

Sistema Electrónico de Iluminación (On-Off) Mediante el Control de Señales Cerebrales basado en Tecnología EEG

Jimenez G. Marco P.

Universidad Técnica del Norte

Carrera de Ingeniería en Electrónica y de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte

Ibarra-Ecuador

Abstract— The research presents the development, design and implementation of the control system based on recording brain signals using EEG technology, focused on assistive technology for people with motor physical disabilities, segmented phases of development for its realization, from the studio the user needs to reach tests use and operation, with this the user is provided the ability to perform a particular activity because of their condition restricts and uncomfortable, being the specific case of switching on and off a light actuator, allowing the user to achieve perform such activity.

Resumen—El trabajo de investigación presenta el desarrollo, diseño e implementación del sistema de control basado en el registro de señales cerebrales mediante tecnología EEG, enfocado como tecnología de apoyo para personas con discapacidad físico-motriz, segmentado en fases de desarrollo para su realización, desde el estudio de las necesidades del usuario hasta llegar a las pruebas de uso y funcionamiento, con esto se proporciona al usuario la capacidad de realizar una determinada actividad que debido a su condición lo restringe e incómoda, siendo el caso específico de encender y apagar un actuador lumínico, permitiendo lograr al usuario el realizar dicha actividad.

Palabras Claves—Sistema de control, tecnología EEG

I. INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el desarrollo de investigación con el tema sistema electrónico de control de un actuador lumínico mediante el control de señales cerebrales, enfocado en la generación de aplicativos para uso de personas con discapacidad físico motriz, promoviendo la implantación de “Tecnologías de Apoyo”, así denominadas según la Organización Mundial de Salud, para personas con discapacidad.

Como parte de la investigación que conlleva el desarrollo del proyecto se investigó temas que tienen relación con las funciones cerebrales como el efecto priming, electrogénesis cortical, funciones cognitivas, tipos de ondas cerebrales y otros temas relacionados con el ámbito de la electrónica como las funciones de los electrodos y tecnología open-source.

La necesidad que presentan las personas con discapacidades físico motrices es de carácter urgente debido a que no pueden realizar actividades que para la mayoría de personas es algo muy sencillo o incluso se podría denominar como cotidiano. Por este motivo se incluyó el estudio de la tecnología EEG debido a que esta requiere de uso de las capacidades cerebrales de las personas y no de sus capacidades físicas.

La tecnología seleccionada para conformar el sistema electrónico se encuentra conforma principalmente por un lector de impulsos cerebrales más conocido como sensor EEG MindWave Mobile, un módulo de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.11.15 tecnología open-source y un circuito de alimentación entre otros.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

A. El cerebro

Es la parte más importante del sistema nervioso central, está situado dentro del cráneo y en los humanos su peso oscila entre 1.245 y 1.375 gramos. [1]

El cerebro es una máquina que cumple con determinadas funciones establecidas, esto permite la ejecución de acciones y el cumplimiento de objetivos. [2]

En la Tabla 1 se describe las funciones lógicas que cumple.

TABLA I
FUNCIONES LÓGICAS DE CEREBRO

Funciones	Descripción
Receptor de datos	Recibe y procesa los datos que mandan las neuronas sensitivas.
Consumidor de energía.	Demanda una cantidad enorme de energía, siendo el órgano con mayor consumo de energía, el cerebro consume 20% de la energía que consume el cuerpo humano para vivir.
Codificador	Es un codificador de información espacial y temporal para integrarla de manera coherente y compatible.
Descompresor	Descomprime la información obtenida por los receptores sensoriales y provee un proceso de fabricación de datos comprensibles, de manera constante y dinámica.
Procesador de información	La información es transformada en energía, analizada con referencia a patrones establecidos, luego manipula o procesada y manifestando una respuesta, la velocidad de procesamiento de la información está relacionada con el coeficiente intelectual.
Realizador de procesos mentales	Presenta una asociación e integración de la información de manera que es almacenada y producida por escalas para su manipulación, se establece la relación entre los elementos relativos y sucesivos absolutas.
Organizador de sistemas de conocimiento abiertos	Es un organizador sistemático, establecido por el comportamiento de las neuronas según los impulsos bioeléctricos codificados anteriormente.

B. Ondas cerebrales

Se refieren a la actividad eléctrica que es producida por células cerebrales. Esta actividad eléctrica cerebral es medida en microvoltios, y es el resultado de la suma de potenciales post-sinápticos-excitatorios; genera simetrías, siendo la información que viaja de una neurona a otra formando una red, con el propósito de ejecutar una función.[2]

- Onda Beta: Se produce cuando el cerebro está despierto e implicado en actividades mentales. Es la más rápida de las cuatro, su frecuencia es de 14 a 30 Hz .Denota actividad mental intensa, estudiando y resolviendo problemas.
- Onda Alfa: Se producen en un estado de no actividad y relajación. Son más lentas y de mayor amplitud, su frecuencia oscila entre 6 a 13 Hz.

- Ondas Theta: Son de mayor amplitud y menor frecuencia, 4 a 5 Hz. Aparecen en el sueño, así como en estados de meditación profunda.
- Ondas Delta: Son las de mayor amplitud y menor frecuencia. Entre 0.5 a 3 Hz, y aparecen en un estado de sueño profundo.

C. Electroencefalograma

Proporciona un método no invasivo para estudiar la actividad eléctrica continua o espontánea del cerebro. Los potenciales del cerebro se registran en un electroencefalograma (EEG); éstos aparecen como ondas periódicas con frecuencias que van de 0.5 a 40 ciclos por segundo (hercios [Hz]) y con una amplitud que abarca de cinco a varios cientos de microvoltios. [3]

Toda actividad eléctrica neuronal es posible captársela por algunas técnicas:

- Sobre el cuero cabelludo.
- En la base del cráneo.
- En el cerebro expuesto.
- En localizaciones cerebrales profundas.

