

# Prototipo de silla de ruedas controlada por electrooculografía

## Prototype of a wheelchair controlled by electrooculography

Walter Javier Marín Delgado<sup>1</sup>, Julián Andrés García Maca<sup>2</sup>,  
Jorge Andrés Neira Tafur<sup>3</sup> y Adriana Paola Mendoza Sandoval<sup>4</sup>  
Asesor: William Daniel Moscoso Barrera<sup>5</sup>

### Resumen

Este artículo describe el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo de silla de ruedas cuyo desplazamiento es dirigido por los movimientos del globo ocular. Este genera una diferencia de potencial entre la córnea y la retina. Dicho potencial se capta a través de electrodos ubicados en puntos específicos del rostro humano, que captan las señales bioeléctricas del ojo (electrooculografía). Estas son tratadas mediante un circuito electrónico que se encarga de amplificar, filtrar y procesarlas, con el fin de ejecutar un algoritmo que converge en la transmisión y recepción *bluetooth* de comandos que, por medio de un sistema de control, inducen el movimiento de una silla de ruedas a escala.

Este proyecto está dirigido a personas con limitaciones en sus extremidades. Busca la inclusión social de las mismas, de tal forma que puedan desarrollar sus movimientos con una mayor autonomía.

**Palabras clave:** Electrooculografía, Señales Bioeléctricas, Biopotencial, Silla de Ruedas.

### Abstract

This article describes the design, development and implementation of a prototype of wheelchair which displacement is directed by the movements of the eyeball which catches the signs across electrodes located in specific points of the human face, which do the capture of the bioelectrical signs of the eye (electrooculography, EOG), which are induced across an electronic circuit that it takes charge amplifying, filtering and suing the same ones, in order to execute an algorithm that converges on the transmission and receipt bluetooth of commands that

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo: wmarind@ucentral.edu.co.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo: jgarciam8@ucentral.edu.co.

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo: jneirat1@ucentral.edu.co.

<sup>4</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Central. Correo: amendozas@ucentral.edu.co.

<sup>5</sup> Ingeniero electrónico. Magíster en Diseño y Gestión de Procesos. Integrante del grupo de investigación Bioingeniería, Nanotecnología y Telecomunicaciones (SPIN). Profesor del Departamento de Ingeniería Electrónica.

by means of a system of control induce the movement of a wheelchair to scale.

This project is aimed at people with limitations in their limbs and seeks social inclusion of them, that they can develop their movements in an autonomous way.

**Keywords:** Electrooculography, Bioelectric Signs, Biopotencial, Wheelchair.

## 1. Introducción

Los potenciales bioeléctricos del cuerpo humano no son determinísticos. Esto significa que sus magnitudes pueden variar en el tiempo y operan dentro de un rango variable, aunque todos los factores estén controlados. Las medidas de biopotenciales pueden variar de un individuo a otro en forma significativa, aunque se trate de personas sanas y que las condiciones de adquisición sean las mismas (Gallego Navarrete, 2007).

A partir del principio de la electrooculografía (EOG, por sus siglas en inglés), se registran los movimientos oculares, con base en los datos de la diferencia de potencial existente entre la córnea y la retina. El origen de esta diferencia se encuentra en el epitelio pigmentario de la retina y permite considerar la presencia de un dipolo, donde la córnea corresponde al extremo positivo y la retina, al extremo negativo de dicho dipolo.

La retina tiene un potencial bioeléctrico de reposo, de carácter electronegativo respecto a la córnea. De este modo, los giros del globo ocular provocan cambios en la dirección del vector correspondiente a este dipolo eléctrico (Webster, 1998).

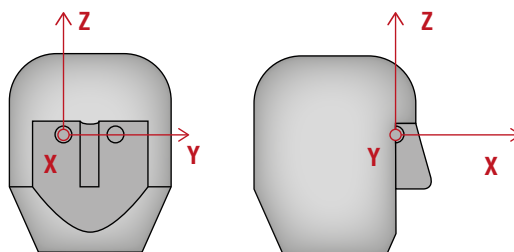
El EOG es la técnica que nos permite medir las variaciones eléctricas que se producen en el ojo al realizar un movimiento ocular. Las señales obtenidas de esta técnica son tratadas mediante un circuito electrónico en donde se amplifican, filtran y procesan con el fin de ser transmitidos de manera inalámbrica y así controlar un prototipo de silla de ruedas.

