



**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”**

**INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN EN ELECTRÓNICA Y  
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Presentado por:**

**Wladimir Lenin Posada Ocaña**

**Marcos Gabriel Cabrera Suquilanda**

**Guayaquil – Ecuador**

**2015**

## **AGRADECIMIENTO**

A Jehová, Dios de salvación, creador y proveedor de oportunidades; a nuestros padres y familiares por todo su apoyo durante nuestros años de estudio; al Ing. Miguel Yapur por sus conocimientos impartidos, y por la ayuda brindada en la realización de este proyecto.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis Padres, a mi esposa,  
a mi hijo y a mis hermanos por su respaldo.

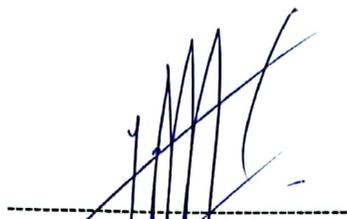
¡Gracias! sin su ayuda no lo hubiese podido  
lograr.

Marcos Gabriel Cabrera Suquilanda.

Dedico este trabajo a la Dr. Susana Posada, mis  
padres, mis tíos y hermanos, por su ayuda  
incondicional en los momentos difíciles.

Wladimir Lenin Posada Ocaña.

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

A handwritten signature in blue ink, consisting of several vertical, slightly curved strokes, positioned above a horizontal dashed line.

Ing. Miguel Yapur Auad

**PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN**

A handwritten signature in blue ink, written in a cursive style, positioned above a horizontal dashed line.

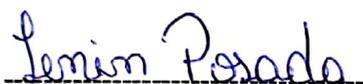
Ph. D. Douglas Plaza Guingla

**PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Wladimir Lenin Posada Ocaña



Marcos Gabriel Cabrera Suquilanda

## 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.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	xiv
 CAPÍTULO 1	
DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS .....	1
1.1    Fisiología del ojo humano .....	1
1.1.1    Capa externa.....	2
1.1.2    Capa intermedia.....	2
1.1.3    Capa interna.....	2
1.2    Descripción general de las partes oculares y sus funciones.....	3
1.3    Sistema motor ocular .....	5
1.4    Tipos de movimiento en los ojos.....	6
1.4.1    Versiones. ....	7
1.4.2    Vergencias .....	8
1.5    Electrooculografía.....	8
1.5.1    Señal bioeléctrica .....	9

1.5.2	Generación del potencial bioeléctrico.....	9
1.5.3	Sistema electrooculográfico .....	11
CAPÍTULO 2		
DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO		
ELECTROOCULÓGRAFO (EOG) .....		
2.1.	Diagrama de bloques del dispositivo electrónico EOG .....	14
2.2.	Componentes del circuito EOG .....	15
2.2.1.	Pre-amplificación.....	15
2.2.2.	Filtro pasa-alto.....	17
2.2.3.	Filtros pasa-bajo.....	19
2.2.4.	Filtros Notch .....	21
2.3.	Componentes del sistema electrónico de control .....	23
2.3.1.	Acondicionamiento de la señal.....	23
2.3.2.	Interpretación de las señales y toma de decisiones.....	26
2.3.3.	Control del transmisor RF .....	28
2.4.	Programación .....	30
CAPÍTULO 3		
PROCEDIMIENTOS E IMPLEMENTACION.....		
3.1.	Instrumentación .....	33

3.2.	Sistema de posicionamiento de los electrodos .....	35	
3.3.	Montaje, selección y aplicación de electrodos en un EOG .....	36	
3.4.	Alimentación del equipo .....	38	
3.5.	PCB del circuito .....	39	
3.6.	Tarjetas EOG y adquisición de datos .....	41	
3.7.	Circuito Completo .....	42	
CAPÍTULO 4			
	RESULTADOS.....	43	
4.1	Señales visualizadas en el osciloscopio .....	43	
4.1.1	Movimiento horizontal .....	44	
4.1.2	Movimiento vertical.....	45	
4.2	Interpretación de las señales .....	46	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....			47
BIBLIOGRAFÍA.....			52
ANEXOS.....			54

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

A/D	Analógico/Digital
CMRR	Relación de Rechazo Modo común
DC	Corriente Directa
d.d.p	Diferencial de Potencial
EOG	Electrooculógrafo
Hz	Hertzio
K $\Omega$	Kilo-ohmio
mV	Milivoltios
$\mu$ V	Microvoltios
PCB	Placa de circuito impreso
PIC	Controlador de interfaz periférico
RF	Radio frecuencia

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.- Fisiología del ojo humano .....	3
FIGURA 1.2.- Músculos extraoculares.....	5
FIGURA 1.3.- Organización del sistema motor ocular. ....	7
FIGURA 1.4.- Estructura de bastoncillos y cono.....	10
FIGURA 1.5.- Dipolo eléctrico ocular.....	11
FIGURA 1.6.- Disposición de los electrodos.....	12
FIGURA 2.1.- Diagrama de bloques del EOG.....	14
FIGURA 2.2.- Amplificador de instrumentación .....	17
FIGURA 2.3.- Filtro pasa alto.....	19
FIGURA 2.4.- Filtro pasa-bajo.....	20
FIGURA 2.5.- Filtro Notch.....	21
FIGURA 2.6.- Diagrama de Bode en magnitud del Filtro Notch.....	22
FIGURA 2.7.- Amplificador inversor.....	24
FIGURA 2.8.- Amplificar sumador inversor.....	26
FIGURA 2.9.- Conexión del PIC a las señales de EOG.....	28

FIGURA 2.10.- Conexión entre microcontrolador (PIN RD3) y transmisor. ....	29
FIGURA 2.11.- Conexión entre microcontrolador y transmisor .....	30
FIGURA 2.12.- Diagrama de flujo del movimiento horizontal.....	31
FIGURA 2.13.- Diagrama de flujo del movimiento vertical.....	32
FIGURA 3.1.- Electrodo de Plata / Cloruro de Plata .....	34
FIGURA 3.2.- Punto A (izquierda), punto B (derecha), arriba (C), abajo (D), referencia (E) .....	35
FIGURA 3.3.- Montaje del Electrodo Posición Vertical .....	37
FIGURA 3.4.- Montaje del Electrodo Posición Horizontal .....	37
FIGURA 3.5.- Etapa de filtrado y amplificación.....	39
FIGURA 3.6.- Placa control y acoplamiento .....	40
FIGURA 3.7.- Placa Amplificación y filtrado (EOG) .....	41
FIGURA 3.8.- EOG placa de acoplamiento y control .....	41
FIGURA 3.9.- Circuito completo.....	42
FIGURA 4.1.- Señal EOG de mirada a la derecha.....	44
FIGURA 4.2.- Señal EOG de mirada a la izquierda .....	44
FIGURA 4.3.- Señal EOG de mirada arriba .....	45
FIGURA 4.4.- Señal EOG de mirada abajo .....	45
FIGURA 4.5.- Señal EOG de pestañeo .....	46
FIGURA 4.6.- Leds indicadores de movimiento .....	46

FIGURA 4.7.- Radio control .....	46
FIGURA 4.8.- Vehículo .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Criterios de selección de antisépticos y desinfectantes.....	38
Tabla 2.- Interpretación de las señales.....	47

## INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se describe el diseño y la construcción de un dispositivo electrónico que consta principalmente de un electrooculógrafo y un sistema electrónico de control basado en un microcontrolador (PICmicro). La finalidad de este dispositivo es controlar el movimiento de un vehículo a control remoto, a través de las señales eléctricas de los músculos del ojo.

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.

En el primer capítulo se estudia la fisiología del ojo, los diferentes tipos de movimientos oculares, y el potencial bioeléctrico del ojo. También se estudia la Electrooculografía, que es la base para la realización de este proyecto.

En el capítulo 2 se estudia el diseño y la construcción del electrooculógrafo y cada una de las etapas utilizadas para llevar la señal EOG al microcontrolador. También se hace una breve descripción del algoritmo utilizado para interpretar las señales, dando como resultado movimientos de marcha y lateral del vehículo.

En el capítulo 3 se presenta el procedimiento e implementación del proyecto y por último, en el capítulo 4, se muestran los resultados obtenidos del dispositivo funcionando completamente.

# CAPÍTULO 1

## DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS

### 1.1 Fisiología del ojo humano

El ojo está compuesto por tres capas esféricas, que cumplen tareas distintas; estas capas son:

- Capa externa
- Capa intermedia
- Capa interna

### 1.1.1 Capa externa

Consta de **córnea y esclerótica**. Su función es la de proteger el contenido ocular para mantener la forma del globo ocular. Está compuesta por fibras colágenas, lo que le permite tener una gran resistencia. Ver figura 1.1.

### 1.1.2 Capa intermedia

Es una capa vascular a la cual se la llama **úvea** debido al color; las tres regiones de importancia que tiene son: iris, cuerpo ciliar y coroides. Ver figura 1.1.

### 1.1.3 Capa interna

Es la retina, conocida por generar impulsos nerviosos como respuesta a los estímulos luminosos. Los impulsos llegan al cerebro para su interpretación. La retina está subdividida en: epitelio pigmentario y la retina neurosensorial.

Dentro de las capas mencionadas, se halla una estructura transparente llamada cristalino, que separa el humor acuoso del humor vítreo.

