

Diadema EMOTIV EPOC+ y los gestos faciales

Emotiv Epoc+ headset and the facial expressions

Dayanna Guzmán-Moya^a, Jorge Gudiño-Lau^b, Luis Cordova-Alvarez^c, Daniel Velez-Diaz^d,
Janeth Alcalá-Rodríguez^e, Saida Charre-Ibarra^f

Abstract:

In this article is described the state of the art that shows the different advances of the investigations of the distincts electroencephalogram (EEG) emission wireless devices. Also is showed a prototype software that interprets the brain signals coming from the Emotiv Epoc+ headset, this process is also called Brain Computer Interface (BCI) and solves the identify EGG signals problem. The software is designed in Matlab and Simulink that interprets the brain signals, this signals can be saved or manipulated at live. The software turns the brain signals in to a voltage to manipulate external manipulators devices. Actually this work is in the experimentation on human beings stage and is applied the no invasive acquisition of signals method. Some of the experimental achievements of the Emotiv Epoc+ headset. In this article are showed the signals emitted by the headset by using the facial expressions like blink, squeeze the jaw, frown and wink. It's hoped that this work can help people without movement in their bodies and can't talk to manipulate objects and interpret through they facial expressions with the headset.

Keywords:

Synapsis, electroencephalogram, brain-computer interface, brain signals

Resumen:

Este artículo describe el estado del arte donde se muestra los avances de las investigaciones de los distintos dispositivos inalámbricos de emisión de electroencefalograma (EEG). También se muestra un software prototipo que interpreta las señales cerebrales que provienen de la diadema Emotiv Epoc, este proceso es llamado Interface Cerebro Computadora (ICC) o BCI (por sus siglas en inglés *Brain Computer Interface*) que resuelve el problema de identificación de señales EEG. El software es diseñado en Matlab y Simulink que interpreta las señales cerebrales, estas señales se pueden guardar o manipularlas en tiempo real. El software convierte las señales cerebrales a voltaje para manipular dispositivos manipuladores externos. Actualmente este trabajo está en la fase de pruebas experimentales en seres humanos y se emplea el método de adquisición de la señal no invasivo. Algunos resultados experimentales de la diadema Emotiv Epoc. Este artículo se muestra las señales que emite la diadema de los gestos faciales tales parpadeos, apretar la mandíbula, fruncir la nariz y giñar un ojo. Se espera que este trabajo ayude a personas que no tengan movimiento de su cuerpo y no puedan hablar, a manipular objetos e interpretar a través de sus gestos faciales con la diadema.

Palabras Clave:

Sinapsis, electroencefalograma, sistema de interfaz cerebro-computadora, señales cerebrales.

^a Alumna de la Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica. E-mail: dayanna_guzman@uacol.mx

^b Autor de Correspondencia, Profesor Investigador de la Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica. E-mail: jglau@uacol.mx

^c Alumno de la Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica. E-mail: lcordova2@uacol.mx

^d Profesor Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Tlahuelilpan. E-mail: daniel@uaeh.edu.mx

^e Profesor Investigador de la Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica. E-mail: janethalcala@uacol.mx

^f Profesor Investigador de la Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica. E-mail: scharre@uacol.mx

I. Introducción

Durante los últimos años uno de los campos más investigados en conjunto con la biomedicina han sido las Interfaces Cerebro Computadora o ICC (*Brain Computer Interface* o BCI por siglas en inglés). En la Figura 1 se muestra una BCI. Las ICC son especialmente relevantes para pacientes que sufren de trastornos de movimiento: parálisis grave, esclerosis lateral amiotrófica, o síndrome de locked-in, donde hay poca o ninguna capacidad de control de movimiento residual. Sin embargo, aún con esta tecnología en desarrollo, en México, muchos sitios de atención médica para este tipo de padecimientos no cuentan con un sistema BCI que, si bien no es necesario en determinadas ocasiones, resulta ser útil cuando el paciente tiene dificultades para expresarse o realizar alguna acción consecuencia de su padecimiento.

El origen de las tecnologías BCI (por sus siglas en inglés *Brain Computer Interface*) o ICC (Interfaz cerebro computadora) nació con el descubrimiento de la naturaleza eléctrica del cerebro. El científico Richard Caton en 1875 utiliza un galvanómetro para observar impulsos eléctricos en la superficie del cerebro vivo de algunos animales.

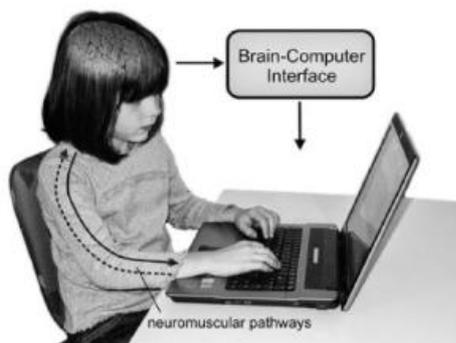


Figura 1. Una Interface Cerebro Computadora (Graimann, *et al.*, 2010)

Berger continúa con los trabajos de Caton y en sus investigaciones logra registrar la actividad cerebral mediante la electroencefalografía siendo en 1924 el primero en registrar una EEG (electroencefalografía) de un cerebro humano. Gracias al análisis del EEG, Berger consigue clasificar las diferentes señales de ondas cerebrales, por ello las ondas Alfa con una frecuencia de entre 8 y 12 Hz, también se denominan ondas Berger.