D. Fundamentos técnicos del registro EEG

Se ubican electrodos tipo disco metálico, en la superficie del cuero cabelludo como se presenta en la figura 1. Se detectan corrientes oscilatorias de 20-100µV, esta corriente se origina del efecto aditivo de un conjunto de neuronas corticales piramidales constituidas en columnas radiales, que están situadas debajo de la superficie de los giros corticales, donde estos potenciales fluctúan y se establece un dipolo eléctrico, se genera un potencial de campo eléctrico con base en la corriente que atraviesa el espacio extracelular e intracelular. En el EEG se registra la componente extracelular de esta corriente, y las variaciones tanto en la potencia como en la densidad de los bucles de corriente dan lugar a su forma característica de onda sinusoidal. [5]

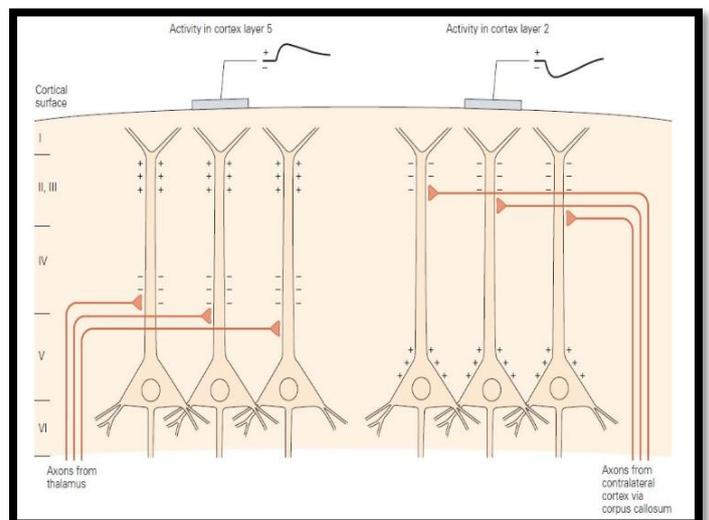


Fig. 1 Captura de registro en la actividad eléctrica

La actividad eléctrica del potencial registrada sobre la superficie cortical está continuamente permutando es decir que no se mantiene constante ni cumple con un ciclo predeterminado, manteniendo una variación entre cada registro en milisegundos, siendo que existen nuevos registros a cada momento con una diferente escala del potencial, para

ejemplificar esta definición, demos el caso que una olla de agua se la pone a hervir durante unos minutos se puede ver como las burbujas de vapor comienzan a ascender, no cumple con un ciclo, no son del mismo tamaño pero son constantes esto es lo que ocurre con los registros de la actividad eléctrica neuronal se puede expresar que esta actividad es impredecible, en todo ese cambio y desorden existen leyes que rigen y determinan estas ondas.[4]

E. Neuroplasticidad

Se refiere a la formación de aprendizajes y adaptaciones al entorno a través de modificaciones en las estructuras de las redes neuronales. La experiencia puede alterar tanto la función del cerebro (su fisiología) como la organización (su anatomía), y esta experiencia incluye no sólo las influencias externas sino también algunas internas. [7]

III. DESARROLLO

3.1. Descripción de Elementos

A. MindWave Mobile

Sensor tipo diadema-auricular para la captación de registros electrocorticales, con 2 electrodos ubicados en la zona Fp1 y A1 del cerebro.



Fig. 2 Sensor MindWave Mobile

En la Tabla 2 se muestra las especificaciones y principales características para una correcta utilización del sensor MindWave Mobile.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS MINDWAVE MOBILE

Características	
Conexión	Bluetooth v2.1
Tasa de Baudios	57600
Ancho de Pulso	20 ms
Rango de Conexión	15m
Peso	90g
Fuente de Alimentación	Tipo pila AAA
Tolerancia de Error	8%
Unidad de Medida	Herzios
Compatibilidad	Interfaz con dispositivos móviles (iOS y Android) y de escritorio (Windows y Mac),

B. Módulo Bluetooth BlueSMiRF SilverRN-42

Para la comunicación inalámbrica entre los componentes del proyecto se utiliza la tecnología Bluetooth que ha tenido una gran acogida debido a su gran versatilidad, alcance, bajo costo, fácil manejo y manipulación.



Fig. 3 Módulo Bluetooth BlueSMiRF SilverRN-42

En la Tabla 3 se muestra las características principales del Módulo Bluetooth BlueSMiRF SilverRN-42.

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO BLUETOOTH Modem - BLUESMIRF SILVER RN-42

Características	
Voltaje de Operación (Vcc)	3.3-5 V
Alcance	Hasta de 100 m
	Positivo (Vcc)
	Negativo (Gnd)
Interfaz	Transmisión (Tx)
	Recepción (Rx)
	Key
Velocidad de transmisión de datos	1200 bps-1300Mbps
Estándar	802.11.15
Clase	2
Velocidad de Transferencia	9600-115200 baudios
Conexión de Datos	UART, USB
Consumo de Corriente en Recepción	25Ma
Temperatura	-40 ~ +70 °C
Tasa de Transmisión	3 Mbps

C. Arduino Micro

Es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega32u4, desarrollado en conjunto con Adafruit.

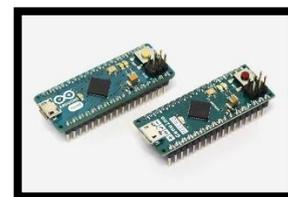


Fig. 4 Placa de Procesamiento Arduino Micro

En la Tabla 4 se muestra las características principales de la placa de procesamiento Arduino Micro.

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS PLACA DE PROCESAMIENTO ARDUINO MICRO

Características

Voltaje de Operación (Vcc)	5-12V
Microcontrolador	Atmega32u4
Tamaño	48x18mm
Temperatura	Entre -40 a +85 °C
Oscilador	16 MHz
Pines de Conexión	20 pines de entrada/salida digitales de los cuales:
	7 pines como salidas PWM
	12 entradas análogas de 10 bits
Memorias de Almacenamiento	Memoria Flash: 32KB
	SRAM: 2.5 KB
	EEPROM: 1KB

D. Módulo sensor de luz con fotodiodo

Otorga al CPD la capacidad de verificar si el actuador lumínico está activo o inactivo, con esto se provee al sistema que controle y condicione si el usuario ha alcanzado el evento para determinada acción.

