

Teoría de Circuitos

Proyecto Final 2022

Implementación de un Front-End Analógico para un fotopleletismógrafo inalámbrico

Licenciatura en Ingeniería Biológica

Introducción

El presente proyecto consiste en la elaboración del Front-End Analógico un fotopleletismógrafo a partir de los conocimientos impartidos en el curso.

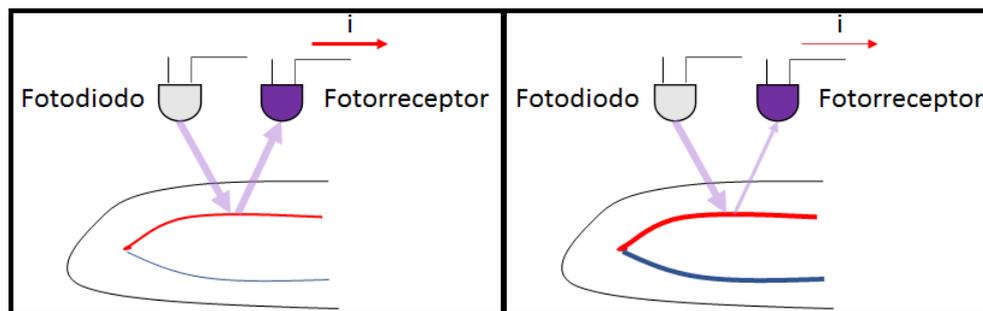


Figura 1: Esquema de un fotopleletismógrafo y su principio de funcionamiento.

El fotopleletismógrafo se utiliza para registrar la onda de pulso de presión arterial a partir de la variación de absorción de luz infrarroja en los vasos sanguíneos. Como se observa en la figura 1, la absorbancia es obtenida indirectamente a partir de la intensidad de luz recibida por el fotodetector, donde es traducida a corriente eléctrica. Sin embargo, esta corriente es muy pequeña para ser detectada directamente. Por este motivo es necesario un acondicionamiento de esta señal, la cual se denomina fotopleletismograma (PPG¹).

El Front-End Analógico (AFE) es la parte del instrumento que interactúa directamente con la señal de interés, encargándose de acondicionarla para que pueda ser

¹Del inglés photoplethysmogram

procesada con mayor precisión. Las tareas principales de un AFE son: filtrado, amplificado y aislación.

Descripción

El fotopleletismógrafo a diseñar se divide en cuatro bloques, el Front-End Analógico (AFE) ya descrito, el Microcontrolador que se encarga de digitalizar la señal PPG y calcular la frecuencia cardíaca, la Radio la cual envía la información al PC, donde se muestra el gráfico de PPG junto a la frecuencia cardíaca en latidos por minuto (LPM). Un esquema del diagrama de bloques se muestra en la figura 2.

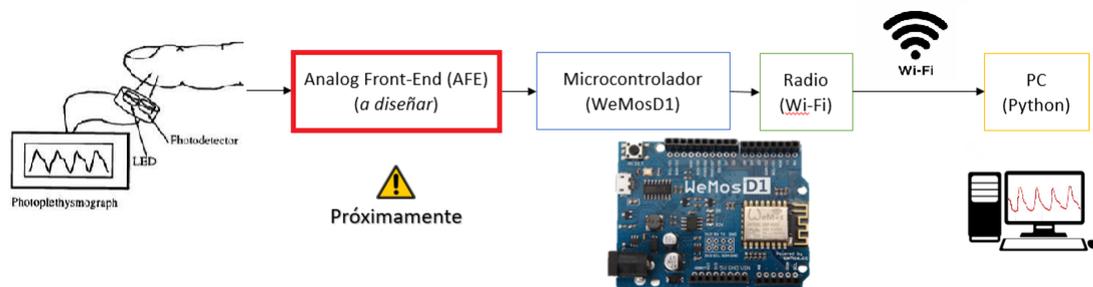


Figura 2: Diagrama de bloques del fotopleletismógrafo a implementar.

El proyecto propuesto se divide en tres partes:

1. Caracterización de la señal cruda de PPG.
2. Diseño del AFE, con el fin de que se pueda visualizar el pulso PPG, con buena resolución, en un osciloscopio según las especificaciones propuestas.
3. Integración con el resto del sistema, adaptando la señal PPG asegurando su compatibilidad con las entradas del microcontrolador.

Conexionado

Para adquirir la señal de PPG se proporciona el sensor infrarrojo CYN70, el cual debe de ser conectado como se muestra en la figura 3.

