



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTOR: JAIRO VINICIO PONCE JURADO

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFACE CEREBRO -
COMPUTADOR PARA LA DETECCIÓN DE POSICIÓN CON LA
AYUDA DE LAS SEÑALES EEG**

DIRECTOR: ING. SÁENZ, FABIÁN

CODIRECTOR: ING. ROMERO, CARLOS

SANGOLQUÍ, MARZO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICADO

Ing. Fabián Sáenz

Ing. Carlos Romero

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Implementación de una interface cerebro - computador para la detección de posición con la ayuda de las señales EEG”, realizado por Jairo Vinicio Ponce Jurado, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Sangolquí, 18 de Marzo de 2014

Ing. Fabián Sáenz

DIRECTOR

Ing. Carlos Romero

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JAIRO VINICIO PONCE JURADO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Implementación de una interface cerebro - computador para la detección de posición con la ayuda de las señales EEG”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 18 de Marzo de 2014

Jairo Vinicio Ponce Jurado

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

JAIRO VINICIO PONCE JURADO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Implementación de una interface cerebro - computador para la detección de posición con la ayuda de las señales EEG”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 18 de Marzo de 2014

Jairo Vinicio Ponce Jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, a mi madre que es todo para mí, a mis abuelitos, a mis tíos, a mi hermano, a mis compañeros a mis amigos a todos ellos que han sido un pilar fundamental en mi vida y que han guiado con sus palabras y todas sus enseñanzas, que con su apoyo a lo largo de mi vida estudiantil han sido una fuerte base para mí, que con sus palabras y ánimos han influenciado en mí para llegar a este logro que con mucho sacrificio, esfuerzo, constancia y templanza lo he podido llegar a conseguir. Que los tropiezos en la vida han sido simplemente una prueba para levantarse y seguir adelante para conseguir nuestras anheladas metas. A ustedes les dedico este gran logro esperando que sea el comienzo de una vida profesional llena de logros y éxitos, con mucho orgullo y demasiada gratitud por toda esa confianza puesta en mí, este es el fruto de todo el trabajo el título obtenido como profesional, gracias por siempre tener esa fe puesta en mí y estar a mí lado en las buenas y en las malas.

Jairo Vinicio Ponce Jurado.

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios por guiarme en el buen camino por darme la salud y la sabiduría para saber elegir las mejores decisiones en toda mi vida, por escuchar mis rezos y pedidos y ahora lograr culminar una meta muy importante en mi vida.

A mis padres en especial a mi madre Nelly por ser ese apoyo fundamental en todo el transcurso de esta etapa, por sus consejos por sus palabras por su apoyo por dame el regalo más preciado que es el estudio y saberlo aprovechar con mucha responsabilidad.

A mi hermano José Luis que nunca dudo de mí que siempre me apoyo en lo que necesitaba para seguir adelante y conseguir mis metas en lo largo de mi vida estudiantil.

A mis abuelitos que Dios los tenga en su gloria, que fueron importantes para mí en toda mi vida y con mucho dolor te los llevaste a tu lado en el transcurso de mi vida Universitaria, gracias a ellos que sé, que con sus bendiciones hicieron que esto que ahora es un logro más en mi vida sea posible.

Por ultimo sin menospreciarles y dejarles a un lado a mis compañeros y amigos que estuvieron siempre ahí cuando más los necesite, cuando a veces todo se tornaba difícil y parecía imposible, me inculcaban siempre que al final de la tormenta siempre viene

la calma, palabras que son muy ciertas que no todo es fácil pero la constancia es fundamental, gracias por su apoyo y de verdad muchas gracias a todos por tenerme paciencia en todo este largo proceso que ahora rinde al fin sus frutos.

Jairo Vinicio Ponce Jurado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
PRESENTACION DEL PROYECTO.....	1
1.1.- Introducción	1
1.2.- Justificación e Importancia:	3
1.3.- Alcance del Proyecto.....	5
CAPÍTULO II	6
INTERFACES HOMBRE MÁQUINA	6
2.1.- Análisis de la Interfaz Cerebro-Computador	6
2.2.- Estudio de las interfaces avanzadas BCI.....	7
2.2.1.- Historia de las BCI	7
2.2.2.- Interfaz Cerebro Computadora BCI (Brain Computer Interface).....	8
2.2.3.- Características de un Sistema BCI	11
2.3.- Estructura de un Sistema BCI	13
2.4.- Señales EEG.....	15
2.5.- Adquisición de las señales eléctricas transmitidas por el cerebro en diferentes situaciones como emocionales o sentimentales.	20
2.5.1.- Importancia del Entrenamiento de acuerdo a las situaciones emocionales	24
2.5.2.- Aplicaciones	27
CAPÍTULO III.....	30
EQUIPAMIENTO PARA INTERFACES.....	30
3.1.- Análisis de Hardware	30
3.1.1.- Obtención de señales electroencefalográficas	31
3.1.2.- Electroodos	31
3.1.3.- Colocación de electrodos.....	32
3.2.- Equipos desarrollados para aplicaciones específicas	36
3.3.- Equipos de desarrollo.....	36
3.3.1.- NEUROSKY	37

3.3.2.- EmSense	41
3.3.3.- Interactive Productline IP (Mindball).....	43
3.3.4.- Neuroelectrics.....	45
3.3.5.- Biosemi.....	47
3.3.6.- Emotiv Systems	48
3.4.- Selección del equipamiento.....	55
3.4.1.- EMOTIV EEG.....	55
3.5.- Software disponible.....	57
CAPÍTULO IV	61
DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	61
4.1.- Adaptación del hardware.....	61
4.1.1.- Instalación y Colocación del Dispositivo	61
4.2.- Adaptación del Software	67
4.2.1.- Control Panel	67
4.2.2.- Headset Setup (Configuración del Dispositivo).....	70
4.2.3.- Expressiv Suite (Modo Expresivo).....	71
4.2.4.- Affectiv Suite (Modo Afectivo o Emocional).....	75
4.2.5.- Cognitiv Suite (Modo Cognitivo).....	78
4.3.- Desarrollo del Software.....	91
4.3.1.- LabVIEW	91
4.3.2.- Diseño de la implementación en LabVIEW	97
4.4.- Desarrollo e implementación de Hardware.....	101
CAPÍTULO V	106
PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	106
5.1.- Pruebas del Dispositivo.....	106
5.1.1.- Pruebas de Transmisión y Recepción de las señales EEG hacia el computador.	106
5.1.2.- Pruebas de eficiencia para determinar la ejecución y su interacción con la interfaz puesta en marcha.	109
5.1.3.- Pruebas de funcionamiento del sistema completo e implementado.	112

5.2.- Análisis de Resultados	116
5.2.1.- Análisis del funcionamiento del dispositivo en los distintos modos de operación dependiendo del usuario y su estado anímico para la obtención de las señales EEG.	116
5.2.2.- Análisis de las señales obtenidas por el dispositivo	120
5.2.3.- Análisis del Sistema Implementado.	123
CAPÍTULO VI.....	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
6.1.- CONCLUSIONES	125
6.2.- RECOMENDACIONES	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interpretación del potencial del cerebro frente al mundo digital.	6
Figura 2. Dispositivo BCI Intendix.....	8
Figura 3. Proceso característico de un sistema BCI.....	12
Figura 4. Modelo funcional genérico de un Sistema BCI.....	14
Figura 5. Visión del cerebro en actividad.	16
Figura 6. Tipos de Ondas Cerebrales.	17
Figura 7. Espectro de potencia de una señal EEG.	19
Figura 8. Inserción de un Dispositivo Invasivo (Electrocorticograma).	21
Figura 9. Dispositivo No Invasivo.	21
Figura 10. Esquema de procesamiento de señal aplicado al registro EEG.	22
Figura 11. Colocación de un dispositivo de adquisición de señales EEG.	25
Figura 12. Prótesis de un brazo mecánico.....	28
Figura 13. Juego de Video controlado por las señales EEG.	29
Figura 14. Acción de una interacción cerebro-computador.....	30
Figura 15. Electroodos.	32
Figura 16. Puntos principales de la cabeza de acuerdo al sistema 10-20.....	33
Figura 17. Colocación simétrica de los electrodos siguiendo el sistema 10-20.....	33
Figura 18. Sistema 10-20 Ilustración de Marius Hart.....	34
Figura 19. Relación de un cerebro frente a un procesador de computador.....	36
Figura 20. Logo de NeuroSky.....	37
Figura 21. Dispositivo Mindwave.....	38
Figura 22. Mindwave Mobile.....	39
Figura 23. Conexión con el dispositivo Brainwave.	40
Figura 24. Dispositivo Brainwave en funcionamiento.....	41
Figura 25. Logo de EmSense Neurometrics.	42
Figura 26. Dispositivo EmGear de EmSense.....	42
Figura 27. Logo de Interactive Productline IP.....	43
Figura 28. Dispositivo Mindball.....	44
Figura 29. Logo de Neuroelectrics Company.....	45
Figura 30. Dispositivo Enobio de Neuroelectrics.....	46
Figura 31. Logo de la Compañía Biosemi.	47
Figura 32. Dispositivo Biosemi.....	48
Figura 33. Logo de Emotiv Systems.....	49
Figura 34. Dispositivo Emotiv Epoc.....	51
Figura 35. Acción hipotética de las ondas cerebrales con un dispositivo EEG.....	51
Figura 36. Representación del Modo Cognitivo (Pensamientos Conscientes).	52
Figura 37. Representación del Modo Expresivo con un avatar digital.	53

Figura 38. Representación del Modo Expresivo.	53
Figura 39. Representación del Modo Emocional.	54
Figura 40. Dispositivo Emotiv EEG.	55
Figura 41. Sensores con sus respectivas almohadillas lubricadas.	56
Figura 42. Receptor USB.	56
Figura 43. Emotiv EEG SDK.	57
Figura 44. Software SDK del dispositivo Emotiv EPOC.	58
Figura 45. Adquisición y muestreo de las señales EEG.	59
Figura 46. Muestreo de las ondas cerebrales de acuerdo a su clasificación.	60
Figura 47. Interfaz para el grabado de las señales previamente analizadas.	60
Figura 48. Proceso correcto de instalación del software.	62
Figura 49. Modo correcto de carga del dispositivo Emotiv Epoc.	63
Figura 50. Lubricación de las almohadillas con la solución salina.	64
Figura 51. Colocación de cada una de los sensores.	64
Figura 52. Extracción de cada uno de los sensores.	65
Figura 53. Colocación del receptor USB y sincronización con el dispositivo.	65
Figura 54. Colocación del dispositivo Emotiv EPOC.	66
Figura 55. Ubicación de los sensores de referencia.	67
Figura 56. Panel de Control (Control Panel).	68
Figura 57. Ubicación de los electrodos de acuerdo al sistema 10-20.	69
Figura 58. Estado del Usuario y del dispositivo conectado.	70
Figura 59. Identificación por colores de la conexión de cada uno de los sensores.	71
Figura 60. Expressiv Suite (Modo Expresivo).	72
Figura 61. Configuración del Expressiv Suite.	75
Figura 62. Affectiv Suite (Modo Afectivo).	75
Figura 63. Diferentes tipos de señales emocionales a ser muestreadas.	76
Figura 64. Cognitiv Suite (Modo Cognitivo).	79
Figura 65. Movimientos direccionales.	80
Figura 66. Movimientos Rotacionales.	80
Figura 67. Acción Desaparecer.	81
Figura 68. Configuración de la acción de control.	82
Figura 69. Configuración de las cuatro señales de control.	83
Figura 70. Control de Entrenamiento.	84
Figura 71. Progreso del entrenamiento.	85
Figura 72. Selección de los diferentes movimientos de acción.	87
Figura 73. Opciones Avanzadas.	88
Figura 74. Ajustes del control del modelo.	89
Figura 75. Configuración del modelo a visualizarse.	89
Figura 76. Modo reto del dispositivo en funcionamiento.	90

Figura 77. Logo del Software de programación LabVIEW.....	92
Figura 78. Panel Frontal LabVIEW.	93
Figura 79. Diagrama de Bloques LabVIEW.	94
Figura 80. Paleta de funciones y de controles de LabVIEW.	95
Figura 81. Logo del Programa VI Package Manager.....	95
Figura 82. Selección del paquete Emotiv Toolkit.	96
Figura 83. Paleta de funciones del paquete Emotiv Toolkit.	97
Figura 84. Representación del Modo Expresivo implementado en LabVIEW.....	97
Figura 85. Gráficas de las señales en Modo Expresivo obtenidas en LabVIEW.....	98
Figura 86. Representación del Modo Cognitivo implementado en LabVIEW.....	99
Figura 87. Gráfica de las señales en Modo Cognitivo obtenidas en LabVIEW.	99
Figura 88. Elementos de control de conexión y STOP del sistema implementado. ..	100
Figura 89. Diseño del Diagrama de Bloques del sistema implementado.....	101
Figura 90. Funciones del paquete VISA.	102
Figura 91. Funciones para la configuración en la comunicación del puerto serial. ...	103
Figura 92. Diseño de la transmisión serial para el Modo Expresivo.	103
Figura 93. Diseño de la transmisión serial para el Modo Cognitivo.....	104
Figura 94. Placa electrónica implementada.	104
Figura 95. Placa electrónica en su parte posterior.....	105
Figura 96. Elementos necesarios para la ejecución del Sistema.	113
Figura 97. Ejecución de la señal que representa la dirección Norte.	114
Figura 98. Ejecución de la señal que representa la dirección Este.....	114
Figura 99. Ejecución de la señal que representa la dirección Oeste.	115
Figura 100. Ejecución de la señal que representa la dirección Sur.....	115
Figura 101. Ejecución en el Modo Cognitivo dependerá de la acción pensada.....	116
Figura 102. Gráfica general de las señales EEG de acuerdo al Sistema 10-20.....	120
Figura 103. Análisis de la señal en la posición Temporal Izquierda de la cabeza.	121
Figura 104. Análisis de la señal en la posición Frontal Derecha de la cabeza.....	122
Figura 105. Análisis de la señal en la posición Frontal Izquierda Media de la cabeza.....	123
Figura 106. Sistema implementado en Ejecución.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características Frecuenciales y de Amplitud de las Ondas Cerebrales	17
Tabla 2 Comparación de las técnicas de adquisición de señales.	23
Tabla 3. Pruebas de conectividad y transmisión del dispositivo.....	107
Tabla 4. Tabla de comparación de entrenamiento en la detección de las señales.....	108
Tabla 5. Relación de acciones ejecutadas en Modo Expresivo.....	110
Tabla 6. Relación de acciones ejecutadas en Modo Cognitivo.....	111
Tabla 7. Análisis de las señales de acuerdo al estado emocional del usuario.	117
Tabla 8. Análisis de las señales entrenadas y ajustadas para el modo expresivo.....	119

GLOSARIO

A

A/D: Corresponde a la conversión Análogo a Digital al adquirir la señal de entrada.

API: Es la Interfaz de programación de aplicaciones (*Application Programming Interface*) es el conjunto de funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

B

BCI: Son las interfaces cerebro-computador (*Brain Computer Interfaces*), representan una tecnología que se trata básicamente en la adquisición de las ondas cerebrales para que posteriormente puedan ser procesadas e interpretadas por un computador.

Biofeedback: Es una técnica que se emplea para controlar las funciones fisiológicas del organismo humano, mediante la utilización de un sistema de retroalimentación que informa al sujeto del estado de la función que se desea controlar de manera voluntaria.

E

ECG: Corresponde a el electrocardiograma, que es la representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón.

ECoG: Viene representado a la técnica invasiva llamada electrocorticografía, la cual requiere de una intervención quirúrgica para la colocación de electrodos en la superficie cortical .

EEG: Corresponde a la técnica no invasiva llamada electroencefalografía, que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño.

Electrolítico: Es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico

EMG: Viene representado el electromiograma, es una técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica producida por los músculos esqueléticos.

EOG: Corresponde al electrooculograma, este es un examen que consiste en colocar pequeños electrodos cerca de los músculos de los ojos para medir el movimiento de éstos.

F

Feedback: Es conocido como la retroalimentación o realimentación, este es un mecanismo de control de los sistemas dinámicos por el cual una cierta proporción de la señal de salida se redirige a la entrada, y así regula su comportamiento.

Firewalls: Significa Un cortafuegos, que corresponde a una parte de un sistema o una red que está diseñada para bloquear el acceso no autorizado, permitiendo al mismo tiempo comunicaciones autorizadas.

fMRI: Traducido del inglés constituye la imagen por resonancia magnética funcional, la cual es una técnica no invasiva que permite mostrar en imágenes las regiones cerebrales que ejecutan una tarea determinada.

fNRI: Esta traducida del inglés constituye a la imagen óptica cercana al infrarrojo.

G

Gamers: En si es toda persona que juegue a un videojuego estos jugadores se caracterizan por dedicarse con gran pasión e interés a los juegos en general.

I

Inion: Corresponde al punto más prominente de la parte posterior de la cabeza, en el hueso occipital.

L

LabVIEW: Viene de las palabras en inglés (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) que traducido al español significa Laboratorio de instrumentación virtual de trabajo de ingeniería, que es un lenguaje de programación de modo gráfico.

M

MEG: Corresponde a la magneto encefalografía, esta es una técnica no invasiva que registra la actividad funcional cerebral, mediante la captación de campos magnéticos, permitiendo investigar las relaciones entre las estructuras cerebrales y sus funciones.

N

Nasion: Se corresponde con la sutura nasofrontal, normalmente es la parte más hundida del dorso y se encuentra entre los ojos.

P

PET: Equivale a la tomografía por emisión de positrones, esta es una técnica no invasiva de diagnóstico e investigación por imagen, que es capaz de medir la actividad metabólica del cuerpo humano.

R

Registro bipolar: Se considera al tomar parejas de electrodos, dos a dos, los cuales registrarán las diferencias de potencial entre cada par de puntos

Registro monopolar: Corresponde a que cada electrodo pueda proveer una señal independiente, todas ellas con una referencia común.

S

SDK: Corresponde al software utilizado por Emotiv que significa *Software Development Kit*, es el encargado en el desarrollo e investigación.

Starlab: Es una compañía española encargada del trabajo de investigación en el campo de la Neurociencia.

T

TCP: Significa *Transmission Control Protocol*. Es un protocolo que garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores.

V

Vis: Corresponde a la extensión con la cual son grabados los archivos generados en LabVIEW, estos archivos o programas son llamados instrumentos virtuales.

VISA: Significa *Virtual Instrument Software Architecture*, que al español nos indica que es una Arquitectura de Software de Instrumentación Virtual que la cual permite a la comunicación I/O (Entrada/Salida) en LabVIEW.

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 para ello 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 córtex cerebral, el cual permitirá adquirir señales representadas por medio de acciones expresivas (gestos faciales), cognitivas (pensamientos conscientes) y afectivas (sentimientos y emociones evocadas). La detección de las señales captadas por los respectivos sensores serán transmitidas de forma inalámbrica hacia el computador para posteriormente estas señales sean posibles de manipular y acondicionar en términos de control para ser representadas por medio de impulsos eléctricos haciendo uso de la herramienta de programación LabVIEW, creando un sistema de control y adquisición de datos para poder ser transmitido a una placa electrónica implementada para la representación de estas señales de forma visual por medio de indicadores led.

Palabras Clave:

Electroencefalografía, Emotiv EEG, BCI, Neurociencia, Señales Cerebrales.

ABSTRACT

This project describes the design and implementation of a system based on the adaptation of electroencephalography signals (EEG) for a position detection system, taking into consideration the four cardinal points that will be represented North, South, East and West. Obtaining these signs would take place via a non-invasive device placed in the cerebral cortex, which will acquire represented through expressive actions (facial gestures), cognitive actions (conscious thought) and affective actions (feelings and emotions evoked) signals. The detection of signals received by the respective sensors are transmitted wirelessly to the computer for these signals are subsequently possible to handle and put in terms of control to be represented by means of electrical pulses using the LabVIEW programming tool, creating a system control and data acquisition to be transmitted to an electronic board implemented for representing these signals visually led through indicators.

Key Words:

Electroencephalography, Emotiv EEG, BCI, Neuroscience, Brain Signals.

CAPÍTULO I

PRESENTACION DEL PROYECTO

1.1.- 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 de información necesaria para poder reaccionar frente a enfermedades o diferentes problemas que afecten a la funcionalidad del propio ser humano, permite que con ayuda de estos elementos electrónicos 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 y proporciona una clara ayuda para la humanidad, de este modo plasmar

alternativas que permitan mejorar los diferentes sistemas de monitoreo que se encuentran inmersos en el convivir diario.

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. La dificultad viene dada por una serie de restricciones y por el hecho de que en ocasiones se tienen que hacer algunos sacrificios. Dado que la interacción persona-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 de EEG. El casco cerebro lector de señales cerebrales 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 otros dos zócalos por lo general tienen almohadillas de goma, y se conocen como

los sensores de referencia secundarias, que se encuentran inmediatamente por debajo y detrás de las orejas. Los sensores de referencia primarios, que en general tienen una almohadilla de sensor normal, se encuentran inmediatamente por encima y detrás de las orejas. Las pastillas de sensores detectan la actividad eléctrica en la superficie del cerebro.

1.2.- Justificación e Importancia:

El objetivo principal en el presente proyecto es el diseñar, desarrollar, construir un dispositivo que permita realizar un monitoreo y adquirir las diferentes señales que son emitidas por el cerebro para realizar un proceso de control, estas señales pueden variar de acuerdo a factores que se encuentran inmersos en la persona como lo es el estado emocional, físico y anímico. La obtención de estas señales permitirán acoplarlas a un sistema de control que consistiría en detectarlas y diferenciarlas entre sí, para realizar la identificación de los cuatro puntos cardinales por medio de focos led. Lo principal es acondicionar estas señales que en términos de control serán representados por medio de impulsos eléctricos que el cerebro lo realiza en cada instante, al pensar, al dormir, al descansar, etc. Al filtrar estas señales, la obtención de los cuatro puntos cardinales se basarían en patrones que permitirán reconocer, que si nos referimos a la derecha, nuestro cerebro va a tener la concepción del mismo y emitirá un tipo de señal característico que lo diferenciara de los otros, del mismo modo si se lo referimos a la izquierda, al frente o atrás serían otras señales, de este modo estas señales que vamos a

tomar, poderlas diferenciar a un foco led siendo q serian diferentes y tendríamos q lograr el control diferenciado de las 4 posiciones y poderlas apreciar así de forma visual con ayuda de los focos led, de esta manera poder obtener los resultados requeridos como es manipular estas señales de acuerdo a las diferentes condiciones que se presente la persona y obtener así un correcto desempeño y funcionamiento del dispositivo con el que se propone trabajar.

En el año 2003 Emotiv Systems trabaja en el desarrollo de interfaces cerebro-ordenador pero en el año 2009 es cuando se llega a plasmar años de investigación y estudio, y finalmente sale a la venta y desarrollado este equipo conocido como lector de señales cerebrales que se ve de gran ayuda para diversas aplicaciones una de las principales aplicaciones que se le ha dado al equipo es en el campo de los video juegos donde se lo ha explotado a su máximo esplendor como lo es poder jugar un determinado video juego sin el uso del teclado ni de ningún control sino simplemente con nuestro cerebro con las ordenes que son determinados mediante los impulsos eléctricos.

En definitiva no se ha dado solo como uso para los video juegos al contrario se puede ver como el principio de un importante avance que puede ser utilizado para muchas aplicaciones como lo es monitorear un carrito a control remoto simplemente con el cerebro que puede ser algo tan simple pero a futuro se lo puede hacer como base para implementarlo en un carro de verdad y una persona pueda controlar su carro simplemente con el cerebro nada más y tener un avance muy útil para la sociedad.

1.3.- Alcance del Proyecto.

Se plantea el estudio de las diferentes señales EEG con el fin de poder identificar las acciones y estímulos presentes en el cerebro humano. De esta manera obtener información para conocer como es el comportamiento de las señales cerebrales y que permita entender cómo se presentan a las diferentes situaciones, tales como estímulos emocionales o físicos donde el cerebro actúa de diferente manera.

Después de tener la información de las señales cerebrales que se va a monitorear, se realizará un estudio para acoplar un control de señales y poder determinar los 4 puntos cardinales, siendo las 4 posiciones que se va a trabajar y serán observados con la ayuda de leds. En este caso al ser posición como puede ser al frente, atrás, izquierda y derecha, al tener la concepción de las mismas y al pensarlas generaremos un patrón específico para cada una, es decir el cerebro al imaginar a la derecha, izquierda o cualquiera de las posiciones va a tener una señal eléctrica que va a ser diferenciada de las demás. De esta manera condicionar estas señales de acuerdo a lo planteado anteriormente y como resultado y propósito de este proyecto, realizar un control de las señales EEG emitidas por el cerebro humano.

CAPÍTULO II

INTERFACES HOMBRE MÁQUINA

2.1.- Análisis de la Interfaz Cerebro-Computador

El control de las señales electroencefalográficas (EEG), asociadas a diferentes tareas mentales, podría ser un mecanismo de interacción con el entorno para personas con importantes deficiencias en sus funciones motoras.



Figura 1. Interpretación del potencial del cerebro frente al mundo digital.

Fuente: (Elaboración Propia)

En la actualidad es una parte fundamental centrarse en las tareas mentales que pueden usarse para implementar estos sistemas y tener un buen desempeño, que de una manera técnica ayuda al transmitir estas señales a nuestro computador, de esta forma se obliga a definir un adecuado sistema de entrenamiento en su uso para un correcto funcionamiento y mejoras del mismo.

2.2.- Estudio de las interfaces avanzadas BCI.

