



Implementación de un sistema cerebro – computadora para el control de un brazo robótico

Dávila Vallejo David Steeven¹, García Blancas Jesús^{✉2}, Flores Moreno Julian²,
Martínez Lendech José Francisco².

Universidad de los Llanos¹.

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo².

[✉]jgarcia@itesa.edu.mx (corresponding author)

Resumen

La tecnología hoy en día avanza en todos los ámbitos, cuando se trata en ayudar a las personas con complicaciones médicas la ciencia no se queda atrás. La idea es que por medio de sensores que miden señales electroencefalográficas (EEG) se puedan destinar comandos cerebrales por medio de la actividad de este y así poder indicar cuando el usuario quiera mover o encender un dispositivo externo. El objetivo es que por medio de la actividad cerebral se pueda mover un brazo robótico en tiempo real mediante un sistema Brain-Computer Interface (BCI), el procesamiento en línea genera una gran carga computacional, por lo que el resultado final se aprecia afectado por un retardo. La extracción de los datos de proporciona el casco EMOTIV son por el puerto serial, después son leídos y organizados en la plataforma de Python para posteriormente llevarlos a un documento Excel, para posterior analizarlos en la plataforma LabVIEW en donde por medio de la herramienta de multiresolución wavelet se extraen las características de las señales EEG y así tener una clasificación de comandos, finalmente por medio de estos comandos mover un brazo robótico. El comportamiento sistema es en lazo cerrado en donde la retroalimentación la hace el usuario.

Palabras clave: Sistemas de control médico, Control de robots, Frecuencia, Interfaces Cerebro-Computador (BCI).

Abstract

The Technology today advances in all areas, when it comes to helping people with medical complications, science is not far behind. The idea is that through sensors that measure electroencephalographic signals (EEG), brain commands can be assigned through its activity and thus be able to indicate when the user wants to move or turn on an external device. The objective is that through brain activity a robotic arm can be moved in real time through a Brain-Computer Interface (BCI) system, online processing generates a large computational load, so the final result is affected by a delay. The extraction of the data provided by the EMOTIV EPOC helmet are through the serial port, then they are read and organized in the Python platform to later take them to an Excel document, to later analyze them in the LabVIEW platform where by means of the multiresolution tool wavelet characteristics of the EEG signals are extracted and thus have a command classification, finally by means of these commands move a robotic arm. The behavior of the system is in a closed loop where the feedback is provided by the user.

Keywords: Medical control systems, Robot control, Frequency, Brain-Computer Interface (BCI).



1. Introducción

Con el desarrollo de nuevas tecnologías en sistemas electroencefalográficos se busca lograr una mejor interpretación de las señales cerebrales, para ello se implementan diferentes métodos matemáticos que buscan mejorar la respuesta de las lecturas; para así, conocer los comportamientos de las ondas cerebrales y no solo detectar enfermedades sino también entender diferentes comportamientos cognitivos que llevarían a un nuevo nivel de conexión entre la tecnología y nuestro cerebro a lo que abre las puertas a infinitas posibilidades.

La prevalencia de la discapacidad en México para 2014 es de seis por ciento según los datos de la ENADID 2014. Esto significa que 71 millones de habitantes del país no pueden o tienen mucha dificultad para hacer alguna de las ocho actividades evaluadas [1].

Tal situación indica que la prevalencia de la discapacidad va en aumento, esto implica que para ellos las tareas cotidianas se vuelven un reto, por lo que en algunos casos requieren del uso de dispositivos, terapias de rehabilitación o asistencia de otras personas, por lo que buscar la conexión del cerebro humano se convierte en un reto para ayudar a la situación de estas personas.

Una Interfaz Cerebro-computador (BCI) usa señales del cerebro que proporcionan un método directo de comunicación entre una computadora y otros dispositivos, una BCI puede ayudar a reestablecer la comunicación con personas que sufrieron un trastorno de movimiento [2]. Una BCI proporciona herramientas de control hacia un entorno externo como una alternativa a las vías tradicionales como son músculos y nervios y son basados en la monitorización directa de la actividad cerebral [3].

Actualmente la mayoría de los proyectos de investigación sobre BCI, el problema principal radica en la elección de cómo se extraerán las características de estas señales ruidosas, el método más utilizado para trabajar con bioseñales, es el uso de la transformada de Wavelet, estos son representaciones integrables reales o complejas de funciones por series ortogonales, dichas transformaciones permiten extraer características que pasando por un procedimiento de pre-procesado pueden separarse señales generadas tanto cognitivamente como por estímulos externos [4].

