



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

CONTROL DEL MOVIMIENTO DE UN VEHÍCULO A CONTROL REMOTO A TRAVÉS DE SEÑALES EOG

Wladimir Posada Ocaña ⁽¹⁾, Marcos Gabriel Cabrera ⁽²⁾, M.Sc. Miguel Yapur ⁽³⁾

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

wposada@espol.edu.ec ⁽¹⁾, magcabre@espol.edu.ec ⁽²⁾, myapur@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

El presente trabajo consiste en el diseño de un dispositivo electrónico que capte las señales eléctricas de los músculos del ojo; estas señales a su vez serán recogidas por electrodos, llevadas a un circuito electrooculógrafo (EOG) y posteriormente interpretadas por un sistema electrónico basado en un microcontrolador (PIC), el cual enviará las indicaciones del movimiento al control remoto de un vehículo.

El circuito EOG consta de un amplificador de la señal eléctrica recibida por los electrodos y una serie de filtros para que la señal pueda ser enviada al microcontrolador (PIC), el mismo que se encarga de interpretar las señales recibidas y enviar las indicaciones del movimiento al control remoto del vehículo, las indicaciones son: Avanzar, Retroceder, Detenerse, Derecha, Izquierda.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo que sea adaptado a sistemas eléctricos más complejos, como el control de una silla de ruedas eléctrica y que sirva para mejorar la calidad de vida de las personas parapléjicas.

Abstract

This project involves the design of an electronic device that captures electrical signals from the muscles of the eye; These signals will be picked up by electrodes taken to a circuit EOG and then interpreted by an electronic system based on a microcontroller (PIC), which sends indications of movement to the remote control of a vehicle. EOG circuit consists of an amplifier of the electrical signal received by electrodes and a series of filters, so that the signal can be sent to the microcontroller (PIC), the same that is responsible for interpreting the received signals and sending signs of movement remote control of the vehicle; indications are: Forward, Reverse, Stop, Right, Left. The objective of this project is to develop a prototype to be adapted to more complex electrical systems, such as controlling an electric wheelchair for improving the quality of life of paraplegics

1. Introducción

El circuito electrooculógrafo está conformado por un conjunto de etapas que permiten amplificar y filtrar adecuadamente las señales EOG. El sistema electrónico de control tiene como elemento principal un PICmicro.

El PICmicro funciona en base al programa almacenado en su memoria Flash, este programa permite identificar el tipo de señales EOG recibidas, las cuales pueden ser: pestañeo, mirar arriba, mirar abajo, derecha o izquierda; Los elementos electrónicos que acompañan al PICmicro en el sistema de control constan de un interfaz que usa el PICmicro para comunicar las acciones que debe ejecutar el vehículo.

2. Definiciones y Conceptos Básicos

2.1 Sistema motor ocular

El movimiento ocular está controlado por seis músculos externos que rodean parcialmente el globo ocular, son 4 rectos y dos oblicuos. Cuatro músculos controlan los movimientos arriba, abajo e inclinación, y dos músculos controlan los movimientos izquierda y derecha.

Al observar un objeto situado a una distancia cercana, ambos ojos rotan hacia adentro; si el objeto está a la izquierda, el ojo izquierdo rota hacia afuera y el derecho rota hacia adentro. Para que los dos ojos estén alineados enfocando en un punto, todos los músculos deben estar trabajando en armonía los de un lado con los del otro.

2.2 Electrooculografía

La electrooculografía es un método que registra los movimientos horizontales y verticales de los ojos, para lo cual analiza la diferencia de potencial producida en el globo ocular. Estos potenciales son adquiridos por medio de electrodos ubicados cerca de los músculos del ojo.

2.3 Señal bioeléctrica

Son potenciales iónicos producidos por la actividad electroquímica de ciertas células llamadas excitables, y se las puede encontrar en el tejido nervioso, muscular o glandular. Las señales bioeléctricas son el resultado de medir con electrodos, los potenciales de muchas células.

2.4 Generación del potencial bioeléctrico

La retina está compuesta por neuronas también llamadas fotorreceptores. Los fotorreceptores son de dos tipos: conos y bastones (Ver figura 1); Ambos receptores tienen distinta sensibilidad eléctrica a la luz, y su polarización depende de la intensidad de luz a la que se exponen.

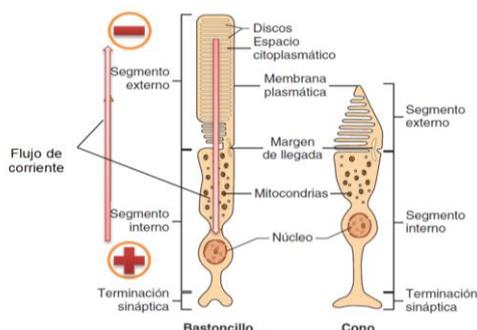


FIGURA 1. Estructura de bastoncillo y cono
(Tomado de

<http://saludocupacionalsena2011.blogspot.com/2011/05/sistema-visual.html>)