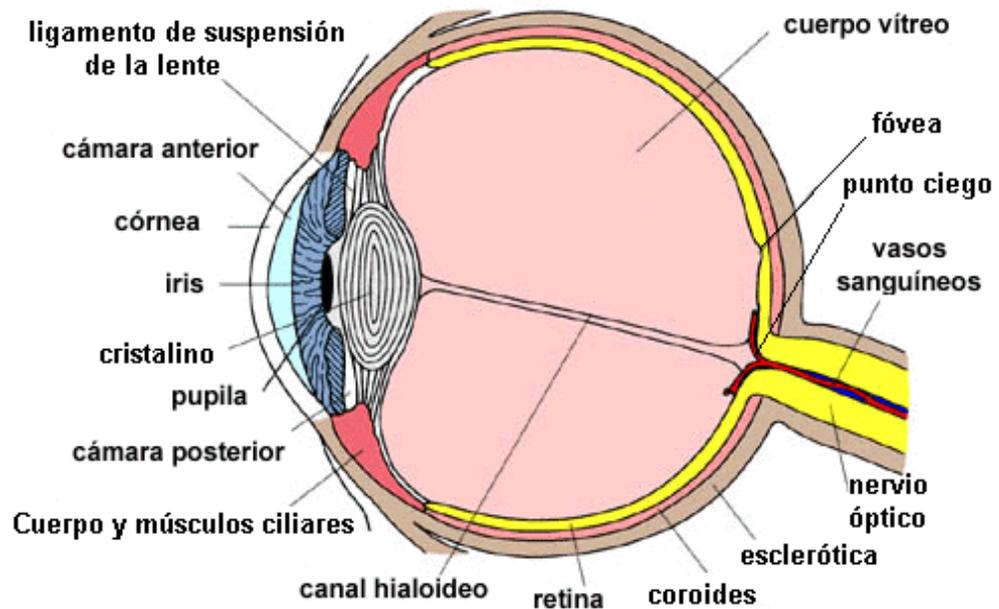


FIGURA 1.1.- Fisiología del ojo humano  
 Obtenido de <http://abcsaline.blogspot.com/p/cultura-fisica.html>

## 1.2 Descripción general de las partes oculares y sus funciones

La parte transparente más externa del ojo es la **córnea**, que forma una cubierta protectora para el iris y la pupila, y permite la entrada de luz en el ojo. El revestimiento exterior del globo ocular se conoce como la **esclerótica**, ésta forma una capa protectora para el ojo y cubre los nervios ópticos detrás del órgano.

Dentro de la **córnea** se encuentra un espacio hueco conocido como la **cámara anterior**, que se llena con un líquido claro llamado **humor acuoso**;

este líquido contiene nutrientes que ayudan a la supervivencia de la córnea y la lente.

Debajo de la cámara anterior se encuentra la **pupila** que forma el círculo oscuro en el centro del ojo; su función es la de regular la cantidad de luz recibida por la retina. Ésta función es asistida por el **iris**, que es la parte coloreada del ojo que rodea la pupila. A continuación del iris está la **lente del ojo**, cuya función es enfocar la luz entrante sobre la retina. El cristalino es la parte cristalina flexible del ojo, cuyo tamaño puede ser el aumento y la disminución en base a la cantidad de focalización requerida que depende más de la distancia del objeto. Entre la lente y el iris se encuentra otro espacio hueco pequeño conocido como la cámara posterior. Detrás de la lente y la retina se encuentra el cuerpo vítreo, lleno de una sustancia gelatinosa conocido como el **humor vítreo**. Esta jalea ayuda en la refracción de la luz antes de que entre en contacto con la retina. El centro de la retina consiste en la **mácula** que es una mancha amarilla altamente pigmentada con la mayor concentración de células de cono que hace que sea responsable de la visión de alta resolución. Las ramas nerviosas, así como los capilares sanguíneos se concentran en la cabeza del nervio óptico, también conocido como el **disco óptico**, que forma el punto ciego del ojo.

### 1.3 Sistema motor ocular

El movimiento ocular está controlado por seis músculos externos que rodean parcialmente el globo ocular, son 4 rectos y dos oblicuos, tal como se observa en la figura 1.2.

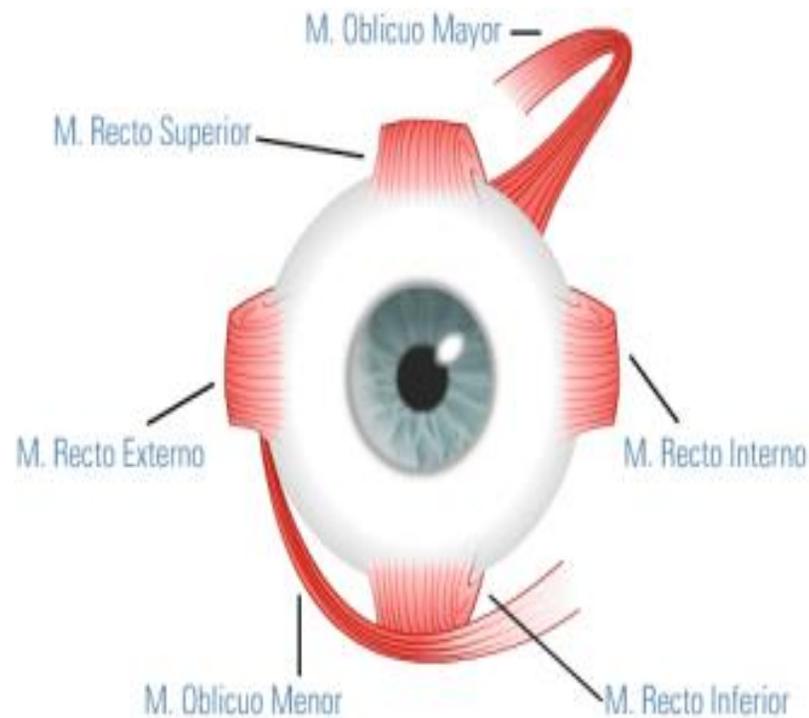


FIGURA 1.2.- Músculos extraoculares.  
Obtenido de <http://saludvisual.info/anatomia-y-fisiologia/musculos-extraoculares/>

Cuatro músculos controlan los movimiento arriba, abajo e inclinación, y dos músculos controlan los movimientos izquierda y derecha. De esta manera,

cuatro músculos funcionan en el plano vertical, y dos en el plano horizontal. Cualquier movimiento ocular se realiza relajando un músculo y contrayendo su oponente.

Cada músculo ocular se contrae por el disparo de las motoneuronas del tronco encéfalo; cada una de éstas en un núcleo oculomotor informa a varias fibras musculares en el músculo ocular. Éstas a su vez reciben inferencias de otras fibras excitadoras. Prácticamente cualquier movimiento que se realiza es el resultado de muchos músculos que se contraen a la vez y muchos otros que se relajan.

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; y por último si el objeto está arriba.

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.

#### **1.4 Tipo de movimiento en los ojos**

El sistema motor ocular puede concebirse, a efectos prácticos, como dos diferentes subsistemas, las versiones y las vergencias. De esta clasificación se desprenden tres categorías principales de los movimientos oculares: Los movimientos oculares rápidos (MQR o sacádicos) y los movimientos

oculares lentos (MOL) en el subsistema de las versiones; y las vergencias oculares (MOV) en el subsistema de las vergencias. Ver figura 1.3.

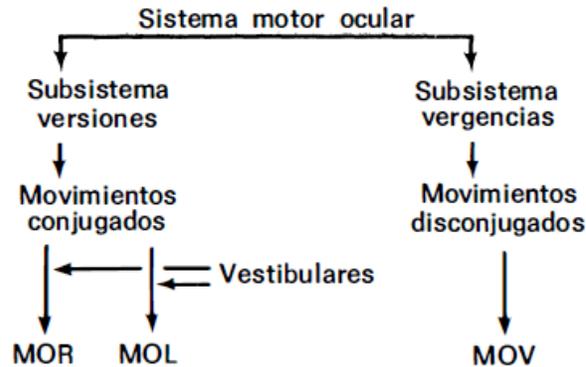


FIGURA 1.3.- Organización del sistema motor ocular.

[http://www.omlab.org/personnel/lfd/Jrnl\\_Arts/Book\\_Chapters/018\\_Caract\\_tecnica\\_registro\\_mov\\_ocular\\_1982.pdf](http://www.omlab.org/personnel/lfd/Jrnl_Arts/Book_Chapters/018_Caract_tecnica_registro_mov_ocular_1982.pdf)

#### 1.4.1 Versiones.

Son los movimientos de los ojos en forma sincrónica y simétrica en la misma dirección.

##### 1.4.1.1 Los movimientos oculares rápidos

Los movimientos de versión (conjugados) rápidos del ojo se hallan sometidos a un control tanto voluntario como reflejo. Son ejemplos de movimientos sacádicos voluntarios: las refijaciones intencionadas y aquellas que responden a órdenes, por ejemplo: «Mire a la derecha... Mire arriba...». También la aparición súbita de un objeto en la periferia

visual o de un sonido inesperado puede provocar un movimiento sacádico reflejo en dirección al estímulo. [1]

#### **1.4.1.2 Los movimientos oculares lentos**

Son movimientos conjugados, suaves. El principal estímulo para los MOL es un objeto fijado que se desplaza, y que provoca un movimiento de seguimiento tras una latencia de 125 mseg. [1]

#### **1.4.2 Vergencias**

Son los movimientos de los ojos en forma simétrica pero en dirección opuesta.

Los estímulos para los movimientos oculares de vergencias son producidos por el desplazamiento o movimiento del objeto a lo largo del eje visual Z (acercamiento o alejamiento respecto al observador). La latencia de las vergencias es de unos 160 mseg; las velocidades máximas son del orden de los 20°/seg, y los movimientos son disconjugados y suaves. [1]

#### **1.5 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.

### 1.5.1 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.

### 1.5.2 Generación del potencial bioeléctrico

En el ojo humano se genera una señal bioeléctrica, concentrada mayormente en la retina. La retina está compuesta por neuronas también llamadas fotorreceptores. **Los fotorreceptores** son de dos tipos: conos y bastones (Ver figura 1.4); Ambos receptores tienen distinta sensibilidad eléctrica a la luz, y su polarización depende de la intensidad de luz a la que se exponen.

A través del fotorreceptor fluye una corriente eléctrica continua, desde el segmento interno al segmento externo, por el exterior de la membrana celular, del segmento externo al interno por el interior de la membrana. A esta corriente se la conoce como corriente oscura y se le asocia una Diferencia de potencial (d.d.p). no variable.