Muchos de los individuos que padecen alguna discapacidad motriz dependen de un ayudante, lo cual los hace sentir incómodos, el uso de Interfaz Hombre-Máquina (HCI) para controlar el robot que puede sustituir a los ayudantes de recuperación, aunque las personas con discapacidad tienen problemas para mover su cuerpo, las señales EEG pueden ser captadas fácilmente con la ayuda de equipos a bajo costo. EMOTIV EPOC es uno de estos dispositivos que nos ayudan al control de robots [5].

En este trabajo se describe el procedimiento del control de un brazo robótico por medio de la adquisición de datos generados por señales cerebrales mediante el lazo cerrado de un sistema BCI. El trabajo se desarrolla básicamente en tres secciones principales, en donde se muestra la metodología para la adquisición de señales EEG, la caracterización de las mismas, la obtención de un comando mediante análisis multiresolución y el control de robots en tiempo real mediante sistemas BCI. En la primera sección se describe como se realizó la adquisición de los datos proporcionados por las señales cerebrales por medio de la plataforma Python y el casco Emotiv EPOC, en segundo lugar, el procesamiento de las señales por medio de la propiedad de multiresolución wavelet realizada en la plataforma LabVIEW para una mejor interpretación por el usuario, y finalmente se muestran los resultados y conclusiones obtenidas de esta investigación.

2. Metodología y materiales

La metodología que se utiliza para el desarrollo del trabajo de investigación se muestra en la figura 1.

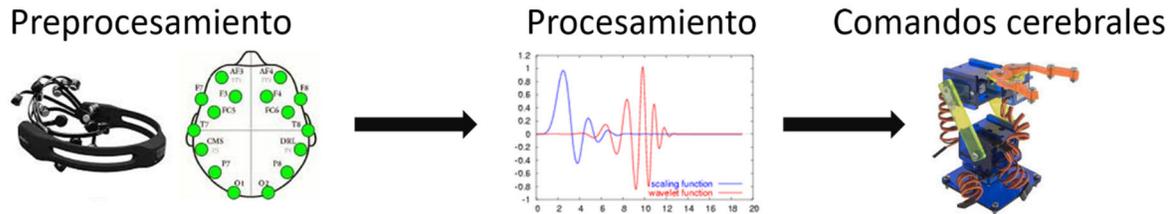


Figura 1. Metodología utilizada para el control de un robot mediante señales cerebrales.

- Preprocesamiento: adquisición y clasificación de datos proporcionados por el casco EMOTIV EPOC por medio de la plataforma de Python para escribirlos en un archivo csv.
- Procesamiento: lectura y procesamiento de los datos mediante la propiedad de multiresolución wavelet en la plataforma LabVIEW.
- Comandos cerebrales: generados para mover el brazo robótico dependiendo de la expresión facial que el usuario gesticule.

2.1 Adquisición de señales EEG

La adquisición de señales EEG se obtienen de sujetos sanos con el dispositivo Emotiv Epoc [6], hubo tres tareas elementales para la adquisición de las señales como se muestra en la figura 2.

- a) Expresión facial parpadeo.
- b) Expresión facial mover los ojos.
- c) Expresión facial sonrisa.

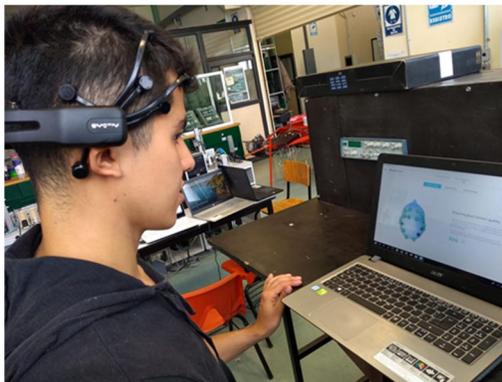


Figura 2. Adquisición de señales EEG con el casco Emotiv Epoc sobre el cuero cabelludo.

