Evaluación y detección de potenciales evocados sobre una interfaz cerebro computadora

M. Araujo[#1], N.González[#2], F. Pose[#3]

[#] *Departamento de Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires*
Buenos Aires, Argentina.

[1] matiasaraujo@est.frba.utn.edu.ar

[2] ngonzalez@frba.utn.edu.ar

[3] fpose@frba.utn.edu.ar

***Abstract*— The proposal of this paper is the design and evaluation of an algorithm capable of recognizing the evoked potential P300 in an electroencephalogram signal, which can be used for clinical evaluation, as it is a non-invasive analysis system based on a brain-computer interface. In order to accomplish this goal, a communication software was developed and evaluated, and allows the user to choose between two alternatives, providing assistance in communication. A processing based on a coherent averaging was proposed, for the first time, for 50 iterations. The idea was to minimize the error detection of the method, in terms of sensitivity, specificity, precision and accuracy, using the discrete wavelet transform. In this context, the use of different main waves was proposed, setting as topic of discussion whether to use them or not. Three healthy middle-aged individuals were used for this project. As a result, it was established a starting point towards a new tool that enables health professionals to have an effective way of working everyday, avoiding involuntary movements and low muscle tone, among other difficulties of access.**

***Resumen*— En el presente trabajo se tuvo como principal propuesta el diseño y evaluación de un algoritmo capaz de reconocer la aparición del Potencial Evocado P300 en una señal de Electroencefalograma el cual pueda ser utilizado durante una evaluación clínica, siendo este un sistema no invasivo de análisis, basado en una interfaz cerebro-computadora. Se utilizó un software de comunicación, el cual permite al usuario elegir entre dos alternativas, brindándole asistencia en la comunicación. Se propone un procesamiento basado en un promediado coherente, en primera instancia, de 50 épocas. Se buscó minimizar el error en la detección en términos de sensibilidad, especificidad, precisión y exactitud del método, mediante la utilización de la transformada wavelet discreta. Bajo este contexto, se propuso la utilización de distintas ondas madre planteando como tema de discusión la conveniencia de utilizar, o no, cada una de estas como alternativas. Se trabajó con tres individuos sanos de mediana edad. Como resultado del proyecto se estableció un punto de partida hacia una nueva herramienta que permita a los profesionales de la salud un medio efectivo de trabajo en su que-hacer diario, independizándose de movimientos involuntarios y bajo tono muscular entre otras dificultades de acceso.**

Palabras Clave— BCI, rehabilitación, potenciales evocados, EEG, transformada wavelet.

INTRODUCCIÓN

Una interfaz cerebro computadora –ICC- (BCI por sus siglas en inglés -*brain computer interface*-) es un sistema que analiza la actividad eléctrica del cerebro con el objetivo de controlar dispositivos externos. Los sistemas ICC/BCI se basan en los potenciales corticales lentos, oscilaciones de las ondas alfa y beta, respuesta de la onda P300 o potenciales evocados visuales de estado estable [1]. El propósito de la interfaz cerebro-computadora es crear una conexión especializada que permita a un individuo con discapacidad motora severa, tener un control sobre diferentes dispositivos como por ejemplo computadoras, prótesis neurológicas o tecnologías productoras de voz (figura 1). Este tipo de interfaz podría aumentar la autonomía del individuo, llevándolo a una mejora de su calidad de vida.



Fig. 1. Modelo de interfaz cerebro-computador.

A. Potenciales evocados

Los potenciales evocados son señales eléctricas, registradas mediante electrodos en el cuero cabelludo, que se producen como respuesta de los sistemas sensoriales a la aplicación de un estímulo adecuado [2]. Existen diferentes paradigmas o métodos de estimulación (auditivo, visual, tareas mentales complejas) para la obtención de dicha respuesta [3]. Dado el objetivo del trabajo, se tratarán los potenciales evocados (PE) debido a estímulos visuales.

B. Potenciales evocados visuales

Los potenciales evocados visuales son la respuesta obtenida al estimular la vía visual, bien mediante flash o mediante un

damero reversible, de modo que ese estímulo ingrese por la retina y llegue a la corteza visual, atravesando diferentes estructuras cerebrales. La respuesta se evalúa a nivel de la polaridad de las ondas, su latencia y su amplitud, obteniéndose un potencial de inicio negativo, seguido de una amplia onda positiva y un pico negativo (figura 2) [1][3]. La forma habitual de obtención de un PE es a partir de la presentación de un conjunto de estímulos de los que solo unos pocos tienen relación a la intención del usuario. De este modo, los estímulos de interés, al ser infrecuentes y provocan la aparición del potencial en la actividad cerebral del usuario [4].