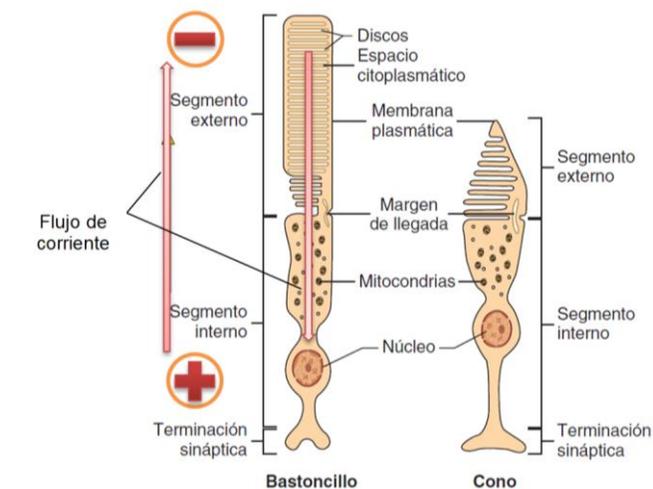


FIGURA 1.4.- Estructura de bastoncillo y cono.

En la retina hay un área central que suele coincidir con el eje visual, llamada mácula. En esa área predominan los conos, a medida que nos alejamos de la mácula, para avanzar a la retina periférica, los conos se enrarecen y predominan los bastones. [2]

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 una d.d.p. generador de un campo eléctrico apreciable; ver figura 1.5. Es por esa razón, que se considera al globo ocular como un dipolo eléctrico, donde la parte

posterior del ojo es eléctricamente negativo respecto a la córnea que sería eléctricamente positiva. [3]

En la figura 1.5. Se muestra la disposición de las cargas a lo largo de la retina.

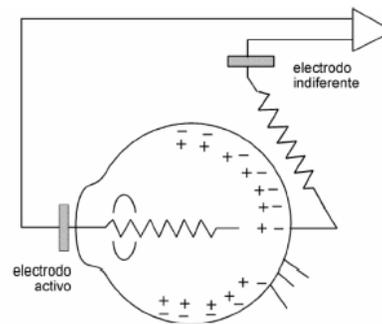


FIGURA 1.5.- Dipolo eléctrico ocular.  
Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/248307566/EOG-resumen#scribd>

### 1.5.3 Sistema electrooculográfico

Al medir la d.d.p. entre la córnea y la parte posterior del ojo, se ha obtenido 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].

Para registrar el movimiento de los ojos se utilizan 5 electrodos:

- 2 para el movimiento horizontal

- 2 para el movimiento vertical
- 1 para la referencia.

Para registrar el movimiento horizontal, se colocan los electrodos en las sienas ( $x+$ ,  $x-$ ); para el movimiento vertical se coloca un electrodo sobre la ceja y otro bajo el párpado ( $y+$ ,  $y-$ ); el electrodo de referencia se lo coloca en la frente, lo más lejano de los otros electrodos, pero sin hacer contacto con el cabello (para evitar ruidos). Ver figura 1.6.

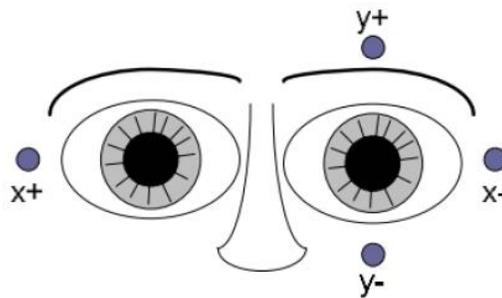


FIGURA 1.6.- Disposición de los electrodos.

Para la adquisición de las señales EOG se debe usar electrodos de  $Ag/ClAg$  y gel electrolítico. EL gel electrolítico cumple la función de hacer un buen contacto entre piel y electrodo, y evitar los ruidos generados en movimientos o rozamientos. Una vez obtenida la señal de los electrodos, un sistema electrónico es encargado de procesar la señal para mostrarla en una pantalla, almacenarla en una memoria, o producir un efecto sobre el medio.

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO ELECTROOCULÓGRAFO (EOG)**

En este capítulo se presenta el diseño y la construcción de cada una de las etapas del dispositivo. Primero se describirá la etapa de adquisición de señales, luego el procesamiento y por último la visualización en el movimiento del vehículo.

Además, se da una breve descripción del algoritmo utilizado para interpretar la información recibida del EOG.

## 2.1. Diagrama de bloques del dispositivo electrónico EOG

En la figura 2.1 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.

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

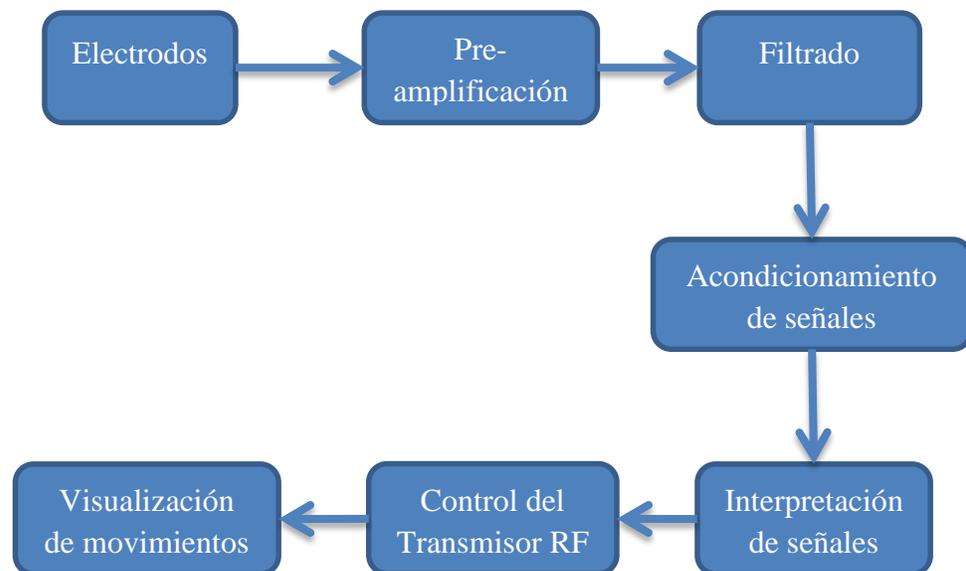


FIGURA 2.1.- Diagrama de bloques del EOG

Se debe tener claro que de los electrodos se obtienen dos señales: la referente al movimiento horizontal y la del movimiento vertical; ambas señales pasan por etapas de pre-amplificación, filtrado, acondicionamiento de señales y llegan a un mismo controlador (PIC).

## **2.2. Componentes del circuito EOG**

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

### **2.2.1. 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:

$$V_o = Ad(V^+ - V^-) \quad (2.1)$$

Donde:

- Ad es la ganancia diferencial del amplificador de instrumentación.
- $V^+$  y  $V^-$ , son las señales de voltaje a la entrada del amplificador, ver figura 2.2.

Ganancia diferencial:

$$Ad = \frac{R_2}{R_1} \left( 1 + 2 \frac{R_a}{R_g} \right) \quad (2.2)$$

$$Ad = f(R_g)$$

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.

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

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

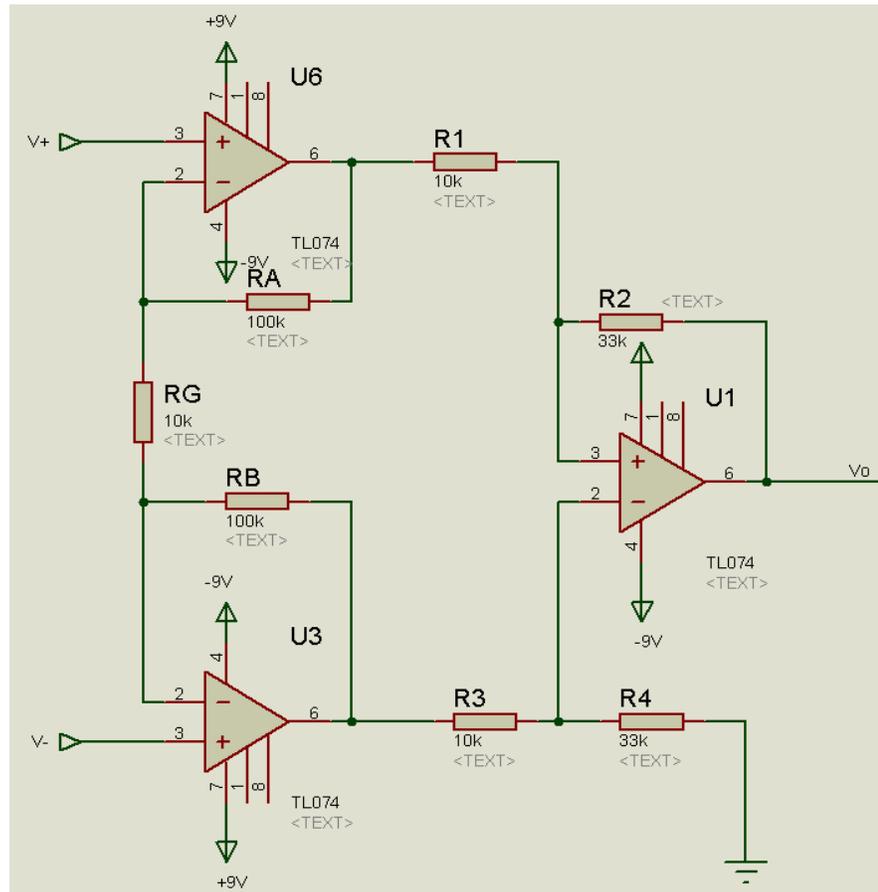


FIGURA 2.2.- Amplificador de instrumentación

### 2.2.2. 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.

Cuando la señal con la componente DC pasa por el amplificador de instrumentación, la señal DC también es amplificada, lo que produciría en las etapas siguientes una saturación de los opamps. Para evitar ese problema se utilizará un filtro pasa-alto con frecuencia de corte igual a 0.15Hz.

El filtro seleccionado es un filtro pasa-alto de primer orden no inversor, cuya función de transferencia es:

$$F(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{R \cdot C} \cdot \frac{1}{s}} \quad (2.3)$$

Por lo tanto la frecuencia de corte es:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (2.4)$$

Donde: R y C, son la resistencia y la capacitancia mostradas en la figura 2.3.