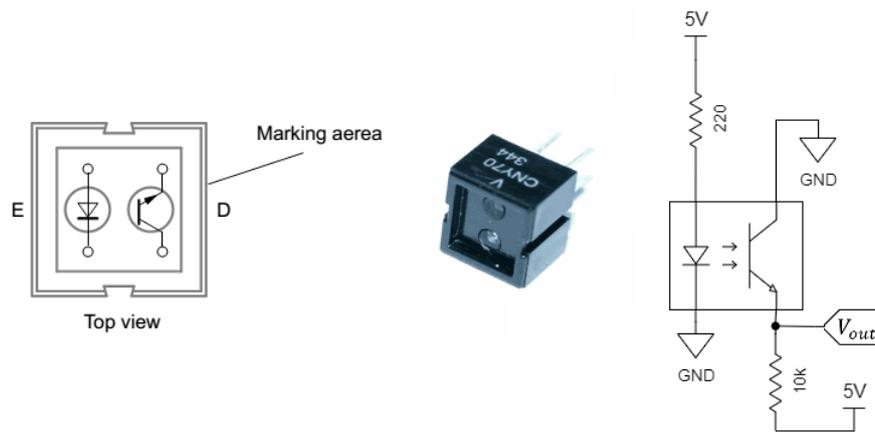


Figura 3: Conexión del sensor infrarrojo CYN70.

Materiales

A continuación, se especifica la lista de materiales a utilizarse durante el desarrollo del proyecto final.

- Sensor infrarrojo CYN70.
- Analog Discovery 2: Osciloscopio, fuente de $\pm 5V$ y generador de señales USB.
- Microcontrolador WeMos D1 con radio WiFi.
- Multímetro digital.
- Protoboard.
- Amplificador operacional LM741.
- Presets y potenciómetros.
- Resistencias y capacitores de distintos valores.
- Cables y otros elementos de conexión.

Estos materiales serán proporcionados por encomienda u otro medio. En caso de necesitar otro tipo de material para la elaboración del proyecto, se debe de conversar con el docente responsable del curso.

Implementación

Parte 1 - Caracterización de la señal cruda de PPG

Para determinar el filtrado y amplificación del AFE, es necesario caracterizar la señal.

Para esta etapa se pide:

1. Armar el circuito de la figura 3.
2. Armar un circuito para utilizar de referencial como se muestra en la figura 4.

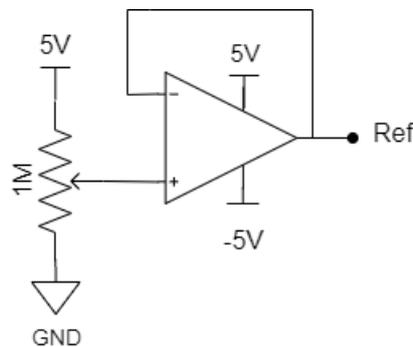


Figura 4: Circuito para modificación del referencial.

3. Utilizando el Analog Discovery 2:
 - Conectar el cable de tierra (cable negro) y los cables $V+$ y $V-$ a la protoboard, los cuales serán la alimentación del circuito.
 - Conectar, a la salida, el cable 1+ correspondiente al *Channel 1* del osciloscopio y el cable 1- a la salida del bloque referencial (*Ref*).
 - Alimentar al circuito con $V_{cc} = \pm 5V$ en la pantalla de la fuente (Supplies).
 - En *Time* de la pantalla del osciloscopio (Scope 1), modificar el valor *Base* (en el orden de los $500ms/div$) para observar varios pulsos de PPG en el tiempo.
 - En *Channel 1* de la pantalla del osciloscopio, modificar el valor de *Range* para observar la señal de PPG con buena resolución. Modificar el valor de *Ref* para centrar la señal de PPG en $V = 0$.
 - No olvidarse de poner *Play* en cada ventana para comenzar con la visualización (triángulo verde).

4. Obtener valores aproximados del voltaje pico-pico y del "periodo"² de la señal de PPG. Sugerencia: Utilizar el comando *Measurements* y pedir que despliegue los valores *Peak2Peak* y *Period*. Realizar una captura de pantalla.

Parte 2 - Diseño del AFE

Como ya se mencionó, la amplitud de la señal de entrada de PPG es muy pequeña, por lo que el AFE debe contar con una etapa de amplificado para mejorar la resolución de la señal y una etapa de filtrado para no amplificar el ruido.

En la figura 5 se muestra el circuito correspondiente al Front-End analógico que acondiciona la señal PPG.