2.2.1.- Historia de las BCI

El origen de las tecnologías BCI nació con el descubrimiento de la naturaleza eléctrica del cerebro. El científico Richard Catón en 1875 usó un galvanómetro para observar impulsos eléctricos en la superficie del cerebro vivo de algunos animales.

Hans Berger dio continuidad al trabajo de Catón y consiguió registrar la actividad cerebral mediante la electroencefalografía siendo en 1924 el primero en registrar un EEG de un cerebro humano. Mediante análisis de EEG (Electroencefalografía), Berger consiguió clasificar las diferentes ondas cerebrales, por ello las ondas Alfa (8-12Hz) también se denominan ondas Berger.

Para el año 1970 se inició la investigación de los primeros dispositivos BCI. El campo de investigación BCI se ha centrado principalmente en fines médicos, como la implantación de prótesis neuronales para poder recuperar la audición, vista o movilidad dañadas en un individuo. En la primera década del siglo XXI la investigación además de en fines médicos, se centró también en la industria de los videojuegos y se introdujeron en el mercado las primeras interfaces cerebro ordenador no invasivas.

2.2.2.- Interfaz Cerebro Computadora BCI (Brain Computer Interface)

Las interfaces cerebro-computador (*Brain Computer Interfaces, BCI*), representan una tecnología que se trata básicamente en la adquisición de las ondas cerebrales para que posteriormente puedan ser procesadas e interpretadas por un computador que será la base para el desarrollo de aplicaciones en las diferentes áreas de investigación, de esta manera establecer una manera para desarrollar el camino para interactuar con el exterior mediante nuestro pensamiento ya que estas interfaces permiten transformarlos en acciones reales en nuestro entorno.



Figura 2. Dispositivo BCI Intendix.

Fuente: (g.tec medical engineering)

Esta tecnología ha ido teniendo un auge con el motivo de desarrollar una interfaz eficiente y fiable, lo cual a pesar de las diferencias entre los diferentes dispositivos que existen en la actualidad todos siguen el mismo principio de funcionamiento básico, ya que la medición de la actividad cerebral es mediante sensores, y al ser procesada la señal adquirida para obtener sus características de interés y, por último, interaccionar con el entorno de tal forma que sea la adecuada y deseada por el usuario.

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 para poder de esta manera entender de mejor manera las señales que son reflejadas en nuestro cerebro en el convivir diario y ser interpretadas por medio de nuestro computador.

Los sistemas BCI se pueden clasificar en dos grupos según la naturaleza de la señal de entrada: sistemas BCI endógenos y exógenos. (Angevin, Problemática de las Interfaces Cerebro-Computador, 2004)

- Los sistemas BCI endógenos son aquellos que dependen de la capacidad del usuario para controlar su actividad electrofisiológica, como puede ser la amplitud del EEG en una banda de frecuencia específica sobre un área concreta del córtex cerebral.

- Los sistemas BCI exógenos dependen de la actividad electrofisiológica evocada por estímulos externos y no necesitan de una etapa intensiva de entrenamiento.

Los sistemas BCI pueden hacer uso de características temporales de la señal EEG como los basados en potenciales evocados y potenciales lentos o de características frecuenciales de la señal EEG como los basados en ritmos EEG.

Aquellos sistemas que usan como señal de entrada los potenciales evocados, se basan en los cambios de potencial de la señal EEG como consecuencia de la aparición de un determinado estímulo y el hecho de que se vea necesario de un estímulo externo para que sean operativos (BCI exógenos), los diferencia de los sistemas que hacen uso de los potenciales lentos o de los ritmos de la señal EEG, los cuales pueden ser controlados por iniciativa del propio sujeto, sin necesidad de un estímulo externo (BCI endógenos).

Los BCI exógenos son en cierta parte de mejor ayuda ya que no requieren de un entrenamiento por parte del sujeto, sin embargo tienen el inconveniente de que necesitan un determinado entorno que involucre al sujeto.

Los BCI endógenos si necesitan que los sujetos lleven a cabo un entrenamiento, pero son sistemas que se adaptan mejor a un modelo de control, puesto que es el propio sujeto entrenado el que ejerce el control sobre el entorno con el que interactúa.

De estos BCI, los basados en componentes frecuenciales suelen ser los más expandidos debido a la rápida respuesta de estas señales y de esta manera forman la base de estos sistemas con la capacidad que tienen ya que los sujetos puedan controlar ciertas características de la actividad EEG, la cual incluye una variedad de diferentes ritmos identificados por su frecuencia, localización y otros aspectos relacionados con la función cerebral.

El avance en el estudio de las BCI dependerá en gran medida de la capacidad que tenga un sujeto para controlar sus patrones EEG por lo que si es necesario su correcto y adecuado entrenamiento ya que de esto dependerá para obtener un resultado imprescindible para la aplicación en estudio.

2.2.3.- Características de un Sistema BCI

Como cualquier sistema de control o interacción, un sistema BCI posee una etapa de entrada, una de salida y otra etapa que traduce o transforma las señales de entrada en unos determinados comandos de salida. Existen diversas configuraciones con respecto a la implementación de un sistema BCI. (Angevin, Problemática de las Interfaces Cerebro-Computador, 2004)



Figura 3. Proceso característico de un sistema BCI.

Fuente: (Elaboración Propia)

Ésta comprende una primera etapa de adquisición de las señales electrofisiológicas procedentes de la persona, las cuales son amplificadas y digitalizadas (dicha etapa puede incluir un pre procesamiento que consiste en un filtrado y la eliminación de posibles artefactos que contaminan la señal EEG). A continuación se sigue con un bloque de procesamiento que puede dividirse en otras dos etapas: extracción de características y etapa de clasificación. Por último se tiene una etapa de salida que transforma, dependiendo de la aplicación concreta, las señales procesadas en algún tipo de comando.

Los sistemas BCI basados en el análisis de la actividad EEG en el dominio de la frecuencia, tratan de observar los cambios de amplitud de la señal EEG que se

producen en unas determinadas bandas de interés, en función de la actividad mental del sujeto. El éxito de la clasificación viene determinado por la apropiada elección de los parámetros que caracterizan la señal, por la efectividad de los propios algoritmos de clasificación, y por supuesto, por la capacidad del sujeto para controlar dichas características. Si un sujeto no tiene control sobre los patrones EEG que genera, los algoritmos de clasificación no podrán asociar parámetros a estados mentales deseados, y el BCI no funcionará.

Para un futuro, los sistemas BCI puedan considerarse interfaces prácticos, existen una serie de acciones que deben ser mejoradas:

- Minimizar el periodo de entrenamiento llevado a cabo por los sujetos.
- Usar el menor número posible de canales EEG con el fin de reducir costos, minimizar el tiempo de procesado y facilitar en un futuro la posible implantación de electrodos.

2.3.- Estructura de un Sistema BCI

El principio de funcionamiento básico de las interfaces cerebro computador se describe en la siguiente grafica en la que consta de cuatro bloques principales:

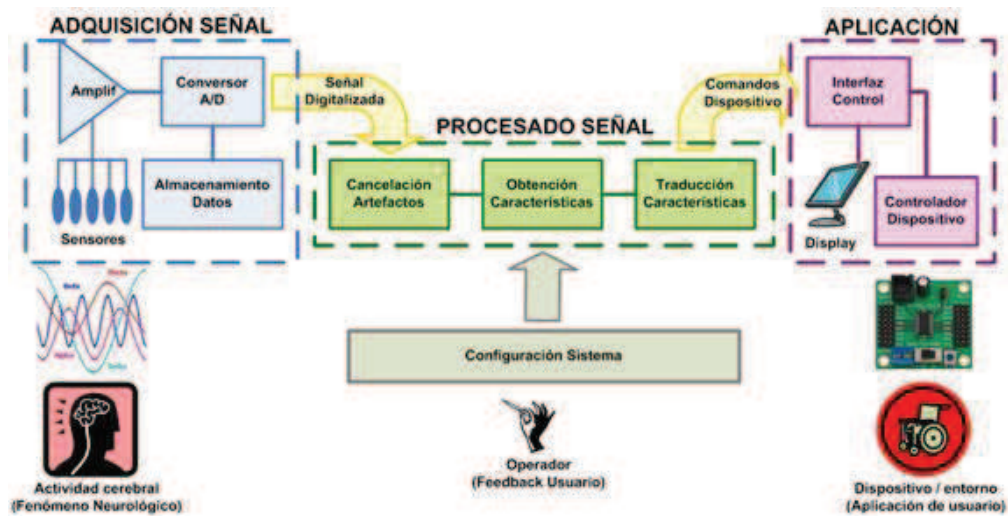


Figura 4. Modelo funcional genérico de un Sistema BCI.

Fuente: (Merchán, 2008)

1.- Adquisición de la señal. Es la parte en la que se adquiere la señal, se amplifica y se le realiza la conversión A/D. Normalmente los sistemas BCI trabajan a tiempo real, pero opcionalmente también se incluye la posibilidad de registrar la señal obtenida para un estudio posterior de ésta.

2.- Procesado de la señal. Posteriormente se extraen los parámetros de interés de la señal digitalizada para que el dispositivo sobre el que el usuario está actuando sea capaz de interpretar sus órdenes. Podemos distinguir 3 etapas:

- **Cancelación de artefactos.** Se eliminan los ruidos que provienen de otras actividades bioeléctricas como los movimientos musculares que distorsionan 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** (decodificación), donde se transforma el vector de características a una señal de control adecuada para el dispositivo que se quiere controlar.

3.- Configuración. Se permite al usuario definir los parámetros del sistema para un correcto funcionamiento.

4.- Aplicación. Es la parte en el que 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 que deseamos controlar.

2.4.- Señales EEG

La electroencefalografía es una técnica que permite estudiar la actividad cerebral y se la utiliza para obtener un mejor diagnóstico en el caso que existiese alguna anomalía y tener una localización de su enfermedad, y en muchos casos la intensidad de una posible lesión. De esta manera la obtención de un electroencefalograma nos ayuda a interpretar los registros de la actividad eléctrica generada por las neuronas en el interior del cerebro por medio de electrodos.



Figura 5. Visión del cerebro en actividad.

Fuente: (Elaboración Propia)

La electroencefalografía fue descrita por Jasper en 1958 con ayuda de los trabajos realizados por Berger, lo que posteriormente logro realizar con una cámara el registro simultáneo del EEG y de la actividad del paciente mediante un ingenioso sistema de espejos colocado sobre la persona y sobre el trazado electroencefalográfico.

La actividad de la electroencefalografía puede medir 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, para diferenciarse entre sí se lo hace con respecto a la amplitud de la señal y aspectos inherentes de cada uno de ellos. Es importante mencionar que estas señales se encuentran afectadas dependiendo del estado mental de la persona al ser medido. (Beltramone, 2010)

De esta manera se ha podido definir cuatro ritmos importantes dentro de la encefalografía, pero uno adicional que se presenta como uno adicional pero no es considerado habitualmente y se los 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
Mu (μ)	8 – 13	10 – 50

Tabla 1. Características Frecuenciales y de Amplitud de las Ondas Cerebrales

Fuente: (Angevin, Retroalimentación en el Entrenamiento de una Interfaz Cerebro Computadora usando técnicas basadas en Realidad Virtual, 2005)

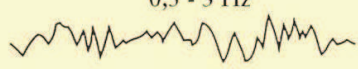
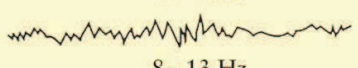
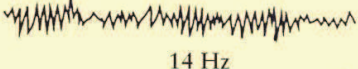
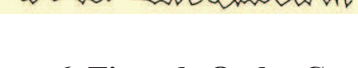
Ondas cerebrales	Frecuencia	Estado mental
	0,5 - 3 Hz	
Onda delta		sueño profundo
	4 - 7 Hz	
Onda theta		sueño ligero
	8 - 13 Hz	
Onda alfa		despierto, relajado
	14 Hz	
Onda beta		despierto, excitado

Figura 6. Tipos de Ondas Cerebrales.

Fuente: (Gomez, 2012)

- **Ritmos Delta:** Estos presentan gran amplitud y una baja frecuencia, estos ritmos en una persona adulta aparece solo en un estado de sueño muy profundo y si se lo presenta en un sujeto despierto puede deberse a un síntoma patológico, los ritmos delta resultan de gran importancia en los procesos curativos y en el fortalecimiento del sistema inmunitario, se lo puede identificar en el hemisferio cerebral derecho cuando se encuentra en plena actividad
- **Ritmos Theta:** Estas son poco comunes y se presentan más a menudo en los niños y en los adultos se los encuentran cuando se presentan en estados de mucho estrés y también se producen durante el sueño ligero o en meditación profunda, las características de este estado son: memoria plástica, mayor capacidad de aprendizaje, fantasía, imaginación e inspiración creativa.
- **Ritmos Alfa:** Se producen en cualquier persona con los ojos cerrados o en un estado de relajación y poca actividad mental, se presentan cambios al momento de abrir nuevamente los ojos, es más prominente en la región posterior del cerebro. Se registran especialmente en momentos antes de dormirse en un estado relajado.
- **Ritmos Beta:** Se presentan en estados de concentración mental, se encuentra relacionado con el movimiento de las extremidades y se lo detecta principalmente en la región central y frontal del cerebro, se registran cuando la

persona se encuentra despierta y en plena actividad mental , los sentidos se hallan volcados hacia el exterior, de manera que la irritación, inquietud y temores repentinos pueden acompañar este estado por lo que se lo puede decir que es cuando la persona está en un momento de excitación.

- **Ritmos Mu:** Es un ritmo presente en la mayoría de adultos se debe tomar en cuenta que presenta características similares al del ritmo alfa, sus propiedades son distintas y se lo registra en la región central del cerebro, esta no se atenúa con los ojos abiertos sino cuando se realiza algún tipo de movimiento o se intenta realizar dicho movimiento.

EEG: espectro de potencia

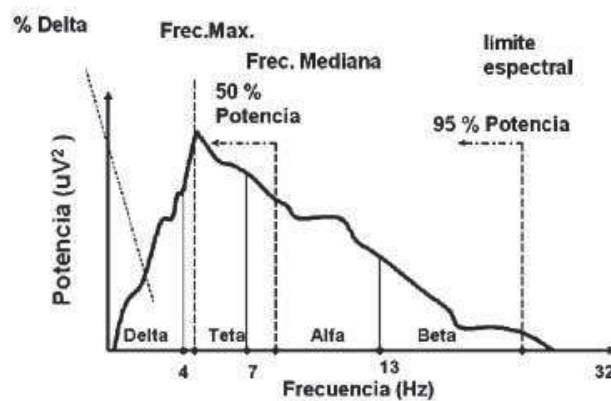


Figura 7. Espectro de potencia de una señal EEG.

Fuente: (Beltramone, 2010)

2.5.- Adquisición de las señales eléctricas transmitidas por el cerebro en diferentes situaciones como emocionales o sentimentales.

La adquisición de las señales eléctricas se las obtiene mediante electrodos, un electrodo es un elemento que permite 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.

Al ser esta una técnica EEG, tenemos que considerar que dependiendo de la forma de captación del registro de estas señales pueden tomar diferentes nombres.

Y de la misma forma existen métodos de adquisición de estas señales que se acoplan a su respectivo dispositivo, estos pueden ser invasivos y no invasivos. (Valdés, 2009)

- **Dispositivos invasivos:** La medición con estos se realiza directamente desde el cerebro del usuario, con lo que es necesario realizar una intervención quirúrgica en donde el sensor puede penetrar el córtex cerebral de forma que mide la actividad eléctrica de neuronas individuales, o bien, puede colocarse en la superficie del córtex para medir la actividad eléctrica en grupos de neuronas. Esta señal es nítida pero a su vez riesgosa ya que se supone una intervención quirúrgica, haciendo de esta poco utilizada, las investigaciones y prácticas de esta se la realiza con animales.

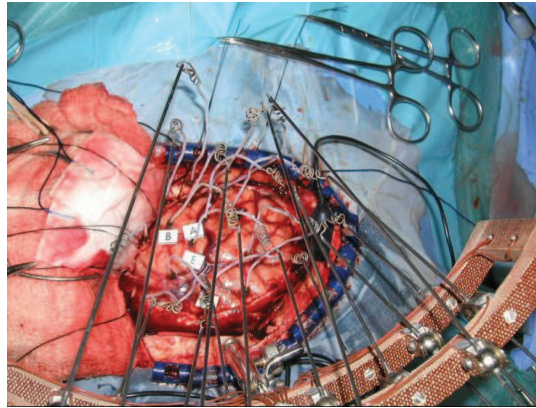


Figura 8. Inserción de un Dispositivo Invasivo (Electrocorticograma).

Fuente: (Beltramone, 2010)

- **Dispositivos no invasivos:** El sensor se coloca de manera que no se realiza una intrusión sobre el cuerpo humano, es decir se lo coloca de manera externa, estos dispositivos son más utilizados en la tecnología BCI y de esta manera implica un menor riesgo para el usuario, la actividad eléctrica se mide en la superficie del cuero cabelludo. La señal obtenida presenta una resolución más débil ya que el cráneo debilita y distorsiona en cierta manera las señales generadas por las neuronas



Figura 9. Dispositivo No Invasivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

A pesar de que la primera y más popular técnica debido a su simplicidad y costo sea la electroencefalografía (EEG), existen otras técnicas no invasivas como la magnetoencefalografía (*MEG*), la tomografía por emisión de positrones (*PET*), la imagen por resonancia magnética funcional (*fMRI*) y la imagen óptica cercana al infrarrojo (*fNRI*). Aunque estas últimas son técnicas muy caras y requieren una gran preparación técnica.

El electrocorticograma (*ECoG*) es una técnica invasiva, es decir, requiere de una intervención para la colocación de electrodos en la superficie cortical.

Por su parte, las técnicas MEG, PET y fMRI requieren de instalaciones y equipos de alto costo. Por ello, el método más empleado para el registro de la actividad cerebral en sistemas BCI es el EEG, ya que se trata de una técnica sencilla, no invasiva, portátil y de bajo costo. (Roberto Hornero, 2012)



Figura 10. Esquema de procesamiento de señal aplicado al registro EEG.

Fuente: (Roberto Hornero, 2012)

Los fenómenos que ocurren en la sinapsis son de naturaleza química, pero tienen efectos eléctricos laterales que se pueden medir, en una sola neurona no llega a ser apreciable dentro del montón, pero si pensar en ellas como vectores, lo que se mide es la resultante y estos efectos eléctricos se pueden medir por medio de electrodos de aguja o simplemente en el cuero cabelludo (electrodos superficiales). Obviamente la intensidad de la señal en el último caso es menor como lo mencionamos anteriormente, pero tiene la ventaja de ser una técnica no invasiva. (Niels Birbaumer, 2007)

Técnica	Tipo	Costo	Portabilidad	SNR	Radiación
EEG	No invasivo	Bajo	Alta	Bajo	No
fMRI	No invasivo	Alto	Baja	Medio	No
MEG	No invasivo	Alto	Baja	Medio	No
NIRS	No invasivo	Bajo	Alta	Bajo	No
PET	No invasivo	Alto	Baja	Medio	Si
SPECT	No invasivo	Alto	Baja	Medio	Si
CT/CAT	No invasivo	Alto	Baja	Medio	Si
fNIRT	No invasivo	Bajo	Alta	Bajo	No
ECoG	Invasivo	Alto	Baja	Alto	No
u-Electrodos	Invasivo	Alto	Alta	Muy alto	No

Tabla 2 Comparación de las técnicas de adquisición de señales.

Fuente: (Becedas, 2012)

2.5.1.- Importancia del Entrenamiento de acuerdo a las situaciones emocionales

En la actualidad, se basa en la importancia de investigar sobre el desarrollo de técnicas de entrenamiento basadas en técnicas de *biofeedback*, que permitan a un sujeto generar de forma fiable un mismo patrón electroencefalográfico en función de sus deseos.

Dichos sistemas, por muy buenos que sean sus algoritmos de obtención de características y clasificación, no tendrán éxito ni utilidad alguna si no pueden ser usados por sus principales destinatarios quienes son los que van a trabajar con el dispositivo,

De hecho conocemos que existe una dificultad de controlar las señales EEG y se le acompaña de un entrenamiento no adecuado, el resultado será la frustración y el abandono por parte de muchos de los usuarios. Sin lugar a duda, el progreso de estos sistemas radica en el desarrollo de técnicas de entrenamiento.

Para aprender a controlar las señales EEG, resulta imprescindible proporcionar algún tipo de *feedback* (proceso de retroalimentación) al sujeto que le permita conocer su evolución. En BCI, y en especial en los basados en componentes frecuenciales, el feedback consiste en indicar al sujeto si a lo largo de una prueba, el estado mental que ha alcanzado durante unos segundos ha sido reconocido o no correctamente. (Francisco Perales, 2010)

Existen infinidad de parámetros que deben ser tomados en cuenta para establecer un adecuado protocolo de entrenamiento, siendo lo primero que tenemos que tomar en cuenta son las tareas mentales a realizar por los sujetos en lo que se detalla:

- Duración, repetitividad y descanso entre prueba y prueba.
- Duración de la actividad mental.
- Duración de las sesiones.

Otros están relacionados con la presentación y el tipo de feedback proporcionado:

- Sesiones con o sin *feedback*,
- *feedback* continuo o discreto
- Tipo de *feedback*.

Los protocolos de entrenamiento necesitan de una capacidad de atención, motivación y concentración de la persona, muy determinantes en el proceso de aprendizaje.



Figura 11. Colocación de un dispositivo de adquisición de señales EEG.

Fuente: (Emotiv Systems, 2009)

Para considerar todos estos aspectos, se deberían realizar medidas objetivas y subjetivas, basadas en el registro de otras señales psicofisiológicas y cuestionarios que permitan a la persona transmitir sus propias impresiones, siendo muy importante evaluar todo el conjunto sobre muestras de sujetos entrenados y sin entrenar

Sin lugar a duda, uno de los principales parámetros a tener en cuenta para asegurar un cierto éxito en el entrenamiento, es la elección de las tareas mentales a llevar a cabo por la persona.

Sin embargo son muchos los estudios que han demostrado la existencia de algunos pensamientos o actividades mentales cuyas características EEG pueden ser, en mayor o menor medida, diferenciadas. Una de estas actividades mentales son las imágenes motoras, por lo que muchos protocolos de entrenamiento consisten en pedir a la persona que imaginen movimientos de las extremidades o alguna acción similar.

Para poder diferenciar las señales adquiridas también se encuentra inmerso la condición física y mental en la que se encuentra la persona, como lo es su estado de ánimo y diferentes circunstancias que lo verían afectado, esto influye al momento de medir las señales porque los patrones de la electroencefalografía cambiarían al que se lo habría entrenado o normalmente al que se lo tenía acostumbrado provocando un error.

El estado de calma de excitación, de meditación y concentración son de principal importancia que al poder tener un control de los mismos ayudan a la persona desarrollar un patrón que el cerebro transmitirá en forma de señales eléctricas que serán de fácil detención para los dispositivos no invasivos.

2.5.2.- 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 y del retraso de los efectos del envejecimiento, queda aún un largo camino por recorrer. (Roberto Hornero, 2012)

Las aplicaciones de estos dispositivos normalmente se han encontrado desarrollados para lo que es 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 o diferentes dispositivos electrónicos que permitan controlar un determinado equipo o como se había dicho como una prótesis que puede ser un brazo robótico permitiendo el movimiento por medio de las señales EEG, de esta manera poder brindar una mejor forma y estilo de vida, otra aplicación importante de estos sistemas es que permiten la

rehabilitación de personas con desórdenes neurológicos como la epilepsia, el trastorno por déficit de atención o hiperactividad o la comunicación con personas con parálisis cerebral.



Figura 12. Prótesis de un brazo mecánico.

Fuente: (Elaboración Propia)

Otra área que ha crecido en los últimos tiempos es para las personas que se dedican a los videojuegos comúnmente llamados *gamers* donde se desarrollan dispositivos y videojuegos que se los pueda ejecutar sin la necesidad de controles simplemente con las señales cerebrales en base a su estado emocional como lo es su excitación su aburrimiento, su meditación, su frustración etc. (Nijholt Anton, 2010)



Figura 13. Juego de Video controlado por las señales EEG.

Fuente: (Elaboración Propia)

Pero cabe recalcar que estos sistemas no tienen aún una comercialización de fácil acceso ya sea por el costo que estos pueden representar o la fabricación del mismo, todas las investigaciones y progresos que se han logrado hasta la actualidad han sido de buena ayuda pero han sido puramente de investigación para futuros desarrollos e implementación de los mismos, se espera que un futuro cercano se puedan plasmar estas ideas y sean de uso comercial para las personas.

CAPÍTULO III

EQUIPAMIENTO PARA INTERFACES

3.1.- Análisis de Hardware

Como se explicó anteriormente, el electroencefalograma se encarga del registro de la actividad eléctrica que se genera en el cerebro por medio de las neuronas en el interior del mismo, para la obtención de esta actividad mencionada hacemos uso de electrodos que se sitúan en el cuero cabelludo para su detección.



Figura 14. Acción de una interacción cerebro-computador.

Fuente: (Elaboración Propia)

3.1.1.- Obtención de señales electroencefalográficas

Para la obtención de las señales electroencefalográficas hacemos uso de electrodos, los cuales dependiendo de la forma de captación del registro, pueden tomar diferentes nombres.

En el registro de estas señales en la actividad cerebral se debe tomar en cuenta que mientras más cerca se realiza esta detección, se puede obtener una señal más limpia y libre de ruido, teniendo de esta forma una mejor resolución de la señal, de este modo haciendo uso de la técnica no invasiva, se procede a realizar con la ayuda de electrodos.

