

Implementación de una Interface Cerebro – Computador para la detección de posición con la ayuda de las señales EEG

Jairo Vinicio Ponce Jurado

Resumen—El presente proyecto describe el diseño y la implementación de un sistema basado en la adaptación de las señales de electroencefalografía (EEG) para la detección de posición, considerando de esta manera los cuatro puntos cardinales que van ser representados Norte, Sur, Este y Oeste. La obtención de estas señales se lo realizara por medio de un dispositivo no invasivo colocado en la corteza cerebral, el cual permitirá adquirir señales representadas por medio de acciones expresivas (gestos faciales) y cognitivas (pensamientos conscientes), una vez adquiridas estas señales se las pueda manipular y acondicionar en términos de control para ser representadas por medio de impulsos eléctricos.

Palabras clave—Electroencefalografía, Emotiv EEG, BCI, Neurociencia, señales cerebrales.

I. INTRODUCCIÓN

La relación hombre-computador, en la actualidad, ha generado un nexo muy importante en el desarrollo tecnológico que ha permitido la utilización de elementos electrónicos como principal colaborador en las diferentes áreas de investigación tales como en la medicina, con el pasar de los tiempos la electrónica ha cumplido un papel importante con el desarrollo de dispositivos especializados y los diferentes sistemas de monitoreo que permiten tener una concepción detallada de cómo se encuentra el cuerpo humano, siendo como objetivo la obtención información necesaria para poder reaccionar frente a enfermedades o diferentes problemas que afecten a la funcionalidad del propio ser humano, con ayuda de estos elementos electrónicos permite minimizar errores, incrementar la veracidad frente a los diversos síntomas y, en definitiva,

hacer más productivas las tareas que rodean a las personas que se encuentran involucradas siendo una clara fuente de ayuda.

Es muy importante diseñar sistemas que sean efectivos, eficientes, sencillos y amenos a la hora de utilizarlos, dado que la sociedad disfrutará de estos avances.

Dado que la interacción hombre-computador estudia la comunicación entre el ser humano y las máquinas, esto implica que se involucre conocimientos acerca de ambos: de la persona y de la máquina. Sobre las máquinas se requiere contar conocimiento en cuanto a sistemas operativos, técnicas gráficas, lenguajes de programación y entornos de desarrollo. Sobre las personas, es importante tener unos conocimientos previos, como teoría de la comunicación, disciplinas del diseño gráfico e industrial, lingüística, ciencias sociales, psicología cognitiva y función del ser humano.

La electroencefalografía es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones, en este caso con la ayuda del dispositivo lector de señales cerebrales se puede utilizar para obtener datos EEG. El casco cerebro lector de señales cerebrales Emotiv EPOC EEG, tiene 14 electrodos (en comparación con los 19 electrodos de un EEG médica estándar) También tiene un giróscopo de dos ejes, tiene dieciocho tomas y puede albergar a dieciséis nodos o las almohadillas del sensor. Los sensores detectan la actividad eléctrica en la superficie del cerebro transformando la energía iónica en eléctrica los cuales son generados por medio de las diferentes acciones realizadas por la persona sean gestos faciales, emociones, o a su vez pensamientos conscientes determinados a una acción específica [1].

II. MARCO TEÓRICO

A. Interfaz Cerebro Computadora (BCI).

Las interfaces cerebro-computador (*Brain Computer Interfaces, BCI*), representan una

Jairo Vinicio Ponce, Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, (email: jairovpj1988@hotmail.com).

Fabián Sáenz, Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones, Profesor de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, (email: fgsaenz@espe.edu.ec)

Carlos Romero, Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones, Profesor de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, (email: cromoero@espe.edu.ec)

tecnología que se trata básicamente en la adquisición de las ondas cerebrales para que posteriormente puedan ser procesadas e interpretadas por un computador. Pero se lo considera BCI en sí, a cualquier sistema de comunicación que traduce las intenciones del usuario, registradas a partir de las señales eléctricas, magnéticas, térmicas o químicas que genera nuestro cerebro, en órdenes que son interpretadas y ejecutadas por una máquina o un ordenador [2].