Las tecnologías ICC constituyen un área de investigación relativamente joven, a pesar de hace ya casi ocho décadas que Hans Berger consigue registrar la actividad bioeléctrica cerebral mediante el EEG. Hubo que esperar hasta 1970 para que se iniciara la investigación de los primeros dispositivos ICC en la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA) con una beca de la Fundación Nacional de Ciencia seguida por un contrato de DARPA

(*Defense Advanced Research Projects Agency*) es cuando surge diferentes programas de investigación en torno a las ICC, motivados entre otras razones por la observación científica de la correlación entre las señales de EEG y los movimientos reales (e incluso imaginados) de los usuarios, así como determinadas actividades mentales de éstos (Wolpaw, *et al.*, 2002).

El potencial médico de la tecnología ICC queda patente a finales de los 90 mediante la implantación de un electrodo en el córtex motor de un paciente que presentaba parálisis por debajo de su cuello y había perdido la facultad del habla, de forma que el paciente era capaz de comunicarse moviendo un cursor en un ordenador.

Desde entonces la investigación en las tecnologías ICC, aun requiriendo la colaboración de múltiples disciplinas (biotecnología, mecatrónica, ingeniería biomédica, nanotecnología, ciencia del conocimiento, tecnología de la información, informática, neurociencia, matemática aplicada, etc.), ha experimentado un gran crecimiento en los últimos años (Kennedy & Bakay, 1998).

Las ICC se pueden definir como una serie de circuitos electrónicos y programas computacionales que monitorean la actividad eléctrica de las funciones cerebrales, que van desde el centro sensorial a los dominios de control de motores (Kawato, 2008).

Las señales cerebrales se obtienen mediante un EEG, dado que varias de sus características y formas de onda se relacionan con procesos cerebrales conocidos éstas pueden ser generadas espontáneamente por el usuario o inducidos con la ayuda de estímulos visuales o sonoros. Los EEG se clasifican según su método de adquisición: invasivo, parcialmente invasivo y no invasivo. El tipo más común es el no invasivo, el cual, captura la señal del EEG por medio de electrodos (o canales) que se encuentran en diferentes lugares en el cuero cabelludo del usuario, como se observa en la Figura 2 (Casadio y Sanguinetti, 2012).

Las señales del EEG son procesadas mediante diversos pasos:

1. Un filtro espacial L se aplica a los datos de dominio de tiempo, representados por una transformación lineal de los datos originales (Dornhege, *et al.*, 2007).
2. La transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés *Fast Fourier Transform*) se aplica a los datos filtrados espacialmente. Por lo tanto, los datos del EEG se transforman del dominio del tiempo al dominio de frecuencia.
3. Finalmente, se seleccionan las bandas de frecuencia más relevantes de acuerdo con la aplicación futura. (Aler, *et al.*, 2012)

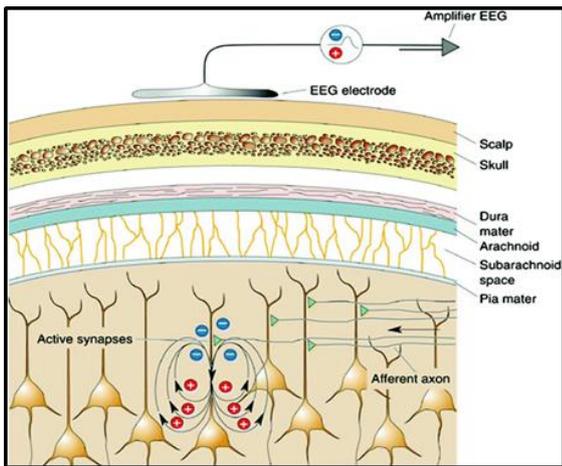


Figura 2. Conexión de un nodo en un electroencefalograma no invasivo

A pesar del hecho de que la mayor parte de las corrientes eléctricas permanecen dentro de la corteza cerebral, una fracción pequeña penetra en el cuero cabelludo, lo que provoca que diferentes partes de este tengan diferentes potenciales eléctricos. Estas diferencias, varían en amplitudes de $10\mu V$ - $100\mu V$ las cuales son detectadas por electrodos.

Durante los últimos años uno de los campos más investigados en conjunto con la biomedicina han sido las Interfaces Cerebro Computadora o ICC (*Brain Computer Interface* o BCI por siglas en inglés). Las ICC son especialmente relevantes para pacientes que sufren de trastornos de movimiento: parálisis grave, esclerosis lateral amiotrófica, o síndrome de locked-in, donde hay poca o ninguna capacidad de control de movimiento residual. Sin embargo, aún con esta tecnología en desarrollo, en México, muchos sitios de atención médica para este tipo de padecimientos no cuentan con un sistema BCI que, si bien no es necesario en determinadas ocasiones, resulta ser útil cuando el paciente tiene dificultades para expresarse o realizar alguna acción consecuencia de su padecimiento.

II. Conocimientos previos

Algunos aspectos importantes que se deben tener en cuenta para el correcto entendimiento de este artículo son la terminología utilizada y algunos de los materiales y software a utilizar.

Interfaz Aumentada Cerebro Computadora

Dada la creciente investigación y desarrollo de nuevas técnicas para la implementación de ICC, han surgido nuevas aplicaciones que acoplan este tipo de interfaces en nuestra vida diaria mediante dispositivos de Interfaz

Aumentada Cerebro Computadora (ABCI por sus siglas en inglés *Augmented Brain Computer Interfaces*).