La capa exterior del ojo está compuesta por el segmento externo de los fotorreceptores que sobresalen de la retina, y por lo tanto esta capa tiene un potencial negativo en relación a la terminación sináptica (superficie posterior de la retina). La diferente concentración de las células a los lados de la membrana celular constituye un d.d.p. (diferencial de potencial) generador de un campo eléctrico apreciable; ver figura 2. Es por esa razón, que se considera al globo ocular como un dipolo eléctrico, donde la parte posterior del ojo es eléctricamente negativa respecto a la córnea que sería eléctricamente positiva. [3]

Al medir la diferencia de potencial entre la córnea y la parte posterior del ojo, se obtiene un valor de 6 [mV]. Este potencial corneo-retinal, que está aproximadamente alineado con el eje óptico y gira con la dirección de la mirada, se puede medir mediante electrodos de superficie, colocados sobre la piel alrededor de los ojos; los potenciales reales que se registran son de entre 15 a 200 [uV]. [7]

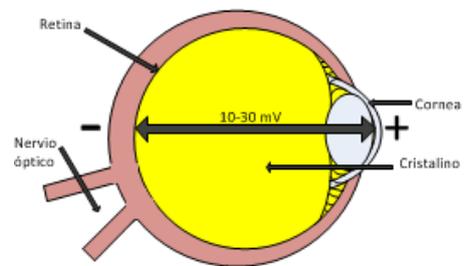


FIGURA 2. Dipolo eléctrico ocular
(Tomado de

<http://recibe.cucei.udg.mx/beta/revista/en/vol3-no2/biomedica02.html>)

3. Aspectos Técnicos

A continuación se muestra las etapas del circuito EOG

3.1. Diagrama de bloques del dispositivo electrónico EOG

Se muestra el diagrama de bloques del dispositivo electrónico EOG, de los cuales los primeros tres bloques conforman un circuito EOG, y los otros tres bloques un sistema electrónico de control.

- Electrodos
- Pre-amplificación
- Filtrado
- Acondicionamiento
- Interpretación de las señales y toma de decisiones (Microcontrolador)
- Control del Transmisor de RF

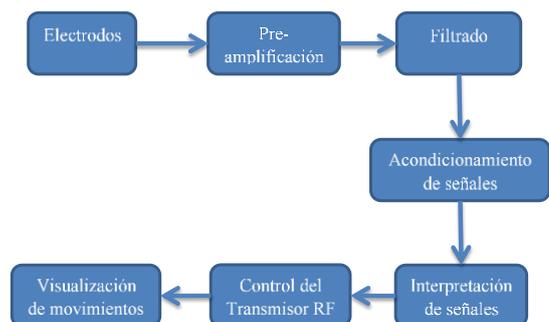


FIGURA 3. Diagrama de bloques del dispositivo EOG

3.2 Componentes del circuito EOG.

En esta sección se detalla cada una de las etapas que forman parte del circuito EOG.

Pre-amplificación

Las señales obtenidas de los electrodos son del orden de los microvoltios y son susceptibles al ruido, por lo tanto será necesario el uso de un amplificador de instrumentación.

Los amplificadores de instrumentación son utilizados para medir tensiones muy pequeñas en presencia del ruido. Ellos cumplen las características de:

Una ganancia seleccionable que sea estable y lineal. Representada como "Ad".

Entrada diferencial con CMRR alta

Impedancia de entrada bien alta e impedancia de salida muy baja

En base a un análisis eléctrico se deduce que las ecuaciones que rigen el comportamiento del amplificador de instrumentación son:

Voltaje de salida:

$$V_o = Ad(V^+ - V^-)$$

Donde:

Ad es la ganancia diferencial del amplificador de instrumentación.

V^+ y V^- , son las señales de voltaje a la entrada del amplificador,

Ganancia diferencial:

$$Ad = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + 2 \frac{R_a}{R_g} \right)$$

$$Ad = f(R_g)$$

Donde: R_1, R_2, R_a y R_g son cada una de las resistencias que conforman el amplificador de instrumentación, tal como se lo aprecia en la figura 2.2.

Al reemplazar los siguientes valores de resistencia en la ecuación 2.2, se obtiene el valor de la ganancia diferencial del amplificador de instrumentación, el cual es aproximadamente 69.3.