Figura 1. Dispositivo BCI tipo malla

Las principales ventajas de esta tecnología son por una parte instaurar una conexión natural de interacción entre el hombre y la máquina y, por otra, el acceso a toda la información cognitiva y emocional humana, todo este proceso es realizado por medio de electrodos capaces de detectar cada señales generada por el cerebro, existen varios modelos BCI como se lo puede apreciar en la Figura 1 un modelo que es de tipo malla.

Los sistemas BCI se pueden clasificar en dos grupos según la naturaleza de la señal de entrada: sistemas BCI endógenos y exógenos [3].

- Los sistemas BCI *endógenos* dependen de la capacidad del usuario para controlar su actividad electrofisiológica, siendo necesario para esto un entrenamiento previo.
- Los sistemas BCI *exógenos* dependen de la actividad electrofisiológica evocada por estímulos externos.

B. Estructura de un Sistema BCI

El principio de funcionamiento básico de las interfaces cerebro computador se describe en la

Figura 2, en la que consta de cuatro bloques principales:

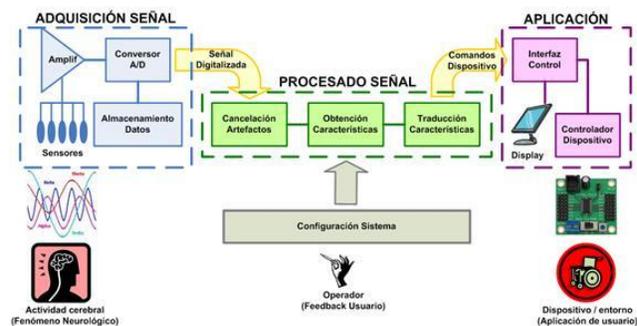


Figura 2. Modelo funcional de un Sistema BCI

- Adquisición de la señal.*- Se la amplifica y se le realiza la conversión A/D.
- Procesado de la señal.*- Se extraen los parámetros de interés de la señal digitalizada para que el dispositivo sobre el que el usuario.
 - *Cancelación de artefactos:* Se elimina el ruido que distorsiona la señal.
 - *Obtención de características:* Se traduce la señal de entrada en un vector de características en relación al fenómeno neurológico asociado a la señal.
 - *Traducción de características:* Es la decodificación del vector de características a una señal de control
- Configuración.*- Se definen los parámetros del sistema.
- Aplicación.*- Se recibe la señal de control y realiza las acciones correspondientes en el dispositivo a través del controlador del mismo de acuerdo a los parámetros establecidos.

C. Señales EEG

La electroencefalografía es una técnica que permite estudiar la actividad cerebral basado en el registro de la actividad bioléctrica cerebral en diferentes condiciones como puede ser de reposo,

de vigilia, sueño y diversas activaciones [4], esto es a través de medir las oscilaciones continuas o cambios de potencial relacionando a la acción frente a algún evento, existen una variedad de ritmos destacados en base a su frecuencia y la localización en el cerebro,

Se definen cuatro ritmos importantes dentro de la encefalografía, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

| Ritmos | Banda de Frecuencia (Hz) | Amplitud de señal (uV) |
|--------------------|--------------------------|------------------------|
| Delta (δ) | 0.5 – 3.5 | 20 – 200 |
| Theta (θ) | 4 – 7 | 20 – 100 |
| Alfa (α) | 8 – 13 | 20 – 60 |
| Beta (β) | 14 – 30 | 2 – 20 |

Tabla 1. Tipos de Ondas Cerebrales

Estas ondas cerebrales se presentan propiamente dependiendo del estado mental en la que se encuentra la persona como se lo aprecia en la Figura 3.

| Ondas cerebrales | Frecuencia | Estado mental |
|------------------|------------|---------------------|
| Onda delta | 0,5 - 3 Hz | sueño profundo |
| Onda theta | 4 - 7 Hz | sueño ligero |
| Onda alfa | 8 - 13 Hz | despierto, relajado |
| Onda beta | 14 Hz | despierto, excitado |

Figura 3. Estados característicos de las Ondas Cerebrales

D. Adquisición de las señales eléctricas del cerebro.

La adquisición de estas señales eléctricas se las obtiene mediante electrodos, que son elementos que permiten convertir las corrientes iónicas existentes en la superficie de la piel en una corriente eléctrica, es necesario colocar una solución salina o un gel electrolítico para tener un buen contacto con la piel.