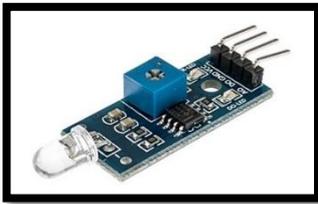


Fig. 5 Módulo sensor de luz con fotodiodo

En la Tabla 5 se muestra las características principales del módulo sensor de luz con fotodiodo.

TABLA V

CARACTERÍSTICAS MÓDULO SENSOR DE LUZ CON FOTODIODO

Características	
Voltaje de Operación (Vcc)	3.3-5V
Tamaño	13x33x1.9 mm
Temperatura	Entre -40 ~ +90 °C
Pines de Conexión	2 pines de salida
	A0 emite una salida analógica en un voltaje referencial.
	D0 emite una salida digital.

3.2. Diseño del Hardware

A. Conexión de elementos

Para determinar la conexión de los elementos en los distintos pines del Arduino se toma en cuenta sus requerimientos de funcionamiento.

De esta forma se procede a realizar la distribución de pines de la siguiente manera:

- Pin 0(Rx) y 1(Tx) del Arduino para la comunicación serial con el Módulo Bluetooth BlueSmird RN-42.

- Pin 7 del Arduino Micro para la comunicación con el pin de señal del Sensor Fotodiodo.
- Los pines 1, 2, 3, 4, 5 y 6 del Arduino Micro son conectados cada uno con resistencias de 330 Ohmios y 5 diodos Led que realizan la función de notificación de la Barra de estado en tiempo real
- Pin 12 del Arduino Micro es el pin de control que se conecta con el actuador lumínico, pero debidamente adecuada una conexión para trabajar con voltaje de 110 para la alimentación.
- Los pines de GND y Vcc son conectados para alimentar al Módulo Bluetooth BlueSmird RN-42 y el Sensor Fotodiodo

En la Fig. 6 se muestra la conexión de los elementos al Arduino Micro

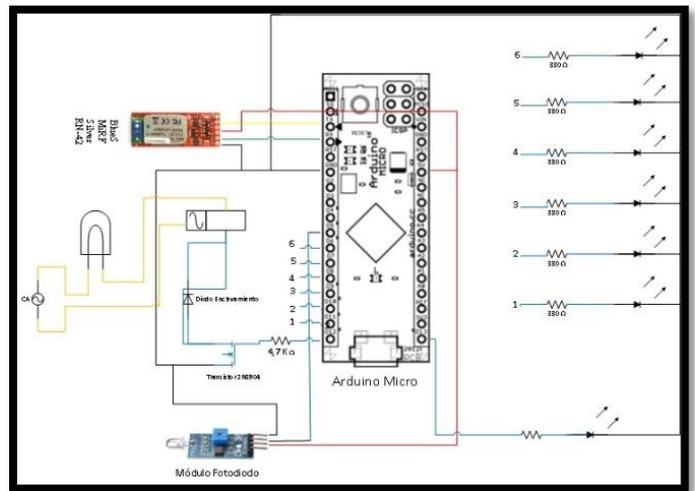


Fig. 6 Diagrama de Conexión

B. Configuración del módulo BlueSMiRF SilverRN-42

El software ttermpro posee una interfaz didáctica y rápida de configuración, además del software se requiere que el módulo se encuentre conectado a una fuente de alimentación de 3.3 o 5 v.

Una vez que el led indicador del bluetooth se torne color rojo significa que está listo para el emparejamiento con el ordenador.

Para el emparejamiento, se procede a abrir el software ttermpro, donde selecciona la opción serial y el puerto de conexión.

Si el led indicador del bluetooth cambia de rojo a verde significa que se estableció la comunicación e inmediatamente se visualizará una pantalla en modo terminal en la cual se escribirán los siguientes comandos.

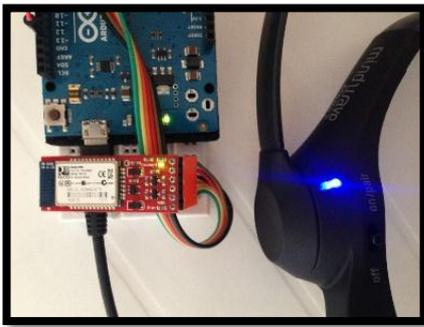


Fig. 6 Comunicación entre el Módulo BlueSMiRF SilverRN-42 y el sensor Mindwave Mobile

- “\$\$\$” da el resultado CMD
- “d” muestra la configuración del módulo.
- “SP, 0000” cambia el código pin de 1234 a 0000.
- “SM, 3” configura la conexión del módulo en modo automático.
- “SU, 576000” configura la velocidad de transferencia.
- “PA, 0” no permite la autenticación en el establecimiento de la comunicación.
- “SR, 20689D91DE97 ” establece la conexión entre el módulo bluetooth y el sensor Mindwave Mobile utilizando la dirección MAC del sensor.
- “d” confirmará la configuración establecida.
-



Fig. 8 Pantallas de configuración modulo Módulo BlueSMiRF Gold RN-42

C. Programación de los elementos

La programación de los elementos se realiza en un programa denominado ID de Arduino, esto debido a que se está utilizando como plataforma de desarrollo Arduino Micro.

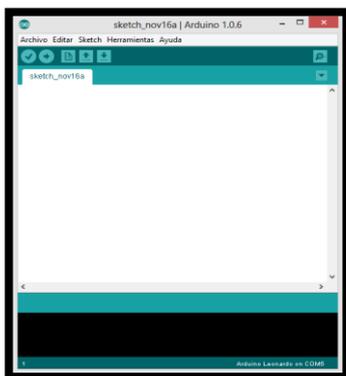


Fig. 9 IDE de Arduino

Para que los elementos cumplan con el objetivo del prototipo es necesario realizar la configuración lógica de cada uno de ellos.