## 2. Marco conceptual

### 2.1 Estudio técnico del comportamiento del ojo

#### 2.1.1 Definición de posición de ojo

Sea el sistema referencial ortogonal  $X, Y, Z$  solidario a la cabeza y con origen en el centro del ojo derecho según (figura 1). Este sistema de coordenadas es tal que cuando una persona se mira de frente, el vector  $X$  es saliente a la cara y, cuando se ve el perfil derecho, el vector  $Y$  es entrante a la cabeza (Senatore et ál., 2010).



**Figura 1.** Sistema referencial ortogonal de coordenadas  $x, y, z$ , solidario a la cabeza con origen en el centro geométrico del lóbulo ocular derecho. Fuente: Senatore et ál. (2010).

#### 2.1.2 Origen físico de la señal

Los fotorreceptores son células de forma alargada, polarizadas y segmentadas en subregiones sobre la retina con diferentes funciones. Para el objeto del presente proyecto, no

interesa su fisiología, pero sí su funcionalidad, ya que existen diferencias de polarización entre ellas que pueden afectar al resultado del EOG (Senatore et ál., 2010).

Los dos tipos de receptores tienen distinta sensibilidad eléctrica a la luz y su polarización puede variar según la intensidad de la luz con la

que son excitados. A grandes rasgos, y sin entrar en la fotoquímica de estas células, en el fotorreceptor fluye una corriente eléctrica continua desde el segmento interno al segmento externo por el exterior de la membrana celular y del segmento externo al interno por el interior (Senatore et ál., 2010) (figura 2).

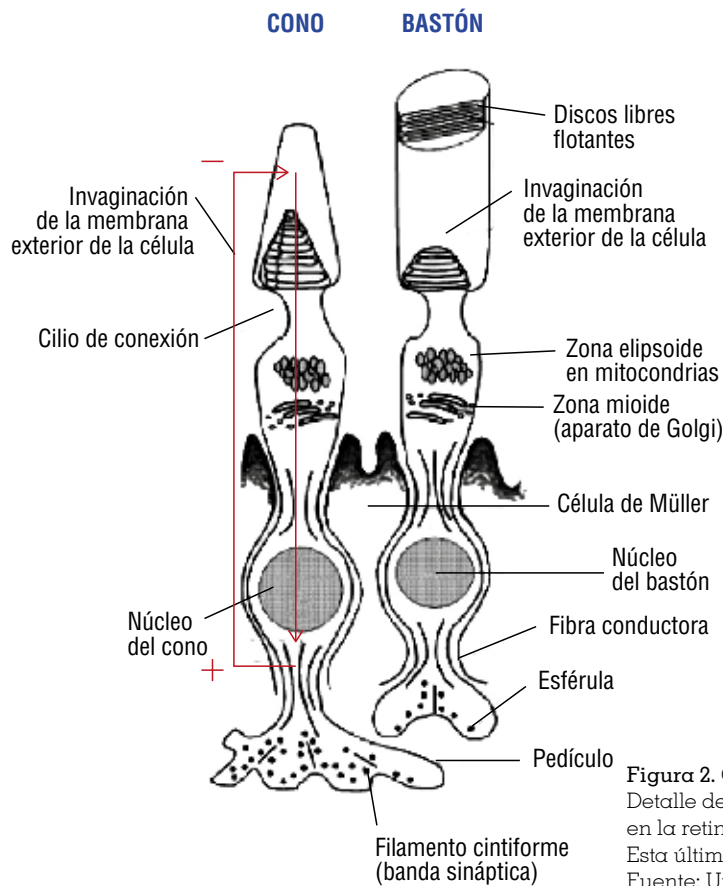
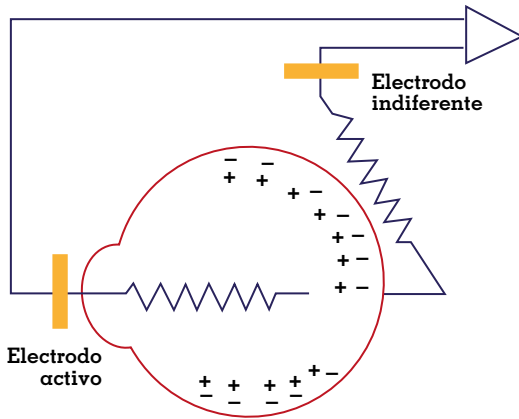


