

Práctica 3. Diseño de un Pulsioxímetro

1. Objetivo de la práctica

El objetivo de esta práctica es diseñar las diferentes etapas electrónicas para la implementación de un pulsioxímetro de dedo. Para ello se utilizarán en el diseño componentes electrónicos comerciales y de fácil adquisición en el mercado, garantizando un bajo consumo de potencia para el desarrollo de todas las etapas, con el fin de optimizar el rendimiento.

El desarrollo de esta práctica servirá para aprender:

1. Usar un sensor CNY70.
2. Diseñar diferentes etapas de filtrado y amplificación según las necesidades de la señal.
3. Utilizar el ADC interno de la placa de Arduino para digitalizar la tensión obtenida a la salida.
4. Mostrar por pantalla los resultados obtenidos y el cálculo de la frecuencia cardíaca.

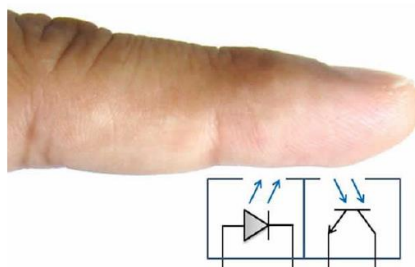
2. Introducción al problema

La oximetría de pulso, o pulsioximetría, se basa en los principios de la fotoplethismografía y la espectrofotometría (Ley de Beer-Lambert). Esta Ley relaciona la absorción de la luz con las propiedades del material atravesado, de forma que, en este caso, se puede relacionar la luz absorbida por los tejidos con la cantidad de oxígeno que transportan las arterias o venas por medio de la hemoglobina. En este sentido, se define la pulsioximetría como un método no invasivo que va a permitir determinar tanto la frecuencia cardíaca como el porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre. Por otro lado, la fotoplethismografía permite determinar la frecuencia cardíaca en función del volumen sanguíneo que circula en una determinada parte del cuerpo o por la presión que ejerce el corazón en el flujo sanguíneo al bombear.

Para realizar esta práctica mediremos la variación de luz absorbida por el torrente sanguíneo y los tejidos mediante la utilización de una fuente de luz y de un detector. Su principio físico se basa en la capacidad de la luz infrarroja de incidir en el flujo sanguíneo de arterias y venas subcutáneas. La fuente emisora de infrarrojos es un diodo que emite a 950 nm, y la receptora un fotodetector contiguo a este. Cuando mayor sea la cantidad de oxígeno presente en los capilares sanguíneos, mayor será la luz infrarroja reflejada y por tanto la conducción del fototransistor será mayor.

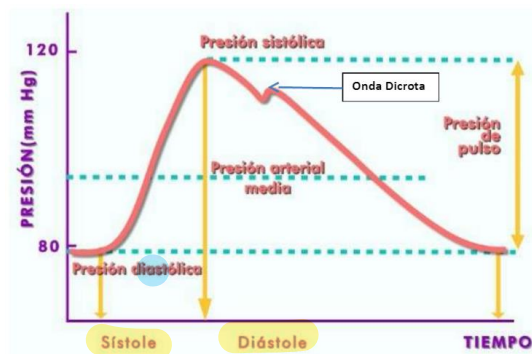
Los tejidos absorben la mayor parte de la luz emitida por el diodo, y sólo entre el 5 y el 10% alcanza los vasos subcutáneos, cuya magnitud de luz reflejada depende de la densidad de hematíes en su interior. De este modo, el corazón al bombear provoca que la presión el flujo sanguíneo varíe, y puesto que el cambio en el flujo sanguíneo es sincrónico con los latidos del corazón, esta técnica puede emplearse para calcular la frecuencia cardíaca.

La figura siguiente se muestra cómo la fotoplethismografía permite extraer la frecuencia cardíaca iluminando la punta del dedo con un diodo infrarrojo y midiendo la luz reflejada, que dependerá del volumen de sangre en el tejido y variará con el pulso cardíaco.



La señal obtenida tendrá dos componentes: una continua (DC) y una alterna (AC). La componente AC está causada principalmente por cambios pulsátiles en el volumen sanguíneo arterial, que son sincrónicos con el ritmo cardíaco, pudiendo ser utilizada esta componente para extraer el ritmo cardíaco. La componente AC está superpuesta a una componente DC mayor, que se relaciona con el volumen medio de sangre en los tejidos, y que debe ser convenientemente filtrada para poder medir la componente AC con mayor precisión, siendo necesario también amplificar la señal de alterna para poder extraer la información deseada con mayor eficacia.

