

# Comunicador controlado por señales Electrooculográficas

N. M. Dalgaard, S. Luvoni, E. L. González (\*), J. C. Tulli, P. D. Agüero, J. M. Garín y A. J. Uriz  
Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ingeniería  
(\* ) [elgonzal@fi.mdp.edu.ar](mailto:elgonzal@fi.mdp.edu.ar)

**Resumen**—Este trabajo describe el desarrollo de un sistema que por medio de señales oculográficas brinda una alternativa económica a los dispositivos de acceso a computadoras. Hardware y software permiten la escritura de textos en un teclado virtual mostrado en el monitor de una computadora simplemente mirando los comandos o letras a escribir. Esto facilitará a usuarios con discapacidades motrices severas usar la computadora como medio para comunicación. El proyecto se acotó a un sistema que permite escribir frases cortas y pronunciarlas.

**Palabras clave**—Discapacidad, Oculografía, Escritura, Control.

## I. INTRODUCCIÓN

Así como una rampa o elevador provee a una persona que usa silla de ruedas el acceso a diferentes espacios físicos, la tecnología adaptativa, mediante software y hardware especializado, permite a personas con discapacidades motrices usar computadoras. En los casos de patologías graves en donde el usuario está imposibilitado de hablar es necesario usar herramientas de comunicación basadas en PC. Pero esta posibilidad, a su vez, generó un nuevo problema que es el acceso del usuario al PC. Uno de los métodos para acceder a una PC de manera no convencional (teclado o ratón), es a través de la utilización de Técnicas Electrooculográficas.

## II. COMUNICADOR ELECTROOCULOGRAFICO

El “Comunicador Electrooculográfico” es un sistema compuesto por un dispositivo electrónico, básicamente un amplificador de bajo ruido y alta sensibilidad, y un software especialmente diseñado. En conjunto, generan un puntero (o rastro electrónico que aparece en la pantalla del PC) que obedeciendo al movimiento de los ojos, puede seleccionar distintas opciones. Esto permite que personas con dificultades motrices se comuniquen en forma oral y/o escrita. Este dispositivo incluye un sintetizador de voz en idioma castellano, lo que a su vez permite expresar el mensaje en forma oral.

La utilización de Señales Electrooculográficas (EOG) como fuente de comandos es fiable, ya que a pesar de ser propensa a fuertes perturbaciones, mediante un adecuado tratamiento, es posible conseguir una relación unívoca entre la posición del ojo dentro de su cuenca y una zona en la pantalla o monitor del PC [1].

Existen actualmente muchos sistemas con esta finalidad, algunos ejemplos de ello son: SmartNav™[2], Head Master Plus™ [3], Vision-Trak™ [4], etc. Los mismos basan su funcionamiento en el seguimiento del movimiento de la cabeza o la pupila. Todas estas interfases alcanzan gran precisión, pero sus costos los hacen poco accesibles para el

usuario promedio en Argentina, y es aquí donde propuesta en este trabajo se hace atractiva para nuestro país [5].

## Señales EOG

Las señales de EOG son pequeñas variaciones de tensión continua generadas por el movimiento de los ojos dentro de sus orbitas. Estas señales pueden ser captadas mediante el uso de electrodos descartables. En la Figura 1 se ve el posicionamiento de electrodos sobre un voluntario.



Figura 1. Ubicación de los electrodos

Al ser la señal EOG una indicación de la posición de los ojos relativa a la cabeza, al mover la cabeza manteniendo la mirada fija en un punto, también provoca variaciones de este potencial, por lo que cualquier sistema de control que use estas señales deberá tener en cuenta esta eventualidad.

En la Figura 2 se muestra el registro de dos señales EOG y EMG (Electro Mio-Grama) adquiridas simultáneamente.

