

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**“CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA
INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR A
PARTIR DE UNA DE BAJO COSTE
(EMOTIV EPOC)”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Octubre-2014

Autor: Francisco Javier Muñoz Sánchez

Directores: Dr. Julio José Ibarrola Lacalle

Dr. José Manuel Cano Izquierdo

Índice general

Introducción y objetivos	1
1.1. Objetivos del proyecto	1
1.2. Conceptos previos	2
1.2.1. Electroencefalografía	2
1.2.2. Estudio y anatomía del encéfalo	3
1.2.3. Las neuronas.....	5
1.2.4. Principio técnico de adquisición de potenciales.	7
1.2.5. Posicionamiento de los electrodos.....	10
1.2.6. Diferentes tipos de señales EEG.	11
1.2.7. Artefactos.	13
Interfaz Cerebro-Computador.	15
2.1. Interfaz Cerebro-Computador genérica.....	15
2.1.1. Hardware.....	15
2.1.2. Software.	19
2.2. Sistema Emotiv Epoc.....	20
2.2.1. Hardware.....	20
2.2.2. Software.	23
Proceso de construcción del nuevo sistema.....	29
3.1. Material de laboratorio utilizado.	29
3.2. Extracción de los diferentes componentes hardware.	31
3.2.1. Primer contacto con el dispositivo.....	31
3.2.2. Etiquetado previo de sensores.	35
3.2.3. Extracción completa de hardware.	37
3.3. Ensamblaje de partes del sistema (Versión Beta).....	38
3.3.1. Kit de ensamblaje Hardware.....	38
3.3.2. Sustitución de cableado y soldaduras.....	39
3.3.3. Cableado de sensores.....	43
3.4. Ensamblaje de partes del sistema.	51
3.5. Pruebas de funcionamiento extenso y mejoras.....	56
Comparativa entre los dos sistemas.	59
4.1. Método de adquisición de datos.	59
4.1.1. Software Matlab.....	63

4.2.	Metodología de procesamiento de datos.	70
4.2.1.	Etapa de preprocesado.	70
4.2.2.	Etapa de procesado.....	71
4.3.	Comparativa de datos Emotiv Epoc con sistema Emoc	74
4.3.1.	Datos puros de ambos sistemas (comparativa).	74
4.3.2.	Datos procesados de ambos sistemas.	77
4.3.3.	Comparativa de datos procesados.	83
4.4.	Comparativa de Emotiv Epoc con el sistema Emoc.	86
	Conclusiones y trabajos futuros.....	88
	Bibliografía.....	90

Índice de figuras

1.1.	Ejemplo de una señal EEG	4
1.2.	Distribución de los diferentes lóbulos	6
1.3.	Partes de una neurona.....	7
1.4.	Esquema de representación sobre un registro monopolar.....	8
1.5.	Esquema del sistema Wilson. E1-E8, electrodos; A, amplificador	9
1.6.	Esquema de montaje para un registro bipolar	9
1.7.	Sistema de referencia internacional 10-20 (americano).....	11
1.8.	Ritmos normales característicos en electroencefalografía.....	13
2.1.	Partes principales de un dispositivo EEG	16
2.2.	Electrodo de contacto con almohadilla y parte de contacto eléctrico visibles	17
2.3.	Electrodos de copa de plata en casco de malla.....	18
2.4.	Esquema de aislamiento	18
2.5.	Casco Emotiv Epoc completo.....	21
2.6.	Electrodo Emotiv Epoc oxidado.....	22
2.7.	Adquisición y filtrado (cara A).....	22
2.8.	Adquisición y filtrado (cara B).....	22
2.9.	Comunicación y alimentación	23
2.10.	Pestaña de configuración del sistema	25
2.11.	Pestaña de funciones cognitivas	26
2.12.	Pestaña de estado actual	27
2.13.	Pestaña de entrenamiento cognitivo	28
2.14.	Opciones de configuración avanzada.....	28
3.1.	Soldador JBC con punta 0,5 mm.....	30
3.2.	Estaño con plata	30
3.3.	Hardware completo visible	32
3.4.	Circuito corroborador de fallo de batería	33
3.5.	Dimensiones máximas admitidas de la batería.....	34
3.6.	Batería LiPo 650mAh/3,7V	34
3.7.	Batería provisional adaptada.....	35
3.8.	Comparativa de posiciones sensoriales Emotiv Epoc.....	36
3.9.	Casco Emotiv Epoc con sensores etiquetados.....	36
3.10.	Hardware completo con sensores etiquetados.....	37
3.11.	Enumeración de placa y de conector hembra (a). Enumeración de placa y de conector hembra (b)	40
3.12.	Conector hembra con cables soldados.....	42
3.13.	Conector hembra y placa hardware.....	43
3.14.	Determinación de longitud de cableado de sensores	44
3.15.	Soldadura de conector crimpado.....	45
3.16.	Conector macho enumerado	45
3.17.	Electrodo completo.....	46
3.18.	Conector con todos los electrodos introducidos	48