$$R_1 = R_3 = 10K, \quad R_4 = R_2 = 33K$$

$$R_a = R_b = 100K, \quad R_g = 10K$$

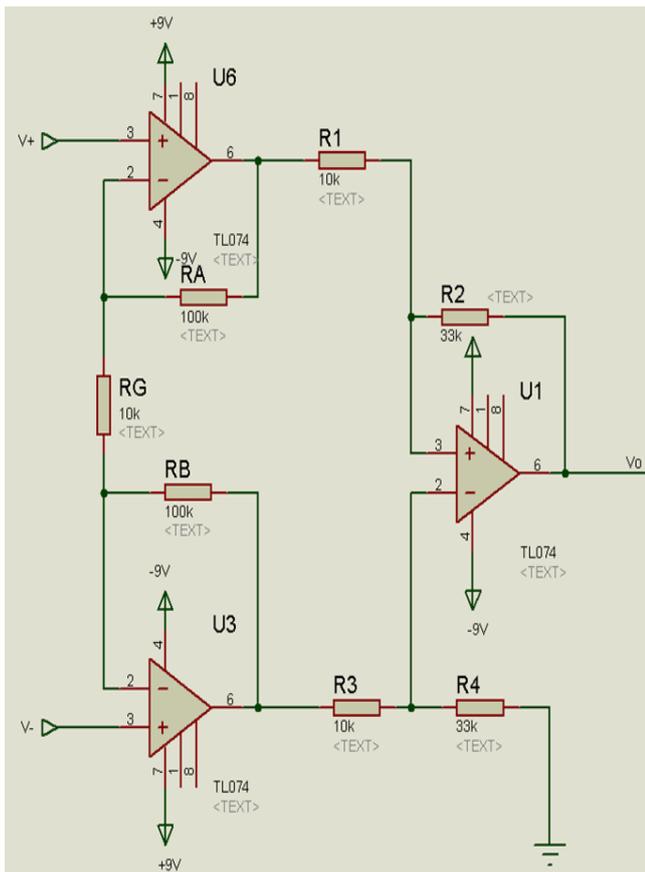


FIGURA 4. Amplificador de instrumentación

3.2.1 Filtro pasa-alto

Este filtro tiene como objetivo eliminar la componente DC de las señales; esta componente es resultado de la diferencia de potencial entre los electrodos activos con respecto al de referencia.

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

Al escoger los valores de $R=1M\Omega$ y $C=1\mu F$ y reemplazarlos en la ecuación. Se obtiene la frecuencia de corte deseada $f=0.156Hz$

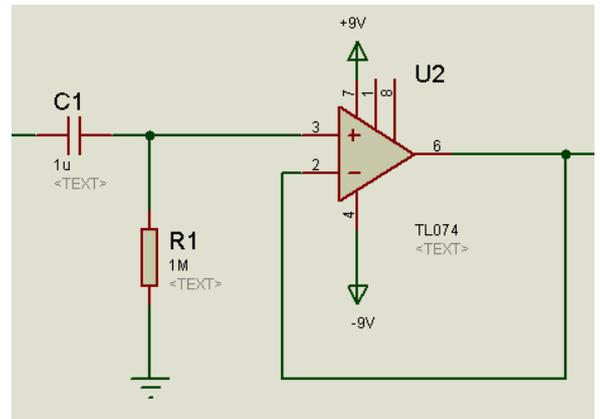


FIGURA 5. Filtro pasa-alto.

3.2.2. Filtro pasa-bajo

La existencia del ruido de alta frecuencia en la señal hace necesario la implementación de un filtro pasa-bajo. El filtro seleccionado es de segundo orden, del tipo Sallen-Key, con una frecuencia de corte de 40Hz.

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}}$$

$$A = 1 + \frac{RA}{RB}$$

Donde: $RA, RB, R1, R2$ y $C1, C2$ son las resistencias y capacitancias que conforman el filtro. Ver figura 6 Para obtener la frecuencia deseada se escogen los valores de:

$$R1=R2=1K\Omega$$

$$C1=3.3\mu f \text{ y } C2=4.7\mu f$$

La frecuencia de corte teórica que se obtiene es $f_c=40.41Hz$ y además la ganancia del filtro será $A=2$. Lo cual indica que las señales con frecuencia menor a la del filtro (f_c), se amplificarán con un factor igual a 2.

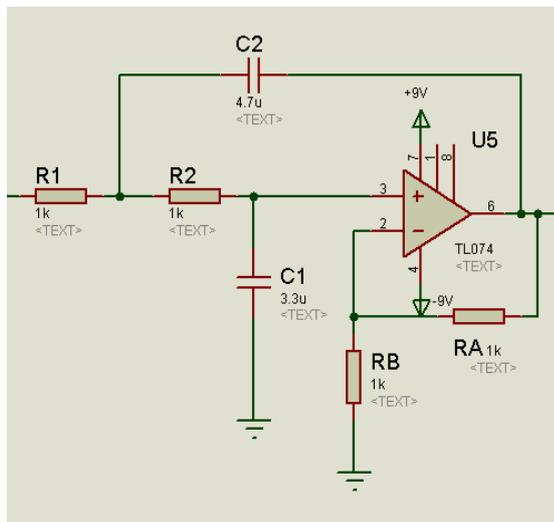


FIGURA 6. Filtro pasa-bajo

3.2.3 Filtro Notch

La señal obtenida de las etapas anteriores es susceptible a ruidos de 60Hz, los cuales son inducidos por la red eléctrica. Para eliminar este problema se utiliza un filtro Notch o también llamado filtro de rechazo banda; este filtro no permite el paso de las señales con las frecuencias especificadas.

$$f_{notch} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R = 1.2k\Omega \text{ y } C = 2.2\mu F$$