Al escoger los valores de  $R = 1M\Omega$  y  $C = 1\mu F$  y reemplazarlos en la ecuación 2.4. se obtiene la frecuencia de corte deseada  $f = 0.156Hz$

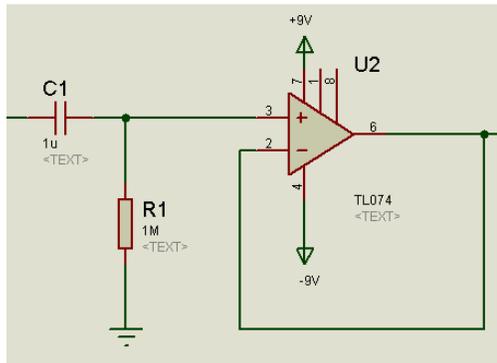


FIGURA 2.3.- Filtro pasa-alto.

### 2.2.3. Filtros 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.

La función de transferencia del filtro esta dada por la ecuación 5:

$$F(s) = \frac{A}{s^2 * (R1.R2.C1.C2) + s(R1.C1 + R2.C2 + R1.C1(1-A)) + 1} \quad (2.5)$$

Con la ecuación anterior se puede obtener la frecuencia de corte (ecuación 2.6) y la ganancia del filtro (ecuación 2.7):

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{R1.R2.C1.C2}} \quad (2.6)$$

$$A = 1 + \frac{RA}{RB} \quad (2.7)$$

Donde:  $R_A, R_B, R_1, R_2$  y  $C_1, C_2$  son las resistencias y capacitancias que conforman el filtro. Ver figura 2.4.

Para obtener la frecuencia deseada se escogen los valores de:

$$R_1 = R_2 = 1K\Omega$$

$$C_1 = 3.3\mu f \text{ y } C_2 = 4.7\mu f$$

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.

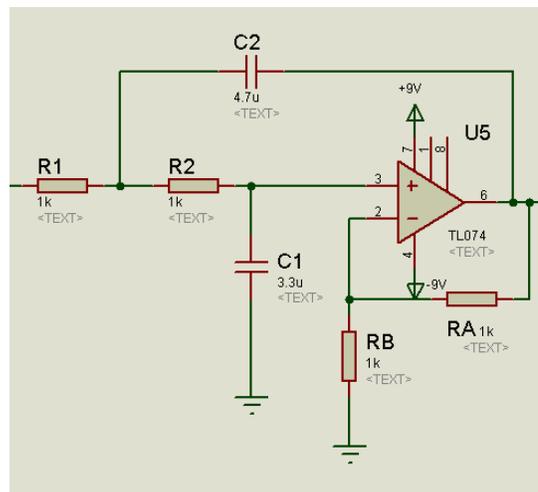


FIGURA 2.4.- Filtro pasa-bajo

### 2.2.4. Filtros 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. La configuración del filtro se muestra en la figura 2.5

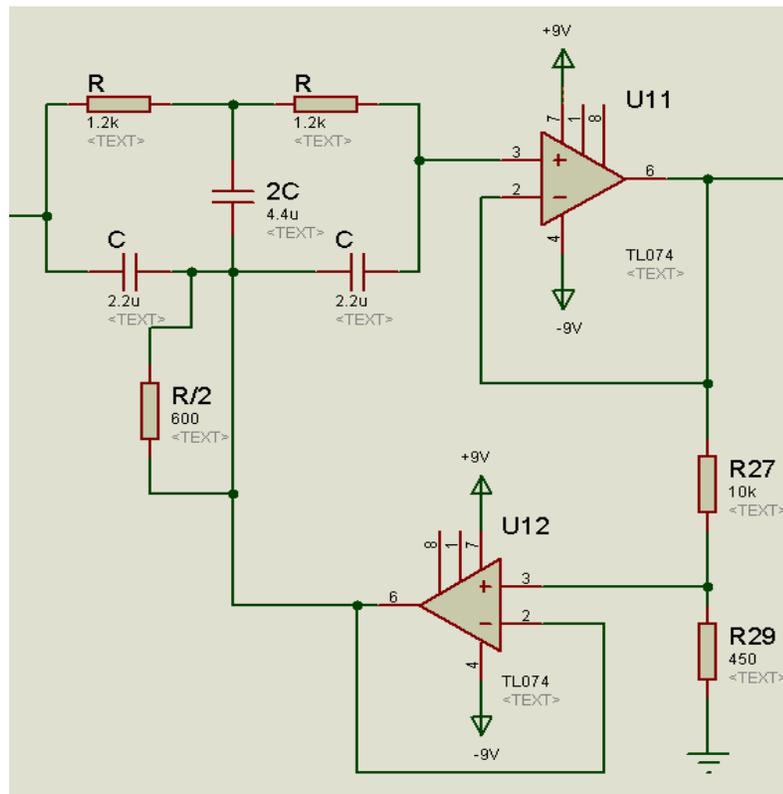


FIGURA 2.5.- Filtro Notch.

La ecuación 2.8 muestra como calcular la frecuencia central de este filtro.

$$f_{notch} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.8)$$

Para que la frecuencia sea igual a 60Hz, se han seleccionado los siguientes valores:

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

Con esos valores la frecuencia exacta del filtro es  $f_{notch} = 60.29Hz$ .

En la figura 2.6 se muestra el gráfico de Bode correspondiente al filtro utilizado.

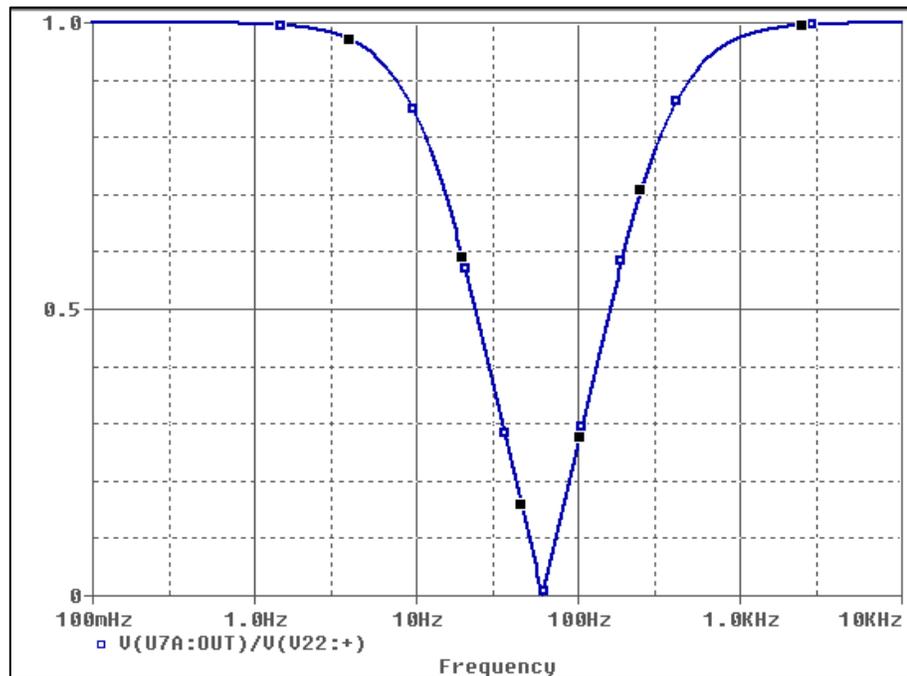


FIGURA 2.6.- Diagrama de Bode en magnitud del Filtro Notch

Como es de esperarse, la señal de 60Hz es atenuada significativamente, y las señales de baja frecuencia no son afectadas por este filtro.

Los resultados experimentales de este filtro no fueron aceptables: se observó frecuencias de 60Hz en la señal de salida, esto se explica por los valores no exactos de las resistencias y capacitores usados. Por ello se decidió colocar dos filtros Notch en cascada, con lo cual se observaron señales totalmente libres de ruido.

### **2.3. 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.

#### **2.3.1. 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 2.2.)

- Un amplificador inversor para fijar la amplitud de la señal entre 0 y 4[V]. (Figura 2.7.)
- Un amplificador sumador inversor para darle un offset a la señal de 2 [V]. (Figura 2.8.)

La ecuación 2.9 representa la ganancia del amplificador inversor.

$$Av = -\frac{Rx}{Ri} \quad (2.9)$$

$Rx$  y  $Ri$  son las resistencias del amplificador mostradas en la figura 2.7. Se debe considerar que  $Rx$  es una resistencia variable y  $Ri$  es una resistencia fija.

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

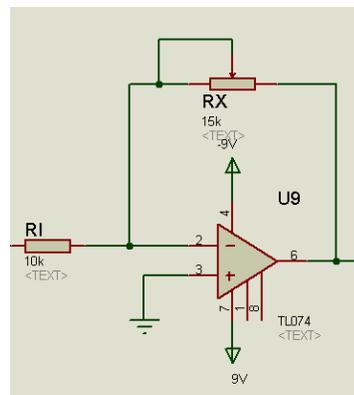


FIGURA 2.7.- Amplificador inversor.

La ecuación 2.10 representa el voltaje de salida del amplificador sumador inversor.

$$V_o = -\frac{R_f}{R_{i1}} V_{i1} - \frac{R_f}{R_{x2}} V_{dc} \quad (2.10)$$

Donde:

- $R_f, R_{i1}, R_{x2}$  son las resistencias de la configuración del amplificador. Ver figura 2.8.
- $V_{i1}$  es la señal de entrada.
- $V_{dc}$  es una señal de voltaje

La ecuación 2.10 tiene dos términos: el primero es la amplificación de la señal, y el segundo es el offset. Los valores de  $R_{i2}, R_f$  serán tales que la ganancia de la señal sea unitaria; el valor de  $R_{x2}$  es variable para poder ajustar el offset de la señal.

