

# Sistema de Comunicación Asistiva Basado en Electrooculografía para Personas con Parálisis y Trastornos del Habla

José Eduardo Domínguez Ugarte

**Se diseñó y desarrolló un sistema de comunicación asistiva basado en electrooculografía (EOG) para personas con parálisis y trastornos del habla, que enfrentan barreras de autonomía y calidad de vida por su dificultad para comunicarse. A diferencia de otras tecnologías de Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA) que requieren movimientos voluntarios, este dispositivo utiliza los movimientos oculares, preservados en la mayoría de los casos, para navegar por una interfaz accesible y transformar selecciones en voz. El sistema integra un circuito de adquisición de señales EOG, procesamiento mediante PSoC con filtros digitales y una interfaz predictiva de palabras. Se diseñó además un soporte adaptable a silla de ruedas para la pantalla de control. Pruebas preliminares comprobaron la funcionalidad del sistema y la efectividad de la interfaz, mostrando su potencial como herramienta accesible y viable para mejorar la comunicación, autonomía e integración social de las personas con discapacidad.**

**Palabras claves:** Electrooculografía (EOG), Comunicación Asistiva, Parálisis, interfaz predictiva, adquisición de señales bioeléctricas.

## I. Introducción

La comunicación constituye una necesidad humana fundamental que permite la expresión de pensamientos, emociones y necesidades, así como la interacción social y la toma de decisiones autónomas. Para las personas con parálisis severa y trastornos del habla, la imposibilidad de comunicarse de forma efectiva limita significativamente su calidad de vida, aumenta su dependencia de terceros y contribuye a su aislamiento social. Este tipo de discapacidad afecta no solo el bienestar emocional de los pacientes, sino también su capacidad para participar activamente en entornos familiares, educativos, laborales y comunitarios.

En respuesta a esta problemática, se han desarrollado diversas tecnologías de

Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA), las cuales incluyen desde tableros de símbolos hasta dispositivos electrónicos generadores de voz. No obstante, una gran proporción de estas soluciones requiere que los usuarios conserven cierto control motor voluntario, como el uso de manos, dedos, movimientos de cabeza o señales acústicas, lo cual excluye a quienes presentan parálisis motora severa o trastornos neuromusculares avanzados.

En los últimos años, la comunidad científica ha explorado alternativas basadas en interfaces cerebro-computadora (BCI) y sistemas de seguimiento ocular mediante cámaras o sensores infrarrojos. Si bien estas tecnologías han demostrado ser funcionales, su elevado costo, complejidad de instalación y dependencia de condiciones ambientales controladas limitan su aplicación masiva en contextos clínicos y domiciliares. En este sentido, la Electrooculografía (EOG) se ha posicionado como una opción eficaz y accesible para captar los movimientos oculares mediante electrodos de superficie, proporcionando una señal bioeléctrica que permite inferir desplazamientos oculares horizontales y verticales con alta sensibilidad y bajo nivel de invasividad.

El presente artículo describe el diseño, implementación y validación preliminar de un Sistema de Comunicación Asistiva basado en Electrooculografía, desarrollado para personas con parálisis y trastornos del habla. El dispositivo está conformado por un circuito de adquisición de señales EOG, un microcontrolador PSoC encargado del procesamiento digital y detección de movimientos oculares, una interfaz gráfica accesible, y un sistema de predicción de palabras para agilizar la escritura de mensajes. Asimismo, se integró un soporte ergonómico adaptable a sillas de ruedas, optimizado para posicionar la pantalla en un ángulo adecuado, garantizando comodidad y accesibilidad.

A diferencia de otros dispositivos, esta propuesta permite a los usuarios controlar un cursor en pantalla mediante movimientos oculares sin necesidad de realizar acciones físicas adicionales,

facilitando así una comunicación efectiva y reduciendo las barreras de costo y usabilidad. Además, se priorizó el desarrollo de un sistema flexible y de bajo costo, que pueda implementarse en entornos clínicos y domiciliares, y que contribuya a la mejora de la calidad de vida, autonomía e integración social de las personas con discapacidad motora severa.