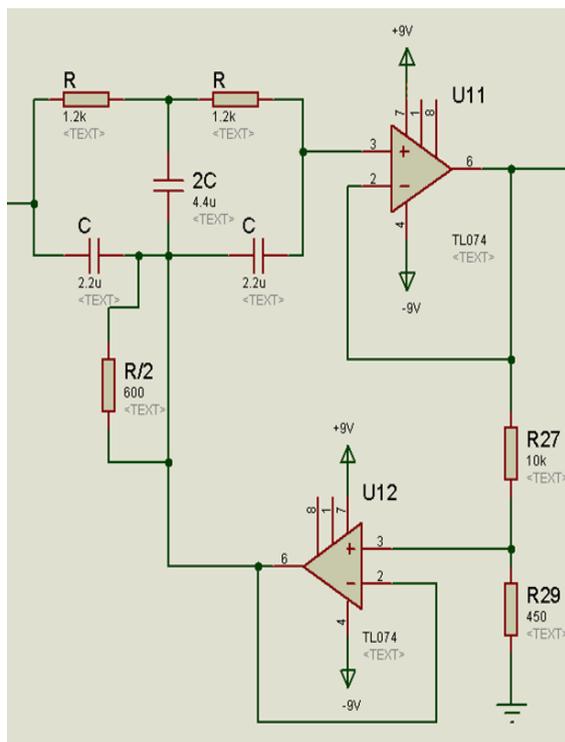


FIGURA 7. Filtro Notch.

3.3. Componentes del sistema electrónico de control

A continuación se detalla cada una de las etapas que forman parte de este sistema, el cual tiene la finalidad de interpretar las señales recibidas y en función de ello, controlar el movimiento de un vehículo.

3.3.1 Acondicionamiento de la señal

En este Bloque se pretende llevar la señal filtrada a niveles de voltaje adecuado (0 a 5) [V], de tal manera que el PIC sea capaz de interpretar esas señales. Para lograrlo se usa:

- Un amplificador de instrumentación que amplifica la señal del orden de milivoltios a voltios. Este amplificador es idéntico al de la primera etapa. (Figura 4.)
- Un amplificador inversor para fijar la amplitud de la señal entre 0 y 4[V]. (Figura 8.)
- Un amplificador sumador inversor para darle un offset a la señal de 2 [V]. (Figura 9.)

R_x y R_i son las resistencias del amplificador mostradas en la figura 2.7. Se debe Considerar que R_x es una resistencia variable y R_i es una resistencia fija.

Si $R_i=10K\Omega$ y $R_x=[0-15]K\Omega$ entonces la ganancia de voltaje proporcionada por esta configuración está entre $A=[0-1.5]$.

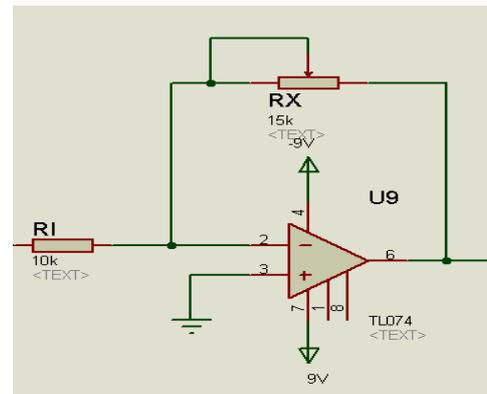


FIGURA 8. Amplificador inversor.

La siguiente ecuación representa el voltaje de salida del amplificador sumador inversor.

$$V_o = -\frac{R_f}{R_{i1}}V_{i1} - \frac{R_f}{R_{x2}}V_{dc}$$

Donde:

R_f, R_{i1}, R_{x2} son las resistencias de la configuración del amplificador. Ver figura 9.

V_{i1} es la señal de entrada.

V_{dc} es una señal de voltaje

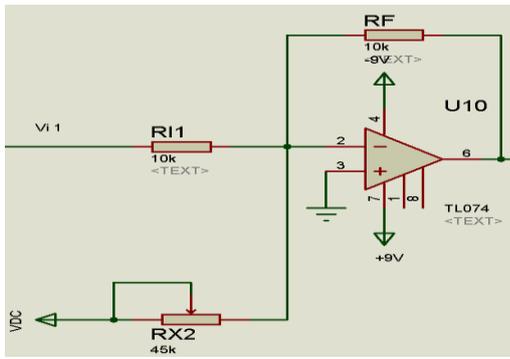


FIGURA 9. Amplificador sumador inversor

3.3.2. Interpretación de las señales y toma de decisiones

Esta etapa usa como elemento principal un microcontrolador, el PIC 16F887

El PIC usa dos entradas analógicas del puerto A para recibir las señales a estudiar, las cuales son: señal de movimiento horizontal y señal de movimiento vertical; las salidas del puerto D controlan el transmisor de RF. Estas conexiones se las aprecia en la figura 10.