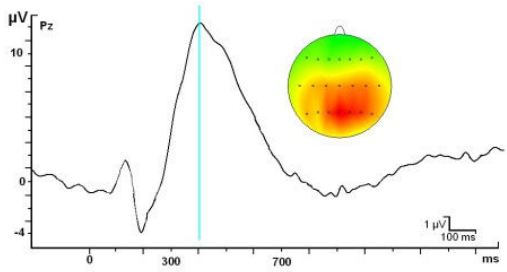


Fig. 2. Onda de un potencial evocado visual.

C. *Potenciales evocados P300*

El potencial más estudiado es el pico P300, siendo este uno de los paradigmas más fiables utilizados en la implementación de un sistema BCI [3]. En general, el P300 se obtiene con una latencia que representa una media de la rapidez del procesamiento cognitivo, del tiempo que tarda el sujeto en percibir y evaluar un estímulo para la actualización o puesta al día de la memoria, y de la capacidad de procesamiento. Esta latencia suele ser de 300ms aproximadamente. Dicho potencial se observa principalmente en las zonas central y parietal de la corteza cerebral [5].

ELEMENTOS DE TRABAJO Y METODOLOGÍAS

A. *Registros ERP*

Se utilizaron registros reales, obtenidos a partir de un software desarrollado exclusivamente para este trabajo el cual se describe en el inciso D. Se utilizó como interfaz de adquisición un casco EMOTIV Epoc de 14 canales de adquisición, cuyas características técnicas pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1
Parámetros de adquisición EMOTIV [26]

Canales	14 Canales de adquisición 2 Canales de referencia
Frecuencia de muestreo	128 Hz
Resolución	14 bits 1LSB = 0.51uV 16 bit ADC
Banda de paso	Banda de paso: 0.2-43 Hz Filtros Notch: 50 y 60 Hz
Rango dinámico	8400 uV(pp)

Los registros sobre los que se trabajó pertenecen a tres individuos saludables. A cada uno se le asignó un total de 5 elecciones escogidas aleatoriamente y se procedió a realizar 3 estudios por individuo. Se utilizaron 50 estímulos por elección respectivamente. Las elecciones posibles con las que se contaron fueron SI o NO. En la figura 3 se puede observar el esquema de conexionado utilizado (setup real) para la adquisición de la señal sobre un individuo.



Fig 3. Setup de obtención de señal de EEG utilizando la interfaz de un comunicador simple.

B. *Pre procesamiento*

Si bien EMOTIV Epoc implica hardware sofisticado, suficiente para suplir los requerimientos más exigentes devolviendo la señal ya pre procesada aplicando un filtro pasa banda entre 0.2 y 43Hz y dos filtros notch en 50Hz y 60Hz, el mismo no es suficiente para los objetivos del trabajo propuesto. Se utilizó para ello un pre-procesamiento complementario, el cual consiste en un promedio coherente para mejorar la relación señal a ruido y estimar la aparición de un PE en cada uno de los registros obtenidos. Como analogía es posible asociarla a una balanza y el proceso de pesaje donde realizando varias mediciones, se aumenta el número de registros, y, en promedio, el valor medio deberá acercarse al valor verdadero. En ese caso, es cuanto menos, semejante: realizando mayor cantidad de secuencias, dando como resultado varias épocas. Cuanto mayor sea la cantidad de registros en los que se encuentre o no un PE, mayor será la confianza con la que se podrá enunciar que el sujeto realizo tal o cual acción. Este método es el mejor estimador no sesgado cuando el número de muestras tiende a infinito. Si bien es de uso masivo, presenta limitaciones, dado que el número de muestras con el cual se suele contar es un número relativamente bajo. Una es el tiempo requerido para lograr una estimación confiable del PE siendo en un sistema ICC/BCI no poseído, otra es que se asume que la señal de PE se mantiene constante de época a época y que el ruido es del tipo blanco con media cero lo que tampoco es cierto. En consecuencia el resultado obtenido del promediado es una mala estimación de la señal real de un PE [7] siendo finalmente la señal obtenida a partir del promediado no concluyente. Se incorpora la utilización de la transformada wavelet (inciso C) como técnica de procesamiento complementaria a esta última. Finalmente para esta etapa se realiza una normalización sobre las señales obtenidas con el fin de eliminar componentes de DC [8]. Para la normalización se utilizó la expresión:

$$x_i = (x_i - \bar{x})/\sigma x$$

Donde x_i es el elemento i-ésimo de la señal, $\bar{x}$ es la media de la señal y σx es la desviación estándar de la señal.

