

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DEL PULSO CARDIACO USANDO TÉCNICAS PLETISMOGRÁFICAS

Irvin Samamé  
[200616917@mail.urp.edu.pe](mailto:200616917@mail.urp.edu.pe)  
Manuel Gómez  
[200616094@mail.urp.edu.pe](mailto:200616094@mail.urp.edu.pe)  
Joel Castillo  
[200616083@mail.urp.edu.pe](mailto:200616083@mail.urp.edu.pe)

Asesor: Ing. Javier Cieza  
[jcieza@mail.urp.edu.pe](mailto:jcieza@mail.urp.edu.pe)

## Curso: Señales Biológicas 2011-01

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica  
Universidad Ricardo Palma

**Abstract:** The project shows the plethysmographic waveform using an electronic device adapted to the toe, which we call the heart rate monitor. Shows the different stages of filtering used in the circuit to obtain the perfect plethysmographic waveform without any distortion that would be helpful to both doctor and patient have a clear and precise reading of that wave.

**Keywords:** Wave, plethysmograph, Pulsometer, Filtering.

**Resumen:** El proyecto muestra la onda pletismográfica mediante un dispositivo electrónico adaptado al dedo, el cual llamaremos el pulsímetro. Se presentará las distintas etapas de filtraje utilizado en el circuito para poder obtener la onda pletismográfica perfecta y sin ningún tipo de distorsión que será de gran ayuda tanto para el doctor y el paciente tener una lectura clara y precisa de dicha onda.

**Palabras Clave:** Onda, Pletismográfica, Pulsímetro, Filtraje.

## 1. Introducción

En al amplio campo de la electrónica medica, hay diversas maneras en la cual se puede medir la mayoría de cambios originados en el cuerpo de una persona, esto debido a que la persona para poder contar con estado de salud optimo, internamente a nivel celular, ocurren diversos cambios químicos, debido a la cantidad de sales y otros elementos que hay en nuestro cuerpo; la Ing. Electrónica se encarga de observar estos cambios químicos y diseña dispositivos capaces de medir estos cambios internos, para que de esta manera ver si una persona está en un estado optimo (saludable) o está fuera de estos parámetros (padeciendo una enfermedad), esto ayuda bastante al médico al momento de recetar un medicamento, y cada vez estos equipos se

hacen más sofisticados debido al avance de la tecnología que ocurre en el mundo, pero debido a estos avances y mejora de equipos, hacen que cada vez sean más caros; la idea de este proyecto es hacer un producto que pueda mostrar las señales provenientes de la persona a un bajo costo, pero debido a que el proyecto es simple, no posee la precisión de equipos sofisticados, pero al menos puede ayudar a detectar ciertas anomalías, o sino también para hacer un análisis preventivo antes de pasar por una maquina cuyo análisis es más caro. Como proyecto de laboratorio se tomo un pulsímetro, que es un dispositivo capaz de medir el flujo de sangre de la persona y de esta manera ver el funcionamiento de esta y que se encuentre dentro de sus parámetros de funcionamiento normales.

## 2. Marco Teórico

El pulsímetro calcula la saturación de oxígeno y el latido cardiaco (pulso) a través del dedo del paciente. El pulsímetro 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 lo glóbulos rojos y se encarga del transporte de O<sub>2</sub> del aparato respiratorio hacia los tejidos periféricos; y del transporte de CO<sub>2</sub> y protones (H<sup>+</sup>) 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.

El pulsímetro se utiliza en el hospital, la clínica, en domicilio, en la actividad deportiva, en cualquier lugar donde sea necesario recurrir a este tipo de diagnostico. La mayor parte de la luz es absorbida por el tejido conectivo, piel, hueso y sangre venosa en una cantidad

constante, produciéndose un pequeño incremento de esta absorción en la sangre arterial con cada latido, lo que significa que es necesaria la presencia de pulso arterial para que el aparato reconozca alguna señal mediante la comparación de la luz que absorbe.