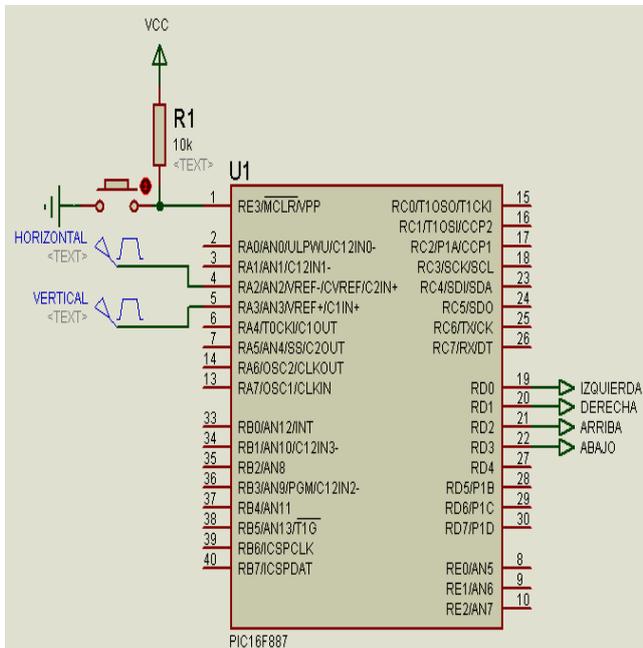


FIGURA 10. Conexión del PIC a las señales EOG

3.3.3 Control del transmisor RF

Cada una de las salidas del puerto D (RD0 a RD3) controla un botón (o contacto) del transmisor de RF. Debido a que no es posible la conexión directa entre las salidas del PIC y el transmisor RF, se ha diseñado el circuito de la figura 2.10. El circuito de la (figura 11) está formado por un transistor, y un relé. El transistor trabaja en corte y saturación, energizando o des-energizando la bobina del Relé; el contacto N.A. del Relé reemplaza al botón respectivo del transmisor de RF; de esa forma cuando una salida del PIC es activada, el contacto respectivo del transmisor de RF se cierra.

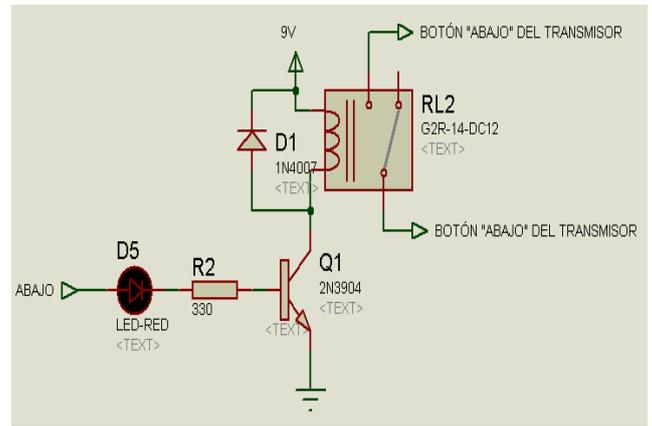


FIGURA 11. Conexión entre el microcontrolador (PIN RD3) y el transmisor

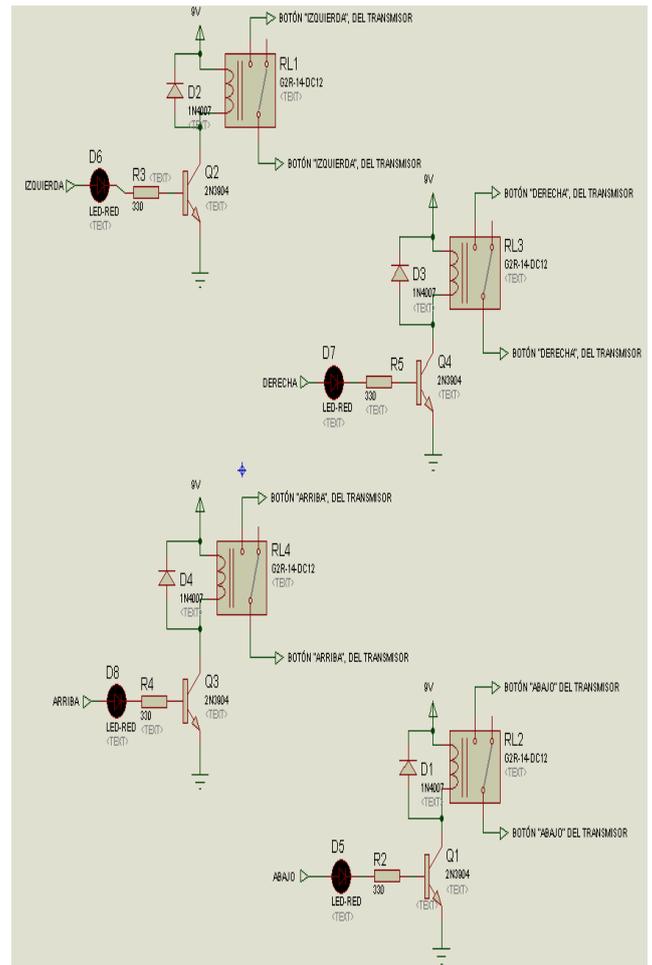


FIGURA 12. Conexión entre el microcontrolador y el transmisor

3.3.4. Programación

El programa del microcontrolador se ha diseñado en código C y consta de dos partes: control del movimiento horizontal y control del movimiento vertical. En las figuras siguientes se muestran los diagramas de flujos del programa. El primer programa está encargado de interpretar las señales del pin AN2 (figura 13), y el programa de la (figura 14) interpreta las señales del pin AN3.