- Módulo Bluetooth BlueSMiRF SilverRN-42: No requiere la utilización de una librería específica, se conecta directamente al Arduino debido a que soporta voltajes entre 3.3 y 6V, este elemento es el que permite que se realice la transmisión de datos desde el Arduino hacia el dispositivo Smartphone y viceversa, se configura en los pines 0 y 1 del Arduino que son pines seriales para que reciban y transmitan los datos que receipta el módulo.
- Módulo sensor de luz con fotodiodo:
- Leds:

A. Estructura para el Sistema

El CPD (Centro de Procesamiento de Datos) se encuentra ubicado en la base de una lámpara de escritorio sin embargo la estructura de la base es metálica con un mayor peso para el equilibrar el centro de lámpara y contener el circuito impreso de la misma en su interior con una tapa plástica.



Fig. 10 Cableado interno del dispositivo CPD

El módulo de comunicación está contenido en un protector plástico, debido a que sus elementos se encuentran expuesto y corren el peligro de que pueda ocurrir algún daño se puede observar con mayor claridad en la Figura 11.



Fig. 11 Base metálica del dispositivo CPD

Cada elemento está sujeto correctamente además se realizaron pruebas con movimientos para verificar si esta estructura es lo suficientemente compacta y no tiende a padecer de fallos por estos motivos, así el usuario cuenta con un elemento con una mayor consistencia en su estructura tanto interna como externa. En la Figura 12 se puede observar con mayor claridad la estructura final del sistema.



Fig. 12 Dispositivo final CPD

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Se genera una socialización entre el sistema y el usuario describiendo el proceso para la aclimatación del sistema que determinara el control de la luz, así como los protocolos del usuario y del sistema al momento de su uso.

A. Estructura del funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema se realizó basándose en tres etapas: condiciones iniciales, condiciones de uso y Postcondiciones que delimitan al sistema el comportamiento según los elementos que los integran y su participación dentro del funcionamiento del mismo.

Conforme cada suceso se desencadena, deslinda al siguiente como se puede ver en la figura 13 el diagrama de funcionamiento explica la dependencia entre cada uno y su conexión, interiormente en las condiciones iniciales es el establecimiento de la conexión entre el IU y CPD, indicar al usuario mantener una estado facultativo y controlado de sus pensamientos y por último el sincronismo que se efectúa entre el IU y las ondas cerebrales como primera fase, en la segunda fase se toma aspectos críticos de cada elemento; en la fase de Condiciones de Uso se ubica como el usuario debe depender y efectuar según como el funcionamiento está siendo ejecutado, para el elemento conexión procede él envío de datos, el centro de procesamiento de datos efectúa una amplia gama de tareas de respuesta y acción al relacionarse con el usuario y las acciones que son provocadas por todo este proceso; finalizando la fase de postcondiciones puede ser una etapa no sugestiva pero que prevalece enfocada en dos elementos importantes que es la conexión y la acción siendo en la primera verificar los datos transmitidos y la segunda la respuesta visible por el usuario percibiendo el encendido y apagado del actuador lumínico que es el resultado final de todo el proceso en conjunto.

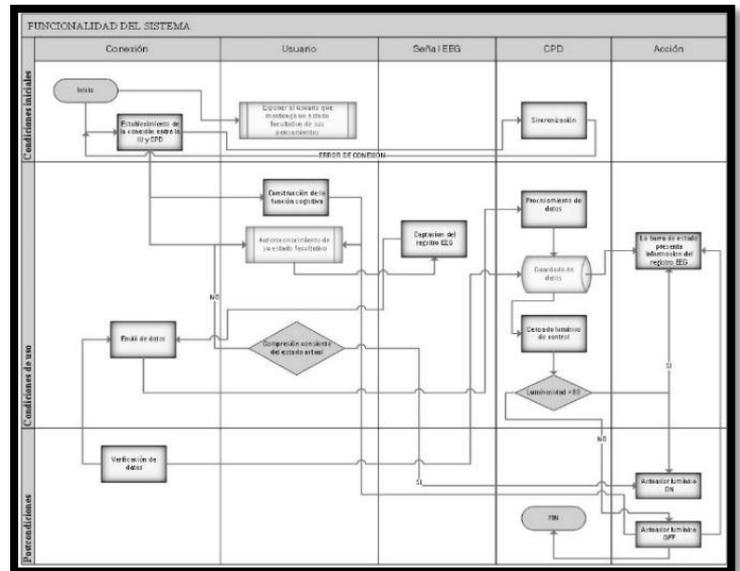


Fig. 13 Diagrama Funcional del sistema.

Cada elemento está establecido en el diagrama de funciones de manera vertical en cambio las etapas están horizontalmente ubicadas para su identificación más sencilla, siendo el diseño basado para el sistema previamente investigado según las necesidades específicas del usuario pero no se encapsula para una sola persona permitiendo modificarlo según las necesidades presentes esto otorga una amplia gama de implementaciones para futuros proyectos cimentados en este tipo de tecnología.

B. Descripción de las funciones cognitivas

El dispositivo sensor se basa en la tecnología Interfaz Cerebro Computadora, parte de la hipótesis de que las funciones cognitivas diferenciadas presenta distintos patrones de ondas electroencefalográficas, al ser identificadas y caracterizadas proveen la manipulación o control de un dispositivo asociado mediante la ejecución de un evento.