Para la confiabilidad de los resultados es fundamental por lo que la calibración del Emotiv Epoc es un proceso esencial para la adquisición de las señales EEG como se muestra en la figura 3, las

tareas programadas para la adquisición de señales EEG generan mayor actividad cerebral en la zona frontal que corresponde a los sensores F3 y F4 [7].

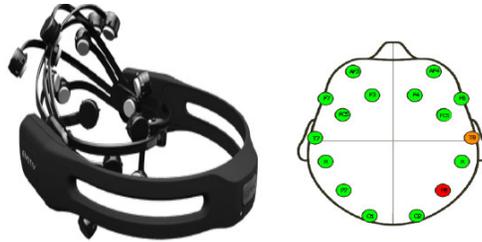


Figura 3. Colocación y calibración de los electrodos para la adquisición de señales EEG.

Se plantea una solución de alto nivel, es decir la lectura de los diferentes datos de las señales EEG las cuales para ser leídas desde el casco EMOTIV se debe filtrar los datos y cuando ya se tiene una forma de poseer un banco de datos en tiempo real para leerlos desde la plataforma LabVIEW para su posterior procesamiento. Las variables que entrega el software del casco de las expresiones faciales se tomaron como señales de análisis, ya que se tenían las direcciones para poder escribirlas por medio de la plataforma Python como se muestra en la figura 4, en donde se separaban por punto y comas para visualizar los decimales, posteriormente escribirlos en un archivo .csv que se estaría leyendo en tiempo real por la plataforma de LabVIEW para el procesamiento de las señales.



Figura 4. Diagrama de flujo del código realizado en Python

2.2 Procesamiento de señales EEG

El sistema BCI requiere señales EEG para determinar comandos de referencia para el control del brazo robótico. Las señales EEG obtenidas con las expresiones faciales se pasan por un procesamiento matemático, en este caso la transformada de Wavelet; esencialmente el análisis multiresolución.

La función Wavelet madre (se dice así debido a que a partir de ella se genera una familia de funciones de doble índice) a utilizar, la función Wavelet Daubechies maneja valores digitales por lo cual se trabaja con ella por la naturaleza de los valores que vienen ordenados en vectores y el procesamiento es totalmente computacional.

Se comienza definiendo el principio de admisibilidad de las funciones como se muestra en (1) la cual nos garantiza que las funciones a tratar poseen energía finita

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 0 \quad (1)$$

Donde

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi\left(\frac{t-a}{s}\right) \quad (2)$$

Donde el factor s y a representan el factor de escala y traslación respectivamente en (2) observamos la función wavelet hija que a partir de los factores de escala y traslación se permite hacer un análisis en tiempo-frecuencia como se muestra en la figura 5.

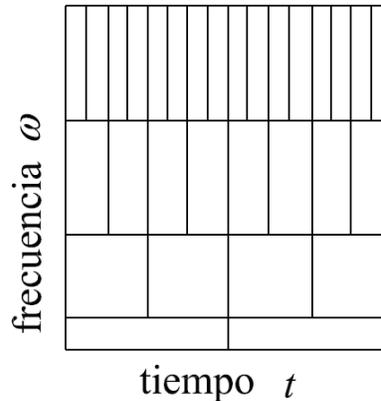


Figura 5. Análisis multiresolución en tiempo-frecuencia para una base wavelet.

Con la transformada Wavelet, se va a obtener un análisis en tres dimensiones (frecuencia, tiempo y espacio) este artículo se enfoca principalmente en dos dimensiones (tiempo y frecuencia). Se emplea un análisis de descomposición en donde la señal se dividirá en dos partes que se clasifican en altas frecuencias y bajas frecuencias como se muestra en la figura 6.

Donde $d_{n,\kappa}$ son los detalles y $c_{n,\kappa}$ las aproximaciones de las señales EEG, y con esto podemos separar la señal en altas y bajas frecuencias respectivamente, donde $n \in [1, N]$, N representa el número de niveles de descomposición de la señal, el criterio que se toma para selección del número de descomposición se basa en el número de muestras guardados en el vector entregado donde no se pierda la información.