La medición se basa en el hecho de que durante la sístole, habiendo sido el volumen de sangre expulsada a la aorta genera la onda del pulso (a principios de pico sistólico). Esta onda de pulso se agota y se refleja en la bifurcación de la aorta, la creación de una segunda ola (pico sistólico tardío). El tiempo de retorno (RT S35) es la diferencia (ms) entre la primera y la onda reflejada sistólica. RT S35 está relacionado con la rigidez de la aorta. La diferencia de las amplitudes de la onda sistólica primera y segunda (Aix) depende del tono de las arterias periféricas (función endothel). Sobre la base de estos, la velocidad de la onda de pulso (VOP S35) se puede calcular si se mide la distancia entre el Jugulum y de la sínfisis (Jug-Sy).

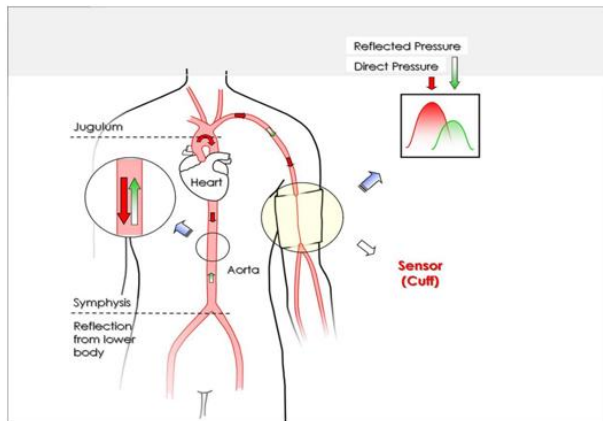


Fig.1. Esquema Sistema Circulatorio Humano

El flujo sanguíneo pulsátil de los dedos de la mano tiene su origen en las contracciones cardiacas, pero además viene condicionado por los cambios activos en la contracción o relajación del músculo liso de los vasos precapilares de las pequeñas arterias y/o arteriolas, que son al final los responsables de los cambios de volumen de la sangre del lecho vascular de cada dedo.

El pulsímetro es básicamente la interpretación de la coloración sanguínea que depende de la  $SaO_2$ . El cambio de color de la sangre al saturarse de oxígeno, es debido a las propiedades ópticas de la molécula de Hemoglobina (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 pulsímetro mide la absorción de luz de longitudes de onda específicas que dependerá de la proporción existente entre Hemoglobina oxigenada y Hemoglobina desoxigenada.

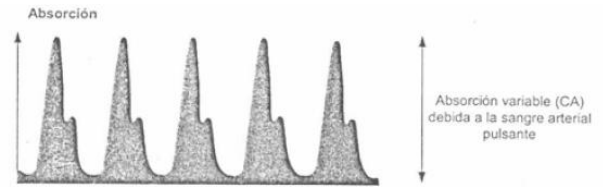


Fig.2. Señal Teórica del Pulsímetro

### 3. Desarrollo del Proyecto

Para hacer el pulsímetro, se usaron los principios de la luz al atravesar un material, si este es muy oscuro, la cantidad de luz que sale es más opaca, y si el material es muy claro, habrá mayor paso de intensidad de luz.

Estos principios fueron usados y la toma de señales fue en el dedo, debido a que en ese lugar se pueden tomar datos más precisos debido a que no hay muchos obstáculos para la luz; en cualquier parte del cuerpo de una persona, circula la sangre que es bombeada por el corazón, y cada vez que es bombeada hay un flujo de sangre oxigenada y también de sangre desoxigenada, estas dos variaciones hacen que el dedo permita el paso de más cantidad o menos de luz, y debido a eso, nosotros podemos tomar esos datos y verlo en un osciloscopio y ver como es el paso de la sangre en nuestro cuerpo.

El dedal consta de un LDR y de un LED rojo, el cual estos están colocados de manera que al ingresar el dedo debe ubicarse la uña en el LDR y el LED estaría en el lado opuesto de la uña.