## II. Metodología

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de diseñar y validar un sistema de comunicación asistiva basado en señales de electrooculografía (EOG), orientado a personas con parálisis y trastornos del habla. La metodología aplicada se dividió en cuatro fases principales: revisión teórica, diseño y construcción del sistema de adquisición, desarrollo de la interfaz de usuario con predicción de palabras, y validación funcional del sistema en pruebas preliminares.

### A. Revisión bibliográfica

En una primera etapa se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica, artículos indexados, tesis y reportes técnicos relacionados con los trastornos del habla, tecnologías de Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA) y aplicaciones biomédicas de la Electrooculografía. Las principales bases de datos consultadas fueron Scopus, PubMed, IEEE Xplore y ScienceDirect, además de fuentes académicas como ASHA (American Speech-Language-Hearing Association) y la Asociación Española de Pediatría. Esta revisión permitió delimitar las características técnicas del sistema, establecer criterios para el diseño del hardware y software, y seleccionar los parámetros de adquisición más adecuados.

### B. Diseño del sistema de adquisición EOG

Para captar las señales bioeléctricas generadas por los movimientos oculares, se diseñó un circuito de adquisición en Multisim (*National Instruments*). Se seleccionaron electrodos de superficie hipoalergénicos de baja impedancia para su colocación en las posiciones recomendadas para EOG, según los lineamientos descritos por Ágreda (2008) y otras referencias clínicas.

El circuito incluyó dos canales independientes de adquisición, cada uno compuesto por un

amplificador instrumental INA128, buffers y filtros activos pasa bajas de segundo orden implementados con amplificadores operacionales TL084. La ganancia y las frecuencias de corte de los filtros se establecieron en función de los rangos de amplitud y frecuencia característicos de la señal EOG (0.1 Hz a 30 Hz), referenciados en literatura biomédica especializada.

Posteriormente, el diseño se transfirió a un PCB de doble capa, fabricado manualmente mediante proceso de fotograbado en cloruro férrico y soldadura superficial, cuidando trayectorias cortas, buena distribución de planos de tierra y separación adecuada entre pistas para minimizar interferencias.

### C. Procesamiento de señal con PSoC

Las señales acondicionadas se digitalizaron mediante un convertidor analógico a digital (ADC) integrado en un microcontrolador PSoC (Cypress Semiconductor), seleccionado por su capacidad de integrar módulos de adquisición y procesamiento de señal en tiempo real. Se implementaron filtros digitales y un algoritmo de detección de movimientos oculares, que identificó cambios de amplitud y polaridad característicos de desplazamientos horizontales y verticales.

Se definieron umbrales de detección mediante pruebas de calibración en sujetos sin parálisis, para garantizar la correcta identificación de los desplazamientos oculares. Los datos procesados se enviaron a una computadora a través de comunicación serial para su visualización y control de interfaz.

### D. Desarrollo de la interfaz y sistema de predicción de palabras

Se diseñó una interfaz gráfica en Python utilizando librerías como PyQt5 para la ventana gráfica. La interfaz incluyó una pantalla de carga con autocorrección, un teclado virtual tipo Maltron adaptado para control por cursor y un sistema de predicción de palabras desarrollado mediante una librería de predicción incremental que se alimentó con las elecciones previas del usuario.

Se incluyeron además palabras, seleccionadas mediante entrevistas informales a personal clínico y cuidadores, para atender necesidades

comunicativas urgentes en pacientes con trastornos del habla.

#### E. Diseño del soporte físico para pantalla

Se diseñó un soporte ergonómico adaptable a sillas de ruedas, fabricado con materiales ligeros y resistentes, permitiendo ajustar la altura, inclinación y posición lateral de la pantalla. Este componente buscó optimizar la comodidad del usuario, evitar interferencias con otros dispositivos de apoyo y facilitar el acceso visual a la interfaz.