En esta práctica no realizaremos la medición de la saturación de oxígeno, ya que ésta requiere también la presencia de un emisor a 660 nm, y establecer unas relaciones entre componentes AC y DC a ambas longitudes de onda para ser correlacionadas con la SaO₂. Por tanto, aquí nos limitaremos al estudio de la frecuencia cardíaca.



Si el diseño electrónico se realiza de la forma adecuada, la forma de onda obtenida debe tener un aspecto como el de la figura superior. En ella podemos distinguir la sístole y la diástole, que son dos etapas del ciclo cardiaco. La **sístole** es la fase de **contracción** del corazón, donde la sangre es bombeada a los vasos sanguíneos, y la **diástole** es la fase de **relajación**, que permite **que la sangre entre en el corazón**. Su lectura se mide en milímetros de mercurio (mmHg) y se da en dos números:

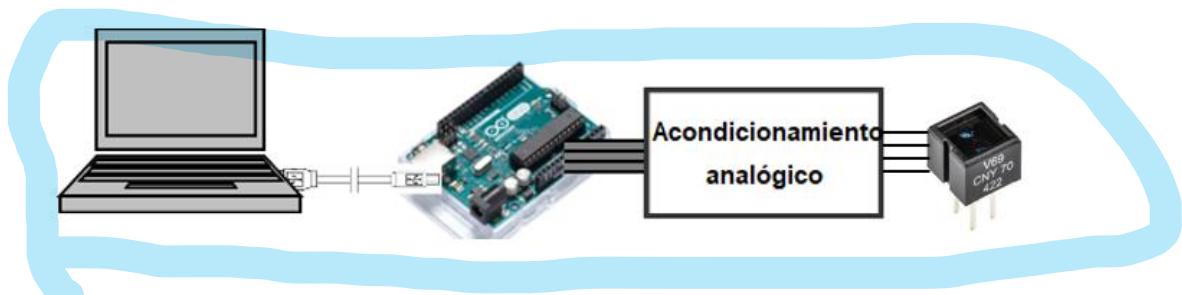
- Presión arterial **sistólica** que representa la **presión máxima en las arterias**, cuando el corazón se **contrae**.
- Presión arterial **diastólica**, que representa la **presión mínima en las arterias**, cuando el corazón está en **reposo**.

Así las medidas pueden ser 120 por 80, que significa que la sístole es de 120 mmHg y en la diástole es de 80 mmHg.

La onda dicrota se produce por la distensibilidad de la aorta, que permite durante la diástole que haya flujo de sangre.

Nota: En ocasiones, según el diseño y las condiciones externas de ruido la onda dicrota no se apreciará en el osciloscopio.

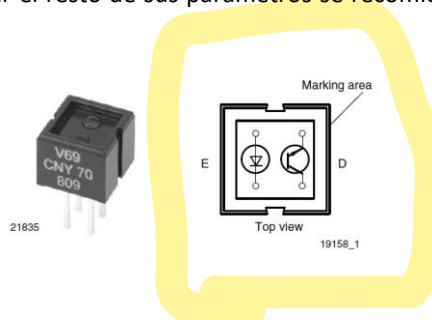
3. Diagrama de bloques del sistema



3.1.- Optoacoplador CNY70

Para la realización de esta práctica utilizaremos el dispositivo **CNY70**, un **sensor óptico infrarrojo de corto alcance** (menos de 5 cm) basado en un **emisor** de radiación infrarroja **-fotodiodo-** y un **receptor -fototransistor-**, ambos apuntando en la misma dirección, y cuyo **funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto**, y la **detección del rayo reflectado por el receptor**. Dependiendo de la **cantidad de luz recibida por el fototransistor**, el dispositivo envía una **señal**.

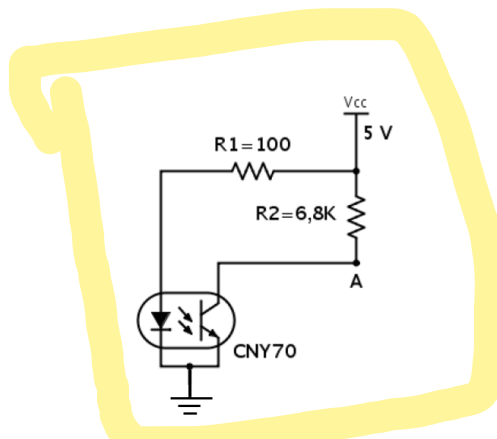
El correcto conexionado de los terminales del sensor CNY70 se muestra en la figura siguiente. La cara del sensor serigrafiada debe estar situada a la derecha. Para conocer el resto de sus parámetros se recomienda leer la hoja de características del fabricante.