Los valores de los elementos que se han seleccionado son:

$$R_{i1} = R_f = 10K\Omega, \quad R_{x2} = [0 - 50]K\Omega, \quad V_{dc} = -9V$$

Si reemplazamos esos valores en la ecuación 2.10, se obtiene como resultado un offset variable:  $V_{offset} = [1.8 - 9] [V]$ ; y el valor del offset dependerá de la resistencia  $R_{x2}$ .

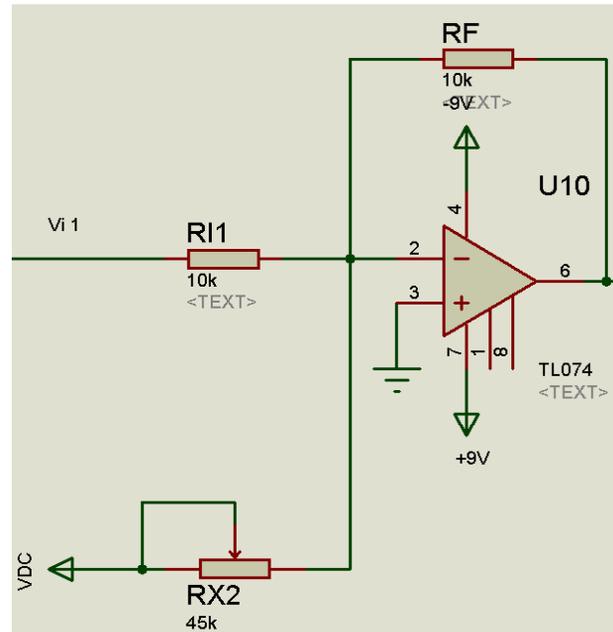


FIGURA 2.8.- Amplificar sumador inversor.

### 2.3.2. Interpretación de las señales y toma de decisiones

Esta etapa usa como elemento principal un microcontrolador, el PIC 16F887. Las razones por las cuales se usa este microcontrolador son:

- Oscilador interno de alta precisión con un rango de frecuencia de 8Mz a 31KHz. Esta característica permite al microcontrolador ejecutar rápidamente las instrucciones.
- 35 pines de entrada/salida: De los cuales se usarán 4 pines para accionar los relés.

- Memoria ROM de 8K con tecnología FLASH. La tecnología FLASH permite hacer muchas pruebas en el microcontrolador de tal manera que se lo puede reprogramar hasta 100000 veces [4].
- Convertidor A/D: El microcontrolador contiene 14 entradas analógicas, de las cuales se usarán 2. Además el microcontrolador tiene una resolución de 10 bits; esto quiere decir que el resultado de la conversión analógica en digital se almacena en 10bits, los cuales están contenido en los registros ADRESH y ADRESL [4].
- 3 temporizadores independientes, de los cuales se utiliza un temporizador llamado "TMR0".

El microcontrolador desempeña la función de adquirir la señal analógica, hacer una conversión A/D de 10 bits, interpretar la información recibida y tomar decisiones adecuadas para actuar sobre el Transmisor de RF.

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 2.9.

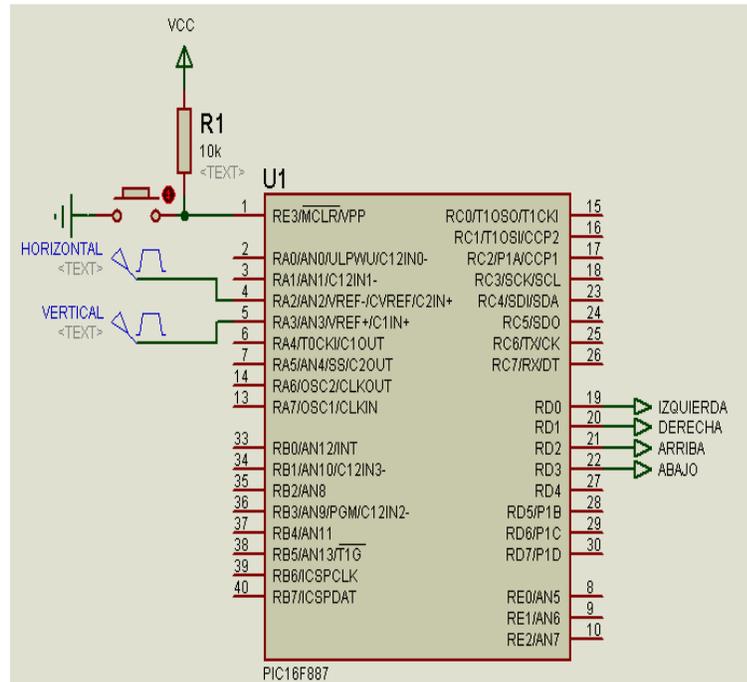


FIGURA 2.9.- Conexión del PIC a las señales de EOG

### 2.3.3. 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 2.10 está formado por un transistor, y un relé. El transistor trabaja en corte y saturación, energizando o desenergizando 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.

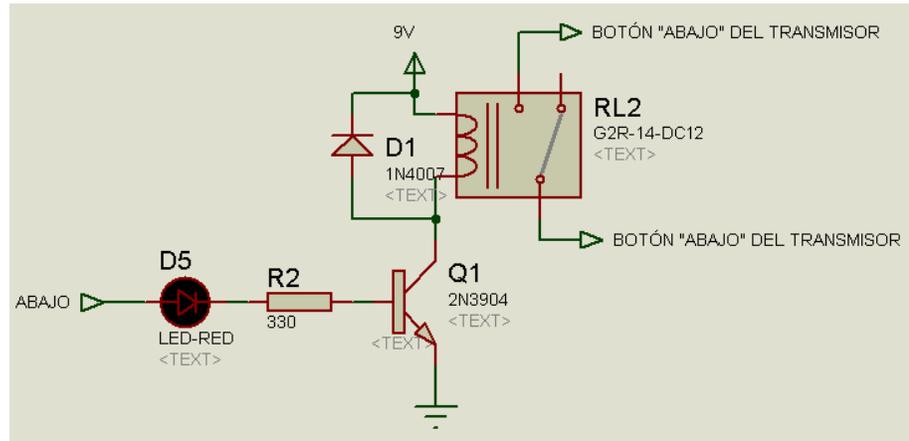


FIGURA 2.10.- Conexión entre el microcontrolador (PIN RD3) y el transmisor.

En la figura 2.11 se muestra el circuito completo de la conexión entre cada uno de los puertos del PIC, y los botones del transmisor de RF.

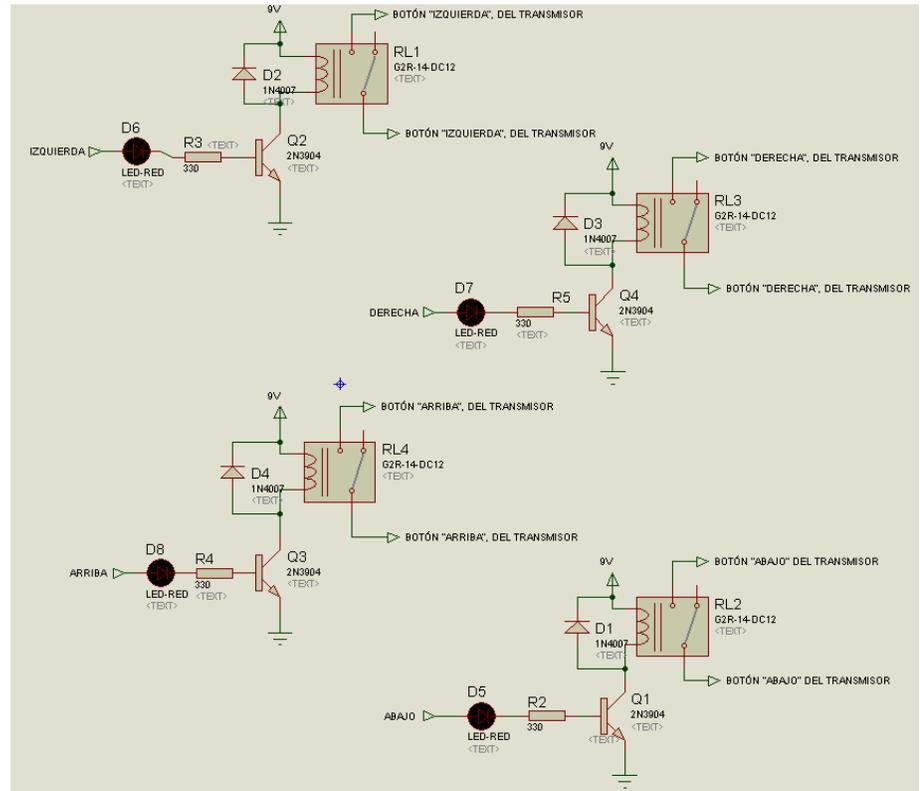


FIGURA 2.11.- Conexión entre el microcontrolador y el transmisor

## 2.4. 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 2.12), y el programa de la figura 2.13 interpreta las señales del pin AN3.