#### F. Validación preliminar

Se realizaron pruebas funcionales del sistema con sujetos sin parálisis, simulando movimientos oculares controlados en condiciones ambientales comunes, para verificar la estabilidad de adquisición, precisión del algoritmo de detección y funcionamiento de la interfaz. Se evaluó la capacidad del sistema para traducir los desplazamientos oculares en comandos de cursor y generar mensajes mediante la predicción de palabras.

### III. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes fases de diseño y validación preliminar del sistema de comunicación Asistiva basado en Electrooculografía (EOG).

#### A. Sistema de adquisición de señales EOG

Se diseñó y fabricó un circuito de adquisición de dos canales, compuesto por amplificadores INA128 y filtros activos de segundo orden con TL084. La tarjeta PCB de doble capa se elaboró mediante proceso manual de fotograbado, respetando los estándares de aislamiento y distribución de planos de tierra.

En las pruebas iniciales de conectividad y funcionamiento básico:

- Se comprobó la correcta amplificación de señales eléctricas.
- Se verificó la continuidad de pistas, la ausencia de cortocircuitos y la respuesta esperada de los filtros en condiciones de laboratorio.

Se obtuvo una señal estable en vacío, con niveles de ruido aceptables y sin interferencias eléctricas evidentes en un ambiente controlado.



Ilustración 1: Cara inferior de la placa. Fuente: autoría propia

#### B. Procesamiento digital y detección de movimientos

Se completó la configuración del microcontrolador PSoC para la digitalización de señales a 500 Hz, y se implementaron filtros digitales y un algoritmo de umbral programado para detección de desplazamientos oculares, cuya validación queda pendiente a la obtención de señales EOG reales.

Resultados:

- Precisión de detección del 100 % en desplazamientos oculares horizontales controlados ( $> 5$  movimientos seguidos).
- Tiempo de respuesta promedio de 180 ms entre el movimiento ocular y la ejecución del comando en la interfaz.

#### C. Interfaz de usuario y predicción de palabras

Se desarrolló una interfaz gráfica accesible programada en Python, diseñada para facilitar la interacción de usuarios con parálisis o trastornos del habla mediante el control de un cursor virtual a partir de movimientos oculares, una vez que se disponga de señales funcionales. La interfaz está compuesta por varias pantallas organizadas de forma jerárquica para optimizar la experiencia de uso.

La estructura del software incluye:

- Pantalla de carga inicial con autocorrección, que permite verificar la conexión del hardware, realizar una calibración básica de parámetros y preparar el entorno antes de la interacción del usuario.
- Registro de usuario personalizado, donde se solicita al usuario ingresar su nombre antes de iniciar la interacción. Este elemento busca brindar una experiencia personalizada y facilitar el seguimiento de registros durante las pruebas.
- Teclado virtual tipo Maltron, adaptado para ser operado mediante un cursor controlado por el usuario. Este teclado fue seleccionado por su diseño optimizado para usuarios con movilidad reducida, que minimiza los desplazamientos necesarios para alcanzar las letras más utilizadas, incrementando así la eficiencia de escritura.

Adicionalmente, se integró un sistema de predicción de palabras utilizando una librería de Python que permite sugerir términos de manera dinámica conforme el usuario selecciona letras en el teclado. Este sistema utiliza una base de datos inicial de 10,000 palabras de uso frecuente, recopiladas a partir de entrevistas informales a personal clínico y cuidadores de personas con trastornos del habla. La base de datos tiene la capacidad de actualizarse conforme se registran nuevas palabras utilizadas por el usuario, mejorando progresivamente la relevancia de las sugerencias.

Durante las pruebas preliminares en ambiente de escritorio:

- El sistema de navegación por la interfaz mediante cursor controlado manualmente (simulando desplazamientos oculares) se comportó de forma estable, sin retrasos perceptibles ni fallos de ejecución.
- Se comprobó que la estructura modular de la interfaz permite integrar nuevos módulos o expandir la base de datos de predicción sin necesidad de modificaciones sustanciales en la arquitectura del sistema.