Fig.3. Ilustración LED dedo

Un LED emite una longitud de onda de 660 nm (rojo), que es absorbido mayoritariamente por la hemoglobina desoxigenada (Hb), mientras que un segundo LED emite una longitud de onda de 920 nm (infrarrojo) la que es absorbida mayoritariamente por la hemoglobina oxigenada (HbO<sub>2</sub>), el cual es captada por el medio del sensor, el cual muestra la señal del pulso de la persona.

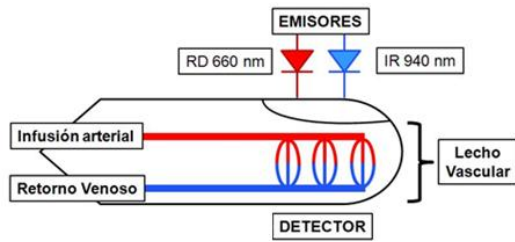


Fig.4. Dedo en acción al detalle

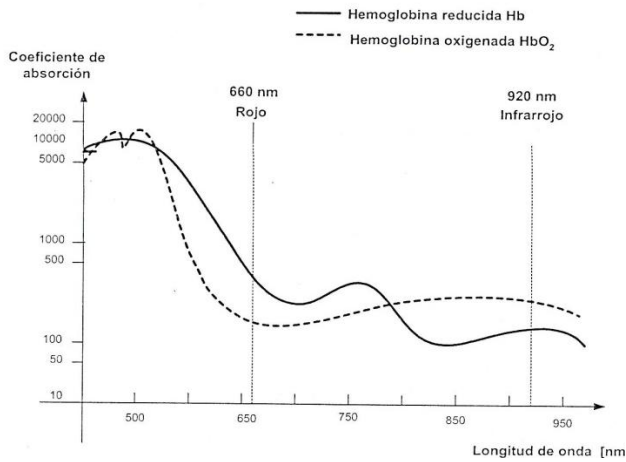


Fig.5.- Absorción para la hemoglobina oxigenada y la desoxigenada

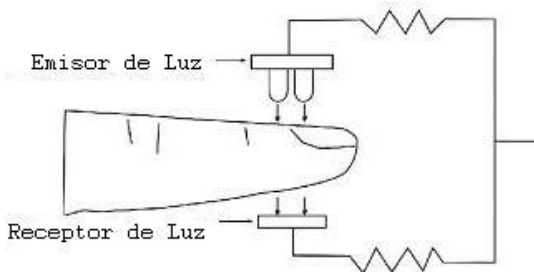


Fig.6.-Circuito realizado para la implementación del dedal

Se implemento un dedal que se encarga de mantener fijos los componentes de la figura 6, y también para que el dedo pueda entrar y permanecer ahí mientras se analiza las señales.

En la figura 7a y 7b se podrá apreciar el equipo diseñado artesanalmente y que será nuestro dedal de prueba:



Fig.7a. Diseño Artesanal del Dedal



Fig.7b. Forma correcta de Insertar dedo humano en el aparato de prueba

El circuito final consta de 11 etapas, las cuales se mostraran a lo largo del informe con su respectiva salida correspondiente en cada etapa y lo más importante, como se va comportando la señal al pasar de una etapa a otra hasta llegar a la etapa final donde se muestra la onda Pletismográfica en su máxima expresión.

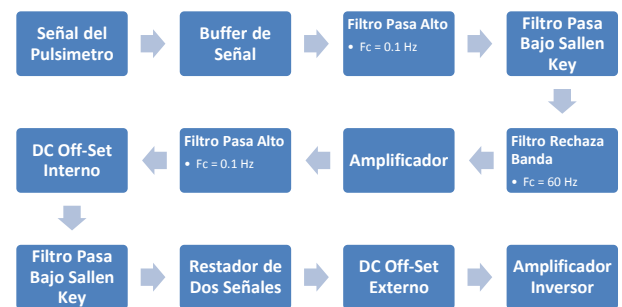


Fig.8. Diagrama de Bloques del pulsímetro

En la 1<sup>era</sup> etapa tenemos el **buffer de señal**, adquirido anteriormente mediante nuestro sensor resistivo LDR