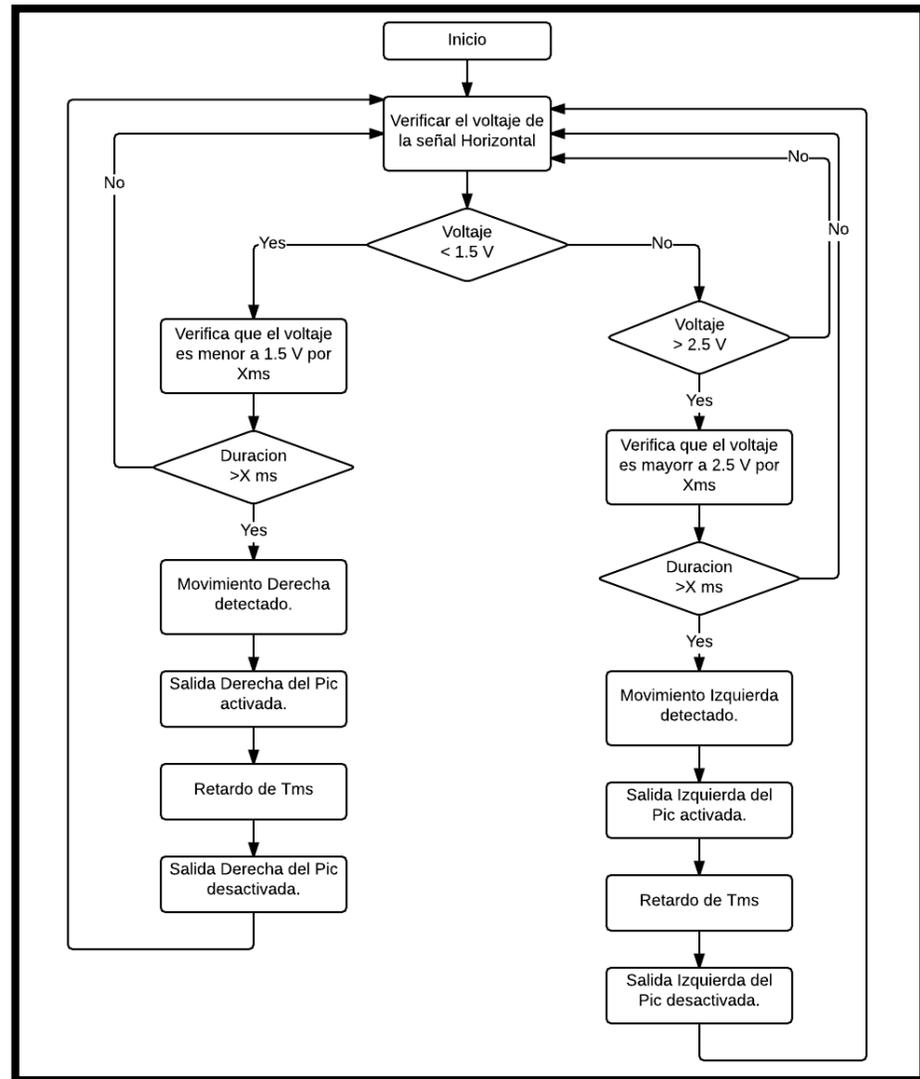


FIGURA 2.12.- Diagrama de flujo del movimiento horizontal

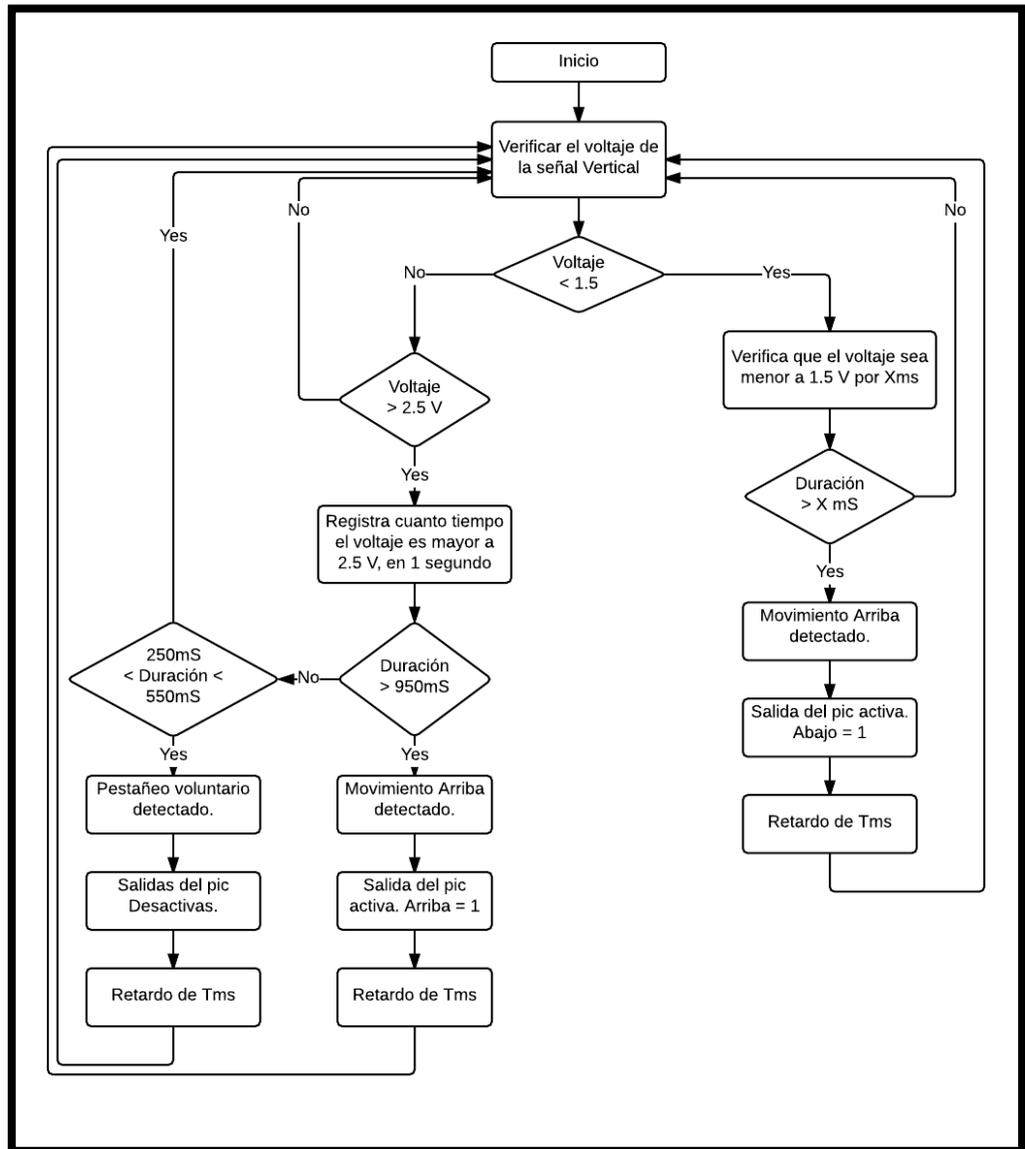


FIGURA 2.13.- Diagrama de flujo del movimiento vertical.

## **CAPÍTULO 3**

### **PROCEDIMIENTOS E IMPLEMENTACION**

#### **3.1. Instrumentación**

En este capítulo 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. Ver figura 3.1.



FIGURA 3.1.- Electrodo de Plata / Cloruro de Plata

### 3.2. Sistema de posicionamiento de los electrodos

Electrooculografía es la técnica utilizada para detectar los movimientos oculares, basado en el registro de la diferencia de potencial existente entre la córnea y la retina:

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 3.2.

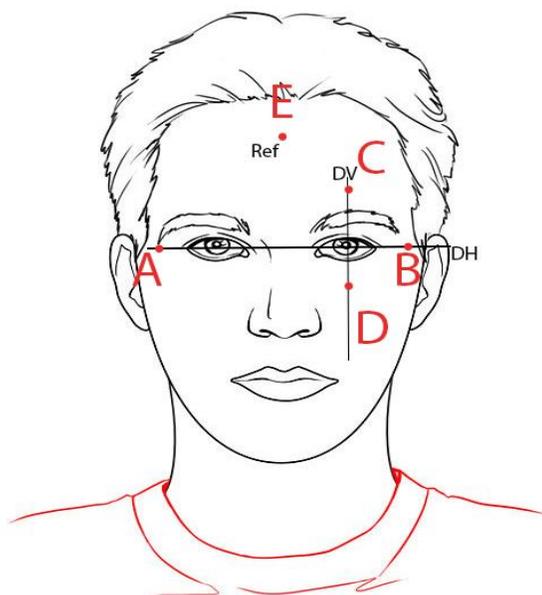


FIGURA 3.2.- Punto A (izquierda), punto B (derecha), arriba (C), abajo (D), referencia (E)

### **3.3. Montaje, selección y aplicación de electrodos en un EOG**

Para proceder a registrar las señales EOG, se parte de una serie de electrodos situados sobre la superficie de la piel, en lugares específicos alrededor del ojo, tal como se explica en la sección 3.2.

Una vez definido el posicionamiento de los electrodos, hay que tomar en cuenta las siguientes precauciones para obtener una excelente señal sin artefacto:

- Total asepsia donde se va a colocar los electrodos; es decir esta área debe ser previamente limpiada con alcohol para retirar las impurezas.
- Luego la piel y los electrodos deben ser untados con gel Ten-20, el gel es muy importante ya que adhiere el electrodo a la piel, produciendo acoplamiento, es decir, evita que el electrodo quede al aire y se introduzcan señales de ruido provenientes del ambiente. En la figura 3.3. y 3.4. se muestra la colocación de los electrodos alrededor del ojo mediante el gel Ten-20.

- Una vez energizado el EOG se debe tener precaución de que los electrodos no se unan ya que producirían un cortocircuito.



FIGURA 3.3.- Montaje del Electrodo “Posición Vertical”



FIGURA 3.4.- Montaje del Electrodo “Posición Horizontal”

A continuación se presenta una tabla donde se indica todo lo utilizado para un EOG y su función.

Tabla 1.- Criterios de selección de antisépticos y desinfectantes.

<b>MATERIALES NECESARIOS PARA REALIZAR UN EOG</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>FUNCION</b>
Gasa	Limpieza de la Piel
Alcohol	Limpieza de la Piel
Gel Conductor	Reduce la impedancia de la piel y mejora la conductividad
Electrodos	Reciben la señal bioeléctrica del Ojo

#### **3.4. Alimentación del equipo**

Para el circuito EOG, en la etapa de alimentación, se utilizaron dos baterías de 9V, las cuales son necesarias para el buen funcionamiento del sistema, ya que los circuitos integrados que se usan, trabajan con poca corriente y así se evita cualquier sobrecarga en los ojos.

Para la alimentación del PIC se utilizaron tres pilas tipo "AA"; estas pilas proporcionan un voltaje de 4.5 a 4.8 V.

### 3.5. PCB del circuito

Con el propósito de simplificar la parte del circuito EOG se procedió a unir en una misma placa dos etapas: el filtrado y la amplificación; en la otra placa se tiene la etapa de control con el pic y la etapa de acoplamiento.