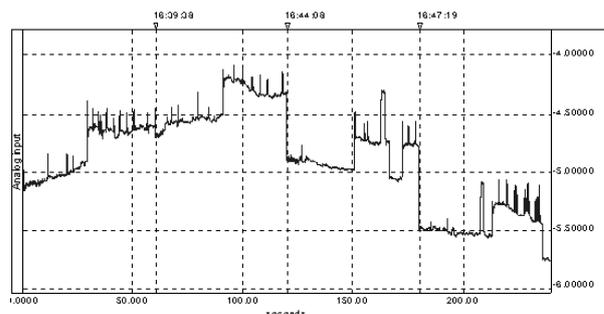


Figura 2. Registro de señales EOG

La señal EOG es la responsable de los escalones de tensión ocurridos aproximadamente cada 30 segundos. Estos escalones de tensión obedecen a movimientos

voluntarios de los ojos fijando la vista en distintos puntos del monitor del PC, debido a la posición de los electrodos (Figura 1) se registró el movimiento vertical. La amplitud aproximada de los escalones de tensión es de 0.3 V.

Las señales EMG o de movimiento de párpados son las responsables por los picos (o deltas) de amplitud, que pueden ser voluntarios o involuntarios. En este sentido, los picos altos y anchos producidos a los 160 segundos y a los 206 segundos se deben a un movimiento voluntario de párpados cerrados fuertemente. Esto se hizo para estudiar la posibilidad de usar esto como señal de validación

La señal obtenida de los electrodos presenta un nivel de tensión continua que varía entre -5.5 mV y -4.5 mV y una amplitud de parpadeo de aproximadamente 500  $\mu$ V. Si se realiza una ampliación del tramo entre 200 y 240 segundos de la Figura 2 y se muestra en la Figura 3, se ve una secuencia de 5 parpadeos voluntarios que se pueden distinguir perfectamente por su número, pero serían imposibles de distinguir de un parpadeo involuntario. Del análisis de los picos de tensión surgió que al menos en esta primera experiencia hubiese sido muy difícil distinguir entre parpadeos voluntarios e involuntarios. También se ve en la misma figura el parpadeo voluntario de los 206 segundos ejerciendo más fuerza sobre los párpados que lo normal en un parpadeo común.

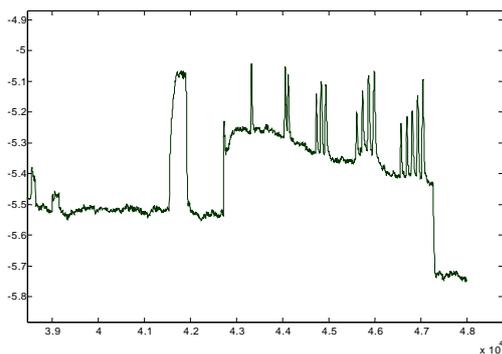


Figura 3. Ampliación de la Figura 2 (último tramo) Ruidos e interferencias en la adquisición del EOG

Mediciones posteriores mostraban variaciones en la componente de continua a pesar de mantener las mismas condiciones. Mediante filtrados pasa altos de 0.05 Hz se corrigió el problema. Este nivel de continua se debe a los potenciales de electrodo de media celda [1] y a tensiones EMG.

Hay muchos inconvenientes en el sentido de señales EOG. La mayoría de estas interferencias han sido ampliamente tratadas en la bibliografía [6] [7] y [8], y no serán analizadas aquí. Sin embargo, las interferencias originadas en los potenciales de contacto electrodo-piel si se menciona por haber sido uno de los mayores problemas en el uso de señales EOG y por estar este equipo especialmente diseñado para enfrentarse a ese problema.

La colocación de los electrodos debe ser en forma peribucal, es decir, en la vecindad de los dipolos oculares. Se utilizan cinco, dos para el canal horizontal y dos para el vertical y uno de referencia. En la Figura 4 se muestra la forma correcta de colocación de los electrodos para obtener dos señales, una para el canal vertical y otra el horizontal. La relación entre los dos canales es casi ortogonal, ya que a pesar de poder diferenciarlos correctamente, existe una pequeña correlación. Los

electrodos que captan la señal correspondiente al canal horizontal son los pares (AB), para el canal vertical los (CD) y la referencia es (E).