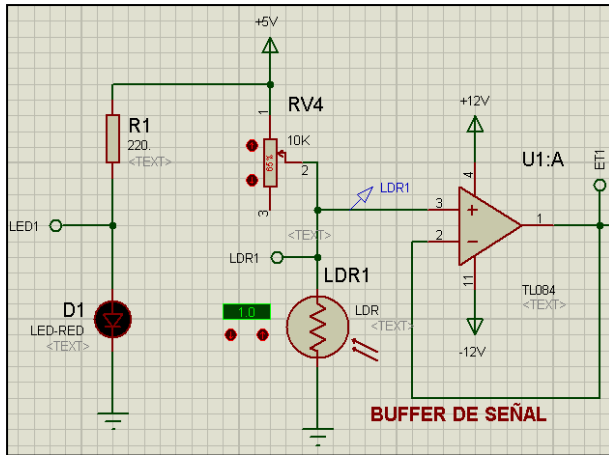


Fig.9.Gráfico del circuito Buffer de Señal

Luego pasa a una **2<sup>da</sup> etapa** donde aparece un filtro pasa alto con frecuencia de corte ( $F_c = 0.1 \text{ Hz}$ ), el circuito tiene como finalidad filtrar la señal de componente continua y permite adquirir señales de frecuencias superiores a la frecuencia de corte ( $F_c$ )

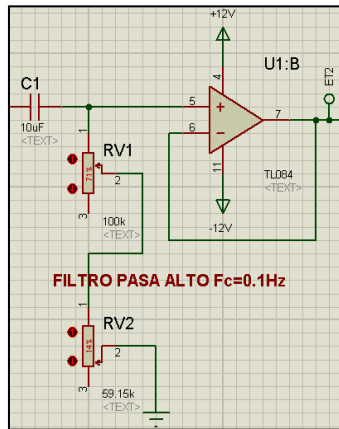


Fig.10.Gráfico del circuito Filtro Pasa Alto

Luego pasa a una **3<sup>era</sup> etapa** donde aparece un filtro pasa bajo con frecuencia de corte ( $F_c = 150 \text{ Hz}$ ), el circuito tiene como finalidad limitar nuestra frecuencia de trabajo ya que la señal se caracteriza por presentar componentes relevantes hasta la frecuencia de corte.

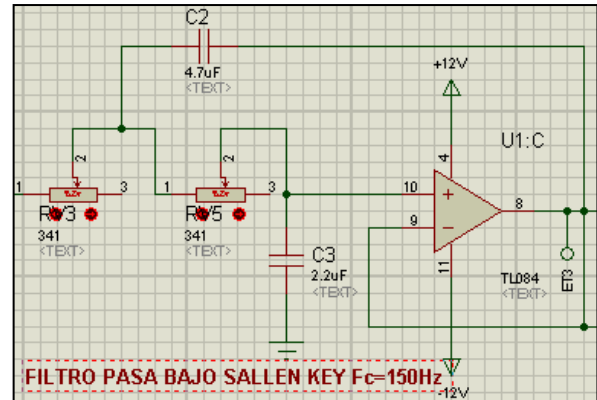


Fig.11.Gráfico del Circuito Filtro Pasa Bajo

Luego pasa a una **4<sup>ta</sup> etapa** donde aparece un filtro rechaza banda con frecuencia de operación ( $F_o = 60 \text{ Hz}$ ), el circuito permitirá suprimir la componente de la red eléctrica característica con la frecuencia de operación.