3.19.	Hardware completo versión beta.....	48
3.20.	Prueba de hardware.....	49
3.21.	Prueba de hardware.....	50
3.22.	Prueba de hardware.....	50
3.23.	Prueba de hardware.....	51
3.24.	Batería del sistema soldada	52
3.25.	Reacondicionamiento de longitud de cables	52
3.26.	Interior de caja sin batería	53
3.27.	Interior de caja con batería pegada	53
3.28.	Sistema hardware completo	54
3.29.	Prueba de hardware completo	54
3.30.	Prueba de hardware completo	55
3.31.	Prueba de hardware completo	55
3.32.	Alargador USB de alta calidad	56
3.33.	Conector hembra con pines hundidos	57
3.34.	Conector con pines adheridos.....	58
4.1.	Diagrama de proceso completo.....	59
4.2.	Disposición de sensores Emotiv Epor según estándar 10-20	61
4.3.	Electrodos Emoc colocados con el gel de baja impedancia.....	62
4.4.	Variable que se modificará en cada nueva sesión.....	64
4.5.	Contenido de la carpeta	65
4.6.	Configuración de parámetros	66
4.7.	Bucle principal que realiza el script	67
4.8.	Bucle for de adquisición de datos.....	67
4.9.	Metodología de registro de datos	69
4.10.	Carpeta con las 4 sesiones guardadas.....	69
4.11.	Etapas de preprocesado	70
4.12.	Procesado de datos	72
4.13.	Etapas de aprendizaje	73
4.14.	Etapas de test.....	73
4.15.	Comparativa datos puros, Emotiv (red) vs Emoc (green)	74
4.16.	Comparativa datos puros, Emotiv (red) vs Emoc (green)	75
4.17.	Datos puros registrados por un sistema Biosemi.....	76
4.18.	Comparativa varianza, Emotiv (red) vs Emoc (green)	77

Índice de Tablas

2.1.	Niveles de calidad de conexión de cada electrodo	24
3.1.	Tabla de valores asignados a cables	41
3.2.	Equivalencia entre numeración y posición Emotiv Epoc.....	47
4.1.	Matriz de confusión, usuario 1, dispositivo Emotiv Epoc	78
4.2.	Matriz de confusión, usuario 2, dispositivo Emotiv Epoc	78
4.3.	Matriz de confusión, usuario 3, dispositivo Emotiv Epoc	79
4.4.	Matriz de confusión, usuario 4, dispositivo Emotiv Epoc	79
4.5.	Matriz de confusión, usuario 1, dispositivo Emoc	80
4.6.	Matriz de confusión, usuario 2, dispositivo Emoc	81
4.7.	Matriz de confusión, usuario 3, dispositivo Emoc	81
4.8.	Matriz de confusión, usuario 4, dispositivo Emoc	82
4.9.	Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 1	83
4.10.	Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 2	83
4.11.	Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 3	84
4.12.	Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 4	84
4.13.	Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), general.....	85



Capítulo 1

Introducción y objetivos

El presente Trabajo Fin de Grado describe el proceso completo de la construcción de una Interfaz Cerebro-Computador (ICC) con unas prestaciones superiores a las que posee la interfaz de bajo coste de la cual partimos, Emotiv EPOC.