La señal EOG puede encontrarse seriamente afectada por variaciones en su componente continua, ya que ésta es justamente la que posee la información de posición angular del ojo.

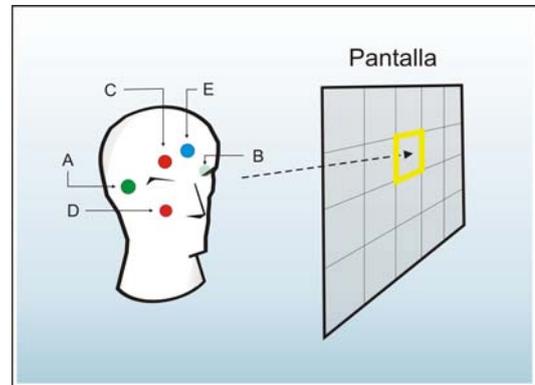


Figura 4. Ubicación de electrodos para óptima captación de la señal electrooculográfica

Además, dicha tensión puede provocar la saturación de los amplificadores debido a los grandes requerimientos de ganancia que éstos deben tener y las variaciones pueden ser provocadas por muchas causas (luminosidad ambiente, posición de los electrodos, estado del usuario, etc.)

### III. FORMA DE FUNCIONAMIENTO

El comunicador oculográfico que aquí se describe es un sistema compuesto por un amplificador de bajo ruido y alta sensibilidad, y un software especialmente diseñado. El amplificador trabaja acoplado en continua (es decir, no tiene filtros pasa altos). Esto implica el problema de las derivas por potenciales de media celda y biopotenciales propios del cuerpo humano. Al funcionar este amplificador en conjunto con un teclado virtual mostrado en el monitor de la PC, en el arranque del programa se genera en la imagen una zona de referencia inicial y cuatro puntos de calibración similar al usado en algunos de los trabajos descritos por Barea [1] que indican al equipo la diferencia de potencial generada por el usuario para barrer toda la pantalla.

Mediante sensados adicionales de tensiones locales y operaciones matemáticas realizadas por el software y recalibrados continuos, es posible determinar la posición de los ojos con respecto a la pantalla con cada variación de potencial producido por el movimientos de los mismos.

La tensión EOG difícilmente varía en forma lenta, sino que lo hace en forma de escalones (movimientos sacádicos). Un ejemplo de una variación lenta sería mantener la vista en un barco que se mueve sobre el horizonte. Dado que este movimiento es improbable y sus consecuencias son variaciones lentas de tensión, similares a las variaciones temporales de las señales biológicas, algunos sistemas de registro y análisis de señales EOG simplemente los eliminan por medio de un filtrado pasa altos. Pero esto significa que ante un escalón de posición, el sistema lo derivaría (producto del filtro pasa altos) provocando un flanco y un tiempo de caída. Estos flancos

también están presentes en los parpadeos, por lo que se genera una posible fuente de error que consiste en confundir parpadeos involuntarios con los flancos de los escalones.

Trabajos similares [12] han podido identificar un número de 7x6 sectores en la pantalla sin mayor problema. Cuando el ojo se desplaza para poder observar un nuevo sector en la pantalla, el cursor seguirá este movimiento debido a las variaciones de las señales de EOG. Una vez que el usuario ve que el cursor se posiciona sobre el sector deseado, lo validará mediante una acción a definir. En este caso se hace por medio de una tecla del ratón, pero la validación dependerá fundamentalmente de las capacidades del usuario.

Esta validación cumple dos funciones, por una parte, determina la acción que el usuario quiere realizar (la cual ha sido apuntada por el cursor). Por la otra, será usada por el sistema como una realimentación de posición. Dado que se asume que el potencial de continua sigue variando, se determina ahora esa nueva posición como una nueva referencia, o sea, se ajusta todo el sistema a esa nueva posición, aún si hay movimientos de cabeza leves.