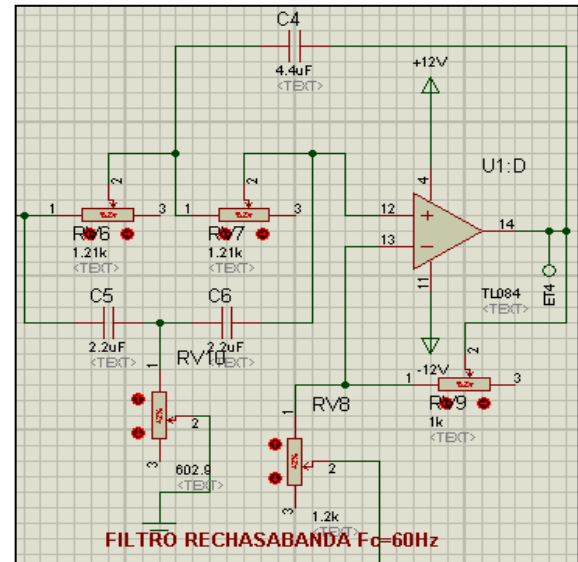


Fig.12.Gráfico del Circuito Filtro Rechaza Banda

Luego pasa a una **5<sup>ta</sup> etapa** donde aparece un amplificador inversor, que permitirá amplificar la señal en niveles de voltios.

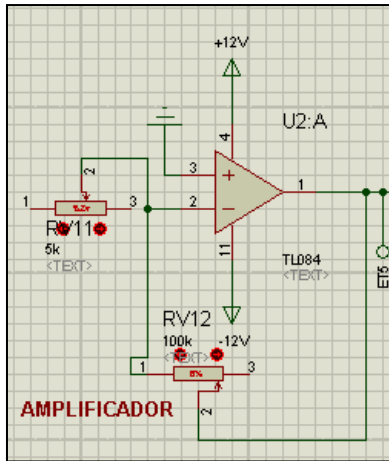


Fig. 13. Gráfico del Circuito Amplificador Inversor

Luego pasa a una 6<sup>ta</sup> etapa donde aparece un filtro pasa alto cuya finalidad eliminar la componente continua, se sabe que los circuitos OPAMs añaden una componente continua.

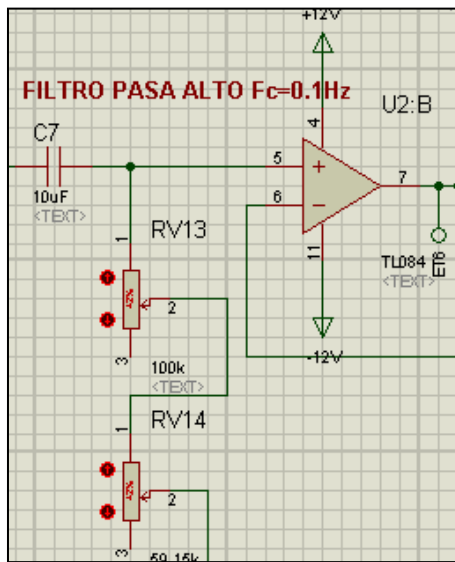


Fig. 14. Gráfico del Circuito Filtro Alto

Luego pasa a una 7<sup>ma</sup> etapa permitirá añadir o disminuir el voltaje requerido a la señal con el objetivo de poder obtener la señal.

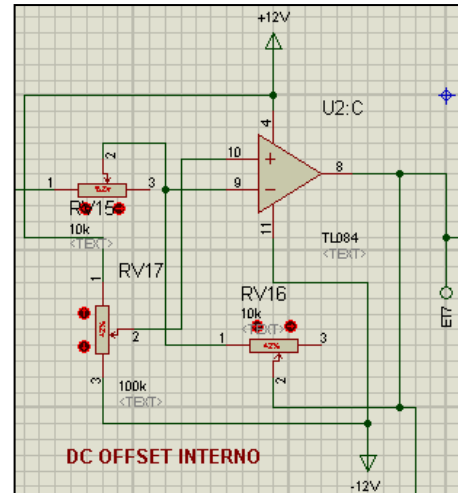


Fig. 15. Gráfico del Circuito DC Offser

Luego pasa a una 8<sup>va</sup> y 9<sup>na</sup> etapa donde aparece un restador de señales, se realiza la resta de las señales provenientes de la etapa 7 y 8, eliminaremos el ruido de baja frecuencia.