A continuación se muestra el PCB de las dos tarjetas; las mismas que se encuentran impresas en una sola cara.

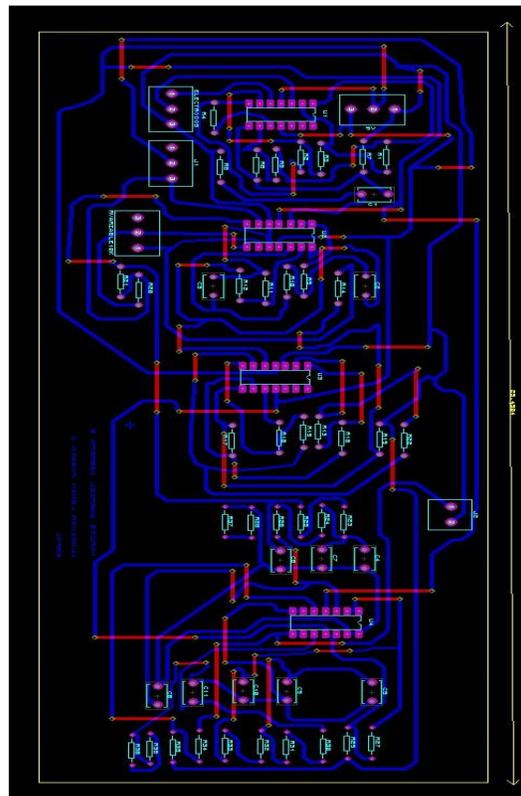


FIGURA 3.5.- Etapas de filtrado y amplificación

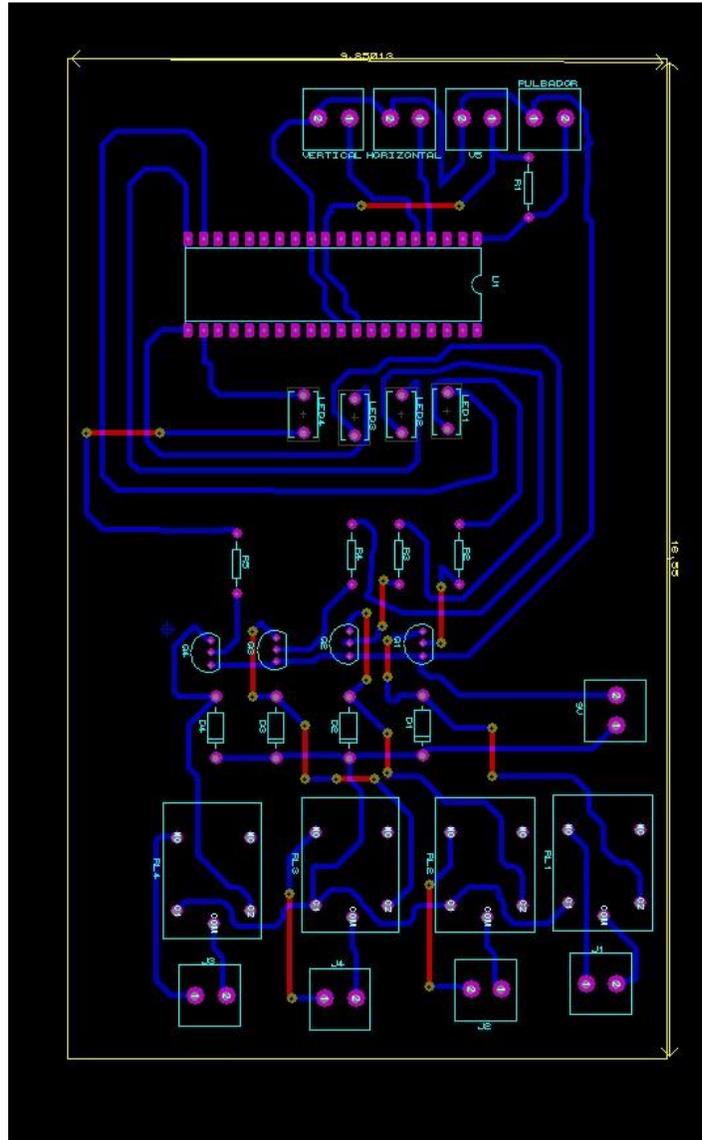


FIGURA 3.6.- Placa de control y acoplamiento

### 3.6. Tarjetas EOG y adquisición de datos

A continuación se presenta la tarjeta con todos los elementos que comprenden el EOG; etapa de filtrado y amplificación, etapa de acoplamiento y control.



FIGURA 3.7.- Placa de Amplificación y filtrado (EOG)

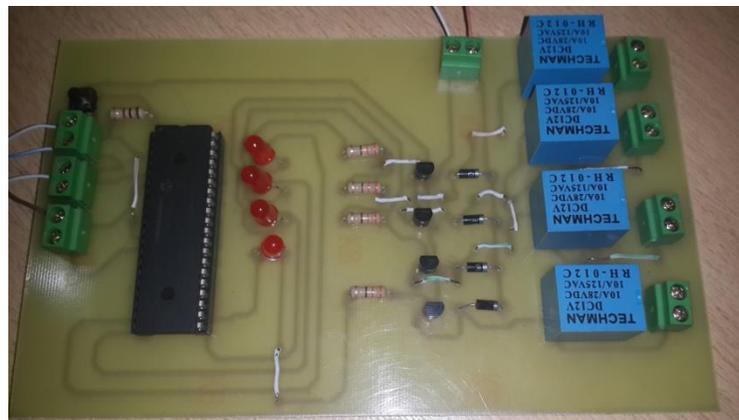


FIGURA 3.8.- Placa de acoplamiento y control (EOG)

### 3.7. Circuito Completo

Aquí se presenta el equipo completo, es decir, el circuito conectado con los electrodos y el control del vehículo de radio frecuencia.

En el equipo se visualizarán los movimientos arriba, abajo, izquierda y derecha.



FIGURA 3.9.- Circuito completo

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 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.

A continuación se muestran las señales del movimiento horizontal y vertical de los ojos.

#### 4.1.1 Movimiento horizontal

En este movimiento se tienen 2 tipos de señales: la primera señal corresponde al cambio de mirada hacia la derecha (ver figura 4.1), y la otra señal el cambio de mirada hacia la izquierda (ver figura 4.2).

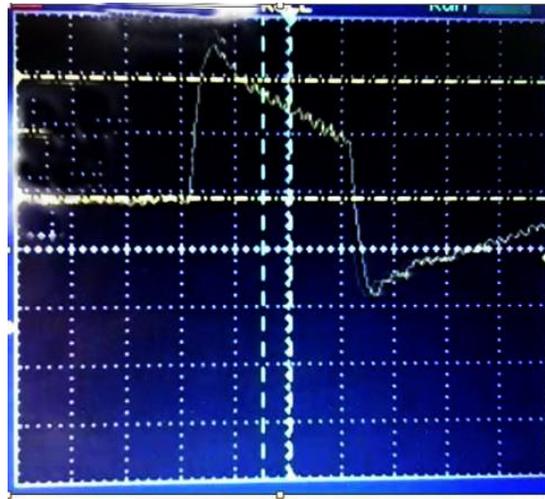


FIGURA 4.1.- Señal EOG de mirada a la derecha

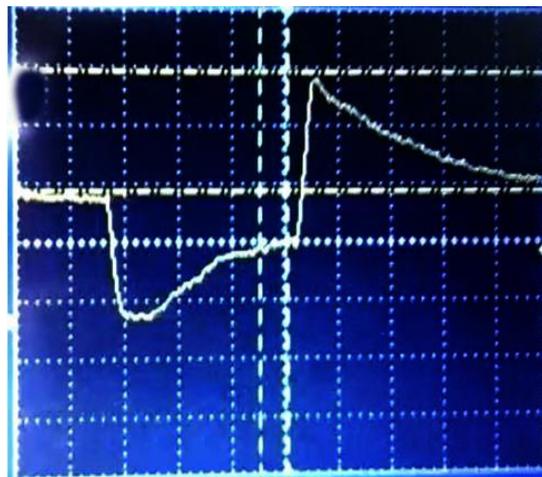


FIGURA 4.2.- Señal EOG de mirada a la izquierda

#### 4.1.2 Movimiento vertical

En este movimiento se tienen 3 tipos de señales: la primera señal corresponde al cambio de mirada hacia arriba (ver figura 4.3), la siguiente señal es el cambio de mirada hacia abajo (ver figura 4.4), y la última señal es un pestañeo (figura 4.5).

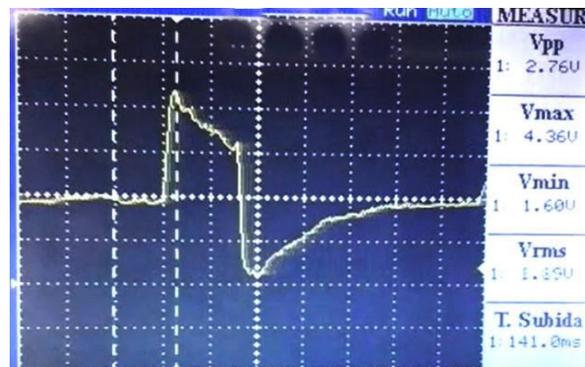


FIGURA 4.3.- Señal EOG de mirada arriba



FIGURA 4.4.- Señal EOG de mirada abajo

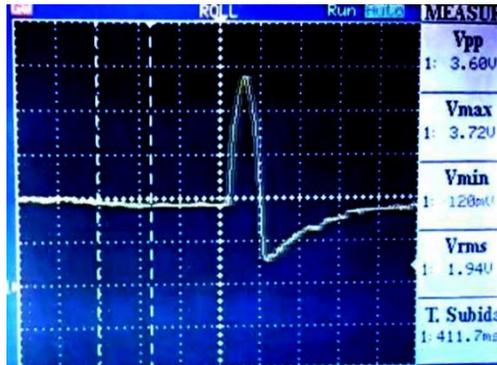


FIGURA 4.5.- Señal EOG de pestañeo

## 4.2 Interpretación de las señales

Una vez que el microcontrolador interpreta la señal recibida, comunica la información al medio usando leds como indicadores (Figura 4.6) y un radio control (Figura 4.7) para mover un vehículo a control remoto (Figura 4.8).