En referencia a cada evento de control se relaciona con las siguientes funciones cognitivas:

- Percepción del movimiento: donde el usuario construye un pensamiento consciente de realizar una acción de movimiento corporal, en concreto el mover su extremidad inferior izquierda, pero sin que exista la ejecución del movimiento, por ejemplo realizar la acción de activar el interruptor de pared.
- Actividad matemática: donde el usuario construye un pensamiento consciente de ejecutar una operación matemática que requiera de un ciclo de concentración, la adición sucesiva de tres números primos.
- Relajación mental: donde el usuario disminuye conscientemente la ejecución de pensamientos concretos, mediante ejercicios de respiración, acotando que este proceso debe ser realizado con toda la capacidad que se pueda lograr

Cabe indicar que las dos primeras funciones están estrictamente ligadas a la ejecución del evento

concentración, que a su vez es la acción control de encendido y que la función restante comprende la ejecución del evento meditación permitiendo controlar el apagado.

C. Usuario

Denominado como Usuario, es la persona beneficiada y a la cual está enfocado el sistema, quien ejerce el control a través del uso de sus funciones cognitivas que están asociadas a las señales cerebrales, desencadenando en la actividad o inactividad del actuador lumínico de manera consciente.



Fig. 14 modelo de referencia del espacio de trabajo

D. Procedimiento de entrenamiento

En base al procedimiento de entrenamiento las condiciones que el usuario debe reproducir en el registro EEG son adecuadas a un proceso, debido a que el usuario inicia en el uso de esta tecnología el cerebro no se encuentra adecuado y tampoco tiene la capacidad perceptiva para controlar a voluntad las funciones de las ondas cerebrales, en tanto los procesos de concentración y meditación son limitados, mencionadas funciones son modificadas con el objetivo de reducir el porcentaje de error al controlar los dos estados funcionales del sistema, para la definición dentro del procedimiento de entrenamiento de las funciones de concentración y meditación serán denominadas como evento M y evento C respectivamente.

Durante el proceso de aprendizaje los parámetros de los eventos pueden ser modificados de dos maneras cuando se presenta y evalúa el sistema, cada modificación del patrón por evento es alterada en relación con la respuesta del usuario al sistema y su adaptación, o bien al finalizar con todos los patrones de entrenamiento fueran presentados y evaluados, las necesidades computacionales para el procesamiento de la acción objetivo encender o apagar la luz artificial, por cada evento se comportan de forma diferenciada, en el caso del evento C las ondas beta alta y beta baja se alteran significativamente entrando en un estado de función cognitiva, entre los rangos que oscilan de 14 a 30 Hz, en el otro caso el evento M se obtiene una convergencia de las ondas alfa baja y alfa alta de forma lenta y con mayor amplitud y oscilan entre los 6 a 13 Hz donde el algoritmo eSense identifica y convierte esta información para ser procesada por el CPD.

- Comprensión del grupo de condiciones que afectan con la captación del registro durante el proceso de aprendizaje, de acuerdo a este grupo de condiciones se altera los patrones de evento en cada caso concluyendo con la determinación de rangos permisivos para el uso del sistema.

- Definición de estados para alcanzar los eventos C y M, dentro del aprendizaje en el proceso de entrenamiento se establece un valor mínimo de patrón de evento, se procede a evaluar la tasa de error por evento, por cada sesión, el patrón de evento se incrementa paulatinamente hasta obtener niveles de error aceptables.
- Detención del proceso de aprendizaje en un número bajo de iteraciones de forma que se permita a los patrones por evento alcancen los valores definitivos, causados por el efecto adquirido de neuroplasticidad.

E. Circunstancias limitantes de uso

Dentro de las circunstancias de uso se constata que el sistema está bajo ciertas condiciones que limitan su funcionalidad y deben ser tomadas en cuenta en su diseño.

TABLA VI
CIRCUNSTANCIAS DE USO

Parámetro	Descripción
Distancia	El usuario se aleja del dispositivo la distancia máxima de comunicación entre la IU y CDP durante el proceso de transmisión de datos. El usuario está a una distancia mayor a la distancia requerida para establecer la comunicación inalámbrica.
Comunicación	La IU tiene establecido la comunicación con el CPD, pero el usuario sale del rango de la distancia requerida y se pierde la comunicación inalámbrica, retornando al rango de establecimiento, la IU se restablece el enlace con el CPD. Al iniciar el sistema en conjunto no se establece el enlace entre la IU y el CPD. La IU establece comunicación con otro dispositivo ajeno al Sistema
Actuador Lumínico	El usuario apaga la IU y el actuador lumínico está activo - cuando el usuario pasa de la distancia máxima de la comunicación inalámbrica y el actuador lumínico está activo. El usuario no cumple con la función cognitiva acorde al evento de control el actuador no cambia de estado. La barra de estado indica que se ha alcanzado el patrón de evento y el actuador no cambia de estado.
Fuente de Energía	El sistema esta encendido y se desconecta el cable de alimentación o hay un apagón de la red eléctrica externa.

F. Protocolo de ejecución del evento C (Concentración)

Durante el proceso para alcanzar el evento C es importante que el usuario adquiera un nivel de control de sus funciones cognitivas permitiéndoles mantener la capacidad consciente; basándose en la hipótesis propuesta se relaciona las dos funciones cognitivas antes mencionadas por la necesidad que provoca la ausencia inadecuada de luminosidad, en la figura 15 se muestra el flujograma de desarrollo donde se describe el proceso para alcanzar el evento C, en este caso son empleadas las funciones cognitivas, utilizando la captación por ventana de registro, durante el proceso de ejecución el usuario indica el momento de la realización mental para alcanzar el evento C. De igual manera se asocia las funciones cognitivas con el efecto neuroplástico, provocando que se genere la nueva red

neuronal que abarca en conjunto a la actividad matemática y a la percepción de movimiento con el encendido del actuador.



Fig. 15 Usuario realizando evento C (encendido)

G. Protocolo de ejecución del evento M (Meditación)

En el proceso para alcanzar el evento M, se captan registros de la actividad electroencefalográfica, mientras que el usuario ejecute la función cognitiva determinada y que el sistema compruebe los condicionamientos para la ejecución de control de apagado.