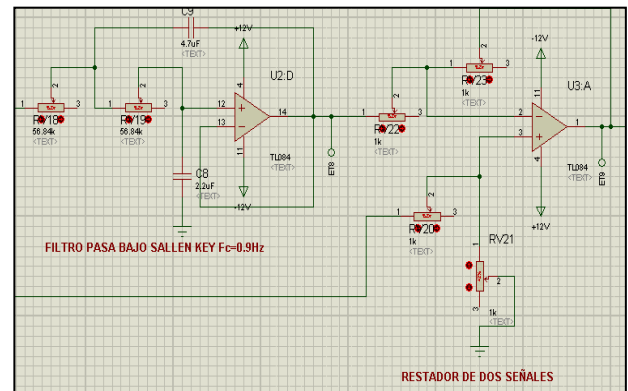


Fig. 16. Gráfico del Circuito Restador

Luego pasa a una 10<sup>ma</sup> y 11<sup>va</sup> etapa donde primeramente tenemos una un circuito DC Offset, permitirá desplazar la señal con componente positivo; y el amplificador inversor que desfasaremos 180 grados y amplifiaremos la señal.

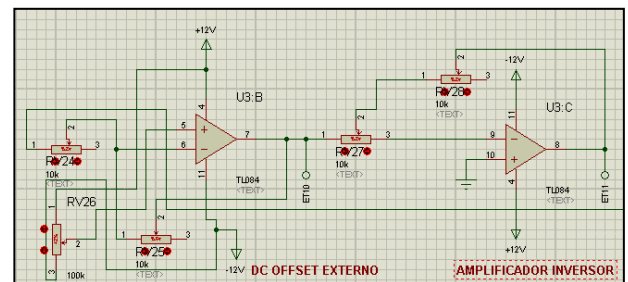
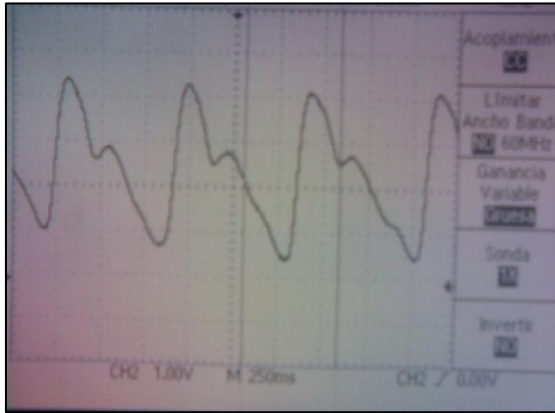


Fig. 17. Gráfico del Circuito DC Offset y Amplificador Inversor

Finalmente observamos la onda pletismográfica, vemos que es muy "nítida" y sobretodo libre de ruido. Idéntica a la onda teórica presentada anteriormente.



*Fig. 18. Onda pletismográfica mostrada en un osciloscopio, disculpas por la resolución de la imagen*

En la siguiente página, observaremos todas las etapas unidas y las cuales conforman el circuito general de nuestro proyecto.