La figura 5 es una gráfica de cómo podrían ser las tensiones EOG en un funcionamiento normal. Se ve que entre los 90 y 100 segundos aproximadamente hay una secuencia de 7 segundos durante los cuales se seleccionaron 8 posibles zonas horizontales (se pueden distinguir 8 posibles tensiones) y durante ese intervalo de tiempo el valor de continua prácticamente no varió.

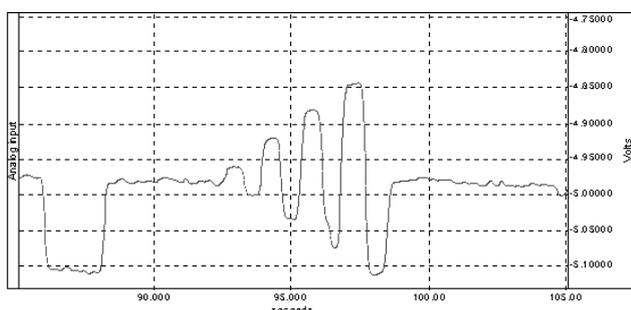


Figura 5. Variación de la señal de EOG

#### IV. PROYECTO

Especificaciones que se tuvieron en cuenta al diseñar el equipo.

##### *Requisitos de Performance.*

El dispositivo debe permitir escribir al menos un carácter cada 2 segundos. Debe poseer una interfaz gráfica amigable. Debe permitir ejecutar comandos de manera ágil. El equipo debe adaptarse no solo a cada usuario, sino también a las variaciones que la señal de EOG presente a cada momento.

##### *Requisitos de Seguridad y tiempo de vida y servicio.*

El equipo debe poseer aislamiento respecto de la red eléctrica, ya que éste se encuentra en contacto con el usuario.

Debe ser utilizado por lo menos por 30 minutos continuos, pues se estima que éste es el tiempo requerido

para una sesión promedio de escritura. El equipo debe tener mínimos requisitos de mantenimiento. Los electrodos deben ser elegidos convenientemente a fin de minimizar costos de mantenimiento.

##### *Implementación del Amplificador*

La señal de EOG es amplificada por un amplificador de instrumentación, el cual debe poseer una ganancia tal que el mismo no sature debido a la componente continua. Si esta saturación ocurriese, existiría una pérdida de información. Una vez magnificada, se superpone a la señal una tensión fija de igual magnitud pero de signo contrario a la porción continua del EOG, quedando así solo la parte variable, la cual es nuevamente amplificada y adaptada para ser adquirida.

La última etapa de amplificación posee ganancia ajustable, la cual adapta la información útil a los niveles de tensión necesarios para cubrir todo el rango de entrada del ADC. La ganancia variable es controlada por la Unidad de Control. Posteriormente la señal se convierte a formato digital y se transmite al PC.

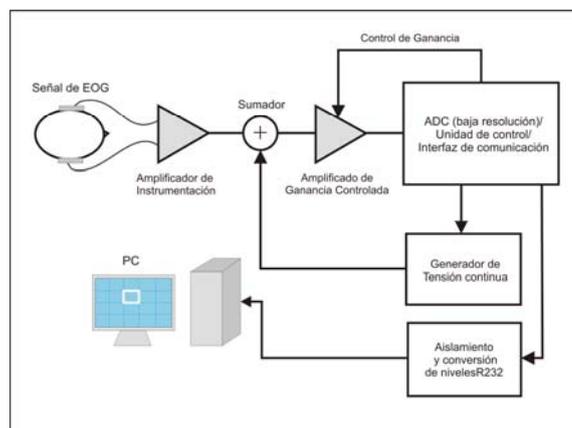


Figura 6. Diagrama en bloques del sistema

Este esquema puede resolverse utilizando componentes de propósito general de bajo costo fácilmente obtenibles en el mercado nacional.