Existen métodos de adquisición de estas señales que se acoplan a su respectivo dispositivo, estos pueden ser invasivos y no invasivos [5].

Dispositivos invasivos: La medición con estos se realiza directamente desde el cerebro del usuario, con lo que es necesario realizar una intervención quirúrgica, esta señal obtenida es nítida pero a su vez riesgosa.

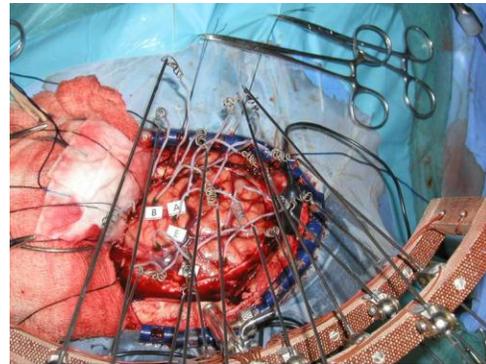


Figura 4. Dispositivo Invasivo (Electrocorticograma)

Dispositivos no invasivos: Los sensores se colocan en el cuero cabelludo de manera que no se realiza una intrusión sobre el cuerpo humano, es decir se lo coloca de manera externa, la señal obtenida presenta una resolución más débil pero es útil.



Figura 5. Dispositivo No Invasivo

A pesar de que la primera y más popular técnica es la electroencefalografía (EEG), debido a su simplicidad y costo, existen otras técnicas no invasivas como la magneto encefalografía (MEG), la tomografía por emisión de positrones (PET), la imagen por resonancia magnética

funcional (*fMRI*) y la imagen óptica cercana al infrarrojo (*fNRI*), estas técnicas son muy caras y requieren una gran preparación técnica. Y la técnica propiamente invasiva que se la denomina electrocorticoograma (*ECoG*). [6]

III. DISPOSITIVO EMOTIV EPOC EEG

El Emotiv Eloc EEG es un dispositivo basada en la tecnología BCI, encargado de adquirir las señales electroencefalográficas (EEG), consta de 14 sensores y a su vez incorporando un giroscopio, un receptor USB para el envío de datos inalámbricamente hacia el computador y su respectivo software de instalación.



Figura 6. Dispositivo Emotiv Eloc EEG.

Cada sensor representa a un canal de transmisión, estos son colocados en el cuero cabelludo siguiendo el protocolo 10-20, determinado por la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía a partir de las referencias anatómicas inión y nasión.

Las letras empleadas para el nombre de los puntos de contacto identifican al lóbulo y el número, y a la ubicación dentro del hemisferio, Siendo las letras F, T, C, P y O la iniciales de frontal, temporal, central, parietal y occipital respectivamente. Los números pares representan a la parte derecha de la cabeza y los impares a la parte izquierda respectivamente, como se lo aprecia en la Figura 7.

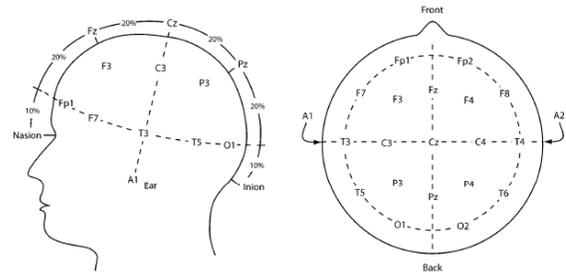


Figura 7. Puntos referenciales del Sistema 10-20

IV. IMPLEMENTACIÓN

A. Instalación y Colocación adecuada del Dispositivo

El kit de desarrollo Emotiv consiste en un conjunto de bibliotecas que permiten la comunicación con el dispositivo Emotiv EEG, este software consta de una licencia de investigación (*Research Edition*), su instalación es simple, seguidos todos los pasos se procede a la sincronización adecuada del dispositivo con el computador.