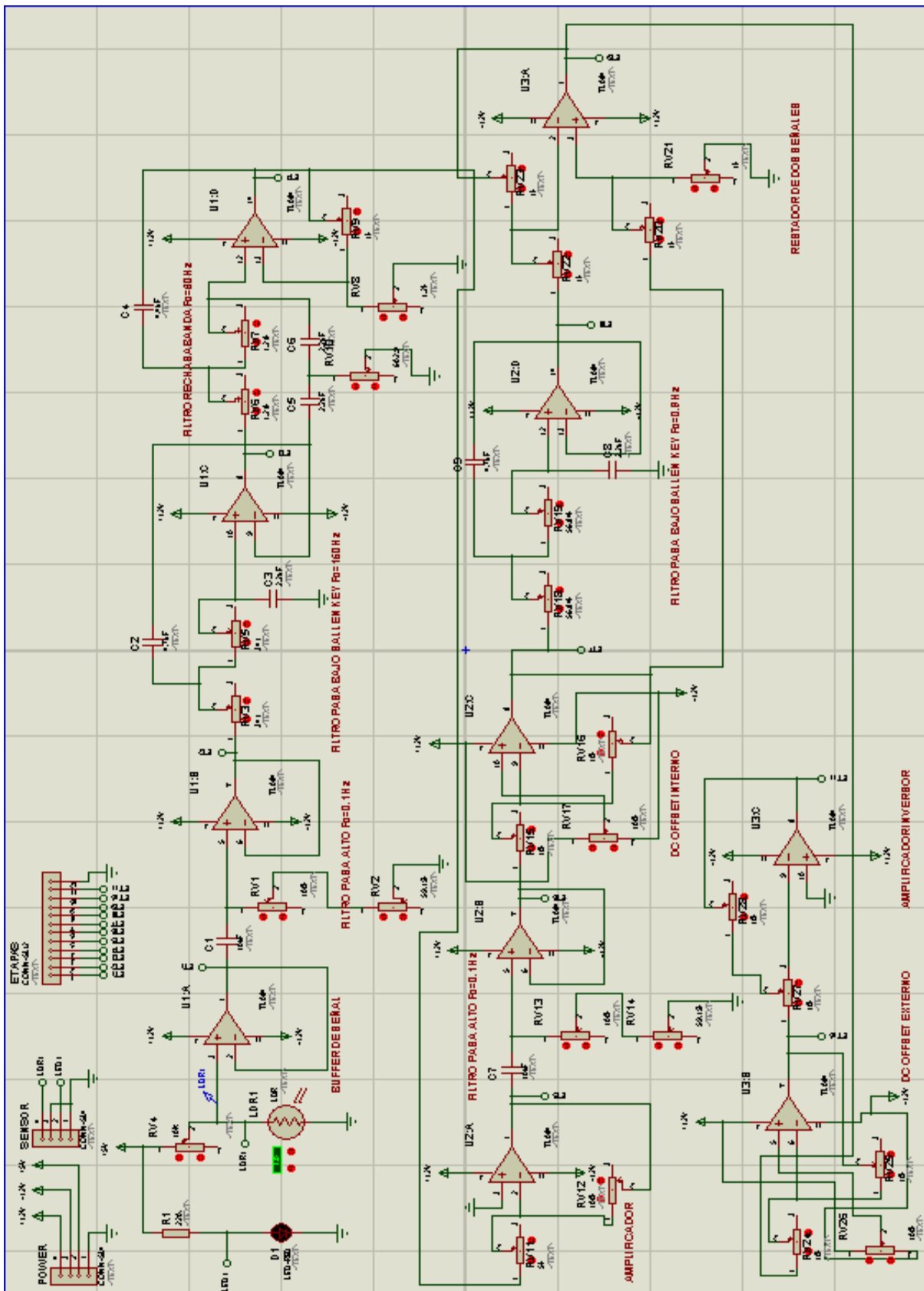


Fig.19. Circuito Total del Pulsímetro

#### 4. Conclusiones

- La realización del pulsímetro como proyecto a lo largo del curso, fue muy interesante, pues se

pudo analizar diversos circuitos como los diferentes filtros a usar, los amplificadores, los seguidores de voltajes, el circuito sumador con Op-Amps, etc.