Un ABCI es similar a una ICC, ya que se basan en biosensores, los cuales graban señales desde el cerebro en entornos cotidianos y éstas se procesan en tiempo real para monitorear el comportamiento del ser humano.

Para utilizar una ABCI como una técnica de imagen cerebral móvil para todos los días, en aplicaciones de la vida real, los sensores y dispositivos correspondientes deben ser de peso ligero y el tiempo de respuesta de los equipos debe ser corto, en la Figura 3 se observan diferentes dispositivos (Crowlwy, *et al.*, 2010, Drake, *et al.*, 2010, Liao, *et al.*, 2012, Emotiv, 2019).



Figure 3 Dispositivos de EEG Móviles disponibles en el mercado.

Homúnculo de Penfield

Entre 1937 y 1954 el neurocirujano estadounidense Wilder Penfield y sus colaboradores desarrollaron diversas representaciones de un aspecto llamativo de la topografía cerebral: la presencia de "mapas" de las vías nerviosas, tanto las sensoriales como las motoras, en la corteza.

Las distintas funciones de nuestro organismo no se encuentran representadas de forma proporcional en dicho mapa, sino que su tamaño depende de la complejidad de los nervios correspondientes.

La representación cortical de los nervios motores y de los receptores cutáneos correspondientes se sitúa en la corteza motora primaria, en el surco central, una región del lóbulo frontal que se encuentra justo al lado de la corteza somestésica.

La corteza motora primaria es el área del cerebro más importante para el funcionamiento del sistema motor: recibe aferencias del tálamo y trabaja conjuntamente con el resto de regiones asociadas al movimiento, como la corteza motora suplementaria, para elaborar y ejecutar esquemas motores.

El aspecto del homúnculo motor consiste en que su boca, sus ojos y sus manos son enormes en comparación con el tronco, los brazos o las piernas, como se observa en la Figura 4. Esto se debe a la mayor especificidad en la localización de los receptores y nervios motores, mucho menos numerosos que los sensoriales en gran parte del cuerpo (Figueroba, 2019).

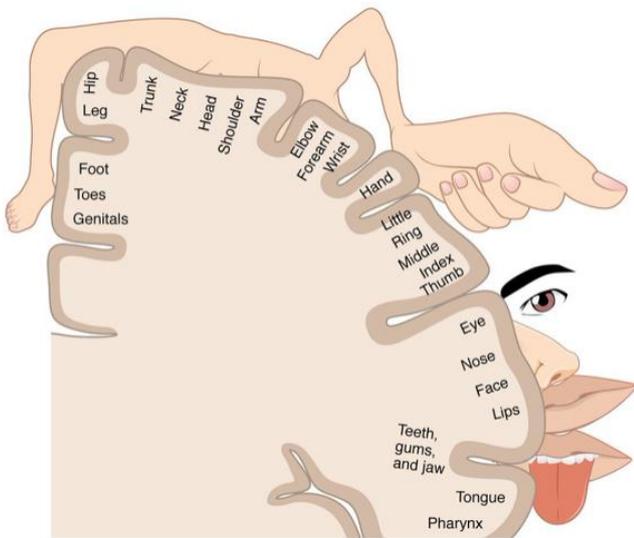


Figura 4. Homúnculo motor de Penfield

Comunicación BCI

Las aplicaciones orientadas a facilitar la comunicación se han desarrollado a partir de sistemas BCI, que presentan al usuario las letras del abecedario en forma de matriz o de teclado de ordenador. En la Figura 5, se observa que el usuario forma palabras y frases mediante la selección de las letras que las conforman. La técnica de selección de letras y caracteres se ha implementado con sistemas BCI de varios tipos: basados en P300, en potenciales corticales lentos o en imágenes motoras (Birbaumer *et al.*, 1999, Millan *et al.*, 2004).



Figura 5. Teclado virtual para interfaces cerebrales.

Sistema Internacional 10-20

Una BCI analiza el comportamiento de patrones que se originan en áreas específicas del cerebro, y para obtener registros consistentes de ciertas regiones específicas de la cabeza, los científicos se basan en un sistema estándar para la colocación exacta de electrodos llamado Sistema Internacional 10-20.

El sistema internacional 10-20 es ampliamente utilizado en aplicaciones médicas y en la investigación referente a Interfaces Cerebro-Computadora. El nombre de 10-20 indica que los electrodos más frecuentemente utilizados están colocados 10, 20, 20, 20, 20, y 10% del total de la distancia de Nasión-Inión como se muestra Figura 6, los otros electrodos se colocan a distancias similares fraccionadas (Grimann, *et al.*, 2010).

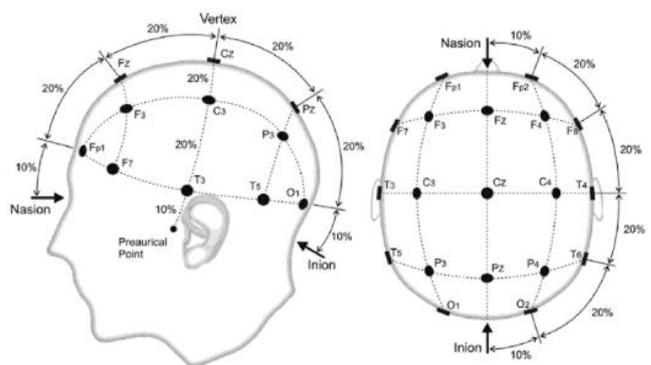


Figura 6. El sistema internacional 10-20.