##### *Amplificador de instrumentación.*

Se menciona particularmente este dispositivo ya que por su costo es uno de los elementos que encarecería el diseño. Hoy en día existe en el mercado numerosos amplificadores de instrumentación (AI) integrados, los cuales poseen un alto desempeño en características cruciales para estos dispositivos. Estas son: Rechazo de Modo Común entre 100dB y 120dB, amplio rango de alimentación y bajo voltaje de offset. Sin embargo éstos resultan costosos (aproximadamente U\$S 15 en Argentina). Este equipo usa una implementación alternativa utilizando Amplificadores Operacionales de propósito general, con los cuales se pueden conseguir muy buenos resultados. Esto reduce drásticamente los costos. Se estima que el circuito que reemplaza al amplificador de instrumentación puede construirse de esta forma por aproximadamente U\$S 1.

##### *Interfaz Visual:*

Se implementó un software con la finalidad de analizar la probabilidad de aparición de las diferentes letras y símbolos. Para esto se procesó una gran cantidad de texto, sobre todo libros en lenguaje castellano. En base a los resultados obtenidos, se ubicaron las letras más probables en el centro de la pantalla y las menos probables en la periferia de la misma. Para que el sistema sea más robusto, se dividió la pantalla en tan solo 20 zonas (5 x 4), menos zonas de las 35 que se sugerían en el trabajo previo [5] (7 x 5). Por lo tanto hubo que distribuir los símbolos (letras, números, etc.) en tres teclados virtuales. Esto significó que se deberán direccionar también las zonas fuera de la pantalla.

#### Secuencia de comandos:

La secuencia de comandos inicia en el teclado virtual 1. Si se dirige la mirada arriba del monitor se conmuta al teclado virtual 3. Si se mira nuevamente arriba se retorna al teclado virtual 1. Dirigiendo la mirada a la derecha del monitor se conmuta al teclado virtual 2. Si se mira nuevamente a la derecha se vuelve al teclado virtual 1. Finalmente si se mira hacia abajo, aparece el menú de borrar: TODO, ULTIMA LETRA O CANCELAR. Si se mira hacia la izquierda, la PC lee lo escrito (en forma oral), utilizando el motor de Text To Speech de Windows®.

A continuación se muestran los teclados virtuales mostrados al usuario por el sistema:

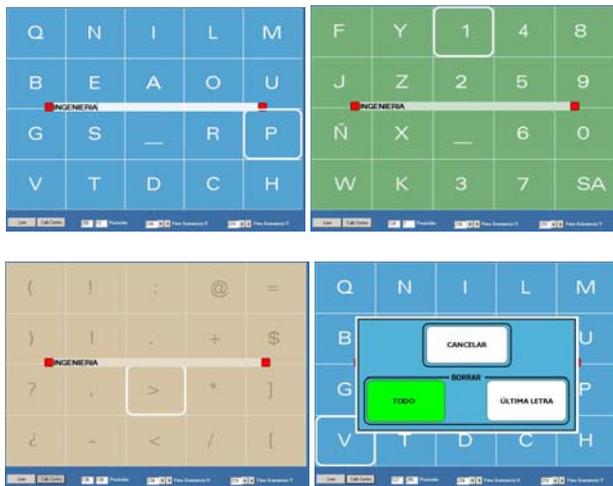


Figura 8. Teclados virtual 1, 2, 3 y teclado borrar

#### Predicción de sílabas y palabras:

Es evidente que este proceso de escritura puede resultar lento, por lo cual se hace deseable la implementación de algún algoritmo de predicción que le ofrezca al usuario una cantidad de palabras posibles antes de que este deba escribir totalmente la palabra. Programas predictores tales como el PredWin ya existen, pero están diseñados para usar otro tipo de interfaces gráficas que no son apropiadas para ser utilizadas por medio de señales EOG. En ese sentido, se está trabajando en un sistema predictor propio llamado "Casandra"[14]. Casandra funciona con un esquema cliente-servidor y es independiente del hardware y el sistema operativo. Mediante clientes adecuados a la plataforma y conexiones de área local o Internet es posible acceder al servicio de predicción. Casandra es altamente

configurable, posee aprendizaje dinámico de las palabras y modos que el usuario posee al redactar textos, y realiza un ajuste dinámico de parámetros para mejorar su rendimiento al monitorear el grado de acierto y la cantidad de correcciones que realiza el usuario. Incorpora además predicción a nivel de sílabas para casos en donde las palabras a predecir no se encuentran en su base de datos.