- El tiempo que nos ha llevado realizar el pulsímetro ha sido mucho mayor comparándolo con el ECG por la elaboración del sensor, ya que se debió armar de tal manera que sea de fácil uso comercial y que se obtenga una buena medida con este sensor, caso contrario con lo que se tuvo con el ECG, ya que para ese proyecto utilizamos sensores comerciales y fáciles de adquirir, estamos hablando de los electrodos. Para el pulsímetro el sensor lo hemos elaborado para que sea de fácil comercialización y sea a la vez cómodo y nos dé una buena señal, claro que para esto también es muy importante el tratamiento de la señal para eliminar el ruido, por lo cual se ha pasado por filtros y por otros circuitos a la vez importantes para obtener una buena señal.
- En el diseño del dedal, es decir el sensor donde se recibe la señal en forma de luz a través del LDR, escogimos un LDR pequeño porque es más sensible a la luz del LED comparado con un LDR más grande donde la señal se distorsionaba porque captaba con mayor intensidad la luz externa del ambiente.
- La elaboración del dedal fue complicado, ya que la estructura debía hacerse de tal manera que mantenga fijo el dedo, el LED emisor y el LDR.
- Para mejorar la precisión del circuito utilizamos potenciómetros de precisión, en lugar de resistencia comunes.
- Debido al dedal elaborado, la señal a veces no salía de la manera que uno quería, a veces se perdía la señal, o se movía el dedo, fueron muchos los factores que afectaba la toma de las señales, así que se trato de tomar las señales que mejor salían, y obtener ahí una referencia del cual se pueda partir.
- En la etapa final, a veces se notaba que se introducía el ruido de una manera extraña, por más que se aplicaba un filtro pasabanda y Notch, el ruido pareciera que estuviera siendo amplificado, pero esto solo paso raras ocasiones y aun se desconoce el motivo.
- No hubo ningún problema con los filtros, ya que estos previamente habían sido analizados, implementado y probado, pero el problema radica en que la precisión de estos filtros, hace que los componentes que usa, sean muy caros.
- El LED emisor era alimentado con una fuente y una resistencia variable, lo cual no es muy

recomendable, ya que el flujo de corriente puede cambiar de acuerdo a la carga de la batería en caso se quiera usar pilas y no una fuente constante.

- La cantidad de hemoglobina que existe en un hombre como en una mujer es totalmente distinto por lo que se posee un rango diferente para cada uno de hemoglobina, el cual es mostrado en el pulsímetro.
- La cantidad de hemoglobina es superior en los hombres que en las mujeres, por lo cual al visualizar el pulso de una mujer comparada con el de un hombre la amplitud de la onda es menor.
- La frecuencia que observamos presente en la señal como ruido tiene una frecuencia de 120 Hz esto debido a las luces las cuales tienen el efecto de rizado por lo que se duplica la frecuencia de 60Hz a 120 Hz apreciándose además en algunas ocasiones componentes en frecuencia múltiplos de 60Hz.
- Para una buena toma de la señal se requiere que el dedo se mantenga quieto sin movimiento para evitar oscilaciones en el sistema o que la señal se pierda.

## 5. Recomendaciones

- Al momento de elaborar el dedal, hay que tomar en cuenta los tipos de sensores que se van a emplear, ya que de esto dependerá la robustez de la señal, y también que sea lo suficientemente estable al momento de mover el dedo que está dentro del dedal y que no hayan cambios internos.
- Los filtros deben elaborarse de una manera que atenúen el ruido de una manera significativa y que también no consuma espacio, se debe hacer lo más compacto posible, sin perder la calidad del filtro.
- El LED debe ser alimentado por una fuente de corriente constante, para que la señal no sufra cambios al momento de variar ligeramente el voltaje.

## 6. Referencias Bibliográficas

- [1] José María Angulo Usategui y otros, *Microcontroladores PIC Diseño practico de aplicaciones 2da parte*, McGraw Hill, 2da edición, 2006, p. 143.
- [2] Enrique Palacios y otros, *Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos*, Alfaomega - Ra-ma, Primera edición, 2004, México, p 508. Roger L. Freeman, *Telecommunications System Engineering*, John Wiley & Sons Inc., 2004, p. 268
- [3] Roger L. Freeman, *Telecommunications System Engineering*, John Wiley & Sons Inc., 2004, p. 268.



- [4] Dogan Ibrahim, *Advanced PIC Microcontrollers Projects in C from USB to Zigbee with the PIC 18F Series*, Elsevier Science & Technology Rights Department in Oxford, 2008, p. 31.
- [5] Fernando E. Valdés – Perez y Ramon Pallas- Areny, CRC Press, ISB 978-1-4200-7767-4, 2009, pp 240-241
- [6] Bruno Siliciano y Oussama Khatib, *Handbook of Robotics*, Springer, 2008, p.975
- [7] Anibal Ollero Baturone, *Robótica Manipuladores y robots móviles*, Alfaomega- Marcombo, 2001, p.55.