3.1.2.- Electroodos

Al ser uso de las señales EEG es de principal uso los llamados electrodos, que son dispositivos que se colocan de forma superficial en la cabeza los cuales componen ciertos componentes químicos que permitirán convertir las corrientes iónicas existentes en la superficie de la piel, en corriente eléctrica, y para el uso de estos es necesario la colocación de una solución salina o gel electrolítico para un mejor contacto con la piel.

Los electrodos superficiales más utilizados son conformados por Plata-Cloruro de plata por la estabilidad eléctrica que proporcionan una conversión entre corriente iónica a eléctrica constante e independiente de la frecuencia.



Figura 15. Electrodos.

Fuente: (Elaboración Propia)

3.1.3.- Colocación de electrodos

Para la colocación de electrodos se utilizara el sistema 10-20 determinado por parte de la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía, este es un protocolo normalizado a partir de las referencias anatómicas Inion y Nasion longitudinalmente y los arcos auriculares.

Estos aseguran que se coloquen los electrodos sobre las mismas áreas, independientemente del tamaño de la cabeza, la nomenclatura de los canales se deriva del lóbulo subyacente, excepto el central.

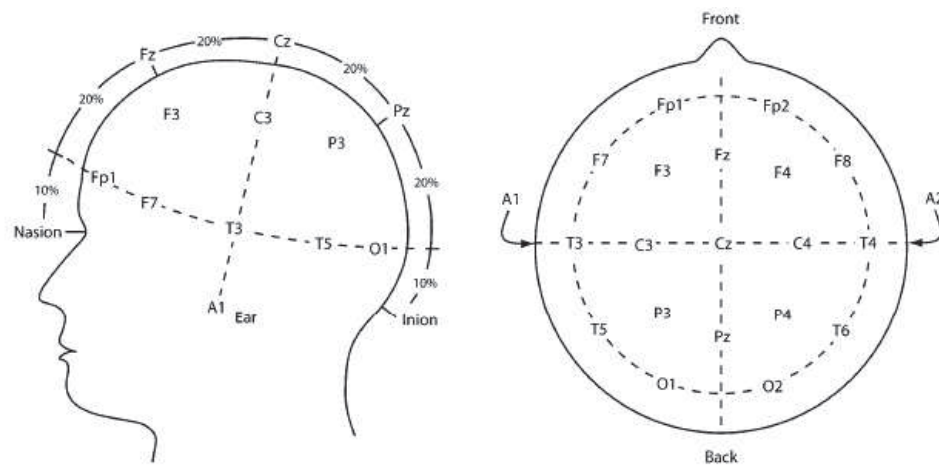


Figura 16. Puntos principales de la cabeza de acuerdo al sistema 10-20.

Fuente: (González, 2013)

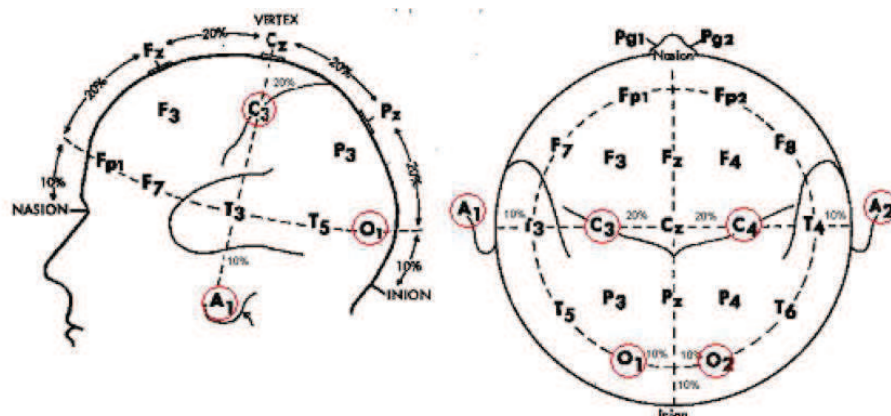


Figura 17. Colocación simétrica de los electrodos siguiendo el sistema 10-20.

Fuente: (Ana Silva, 1998)

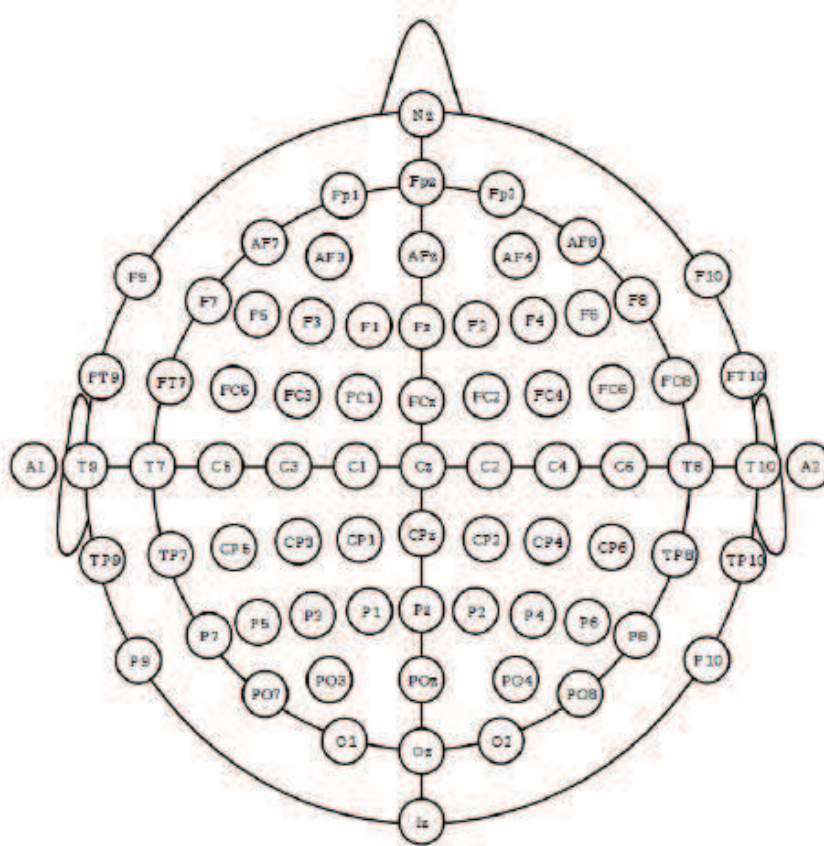


Figura 18. Sistema 10-20 Ilustración de Marius Hart.

Fuente: (Stolfi, 2010)

Este método se desarrolló con el fin de garantizar una estandarización y repetitividad de manera que los estudios realizados a un individuo puedan ser comparados en el transcurso del tiempo y también para comparar los resultados obtenidos entre distintos individuos.

El sistema se basa en la relación entre la localización de un electrodo y el área del córtex cerebral subyacente. El “10” y “20” se refieren a la distancia entre dos electrodos adyacentes que es del 10% de la longitud del cráneo desde el Nasion hasta

el Inion o del 20% de la distancia entre ambos puntos pre auriculares pasando por el vertex, nótese que la letra empleada 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 las iniciales de frontal, temporal, central, parietal y occipital respectivamente (La letra C se utiliza para identificar la línea horizontal central y no hace referencia a ningún lóbulo). Los números pares se corresponden con electrodos en el hemisferio derecho y los impares con los del izquierdo. (Stolfi, 2010)

Los subíndices z (Zero-cero) se utilizan para identificar la línea vertical central de electrodos. Como para poder obtener un registro es necesario tener de una señal y una referencia, existen varios métodos de conexión de los electrodos dependiendo de los canales disponibles y del propósito del registro a realizar. Un método es el registro monopolar o referencial en el cual cada electrodo provee una señal independiente, todas ellas con una referencia común (teóricamente a un potencial cero) que se puede conseguir situando electrodos en el lóbulo de la oreja, mentón o en el mastoides. Existe también el método de registro bipolar en donde se toman parejas de electrodos, dos a dos, registrándose las diferencias de potencial entre cada par de puntos. En esta configuración es posible realizar un número enorme de combinaciones llamadas montajes, los cuales también se encuentran clasificados por la Federación Internacional de EEG en montajes longitudinales y transversales dependiendo del sentido en que se registre la información sobre el cráneo. (Peñavera, 2011)

3.2.- Equipos desarrollados para aplicaciones específicas

Al encontrarnos con el desarrollo constante de nuevas tecnologías son algunas las empresas y desarrolladores que se han enfocado al uso de dispositivos BCI y le misma manera hacer uso de las señales EEG para la innovación de nuevas aplicaciones.

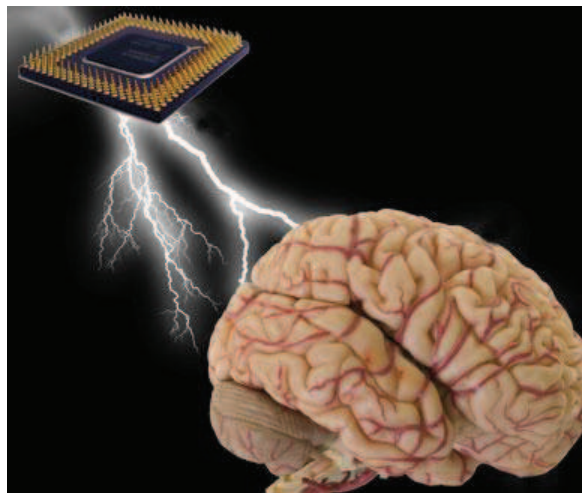


Figura 19. Relación de un cerebro frente a un procesador de computador.

Fuente: (Elaboración Propia)

3.3.- Equipos de desarrollo

Son algunas las empresas que se han destacado en el desarrollo de dispositivos capaces de trabajar con las señales EEG para distintas aplicaciones tanto en el ámbito educativo como en el entretenimiento como lo son los videojuegos, entre los más destacados son.

3.3.1.- NEUROSKY



Figura 20. Logo de NeuroSky.

Fuente: (NEUROSKY)

NeuroSky es una empresa americana donde desarrollan interfaces BCI haciendo el uso de la electroencefalografía con el uso de electrodos situados sobre la cabeza con el fin de captar impulsos eléctricos cerebrales que se generan con el pensamiento

Esta compañía el líder mundial en llevar las capacidades BCI fuera del laboratorio y para el público en general. Debido a los avances de NeuroSky, cualquier persona puede influir en el funcionamiento de un dispositivo electrónico con el pensamiento solo, en la intimidad de su propia casa. Las instituciones de investigación pueden recoger niveles previamente sin precedentes de datos de campo en las funciones cerebrales. Y las empresas pueden agregar capacidades de BCI a sus productos.



Figura 21. Dispositivo Mindwave.

Fuente: (NEUROSKY)

Los dispositivos NeuroSky son asequibles, portátiles y sin cables. La mayoría de los consumidores basada en EEG elabora en el mercado son esencialmente despojado versiones de EEG médicos. La tecnología central detrás de dispositivos NeuroSky ha sido construido desde cero. Esto ha permitido NeuroSky para producir económicamente un chip que filtra las ondas ambientales presentes en condiciones más controladas y mide efectivamente la actividad neuronal en prácticamente cualquier condición con el 96% la precisión de configuración similar EEG grado de investigación. Algunas empresas afirman haber sido el primero en publicar un consumidor basado EEG. El primero fue producido por la línea del producto interactivo. Aunque NeuroSky desarrolló el primer dispositivo BCI a disposición del público en general, menos de mil dólares.



Figura 22. Mindwave Mobile.

Fuente: (NEUROSKY)

NeuroSky digitaliza ondas cerebrales eléctricas analógicas para alimentar la interfaz de usuario de los juegos, la educación y las aplicaciones de investigación. Un obstáculo monumental se encuentra en la señal del cerebro lo que comprende distinguir entre el ruido que proviene de la electricidad ambiente, el movimiento muscular, etc. Estas interferencias se filtran y se eliminan de forma digital. Las señales del cerebro primas son amplificadas y procesadas. Los algoritmos provienen tanto de NeuroSky, así como de las instituciones de investigación y universidades, y en la actualidad son "atención", "meditación", y parpadeo. La tecnología NeuroSky mide con precisión las ondas cerebrales de hoy, pero está ocupado en los laboratorios de todo el mundo la promoción del desarrollo en nuevas áreas de emocional EEG, electromiograma (*EMG*), electrooculograma (*EOG*) y el electrocardiograma (*ECG*)

Brainwave Starter Kit

Brainwave Starter Kit es una introducción básica a la neurociencia y la tecnología de ondas cerebrales. Simplemente se deslizan en los auriculares y ver sus ondas cerebrales muestran en la pantalla en el colorido Brainwave visualizador. Mira cómo tu atención y niveles de relajación cambian en tiempo real a medida que escucha su música favorita



Figura 23. Conexión con el dispositivo Brainwave.

Fuente: (NEUROSKY)

Presentan más de 100 aplicaciones disponibles en la tienda virtual dependiendo de las necesidades y para el cual se lo necesita emplear, de la misma forma es compatible con dispositivos móviles con sistemas operativos Android y IOS.



Figura 24. Dispositivo Brainwave en funcionamiento.

Fuente: (NEUROSKY)

El hardware de NeuroSky, utiliza el sensor *Dry-Active* patentado por la compañía para leer las señales eléctricas cerebrales. Los electrodos estándar en la electroencefalografía médica usan un gel conductor para facilitar la lectura de las señales. El sensor *Dry-Active* no necesita dicho gel y, a diferencia de la electroencefalografía médica, que utiliza muchos electrodos para realizar las mediciones, NeuroSky sólo usa uno. Esto hace que los dispositivos basados en tecnología NeuroSky sean de muy bajo costo y fáciles de usar.

3.3.2.- EmSense

Es una compañía americana encargada en la aplicación de las neurociencias a la investigación de mercados. Tiene su sede en San Francisco (EE.UU.). EmSense ha desarrollado técnicas de medición que combinan el uso de EEG con otras mediciones

biométricas para ofrecer a sus clientes una comprensión más profunda del inconsciente de sus consumidores.



Figura 25. Logo de EmSense Neurometrics.

Fuente: (Neurogadget, 2011)

EmSense ha diseñado EmGear, un casco ligero con tecnología EEG no invasiva que permite realizar estudios neurocientíficos ofreciendo una cierta libertad de movimientos a los sujetos de estudio. Además de las mediciones del EEG, EmGear controla el ritmo de la respiración, movimiento de la cabeza, pulsaciones, ritmo del parpadeo y la propia temperatura de la piel. (Monge, 2009)



Figura 26. Dispositivo EmGear de EmSense.

Fuente: (Neurogadget, 2011)

Los tres conceptos que mide la metodología que utiliza EmSense para la investigación en política son:

- **Agrado:** Una medida de las emociones positivas hacia lo que están viendo y oyendo.
- **Pensamiento:** Una medida del esfuerzo cognitivo que se está utilizando en cada momento para procesar lo que se está percibiendo.
- **Adrenalina:** Una medida de la activación o relajación de los sujetos basada en los latidos del corazón.

3.3.3.- Interactive Productline IP (Mindball)



Figura 27. Logo de Interactive Productline IP.

Fuente: (Interactive Productline ip, 2006)

Interactive Productline IP es una compañía de Suecia, cuyo objetivo consiste en desarrollar y vender productos EEG fáciles de entender que desarrollan la capacidad de relajarse y concentrarse. Los productos de esta compañía se los denomina Mindball.

Mindball Game es básicamente un juego que va en contra del concepto competitivo convencional en la que en lugar de actividad y adrenalina, la calma es lo que marca el verdadero éxito de la persona que juega a Mindball Game. El objetivo consiste en estar más relajado que su oponente y alejar una pelota física y meterla en la portería del contrario. En la parte superior de la tabla, una pelota se mueve de atrás a delante durante el juego. Los jugadores llevan cintas en la cabeza con electrodos conectados a la tabla.

Los electrodos están conectados a un sistema biosensor. El sistema utilizado para medir las señales biológicas del cuerpo registra la actividad eléctrica en el cerebro, los jugadores y el público pueden seguir el proceso mental de los jugadores durante el juego, ya que la actividad cerebral de los jugadores se representa gráficamente si hay una pantalla conectada.

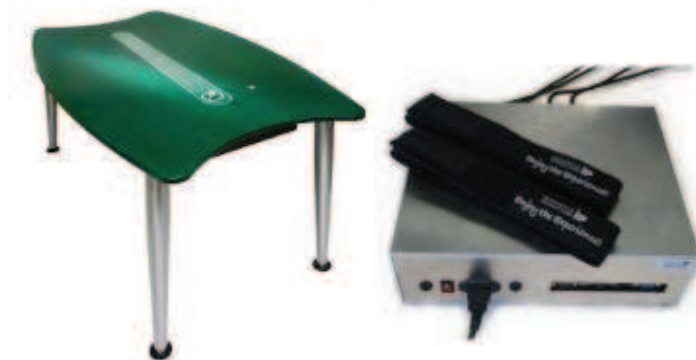


Figura 28. Dispositivo Mindball.

Fuente: (Interactive Productline ip, 2006)

Este dispositivo más que un equipo de desarrollo es una forma de juego que permite desarrollar la concentración y relajación, ayudando de esta manera manejar los diferentes estímulos eléctricos producidos por el cerebro en una forma visible y divertida.

3.3.4.- Neuroelectrics

Neuroelectrics es una compañía derivada a partir de *Starlab* con sede en Barcelona España, esta se basa como principal objetivo el transformar la ciencia en tecnologías que conlleven a un profundo impacto en la sociedad, se basa es convertirse en el líder de confianza en la salud del cerebro, proporcionando herramientas de medición y toma de neuromodulación asequible y disponible para todos los pacientes que lo necesitan.



Figura 29. Logo de Neuroelectrics Company.

Fuente: (Neuroelectrics)

El principal desarrollo es conseguir un equipo fiable y fácil de usar para la observación y la neuromodulación del cerebro humano. El equipo Enobio que ha sido implementado en la lectura de señales EEG es un sistema de sensores de electrofisiología portátil e inalámbrica para su respectivo registro.



Figura 30. Dispositivo Enobio de Neuroelectrics.

Fuente: (Neuroelectrics)

Este dispositivo se basa en la neuromodulación que es el proceso de modificar el estado del cerebro a través de la retroalimentación basada en el entrenamiento, mediante la visualización de la actividad cerebral, el usuario puede aprender a modificarlo. Este método proporciona pruebas y que el uso de neuromodulación sea útil en el tratamiento de una variedad de trastornos.

Siempre la idea fue enfocada para el desarrollo de aplicaciones médicas, por lo que se necesitan grandes cantidades de datos de muchos temas en los ambientes naturales. Enobio proporciona una plataforma que se puede utilizar en cualquier lugar por cualquier persona con la frecuencia necesaria para registrar la adquisición de datos de forma rápida y fiable. La integridad de datos, versatilidad y facilidad de uso son las claves para el desarrollo de aplicaciones médicas.

3.3.5.- Biosemi

Esta es otra empresa filial de la ya nombrada *Starlab*, se encuentra ubicada en Ámsterdam, esta empresa ofrece un avanzado sistema de adquisición de datos EEG, utilizando la tecnología de electrodo activo y con una arquitectura abierta.

Esta tecnología electrodo activo elimina la necesidad de mediciones de impedancia, preparación de la piel.



Figura 31. Logo de la Compañía Biosemi.

Fuente: (Biosemi, 1998)

Biosemi establece nuevos estándares para la utilización de un sistema multicanal de alta resolución. Los avances en la tecnología han permitido aumentar de manera significativa el número de canales, resolución digital, rango de entrada y frecuencia de muestreo, sin ningún tipo de aumento de tamaño, consumo de energía o costos. Los electrodos activos de segunda generación son de menor tamaño, con menos peso del cable, al tiempo que ofrece aún mejores especificaciones en términos de ruido de baja frecuencia y la impedancia de entrada.

Starlab es el funcionario distribuidor de Biosemi productos EEG/ECG para España y Portugal, este ofrece soluciones de sistema completas para usuarios en sistemas experimentales para la investigación.



Figura 32. Dispositivo Biosemi.

Fuente: (iNForum)

Este presenta un sistema completo que permite las mediciones de señales EEG y ECG, donde las mediciones no necesitan de preparaciones para la piel, presentan más de 256 electrodos en una malla compacta con un tamaño pequeño y de menor peso.

3.3.6.- Emotiv Systems

Es una empresa Americana, encargada en desarrollar interfaces cerebro-ordenador basada en la electroencefalografía tecnología (EEG). La empresa fue

fundada en 2003. Los productos de Emotiv constituyen dos la Emotiv EPOC que es un dispositivo demo con funciones básicas y el Emotiv EEG.



Figura 33. Logo de Emotiv Systems.

Fuente: (Emotiv Systems, 2009)

Este es un revolucionario interfaz cerebro computador, utilizan sensores para sintonizar las señales eléctricas producidas por el cerebro para detectar los pensamientos de los usuarios, los sentimientos y expresiones. Para desarrollar propias aplicaciones para la EPOC y la EEG se hace uso de licencias para obtener el conjunto de herramientas de software para su posterior desarrollo.

Cabe señalar que el Emotiv EEG tiene todos los beneficios de la EPOC, además de acceso a la EEG, para poder llevar a cabo investigaciones, se conectan de forma inalámbrica con el computador, y puede que en el futuro sea posible el trabajo en otras plataformas de juegos como las consolas pueda llegar a existir una compatibilidad para su uso.

Características de los dispositivos Emotiv

- La EPOC y la EEG tienen 14 electrodos, y otros dos que sirven de referencia para sintonizar las señales eléctricas producidas por el cerebro y así poder detectar los pensamientos, los sentimientos y las expresiones de los usuarios en tiempo real.
- Ambos se conectan de forma inalámbrica a computadores con Windows, Linux o Mac OS X.
- Viene incorporado un giroscopio que ayuda al posicionamiento adecuado para la detección del movimiento de la cabeza, y cuentan con una batería de litio que proporcionan 12 horas de uso continuo.
- Son compatibles con USB y no necesitan de controladores adicionales.
- El dispositivo EPOC presenta funcionalidades limitadas que solo sirven de demostración y la EEG es el dispositivo completo que permite la obtención y la manipulación de las señales EEG y adicionalmente una licencia del software de desarrollo.



Figura 34. Dispositivo Emotiv Epoc.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Modos de Reconocimiento de señales EEG

Para la obtención de las señales EEG se creó tres diferentes modos en los que los impulsos eléctricos se los puede diferenciar y reconocer de una mejor manera

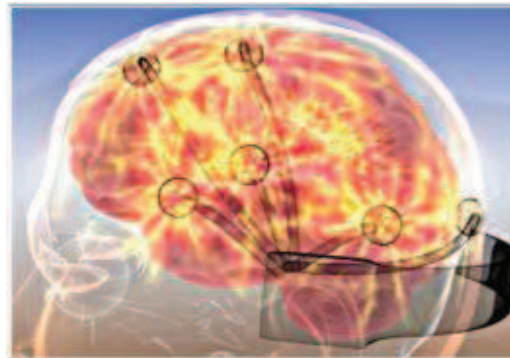


Figura 35. Acción hipotética de las ondas cerebrales con un dispositivo EEG.

Fuente: (Elaboración Propia)

El dispositivo presenta en el software que viene incluido los diferentes modos de reconocimiento de señales como lo son el Cognitivo, Expresivo y Emocional.

Modo Cognitivo (Pensamientos Conscientes)



Figura 36. Representación del Modo Cognitivo (Pensamientos Conscientes).

Fuente: (Elaboración Propia)

En este modo el dispositivo puede detectar 13 tipos de movimiento los que corresponden a las seis direcciones (izquierda, derecha, arriba, abajo, adelante, y atrás) y seis rotaciones (en sentido horario y anti horario, gire a la izquierda y derecha y balancearse hacia atrás y hacia adelante), más otro de visualización que es el de desaparecer, estos pensamientos presentan un grado de dificultad y de esta manera quiere decir de entrenamiento y debido al complejo sistema de algoritmos de detección involucrados, hay un ligero retraso en la detección de pensamientos.

Modo Expresivo

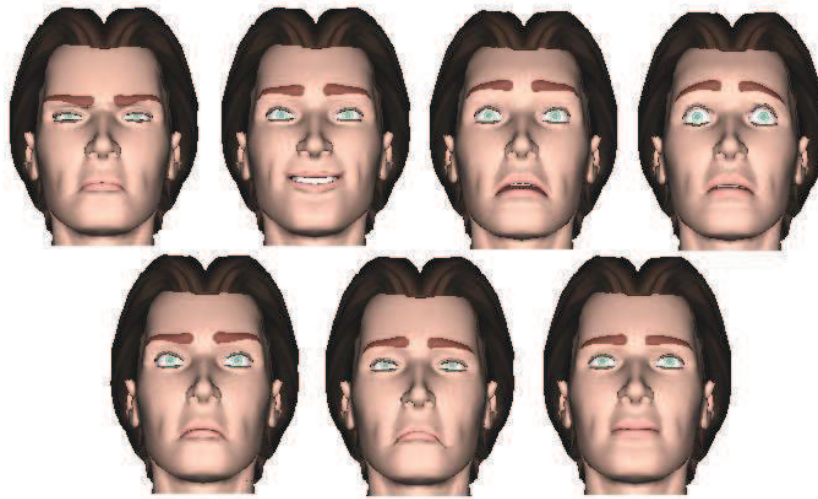


Figura 37. Representación del Modo Expresivo con un avatar digital.