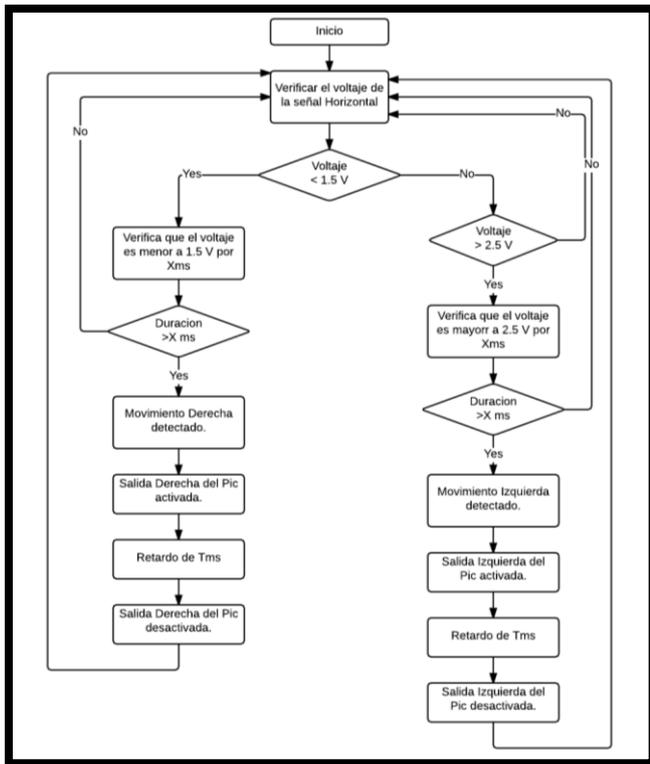


FIGURA 13. Diagrama de flujo del movimiento horizontal

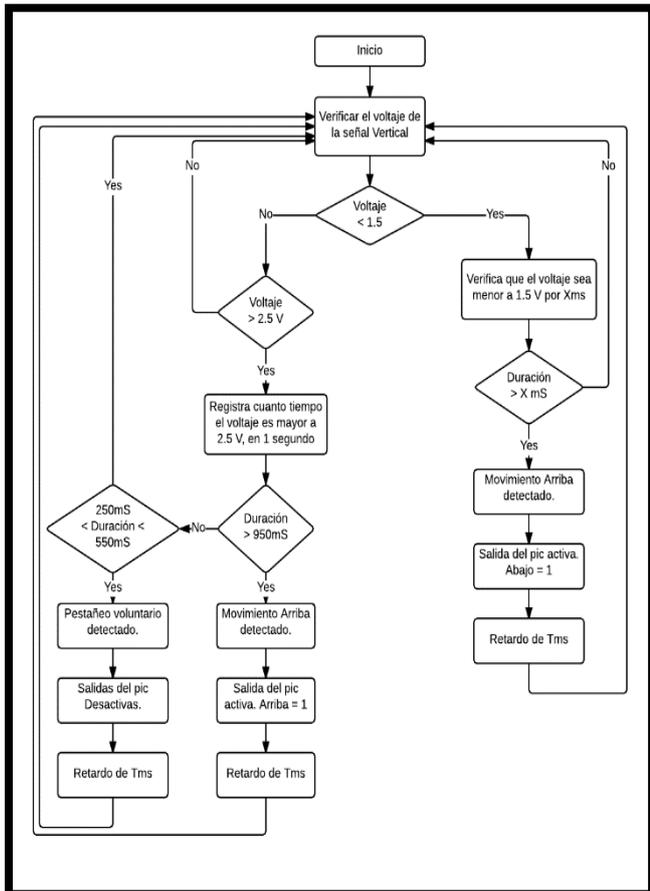


FIGURA 14. Diagrama de flujo del movimiento vertical.

4. Procedimientos e Implementación

4.1 Instrumentación

En esta sección se podrá evidenciar la forma cómo la actividad bioeléctrica en los ojos es captada a nivel de la piel por los electrodos, posteriormente será amplificada y, finalmente, registrada. Sin embargo, para la obtención de esta señal, es imprescindible la utilización de electrodos que son los responsables de la adquisición de los biopotenciales y en este caso, para detectar la actividad eléctrica de los ojos.

Los electrodos deben ser diseñados y construidos de tal manera que permitan registrar la actividad eléctrica de forma eficaz y con el mínimo de distorsión.

En esta implementación vamos a utilizar los electrodos superficiales tipo Ag/AgCl, puesto que son grandes conductores y brindan las características adecuadas para el EOG.

Con la finalidad de obtener la mejor adaptación de la interfaz electrodo-piel, estos electrodos, por sus características, son diseñados con el objetivo de eliminar alteraciones o perturbaciones originadas por movimientos y desplazamientos, evitando cualquier contacto directo entre el electrodo y la piel; el único camino conductor entre el electrodo y la piel es el gel o pasta electrolítica.