La colocación de cada uno de los sensores se lo debe hacer con cuidado debido que son colocados al momento de ser utilizados y retirados al no hacer uso del dispositivo. Una vez colocados todos los sensores la ubicación correcta en la cabeza dependerá de la correcta ubicación de los sensores de referencia los cuales son de goma y se puede apreciar su ubicación en la Figura 8 [7].

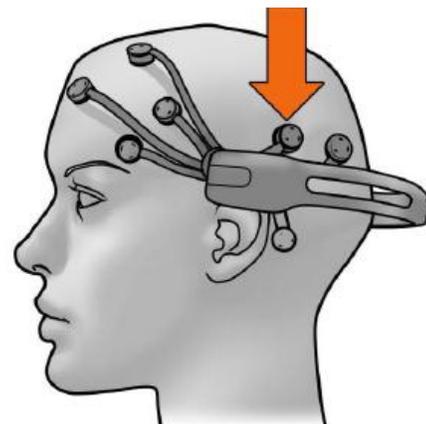


Figura 8. Colocación adecuada del Emotiv Eloc EEG

B. Características del SDK

Este software que viene incluido presenta tres modos de funcionamiento que permiten al usuario identificar las diferentes señales involucradas con las que se desea trabajar asociadas a una acción y su respectivo modo de activación. [7]

Modo Expresivo: Permite reconocer diferentes gestos faciales por medio de las señales EEG, gestos como pestañear, reír, guiñar un ojo mirara hacia los lados etc. captando la intensidad con la que la señal fue emitida y su duración.

Modo Afectivo: Hace referencia a los estados y cambios emocionales en los que el usuario se encuentra involucrado como lo es su compromiso, aburrimiento, meditación, frustración, emoción instantánea.

Modo Cognitivo: Este modo es la que se identifica como los pensamientos conscientes la cual para su detección requiere de un entrenamiento previo. Presenta un máximo de 13 diferentes acciones posibles de entrenar.

C. Diseño del Sistema en LabVIEW

Para la manipulación y control de las señales EEG se emplea el programa LabVIEW el cual nos permite apreciar la aplicación de manera gráfica. El panel frontal consta de dos módulos los cuales identificaran a los Modos Expresivo y Cognitivo respectivamente, que son con los que se procederá a trabajar.

Para identificar los cuatro puntos cardinales en el Modo Expresivo, se hizo uso de gestos faciales, tales como, el de levantar las cejas que representara al *Norte*, una sonrisa al punto *Sur*, una mueca de la boca al lado izquierdo el punto *Este* y una mueca de la boca al lado derecho al punto *Oeste*.



Figura 9. Modo Expresivo en LabVIEW

Y de la misma manera para representar los mismos puntos en el Modo Cognitivo se debe tener en cuenta que las acciones deben ser entrenadas respectivamente para representar cada punto, al trabajar con cuatro acciones cognitivas al mismo tiempo representan un nivel de entrenamiento muy elevado.



Figura 10. Modo Cognitivo en LabVIEW

El accionamiento de cada uno de los modos dependerá de cual se encuentre activo según la pestaña que sea seleccionada, de esta manera no exista error en la comunicación de los datos referentes a las señales EEG.

El diseño propiamente en el Diagrama de bloques se lo puede apreciar en la Figura 11.

Para la transmisión de estos datos a una placa electrónica externa se lo realiza mediante una conexión USB serial, configurando previamente el puerto y haciendo la utilización de librerías VISA, propiamente incorporadas por LabVIEW.