El objetivo de este proceso es obtener la captación del registro para la ejecución del evento M y la post activación del actuador lumínico en este caso el apagado del foco, para la comprobación que el usuario alcance el patrón de evento correcto se identifica con la barra de estado que muestra la información actual dimensionada a la escala del patrón relacionada con la función cognitiva propuesta.



Fig. 16 Usuario realizando evento M (apagado)

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

La verificación del registro es mediante la barra de estado, como también por las herramientas del IDE de Arduino, dentro del programa también se ejecuta una línea de comando para la impresión en el monitor serial y el plotter serial del IDE, como los datos del censado llegan al CPD, el monitor serial donde se puede visualizar los valores numéricos captados en el registro EEG varían en cada nueva captación, en el plotter serial se visualiza de igual manera los mismos registros pero en forma gráfica se observa que los valores de las señales cerebrales varían.

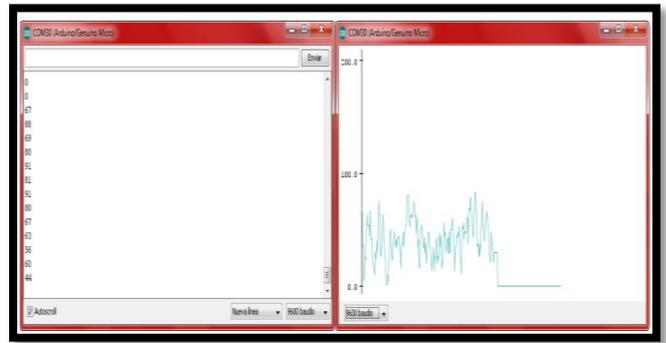


Fig. 17 Monitor serial del IDE de Arduino para comprobar que los datos son procesados mediante la escala de valores numéricos. Plotter serial del IDE de Arduino para comprobar que los datos esta son procesados mediante la gráfica analógica de los valores

Al momento del emplear por parte de un usuario se pudo ver los cambios de los valores son casi aleatorios, para las pruebas de uso se orienta al usuario que procure construir y mantener estos rangos, pero pese a su esfuerzo el usuario no lograba controlar conscientemente estos cambios en los valores, poniendo a evidencia que el sistema debe tener una fase previa de entrenamiento para controlar estos cambios de las señales del cerebro, es muy importante esta experiencia ya que fundamente al diseño y arroja conclusiones en el uso del mismo formando un condicionamiento en la construcción de las funciones cognitivas, para el control del CPD y por consecuente el desencadenamiento del evento C y M en la figura 17 se puede ver gráficamente el censado, que se está llevado a cabo por la IU y transfiriéndolo al CPD, con una gráfica que presenta los valores alcanzados por las señales en función del tiempo, ya transcurrido un periodo de 18 segundos, se desconecta el sensor Mindwave Mobile del usuario resultando en un periodo donde el registro pasa a valores de cero como se puede ver en la misma gráfica.

Con los datos obtenidos se generó las gráficas que indican registros presentes tomados al tamaño de la ventana su variación y el porcentaje de eventos C alcanzados con respecto al número de intentos conscientes del usuario, en este segmento de pruebas el usuario identifica verbalmente al momento de realizar el ejercicio mental para alcanzar el PPE que se desea, no obstante este proceso es asentado en tablas de registro para su cuantificación, para esta presentación se muestra un caso de estudio preliminar donde el usuario aún no fue instruido al proceso de entrenamiento. Esta información es importante debido a que con estas pruebas se puede refinar el sistema realizando cambios en el código del programa.

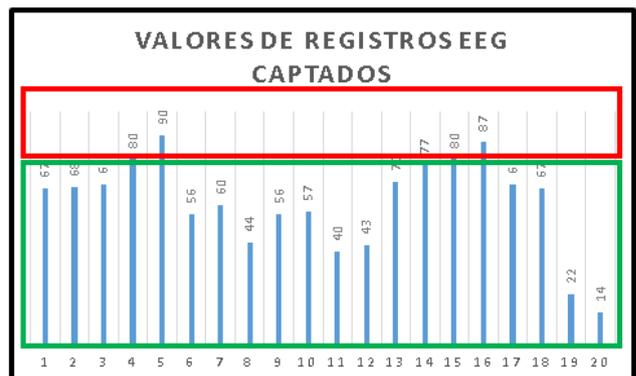


Fig. 18 Grafica de datos del registro EEG para el usuario

El tamaño de ventana de registro es de 20 registros estables, refiriéndose a que el momento del registro el usuario mantiene un estado consciente de sus acciones mentales con esto se promueve en mantener un registro más estable al momento del estudio, como se puede ver en la figura 18 está delimitado por dos secciones un cuadro rojo donde se identifica los registros que alcancen el PPE logrando llegar al evento C y el cuadro verde presenta los registros generados por el usuario que son registros por así decirlos normales pero que no están siendo controlados por el usuario conscientemente, esto repercute en el momento de usar el sistema siendo un cambio de PPE que no permite el control consciente.

Está claro que esta primera etapa de estudio otorga la apertura a modificar la programación y como ya se ha presentado que el efecto provocado por la neuroplasticidad, en el proceso de entrenamiento es indispensable para poder optimizar el control del sistema convirtiéndolo en un entorno mucho más adecuado para el usuario, en la siguiente figura se representa gráficamente el porcentaje de eventos tanto alcanzados, como fallidos en referencia a los intentos realizados, siendo un 30% de eventos C concluidos y un 70% fallidos con un total 40 registros captados en un estado estable por parte del usuario, arrojando como las primeras conclusiones que el usuario no posee un control del sistema adecuado.