Figura 2. Corriente oscura en los fotorreceptores. Detalle de los fotorreceptores presentes en la retina y la polarización de su membrana. Esta última genera la corriente oscura (en rojo). Fuente: Utrubia (1997).

Dado que esta corriente es máxima cuando la retina no está iluminada directamente, está en reposo. A esta se le denomina *corriente oscura*, a la cual se le asocia un gradiente constante de potencial. La capa de fotorreceptores externa, formada por el segmento externo de la célula que sobresale de la retina, es negativa en relación con la superficie posterior de la retina, de-

nominala *banda sináptica*, donde se realiza la sinapsis entre el fotorreceptor y el nervio óptico, que tiene un valor positivo. La diferente concentración de células en uno u otro lado de sus membranas celulares constituyen un diferencial de potencial que genera un campo eléctrico que puede ser registrado. Este potencial ha sido registrado mediante la colocación de un elec-

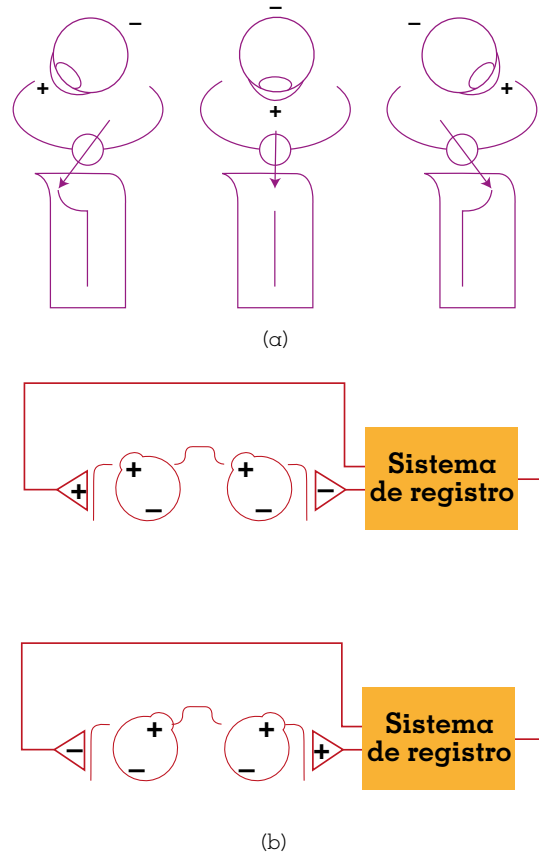
trodo en la córnea y otro en la parte posterior del ojo. En reposo, existe una diferencia de potencial de 6 mV entre la parte delantera del ojo y la posterior (figura 3) (Utrubia, 1997).



**Figura 3.** Dipolo eléctrico ocular: disposición de las cargas a lo largo de la retina. Fuente: Utrubia (1997).

## 2.2 Fundamento teórico de la técnica (EOG)

El potencial del dipolo formado por el globo ocular puede ser medido a una cierta distancia mediante electrodos colocados sobre la piel en las cercanías del glóbulo ocular. Con dos electrodos colocados sobre las sienes de un paciente, se pueden registrar los movimientos horizontales de los ojos. Cuando los ojos giran hacia un electrodo, este adquiere una polarización más positiva respecto al electrodo del cual los ojos se alejan, que adquiere un potencial más negativo. Esta diferencia de potencial se puede medir como una señal diferencial del movimiento de los ojos y su posición. Este es el principio eléctrico generador de la técnica del EOG (Senatore et ál., 2010) (figura 4).