C. *Post procesamiento*

La transformada wavelet es ampliamente utilizada como técnica de procesamiento de la señal de EEG para estimar la aparición de un PE por su habilidad de explorar efectivamente tanto las características del PE en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia [8] [9]. En este trabajo se seleccionó un total de 6 ondas madre. A partir de [7] se seleccionaron: Daubechies 9, Coiflet 4. Además se usó Biorthogonal 3.9 utilizada en [10] y finalmente se seleccionaron tres ondas madres más, Daubechies 4, Coiflet 3 y Biorthogonal 1.5 siendo estas elegidas a partir de su parecido a la morfología del pico de la onda P300. En la figura 4 puede verse la forma de las ondas madres elegidas [11].

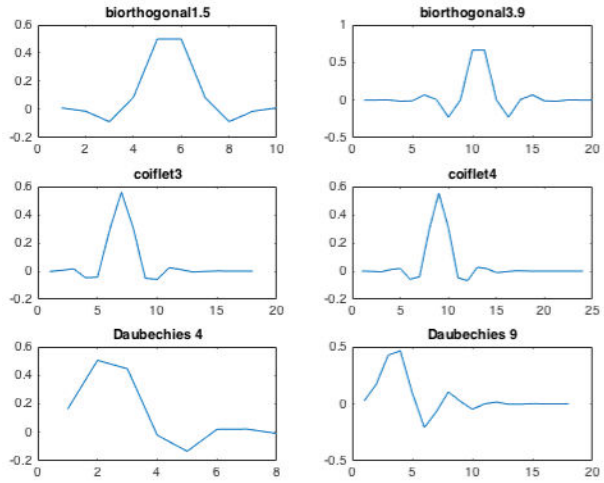


Fig. 4. Ondas madre utilizadas en este trabajo.

Esta transformada permite realizar un análisis multi-resolución por nivel, donde en cada uno de ellos la señal se separa en una porción de altas frecuencias llamada detalle y en otra de bajas frecuencias llamadas aproximación, cada una de las cuales tiene la mitad de las muestras de la señal original. La descomposición en el nivel posterior se realiza sobre la última aproximación, obteniendo así al final una aproximación y tantos detalles como se repita el proceso (figura 5). El conjunto de coeficientes obtenido de esta manera contiene la información completa de la señal original, sin redundancias [9].

D. *Software de evaluación efecto-causa*

Complementariamente a Emotiv SDK [13], se desarrolló en el lenguaje C# .NET, una interfaz de comunicación para el usuario con la computadora. El mismo se basa en un comunicador simple el cual permite configurar dos opciones a intensificarse de forma alternada sobre un fondo negro. Para este trabajo en particular las opciones propuestas fueron SI y NO. Tanto las velocidades de barrido, frecuencia de intensificación, duración del estímulo y la cantidad de repeticiones pueden ser configuradas a partir del tipo de estudio a realizar. Ambos software se comunican de forma unívoca a través de comunicación serie generando un archivo de extensión CSV contenedor de los registros a procesar junto a los estímulos generados por el comunicador.

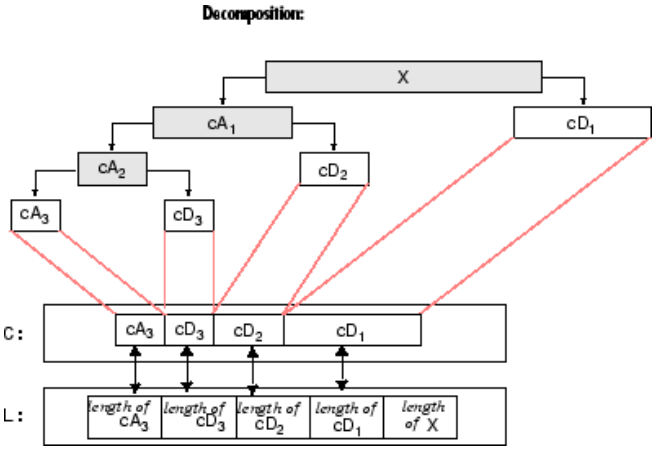


Fig. 5. Descomposición en detalles y aproximaciones producto de la utilización de la transformada wavelet [12].

E. *Indices de desempeño*

Los índices elegidos para evaluar el correcto funcionamiento del algoritmo fueron la sensibilidad (1), especificidad (2), y precisión (3) del método definidos los mismos como:

1) Sensibilidad = TP/(TP+FN)
2) Especificidad = TN/(TN+FP)
3) Precisión = TP/(TP+FP)

Donde TP son los verdaderos positivos, TN verdaderos negativos, FP falsos positivos y FN son los falsos negativos.