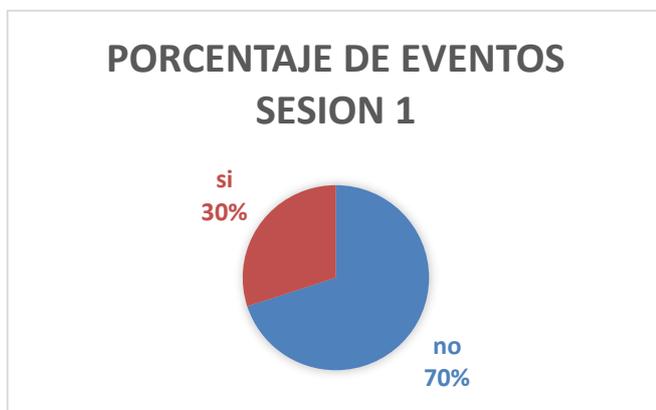


Fig. 19 Gráfica de porcentajes de aciertos al realizar la acción mental correcta de control por el usuario

A. Análisis discriminante de patrones por evento

Con los resultados logrados hasta el momento es primordial una metodología que permita el análisis de los datos captados en los registros PPE, esto acarrea a establecer que los datos otorgan información para el refinamiento del sistema y su uso, debido a estos causantes son encarrilados a los datos en un grupo de clasificación, que permite su análisis y discriminación de los mismos.

Para la determinación de los patrones por evento que son discriminados de cada ventana de registro (número máximo de registros para la ejecución de un evento) se aplica el contraste estadístico de poblaciones, mediante el software Minitab de estadística esta herramienta permite el análisis de comprobación del PPE está dentro de los grupos establecidos para el sistema, con esto se corrobora que los patrones deber ser modificados basándose en la aceptación y habilidad del usuario al adaptarse al cambio de la realización de una iteración física para el encendido con el control único de sus

ondas cerebrales generadas conscientemente que permitan el control sistema basado en la tecnología EEG.

En la siguiente figura 20 se observa los resultados del software estadístico:

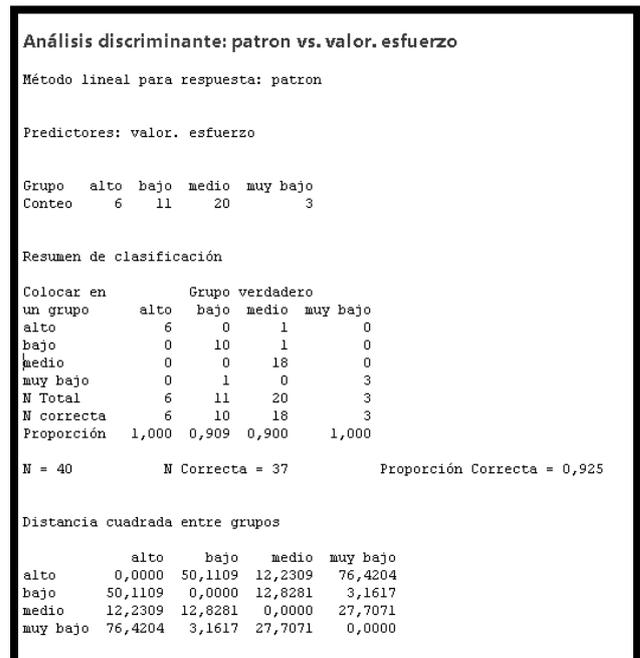


Fig. 20 Análisis discriminante patrón vs valor esfuerzo

- En la primera parte se puede observar los grupos establecidos entre alto, medio, bajo y muy bajo con el conteo de registros para cada grupo
- Después muestra la clasificación que el software calcula y define, en la primera fila presenta el grupo alto donde se identifican seis registros pero con una tendencia de un registro en el grupo medio el cual está en aproximación a alto
- El grupo bajo se identifican diez registros pero con una tendencia de un registro en el grupo medio el cual está en aproximación a bajo y con otro registro en tendencia.
- El grupo medio se identifican dieciocho registros de los veinte establecidos debido a que 2 registros están con tendencias a otros grupos.
- El grupo muy bajo se identifican los tres registros pero con una tendencia de un registro a bajo.
- Entrando en un número correcta de porción en el grupo alto de 30% y en muy bajo de 70%

De acuerdo a la clasificación establecida para los valores en la ejecución de los eventos C de control son los correctos, cabe recalcar que para la definición de los PPE son tomadas el número de intentos, estableciendo que la tasa de error es mayor obteniendo un 70% de acierto para el evento M. con 37 registros encasillados en cada grupo establecido esto identifica que los PPE establecido esta adecuados para el uso del sistema, como fase de prueba iniciales.

Con el proceso de entrenamiento realizado y en tan solo 4 sesiones cumplidas los resultados obtenidos son alentadores, con una mayor tasa de aciertos en PPE para

alcanzar el evento C con el mismo número de registros captados, en la figura se presenta los porcentajes obtenidos.

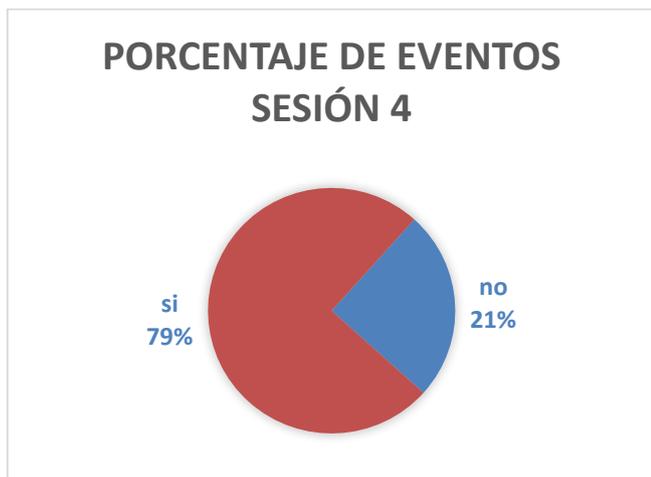


Fig. 21 Grafica de porcentajes de aciertos al realizar la acción mental correcta de control por el usuario

Como se ve en la figura 22 proporcionada por el software estadístico los registros captados son estructurados en 3 grupos definidos como alto, medio y bajo correspondiendo al grupo alto el evento C alcanzado 23 registros, 5 registros medios y solo 1 registro bajo, estableciendo que con el proceso de entrenamiento el usuario posee la capacidad de mejorar debido al efecto de neuroplasticidad con una mejor control del sistema y alcanzar PPE de manera más adecuada y con un menor esfuerzo.