El sistema Comunicador incorporando el módulo de comunicación cliente para Casandra puede facilitar el uso del mismo al predecir palabras y frases ahorrando una cantidad importante de los eventos necesarios para la redacción.

## V. CONCLUSIONES

Si bien el sistema no ha sido probado con pacientes, las pruebas realizadas en laboratorio demostraron no solo la viabilidad de las ideas planteadas en [5] sino la posibilidad de desarrollar instrumentos relativamente económicos que puedan ser adquiridos por usuarios de recursos limitados.

## REFERENCIAS

- [1] [http://www.depeca.uah.es/personal/barea/tesis/tesis\\_barea\\_pdf.zip](http://www.depeca.uah.es/personal/barea/tesis/tesis_barea_pdf.zip) Barea, Rafael. Tesis doctoral: "Interfaz Usuario-Máquina basado en Electrooculografía. Aplicación a la ayuda a la movilidad" Universidad de Alcalá - Escuela Politécnica
- [2] <http://www.naturalpoint.com/smarnav/products/4-at/>
- [3] <http://www.pacmedhawaii.com/specialty/hmaster.htm>
- [4] [http://www.5dt.com/products/ppol\\_visiontrak.html](http://www.5dt.com/products/ppol_visiontrak.html)
- [5] [http://www.herrera.unt.edu.ar/bioingenieria/sabi/cd\\_2005/pdf/054PS.pdf](http://www.herrera.unt.edu.ar/bioingenieria/sabi/cd_2005/pdf/054PS.pdf) E. L. González, J. C. García García y J. C. Tulli, Estudio de factibilidad de un Mouse controlado por señales Electrooculográficas. XV Congreso Argentino de Bioingeniería. SABI 2007
- [6] <http://www.depeca.uah.es/docencia/BIOING/ib/Tema3.zip> Rafael Barea, Universidad de Alcalá, Departamento de Electrónica, Instrumentación Biomédica. Sistemas de Acondicionamiento y Adquisición de Señales Bioeléctricas
- [7] <https://www.eel.upc.es/~wwdib/tesis/Jramos/cap2.pdf> Juan Ramos Castro, Tesis de Doctorado "Detección de micro potenciales Auriculares de alta frecuencia", Capítulo 2. Universitat Politècnica de Catalunya
- [8] Universidad de Alcalá, Departamento de Electrónica, Instrumentación Biomédica. Electroodos.(apuntes de cátedra)
- [9] Wayne Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", México: Pearson Educación, 1996.
- [10] Bernard Sklar, "Digital Communications Fundamentals and Applications", Prentice Hall International Editions (UK) Limited, London, 1988.
- [11] [http://www.uned.es/eyemovements-lab/links/tipos\\_movimientos.htm](http://www.uned.es/eyemovements-lab/links/tipos_movimientos.htm).
- [12] J. Gips and P. Olivieri, "EagleEyes: "An Eye Control System for Persons with Disabilities", presented at the Eleventh International Conference on Technology and Persons with Disabilities, Los Angeles, March 1996
- [13] [http://www.esteve.es/EsteveArchivos/1\\_8/Ar\\_1\\_8\\_44\\_APR\\_18.pdf](http://www.esteve.es/EsteveArchivos/1_8/Ar_1_8_44_APR_18.pdf) Félix Jesús Alañón Fernández, Manuela Cárdenas Lara, Miguel Angel Alañón Fernández y Ana Martos Aguilera. Anatomía Y Fisiología Del Aparato Ocular
- [14] Sergio Gabriel Luvoni, Pablo Daniel Agüero, Juan Carlos Tulli and Esteban Lucio Gonzalez, "Casandra un Sistema de Apoyo a la Escritura". SICA 2008.