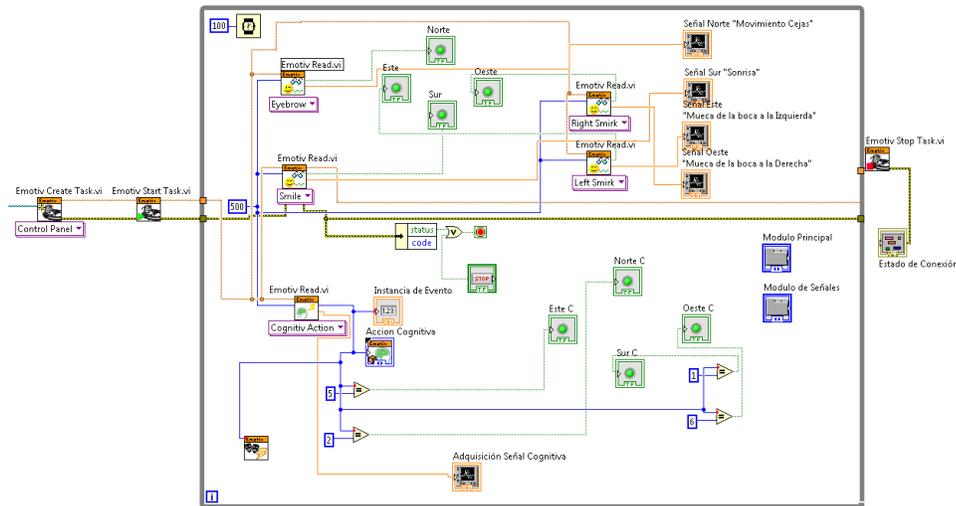


Figura 11. Sistema de Adquisición de Datos

La placa electrónica construida consta de un microcontrolador ATMEGA48PA, conector db9 para la comunicación serial, un puente rectificador RS207, un regulador de voltaje L7805, capacitores, resistores, transistores y leds.

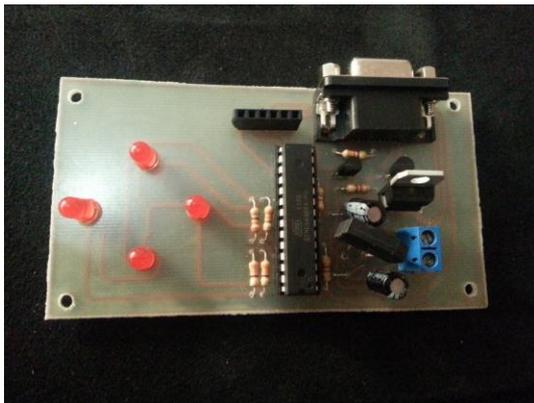


Figura 12. Placa electrónica para la comunicación serial

V. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Pruebas de Conectividad

La comunicación primordial e inicial es la que se presenta al sincronizar propiamente el dispositivo Emotiv con el computador por lo que las pruebas de conectividad son importantes ya que un mejor acoplamiento de los sensores con el cuero cabelludo significa que la transmisión de las señales será de una mejor calidad evitando que exista ruido que afecte en la detección de las mismas.

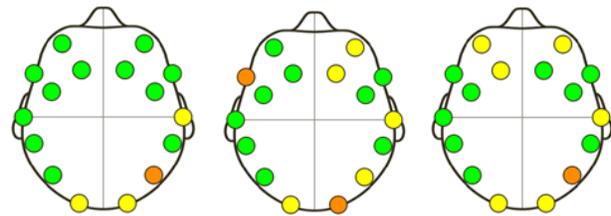


Figura 13. Pruebas de Calidad de Transmisión.

La conectividad se basa en la calidad de cada sensor colocado correctamente en el córtex cerebral, de acuerdo a la Figura 13, se observa un 91.25%, un 85% y un 83.75% respectivamente, que representan a la calidad de conexión del sistema tomando en cuenta que la coloración corresponde de cada indica la calidad de la señal como se lo observa en la Figura 14.

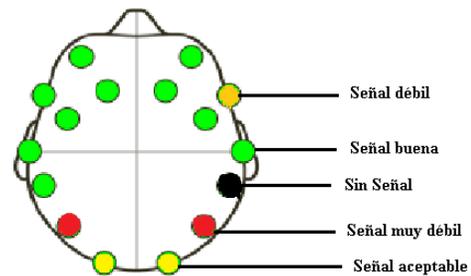


Figura 14. Identificación de colores

B. Prueba en el Modo Expresivo

La adquisición de estas señales se basa en la selección de acciones faciales que representaran

al punto cardinal que se desee indicar.