Una Interfaz Cerebro Computador nos permite tener una forma diferente de interactuar con un computador, siendo el propósito inicial de la misma dar una amplia gama de posibilidades a personas con diferentes discapacidades, aunque hoy día también hay grandes vías de desarrollo en la industria del videojuego y aplicaciones no médicas. Para que la comunicación entre cerebro y computador pueda realizarse de una forma adecuada, la actividad cerebral del usuario debe de ser registrada y procesada de forma apropiada para que el computador pueda distinguir entre los diferentes procesos cognitivos que ha registrado nuestro dispositivo.

La forma seleccionada para comparar los datos del casco construido con respecto a un Emotiv Epoc será mediante dos configuraciones especificadas. Dichas configuraciones son las propias del Emotiv Epoc y las de BCI Competition. Ambas configuraciones servirán para adquirir datos tal como describe el experimento BCI Competition.

Se realizará la comparación con los datos obtenidos de 4 sujetos, dichos datos son procesados de forma offline utilizando Máquinas de Vector Soporte (SVM) como algoritmo de clasificación, con el objetivo de diferenciar entre tres tareas mentales.

1.1. Objetivos del proyecto

El presente trabajo de fin de grado, se realizará el proceso de construcción de una nueva ICC desde el dispositivo Emotiv Epoc, hasta el dispositivo que ha sido denominado Emoc. Posteriormente se realizarán pruebas para poder comparar ambos sistemas y, determinar la mejora de uno respecto de otro.

Para completar con el objetivo principal, se deberán de ir superando una serie de subobjetivos, los cuales, se exponen a continuación:

- **Desmontar** el sistema Emotiv-Eloc del cual se aprovechará parte de su hardware (acondicionamiento y transmisión de datos) y, realizar la construcción del sistema Emoc con los nuevos electrodos de mayor calidad y una malla configurable.
- **Comprobar** el funcionamiento del sistema, de forma que, se realizarán las pruebas necesarias para tener la seguridad de que todo funciona correctamente.
- **Comparar** el nuevo sistema Emoc, con el sistema Emotiv-Eloc mediante un problema BCI (Brain Computer-Interface).

Cumplidos todos los subobjetivos, se entenderá que el objetivo principal está totalmente completado.

1.2. Conceptos previos

En primer lugar es necesario entender el funcionamiento y origen de las señales EEG, a continuación se explicarán brevemente los conceptos básicos necesarios para el correcto entendimiento del trabajo.

1.2.1. Electroencefalografía

La electroencefalografía es el registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo (Figura 1.1). Este registro presenta formas muy diversas y varía en función de la localización de los electrodos y entre individuos. Esto es debido al gran número interconexiones que presentan las neuronas y por la estructura no uniforme del encéfalo.