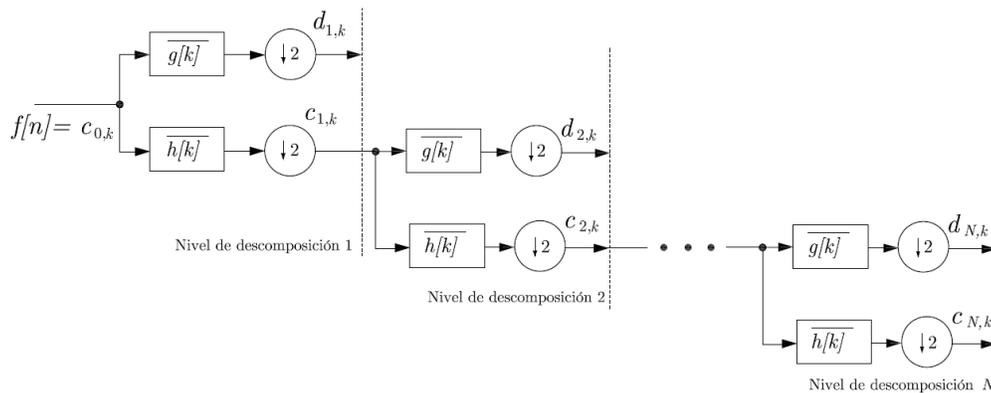


Figura 6. Análisis de descomposición wavelet en altas y bajas frecuencias.

Las señales guardadas en el vector $f[n]$ son pasados por filtros conjugados $\overline{h(k)}$ para bajas frecuencias y $\overline{g(k)}$ para altas frecuencias y así generar $d_{1,\kappa}$ y $c_{1,\kappa}$ para posteriormente tomar $c_{1,\kappa}$ y pasarla por el par de filtros conjugados de las mismas características generando las señales $d_{2,\kappa}$ y $c_{2,\kappa}$ así hasta obtener las señales $d_{N,\kappa}$ y $c_{N,\kappa}$ en el nivel de descomposición N [8].

El proceso de descomposición se detendrá hasta encontrar la frecuencia que se requiere, en este caso frecuencias de los 14 y 26 Hz, este es el ritmo Beta (β) y está vinculado a las expresiones faciales que están ligadas a la concentración por parte de la persona y la parte del cerebro con mayor activación es la región frontal.

Para el análisis multiresolución de las señales EEG el nivel de descomposición es $N = 2$ ya que el ancho de banda del casco Emotiv Epop es de 45 Hz según sus especificaciones técnicas.

2.3 Implementación del sistema BCI

Para la implementación del sistema BCI se utiliza un brazo robótico de dos grados de libertad servo-accionado. El sistema de control se interpreta como un lazo cerrado debido a que el usuario funciona como sensor controlador como se muestra en la figura 7.

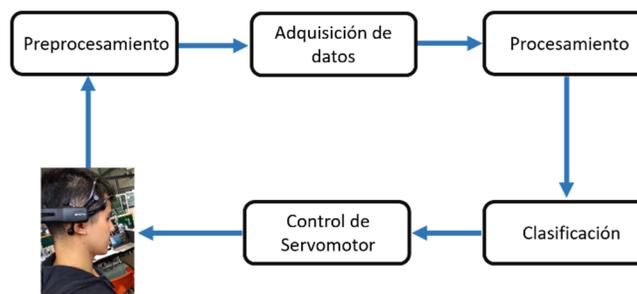


Figura 7. Esquema de control del sistema BCI.

En la parte del preprocesamiento es la adecuación que hace el casco Emotiv Epop, ya que este tiene incorporado dos filtros digitales. La adquisición de señales se hace por medio de la plataforma de Python, en donde se toman los datos referentes a las expresiones faciales y se escriben en un documento generado desde la plataforma.

Antes de emplear el procesamiento donde se utiliza la transformada de Wavelet, se pasa por un proceso de lectura de datos utilizando la plataforma de LabVIEW ya que esta es amigable a la hora de hacer interfaces para el usuario.

El desarrollo del procesamiento consta de tres secciones principales, la primera sección se encarga de leer el archivo generado por Python para posteriormente demultiplexar los canales de información como se muestra en la figura 8 y así separar los datos referentes a cada expresión facial.