3.2.- Acondicionamiento analógico

El acondicionamiento analógico de este proyecto estará compuesto por varias etapas:

La primera parte del acondicionamiento analógico será la que se muestra en el circuito a continuación. **El sensor se alimentará con 5V utilizando dos resistencias de 100Ω y 6.8 kΩ.**



Para el resto de las etapas debe tener en cuenta un rango de pulsaciones por minuto razonable (aproximadamente entre 40 como mínimo y 200 como máximo). En el diseño se debe definir la correspondencia a un ancho de banda determinado para determinar las frecuencias de corte de los filtros a diseñar. Cabe resaltar que las mayores fuentes de ruido están relacionadas directamente con la forma en que se realiza la medida con el fotodiodo (contaminación lumínica, posición del dedo, etc.), así como por la influencia del ruido de la red eléctrica.

3.3.- Arduino

Como sistema de control y digitalización se usará un Arduino Leonardo. Existen diversas marcas que comercializan tarjetas compatibles con Arduino/Genuino Uno de coste reducido. Si el estudiante tiene algún Arduino, puede usarlo, no tiene que ser obligatoriamente el modelo Leonardo.

4. Estudio teórico-práctico inicial. Cuestiones previas.

Se recomienda diseñar el sistema por etapas y caracterizar y simular la parte de los filtros con LTspice.

4.1. Acerca del CNY70.

En relación con el sensor CNY70 y a partir de su hoja de características, responda a las siguientes cuestiones:

- 4.1.1 ¿Para qué sirven las resistencias colocadas entre alimentación y ánodo del diodo y entre alimentación y colector del transistor?
- 4.1.2 ¿Para qué se puede utilizar la señal que se obtiene en el punto A del circuito?
- 4.1.3 ¿Cuál será la corriente que circula por el colector del transistor si la superficie reflectante se coloca a una distancia de 2 mm?
- 4.1.4 ¿Qué otras aplicaciones se le ocurren para utilizar el CNY70?

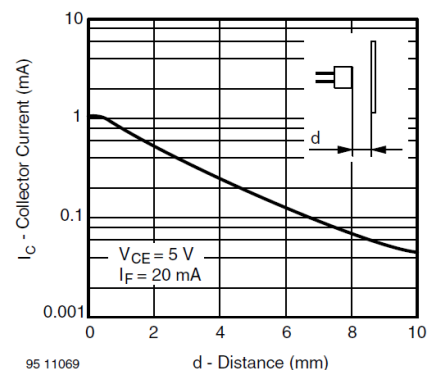


Fig. 9 - Collector Current vs. Distance

4.2. Acerca del circuito de acondicionamiento.

4.2.1 Cálculo del rango de frecuencias.

Teniendo en cuenta que un rango de pulsaciones por minuto razonable es aproximadamente 40 y 200. Calcule a qué frecuencias (en Hz) equivalen esas pulsaciones por minuto.

Para poder quedarnos con las frecuencias de interés es necesario realizar un filtrado paso banda entre aproximadamente esas frecuencias. Esta banda también reduce, no elimina, el efecto de la componente continua de la señal y el ruido de 50 Hz debido a la red eléctrica.

4.2.2 Filtrado paso banda.

Diseñe un filtro activo paso banda de segundo orden, Sallen-Key o similar, con ganancia unidad y frecuencias de corte las obtenidas anteriormente. Puede dejar cierto margen en el diseño de las frecuencias, es decir si por ejemplo la frecuencia obtenida es 3Hz, puede diseñar el filtro para que filtre en torno a 4 o 5Hz y asegurarte de no eliminar componentes de interés, tanto para la frecuencia de corte superior como inferior. Como elemento activo utilice un amplificador de propósito general modelo UA741. Para comprobar las frecuencias de corte y la atenuación que sufre la señal de entrada a la salida del filtro, represente el diagrama de Bode correspondiente mediante simulación.

Nota: Utilice el valor de C_2 de 22 μ F.

Importante: utilizar valores comerciales disponibles en el laboratorio para todos los componentes y realice la simulación con estos valores.

4.2.3 Etapa de amplificación y desplazamiento.

A la salida del filtro pasa banda, en esta etapa se realizará la amplificación de la señal. Diseñe una etapa de amplificación diferencial con la ganancia que considere adecuada para ver la señal amplificada con un valor pico a pico en torno a los 2-3V utilizando un amplificador de instrumentación modelo INA126/122. Tenga en cuenta que la señal a la entrada del INA será del orden de 50 mV. Diseñe además el desplazamiento necesario para que la señal obtenida esté siempre en el rango de tensiones positivas. Como a nivel teórico no sabe de cuánto desplazamiento estamos hablando, deje el circuito preparado para sustituir por los valores adecuados durante el desarrollo experimental.