Fuente: (Elaboración Propia)

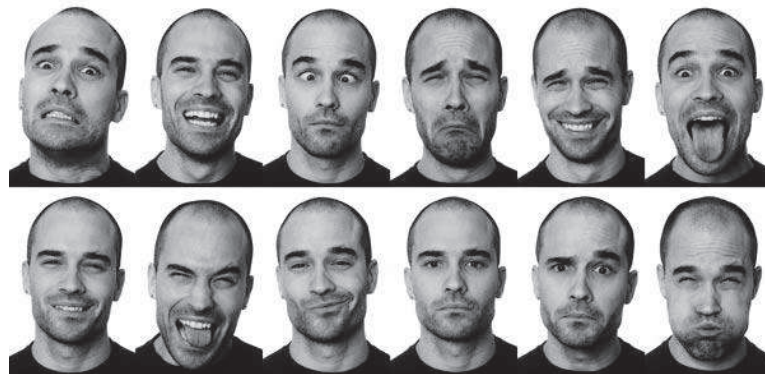


Figura 38. Representación del Modo Expresivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

En este modo las posiciones de los párpados individuales y la ceja, la posición del ojo en el plano horizontal, sonriendo, riendo, apretando los dientes y distintos gestos faciales se pueden detectar. Otras expresiones pueden ser añadidas y configuradas con

la sensibilidad o gestos que se los puede grabar. Las expresiones son detectadas por los sensores de EEG captación de señales a los músculos faciales, en lugar de la lectura de las ondas cerebrales. A diferencia de la lectura de la actividad mental, estas detecciones son muy rápidas. Además con la ayuda del giroscopio se puede detectar los movimientos de la cabeza y la rotación de la misma.

Modo Afectivo o Emocional



Figura 39. Representación del Modo Emocional.

Fuente: (Elaboración Propia)

Claramente en este modo se encuentra involucrado el estado emocional con el que se encuentra la persona y en así distintos estados como lo son la emoción, alegría, aburrimiento, meditación, frustración de esta manera poderlo medir. Estas señales se encuentran reflejadas en una gráfica permitiendo a la persona conocer su estado emocional actual.

3.4.- Selección del equipamiento

Al analizar los diferentes equipos que se encuentran en el mercado se hizo el estudio que el uso del dispositivo Emotiv EEG es el más indicado en el campo de desarrollo ya que permite una interacción con el usuario y ordenador más completa permitiendo al usuario entender incluso de mejor manera las señales y el uso de las mismas para futuras aplicaciones.

3.4.1.- EMOTIV EEG



Figura 40. Dispositivo Emotiv EEG.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Como lo habíamos señalado antes es un dispositivo que cuenta con 14 sensores que se posicionan específicamente en ciertas áreas del cuero cabelludo y 2 más que son referenciales para el contacto de manera precisa, cuenta con un receptor USB con el cual las señales adquiridas son enviadas mediante comunicación wireless al computador.

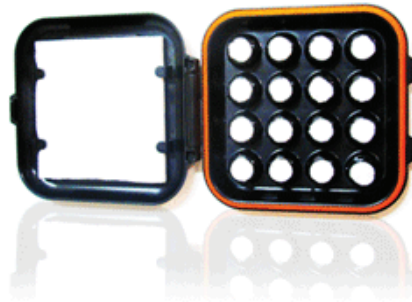


Figura 41. Sensores con sus respectivas almohadillas lubricadas.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)



Figura 42. Receptor USB.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Los sensores colocados en el dispositivo son removibles por lo que después de cada uso hay que retirarlos y colocarlos en un empaque propiamente para su guardado, cada sensor viene dotado de una almohadilla, las cuales deben ser hidratadas con una solución salina que viene en el mismo la cual favorece la conducción de las señales eléctricas emitidas por dispositivo, de la misma manera al momento de guardar hay que

aplicar esta solución lo cual ayuda para su cuidado y prolongación de vida de los mismos.



Figura 43. Emotiv EEG SDK.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

De la misma manera incluye el software para el respectivo control y manejo del equipo, en este caso el que viene incorporado es el SDK Research Edition el que cuenta con una licencia propia para el usuario y su posterior registro del mismo.

3.5.- Software disponible

El software a emplearse es el que viene equipado el dispositivo que en este caso es el SDK Research Edition, que viene incluido con una licencia para un único usuario que es propiamente para investigación por lo que lleva este nombre de “Research Edition”, lo que hace que esta licencia sea personal y no transferible



Figura 44. Software SDK del dispositivo Emotiv EPOC.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Este kit es indispensable para la adquisición de las señales y el procesamiento del dispositivo de manera inalámbrica. Como se había señalado anteriormente la ayuda de los canales basados en los 10-20 ubicaciones internacionales son: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4.

Adicionalmente viene incluido un programa denominado *Testbench* el cual nos proporciona:

- Visualización en tiempo real del flujo de datos del dispositivo, giroscopio, adquisición de paquetes / pérdida, eventos de marcador, nivel de batería.
- Grabar y reproducir archivos en formato EEGLAB binario.
- Definir e insertar marcadores sincronizados en el flujo de datos, incluidos los botones que aparecen en pantalla y definidos en el puerto serie según los eventos. Los marcadores se almacenan en EEG como archivos de datos.

- Definiciones de marcadores se pueden guardar y volver a cargar. Los marcadores se muestran en tiempo real y modos de reproducción.
- Exportación de pantalla para la documentación de los mismos

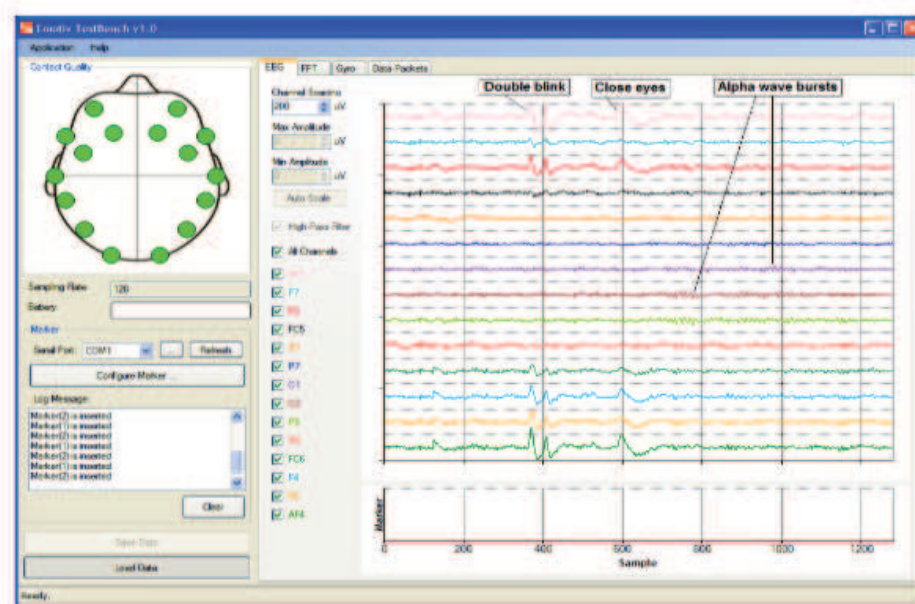


Figura 45. Adquisición y muestreo de las señales EEG.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Como parte adicional se puede observar de manera individual el comportamiento de un determinado punto o sensor, de esta manera poder analizar puntualmente la respuesta que presenta la señal a diferentes estímulos.

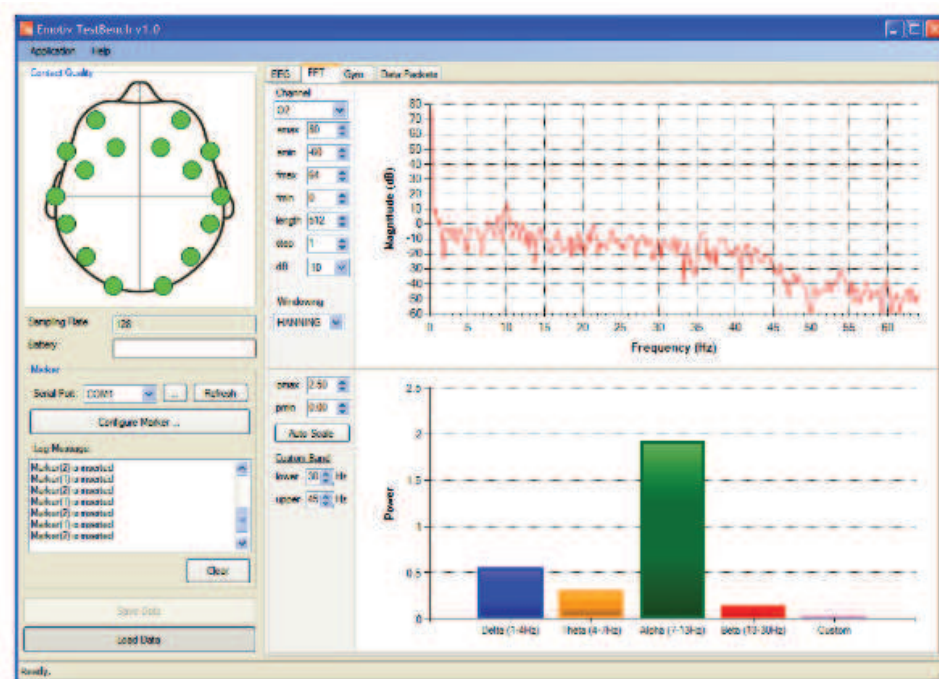


Figura 46. Muestreo de las ondas cerebrales de acuerdo a su clasificación.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Y finalmente como habíamos señalado anteriormente nos permite grabar, pausar y reproducir los datos adquiridos en un archivo de formato .edf que permite la visualización minuciosa de las diferentes señales presentadas en el archivo.

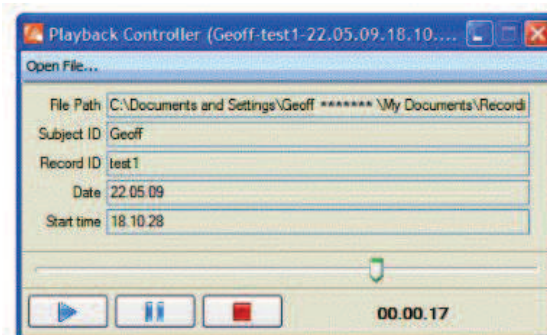


Figura 47. Interfaz para el grabado de las señales previamente analizadas.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

4.1.- Adaptación del hardware

En el anterior capítulo se indicó el dispositivo con el cual se procederá a trabajar y posteriormente se indicará su instalación y el uso del mismo para su correcta manipulación.

4.1.1.- Instalación y Colocación del Dispositivo

El kit de desarrollo Emotiv consiste en un conjunto de bibliotecas que permiten la comunicación con el dispositivo Emotiv EEG, este presenta en su contenido el Panel de control, el EmoComposer, Emokey, EmoEngine y su respectivo Manual de Usuario los cuales permitirán para el desarrollo de la tesis planteada.

Al momento de la instalación será necesario ingresar la licencia otorgada por la compañía para su posterior registro en línea. Este procedimiento se lo inicializa

ejecutando el instalador proporcionado y los siguientes pasos se los puede visualizar en las siguientes gráficas.

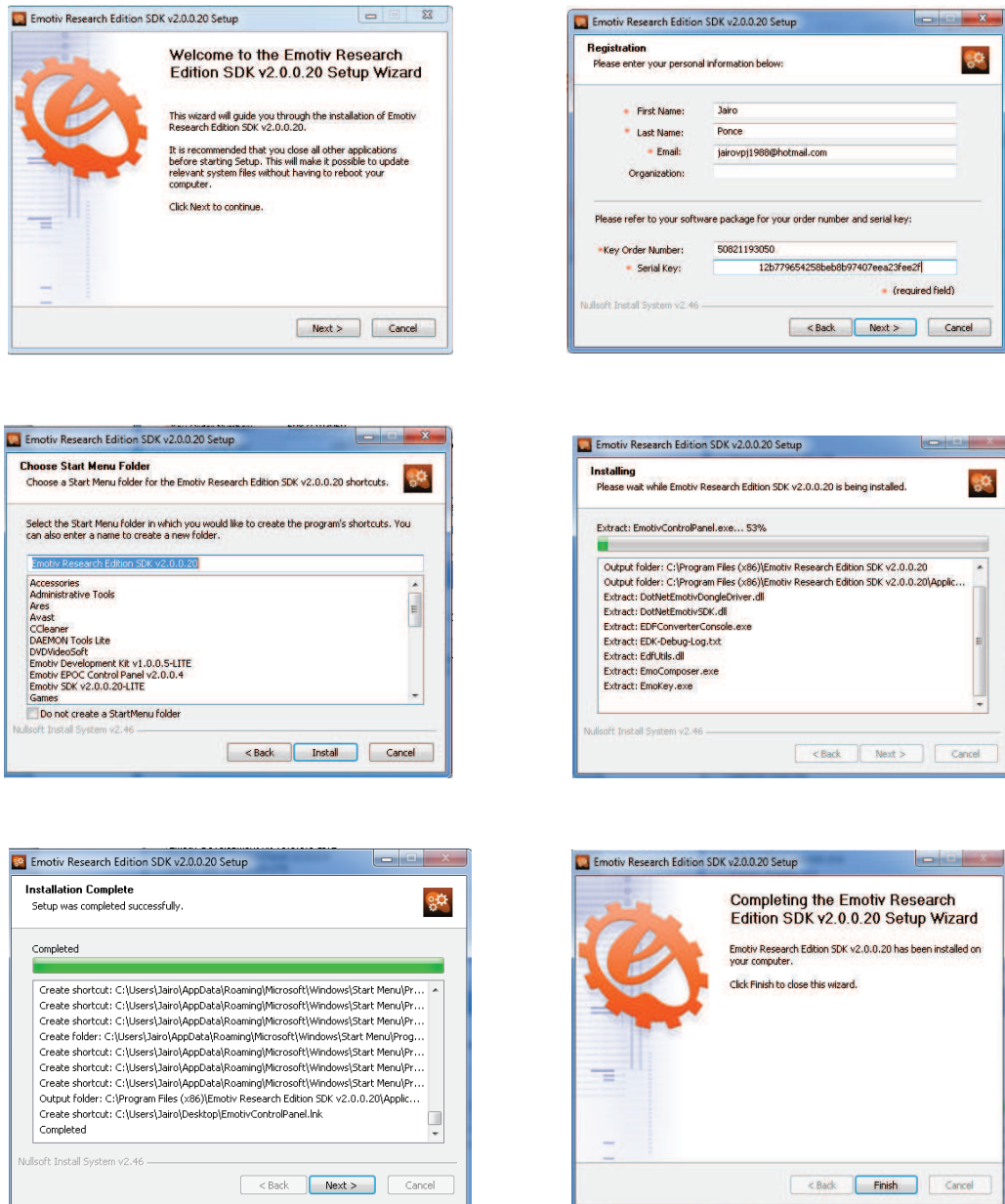


Figura 48. Proceso correcto de instalación del software.

Fuente: (Elaboración Propia)

Al tener concluida la instalación se procedería al apareamiento del dispositivo con el computador y su manipulación adecuada.

Antes de comenzar es necesario cargar el dispositivo asegurándose que se encuentre apagado, la carga del mismo se lo puede hacer de una toma de pared o por medio de entrada USB que se encuentra en nuestro computador, para una carga total del mismo es necesario aproximadamente unas 4 horas. Es importante saber que no se debe cargar el dispositivo mientras se lo tiene colocado en la cabeza.

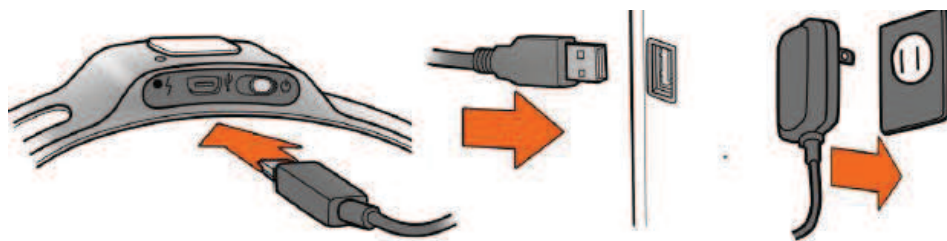


Figura 49. Modo correcto de carga del dispositivo Emotiv Epoc.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

El dispositivo presenta tres leds indicadores colocados a un lado del interruptor *ON/OFF* del mismo, los cuales nos permiten indicar si se encuentra encendido, cargándose o si se encuentra totalmente cargado, para indicar que el dispositivo se encuentra encendido este tendrá una coloración azul, para indicar que se encuentra cargándose será de coloración roja y para indicar que se ha cargado completamente es de coloración verde.

Como lo mencionamos anteriormente antes del uso del dispositivo es necesario verificar si los sensores se encuentran hidratados con la solución salina que este contiene en su caja en caso de que esta se termine se la puede conseguir en cualquier farmacia para su posterior aplicación.

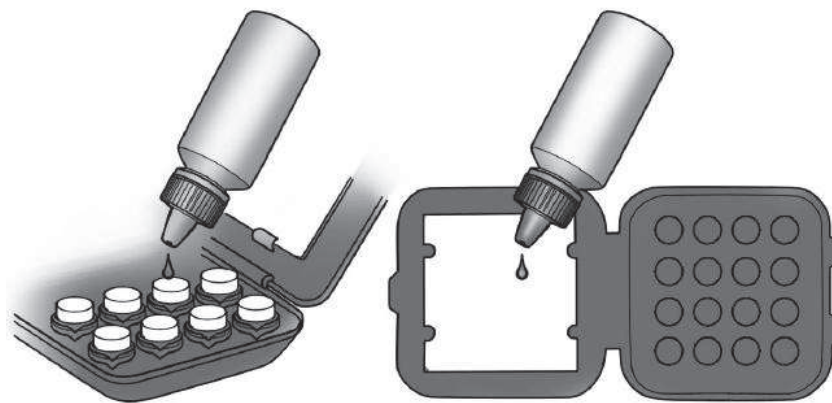


Figura 50. Lubricación de las almohadillas con la solución salina.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Seguidamente al tener los sensores hidratados se procede a colocar cada uno de los 16 sensores proporcionados en la caja en el dispositivo como se lo muestra en la figura

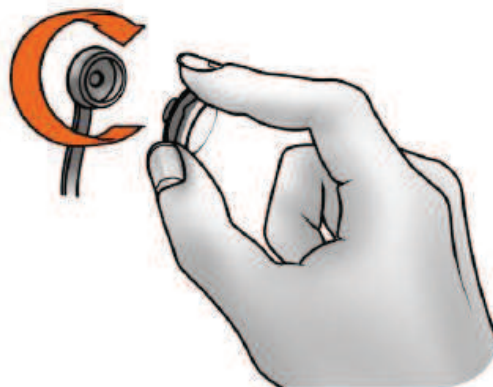


Figura 51. Colocación de cada una de los sensores.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

De la misma manera al momento de terminar de ocupar el dispositivo se debe retirar uno por uno los sensores y colocarles nuevamente en su caja y procurando tenerlos siempre hidratados para su mejor cuidado y conservación.

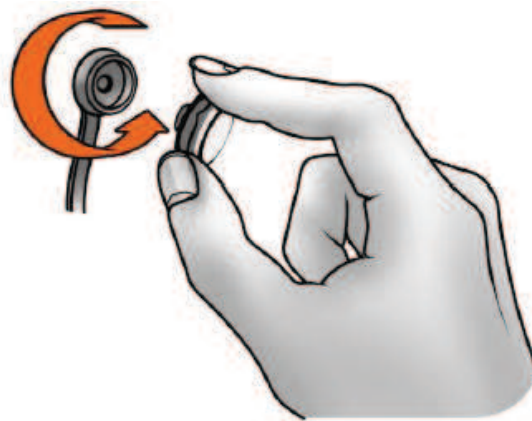


Figura 52. Extracción de cada uno de los sensores

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

A continuación insertamos el receptor USB en el computador para su posterior sincronización con el mismo y seguido de esto encendemos el dispositivo.

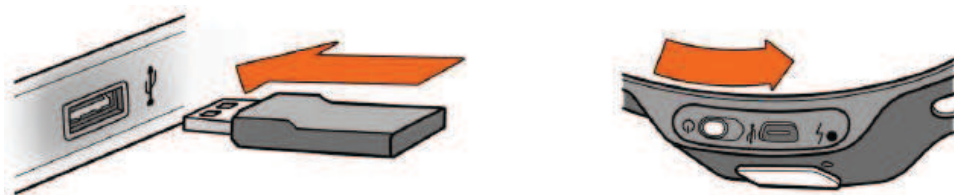


Figura 53. Colocación del receptor USB y sincronización con el dispositivo.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Ahora se encuentra listo para la colocación en nuestra cabeza, para esto debemos sostener el dispositivo con las dos manos y deslizarlo suavemente para la parte de atrás de nuestra cabeza como se lo muestra en la figura y tratando de colocar los sensores traseros en la parte posterior de nuestras orejas con mucho cuidado y tratando de colocar cada uno de los sensores en el lugar correcto. Para evitar equivocación alguna en la colocación en los dos lados se encuentran dos iniciales una L que quiere decir Left que en español corresponde a Izquierda y otra inicial R que quiere decir Right y corresponde a Derecha, de esta manera podemos verificar la colocación correcta del dispositivo.

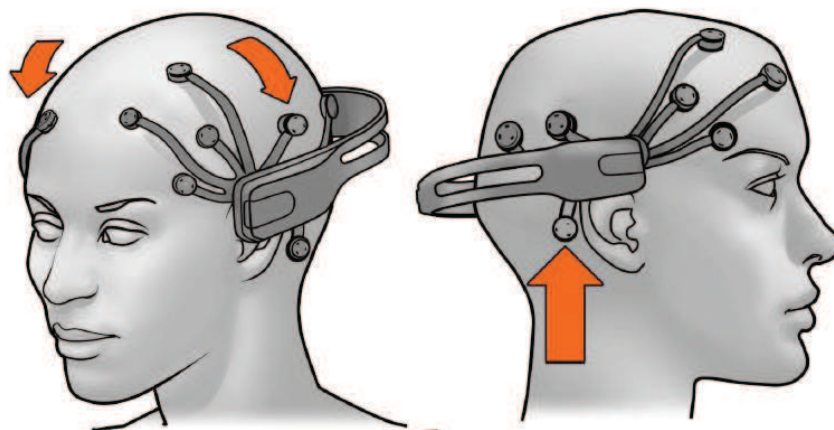


Figura 54. Colocación del dispositivo Emotiv EPOC.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Una vez colocados los sensores de forma correcta procedemos a mantener presionados los dos sensores referenciales colocados casi en la parte posterior de nuestras orejas, estos sensores se los puede diferenciar fácilmente porque su recubrimiento no es la de una almohadilla como los demás sino una cobertura tipo

caucho. Al tenerlos presionados debemos esperar un tiempo de 5 a 10 segundos para que estos puedan conectarse correctamente y se lo vea reflejado en el computador.

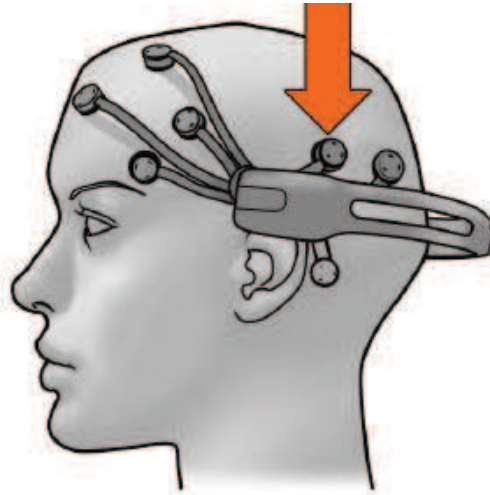


Figura 55. Ubicación de los sensores de referencia.

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

4.2.- Adaptación del Software

El software incluido en el dispositivo comprende diferentes características en la adquisición de las señales cerebrales los corresponden a los Componentes propios del SDK (Kit de Desarrollo) y se los conocerá a continuación.

4.2.1.- Control Panel

Este es el programa principal con el cual se conecta el dispositivo indicando las diferentes funcionalidades que presenta el dispositivo, y donde se muestran las

utilidades que el mismo nos da y que podemos interactuar con el mismo. Al momento de ejecutarlo es necesario desactivar los *firewalls* del computador o permitir las conexiones que el mismo va a realizar mediante el puerto 3008 (hace uso de *TCP*).

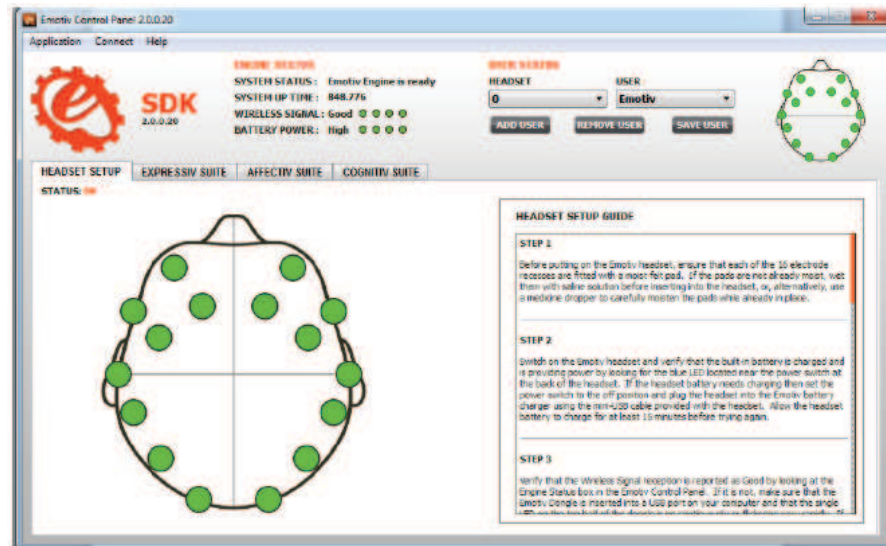


Figura 56. Panel de Control (Control Panel).