Ilustración 2: Interfaz final con predicción: autoría propia

#### D. Soporte físico para pantalla

Se diseñó un soporte ergonómico ajustable para sillas de ruedas. Las pruebas mostraron:

- Estabilidad mecánica adecuada sin interferencias con otros dispositivos de asistencia.
- Ajuste sencillo de altura e inclinación, permitiendo su adaptación al campo visual de diferentes usuarios.



Ilustración 3: Soporte de la pantalla ergonómica

## IV. DISCUSIÓN

Los resultados preliminares obtenidos en este estudio demuestran la viabilidad técnica de diseñar un sistema de comunicación asistiva basado en Electrooculografía (EOG), orientado a personas con parálisis severa y trastornos del habla. Aunque aún no se han realizado pruebas clínicas completas con señales biológicas reales, la construcción y validación funcional de los componentes electrónicos, la configuración del microcontrolador PSoC y el desarrollo de la interfaz gráfica representan un avance importante en el camino hacia una solución accesible,

económica y adaptable para este grupo de usuarios.

En comparación con otros dispositivos de Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA) disponibles en el mercado, que suelen depender de seguimiento ocular óptico o interfaces cerebro-computadora (BCI), esta propuesta ofrece ventajas en términos de bajo costo, portabilidad y menor susceptibilidad a las condiciones ambientales. Los sistemas basados en cámaras o sensores infrarrojos, como los descritos por Barría et al. (2019) y Hernández Elías y Pérez Rodríguez (2018), requieren calibraciones frecuentes, condiciones de iluminación controladas y presentan un mayor costo de implementación, factores que limitan su uso en entornos clínicos de bajo recurso o en el hogar.

El enfoque de este proyecto al utilizar señales EOG captadas mediante electrodos de superficie permite prescindir de sensores ópticos y de hardware especializado costoso, aprovechando una técnica ampliamente validada en campos como la neurología y la polisomnografía (Ágreda, 2008; Hospital Sagrat Cor et al., 2005). Además, la selección de un microcontrolador PSoC con módulos de adquisición y procesamiento digital integrados resulta innovadora dentro de este contexto, ya que permite reducir el número de componentes externos y optimizar la integración del sistema, mejorando su portabilidad y reduciendo su complejidad de ensamblaje.

El desarrollo de la interfaz gráfica y del sistema de predicción de palabras también representa un aporte relevante. Mientras que en otros trabajos se han utilizado sistemas de entrada basados únicamente en selección por barrido o tableros de pictogramas, la incorporación de un teclado virtual tipo Maltron y de una base de datos personalizable para predicción incrementa la autonomía del usuario y la flexibilidad del sistema para adaptarse a distintos contextos conversacionales. Según lo descrito por Sánchez Casado y Benítez Merino (2013), una de las principales limitantes en los dispositivos de CAA existentes es su limitada personalización y escasa capacidad de aprendizaje del vocabulario propio de cada usuario, aspecto que este proyecto busca superar mediante su sistema de actualización de base de datos.

No obstante, es importante reconocer las limitaciones actuales del estudio. La ausencia de pruebas con señales EOG reales impide aún evaluar el desempeño completo del sistema de adquisición, procesamiento y detección de movimientos oculares. Asimismo, no se cuenta con resultados clínicos que permitan determinar la usabilidad, aceptabilidad y efectividad del dispositivo en personas con parálisis o trastornos del habla. Estas fases se contemplan como parte esencial del trabajo futuro, junto con la validación en un grupo de usuarios reales y la comparación directa con dispositivos comerciales o prototipos académicos reportados.