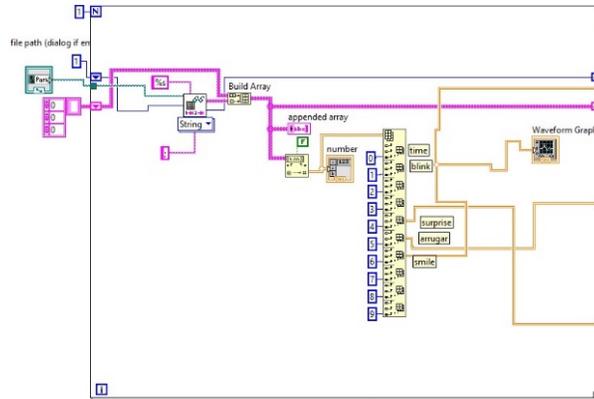
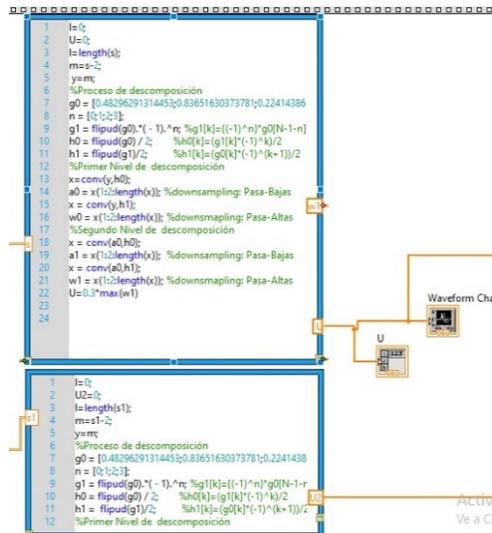


Figura 8. Demultiplexación de los canales de información de las expresiones faciales.

En la segunda sección se desarrolla el procesamiento de cada uno de los canales utilizando la propiedad de multiresolución wavelet que se muestra en la figura 9.



Finalmente, la tercera sección es la clasificación, donde se condiciona que eje del brazo robótico se moverá, dependiendo del comando arrojado por de la transformada; ya que esta última arrojará un valor específico de la expresión facial que está haciendo el usuario.

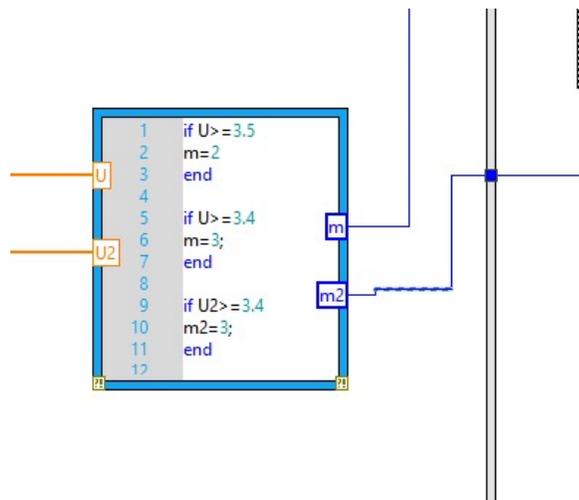


Figura 10. Clasificación de las condiciones para mover el brazo robótico.

3. Resultados

Para la obtención del resultado final se incorporó una fusión de las plataformas de Python para la obtención de datos y LABVIEW para el procesamiento de los mismos, por tal motivo para el funcionamiento de sistema BCI en lazo cerrado se activan dos interfaces.

Primero por medio de cmd (Símbolo del sistema) se corre el programa de Python, el cual le preguntará al usuario si quiere iniciar el enlace con el casco como se muestra en la figura 11. En el caso de que no esté conectado el casco, el programa marcará error.

```
Símbolo del sistema - python emostate_logge.py
Microsoft Windows [Versión 10.0.18362.657]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\DavidD>cd C:\Program Files\EmotivApps
C:\Program Files\EmotivApps> python emostate_logge.py
=====
INICIO DEL PROGRAMA EmoEngine
=====
Press '1' para empezar a conectar con EmoEngine
>>
```

Figura 11. Inicio del programa en Python.

En el instante que se activa el programa en Python los datos emitidos por el casco se empiezan a guardar de forma ordenada en un archivo .csv para posteriormente ser leídos desde la plataforma de LabVIEW la cual debe de estar en marcha.

La interfaz en LabVIEW nos ayuda para tener una inspección cuando el usuario está realizando las expresiones fáciles antes mencionadas, junto con graficas que denotan el resultado de la transformada de Wavelet y una tabla de la demultiplexación de los valores en tiempo real como se muestra en la figura 12.