Fuente: (Emotiv Systems, 2012)

Como utilizamos el sistema 10-20 determinado por parte de la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía, tomamos en cuenta la ubicación de los electrodos como podemos apreciar en la siguiente figura con sus respectivas iniciales de reconocimiento.

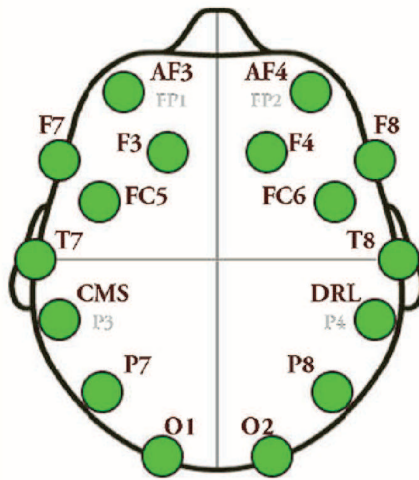


Figura 57. Ubicación de los electrodos de acuerdo al sistema 10-20.

Fuente: (Ekanayake, 2010)

El mismo panel de control consta de una región superior en donde se puede visualizar el estado del sistema, el tiempo activo de la conexión, la intensidad de la señal inalámbrica, el nivel de carga de la batería y la calidad de contacto de los electrodos con el cuero cabelludo. Además se puede seleccionar el usuario el cual se va a trabajar ya que al momento de inicializar el dispositivo nos da la opción de acceder un usuario para poderlo identificar y de esta manera poderlo configurar a nuestro gusto, otra opción que nos permite es el reconocimiento de dos dispositivos al mismo tiempo lo que podemos seleccionar tanto al usuario como al dispositivo con el cual se desea trabajar, eso si previamente conectados los receptores USB, así mismo se puede crear un nuevo usuario o eliminarlo.



The image shows a web interface titled "USER STATUS" in red text. Below the title, there are two dropdown menus: "HEADSET :" with the value "0" and "USER :" with the value "jairo". Below these menus are three buttons: "ADD USER", "REMOVE USER", and "SAVE USER".

Figura 58. Estado del Usuario y del dispositivo conectado.

Fuente: (Elaboración Propia)

Pasando a las pestañas que presenta el Panel de Control tenemos las actividades mentales con las que podemos interactuar y se las analizara a continuación.

4.2.2.- Headset Setup (Configuración del Dispositivo)

En la primera *Headset Setup* (Configuración del Dispositivo) se visualiza la disposición de los electrodos y la calidad de la señal recibida de cada uno de los mismos, estos presentan una coloración para indicar si están haciendo un correcto contacto con el cuero cabelludo o necesitan un mejor ajuste.

Tenemos que tener en cuenta que la colocación adecuada de los electrodos influye potencialmente en la adquisición de las señales para lo cual tenemos a disposición visual el diagrama mostrado anteriormente, pero que al momento de colocarlo en el cuero cabelludo cambian de color de acuerdo a su colocación y si está adquiriendo de forma adecuada las señales como lo veremos a continuación.

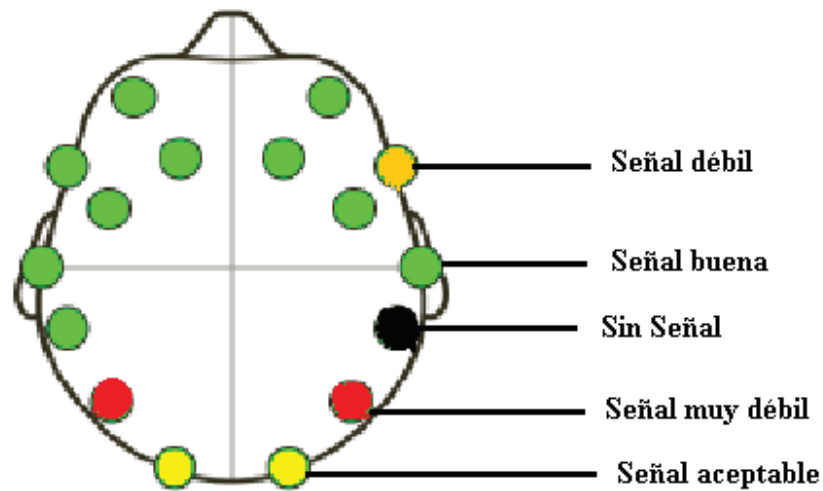


Figura 59. Identificación por colores de la conexión de cada uno de los sensores.

Fuente: (Elaboración Propia)

Así de acuerdo a la coloración debemos manipular los electrodos para de esta manera llegar a tenerlos todos de coloración verde que es lo ideal y para obtener mejores resultados, si la coloración es amarilla, naranja o roja es porque el sensor no está haciendo un buen contacto con el cuero cabelludo y debemos verificar si se encuentra firme y estable por lo que lo debemos presionar por un determinado momento y verificar si se establece una buena conductividad después de lo realizado.

4.2.3.- Expressiv Suite (Modo Expresivo)

En esta pestaña lo que podemos apreciar el funcionamiento del dispositivo, permitiéndonos reconocer diferentes gestos faciales por medio de las señales EEG al momento que el usuario realiza estos movimientos las podemos observar en la pantalla

del computador por medio de un avatar que es un pequeño individuo con forma de un robot que imita nuestros gestos, de esta manera capta la intensidad con la que la señal fue emitida y su duración haciendo los gestos una realidad.

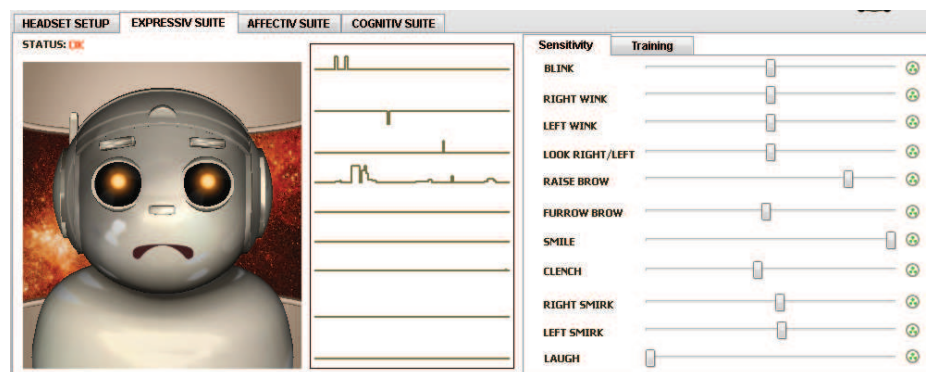


Figura 60. Expressiv Suite (Modo Expresivo).

Fuente: (Elaboración Propia)

Las expresiones faciales que pueden ser detectadas son las siguientes:

- **Pestañear (*Blink*):** Si el nivel central cambia es que ha existido un impulso y por lo consecuente un pestañeo.
- **Guiñar el ojo derecho / izquierdo (*Right / Left Wink*):** Este nivel es compartido por los dos lados para el ojo izquierdo y derecho, por lo que si el nivel central cambia a un nivel bajo es que se realizó un pestañeo izquierdo, y si cambia a un nivel alto indica que se realizó un pestañeo derecho.

- **Mirar hacia la derecha / izquierda (*Look Right/Left*):** Al igual que el guiño este nivel es compartido, por lo que si el nivel central cambia a un nivel bajo es que se realizó la mirada hacia la izquierda, y si cambia a un nivel alto indica que se realizó la mirada hacia la derecha.
- **Levantar las cejas (*Raise Brow*):** El nivel central sin modificación indica que no ha sucedido ninguna acción, pero si el nivel cambia a alto indica que se ha levantado las cejas y este nivel aumenta o disminuye de acuerdo a la intensidad con la que se efectuó el gesto.
- **Fruncir las cejas (*Furrow Brow*):** El nivel central indica que no se ha realizado ninguna acción, mientras un nivel alto indica que se ha realizado el gesto de fruncirse.
- **Sonreír (*Smile*):** El nivel central indica que no se ha realizado ninguna acción, mientras un nivel alto indica que se ha realizado el gesto de sonreír.
- **Apretar los dientes (*Clench*):** El nivel central indica que no se ha realizado ninguna acción, mientras un nivel alto indica que se ha realizado el gesto de apretar los dientes.
- **Mueca derecha / izquierda (*Right / izquierda Smirk*):** De la misma manera al guiño, este nivel es compartido, por lo que si el nivel central cambia a un nivel bajo es que se realizó una mueca hacia la izquierda, y si cambia a un nivel alto indica que se realizó una mueca hacia la derecha.

- **Reírse (*Laugh*):** El nivel central indica que no se ha realizado ninguna acción, mientras un nivel alto indica que se ha realizado el gesto de reírse.

Para una mejor apreciación de los gestos y poder trabajar con los mismos este panel presenta dos pestañas adicionales donde con la primera podemos manipular la sensibilidad, para que el dispositivo pueda reconocer los gestos de un modo normal o a su vez tan rápida o lenta de acuerdo al agrado del usuario ya que de igual forma necesitan de un entrenamiento previo para su posterior manipulación.

Y la segunda pestaña permite realizar el entrenamiento, esto quiere decir que nos permite guardar a los gestos anteriores con alguna modificación que sea para nuestra ayuda o para mejoras del mismo y tener una mejor detección al realizar el gesto, a algunos de estos cambios tal vez se los consideraría como nuevos gestos pero resultan complejos ya que ciertas veces son confundidos con gestos existentes ya guardados por defecto como lo es el reírse el fruncir el ceño y demás gestos haciéndolo difícil al dispositivo al momento de analizar estos gestos.

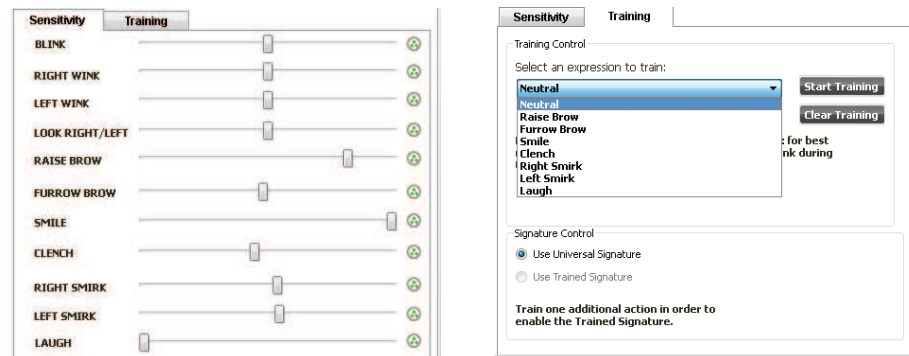


Figura 61. Configuración del Expressiv Suite.

Fuente: (Elaboración Propia)

4.2.4.- Affectiv Suite (Modo Afectivo o Emocional)

En esta pestaña se hace referencia al modo afectivo donde se encuentran involucrados los cambios emocionales que se presentan en la persona y en este caso el usuario que se encuentra haciendo uso del dispositivo

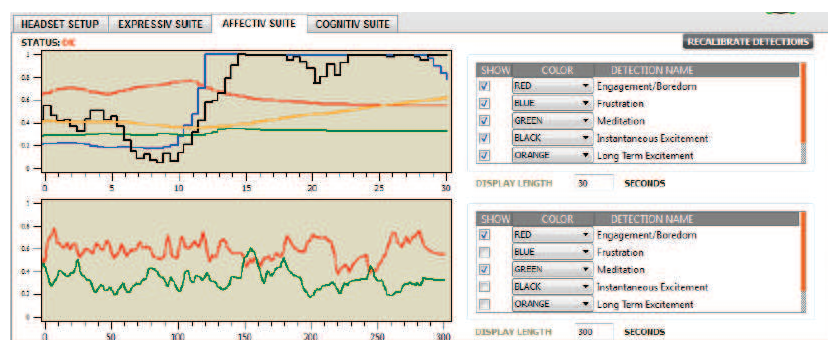


Figura 62. Affectiv Suite (Modo Afectivo).

Fuente: (Elaboración Propia)

Se puede observar que presenta de dos graficas en las que se podrán seleccionar las señales involucradas en los cambios emocionales del usuario y que pueden ser observadas individualmente y estas son:

- Compromiso/Aburrimiento (*Engagement/Boredom*)
- Frustración (*Frustration*)
- Meditación (*Meditation*)
- Emoción instantánea (*Instantaneous Excitement*)
- Emoción a largo plazo (*Long-Term Excitement*)

SHOW	COLOR	DETECTION NAME
<input checked="" type="checkbox"/>	RED	Engagement/Boredom
<input checked="" type="checkbox"/>	BLUE	Frustration
<input checked="" type="checkbox"/>	GREEN	Meditation
<input checked="" type="checkbox"/>	BLACK	Instantaneous Excitement
<input checked="" type="checkbox"/>	ORANGE	Long Term Excitement

Figura 63. Diferentes tipos de señales emocionales a ser muestreadas.

Fuente: (Elaboración Propia)

Por defecto en la gráfica superior se visualiza la evolución de las señales en un lapso de 30 segundos, mientras que en la inferior se visualizan los últimos 5 minutos de lo que la señal correspondiente fue detectada y consecuentemente muestreada y así observar sus diferentes cambios en un periodo largo. De todas formas las señales pueden modificarse en el panel de la derecha, como escoger que señales representar, asignarles un color para poderlas diferenciar entre si y de la misma manera se puede

modificar el tiempo del muestreo para acoplarlo de acuerdo a un tiempo que deseemos colocar.

La detección en el modo afectivo no necesita entrenamiento previo alguno ya que las señales cerebrales obtenidas son características y comunes de cada persona, por otra parte estas señales obtenidas pueden ser guardadas para tener un registro y poder analizar la evolución y el manejo de las mismas para una posterior aplicación.

La emoción instantánea mencionada anteriormente se experimenta como un sentimiento de excitación fisiológica con un valor positivo. La excitación se caracteriza por la activación en el sistema nervioso simpático, que se traduce en una gama de respuestas fisiológicas incluyendo la dilatación de las pupilas, ensanchamiento del ojo, estimulación de las glándulas de sudor, frecuencia cardiaca, la tensión muscular incrementa, la desviación de la sangre y la inhibición digestiva.

Existen varias emociones relacionadas como lo son: excitación, nerviosismo, agitación, en general, cuanto mayor es el aumento en la activación fisiológica mayor es la puntuación de salida para la detección. La detección de emoción instantánea está sintonizada para proporcionar puntuaciones de salida que reflejen con más precisión los cambios a corto plazo en la emoción durante períodos de tiempo tan cortos.

La emoción a largo plazo se experimenta y se define de la misma manera que emoción instantánea, pero la detección está diseñado y ajustado para ser más precisos

en la medición de los cambios en la excitación durante períodos de tiempo más largos, por lo general se mide en minutos.

El compromiso es experimentado como el estado de alerta y la dirección consciente de la atención hacia los estímulos relevantes para una determinada tarea. Se caracteriza por el aumento de la excitación fisiológica y las ondas beta, junto con las ondas alfa atenuadas. El polo opuesto de esta detección se conoce como aburrimiento y hay que tener en cuenta que esto no siempre se corresponde con una experiencia emocional subjetiva que todos los usuarios describen como el aburrimiento.

Algunas emociones relacionadas a este estado anterior son: el estado de alerta, de vigilancia, de concentración, de estimulación, de interés, en donde su comportamiento se basa en cuanto mayor es la atención, la concentración y la carga de trabajo cognitivo, mayor será la puntuación de la producción reportada por la detección.

4.2.5.- Cognitiv Suite (Modo Cognitivo)

La última pestaña es la de Modo Cognitivo, la cual se encarga en la detección y entrenamiento del mismo. En este modo se detectan un máximo de 13 diferentes acciones mediante un escaneo en tiempo real de las ondas cerebrales cuando el usuario intenta interactuar con un objeto virtual y poder realizar distintas acciones físicas.



Figura 64. Cognitiv Suite (Modo Cognitivo)

Fuente: (Elaboración Propia)

Este panel utiliza un cubo virtual en 3D para mostrar una representación animada de las diferentes acciones que se las puede realizar que en este caso son 13. Este cubo 3D también se utiliza para ayudar al usuario en la visualización de la acción prevista en el proceso de formación. El indicador de encendido hacia la izquierda de la pantalla 3D es un indicador de la fuerza de acción que el usuario está visualizando conscientemente a la acción actual.

Estas acciones se clasifican en 6 movimientos direccionales:

- Empujar (*Push*)
- Tirar (*Pull*)
- Desplazar hacia la Izquierda (*Left*)
- Desplazar hacia la Derecha (*Right*)
- Desplazar hacia Arriba (*Up*)

- Desplazar hacia Abajo (*Down*)

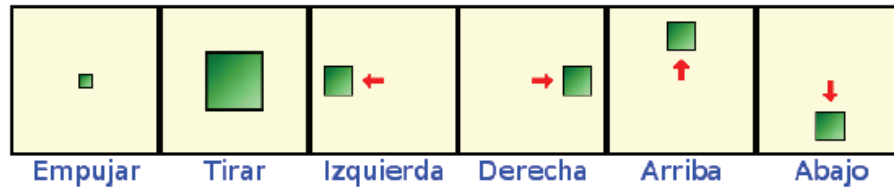


Figura 65. Movimientos direccionales

Fuente: (Stolfi, 2010)

Otros 6 movimientos que son rotacionales:

- Rotar en sentido Horario (*Rotate Clockwise*)
- Rotar en sentido Anti horario (*Rotate Counter-clockwise*)
- Rotar hacia la Izquierda (*Rotate Left*)
- Rotar hacia la Derecha (*Rotate Right*)
- Rotar hacia Adelante (*Rotate Forward*)
- Rotar hacia Atrás (*Rotate Backward*)

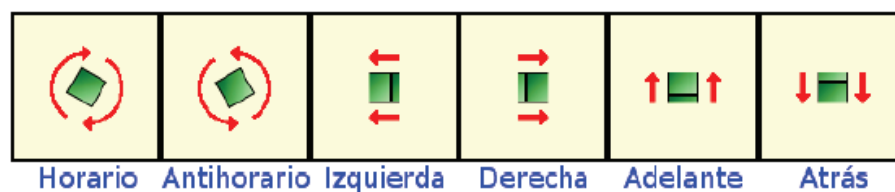


Figura 66. Movimientos Rotacionales.

Fuente: (Stolfi, 2010)

Y el último es una acción adicional que sólo existe en el reino de la imaginación del usuario el cual es desaparecer.



Figura 67. Acción Desaparecer.

Fuente: (Stolfi, 2010)

Hay que tomar en cuenta que se permite al usuario elegir solo hasta 4 acciones para reconocerlos en un momento dado. Aumentar el número de acciones concurrentes aumenta la dificultad de mantener un control consciente sobre los resultados de la detección cognitiva. Casi todos los nuevos usuarios obtienen fácilmente el control de una sola acción con bastante rapidez. Aprender a controlar múltiples acciones típicamente requiere práctica y se hace cada vez más difícil a medida que se agregan acciones adicionales. Aunque el Panel de control Emotiv permite al usuario seleccionar hasta 4 acciones a la vez, es importante que cada una de las acciones primero sea dominado por los usuarios en si una acción a la vez, sólo aumentar el número de acciones concurrentes después de que él se ha ganado la confianza y la práctica se puede aumentar en este caso la dificultad que es aumentar más acciones cognitivas.

La pestaña por defecto en el panel es Acción (*Action*). Esta pestaña muestra información sobre el estado actual de la detección cognitiva y permite al usuario definir

el conjunto actual de las acciones con el fin de permitir la detección, además de la acción neutral, primero debe ser entrenado. Junto a cada acción seleccionada existe otro medidor que muestra un índice de habilidad el cual se calcula durante el proceso de formación y proporciona una medida de qué tan consistentemente el usuario puede realizar mentalmente la acción prevista. Es necesario capacitar a la misma acción por lo menos dos veces antes de que se actualice la habilidad de acción. La calificación de habilidad general no es más que el promedio de toda la acción individual y las habilidades, se puede utilizar como una medida general de la habilidad del usuario con el conjunto seleccionado de acciones y datos de entrenamiento existentes.

The screenshot shows a software interface with a navigation bar at the top containing tabs for 'Action', 'Training', 'Advanced', 'Settings', and 'Challenge'. The 'Action' tab is selected. Below the navigation bar is a section titled 'ACTION CONTROL' with the following fields:

- CURRENT ACTION: Neutral
- DETECTION STATUS: Deactivated: Neutral training required
- DIFFICULTY LEVEL: Easy
- OVERALL SKILL RATING: 0%

Below these fields is a table with three columns: 'Trained?', 'Action', and 'Skill Rating'. The table contains one row for the action 'Push', where the 'Trained?' column shows a red 'X' and the 'Skill Rating' column shows 0%.

Trained?	Action	Skill Rating
X	Push	0%

At the bottom of the interface are three buttons: '+ ADD', '- REMOVE', and 'EDIT'.

Figura 68. Configuración de la acción de control.

Fuente: (Elaboración Propia)

Una barra de verificación de color verde se utiliza para indicar que la acción correspondiente se ha entrenado y una X roja indica una falta de datos de entrenamiento, hay que recordar que para la detección cognitiva sea activada, todas las acciones además de la neutral (estado mental del usuario en forma tranquila y relajada)

deben ser entrenados. Para ello se encuentran los botones agregar, quitar y botones pulsadores editar para modificar el número y tipo de acciones habilitadas.

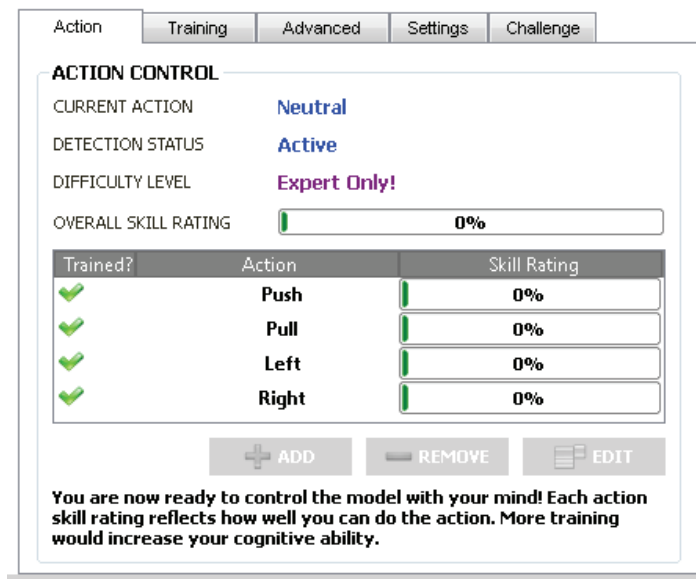


Figura 69. Configuración de las cuatro señales de control.

Fuente: (Elaboración Propia)

La siguiente pestaña en el Panel es Entrenamiento (*Training*). En este modo se debe comparar a diferencia del modo expresivo es necesario realizar varias sesiones de entrenamiento para cada acción (cada sesión tiene una duración de 8 segundos) lo que se posteriormente se traducirá en un aumento del porcentaje de entrenamiento (*Skill Rating*) completado para cada una de ellas, incrementándose también el porcentaje general de entrenamiento (*Overall Skill Rating*).

Primeramente para proceder al entrenamiento se debe realizar un reconocimiento y en si se lo tomaría como un entrenamiento de la acción *Neutral*, esta se refiere al estado

mental pasiva del usuario, uno que no está asociado con ninguna de las acciones cognitivas seleccionadas. En este estado el usuario debe entrar en un estado mental que no implique las demás acciones por lo que realizar actividades mentales pasivas como leer o simplemente relajarse y estar en un momento de profunda tranquilidad. Este proceso es realizado con el fin de facilitar la adquisición de estos datos y poderlos diferenciar en momento de relajación al momento de que una acción cognitiva no se encuentre en proceso

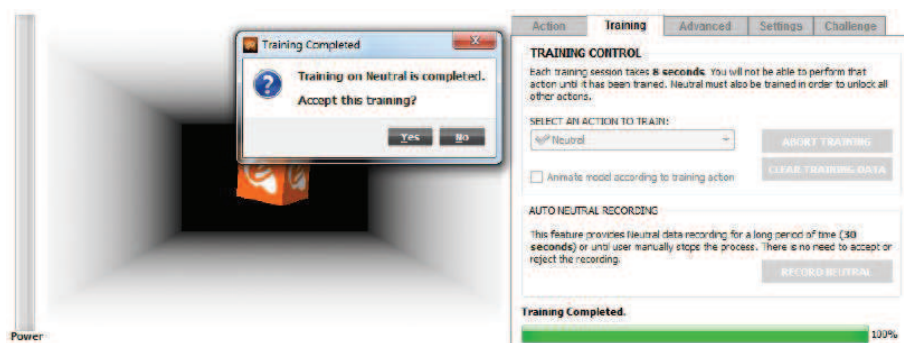


Figura 70. Control de Entrenamiento.

Fuente: (Elaboración Propia)

Continuando con esta pestaña de entrenamiento observamos que contiene los controles de interfaz de usuario que soportan el proceso de formación cognitiva. Este proceso de formación consta de tres pasos: En primer lugar, seleccionar una acción en la lista desplegable, las acciones que ya han sido entrenadas estarán emparejadas con una marca verde y las acciones que no tienen datos de entrenamiento están emparejadas con una X roja.