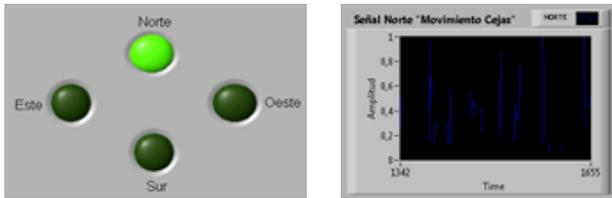


Figura 15. Señal representada al punto Norte

Para analizar cada señal tanto Norte que es levantamiento de cejas la duración de este impulso es instantáneo y preciso y cual se lo demuestra con la acción como lo es en la Figura 16.

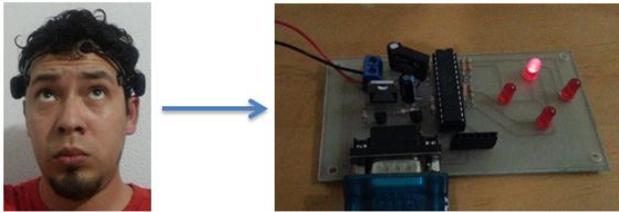


Figura 16. Acción implementada

Propiamente las demás señales son reconocidas de acuerdo al gesto asignado, hay que tener en cuenta que la señal reconocible a cada gesto puede variar de acuerdo a la sensibilidad que le sea asignado por cada usuario, ya que la intensidad en cada acción en varias personas puede ser más pronunciado y no necesite de este ajuste.

Las señales que representan los puntos restantes tanto el Sur, Este y Oeste se presentan de igual manera con un impulso fuerte reconocible por el dispositivo y a su vez transmitido a todo el sistema implementado, se realizan unas variaciones mínimas en la sensibilidad para los gestos que representan el punto Este y Oeste debido a la posible equivocación en el reconocimiento de la señal con el patrón que representa el gesto de sonrisa que representa el Sur.

C. Prueba en el Modo Cognitivo

Trabajar en este modo representa un grado de complejidad muy elevado ya que consiste en

entrenar al cerebro a guiarse de un patrón determinado para poder identificar la posición en este caso el punto cardinal al cual se lo va a representar.



Figura 17. Señal Cognitiva en el punto Este

La acción cognitiva es desplegada en torno a la acción pensada y entrenada. La visualización de la acción en cierta parte es lenta y requiere de sesiones de entrenamiento para llegar a conseguir el control mental de todas las cuatro señales que corresponde a un modo de ejecución en modo experto.

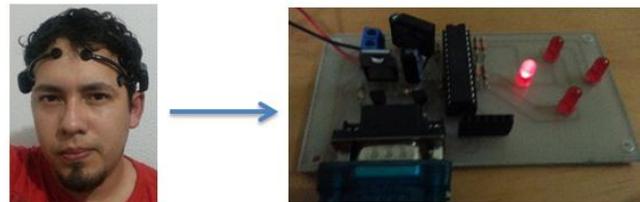


Figura 18. Acción cognitiva implementada.

El estado tranquilo y equilibrado es muy importante para obtener una concentración y ejecución adecuada de estas señales cognitivas.

D. Análisis de las señales en base a su tipo de onda cerebral

Apreciar cada punto del diagrama cerebral nos permite conocer y analizar como es su respuesta en función de cada uno de los tipos de ondas cerebrales dependiendo de su ubicación en el córtex cerebral por lo que cada sensor identifica a un canal que analizara una señal y se enfocara al análisis del mismo.

Tomamos un punto del diagrama de electroencefalografía y observamos que corresponde al punto *F4* que en este caso representa a la posición Frontal Derecha de la cabeza y en la Figura 19, se puede constatar la señal completamente en función de su frecuencia

y magnitud, así mismo una comparación de los tipos de ondas cerebrales presentes.