4.3. Acerca del Sistema de Medida completo.

Minimizar el número de fuentes de alimentación utilizadas y obtener la máxima resolución que sea posible. Debido a la gran variabilidad de la línea base en la señal medida elija rangos de alimentación extensos para que no se produzca saturación de la misma.

4.3.1 Diseñe el esquema de conexiones completo que incluya los elementos analizados en las cuestiones previas que considere necesarios, así como la placa Arduino para procesar la medida realizada. Este esquema debe valer como guía y ayuda para su implementación en la *protoboard*. En el esquema y para cada elemento señale sólo los terminales que participan en el diseño.

4.3.2 ¿Qué señal se obtendrá a la salida del circuito? ¿A qué es debido cada uno de sus picos? ¿Cómo se calcularían los latidos por minuto a partir de esta señal?

1^{er} hito de evaluación: Como hito evaluable de esta práctica (30%), antes de empezar la primera sesión de laboratorio debe subir a Moodle y entregar al profesor, las cuestiones resueltas planteadas en los epígrafes del 4.1 al 4.3 de este estudio previo.

En dicho esquema debe quedar claro las conexiones realizadas entre los distintos elementos, señalando el número y nombre de los pines de los elementos activos (operacionales) así como las ganancias utilizadas, los valores de las fuentes de alimentación y los valores de los elementos pasivos (resistencias y condensadores) implicados.

Nota: El documento que debe subir a Moodle, puede estar en cualquier formato digital, incluso puede ser la imagen (foto) del documento escrito a mano entregado al profesor.

5. Manos a la obra 1. Implementación del diseño analógico propuesto.

En este apartado debe implementar en una protoboard el circuito diseñado. Se recomienda probar cada etapa de diseño de forma incremental utilizando para ello una señal senoidal de frecuencia y magnitud adecuadas, generada desde el generador de funciones y probando cada una de las etapas de filtrado diseñadas mediante un diagrama de Bode, así como la etapa amplificadora. Todas deben ser probadas de forma individual.

En la medida práctica utilice las tablas proporcionadas y, en cada caso, incida sobre la frecuencia de corte para encontrarla.

Consejos para el montaje

La señal puede tener bastante ruido por los diferentes tejidos que participan en la reflexión. Para mejorar la medida siga estos sencillos consejos:

- ✓ El dedo debe quedar completamente pegado al sensor CNY70 sin presionar demasiado para que la medida sea fiable pero de forma consistente.
- ✓ Procure no moverse y contener la respiración durante la medida.
- ✓ Si en la señal aparecen muchas interferencias, es posible que se deba a carga estática acumulada en el cuerpo, toque en algún elemento metálico para disminuir dicha carga.

Para comprobar el montaje realizado utilice como señal de entrada una onda senoidal pura con amplitud $V_{pp} = 2\text{ V}$ y las frecuencias recomendadas en las siguientes tabla:

F (Hz)	Vin (V)	Vout (V)	Vout/Vin	20 log Vout/Vin
0,025				
0,05				
0,1				
0,15				
0,2				

0,3				
0,4				
0,5				
0,7				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
10				
12				

2º hito de evaluación: Mostrar al docente el diagrama de Bode experimental del filtro paso banda diseñado (20%).

3º hito de evaluación: Mostrar al docente la etapa amplificadora, así como el desplazamiento introducido con una señal senoidal del 30 mV y una frecuencia dentro de su banda plana del filtro previo diseñado (15%).

4º hito de evaluación: Mostrar al docente la salida obtenida de todo el acondicionamiento analógico diseñado con la utilización del sensor CNY70 (20%).

6. Manos a la obra 2. Digitalización y representación de la señal.

Para un análisis en profundidad de la señal generada, conviene registrar un tramo temporal de la misma. Existen trazadores gráficos que permiten la impresión directa de la señal analógica generada, pero en este apartado de la práctica procederemos a su digitalización y su registro en un archivo, para posteriormente proceder a su análisis y representación tantas veces como sea necesario. Para el proceso de digitalización se necesita un conversor analógico digital, ADC, y una placa procesadora. Como placa procesadora utilizaremos Arduino Leonardo, y el ADC interno que proporciona.

Escriba un programa para Arduino que permita la lectura de la señal obtenida a la salida del circuito diseñado. Represente la señal obtenida y calcule la frecuencia cardiaca utilizando la aplicación CoolTerm para representar los datos obtenidos. Es recomendable utilizar la función millis() para tener registro del tiempo.

6º hito de evaluación: Mostrar al docente la salida del pulso cardíaco digitalizado, así como el cálculo de la frecuencia cardiaca (15%).