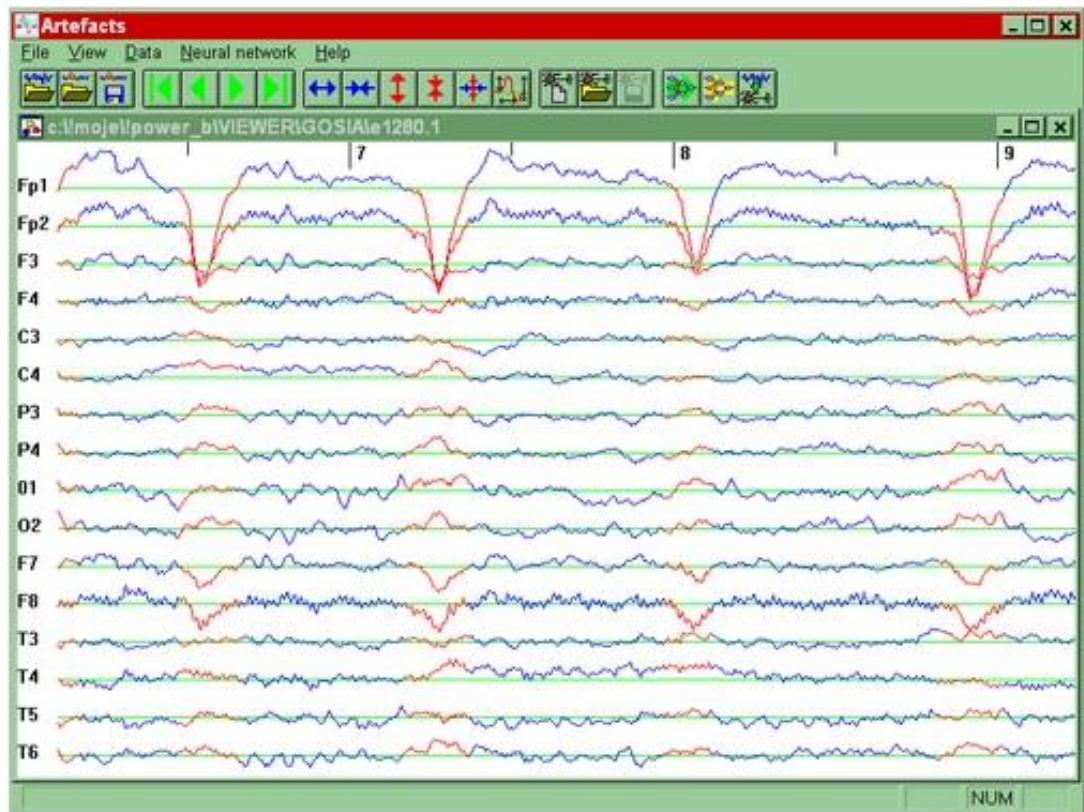


Figura 1.1: Ejemplo de una señal EEG.

1.2.2. Estudio y anatomía del encéfalo

El encéfalo, contenido en el cráneo, es la parte más voluminosa del sistema nervioso central (SNC). Pesa aproximadamente 1,3 Kg y su tamaño es de 1.380 cm³. Se divide en 3 partes: tronco o tallo cerebral, cerebelo y cerebro:

- **El tallo cerebral** es la parte del cerebro que conecta el córtex cerebral, la medula espinal y el cerebelo. Controla los ritmos cardíaco y respiratorio, y es el centro de diversos reflejos motores.
- **El cerebelo** es el coordinador de los movimientos voluntarios, además de hacernos mantener el equilibrio. Se encarga también de filtrar los movimientos musculares espasmódicos.
- **El cerebro** es la parte más evolucionada del encéfalo. En él están localizadas las funciones conscientes del sistema nervioso. Posee dos hemisferios, que se relacionan con las partes opuestas del cuerpo. La superficie externa del hemisferio se conoce como córtex

y, en ella se recibe la información sensorial. Las capas más profundas están formadas por axones y núcleos de células.

La subdivisión más importante del encéfalo es la corteza cerebral, que contiene la gran mayoría de neuronas existentes en el cerebro humano. La corteza cerebral contiene muchas fisuras o pliegues, llamados surcos, que se utilizan para dividir la corteza en lóbulos (Figura 1.2).

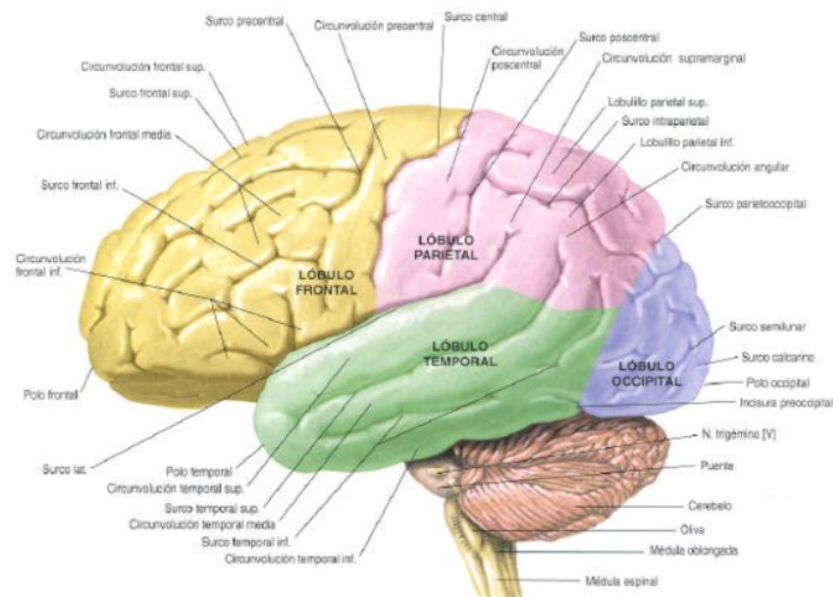


Figura 1.2: Distribución de los diferentes lóbulos.