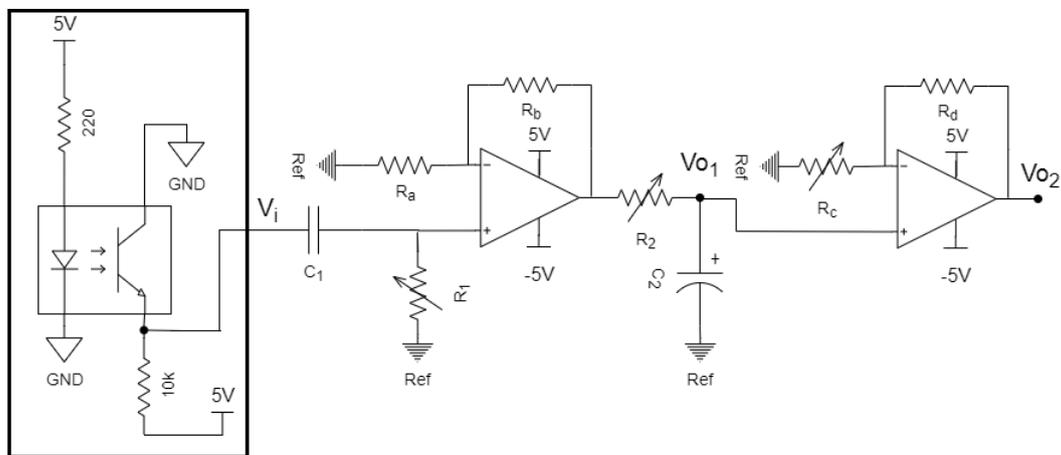


Figura 5: Analog Front End del fotoplethysmógrafo

²Aclaración: La señal a medir es quasi-periódica, por lo que la repetición de la señal no es constante

Los requerimientos del circuito a diseñar se listan a continuación:

- Alimentación $V_{cc} = \pm 5V$.
- Se cuenta con un capacitor cerámico $C_1 = 1.0\mu f$ y con un capacitor electrolítico $C_2 = 47\mu f$.
- Frecuencia de corte inferior (inicial) = $1.0Hz$.
- Frecuencia de corte superior (inicial) = $30.0Hz$.
- La frecuencia de corte inferior se debe poder variar con R_1 y la de corte superior con R_2 .
- La ganancia se debe poder regular con R_c .
- La amplitud de la onda PPG a la salida (V_{o2}) debe de ser aproximadamente de $1.5V$ (para evitar saturar los operacionales).

A partir del circuito de la figura 5, se pide:

Parte teórica

En esta parte se determinarán los componentes del circuito siguiendo los siguientes puntos:

1. Subdividir el diagrama en subbloques e identificar la función que realiza cada uno de ellos (ej. amplificado, filtrado pasa-alto, filtrado pasa-bajo, etc...).
2. Hallar la expresión de la función de transferencia de cada subbloque del circuito en función de los parámetros del problema.
3. Hallar la función de transferencia del circuito y graficar el diagrama de bode de la misma.
4. Expresar la ganancia G en banda pasante y las frecuencias de corte en función de los componentes del circuito.
5. Determinar el valor de todos los componentes para obtener el comportamiento deseado. Tener en cuenta las especificaciones del circuito.

Parte práctica

En la implementación del AFE, el offset de la señal de entrada (valor medio) presenta un problema importante, ya que el circuito amplifica la diferencia entre la señal V_i y la referencia Ref . Para eliminar dicho offset, se debe utilizar el circuito de la figura 4 como se hizo en la parte anterior.

En esta parte se debe implementar el circuito AFE en la protoboard, partiendo de lo hecho en la parte 1, probarlo (o utilizar un voluntario).

Se sugiere realizar utilizar una de las líneas de alimentación para Ref .

1. ¿En qué tipo de configuración se encuentra el operacional en el circuito de Ref ? ¿Por qué no se utiliza directamente el voltaje del divisor de tensión?
2. Medir la salida V_{o1} con el cable correspondiente al *Channel 2* del osciloscopio (con el cable 1— (referencia) a tierra). Se debe modificar el valor del potenciómetro de $1M$ para evitar que la señal se sature.
3. Comparar con la señal de entrada V_i y responder:
 - ¿Qué diferencias morfológicas observa entre V_i y V_{o1} ?
 - ¿A qué cree que se deben?
 - ¿ V_{o1} representa fidedignamente la señal de PPG? Justifique.

4. Regular las resistencias R_1 y R_2 de manera de asemejar morfológicamente V_{o1} a V_i .
5. Medir la salida V_{o2} con el cable correspondiente al *Channel 2* del osciloscopio (con el cable 1— (referencia) a *Ref*).
6. ¿La amplitud de la señal en V_{o2} cumple con los requisitos? Modifique el valor de R_c hasta cumplir con dicha especificación.
7. Reportar los valores finales de las resistencias y frecuencias de corte. Compararlas con los valores calculados teóricamente.