Electroencefalograma

Electroencefalograma (EEG) es el estudio que recibe la actividad eléctrica del cerebro utilizando nodos ubicados en el cuero cabelludo, como se muestra en la Figura 7.

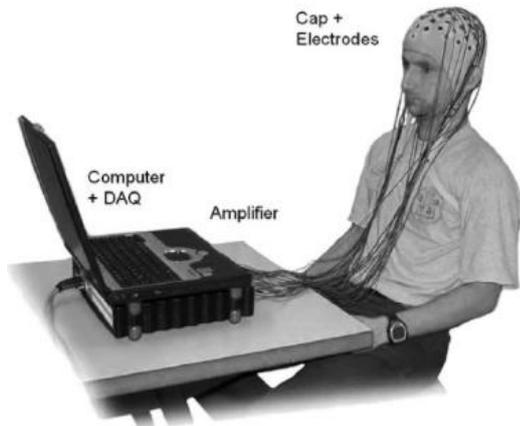


Figura 7. EEG basado en una BCI.

III. Equipo Experimental

En esta sección se muestra el equipo experimental empleado para realizar las pruebas.

Diadema Emotiv Epoc+

Es un equipo portátil capaz de realizar un EEG con cierto grado de precisión, tiene 16 canales y es capaz de leer y filtrar la actividad eléctrica cerebral en 5 diferentes tipos de onda. Esta diadema es una de los primeros dispositivos con interfaces cerebro-computadora (BCI) para videojuegos basados sobre la tecnología utilizada en la electroencefalografía (EEG). Además, tiene un SDK para aplicaciones sobre Windows, en la Figura 8 se muestra la diadema.

El equipo Emotiv EPOC+ es un sistema de detección neuro-eléctrica que capta y amplifica ondas cerebrales generadas por diferentes “acciones” mentales. Este dispositivo es capaz de obtener las señales de los 14 canales: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4, basándose en el sistema internacional 10-20, el cual es un método aprobado para describir la ubicación de electrodos en el cuero cabelludo, para el registro del EEG.

Este dispositivo también maneja un filtro para frecuencias de 0.2 a 45 Hz, el cual puede tomar hasta 128 muestras por segundo en cada canal (EMOTIV, 2016).

Este dispositivo incluye 16 sensores que están compuestos de una capa de filtro, los cuales tienen como base un contacto chapado en oro.

Estos sensores están montados en plástico de manera que es posible realizar su ensamble de manera sencilla.



Figura 8. Diadema Emotiv Epoc

Matlab®

Matrix Laboratoy es un software desarrollado por la compañía MathWorks® y es el software utilizado en la programación del receptor de las señales cerebrales emitidas por el casco Emotiv Epoc+.

Simulink®

Es un software integrado en Matlab® basado en la programación por bloques, es muy utilizado para una gran variedad de trabajos y es utilizado en esta investigación para el accionamiento del robot manipulador.

Software para lectura de datos (SDK)

Se adquiere un SDK (Software Development Kit) para la diademas Emotiv Epoc, que puede ser descargado en la página de github.com, mostrado en la Figura 9, desarrollado por la comunidad, y utilizado por esta misma por su fácil acceso, no tiene costo y ofrece una herramienta clave para comenzar con el desarrollo de tecnología para los sistemas ICC leyendo las señales cerebrales.



Figure 9. Archivo comprimido del SDK

IV. Resultados experimentales

En esta sección se muestran los resultados experimentales que se tienen con la diadema Emotiv Epoc. Primero, el usuario debe colocarse la diadema empleando ambas manos, se debe deslizar la diadema desde la parte superior de la cabeza. Colocar los brazos

del dispositivo como se muestra en la Figura 10, teniendo cuidado de colocar los sensores con el inserto de goma en el hueso justo detrás de cada lóbulo de la oreja. La colocación correcta del sensor de goma es delicada para el correcto funcionamiento. Los dos sensores frontales deben estar aproximadamente en la línea del cabello o aproximadamente del ancho de 3 dedos por encima de las cejas, tal como lo indica la *Figura 10*.

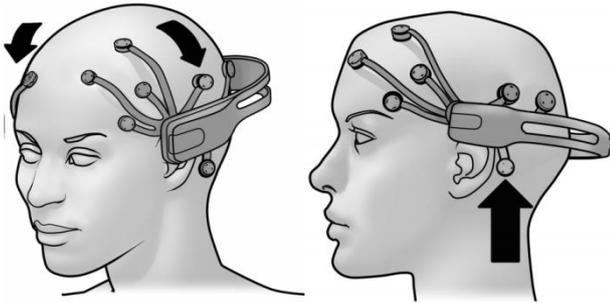


Figura 10. Colocación y orientación de la diadema

Adaptación del programa

El programa SDK obtenido sólo tiene la función de obtener datos de la diadema e imprimir los valores, los resultados obtenidos son en tiempo real. Por lo anterior, se crea un software más dinámico, como interpretar las señales cerebrales, almacenar, leer, manipular señales, entre otras.