4.2 Sistema de posicionamiento de los electrodos

Las derivaciones del EOG pueden obtenerse colocando dos electrodos en la parte lateral de los ojos para la derivación horizontal (A-B) y otro par de electrodos arriba y debajo de los ojos para la derivación vertical (C-D). El electrodo de referencia se coloca en la frente (E) utilizándose un total de 5 electrodos. [5] Ver figura 16.

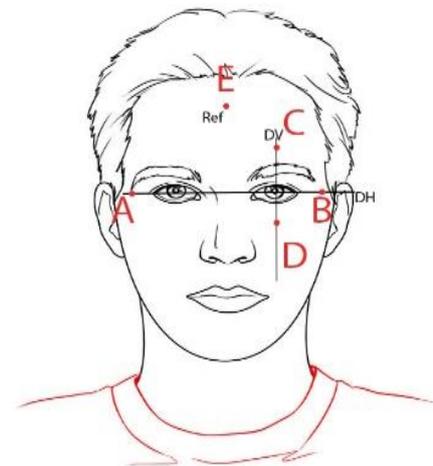


FIGURA 15. Punto A (izquierda), punto B (derecha), arriba (C), abajo (D), referencia (E)

4.3 Tarjeta de adquisición de datos

Se presenta a continuación la tarjeta con cada uno de los elementos que conforman el circuito completo que permite adquirir las señales del ojo.

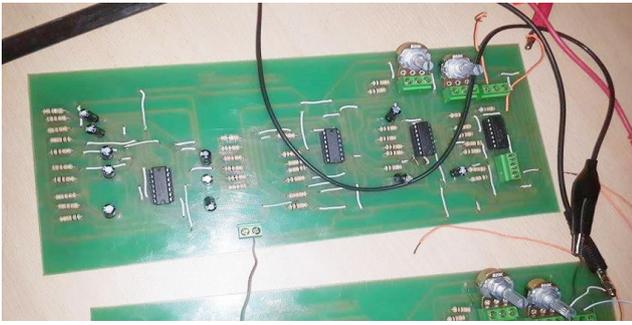


FIGURA 16. Placa de Amplificación y filtrado (EOG)

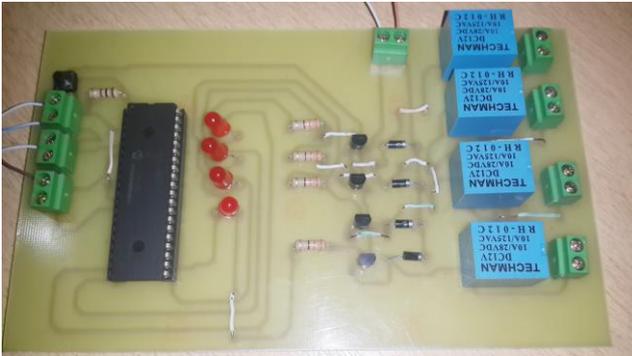


FIGURA 17. Placa de acoplamiento y control (EOG)

5. Resultados

5.1 Señales visualizadas en el osciloscopio

Como ya se ha mencionado, la señal EOG es del orden de los microvoltios. Por medio de etapas de filtrado y acondicionamiento se logró obtener señales EOG útiles para ser interpretadas por el microcontrolador; las señales EOG obtenidas son de una amplitud de 4 voltios pico a pico y con un offset de 2V.

5.1.1 Movimiento horizontal

En este movimiento se tienen 2 tipos de señales: la primera señal corresponde al cambio de mirada hacia la derecha (ver figura 21), y la otra señal el cambio de mirada hacia la izquierda (ver figura 22).

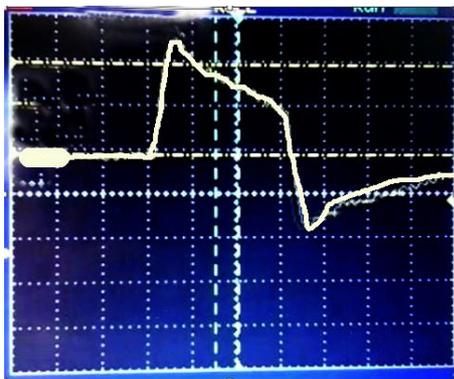


FIGURA 18. Señal EOG de mirada a la derecha

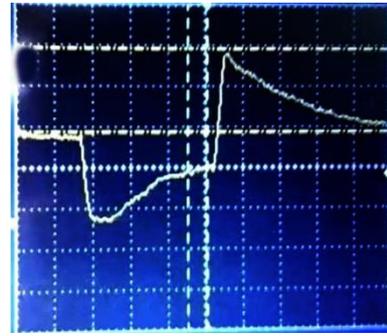


FIGURA 19. Señal EOG de mirada a la izquierda

5.1.2 Movimiento vertical

En este movimiento se tienen 3 tipos de señales: la primera señal corresponde al cambio de mirada hacia arriba (ver figura 23), la siguiente señal es el cambio de mirada hacia abajo (ver figura 24), y la última señal es un pestañeo (figura 25).