**Figura 4.** Captación del EOG. (a) Potencial del dipolo ocular respecto al movimiento de los ojos. (b) Polarización de los electrodos. Fuente: Utrubia (1997).

## 3. Proceso de diseño

El dispositivo se desarrolló de forma modular, distribuido en las siguientes etapas de diseño: adquisición de las señales bioeléctricas, procesamiento, transmisión y control del prototipo de la silla de ruedas (figura 5).

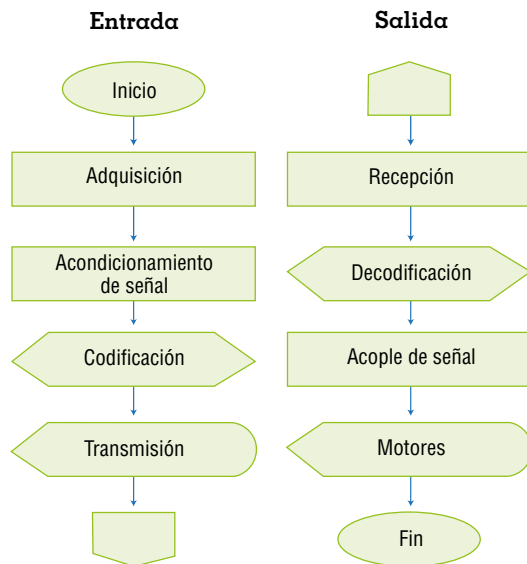


Figura 5. Diagrama de flujo general del proceso de diseño del dispositivo electrónico. Fuente: elaboración propia.

### 3.1 Adquisición de señales

Se desarrolló un dispositivo electrónico de adquisición de señales bioeléctricas (UABS) (Rojas Medina, s. f.), que cuenta con una entrada (arriba-abajo) y una diadema para la adquisición de la señal bioeléctrica mediante electrodos de superposición.

Esta unidad cuenta con etapas de acople de electrodos, preamplificación y ajuste de tierra flotante o referencia. Luego tienen una etapa de control de ganancia y etapas de filtrado del espectro de la señal (a través de un filtro pasabajos y uno rechazabanda) para evitar todo ruido producido por la red eléctrica (figura 6).

Para manejar la señal en un rango de trabajo estable, se implementó un circuito de DC para garantizar el rango de trabajo entre 0 y 3 voltios (figura 7).

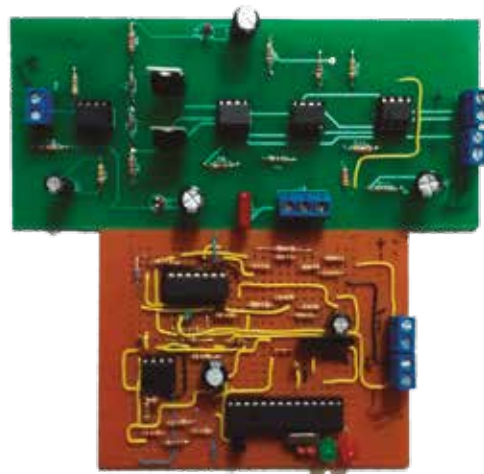


Figura 6. Circuito de adquisición de biopotenciales. Fuente: elaboración propia.

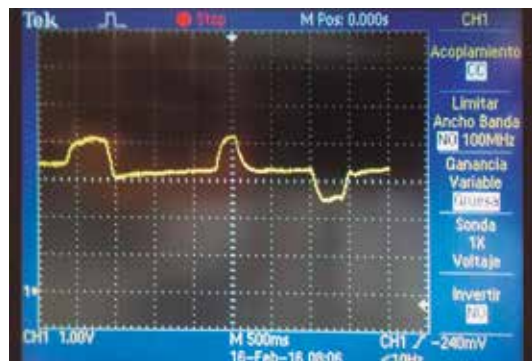
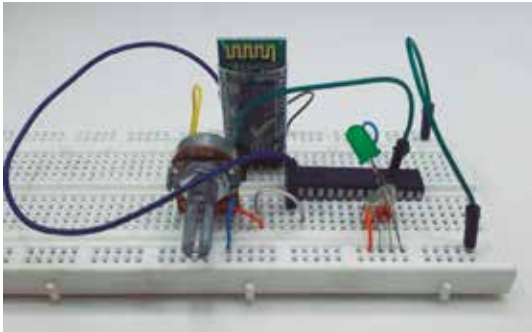