RESULTADOS

A. *Evaluación de rendimiento*

La tabla 2 resume los resultados obtenidos al evaluar el desempeño del algoritmo desarrollado para 50 épocas promediadas y un conjunto de ondas madre definido. La evaluación fue llevada a cabo a partir de una base de datos en la cual participaron 3 sujetos en el cual se le especifico al usuario en cuál de las dos elecciones posibles parpadeantes debía enfocar la mirada. De los 14 canales de adquisición se trabajó solo con Cz, en el cual el pico P300 se manifiesta con diferente polaridad, una onda negativa a unos 80-100ms, seguidas de un pico positivo y una amplia onda positiva a 300ms [3]. Para realizar la adquisición del EEG no se entrenó al usuario. Sin embargo, utilizando las wavelet Biorthogonal 3.9 y Coiflet 4 se obtuvo un 78% de

exactitud concluyendo en una aceptación del algoritmo en aplicaciones de BCI. Finalmente la wavelet Daubechies 4 propuesta, otorgó resultados aceptables pero no óptimos

Tabla 2
Evaluación de rendimiento

Onda madre	Sensibilidad	Especificidad	Precisión	Exactitud [%]
Biorthogonal 1.5	0.60	0.25	0.50	44
Biorthogonal 3.9	0.80	0.75	0.80	78
Coiflet 3	0.60	0.50	0.60	56
Coiflet 4	0.80	0.75	0.80	78
Daubechies 4	0.80	0.50	0.66	67
Daubechies 9	0.60	0.75	0.75	67

como si lo fueron Biorthogonal 1.5 y Coiflet 4.
Se puede observar en la figura 6 el potencial evocado P300 contenido en la elección elegida y la ausencia de éste en la opción no elegida.

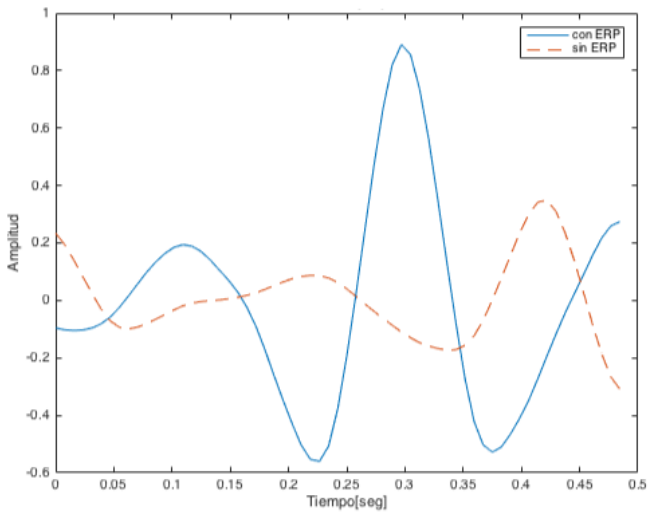


Fig. 6. Elección elegida con P300 y elección no elegida

B. Evaluación de energías

En la tabla 3 se resume los resultados obtenidos de la evaluación de pérdida de energía durante el procesamiento de la señal. Se trabajó sobre verdaderos positivos y verdaderos negativos buscando la pérdida de energía máxima durante el procesamiento. A partir del criterio establecido, se encontró el peor caso para cada onda madre. De éste se concluyó que al utilizar tanto Coiflet 4 como Daubechies 9 se tuvieron pérdidas de energía de la señal del 98%. Sin embargo, ambas pudieron resolver correctamente las elecciones realizada con una exactitud superior al 60% en la cual se destacó la wavelet Coiflet 4.
A partir de los resultados obtenidos, se recomienda en futuros trabajos probar cómo funcionan otras wavelet madres, disminuyendo la cantidad de épocas promediadas y en consecuencia el tiempo de procesamiento.

Tabla 3
Evaluación de energía

Onda madre	Pérdida de energía [%]
Biorthogonal 1.5	93
Biorthogonal 3.9	96
Coiflet 3	94
Coiflet 4	98
Daubechies 4	96
Daubechies 9	98

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados, se concluyó que la wavelet que otorga los mejores resultados, del set de ondas madres elegido, es Coiflet 4 por sobre Biorthogonal 3.9 siendo esta última superada debido a su pérdida de energía. Se confirmó, que un promediado coherente de 50 épocas es más que suficiente para confirmar una elección con un 78% de exactitud en sujetos no entrenados. También se concluyó en que la wavelet Biorthogonal 1.5 elegida previamente debido a su similitud con la morfología de la onda buscada presentó los peores resultados otorgando un 44% de exactitud siendo este inaceptable para un sistema ICC/BCI. En cuanto a la evaluación energética realizada no se observaron diferencias contundentes. Si bien la wavelet Biorthogonal 1.5 y Coiflet 3 presentan la menor pérdida de energía las mismas fueron descartadas debido a su inexactitud en la detección de la elección correcta. Dado el ámbito en el cual será utilizado el algoritmo, se manifiesta también, que el tiempo que le tomó a un ordenador convencional procesar la señal fue satisfactorio, pudiendo ser este utilizado en plataformas de recursos limitados.