Almacenamiento

Para almacenar las señales cerebrales se crea un programa que permite guardar los datos en un dispositivo de almacenamiento, que permita trabajar con las señales. Este software puede almacenar y leer información de las señales, además permite graficar las señales obtenidas desde la Emotiv Epoc.

El programa se basa del SDK obtenido de la comunidad Emotiv, sólo se hace modificación de la estructura general del programa, se le anexa la función para recibir las señales y se crea una base de datos para almacenar la información y que pueda ser graficada. También se hicieron arreglos que permiten evaluar las señales obtenidas en tiempo real, permitiendo la ejecución de comandos con respuesta casi inmediata, cabe destacar que dichas señales se encuentran divididas por canales y dentro de la división por canales sufren una segunda división la cual consiste en una división por ondas, las cuales son 5, theta, alpha, high beta, low beta y gamma.

Para la selección de las acciones a ejecutar se tiene en cuenta el homúnculo de Penfield, el cual indica que una

de las partes del cuerpo que más efecto tiene en el cerebro a la hora de realizar el EGG es el rostro, más específicamente el movimiento de sus partes, por ejemplo, ojos, nariz, boca, etc. Conociendo esto, la primera prueba realizada consiste en tomar en cuenta tres diferentes estados, dos de los cuales son normalmente utilizados en los softwares desarrollados por Emotiv, los cuales son: relajación con ojos abiertos y relajación con ojos cerrados.

También se realizan pruebas para acciones tales como parpadeos, apretar la mandíbula, fruncir la nariz y giñar un ojo.

Programación en Matlab®

Se desarrolla un programa en Matlab® el cual, con la diadema Emotiv Epoc colocada en un usuario, lee la actividad eléctrica cerebral en 16 diferentes puntos del cuero cabelludo. Este programa permite realizar un muestreo con el nombre de la acción realizada y las gráficas de cada una de las lecturas de los 16 canales. Estas lecturas constan de 5 diferentes ondas en distintas frecuencias, las cuales varían según la acción o gesto que el usuario realiza.

El script es un programa que le indica al usuario qué gesto realizar en un determinado tiempo para ser almacenado y analizado para ajustar los parámetros de lectura para el script que funciona como intérprete de acciones. Con este script, es posible leer los datos de todos los canales y almacenarlos en una base de datos específica, para el que usuario quien realiza el entrenamiento pueda guardar los datos recibidos en una base de datos.

Se escribe un programa que permite analizar de forma continua las señales y compararlas con las bases de datos para así determinar qué acción está realizando el usuario. De esta manera se identifica qué ondas son alteradas con las diferentes acciones y se observan cambios notables entre ellos. En la Figura 11 se muestra las señales que genera la Emotiv Epoc por el canal AF3 cuando el usuario realiza un gesto facial, en este caso parpadeo, el eje "X" representa las muestras de la prueba en un periodo de 30 segundos y el eje "Y" los voltajes obtenidos en microvoltios. En la Figura 12 se muestra el mismo ejercicio, pero con el canal AF4, comparado el canal AF3 las señales son similares.

En las Figuras 13 y 14 se muestra la señal de la diadema cuando el usuario realiza un guiño con el ojo derecho pronunciado, con los canales AF3 y AF4 respectivamente. De igual manera, se realiza otro ejercicio con el usuario con los gestos faciales, en este caso se hace un guiño con el ojo izquierdo pronunciado, como se observan en las

Figuras 15 y 16 con los canales AF3 y AF4 respectivamente.

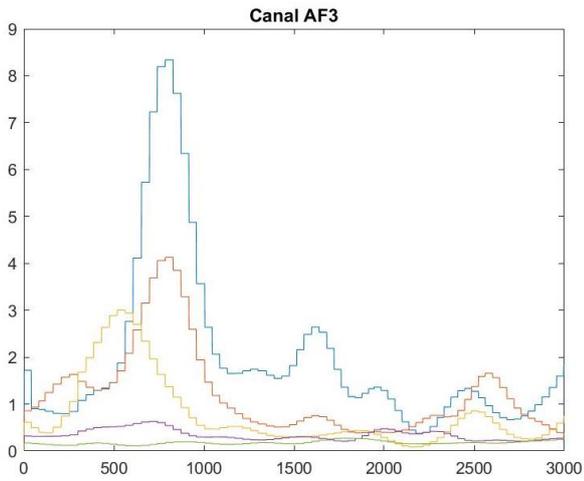


Figura 11. Canal AF3 – Estado: Parpadeo.

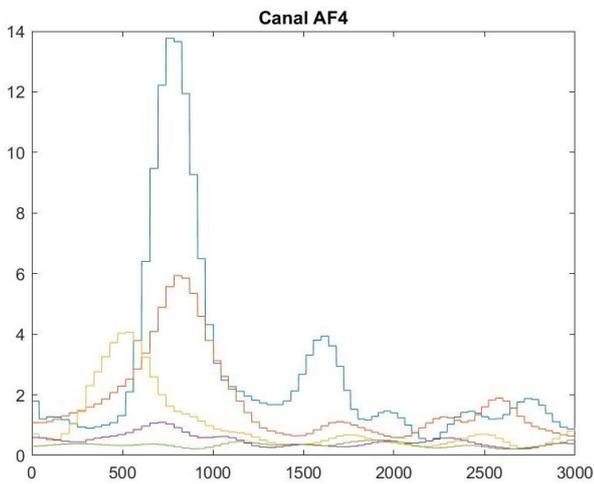


Figura 12. Canal AF4 – Estado: Parpadeo.