La distribución de los diferentes lóbulos comprende el lóbulo frontal, lóbulo parietal, lóbulo occipital y lóbulo temporal:

- **El lóbulo frontal** controla los impulsos, la producción del lenguaje, la memoria funcional, las funciones motoras, el comportamiento sexual, el control de las emociones, la socialización y la espontaneidad. Da la capacidad de razonar y de resolver problemas. Asiste en la planificación, coordinación control y ejecución de la conducta.
- **El lóbulo parietal** es el encargado de las percepciones sensoriales procedentes de varias partes del cuerpo humano, como la sensibilidad, el tacto, la percepción, la presión, la temperatura y el dolor. También interviene en el conocimiento de los números y sus relaciones.

- **El lóbulo occipital** es el encargado de la producción de imágenes. En él reside la corteza visual, por lo que está implicado en nuestra capacidad para ver e interpretar lo que vemos.
- **El lóbulo temporal** es el encargado de desempeñar un papel primordial en tareas visuales complejas, como el reconocimiento de caras. Recibe y procesa información de los oídos. Está encargado de la audición, equilibrio y coordinación. Es el centro primario del olfato. También regula emociones y motivaciones, como la ansiedad, el placer y la ira. Está implicado en las funciones de la memoria, el recuerdo de palabras y el nombre de los objetos.

1.2.3. Las neuronas

El encéfalo está formado en su unidad más básica por neuronas o células nerviosas. La característica más importante de las neuronas es la excitabilidad eléctrica de su membrana plasmática. Están especializadas en la recepción de estímulos y en la conducción de impulsos nerviosos (en forma de potenciales de acción) entre ellas principalmente o con otro tipo de células.

Una neurona está formada principalmente por 3 partes (Figura 1.3), soma, dendritas y axón:

- **Soma o cuerpo celular:** es la parte principal de la neurona. Contiene todos los elementos más importantes, como el núcleo, ribosomas y mitocondrias. Es el centro metabólico e integrador de información ya que a través de él fluye la información.
- **Dendritas:** éstas parten del soma de manera arborescente. Se podría decir que son terminales de las neuronas y están implicadas en la recepción de los estímulos, ya que sirven como receptores de impulsos nerviosos provenientes desde el axón de otra neurona.
- **Axón:** es una prolongación tubular de la neurona que conduce el impulso nervioso desde el cuerpo celular o soma hacia otra célula. Suele dividirse en varias ramas llevando la información a lugares diferentes.

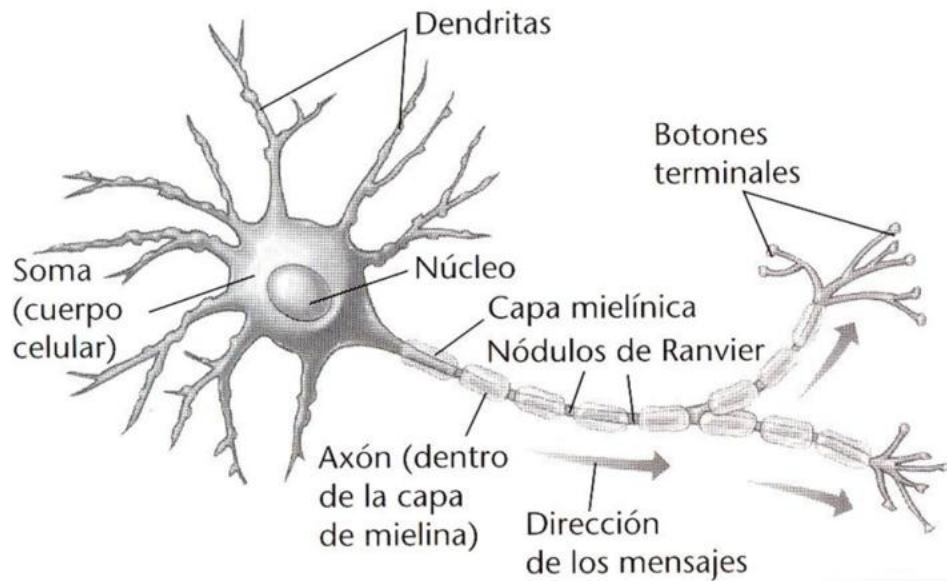


Figura 1.3: Partes de una neurona.