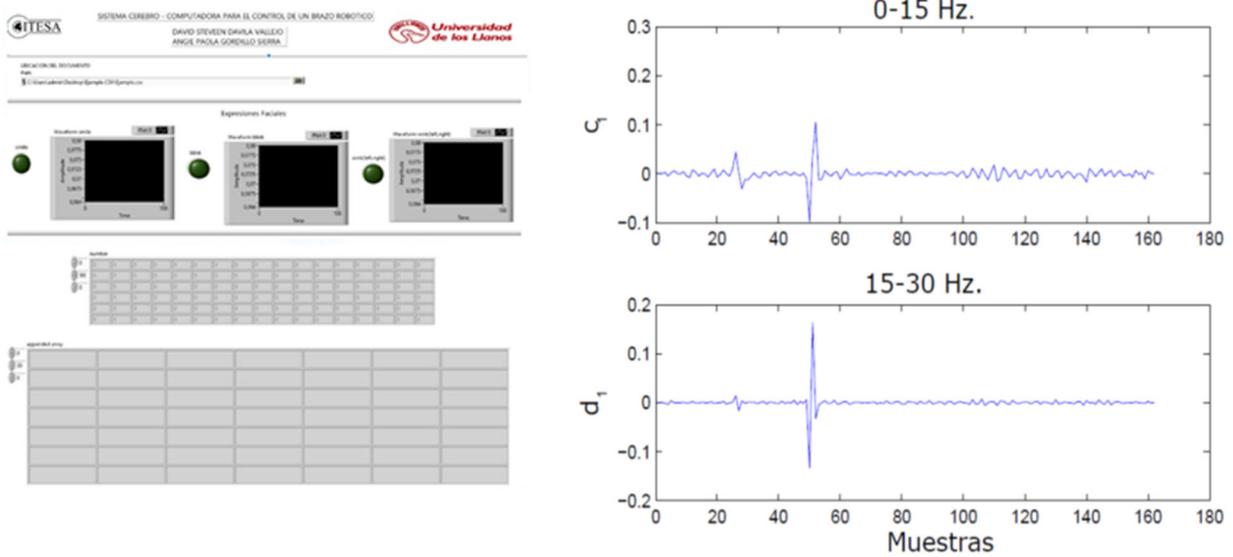


Figura 12. Interfaz en LabVIEW.

Como resultado final se tiene un sistema BCI en lazo cerrado que comienza con la adquisición de señales de la región occipital, las acciones grabadas por el dispositivo son el movimiento de cejas y ojos como se muestra en la figura 13 y termina con el movimiento de un brazo robótico por medio de comandos asignados que dependen de las expresiones faciales como se presentó en la sección anterior donde la salida m de la figura 9 movía el robot de derecha a izquierda con la gesticulación de los ojos y $m2$ activaba la pinza con el movimiento de las cejas, dicha pinza tiene un retorno por resorte.