Luego, cuando se encuentre el usuario listo para comenzar a imaginar o visualizar la acción que desea para entrenar, se pulsa el botón empezar entrenamiento (*start training*). Durante el proceso de entrenamiento es muy importante para mantener su concentración mental durante la duración del período (consisten en 8 segundos), los gestos físicos, tales como empujar un objeto imaginario con una mano, se pueden utilizar para aumentar su enfoque en la acción prevista, pero no son obligatorios. También debe abstenerse de hacer movimientos de la cabeza sustanciales o expresiones faciales dramáticas durante el periodo de entrenamiento, ya que estas acciones pueden interferir con la señal EEG registrada.

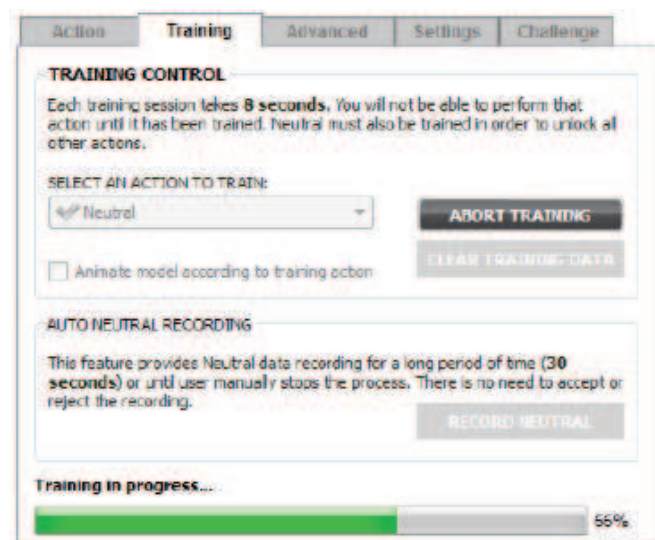


Figura 71. Progreso del entrenamiento.

Fuente: (Elaboración Propia)

Inicialmente, el cubo en la pantalla no se mueve, ya que el sistema aún no ha

adquirido los datos de entrenamiento necesario construir un patrón personalizado para el conjunto actual de las acciones. Después de Neutral y cada acción permitido se ha entrenado al menos una vez, la detección cognitiva se activa y el cubo responderá a la detección y de su control mental, en tiempo real.

Algunos usuarios encontrarán más fácil mantener la concentración mental necesaria si el cubo se anima automáticamente para realizar la acción, pretende ser una ayuda para la visualización durante el entrenamiento y si el usuario piensa se beneficiará de esto, entonces puede seleccionar el modelo *Animate* según la acción seleccionada en la casilla de acción a entrenar, caso contrario el cubo permanecerá inmóvil.

Finalmente, se le pedirá que acepte o rechace el registro del entrenamiento. El rendimiento de la detección cognitiva ideal normalmente se logra mediante el suministro de datos de entrenamiento constantes, es decir una visualización mental constante por parte del usuario, esto a través de varias sesiones de entrenamiento para cada acción habilitado. La capacidad de rechazar el último registro del entrenamiento le permite decidir si el usuario es capaz de permanecer mentalmente enfocado en la acción apropiada durante la última sesión de entrenamiento. Como alternativa, se puede pulsar el botón abortar entrenamiento (*abort training*) para cancelar el registro del entrenamiento si le interrumpen, distraerse, o problemas de notificación con los indicadores de calidad de contacto durante la grabación.

Una sesión de entrenamiento se descarta automáticamente si la intensidad de la

señal inalámbrica o calidad de la señal EEG es pobre para una porción significativa del período de entrenamiento. Una notificación se mostrará al usuario si esto ha ocurrido.

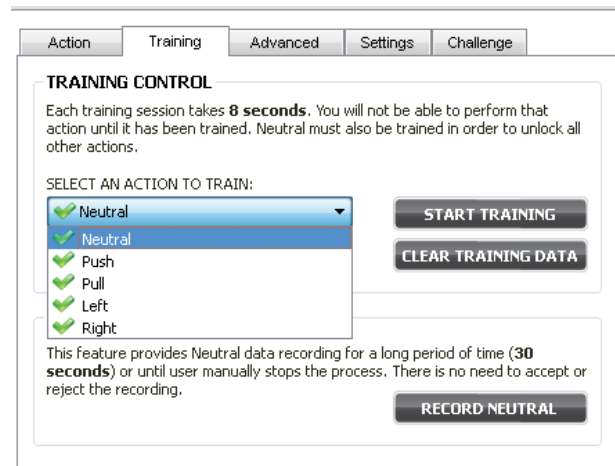


Figura 72. Selección de los diferentes movimientos de acción.

Fuente: (Elaboración Propia)

La tercera pestaña en el Panel es Opciones Avanzadas (*Advanced*). En esta parte se exponen opciones para mejorar ciertos aspectos en la sensibilidad de las acciones previamente entrenadas, hay que tener en cuenta que estas opciones de ajuste que se presentan en esta pestaña es exclusivamente para usuarios que ya dominan previamente las acciones cognitivas, modificarlas implicaría un nivel de dificultad mucho mayor.

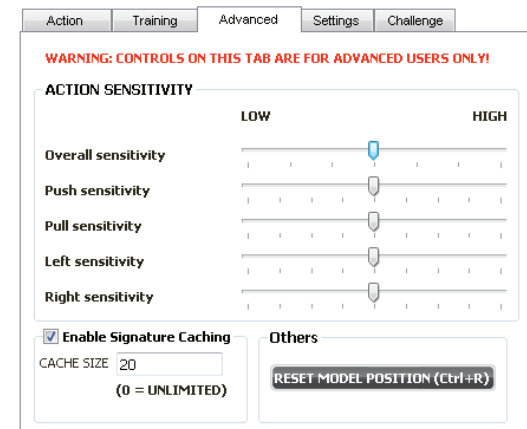


Figura 73. Opciones Avanzadas.

Fuente: (Elaboración Propia)

La destreza mental con el modo cognitivo es una habilidad que va a mejorar con el tiempo. Al aprender a entrenar a los estados mentales distintos, reproducibles para cada acción, la detección se vuelve cada vez más precisa.

La cuarta pestaña en el Panel es Ajustes (*Settings*), es una característica que se puede utilizar para personalizar y controlar Objetos 3D. Primero usted tiene que importar el modelo, modificar la escala para adaptarse, y organizar el fondo para crear escenarios personalizados. A continuación, puede utilizar para controlar cualquier objeto 3D en la ventana de Panel de control.

La opción *Cube* le permite establecer el fondo, de superficie y el marco para el Cubo de costumbre. Hay dos tipos de pantalla como puede ser una imagen y el habitual cubo 3D.

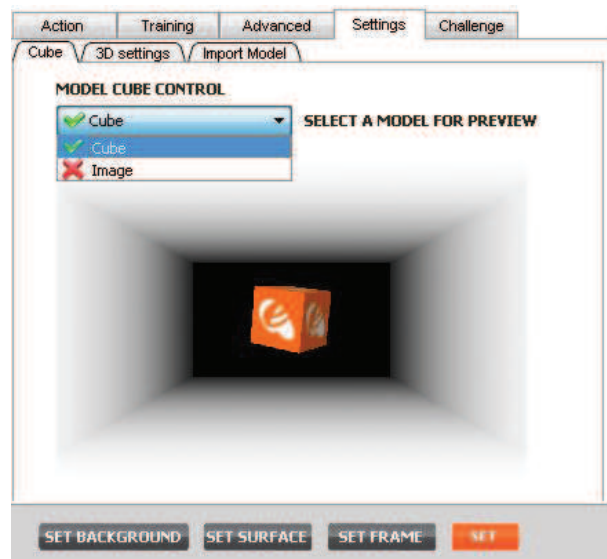


Figura 74. Ajustes del control del modelo.

Fuente: (Elaboración Propia)

Con esta opción nos permite cargar una imagen a nuestro gusto para tener un modelado diferente al momento de realizar las acciones cognitivas, pero estos ajustes quedan a decisión del usuario, estos cambios no van a afectar en la mejora o reducción de la concentración en las acciones previamente entrenadas.

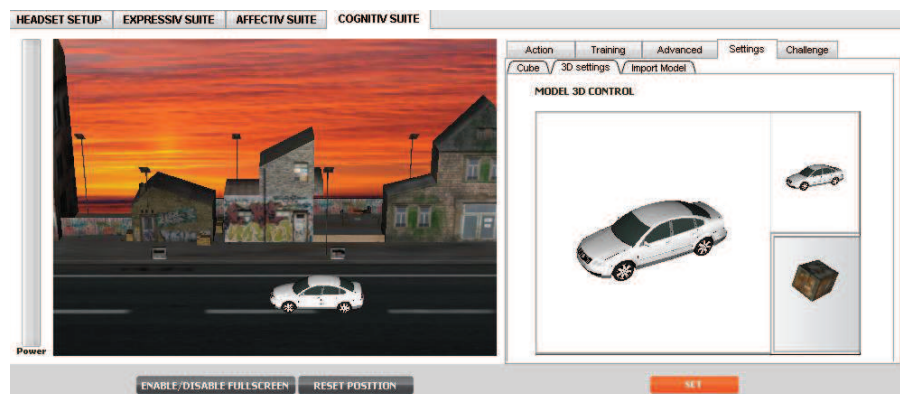


Figura 75. Configuración del modelo a visualizarse.

Fuente: (Elaboración Propia)

La quinta y última pestaña en el Panel es Reto (*Challenge*), es un desafío que le permite al usuario jugar con el modelo de cubo y enviar su puntuación al sitio Web de Emotiv. Debemos dar un clic en el botón start para comenzar a jugar. Esta es una manera de comparar el manejo mental que el usuario posee frente los demás usuarios que manejan el dispositivo y que de esta manera sea una forma de incentivo para una mejora en el entrenamiento y poder mejorar las habilidades.

Rank	User	Score
1	jairo	6904
2	jairo	2079
3	jairo	1578
4	jairo	529
5	jairo	475
6	jairo	0
7	jairo	0
8	jairo	0

Figura 76. Modo reto del dispositivo en funcionamiento.

Fuente: (Elaboración Propia)

4.3.- Desarrollo del Software

Una vez instalado nuestro dispositivo y conociendo su respectivo funcionamiento, es necesario conocer seleccionar un lenguaje de programación para poder realizar el desarrollo e implementación del proyecto, existen varios presentes en la actualidad como lo es matlab/Simulink, Java, LabVIEW, Visual Basic entre otros y para lo cual se eligió *LabVIEW* que es un es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Para posteriormente indicar el programa creado para la solución y desarrollo del proyecto planteado.

4.3.1.- LabVIEW

El software LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) que traducido al español significa Laboratorio de instrumentación virtual de trabajo de ingeniería, este software es ideal para cualquier sistema de medidas y control, al integrar todas las herramientas que los ingenieros y científicos necesitan para construir una amplia variedad de aplicaciones en mucho menos tiempo, LabVIEW es un entorno de desarrollo para resolver problemas, productividad acelerada y constante innovación.



Figura 77. Logo del Software de programación LabVIEW.

Fuente: (Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW)

Su principal característica es la facilidad de uso, es una herramienta base para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. Los programas son llamados instrumentos virtuales (*VI*s) Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de *VI*s (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos *VI*s con *VI*s ya creados, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

De la misma manera permite la integración con herramientas de programación de otros programas y lenguajes como lo son Matlab, C++, Java etc. Permitiendo de este ser un sistema completo y robusto al momento de implementar aplicaciones de control, adquisición de datos, control de medidas, procesos etc.

Su interfaz consta de dos paneles en los cuales se podrá visualizar las diferentes opciones de creación y diseño de acuerdo a la aplicación a implementar. El primer panel es el *Panel Frontal*, el cual nos permite observar los botones, gráficos, indicadores de medida y de control, pulsadores y muchos más que resultan las herramientas que el usuario va a manipular al momento de ejecutar el programa realizado

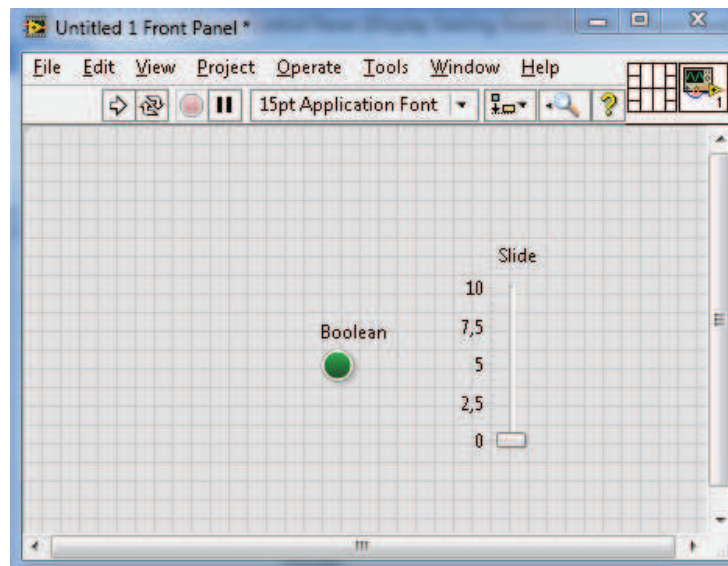


Figura 78. Panel Frontal LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

Y el segundo panel es el *Diagrama de Bloques*, el cual consiste en generar el código que en este caso es de programación de forma gráfica, donde se realizan todos los procesos a los botones o elementos previamente colocados en el panel frontal, cabe señalar que las estructuras que se presentan en este panel son funciones comúnmente

conocidas en los otros lenguajes de programación como lo es el while, if, for, solo con el cambio mencionado que es acostumbrarse a un ambiente gráfico.

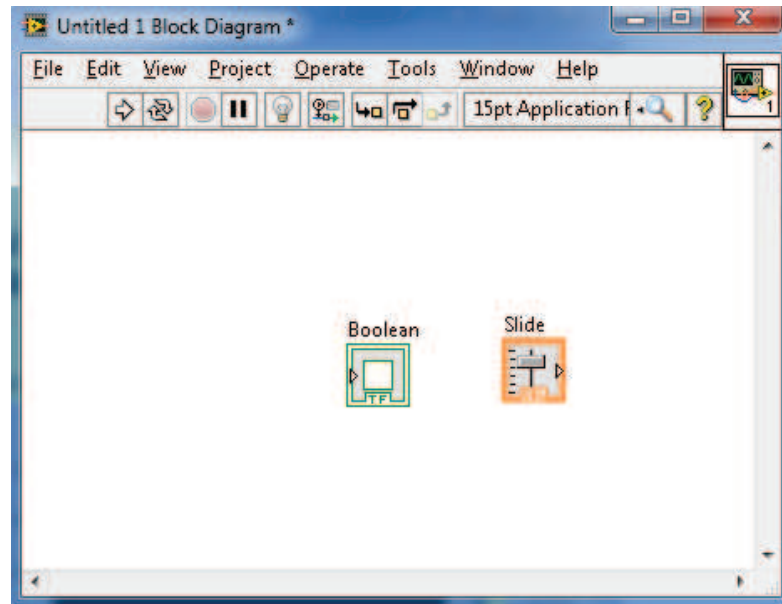


Figura 79. Diagrama de Bloques LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

En cualquiera de los dos paneles al ser agregado un elemento de la paleta de herramientas automáticamente se genera el consecuente del mismo, es decir si se crea un elemento en el panel frontal, se genera su similar en el diagrama de bloques o viceversa.

En la paleta del panel frontal se la conoce como controles y la paleta en el diagrama de bloques como funciones que son las encargadas en la programación.

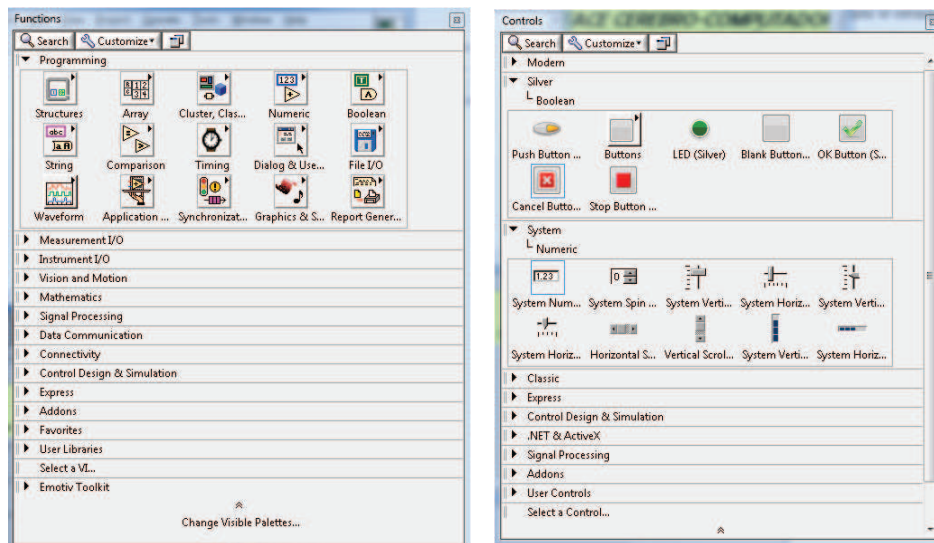


Figura 80. Paleta de funciones y de controles de LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

LabVIEW propiamente cuenta con un toolkit para el dispositivo Emotiv por lo que es necesario descargar este paquete que nos permitirá la instalar y hacer uso de estas herramientas para la implementación del mismo. Para la descarga del mismo es necesario instalar el programa VI package manager.



Figura 81. Logo del Programa VI Package Manager.

Fuente: (JKI, VI Package Manager)

Este programa permite descargar las diferentes librerías que LabVIEW presenta para diferentes aplicaciones y dispositivos permitiendo la utilización de diferentes funciones y herramientas. Una vez instalada se despliega la lista de las diferentes librerías, por lo que se procede a descargar el paquete Emotiv Toolkit. (Beutlich, 2013)

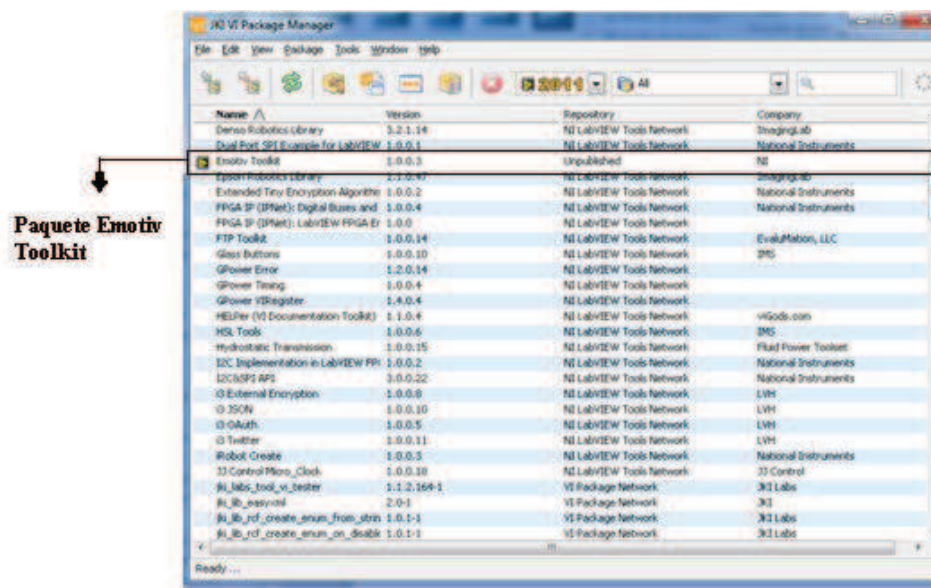


Figura 82. Selección del paquete Emotiv Toolkit.

Fuente: (Elaboración Propia)

Una vez instalado el Emotiv Toolkit se cargan automáticamente las funciones y herramientas en la paleta de controles de LabVIEW para el uso de varias funciones con el dispositivo Emotiv.

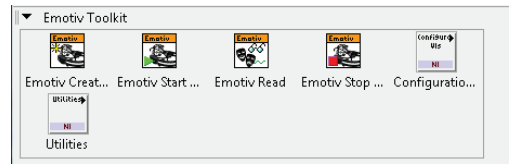


Figura 83. Paleta de funciones del paquete Emotiv Toolkit.

Fuente: (Elaboración Propia)

4.3.2.- Diseño de la implementación en LabVIEW

Los elementos utilizados para el diseño y programación del proyecto a desarrollarse de estos los principales en usarse son los controles como leds y las gráficas que mostraran el momento al cual una señal ha sido detectada y su intensidad con la que fue recibida. El diseño del programa se encuentra dividido en dos partes una será la que trabajara en Modo Expresivo y la otra como adicional la de Modo Cognitivo. En el Modo Expresivo se presentan los cuatro leds que representan los cuatro puntos cardinales los cuales son representados para su respectiva activación al momento de ser detectada la señal.



Figura 84. Representación del Modo Expresivo implementado en LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

En el Modo Expresivo viene acompañado de la gráfica individual para cada punto cardinal que en este caso indicaría cuando es accionado cada punto al momento de ejercer una acción determinada por el dispositivo.

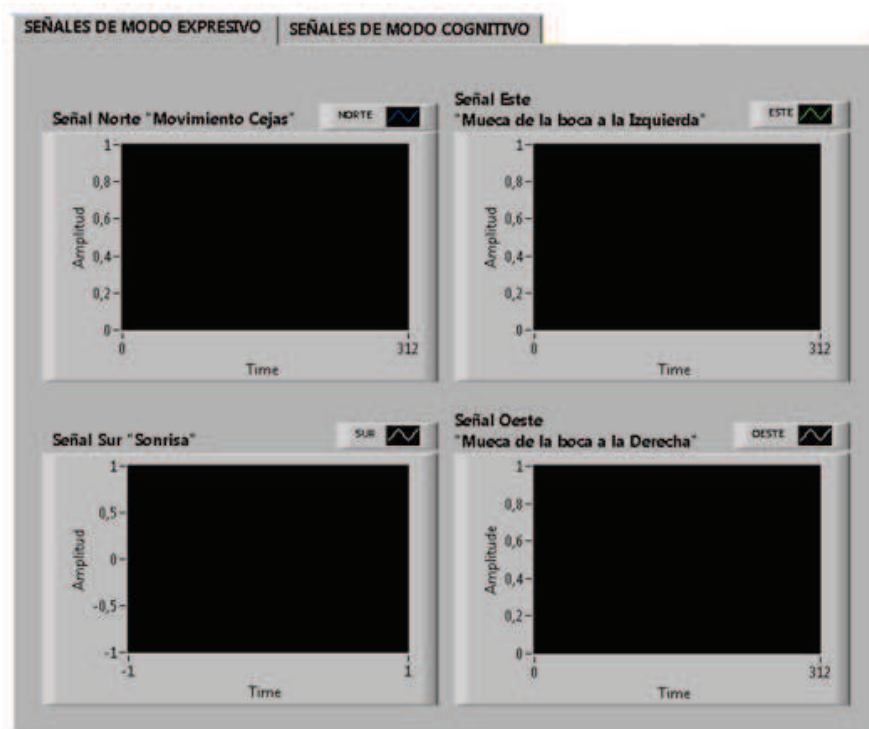


Figura 85. Gráficas de las señales en Modo Expresivo obtenidas en LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

Y para el Modo Cognitivo se presenta de la misma manera la configuración a diferencia que para cada acción es asignada un puntero ya que el accionamiento de esta es diferente al ser una acción puramente pensada y que necesita ser entrenada para su mejor desenvolvimiento y detección.



Figura 86. Representación del Modo Cognitivo implementado en LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

Para la representación de las señales cognitivas estas serán representadas en una sola grafica ya que esta es accionada de acuerdo a la acción pensada previamente entrenada y dependiendo de la intensidad con la que el impulso eléctrico es recibido será graficada.

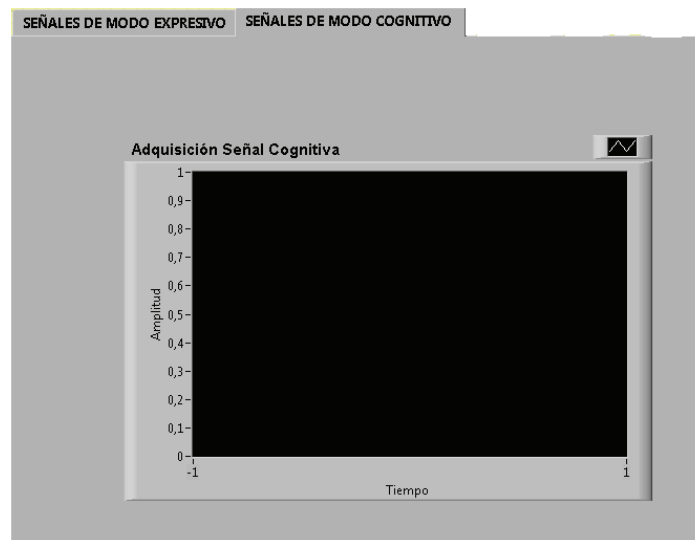


Figura 87. Gráfica de las señales en Modo Cognitivo obtenidas en LabVIEW.

Fuente: (Elaboración Propia)

Y para finalizar se requiere de una parte de control y verificación de conexión la cual nos permite verificar si la conexión con LabVIEW con el dispositivo se realizó con éxito o si se genera algún error con la conexión entre sí, de la misma forma poder realizar el paro de funcionamiento más conocido como un *STOP*, al realizarlo de una manera forzada, el programa genera un error por lo que es necesario la colocación de un botón STOP que ayuda a detener el programa sin presentarse un error a un cierre forzado y que al momento de ejecutarlo nuevamente se conecte sin ningún error y sea de manera rápida.