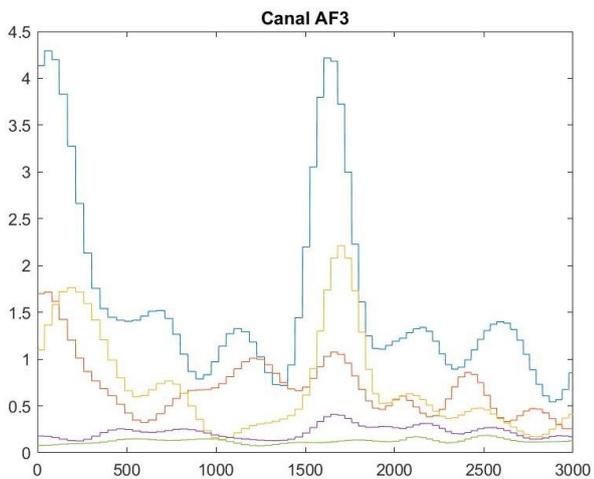


Figura 13. Canal AF3 – Estado: Guiño Derecho pronunciado

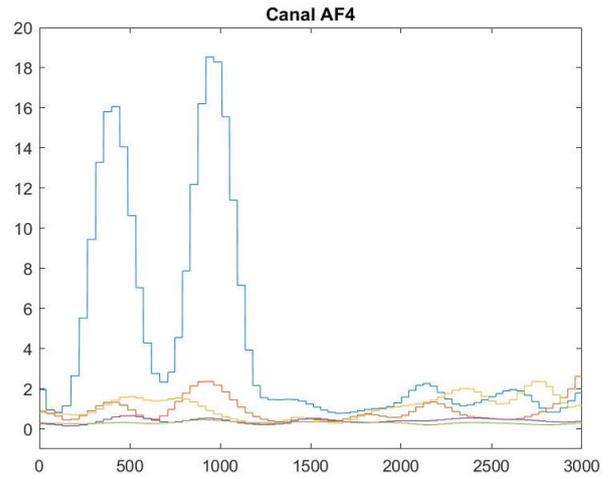


Figura 14. Canal AF4 – Estado: Guiño Derecho pronunciado

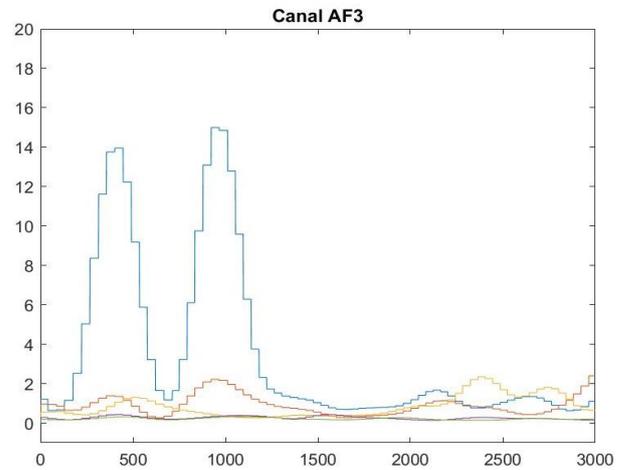


Figura 15. Canal AF3 – Estado: Guiño Izquierdo pronunciado

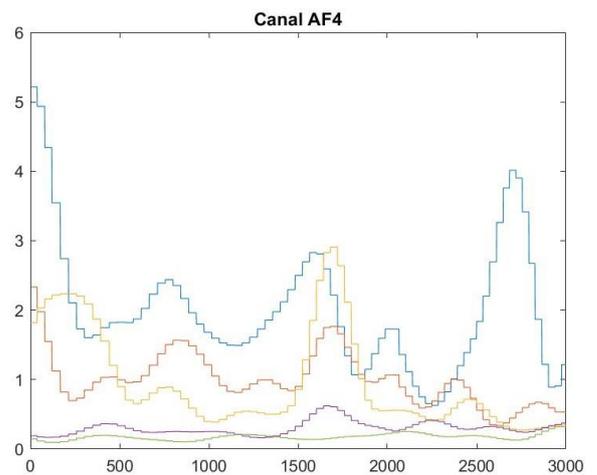


Figura 16. Canal AF4 – Estado: Guiño Izquierdo pronunciado

En las Figuras 17 y 18 se muestran las señales de la diadema cuando el usuario realiza un gesto con la cara, en este caso apretar la mandíbula, con los canales F7 y F8 los resultados son similares.