Análisis del circuito

En esta etapa, ya deben estar regulados todos los potenciómetros obteniéndose la señal de PPG (fidedignamente) que cumple con las especificaciones planteadas.

1. Registre los valores finales de todos los componentes del AFE (en el caso de los potenciómetros, indique en qué valor fueron seteados).
2. Realice el diagrama de Bode (teórico) de la función de transferencia del circuito tomando en cuenta los valores finales de los componentes.
3. Determine empíricamente la función de transferencia en régimen sinusoidal realizando un relevamiento en frecuencia. Compare con lo obtenido teóricamente a partir de un diagrama de Bode. Para ello, puede acceder a los archivos de medición de módulo y fase que se facilitan en la plataforma EVA.

Se recomienda fuertemente ser constantes con la elaboración del circuito, recurriendo al docente por dudas (¡¡¡No se tranquilen!!!)

Parte 3 - Integración del AFE al resto del sistema

Para completar con el diseño del Fotopleletismógrafo, se proporcionan los siguientes elementos:

- Microcontrolador WeMos-D1 (simil Arduino con radio Wi-Fi incorporada).
- Firmware del Microcontrolador.
- Script de Python que implementa la interfaz gráfica del PC.

El microcontrolador debe recibir dos entradas, una analógica la cual recibe el pulso PPG y una digital que está relacionada con el cálculo de la frecuencia cardíaca. En la figura 6 se muestra un diagrama de conexión entre el AFE y el Microcontrolador.

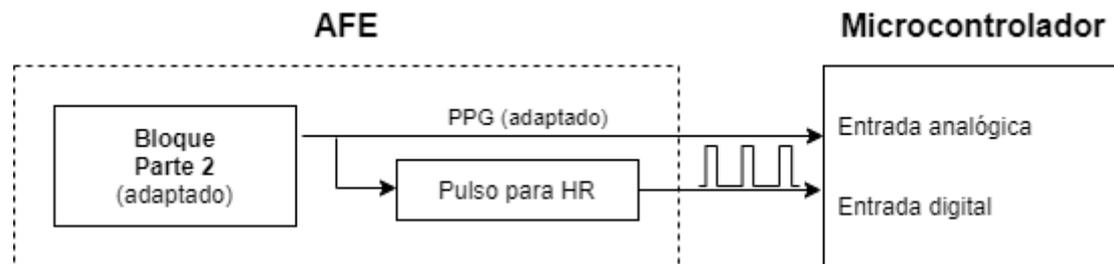


Figura 6: Diagrama de conexión del AFE con el Microcontrolador.

Las entradas del microcontrolador (tanto analógicas como digitales) admiten valores entre $0V$ y $3.3V$. Por lo tanto, para integrar la señal PPG al el resto del sistema, es necesario adaptar las señales de entrada para que sean registradas correctamente.

Para la adaptación se deben realizar dos tareas:

1. Adaptar la entrada PPG al rango $0 - 3.3V$.
2. Generar la señal digital para el cálculo de la frecuencia cardíaca.

Adaptación del circuito

Para adaptar el circuito, se pide alimentar el circuito entre GND y $3.3V$. Para ello se deben realizar los siguientes cambios

1. Conectar todo lo que esté a $-5V$ a GND .
2. Bajar la alimentación de $+VCC$ de $5V$ a $3.3V$.

3. Modificar el potenciómetro del circuito de Ref para colocar la señal de PPG en el rango $0 - 3.3V$ (en caso de ser necesario, reducir la ganancia hasta que la señal encaje sin saturar).

Generación de la señal digital

Para el cálculo de la frecuencia cardíaca, el firmware cargado al microcontrolador calcula el tiempo entre flancos de subida³ consecutivos. Por lo que la señal pulsada a generar debe de estar sincronizada con la señal PPG.

Una entrada digital es una señal que solo toma dos valores posibles, 0 con valor analógico GND ($0V$) y 1 con valor analógico VCC ($3.3V$ en el caso del microcontrolador a utilizar).

Para generar esta señal se pide la implementación de un bloque que entregue la siguiente salida:

- Si $V_{PPG} < V_{Umbral}$, entonces $V_O = GND$.
- Si $V_{PPG} > V_{Umbral}$, entonces $V_O = VCC$.

Siendo V_{Umbral} un valor entre GND y VCC , en la figura 7 se muestra la relación entre la onda PPG y la salida digital a implementar.