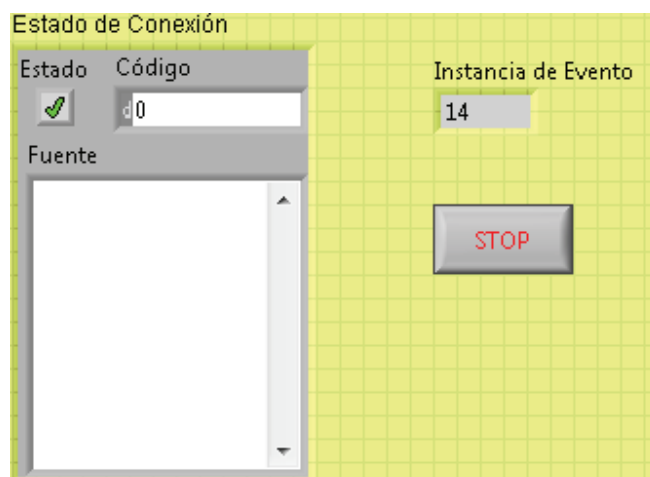


Figura 88. Elementos de control de conexión y STOP del sistema implementado.

Fuente: (Elaboración Propia)

Una vez realizado el diseño en el panel frontal se procede a la configuración y diseño en el diagrama de bloques, haciendo uso de las respectivas funciones, que van a ser necesarias para su ejecución el diseño queda de la siguiente manera como se lo puede observar en la figura

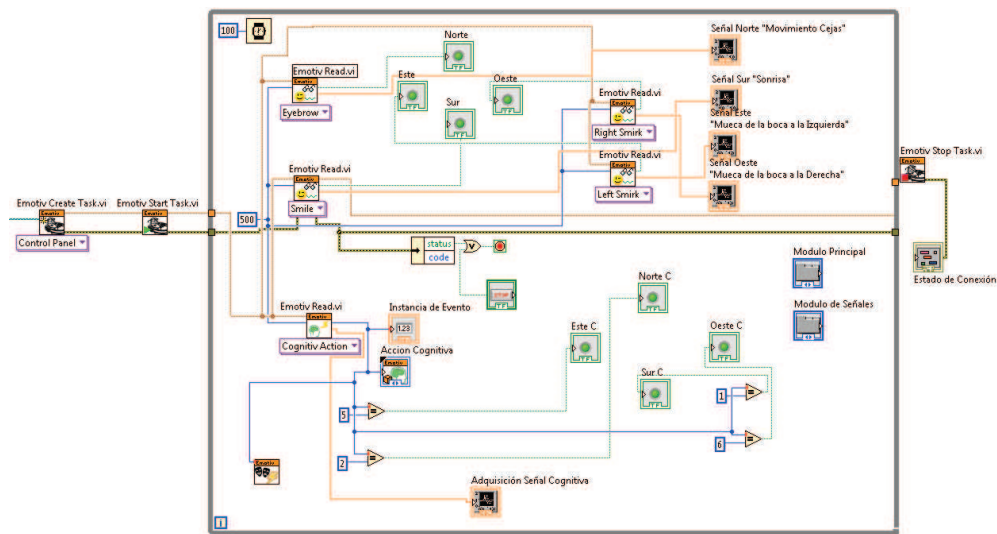


Figura 89. Diseño del Diagrama de Bloques del sistema implementado.

Fuente: (Elaboración Propia)

En la detección de las señales podemos observar que el uso de los diferentes componentes como en la adquisición de las mismas son procesadas para ser representadas en los dos modos tanto el Expresivo como el Cognitivo.

4.4.- Desarrollo e implementación de Hardware

Posteriormente al diseño del sistema realizado en LabVIEW realizamos la implementación en una placa electrónica lo cual se podrá apreciar el encendido de los diferentes leds en los cuatro puntos cardinales, en el proceso se procede al uso del puerto serial por el cual se van a transmitir los datos obtenidos al computador y posteriormente a la placa para su respectivo funcionamiento.

Para el manejo de datos a la placa electrónica necesitamos del uso de la librería VISA (*Virtual Instrument Software Architecture*), la cual permite a la comunicación I/O (Entrada/Salida), esta es una API de instrumentación serial que permite la comunicación USB con un microcontrolador lo que facilita el envío y recepción de datos de una manera mucho más sencilla.

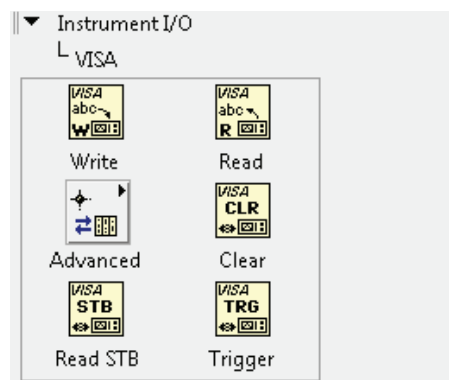


Figura 90. Funciones del paquete VISA.

Fuente: (Elaboración Propia)

Previo al uso de las librerías VISA es necesario instalar el paquete de la misma ya que es necesario de la instalación de los diferentes drivers que permiten la comunicación serial.

Previamente instalado y en ejecución de la herramienta Visa se genera la programación del envío de las señales adquiridas por medio del puerto serial para la observación del sistema en funcionamiento.

En el diseño las herramientas a utilizar de la librería VISA que se necesita son las funciones *Open* que permite abrir el puerto para la comunicación, *Close* que se encarga en cerrar la sesión o evento iniciado en la comunicación, *Write From File* que es el encargado de adquirir los datos de la interfaz especificada que posteriormente será enviada al microcontrolador con la señal a transmitir y configurada en la misma y por último el *Configure Port Serial* que es el que permite la configuración propiamente del puerto para que funcione de la manera adecuada.

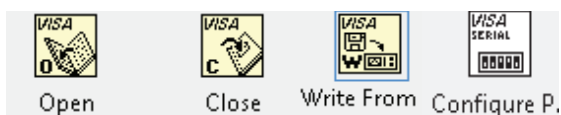


Figura 91. Funciones para la configuración en la comunicación del puerto serial.

Fuente: (Elaboración Propia)

En el diseño final es necesario generar los dos Modos que se explicaron con anterioridad para la detección individual al momento de ser transmitidas por el puerto serial a la placa electrónica y que puedan ser reconocidas las señales de acuerdo al Modo en ejecución. .

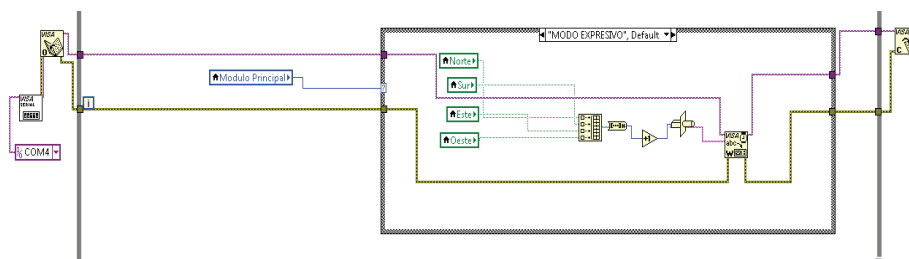


Figura 92. Diseño de la transmisión serial para el Modo Expresivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

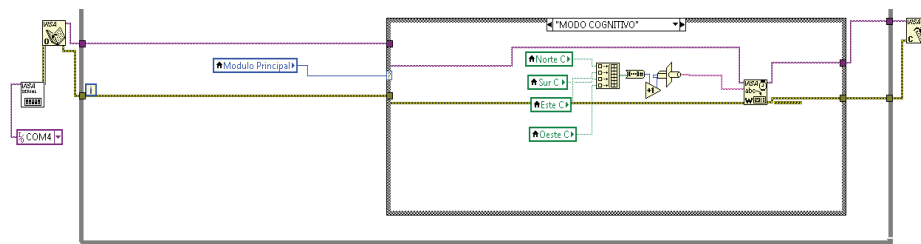


Figura 93. Diseño de la transmisión serial para el Modo Cognitivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

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

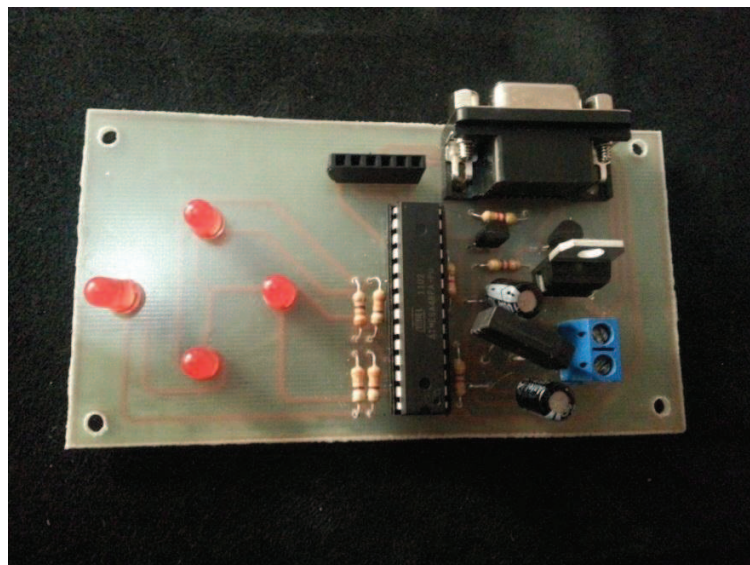


Figura 94. Placa electrónica implementada.

Fuente: (Elaboración Propia)

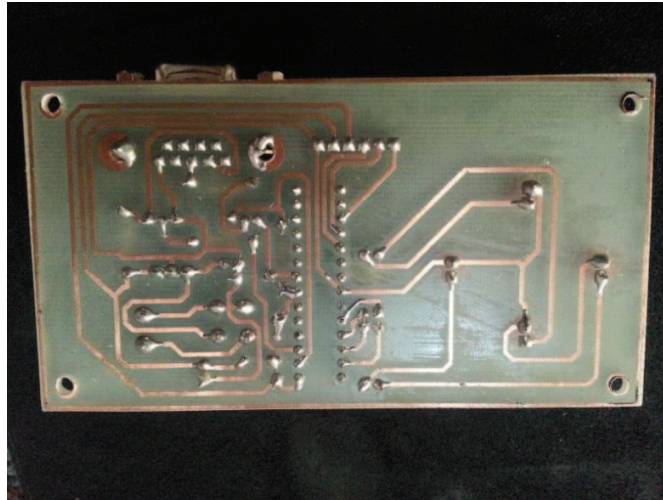


Figura 95. Placa electrónica en su parte posterior.

Fuente: (Elaboración Propia)

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1.- Pruebas del Dispositivo

Para el adecuado uso del dispositivo se debe tomar en cuenta que se analizará el correcto funcionamiento las pruebas al mismo en tres aspectos, como lo es en la transmisión y recepción de las señales al computador, la siguiente su eficiencia del sistema con la interfaz en LabVIEW puesto en ejecución y por ultimo las pruebas de funcionamiento del sistema completo.

5.1.1.- Pruebas de Transmisión y Recepción de las señales EEG hacia el computador.

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.

Se realizó pruebas para constatar que la conectividad fue la mejor y la más adecuada para la detección de las señales.


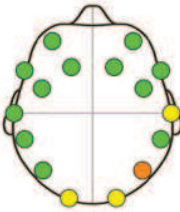

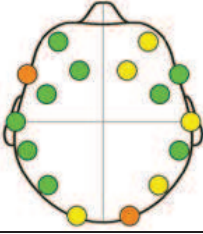

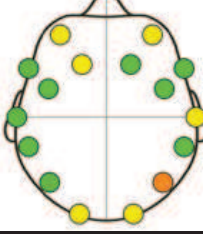
	Estado del Dispositivo	Conectividad	Calidad porcentual de Conexión
Primera Prueba de Comunicación			91.25 %
Segunda Prueba de Comunicación			85 %
Tercera Prueba de Comunicación			83.75%

Tabla 3. Pruebas de conectividad y transmisión del dispositivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

Con las pruebas obtenidas de conexión se observa que el promedio de las mismas es aceptable para poder realizar la transmisión y de la misma manera su señal con respecto a la calidad de la comunicación wireless para el envío sin ningún ruido o interferencia.

De la misma manera se realiza el entrenamiento y configuración para el Modo Cognitivo. Hay que tomar en cuenta que el reconocimiento en este Modo su grado de complejidad es alto debido a que se lo realiza con las cuatro señales que son representados con cada uno de los puntos cardinales siendo un modo que propiamente en el interfaz nos considera solo para usuarios expertos.


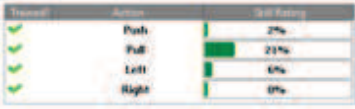

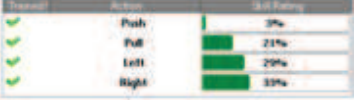

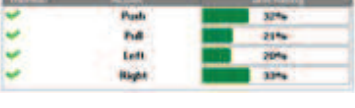
	Activación y Reconocimiento general de las acciones de control	Entrenamiento de las cuatro acciones con su respectiva evolución	Análisis de los datos
Primera Prueba de Entrenamiento y Detección			Con claridad la señal que representa el Sur presenta mejor resultado.
Segunda Prueba de Entrenamiento y Detección			Las señales que representan el Sur, Oeste y Este, presentan una evolución en su reconocimiento con respecto a la del Norte.
Tercera Prueba de Entrenamiento y Detección			Todas las señales involucradas presentan una evolución equilibrada y moderada que es primordial para una mejor respuesta.

Tabla 4. Tabla de comparación de entrenamiento en la detección de las señales.

Fuente: (Elaboración Propia)

5.1.2.- Pruebas de eficiencia para determinar la ejecución y su interacción con la interfaz puesta en marcha.

Una vez realizada las pruebas de conexión con el computador y de la misma manera con su respectiva configuración son las adecuadas se procede al análisis con el sistema implementado en LabVIEW para poder apreciar el funcionamiento del sistema y la adquisición de datos que en este caso son las señales cerebrales, las cuales son configuradas de acuerdo al Modo de reconocimiento mencionado como lo es el Expresivo o el Cognitivo.

Ejecutando el programa desarrollado en LabVIEW se procede conocer los datos enviados que representan las señales cerebrales, en este caso comenzando con el Modo Expresivo, donde las señales configuradas para los cuatro puntos cardinales se las efectúa siendo reconocidas por el sistema de una manera correcta

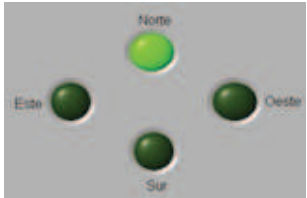
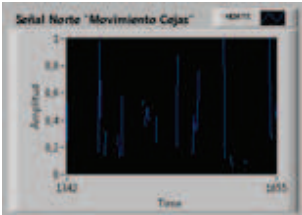
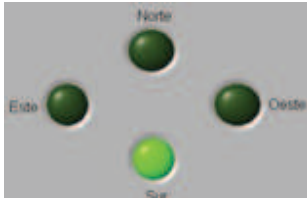
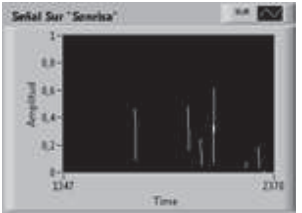
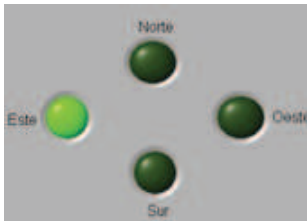
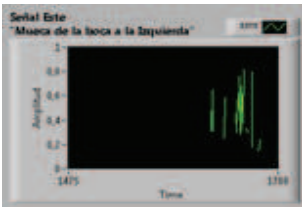
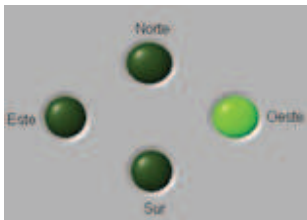
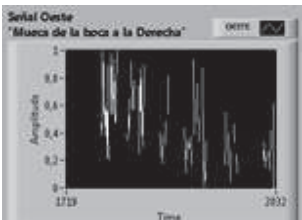
	Acción ejecutada	Gráfica de la señal adquirida	Datos de la Gráfica
Punto Norte “Movimiento de las cejas”			Los impulsos para su reconocimiento o son de mayor duración siendo su detección instantánea y precisa.
Punto Sur “Sonrisa”			Los impulsos son menos frecuentes y de una duración inferior siendo su detección un poco difícil pero funcional.
Punto Este “Mueca de la boca a la izquierda”			Los impulsos son cortos pero de una duración promedio siendo su detección efectiva pero con periodos de tiempo no muy largos.
Punto Oeste “Mueca de la boca a la Derecha”			Los impulsos se presentan de forma regular y con una duración larga siendo su detección instantánea y precisa.

Tabla 5. Relación de acciones ejecutadas en Modo Expresivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

Posteriormente se lo realiza aplicando el Modo Cognitivo a las pruebas realizadas con el sistema implementado.

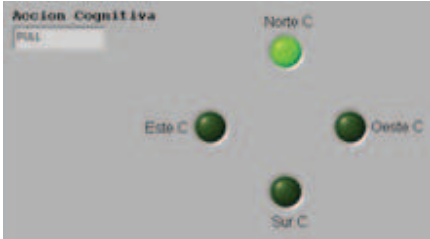
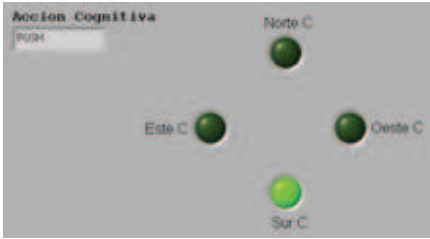
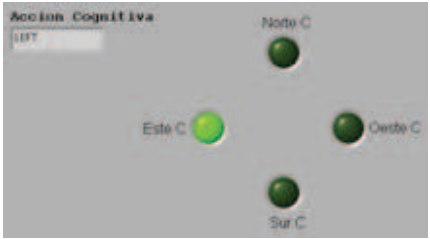
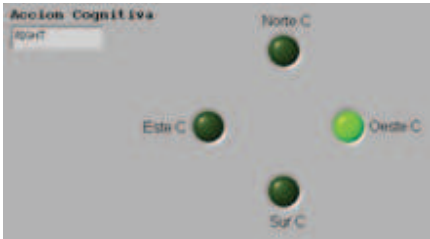
	Acción Ejecutada	Datos de la Gráfica
Acción Cognitiva de Empujar		Esta acción cognitiva se lo entreno previamente pero siempre existirá su grado de dificultad
Acción Cognitiva de Jalar		Esta acción como la que representa el Norte, presentan un grado de reconocimiento mayor que las demás siendo reconocidas con mayor rapidez que las demás.
Acción Cognitiva de Mover a la Izquierda		Esta acción genera un grado de dificultad mayor así haya sido el entrenamiento adecuado.
Acción Cognitiva de Mover a la Derecha		Esta acción al igual que la que representa el punto Oeste presenta dificultad y su reconocimiento a veces no es el adecuado como se lo espera.

Tabla 6. Relación de acciones ejecutadas en Modo Cognitivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

En la detección de las señales con la interfaz realizada en LabVIEW se realiza y presenta los parámetros con los cuales fue diseñado pero vale mencionar que el programa al encontrarse en ejecución y si se lo requiere detenerlo debemos presionar el botón STOP, porque caso contrario genera problemas en el reconocimiento de los datos enviados.

5.1.3.- Pruebas de funcionamiento del sistema completo e implementado.

Finalmente como parte final del proyecto constatar el correcto funcionamiento con la placa electrónica conectada e implementada es la prueba a realizar, por lo que instalado los drivers necesarios para la comunicación serial se realiza la conexión y la ejecución de las acciones que representan los diferentes puntos cardinales.

En la placa se puede observar que de acuerdo al modo en el cual se encuentra activado en LabVIEW sea el Expresivo o Cognitivo, la acción ejecutada se la observara dependiendo del modo que ha sido elegido evitando que se activen los dos modos simultáneamente.

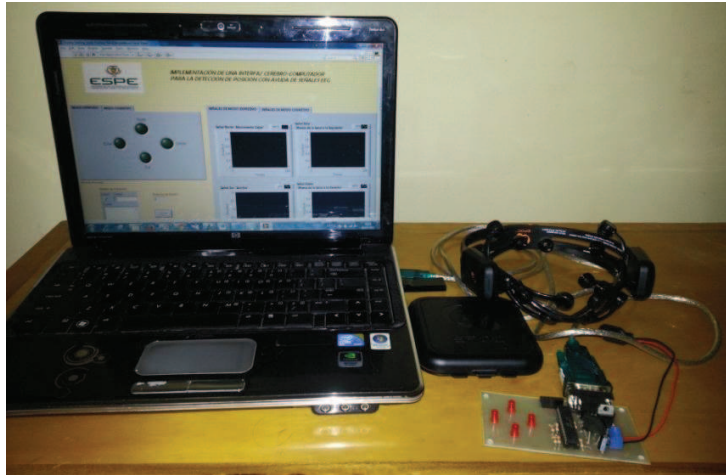


Figura 96. Elementos necesarios para la ejecución del Sistema.

Fuente: (Elaboración Propia)

Para ello con todos los elementos necesarios para su funcionamiento conectamos y así se ejecuta el programa para que todo el sistema implementado funcione correctamente de acuerdo a los parametros previamente explicados. Para lo cual se lo prueba según los dos modos implementados tanto como lo es el expresivo y el cognitivo.

De esta manera empezando por el modo expresivo la primera prueba es realizar el levantamiento de cejas para representar la dirección Norte como se lo ve en la siguiente figura.

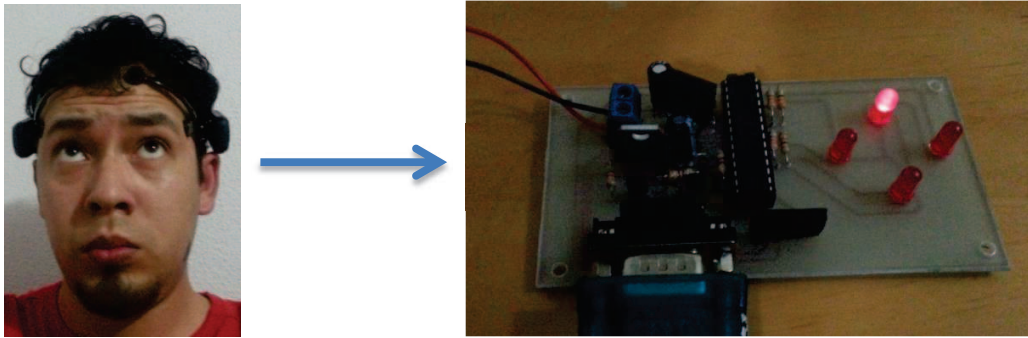


Figura 97. Ejecución de la señal que representa la dirección Norte.

Fuente: (Elaboración Propia)

Como segunda prueba constatar la muesa al lado izquierdo para representar la dirección al sentido Este.

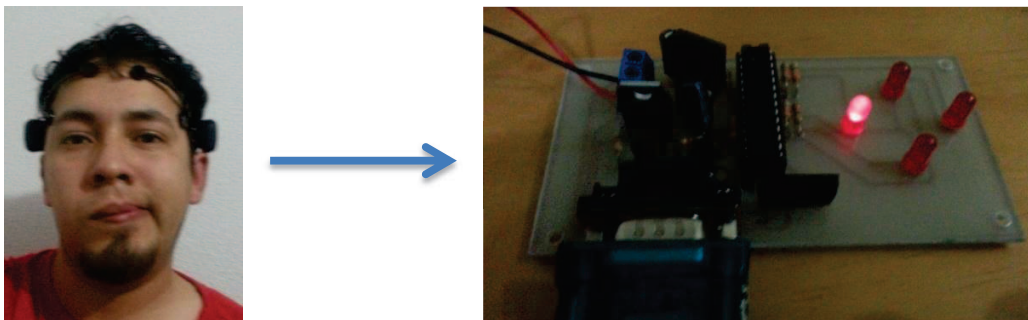


Figura 98. Ejecución de la señal que representa la dirección Este.

Fuente: (Elaboración Propia)

Tercera prueba constatar que la muesa al lado derecho para representar la dirección en sentido Oeste.

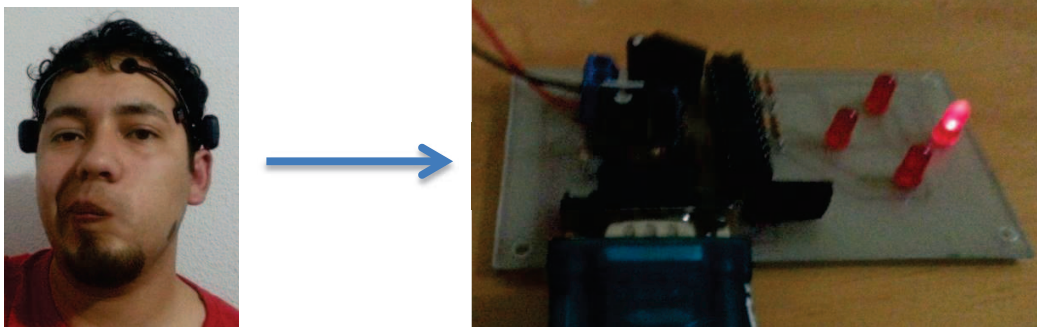


Figura 99. Ejecución de la señal que representa la dirección Oeste.

Fuente: (Elaboración Propia)

Cuarta prueba constatar que al realizar la acción de sonreír o realizar una sonrisa represente la dirección en sentido Sur.