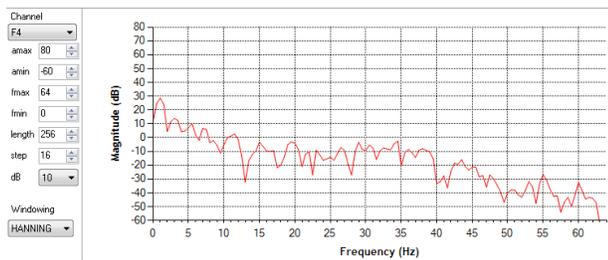


Figura 19. Señal de la Posición Frontal Derecha (F4)

Y a continuación en la Figura 20 se observa los 4 tipos de ondas cerebrales con su valor espectral en función de su potencia y frecuencia.

El ritmo *Delta* está en su punto más alto considerando un diez, en una escala del uno al diez, debemos tener consideración que esta señal corresponde a un estado de inconsciencia pero el valor elevado se presenta debido a que su espectro de potencia es elevado y se presenta el rango de 20 a 200 μV , y esta escala es uniforme a todos los ritmos cerebrales. El ritmo *Theta* con un valor de tres con respecto a su espectro de potencia en el rango de 20 a 100 μV , representa el estado que presenta la persona en un estado de estrés o de una meditación profunda.

El ritmo *Alfa* con un valor de uno, en su espectro de potencia está en el rango de 20 a 60 μV , que se representa en el estado de relajación que se encuentra la persona, normalmente este ritmo se presenta al mantener los ojos cerrados.

Y como último el ritmo *Beta* presenta un valor inferior a uno pero debemos considerar que en su espectro de potencia, su rango de funcionamiento es de 10 a 50 μV , su valor es muy bajo pero es debido a que la escala utilizada es mayor, esta es responsable cuando la persona está en estado de vigilia, en un estado de concentración mental de manera que la irritación, la excitación, y diversos cambios son evocados en este ritmo.

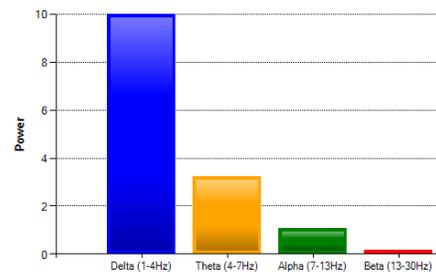


Figura 20. Detección de los ritmos cerebrales

Así se determina que las pruebas realizadas fueron ejecutadas con éxito teniendo en cuenta todos los elementos que fueron necesarios para su utilización y la implementación de todo el Sistema.

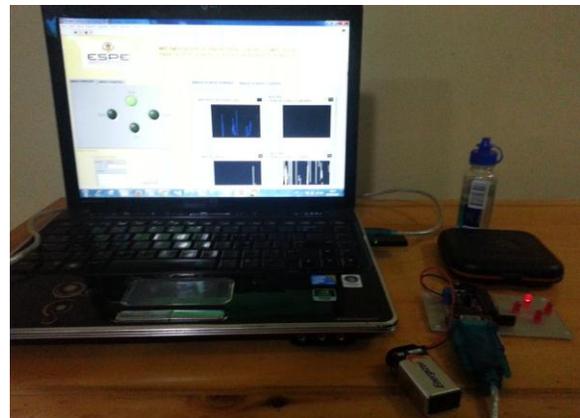


Figura 21. Sistema de detección de posición implementado

VI. APLICACIONES

En la actualidad los avances con respecto a sistemas *BCI* han ido creciendo permitiendo así tener un campo grande para el desarrollo de muchos proyectos de investigación, siendo una base firme para el desarrollo de nuevas tecnologías. Las primeras aplicaciones desarrolladas resultan prometedoras, aunque desde el punto de vista del entrenamiento cognitivo se presenta un obstáculo al momento de obtener el patrón ideal, pero queda aún un largo camino por recorrer para la mejora de estos sistemas.