³Un flanco de subida es un cambio de 0 a 1 en una señal digital.

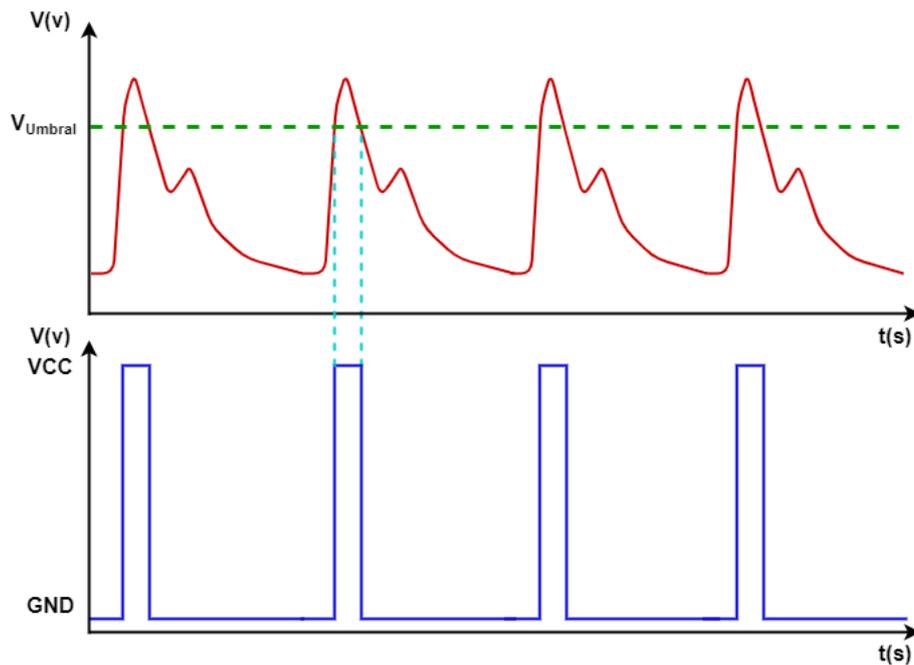


Figura 7: Generación del pulso digital.

Para la implementación del bloque, se sugiere:

- Para implementar V_{Umbral} utilizar un divisor de tensión como en el circuito de *Ref.*
- Conectar un led luminoso en serie con una resistencia de 220Ω para observar visualmente el funcionamiento en el circuito.

Adaptación con el Microcontrolador [Opcional]

En esta parte se busca integrar el AFE con el microcontrolador (WeMos D1) y visualizar la señal de forma inalámbrica, para ello se debe de conectar el microcontrolador a un Powerbank y utilizar sus pines de alimentación para alimentar el AFE.

Acerca del proyecto

Instancias de evaluación:

- **Hito 1 - Resolución teórica:** Consiste en la resolución teórica del circuito planteado y el cálculo de los componentes. Al finalizar esta etapa, esta parte debe ser realizada de forma individual. Se pide la entrega del avance del informe conteniendo:
 - Fundamento teórico del informe.
 - Resolución teórica del circuito.
 - Diagramas de Bode de las transferencias del circuito.
 - Valores de los componentes a utilizar.
- **Hito 2 - Parte 2 completa:** Implementación del circuito planteado en la parte 2, esta parte puede realizarse en grupos de hasta dos personas. Al finalizar esta etapa, se pide:
 - Entrega informe de avance.
 - Demo - Parte 2.
- **Producción:** Diseño e implementación del circuito planteado, esta parte puede realizarse de grupos de hasta dos personas. Al finalizar esta etapa, se pide:
 - Entrega final del informe.
 - Demo - Circuito completo.
- **Evaluación final:** En esta parte, los grupos expondrán oralmente el proyecto, incluyendo objetivos, conceptos fundamentales, actividades realizadas, resultados y conclusiones. Se contará con un máximo de 30 minutos para presentar el proyecto a los docentes, posteriormente se contestarán preguntas del tribunal. Al finalizar, se realizará una demostración de 5 minutos del circuito funcionando. Para esta parte, se debe de contar con:
 - Una presentación armada conteniendo lo explicado en el párrafo anterior.
 - El circuito presentable.

Plazos tentativos de entrega:

- **Hito 1 - Resolución teórica y parte 1:** Martes 12/07 23:55 Hs.
- **Hito 2 - Parte 2 completa:** Martes 19/07 23:55 Hs.
- **Producción:** Martes 26/07 23:55 Hs.
- **Presentación final:** Viernes 29/07 (Fecha tentativa).

Las fechas antes mencionadas se pueden ver sujetas a cambios.