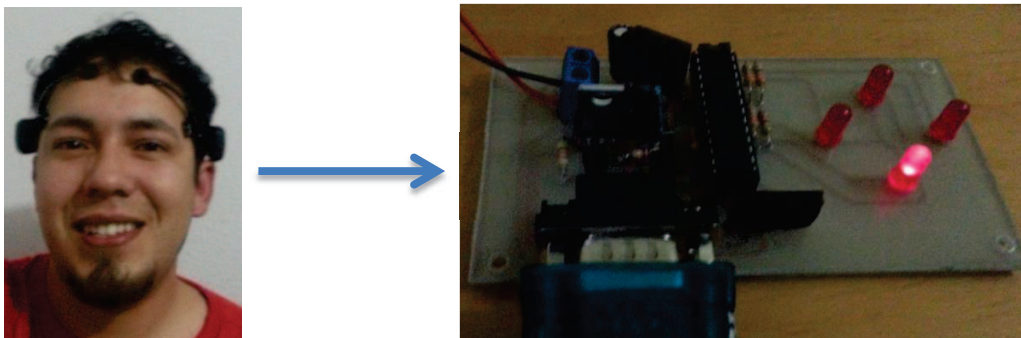


Figura 100. Ejecución de la señal que representa la dirección Sur.

Fuente: (Elaboración Propia)

Y como última prueba es realizar la ejecución del Sistema en el modo cognitivo para lo cual la acción dependerá de lo entrenado y por ende todo se basa en la concentración y tratar de accionar la dirección deseado en base al pensamiento, esta parte presenta un grado de dificultad elevado por lo que depende del usuario y su evolución, con el tiempo se puede mejorar y poder dominar este modo.

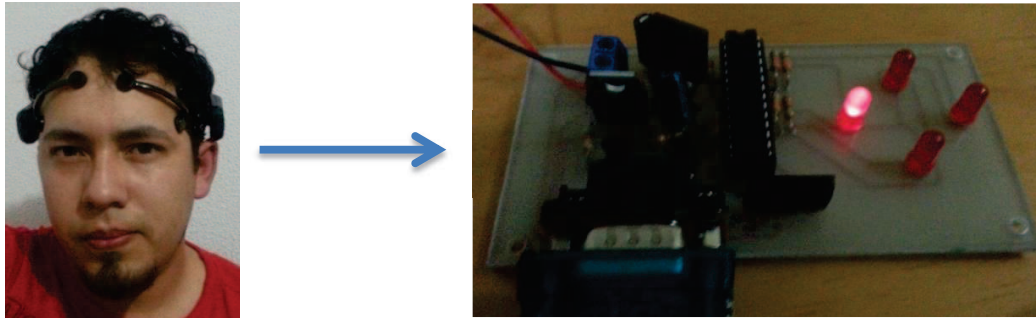


Figura 101. Ejecución en el Modo Cognitivo dependerá de la acción pensada.

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.- Análisis de Resultados

Realizadas las pruebas se puede realizar el respectivo análisis de resultados para las posteriores conclusiones que se debería tomar en el proyecto completamente realizado en su implementación.

5.2.1.- Análisis del funcionamiento del dispositivo en los distintos modos de operación dependiendo del usuario y su estado anímico para la obtención de las señales EEG.

El análisis del dispositivo en los distintos modos de operación se puede analizar como es el estado animico y emocional de la persona por lo que se lo determinara de acuerdo con tres pruebas realizadas para identificar cuales son sus cambios o.diferencias frente a estos estados

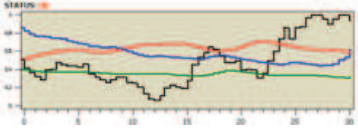
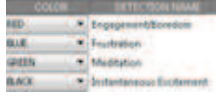
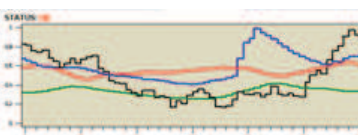
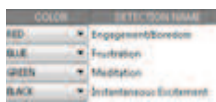
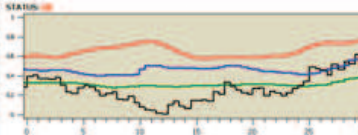
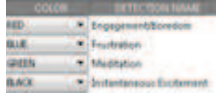
	Gráfica de las distintas emociones	Identificación de colores	Análisis de la gráfica
Primera Prueba de Evaluación			Los niveles de compromiso y meditación son estables. En el de excitación se presenta un aumento y en el de frustración disminuye.
Segunda Prueba de Evaluación			Los niveles de compromiso y meditación son casi estables. En el de excitación se presenta una disminución y en el de frustración existe un pico de un aumento y su respectiva disminución.
Tercera Prueba de Evaluación			Los niveles de frustración y meditación son estables. En el de compromiso se presenta un mínimo aumento y en el de excitación un ligero aumento.

Tabla 7. Análisis de las señales de acuerdo al estado emocional del usuario.

Fuente: (Elaboración Propia)

El estado tranquilo y equilibrado de las distintas emociones facilita la transmisión y detección de las diferentes señales enviadas permitiendo una mejor meditación y concentración al momento de su entrenamiento.

El entrenamiento realizado para cada acción es necesario para la manipulación de cada una de estas y de acuerdo al usuario que lo encuentra utilizando, esto se debe a que las señales y reconocimiento de las mismas pueden variar y se puede hacer uso de las herramientas de detección como lo es al variar la sensibilidad ayudando a que se realice una mejor implementación del sistema.

Para el entrenamiento se lo considera en los dos Modos de reconocimiento tanto el Modo Expresivo como el Modo Cognitivo. A continuación con la siguiente tabla se puede apreciar la configuración al realizar el Modo Expresivo para las pruebas de detección.

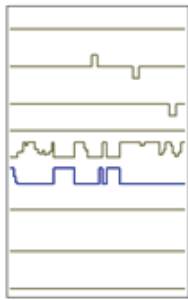



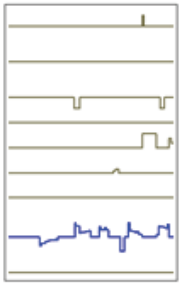

	Desarrollo de las señales Expresivas	Configuración de la sensibilidad	Análisis de Resultados
Primera Prueba de Entrenamiento y Detección			La sensibilidad para la detección de la sonrisa se la incremento para un mejor reconocimiento de la misma.
Segunda Prueba de Entrenamiento y Detección			Se modificó la sensibilidad en el levantamiento de las cejas para una respuesta mucho más rápida.
Tercera Prueba de Entrenamiento y Detección			Se modificó la sensibilidad en la muela izquierda de la boca y un cambio mínimo en la derecha al igual al de la sonrisa.

Tabla 8. Análisis de las señales entrenadas y ajustadas para el modo expresivo.

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.2.- Análisis de las señales obtenidas por el dispositivo

El análisis de las señales es la respuesta a la ejecución de todas las acciones que se propuso emplear y de acuerdo a estas obtener los tipos de las señales EEG y como se presentan tomando en cuenta al Sistema 10-20, de esta manera conocer como cada sensor detecta cada señal individualmente.

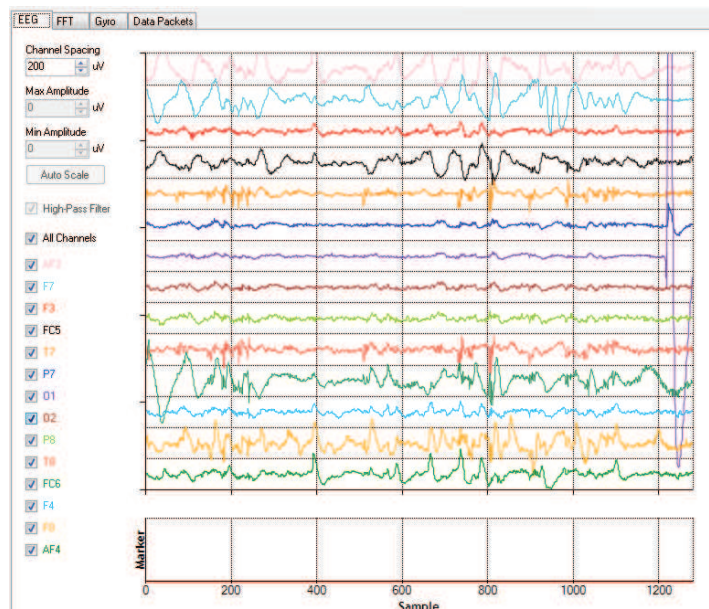


Figura 102. Gráfica general de las señales EEG de acuerdo al Sistema 10-20.

Fuente: (Elaboración Propia)

Apreciar cada punto del diagrama y como es su respuesta en función de los diferentes tipos de señales es extenso y representan todos los puntos los cuales los sensores se encuentran colocados, por lo que se escogió varios puntos aleatorios e identificando su ubicación.

El primero que observamos es el *T7* que en este caso representa a la posición Temporal Izquierdo de la cabeza y en la gráfica que se encuentra a continuación se puede constatar que existe una disminución de esta señal con respecto a su relación magnitud vs tiempo. De la misma manera una comparación de los tipos de ondas cerebrales presentes en esta posición se verifica claramente que el ritmo Delta es el que se encuentra de manera predominante con un valor de cuatro en una escala del uno al diez, seguido por el ritmo Theta con un valor aproximado de uno y los ritmos Alfa y Beta con un valor nulo aproximadamente.

Se debe tomar en cuenta que para todos los análisis respectivos de los tipos de ondas cerebrales la escala de voltaje en este caso *Power* varía de acuerdo al ritmo y todos están en una escala igual, para este caso tener una referencia más clara es recomendable observar los datos de la tabla 1 para tener una idea más clara los valores de voltaje que implica cada uno de los ritmos.

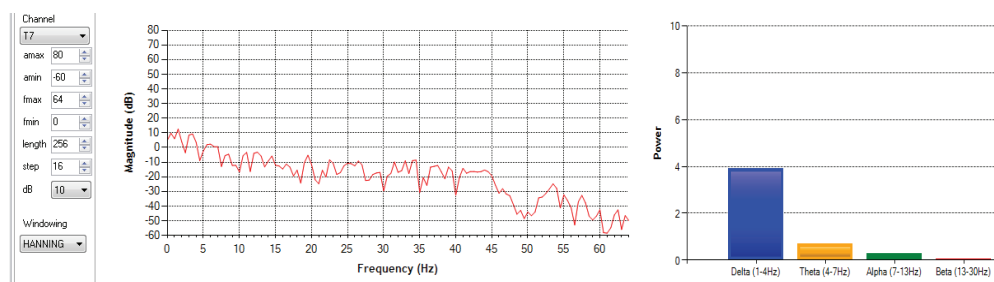


Figura 103. Análisis de la señal en la posición Temporal Izquierda de la cabeza.

Fuente: (Elaboración Propia)

El segundo que observamos es el *F4* que en este caso representa a la posición Frontal Derecha de la cabeza y en la gráfica que se encuentra a continuación se puede constatar que existe de la misma manera una disminución de esta señal con respecto a su relación magnitud vs tiempo. Así mismo una comparación de los tipos de ondas cerebrales presentes en este se observa que el ritmo Delta está en su punto más alto considerando un diez, en una escala del uno al diez seguido del ritmo Theta con un valor de tres, el ritmo Alfa con un valor de uno y el ritmo Beta presenta un valor inferior a uno.

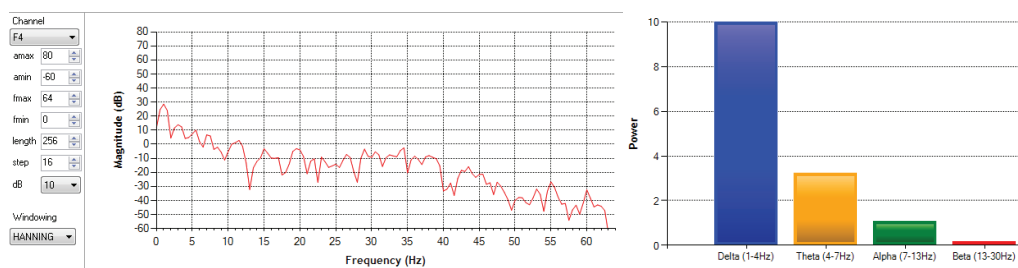


Figura 104. Análisis de la señal en la posición Frontal Derecha de la cabeza.

Fuente: (Elaboración Propia)

El tercero y último que observamos es el *AF3* que en este caso representa a la posición Frontal Izquierda Media de la cabeza y en la gráfica que se encuentra a continuación se puede constatar que existe de la misma manera una disminución de esta señal con respecto a su relación magnitud vs tiempo. De la misma manera comparando los tipos de ondas cerebrales presentes en este se observa que el ritmo Delta está en su punto más alto considerando un diez, en una escala del uno al diez

seguido del ritmo Theta con un valor aproximado de nueve, el ritmo Alfa con un valor que se aproxima a dos y el ritmo Beta presenta un valor menor a uno.

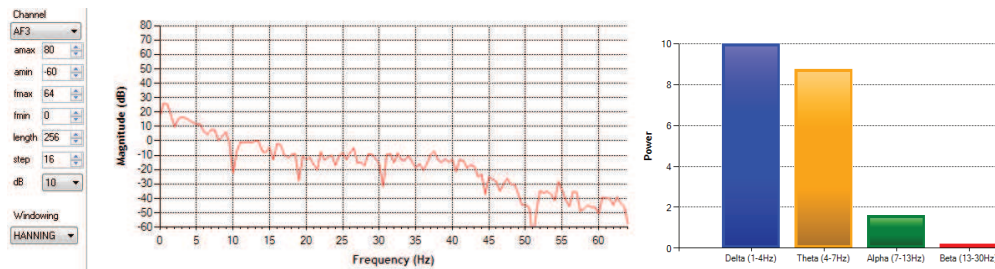


Figura 105. Análisis de la señal en la posición Frontal Izquierda Media de la cabeza.

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2.3.- Análisis del Sistema Implementado.

El Sistema completamente funcionando dependerá de la calidad que tenga la comunicación entre el computador y el dispositivo, de la misma manera de los procedimientos seguidos adecuadamente para la conexión como lo es el correcto mantenimiento de los sensores para que así el sistema responda de mejor manera frente a las acciones realizadas por el usuario y poder percibir los sentidos que son ejecutados dependiendo del modo de reconocimiento en el que se esté utilizando.

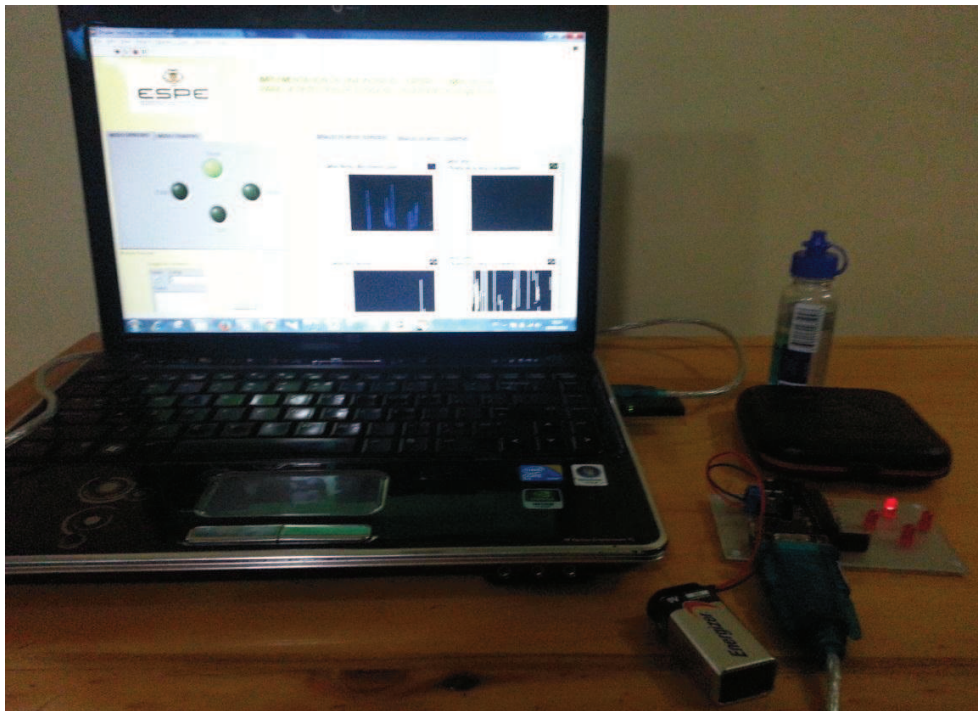


Figura 106. Sistema implementado en Ejecución.

Fuente: (Elaboración Propia)

El sistema da los resultados planteados frente a las acciones realizadas en todas las pruebas dando constancia del trabajo realizado.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- 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.
- Identificar los diversos equipos presentes en la actualidad y sus diferentes funcionalidades en el desarrollo de una aplicación tanto como en el campo médico o en el campo de ingeniería, son de suma importancia ya que un avalúo en sus costos, fácil manipulación, extracción de datos EEG y más son fundamentales para una posterior implementación.
- 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 de manera correcta ayudan a un buen acoplamiento al momento del registro de las señales obteniendo como resultado una calidad muy superior.
- Se puede concluir que el entrenamiento en base a una aplicación definida en el modo cognitivo es primordial para la consecución del mismo, debido que acoplar las diferentes señales a un patrón general es muy complicado por lo que cada persona reacciona de una diferentes manera y es primordial que se acople a su propio estado y reacción para poder manipular las diferentes señales EEG.
- Se verifico que el entrenamiento en el modo expresivo de la misma manera que el cognitivo es importante aunque el grado de complejidad es menor ya que el patrón en movimientos faciales es más fácil de captar ya que el mover un ojo, sonreír, hacer un guiño son similares a cualquier persona siendo una señal redundante y mucho más fácil de captar, lo único que se debe tener en cuenta es la sensibilidad con la que cada persona la tiene que acoplar para un mejor desempeño.

- Investigar los diferentes lenguajes de programación previo a una aplicación a desarrollar ayudo a seleccionar el más indicado ya que otros programas como lo es Java, Matlab también son de utilidad pero la falta de información implica en la utilización de los mismos.
- Utilizar el SDK que viene incluido con el dispositivo es una ayuda en la manipulación y la adquisición de las señales ya que le permite al usuario tener un registro detallado de cómo se obtienen y se presentan las señales dependiendo al modo en el cual se encuentre como lo puede ser el expresivo, el cognitivo o a su vez el afectivo.
- Se concluyó que al 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.
- Se llegó a comparar las diferentes pruebas realizadas para constatar que la calidad y la eficiencia de la comunicación sea la adecuada para un correcto funcionamiento, eso sí tomando en cuenta que la conexión USB serial implicada un envió adicional de los datos que van a ser reconocidos y posteriormente identificados en la placa electrónica que consta del

microcontrolador que será el encargado en codificar la señal para activar el respectivo led.

- El trabajar con el dispositivo por un periodo largo de tiempo, ocasiona dolores de cabeza ya que al trabajar con las señales cerebrales se requiere de una concentración y trabajo mental un poco más alto, por lo que es recomendable el descanso en periodos de tiempo para evitar malestares en trabajo continuo.
- Transmitir las señales a la placa electrónica implementada fue un medio de transmisión fiable al utilizar la conexión serial evitando que se pierdan datos y en este sistema implementado funciono correctamente.
- 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 explotemos todo el potencial aún desconocido que poseemos los seres humanos en nuestro cerebro y sea una nueva puerta al desarrollo que vendrá en el futuro.

6.2.- RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta el mantenimiento y cuidado respectivo del dispositivo ya que sus elementos y partes son de plástico la manipulación del mismo implica el desgaste en este caso como lo es de los sensores al momento de colocarlos al momento de ser usado y retirarlos respectivamente al momento de guardarlos.
- La colocación de la solución salina en las almohadillas de los sensores es importante ya que si se lo olvida o descuida los electrodos tienden a sulfatarse y deteriorarse con mayor facilidad.
- La colocación adecuada de todos los sensores en el cuero cabelludo ayuda a tener una mejor calidad de la señal y por consecuencia obtener mejores resultados al momento de la comunicación.
- Al momento de agotarse la batería del dispositivo es necesario colocarlo a cargar un promedio de dos horas y durante la carga no es recomendable utilizarlo ya que no puede funcionar como es debido y puede presentar problemas.
- La configuración en el modo expresivo debe ser la adecuada de acuerdo al usuario que la va a utilizar debido a que la sensibilidad y la ejecución de cada

persona es diferente, siendo así primordial verificar si toca realizar un ajuste previo para la adquisición correcta de las señales EEG al momento de realizar los gestos faciales.

- Se debe verificar la ubicación correcta del archivo edk.dll que se genera al momento de instalar el SDK del dispositivo Emotiv, debido a que este es necesario para la conexión entre el dispositivo con la interfaz desarrollada en LabVIEW y poder realizar la adquisición de las señales cerebrales sin generarse ningún error al ejecutarse el programa implementado en LabVIEW.
- La correcta instalación de los drivers para la comunicación USB serial es primordial para poder realizar la transmisión hacia la placa electrónica debido que el envío de información hacia el microcontrolador depende de esta comunicación.
- Para un desarrollo futuro la creación de dispositivos que trabajen con las señales EEG debería ser prescindible el conseguir y fabricar un prototipo más resistente, ergonómico, de fácil colocación y si es posible que conste de sensores fijos que eviten la manipulación de los mismos ya que su deterioro es más evidente al tenerlos que colocar y retirar constantemente.

BIBLIOGRAFÍA

- Ana Silva, J. B. (Mayo de 1998). *Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de Lisboa*. Obtenido de <http://kdataserv.fis.fc.ul.pt/~jbatista/biofisica/potenciais/potenciais.htm>
- Angevin, R. R. (2004). *Problemática de las Interfaces Cerebro-Computador*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Angevin, R. R. (2005). *Retroalimentación en el Entrenamiento de una Interfaz Cerebro Computadora usando técnicas basadas en Realidad Virtual*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Becedas, J. (2012). Brain–Machine Interfaces: Basis and Advances. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 826-830.
- Beltramone, D. (2010). *Electroencefalografía EEG*. Córdoba: Universidad Católica de Córdoba.
- Beutlich, E. (09 de Febrero de 2013). *LabView Emotiv Epoc Interface*. Obtenido de https://www.labviewhacker.com/doku.php?id=projects:lv_epoc_interface:lv_epoc_interface
- Biosemi*. (1998). Obtenido de <http://www.biosemi.com/>
- Ekanayake, H. (25 de Diciembre de 2010). *Research Use of Emotiv EPOC*. Obtenido de <http://neurofeedback.visaduma.info/emotivresearch.htm>
- Elaboración Propia. (s.f.). *Internet*.
- Elaboración Propia. (s.f.). Recopilación de información y capturas en la instalación de software utilizado.
- Emotiv Systems*. (2009). Recuperado el 2013, de <http://emotiv.com/>
- Emotiv Systems*. (2012). Recuperado el 2013, de <http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>
- Francisco Perales, M. J. (2010). Interfaces avanzadas Brain Computer Interface (BCI). *Jornadas BCI*. Mallorca.

- g.tec medical engineering*. (s.f.). Obtenido de Technologies, Guger:
<http://www.gtec.at/Products/Complete-Solutions/intendiX-Specs-Features>
- Gomez, D. (30 de Octubre de 2012). *Mediciencia*. Obtenido de
<http://www.mediciencia.com/como-se-leen-las-ondas-cerebrales/>
- González, A. R. (2013). Implementación de métodos de procesamiento de señales EEG para aplicaciones de comunicación y control. *ECIPerú*. Obtenido de • Román González Avid, “Implementación de métodos de procesamiento de señales EEG para aplicaciones de comunicación y control”, Revista ECIPerú, Vol. 10, Octubre 2013.
- iNForum*. (s.f.). Obtenido de <http://inforum.artforum.sk/spravy/literatura/72dddf/citaj-beletriu-bud-lepsim-clovekom>
- Interactive Productline ip*. (2006). Obtenido de <http://www.mindball.se/whatwedo.html>
- JKI, VI Package Manager*. (s.f.). Obtenido de <http://jki.net/vipm>
- Merchán, D. G. (15 de Diciembre de 2008). *La Cofa*. Recuperado el 2013, de
<http://www.lacofa.es/index.php/general/introduccion-a-los-sistemas-brain-computer-interface>
- Monge, S. (10 de Junio de 2009). *Neuromarca*. Obtenido de
<http://neuromarca.com/blog/emsense/>
- Montalvo, M. (s.f.). *Estado del Arte: Interfaces Cerebro Computadora*. Obtenido de
<http://www.monografias.com/trabajos99/estado-del-arte-interfaces-cerebro-computadora/estado-del-arte-interfaces-cerebro-computadora.sht>
- Neuroelectrics*. (s.f.). Obtenido de <http://www.neuroelectrics.com/enobio>
- Neurogadget*. (17 de Abril de 2011).
- NEUROSKY*. (s.f.). Obtenido de <http://neurosky.com/products-markets/eeg-biosensors/hardware/>
- Niels Birbaumer, L. C. (15 de Marzo de 2007). *The Journal of Physiology*. Obtenido de
<http://jp.physoc.org/content/579/3/621.full>
- Nijholt Anton. (2010). Human-Computer Interaction for BCI Games. *International Conference on Cyberworlds*. Ámsterdam.

- Peñavera, L. (20 de Julio de 2011). *Electroencefalograma y Sistema 10-20*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/60413545/ELECTROENCEFALOGRAMA-Y-SISTEMA-10-20>
- Roberto Hornero, R. C. (2012). Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo. *Lychnos* , 29-34.
- Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW*. (s.f.). Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>
- Stolfi, D. (2010). *Proyectos de Investigación (CoMVeT)*. Obtenido de <http://www.danielstolfi.com/comvet/>
- 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-iinvasiva.html>