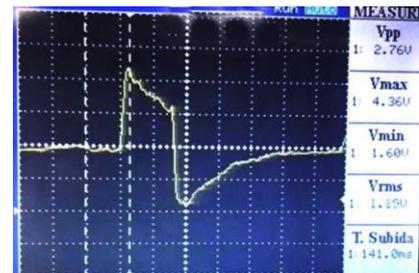


FIGURA 20. Señal EOG de mirada arriba



FIGURA 21. Señal EOG de mirada abajo

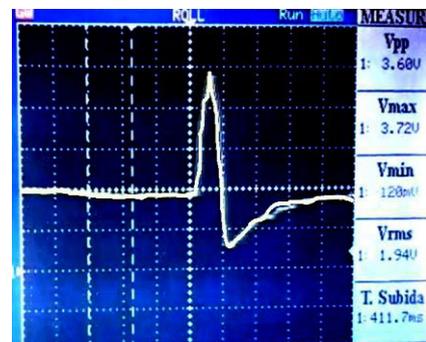


FIGURA 22. Señal EOG de pestañeo

Una vez que el microcontrolador interpreta la señal recibida, comunica la información al medio usando leds como indicadores (Figura 26) y un radio control (Figura 27) para mover un vehículo a control remoto (Figura 28)



FIGURA 23. Leds indicadores de movimiento



FIGURA 24. Radio control



FIGURA 25. Vehículo

A continuación se presenta la siguiente tabla, la cual muestra la información enviada por el microcontrolador a los Leds indicadores y al radio control.

Tabla 1. Interpretación de señales

Señal EOG	Leds indicadores	Orden enviada al radio control
Derecha	Led 1 y 3 encendido	Giro a la derecha por t segundos
Izquierda	Led 2 y 3 encendido	Giro a la izquierda por t segundos
Arriba	Led 3 encendido	Movimiento hacia adelante
Abajo	Led 4 encendido	Movimiento hacia abajo
Pestañeo	Leds apagados	Detener vehículo

6. Conclusiones

Se logró diseñar un dispositivo electrónico capaz de interpretar las señales EOG y controlar el radiocontrol de un vehículo en función de esas señales.

Para el diseño de los filtros se requería que las señales estén entre 0.15Hz a 40Hz para lo cual se utilizó un filtro pasa-bajos y un filtro pasa-altos, además dos filtros Notch de 60 Hz para eliminar el efecto de la red eléctrica; de esta manera se logró atenuar todo tipo de ruido de la señal EOG.

Se diseñó un circuito acondicionador que permite el acoplamiento entre las señales EOG y las entradas analógicas del PIC. Con esta etapa el PIC es capaz interpretar correctamente las señales EOG

Este dispositivo electrónico podría ser aplicado a circuitos más avanzados, como por ejemplo el control de una silla de ruedas.

7. Recomendaciones

Para indicar una orden de manera efectiva al dispositivo, el usuario deberá mantener el cambio de mirada un tiempo mayor o igual a 1 segundo.

Para la alimentación del microcontrolador se recomienda usar una fuente con 5[V], caso contrario se producirán fallos en el funcionamiento del programa, y por ende en el funcionamiento del dispositivo diseñado. Esto es debido a que el programa está diseñado para que el PIC funcione con 5[V].

El usuario del dispositivo debe realizar movimientos oculares puros es decir realizar al mismo tiempo movimientos horizontales y verticales, de lo contrario producirías errores en la interpretación de las señales.

Para la adquisición del biopotencial de los ojos es necesario utilizar cables lagarto-banana de buena calidad, o cables adaptadores de electrodos reutilizables.

8. Referencias

- [1] Dell'osso Louis F. y Daroff Robert B., Características y técnicas de registro de los movimientos oculares, http://www.omlab.org/personnel/lfD/Jrnl_Arts/Book_Chapters/018_Caract_tecnicas_registro_mov_ocular_1982.pdf, fecha de consulta enero 2015
- [2] Quiroz Francis, Fisiología Ocular, http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/medicina/cirugia/tomo_iv/archivospdf/03fisiologia_ocular.pdf, fecha de consulta enero 2015
- [3] Méndez Xavier, Diseño y construcción de un sistema de control del cursor de un computador mediante señales electro-oculográficas para personas con discapacidad motriz, <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3347>, fecha de consulta enero 2015
- [4] MikroElectronica, Microcontrolador PIC16F887, <http://www.mikroe.com/chapters/view/86/libro-de-a-programacion-de-los-microcontroladores-pic-en-basic-capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/#c3v1>, fecha de consulta marzo 2015.
- [5] Nirello Carrillo Flavio, Rubio Fredy Daniel, Zarzosa Steve, Módulo de detección, registro y presentación de señales electrooculográficas, http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/electronica/2009_n24/pdf/a02.pdf, fecha de consulta marzo 2015.
- [6] My store express, Coldfire Electrónica, <http://www.coldfire-electronica.com/>, fecha de consulta febrero 2015
- [7] Jobin Jose, Development of EOG Based Human Machine Interface Control System for Motorized Wheelchair, <http://ethesis.nitrkl.ac.in/4856/1/211BM1209.pdf>, fecha de consulta enero 2015