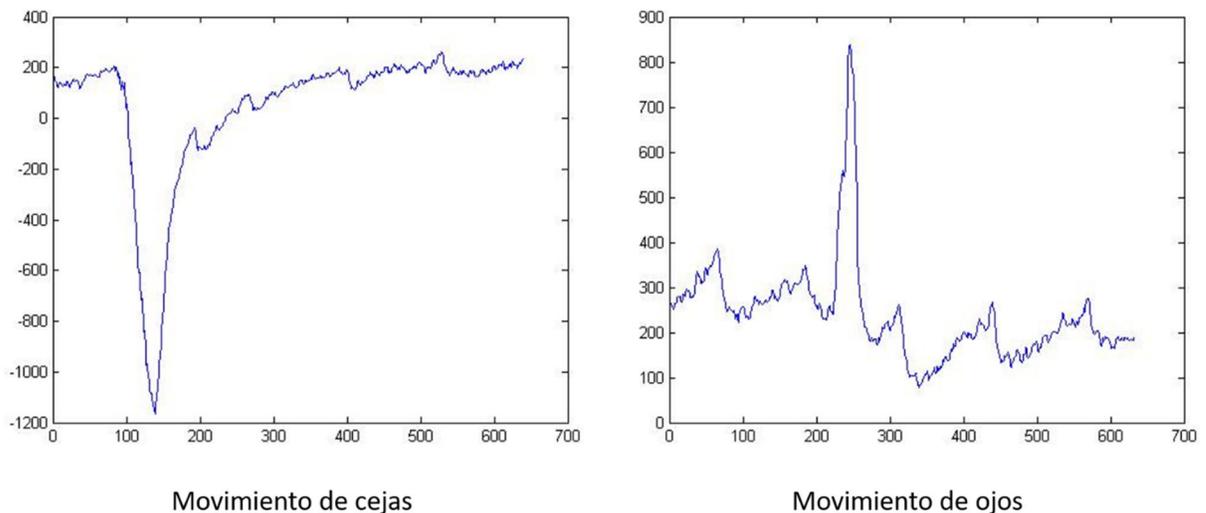


Figura 13. Señales de la región occipital referentes al movimiento de cejas y ojos.

El objetivo de tener un sistema en tiempo real se logró mediante la implementación de la transformada wavelet para el procesamiento de las señales EEG y la obtención del comando, después mandar esa señal al del robot y así cerrar el sistema BCI como se muestra en la figura 14.

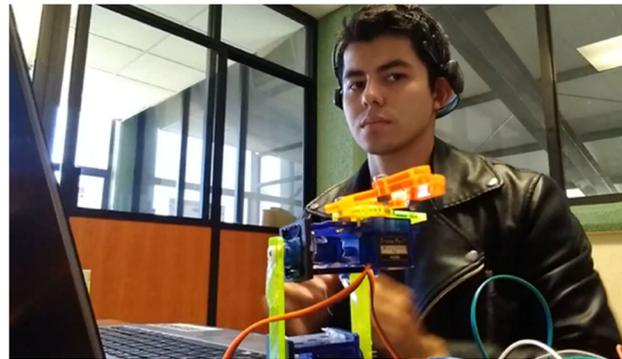


Figura 14. Sistema BCI en lazo cerrado.

El algoritmo utilizado para la descomposición wavelet de las señales EEG para la obtención de los comandos del control del robot está basado en Matlab utilizando la ToolBox Wavelet como se muestra a continuación.

```

clear all;
close all;
load S;           %Definir Señal obtenida del casco
L=length(S);     %tamaño Señal
% ETAPA 1 DESCOMPOSICION
% determinar filtros de descomposicion LD y HD
[LD,HD]=wfilters('db8','d');
% calcular coeficientes de la aproximacion al
con_LD=conv(S,LD);
a1=con_LD(2:2:length(con_LD)); %Downsampling
% calcular coeficientes del detalle d1
con_HD=conv(S,HD);
d1=con_HD(2:2:length(con_HD)); %Downsampling
% ETAPA 2 RECONSTRUCCION
% determinar filtros de reconstruccion LR y HR
[LR,HR]=wfilters('db8','r');
% calcular la aproximacion al (ar1)
ups = [zeros(1,length(a1));a1];
ups = ups(:).';
ups = ups(1:2*length(a1)); %Upsampling
con_LR=conv(ups,LR);
ar1=con_LR((length(HR)): (L+length(HR))-1);
% calcular el detalle d1 (dr1)
ups = [zeros(1,length(d1));d1];
ups = ups(:).';
ups = ups(1:2*length(d1)); %Upsampling
con_HR=conv(ups,HR);
dr1=con_HR((length(HR)): (L+length(HR))-1);
% IDWT de la Señal S
sr=[ar1,dr1];
% PLOTEO
plot(ar1);
hold;
plot(dr1,'r');
    
```



Caracterizadas las señales con el algoritmo anterior se cerró el lazo de control con LabView para el control de los movimientos del robot.

4. Conclusiones

Para el desarrollo del sistema BCI se empleó el casco Emotiv EPOC que cuenta con 14 sensores de alta resolución que nos permite leer las señales EEG, una vez que se obtuvieron las señales EEG se cierra el lazo para mover un brazo robótico por medio de señales cerebrales. Para llegar al resultado final se utilizaron diversos programas para realizar la adquisición de datos esto se buscó para solucionar la situación que ahora el dispositivo Emotive es de arquitectura cerrada y con esto poder lograr un procesamiento de los datos utilizando la propiedad de multiresolución de wavelet. Se decidió mover el brazo robótico por medio de las expresiones faciales, ya que estas generaban señales más fuertes en la parte frontal del cerebro, por lo tanto, facilitaban la lectura. Uno de los retos futuros es que aunque el sistema BCI es en tiempo real, el resultado final se ve afectado por un retardo debido a dos factores, el principal es el costo computacional que resulto ser demasiado alto y a que la lectura y respuesta de las señales no es exacta debido a múltiples factores como las variaciones por parte de los sensores ya que son no invasivos, y la otra es debido al usuario esto se debe a la cantidad de conexiones neuronales y a que la estructura craneal de las personas no es uniforme y los resultados varían dependiendo de la concentración del usuario.