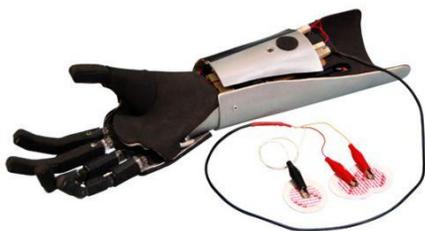


Figura 22. Diseño de una prótesis funcional

Las aplicaciones de estos dispositivos normalmente se han encontrado desarrollados en el ámbito médico donde permiten darles una ayuda de forma integral y funcional a personas que presentan ciertas enfermedades o discapacidades y al ser técnicas no invasivas, se pueden ver ayudadas en la creación de prótesis que se llaman neuroprótesis los cuales permitan controlar un determinado equipo o sistema por medio de las señales EEG.



Figura 23. Juego virtual con un dispositivo BCI

Otra área que se ha dedicado a darle una función a estos equipos son los videojuegos, haciendo que la interacción del usuario con el juego sea más comprometido con el mismo, dando cierto nivel de emoción, concentración, que permita una nueva experiencia de juego y un mundo de nuevas posibilidades.

VII. CONCLUSIONES

Al trabajar en proyectos basados en señales cerebrales, es posible la adquisición, manipulación, procesamiento e implementación de las mismas a un nivel funcional y que sea base

para promover aplicaciones de servicio a la sociedad.

Analizar las diferentes ondas cerebrales es de vital importancia ya que son las involucradas en las diferentes acciones cerebrales que responden frente a estados mentales los cuales nos indican la reacción de nuestro cerebro mediante impulsos eléctricos que son reflejadas en tiempo real.

Se puede constatar que la colocación de la solución salina en los electrodos es necesaria al momento de realizar las diferentes pruebas de comunicación y vale recalcar que la colocación de estos electrodos en el cuero cabelludo se debe realizar de manera correcta para obtener un buen acoplamiento al momento del registro de las señales.

El entrenamiento en base a una aplicación definida en el modo cognitivo es primordial para la consecución del mismo.

Realizar las distintas pruebas de comunicación y adquisición de las diferentes señales se lo debe realizar en un medio libre de interferencias que puedan afectar el desempeño y la comunicación propia del dispositivo con el computador.

El trabajar con el dispositivo por un periodo largo de tiempo, ocasiona dolores de cabeza, por lo que es recomendable el descanso en periodos de tiempo para evitar malestares en trabajo continuo.

A pesar de los problemas que puedan aún existir en el procesamiento de las señales EEG se ha recorrido un gran camino en el desarrollo de este tipo de tecnología que sin duda nos llevará a ese panorama idealizado del futuro en donde todo nuestro entorno pueda ser controlado por algo más que las fuerzas mecánicas a las que estamos acostumbrados y podamos entrar en una nueva era en donde exploremos todo el potencial aún desconocido que poseemos los seres humanos en nuestro cerebro y sea una nueva puerta al desarrollo que vendrá a futuro.

REFERENCIAS

- [1] Systems, E. (2009). *Emotiv*. Recuperado el 2013, de <http://emotiv.com/>
- [2] *La Cofa*. (15 de Diciembre de 2008). Recuperado el 2013, de <http://www.lacofa.es/index.php/general/introduccion-a-los-sistemas-brain-computer-interface>
- [3] Angevin, R. R. (2004). *Problemática de las Interfaces Cerebro-Computador*. Málaga: Universidad de Málaga.
- [4] Beltramone, D. (2010). *Electroencefalografía EEG*. Córdoba: Universidad Católica de Córdoba.
- [5] Valdés, M. L. (11 de Agosto de 2009). *Interfaz Cerebro Computador*. Recuperado el 2013, de <http://interfazcerebrocomputador.blogspot.com/2009/08/tecnologia-invasiva-vs-no-invasiva.html>
- [6] Becedas, J. (2012). Brain–Machine Interfaces: Basis and Advances. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 826-830.
- [7] Systems, E. (2012). *Emotiv*. Recuperado el 2013, de <http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>