TRABAJO FUTURO

A partir del trabajo presentado, se buscará aplicar el mismo procedimiento en un comunicador avanzado, donde tras adaptar los algoritmos se permitirá trabajar en este caso con una matriz de 6x6 elementos, permitiendo asignar recursos como imágenes, sonido y texto a cada celda otorgándole al usuario la posibilidad de elegir una determinada acción a realizar. Otro eje de aplicación podría estar orientado al control de un teclado virtual. Las posibles aplicaciones de este trabajo podrían llegar a ser usadas en dispositivos móviles de soporte, como sillas de ruedas, vocoders, entre otros dispositivos, alimentados a baterías, lo que requerirá que sean eficientes y veloces en lo que a tiempo de cómputo respecta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con la colaboración del Centro Cultural de la Ciencia dependiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva, Innovar para Incluir y la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires. Así mismo, los autores, agradecen al grupo de investigación "Diseño y evaluación de un sistema basado en una Interfaz Cerebro-Computadora para estimulación y desarrolló" ámbito bajo el cual se desarrolló el trabajo como proyecto final de fin de estudios para acceder al título de Ingeniero Electrónico.

REFERENCIAS

[1] Alvaro Morán García. "Diseño de interfaces cerebro-máquina controlados mediante registros de EEG". Grupo de Neurocomputación biológica. Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid.

[2] Cadirola Fernando, Astillarán Paul, Carlos Mercuri, Rubén Acevedo. "Módulo de estipulación auditiva para potenciales evocados auditivos y audiometría tonal". Laboratorio de Ingeniería de Rehabilitación e Investigaciones Neuromusculares y Sensoriales. Universidad Nacional de Entre Ríos.

[3] C.Descals-Moll, J. Burcet-Dardé. "Potenciales evocados y su aplicación en epilepsia". Revista neurología 2002.

[4] Claudia Nureibis Henriquez Muñoz. "Estudio de técnicas de análisis y clasificación de señales EEG en el contexto de sistemas BCI (Brain Computer Interface). Universidad Autónoma de Madrid. Escuela Politécnica Superior - Departamento de Ingeniería Informática.

[5] Klem, G.H., Luders, H., JASPER, H., and Elger,C. "The ten-twenty electrode system of international federation. the international federation of clinical neurophysiology". Electroencephalography and clinical neurophysiology. Supplement 52 (1999), 3.

[6] https://www.emotiv.com/epoc/

[7] Ivan E.Gareis, Gerardo G. Gentiletti, Rubén Acevedo, Leonardo Rufiner. "Extracción de características en interfaces cerebro computadora mediante transformada wavelet discreta: Resultados preliminares". Memorias del XVII Congreso Argentino de Bioingenieria (SABI 2009), No. 167, pp. 58-62, 2009.

[8] Dayron Zayas Daniel. "Reconomiento de potenciales evocados visuales utilizando Transformada Wavelet y Redes Neuronales BP". Trabajo de diploma. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

[9] V. Peterson, et al. "Detección de potenciales evocados relacionados a eventos en interfaces cerebro-computadora mediante transformada wavelet. Revista Ingeniería Biomédica, vol. 7,2014.

[10] Rubén Acevedo, Gerardo Gentiletti, Verónica Medina Bañuelos, Leonardo Rufiner. "Extracción de características en ICC mediante métodos basados en diccionarios óptimos: Resultados preliminares". II Jornada Argentinas sobre Interfaces Cerebro Computadora. 2009.

[11] Michel Misiti, Yves Misiti, Georges Oppenheim, Jean-Michel Poggi. "Wavelet Toolbox for use witch Matlab". User's Guide. Version 1.

[12] Ayuda de Matlab. Accesible en: http://es.mathworks.com/help/wavelet/ref/wavedec.html. Fecha de consulta: Agosto 2016.

[13] Emotiv Software Development kit. User Manual for Release 1.0.0.5. Información accessible en: https://www.emotiv.com. Fecha de consulta: Mayo 2016.