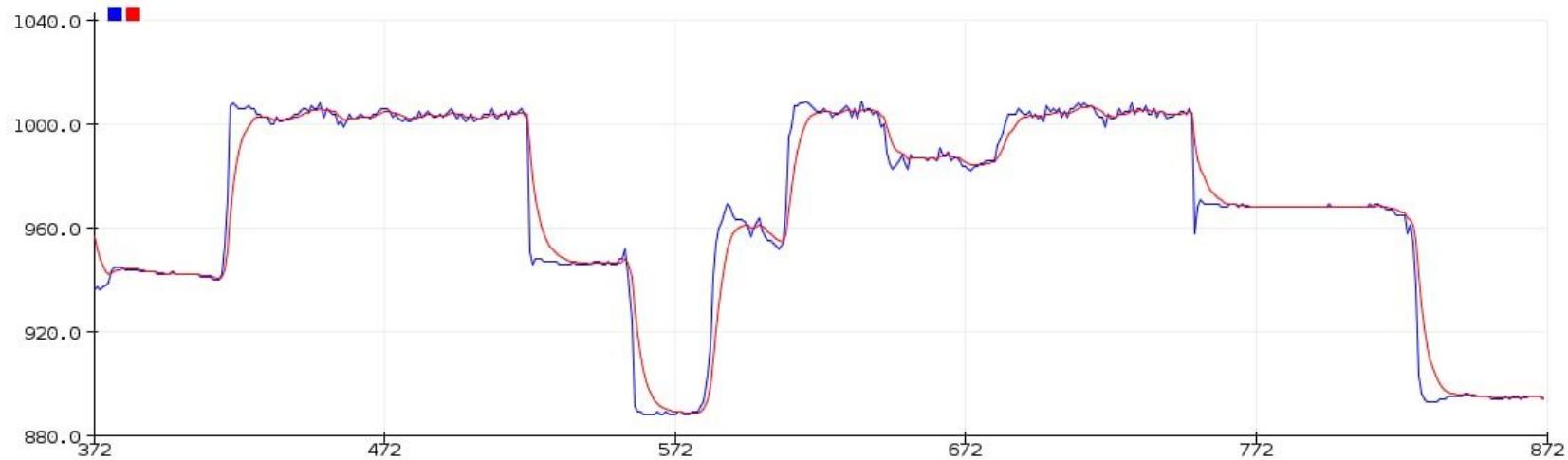
Pinza con 3 hoyos de 0.5 mm



# Comprobar que funcionara el sensor

---

Aumento de voltaje con poca luz incidente



---

Led rojo e IR encendido 1 seg luego apagado 1 seg,  
alternando. Primero señal del aire entre sensor y LEDs,  
luego con índice