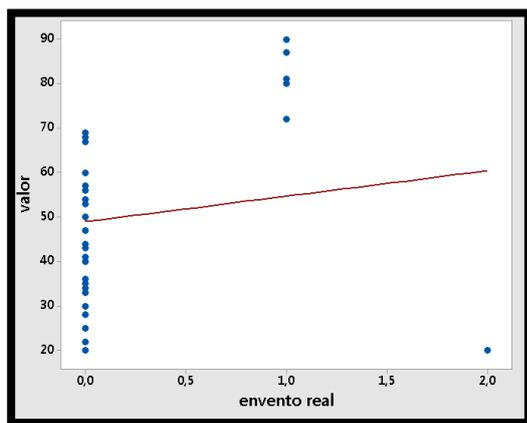


Fig. 22 Grafica de análisis valor evento

VI. CONCLUSIONES

- Se construyó el sistema electrónico de iluminación (On-Off) mediante el control de señales cerebrales basado en tecnología EEG, convirtiéndose en una tecnología de apoyo para el usuario que padecía la condición de discapacidad físico – motriz, comprendiendo que el sistema constituye una herramienta tecnológica que permitió otorgar un mayor grado de autonomía al usuario al momento de usarlo bajo condiciones controladas, en el margen del sistema este se presenta como un

aplicativo que cuenta con una gama de aplicaciones en educación, bienestar y desarrollo.

- Se comprobó que unas de las consecuencias de la neuroplasticidad es efecto Priming, siendo la sensibilidad que gozamos ante ciertos eventos que desencadenan reacciones funcionales, en el caso del sistema este tubo una fase de adaptabilidad donde este efecto provocó una mejor adaptación al sistema sientio que el usuario con una ventana de registro de 40 datos captados el 79% de estos son patrones para el evento C, con la construcción de las funciones cognitivas para alcanzar el control consciente del sistema por parte del usuario.
- Se generó procedimientos y protocolos para la implementación del sistema en un usuario específico, con base en las capacidades presentes por la neuroplasticidad, componiendo una metodología que permite adecuarse al uso del sistema para cada usuario, consecuentemente este proceso provoca la disponibilidad de ajuste a los patrones por evento, que posibiliten al usuario un desenvolvimiento más fluido con el sistema, formando un sistema personalizado y moldeable a las necesidades del usuario, tanto físicas como mentales.
- Se analizó los datos obtenidos en la captación de los registros EEG, mediante la técnica de Análisis Discriminante Lineal, proyectando que los valores dimensionados cambian el uso del sistema con porcentajes de 79 % de eventos C logrados en la cuarta sesión, siendo mayor comparada con la primera sesión que obtuvo tan solo 30% de eventos C alcanzados adecuados al patrón por evento que el usuario debe alcanzar, siendo analizado en 4 sesiones.

VII. RECOMENDACIONES

- El presente proyecto forma una base en el desarrollo de aplicaciones de apoyo basadas en el uso de la tecnología EEG, para personas con discapacidad físico-motriz, albergando un entorno de desarrollo de actividades, para esto se recomienda el desarrollo de futuras investigaciones dentro del marco que la tecnología lo propone, con lo cual este desarrollo de aplicativos tiene un amplio número de ramificaciones a ser realizadas.
- Es necesario el uso de nuevos equipos enmarcados en la tecnología EEG, como la implementación de herramientas de investigación como el NeuroView un software para el análisis, procesamiento y registro de datos o el NeuroSkyLab un formato más avanzado en la investigación EEG con compatibilidad con entorno MATLAB.
- Durante la realización del proyecto se encontró una infinidad de aplicaciones para esta tecnología de apoyo, como por ejemplo un aplicativo para un usuario que permita contestar el teléfono celular mediante una app en el instante que se encuentre caminando, debido a su condición, esta acción es imposible de realizar provocando un problema que aqueja mayormente, este y muchos aplicativos más puede ser explotados para futuros desarrollos basados en la tecnología EEG.

- En lo respecto a la investigación debería ampliar y mejorar mediante el trabajo conjunto con profesionales enfocados en el estudio del cerebro como neurólogos, ya que el cerebro se comportan como un universo aparte y el entendimiento está en fases muy tempranas, provocando que existan límites en su diseño, el estudio enfatiza un mejor sistema de control consolidando funciones mucha más específicas para que el usuario, con una interfaz desarrollada pueda facilite su uso.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Rodríguez M. (2010) *Todo sobre el cerebro y la mente*. Barcelona España. Editorial Planeta.
- [2] Quintanar J. (2011) *Neurofisiología básica*. México. Universidad Autónoma de Aguascalientes,
- [3] Lawrence E. y Lane K. (2008) *La nueva neurociencia de la psicoterapia, la hipnosis terapéutica y la rehabilitación: un diálogo creativo con nuestros genes* California USA. Instituto Erickson de Madrid.
- [4] Braidot N. (2013). *Como funciona tu cerebro para dummies*. Barcelona. Wiley Publishing Inc
- [5] Kandel E., Schwatz J., Jessell T. (2008). *Principios de Neurociencia*. New York United States of America. Center for Neurobiology Behavior Columbia University.
- [6] Stephen G. (2014). *Neuroanatomía clínica*. London, England. McGrawHill.
- [7] Nieto M. (2003) *Plasticidad Neuronal*. Madrid España

Marco P. Jimenez G.

Nació en la ciudad de Quito-Ecuador, el 4 de septiembre de 1988. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Javeriano y sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Franciscana San Andrés, donde finalizó en el año 2006, obtuvo su título de Bachiller en Físico Matemático. Actualmente es estudiante en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.