Los trabajos futuros que se plantean a partir del resultado es implementar un control PID para el control automático de la posición del robot y posterior realizar un control de fuerza para la manipulación de objetos, y con esto ayudar a personas con discapacidad motriz de los miembros inferiores.

Referencias

- [1] INEGI México La discapacidad en México, datos al 2014, 2016.
- [2] Mowla, M. R., Huggins, J. E., & Thompson, D.E. (2017). Enhancing P300-BCI performance using latency estimation. *Brain-Computer Interfaces*, 137-145.
- [3] Spezialetti, M., Cinque, L., Tavares, J. M., & Placidi, G. (2017). Towards EEG-based BCI driven by emotions for addressing BCI-Illiteracy: a meta-analytic review. *Behaviour & Information Technology*, 855-871.
- [4] Gómez, L. J. (2016). Análisis de señales EEG para detección de eventos oculares, musculares y cognitivos. Madrid: Universidad Politécnica Madrid.
- [5] Jang, W. A., Lee, S. M., & Lee, D. H. (2014). Development BCI for individuals with severely
- [6] Kotowski, K., Stapor, K., Leski, J., & Kotas, M. (2018). Validation of Emotiv EPOC+ for extracting ERP correlates of emotional face processing. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 773-781.
- [7] Chambers, S. S. (2007). EEG SIGNAL PROCESSING. England: John Wiley & Sons Ltd.
- [8] García, J., Domínguez, O.A., y Ramos, L.E. (2019). Control Proporcional Multiresolución para un Robot de 2GDL a través de un Sistema BCI. *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 7(Especial), 111-115.

Autores

Dávila Vallejo David Steeven. Ingeniero Electrónico perteneciente a la facultad de ingeniería en la UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS, ha participado como Presidente del capítulo de IEEE PES (POWER AND ENERGY SOCIETY), Secretario rama estudiantil IEEE en la Universidad de los Llanos, 2018 y Participante y Líder del concurso de energías realizado por la IEEE, también participo en Desarrollo de



una pasantía internacional de investigación relacionada con bioingeniería, que consistía en mover un brazo robótico por medio de la actividad neuronal david.davila@unillanos.edu.co .

García Blancas Jesús. Profesor investigador del Instituto Tecnológico superior del Oriente del Estado de Hidalgo desde el 2016, ha participado en diferentes congresos como en el 18° Congreso Nacional de Mecatrónica, en el evento Robofest Latinoamérica 2019 y en el SONACI 2019, se tiene una publicación en PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI de la UAEH con el artículo Control Proporcional Multiresolución para un Robot de 2GDL a través de un Sistema BCI y ha sido asesor de diferentes proyectos de investigación jgarcia@itesa.edu.mx .

Julian Flores Moreno. Profesor investigador del Instituto Tecnológico superior del Oriente del Estado de Hidalgo desde el 2018, ha participado en diferentes congresos como en el VI Congreso Nacional de Mecatrónica, Tecnologías de la Información, Energías Renovables e Innovación Agrícola (CONAMTI 2014) y en el 3er Encuentro Nacional de Cuerpos Académicos 2014, se tiene un artículo Caracterización de un Concentrador Solar Cilindro Parabólico, jflores@itesa.edu.mx .

Martínez Lendeche José Francisco. Profesor investigador del Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, desde 2009, ha impartido distintas asignaturas en las áreas eléctrica, electrónica, y ciencias básicas. Responsable de proyectos de investigación, ha publicado artículos técnicos en revistas, e impartido conferencias en congresos nacionales e internacionales. Asesor de estudiantes en residencias profesionales, revisor de tesis de nivel licenciatura y maestría. Presidente de academia de Ingeniería Eléctrica, líder del cuerpo académico: "Innovación y optimización de procesos industriales", y miembro voluntario de la IEEE Sección centro occidente. Actualmente es perfil deseable PRODEP fmartinez@itesa.edu.mx.