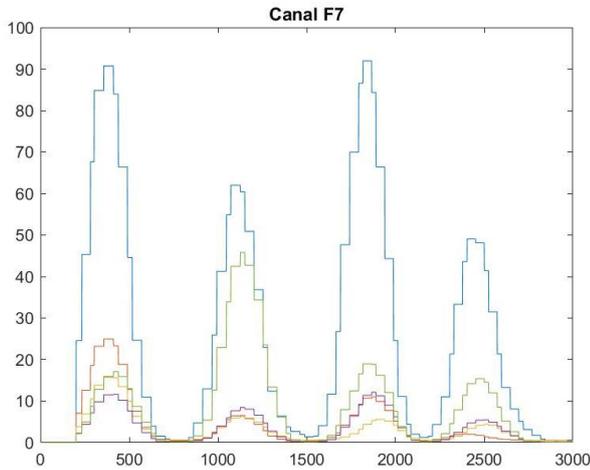


Figure 17. Canal F7 – Estado: Apretar mandíbula

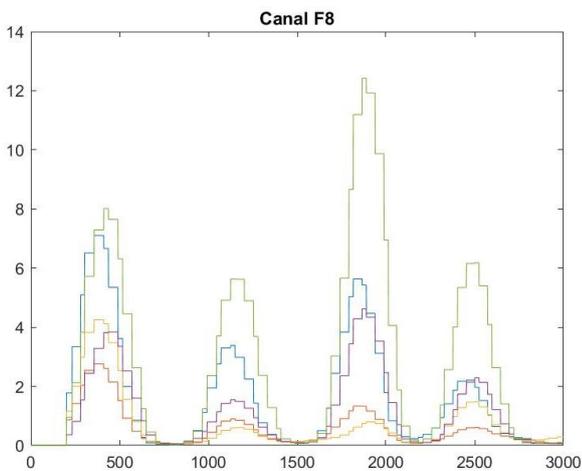


Figure 18. Canal F8 – Estado: Apretar mandíbula

El mismo ejercicio de apretar la mandíbula del usuario, es ahora revisado por los canales FC5 y FC6 las señales de la diadema, como se puede observar en las Figuras 19 y 20 respectivamente, la información es similar.

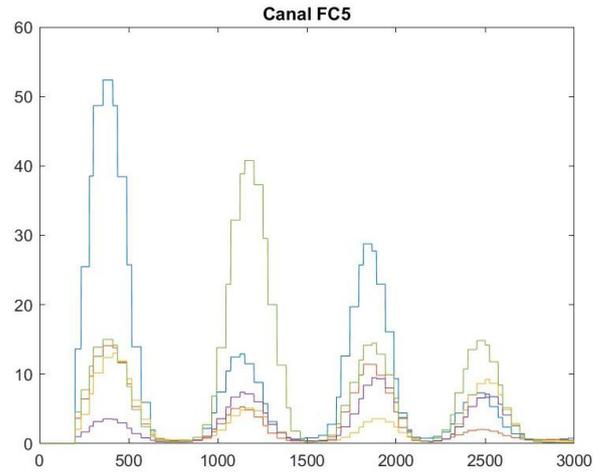


Figure 19. Canal FC5 – Estado: Apretar mandíbula

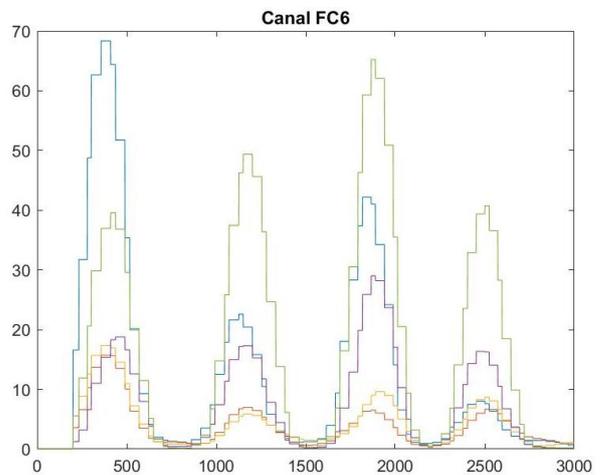


Figure 20. Canal FC6 – Estado: Apretar mandíbula

El objetivo es mover un manipulador de tres grados de libertad con las señales de los gestos faciales de la diadema, para ello se realiza las siguientes acciones.

Programación en Arduino

Se desarrolla un programa en la interfaz de Arduino que recibe las señales emitidas por la interfaz gráfica creada en Visual Studio, estas señales son recibidas e interpretadas para emitir un pulso al receptor que se encargará de controlar el robot manipulador.

Programación en Visual Studio

En el programa de Visual Studio se desarrolla una interfaz gráfica que contiene los diferentes controles para el envío de señales digitales con el cual se pretende controlar un robot manipulador de 3 grados de libertad.

El usuario puede seleccionar cualquiera de los controles de la interfaz gráfica utilizando solamente los ojos.

Programación en Matlab® Simulink

Se realiza un programa utilizando las funciones de Simulink, para leer los datos enviados por la aplicación de Visual Studio al Arduino, recibiendo a través de una tarjeta USB DAQ 6009 y se envían esas señales al robot Omni Phantom, como se observa en la Figura 21.



Figura 21. Bloques en Matlab® Simulink

Una vez decidido los rangos y teniendo establecido la aplicación en Visual Studio mostrada en la Figura 22, se realizan las pruebas de conexión entre el programa en Matlab® y el programa en visual, verificando la conexión entre estos dos programas y probando las señales digitales en Arduino.



Figure 22. Aplicación en Visual Studio

V. Aplicación futuro

Este tipo de sistema es utilizado principalmente por personas que tienen poca o nula capacidad de movimiento por debajo del cuello, por lo que es un sistema útil para manipular dispositivos o robots que los complementen a realizar determinadas tareas.