Figura 7. Señal captada del dispositivo electrónico (arriba, parpadeo y abajo). Fuente: elaboración propia.

### 3.2 Procesamiento y transmisión

Para el procesamiento de la señal, se trabajó con un microcontrolador 16f876A (figura 8), que tiene como objetivo principal procesar e interpretar la señal que ingresa, de tal manera que, vía *bluetooth*, envíe señales desde el transmisor al esclavo que está ubicado en la silla. Este último recibe la orden y realiza el movimiento asignado.



**Figura 8.** Circuito implementado para el procesamiento y transmisión.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.3 Control

El sistema de movimiento es controlado por sistema operativo a través de una tarjeta de desarrollo Stm32F4-Discovery. Esta se encarga de ordenar y priorizar las tareas; en este caso, el movimiento de avance y retroceso del prototipo de silla (figura 9).



**Figura 9.** Prototipo a escala de Silla de ruedas con circuito de adquisición.  
Fuente: elaboración propia.

El *software* cuenta con tres hojas de código importantes en las cuales se realiza la función general del sistema. La primera es *Main.c*, que

se encarga de la priorización de las tareas que se ejecutan en el sistema operativo; la restantes, *Thread.c* y *Motores.c*, que describen las funciones y los algoritmos que cumple cada una y el tiempo que se demora su funcionamiento. Estas tareas son llamadas por el *Main.c*, que también se encarga de priorizar y determinar cuál de estas opera y las interrupciones que le ordenan el funcionamiento.

## 4. Conclusiones

- Se diseñó un dispositivo que capta las señales bioeléctricas que se emiten mediante el movimiento de los ojos usando la técnica de EOG.
- Las señales bioeléctricas emitidas por el ojo se procesaron en un chip mediante la teoría fundamentada de los convertidores ADC.
- Se prototipó un dispositivo a escala para corroborar que la parte de control no presentara conflictos de comunicación inalámbrica empleado la técnica de comunicación bluetooth.
- Para darle continuidad al proyecto se pretende extender las investigaciones y las pruebas hasta proyecto de grado, con lo cual buscamos controlar la silla de ruedas real en los dos ejes (X, Y), y proceder con la estandarización de la señal realizando pruebas en varios pacientes.

## Agradecimientos

Queremos dar agradecimientos especiales a Adriana Paola Mendoza, William Moscoso, Gustavo Rojas, Ricardo Cervantes; a todos y cada uno de los que han hecho parte de este proyecto a lo largo de todo su planteamiento,

diseño y desarrollo. Además, queremos agradecer al personal del laboratorio, ya que ellos nos suministraron los espacios para el desarrollo del mismo.

## Referencias

- Gallego Navarrete, D. (2007). *Desarrollo de un sistema de adquisición y procesado de señales electrooculográficas para el diagnóstico de la ataxia* (trabajo de grado). Barcelona: Universidad de Cataluña.
- Rojas Medina, G. (s. f.). *Dispositivo de adquisición y procesamiento de bioseñales*. Consultado en <http://grojasm.es.tl/UABS.htm>.
- Senatore, A. et ál. (2010). *Sistema portátil para la detección y transmisión inalámbrica de la posición del ojo*. (trabajo de grado). Montevideo: Universidad de la República. Consultado en <https://goo.gl/ixtijQ>.
- Utrubia, C. (1997). *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Webster, J. G. (1998). *The origin of Biopotentials*. Consultado en <https://goo.gl/ImT3XN>.