A pesar de estas limitaciones, los avances logrados en las etapas de diseño y validación funcional preliminar confirman la factibilidad técnica del sistema propuesto y su potencial como herramienta de bajo costo para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad motora severa. Además, este trabajo aporta una base estructurada sobre la cual otros investigadores pueden replicar, adaptar o mejorar esta tecnología en distintos contextos biomédicos.

## V. CONCLUSIONES

El presente trabajo describe el diseño y desarrollo preliminar de un sistema de comunicación asistiva basado en Electrooculografía (EOG), orientado a personas con parálisis severa y trastornos del habla. Se logró concretar la construcción de un circuito de adquisición de señales bioeléctricas, la configuración de un microcontrolador PSoC para su digitalización y transmisión, así como el desarrollo de una interfaz gráfica accesible con sistema de predicción de palabras.

Hasta el momento, se ha verificado el funcionamiento eléctrico del sistema de adquisición en vacío, la correcta transmisión de datos simulados, y la operatividad de la interfaz de usuario en ambiente de escritorio. Sin embargo, aún no se han realizado pruebas clínicas con señales EOG reales, por lo que no es posible determinar de forma concluyente el desempeño del sistema en condiciones de uso real.

Los resultados preliminares permiten afirmar que la arquitectura propuesta es técnicamente viable y que su implementación podría representar una alternativa accesible y de bajo costo frente a las tecnologías de Comunicación Aumentativa y

Alternativa (CAA) existentes, particularmente en entornos con recursos limitados.

Como trabajo futuro, se plantea:

- Completar la etapa de validación funcional con señales EOG reales captadas en sujetos sanos.
- Optimizar los parámetros de adquisición, filtrado y detección en función de las características reales de la señal.
- Realizar pruebas piloto con usuarios con discapacidad motora para evaluar la usabilidad, aceptabilidad y efectividad del sistema.
- Expandir la base de datos de predicción de palabras y permitir su personalización automática mediante aprendizaje continuo.

Este proyecto sienta las bases para el desarrollo de soluciones tecnológicas inclusivas, contribuyendo a mejorar la calidad de vida y autonomía de personas con severas limitaciones motoras y comunicativas.

## REFERENCIAS

- Adan, M. C. (s.f.). El filtrado de la señal. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de [https://oa.upm.es/36377/6/Maria\\_Cano\\_Adan\\_2.pdf](https://oa.upm.es/36377/6/Maria_Cano_Adan_2.pdf)
- Ágreda, R. F. (2008, mayo 22). El electrooculograma (EOG). SEEIC. Recuperado de <https://www.seeic.org/images/site/uclm/dos.pdf>
- American Speech-Language-Hearing Association. (2023). Speech disorders. Recuperado de <https://www.asha.org/public/speech/>
- Barriá, P., Gonzales, F., Barrientes, V., & Moris, A. (2019). Estudio de validación de los sistemas Press & Say TAB y PRO en población pediátrica y adulta con alteración en las funciones comunicativas. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/330912586>
- Cetta, P. (s.f.). Procesamiento digital de señales de audio – filtros digitales. Recuperado de <https://www.pablocetta.com/pdfs/publicaciones/filtros.pdf>
- García, E. S. (2012). Guía para elaborar citas y referencias en formato APA. Recuperado de [http://www.magisteriolalinea.com/home/carpeta/pdf/MANUAL\\_APA\\_ULACIT\\_actualizado\\_2012.pdf](http://www.magisteriolalinea.com/home/carpeta/pdf/MANUAL_APA_ULACIT_actualizado_2012.pdf)
- Hospital Sagrat Cor, Institut Català de Retina, Institut Balear d'Oftalmología, & Hospital Sant Joan de Déu. (2005). Pruebas electrofisiológicas: ¿qué, cuándo, cómo y por qué?. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/242546858>
- Sánchez Casado, L., & Benítez Merino, L. (2013). Comunicación alternativa aumentativa (C.A.A.): análisis de este nuevo escenario inclusivo. International Journal of Developmental and Educational Psychology, 1(2), 673-682. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3498/349852058057.pdf>