FIGURA 4.6.- Leds indicadores de movimiento



FIGURA 4.7.- Radio control



FIGURA 4.8.- 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 2.- Interpretación de señales

<u>Señal EOG</u>	<u>Leds indicadores</u>	<u>Orden enviada al radio control</u>
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

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

1. Se logró diseñar un dispositivo electrónico capaz de interpretar las señales EOG y controlar el radiocontrol de un vehículo en función de esas señales.
2. Se aprecia una respuesta lenta en la salida del circuito EOG, lo cual se debe a la cantidad de filtros usados en el diseño.
3. 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.
4. El uso de los amplificadores de instrumentación fue importante para llevar la señal de niveles de microvoltios a voltios.

5. 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.
6. Este tipo de diseños pueden ser utilizados para múltiples aplicaciones, ya que brindan una mejor calidad de vida a las personas parapléjicas, No solamente con los movimientos de los ojos sino también con los movimientos de los músculos de cualquier parte del cuerpo si hay actividad muscular, entonces hay biopotencial.
7. Este circuito podría ser aplicado a circuitos más avanzados, como por ejemplo el control de una silla de ruedas.

## RECOMENDACIONES

1. Hay circuitos integrados que son difíciles de encontrar en el mercado como el amplificador de instrumentación AD620, para lo cual es recomendable utilizar circuitos equivalentes que brinden las mismas ventajas que el original.
2. 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].
3. La alimentación de 9[V] y -9[V] lo hicimos con un cargador para mantener el Voffset a nivel de 2[V], si utilizábamos baterías estas nos desplazaban el Voffset.
4. 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.
5. Para la adquisición del biopotencial de los ojos es necesario utilizar cables lagarto-banana de buena calidad, o cables adaptadores de electrodos reutilizables.
6. El dispositivo es muy sensible a cambios de movimiento en los ojos; debido a esto la persona que lo use debe aprender a controlar sus movimientos. Por

ejemplo, cuando se mire a la derecha, no se debe mirar al mismo tiempo abajo por que esto provocaría movimientos erróneos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dell'osso Louis F. y Daroff Robert B., Características y técnicas de registro de los movimientos oculares, [http://www.omlab.org/personnel/lfid/Jrnl\\_Arts/Book\\_Chapters/018\\_Caract\\_tecnicas\\_registro\\_mov\\_ocular\\_1982.pdf](http://www.omlab.org/personnel/lfid/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/03fisio\\_ocular.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/medicina/cirugia/tomo_iv/archivospdf/03fisio_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-progamacion-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](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/electronica/2009_n24/pdf/a02.pdf), fecha de consulta marzo 2015.



## ANEXO

### CODIGO DEL MICROCONTROLADOR

```

/*Programa: Interpretación de las señales EOG*****
unsigned int lectura, VI, Vu, derecha, izquierda, cnt, cnt2, cnt3, x, zi;
unsigned int lectura_V, VI_V, Vu_V, abajo, no_abajo, arriba, t1, t2, t3, T, xv, z2v, z1v, TT, TT5,
TT4, Tsum;

void interrupt() {
    // conteo de los tiempos de la señal
    if (lectura <= VI) cnt++; // conteo de la señal bajo el Voltaje medio
    if (lectura >= Vu) cnt3++; // conteo de la señal sobre el Voltaje medio
    if (lectura >= VI && lectura <= Vu && (derecha==1 || izquierda==1)) cnt2++; // conteo de la
    señal en el Voltaje medio

    // conteo de los tiempos de la señal en movimiento vertical
    if (lectura_V <= VI_V) t1++; // conteo de la señal bajo el Voltaje medio VI_V
    if (lectura_V >= Vu_V) t3++; // conteo de la señal sobre el Voltaje medio
    if ((lectura_V >= VI_V) && (lectura_V <= Vu_V) && (abajo==1 || no_abajo==1)) t2++; // conteo
    de la señal en el Voltaje medio

    TMR0 = 96; // Timer TMR0 is returned its initial value
    INTCON = 0x20; // Bit T0IE is set, bit T0IF is cleared
}

void main() {
    OSCCON.B6 = 1;
    OSCCON.B5 = 1;
    OSCCON.B4 = 0; // Fijando reloj a 4MHZ
    OSCCON.B2 = 1; // Programando estabilidad en el reloj
    OPTION_REG = 0x85; // Prescaler is assigned to timer TMR0 "1000 0101"
    ANSEL = 0x0C; // Pines AN2 y AN3 se configuran como analógicos
    TRISA = 0xFF; // Todos los pines del puerto PORTA se configuran
    // como entradas
    ANSELH = 0; // Los demás pines se configuran como digitales
    TRISB = 0; // Pines del puerto PORTB, RB7 y RB6 se configuran como salidas
    TRISD = 0; // Pines del puerto PORTD, se configuran como salidas

    // como salidas
    // Todos los pines del PORTD se configuran como salidas
    ADCON1.B4 = 0; // Voltaje de referencia es 0V
    TMR0 = 96; // Timer T0 counts from 96 to 255, las interrupciones se dan cada 5.12 ms
    INTCON = 0xA0; // Enable interrupt TMR0

```

```

VI = 333;           //Limites de voltaje (1.5 a 2.5) * 1024/4.6
Vu = 557;

VI_V = 333;       //Limites de voltaje Vertical 1 y 3V
Vu_V = 557;

derecha=0;        // variables que indican en que sentido es el movimiento
izquierda=0;
abajo=0;
no_abajo=0;

cnt=0;           // Variables para contar los tiempos de la onda horizontal
cnt2=0;
cnt3=0;

x=1100/2;        // t (ms) de la señal en bajo Horizontal
x=(x*100)/512;
zi=1100/2;       // t (ms) de la señal en alto Horizontal
zi=(zi*100)/512;
TT=0;
TT4=0;
TT5=0;
xv=1150/2;      // t1 (ms) de un movimiento hacia abajo Vertical
xv=(xv*100)/512;
z1v=300/2;      // t (ms) de la señal en alto, debe ser cercano a T
z1v=(z1v*100)/512;
z2v=950/2;      // t (ms) limite de la señal "pestaño"
z2v=(z2v*100)/512;
T=1200/2;       // t (ms) de la señal en alto, es un periodo T
T=(T*100)/512;
PORTB = 0x00;
PORTD = 0x00;
Delay_ms(4000); // tiempo dado para que la señal de entrada se estabilice en el valor central

do {
cnt=0; cnt2=0; cnt3=0; //linea cambiada de posicion
t1=0; t2=0; t3=0;
lectura = ADC_Read(2); // Resultado de la conversión A/D es copiado a temp_res
if (lectura <= VI) derecha = 1; // Se busca saber si el voltaje esta bajo o sobre los limites de
voltaje
else { // y en base a eso determinar si el movimiento es izquierdo o
derecho
if (lectura >= Vu) izquierda = 1;
}

lectura_V = ADC_Read(3);

```

```

    if (lectura_V <= Vl_V) abajo = 1;    // Se busca saber si el voltaje esta bajo o sobre los limites
de voltaje
    else {                                // y en base a eso determinar si el movimiento es abajo o arriba
        if (lectura_V >= Vu_V) no_abajo = 1;
    }

    if (derecha==1 || izquierda == 1) {
do{                                        // se inicia la medición de los tiempos de alto y bajo de la señal,
con las variables cnt
    lectura = ADC_Read(2);
    if (derecha == 1) {
        if(cnt >= x)
            { PORTD = 0x06; Derecha=0; Izquierda=0; Delay_ms(450);PORTD = 0x00;
Delay_ms(2000);}
        }
        if (izquierda == 1) {
            if(cnt3 >= zi )
                {PORTD = 0x05; Derecha=0; Izquierda=0; Delay_ms(400); PORTD = 0x00;
Delay_ms(2000);}
            }
        if (cnt2>cnt || cnt2>cnt3) // Verifica si la señal cumplio una de las dos condiciones
anteriores.
            {Derecha=0; Izquierda=0;} // Dependiendo de eso se podria
iniciar el conteo.

    } while (derecha==1 || izquierda == 1 );
    }

    if (abajo==1 || no_abajo == 1) {
do{                                        // se inicia la medición de los tiempos de alto y bajo de la señal,
con las variables cnt
    lectura_V = ADC_Read(3);
    if (abajo == 1) {
        if(t1 >= xv)
            {PORTD = 0x08; Delay_ms(2500); abajo=0; no_abajo=0;}; // RD3 ON,
Retardo para ignorar el resto de la señal, no tan necesario
            TT4=2*t1;
            Tsum=t2+t3;
            if (Tsum >TT4 ) // Se detecta si la medicion es una señal real, un ruido
                {abajo=0; no_abajo=0;}; // Dependiendo de eso se
podria iniciar el conteo.

    }
    if (no_abajo == 1) {
        TT=t1+t2+t3;
        if ( TT >= T )
            {
                TT5=(T-5);
                if(t3 >= TT5 ) // cambiar el T-5

```

```

        {PORTD = 0x04; Delay_ms(2500); abajo=0; no_abajo=0;}; // Deteccion de ojo
arriba, retardo que evita que se siga leyendo la señal, y la interprete como pestañeo, Rd2 on
        if((t3 >= z1v) && (t3<=z2v))
        {PORTD = 0x00; Delay_ms(1500); abajo=0; no_abajo=0;}; // Deteccion de
cerrar ojos, retardo no tan necesario, util para desactivar T segundo el carro.
        abajo=0; no_abajo=0;
        };
        TT4=4*t3;
        Tsum=t2+t1;
        if (Tsum > TT4) // Se detecta si la medicion es una señal real o un ruido.
        {abajo=0; no_abajo=0;}; // Dependiendo de eso se
podria iniciar el conteo.
        }
    } while (abajo==1 || no_abajo == 1 );
    }
} while(1); // Bucle infinito
}

```