Personas con edad avanzada

Envejecimiento y dependencia son dos términos cada vez más interrelacionados. El incremento de la esperanza de vida de la población en los países occidentales lleva asociado un aumento progresivo del número de personas en situación de dependencia. La evolución hacia sociedades más envejecidas demanda nuevas soluciones para asistir a las personas de avanzada edad que ven limitadas sus capacidades para realizar actividades de la vida diaria y que requieren ayuda para su ejecución.

En este sentido, los sistemas ICC pueden resultar de gran utilidad, ya que facilitan una nueva forma de interactuar con los diferentes dispositivos presentes en su entorno habitual. Así, es posible satisfacer algunas necesidades fundamentales de comunicación, confort, ocio y desplazamiento. Por tanto, estos sistemas contribuyen a un incremento de la autonomía de las personas en situación de dependencia, mejorando tanto su calidad de vida como su integración en la sociedad. Las aplicaciones más habituales están dirigidas a facilitar la comunicación, el control de sillas de ruedas y prótesis o el control del entorno, en la Figura 23 se observa un usuario realizando pruebas con un sistema BCI, se puede observar el montaje de electrodos necesario para el registro de la actividad EEG, así como el amplificador de señales biomédicas (Hornero, *et al.*, 2012).



Figura 23. Paciente realizando pruebas con un sistema BCI.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos, concluye que se puede realizar un entrenamiento de expresiones faciales, las cuales, son reconocidas por la aplicación para controlar la interfaz gráfica que se encarga de manipular el robot. Cada persona es diferente por lo que cada nuevo usuario debe realizar dicho entrenamiento antes de utilizar la interfaz de usuario.

En esta investigación se tiene una idea clara acerca de la actividad cerebral, sin importar si algunas partes del cuerpo hayan perdido movilidad, el cerebro sigue funcionando adecuadamente para la implementación de este tipo de sistemas.

En este trabajo se puede apreciar las diferentes expresiones faciales de una persona, permitiendo desarrollar una aplicación que mediante el uso de dichas

expresiones permita realizar el control de un robot manipulador de tres grados de libertad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa PFCE 2019 de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima.

Referencias

- Alera, R., Vega, A., Galván, I. y Nebro, A. (2012). Multi-objective metaheuristics for preprocessing EEG data in brain-computer interfaces. *J Eng Optimiz.* Vol. 44. Issue 3. Pp. 373-390.
- Birbaumer, N., Ghanayim, N., Hinterberger, T., Iversen, I., Kotchoubey, B., Kübler, A., Perelmouter, J., Taub, E. y Flor, H. (1999) A spelling device for the paralysed. *Nature*, 398:297-298.
- Casadio, M., y Sanguineti, V. (2012). Learning, Retention, and Slacking: A Model of the Dynamics of Recovery in Robot Therapy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* . Vol. 20, Issue 3.
- Crowley, K., Sliney, A., Pitt, I. y Murphy, D. (2010). Evaluating a brain-computer interface to categorise human emotional response, *Proceedings of the IEEE 10th International Conference Advance Learning Technology*. Pp. 276-278.
- Dornhege, G., Krauledat, M., Müller, K., Blankertz, B. (2007). General signal processing and machine learning tools for BCI. *Toward Brain-Computer Interfacing*. Cambridge MIT Press. pp. 207-233.
- Drake, C., Gumenyuk, V., Jefferson, C., Kick, A., Coaker, M. and Roth, T. (2010). Extending time in bed in short sleepers: Effects on objective sleep parameters measured in the home, *Sleep*. Vol. 33.
- Emotiv. (2019). [Online]. Disponible: <http://www.emotiv.com>. [Fecha de consulta: Abril, 2019].
- Figueroba, A. (2019) Los homúnculos sensorial y motor de Penfield. *NEUROCIENCIAS*. [Online]. <https://psicologiyamente.com/neurociencias/homunculos-penfield> [Fecha de consulta: Abril, 2019].
- Graimann, B., Allison, B., Pfurtscheller, G. (2010). Brain-Computer Interfaces: Revolutionizing Human Computer Interaction. *Brain-Computer Interfaces: Chapter A Gentle Introduction*. Springer.
- Kawato Mitsuo. (2008). From 'Understanding the Brain by Creating the Brain' towards manipulative neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*.
- Kennedy, P. y Bakay, R. (1998). Restoration of neural output from a paralyzed patient by a direct brain connection. *NeuroReport*. Vol 9. Issue 8. Pp. 1707-1711.
- Liao, L., Lin, Ch., McDowell, K., Wickenden, A., Gramann, K. Jung, T., Ko, L., Chang, J. (2012). Biosensor Technologies for Augmented Brain-Computer Interfaces in the Next Decades. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 100.
- Millán, J., Renkens, F., Mouriño, J. y Gerstner, W. (2004). Brain-actuated interaction. *Artificial Intelligence*. Vol. 159. Pp. 241-259.
- Mitsuo Kawato. 2008. Brain controlled robots, *HFSP Journal*, 2:3, 136-142.
- Maura Casadio, Rajiv Ranganathan & Ferdinando A. Mussa-Ivaldi. 2012. The Body-Machine Interface: A New Perspective on an Old Theme, *Journal of Motor Behavior*, 44:6, 419-433.
- Hornero, R., Corralejo, R. y Álvarez, D. 2012. Brain-Computer Interface (BCI). Aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento.
- Wolpaw, J., Birbaumer, N., McFarland, D., Pfurtscheller, G. Vaughan, T. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*. ELSEVIER. Pp. 767-791.