La relación o forma de enlazarse entre las neuronas se llama sinapsis, la cual es la unión intercelular entre dos neuronas capaz de llevar a cabo la transmisión del impulso nervioso. Hay dos tipos de sinapsis, la eléctrica y la química:

- **Sinapsis eléctrica**, la cual consiste en el paso de iones de una célula a otra a través de uniones gap, las cuales usan pequeños canales formados por el acoplamiento de complejos proteicos, basados en conexinas, en células estrechamente adheridas.
- **Sinapsis química**, al contrario que en la eléctrica, en esta, el impulso se inicia con una descarga química que origina una corriente eléctrica en la membrana de la neurona presináptica. Una vez que este impulso nervioso alcanza el extremo del axón, la neurona segrega unos neurotransmisores que se depositan en el espacio sináptico, que es el espacio intermedio entre la neurona presináptica y la neurona postsináptica. Estos neurotransmisores son los encargados de excitar o inhibir la acción de la otra neurona.

1.2.4. Principio técnico de adquisición de potenciales.

Las neuronas como ya sabemos, hacen pasar a través de ellas impulsos que en ocasiones puede ser iones, de forma que a pequeños rasgos, podemos hablar de una pequeña diferencia de potencial. Cada una de dichas neuronas constituye un diminuto dipolo eléctrico, cuya polaridad depende de que el impulso a la célula sea inhibitorio o excitatorio. Pero son tan pequeñas que no podemos medir una diferencia en una neurona, por ello, medimos la resultante de un conjunto de neuronas próximas entre ellas, como si se trataran de vectores. Estas diferencias se aprecian en las células piramidales de la corteza cerebral.

Para poder registrar una señal de actividad eléctrica en cada región cerebral a través de la superficie craneal se colocan electrodos que captan la diferencia de potencial entre ellos. Lógicamente estas diferencias de potencial son tan pequeñas (varían en un rango de 5-300 μV) que necesitan ser amplificadas para poder apreciar variaciones en las mismas y tener una mayor precisión. El rango de frecuencias que suele analizarse es de 0,5-70 Hz. Con lo cual ya sabemos el rango de amplitud y el ancho de banda característico de las señales que vamos a registrar.

Para poder registrar una diferencia de potencial, necesitaremos dos electrodos situados correctamente en posiciones precisas sobre el cuero cabelludo. Dependiendo del número de canales o electrodos activos disponibles por nuestro hardware y el propósito específico del registro a realizar, se procederá a la elección del método de adquisición. La primera decisión que se deberá tomar será el seleccionar entre Registros Monopolares y Registros Bipolares:

- **En los Registros Monopolares** o Referenciales (Figura 1.4) se toma la señal de uno de los electrodos independientemente de la de los demás. En esta situación el electrodo de registro se llama electrodo activo y el segundo cable de entrada al equipo se toma de un electrodo llamado de referencia.

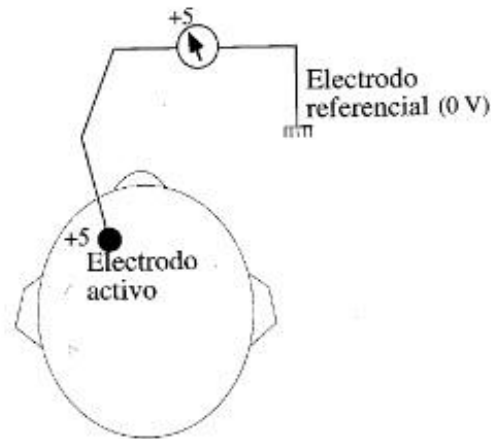


Figura 1.4: Esquema de representación sobre un registro monopolar.

Teóricamente este electrodo debe estar situado a potencial cero, aunque esto en la práctica real nunca hay seguridad de que sea posible de conseguir. Por esto se emplean referencias aproximadas como son el uso de electrodos en el lóbulo de la oreja, en el mentón o en el mastoides. Otra forma de conseguir un electrodo referencial consiste en reunir todos los demás electrodos entre sí, con lo cual tendremos un punto cuyo potencial será la suma de los potenciales de cada uno de ellos dependiendo del número de canales disponibles.

Presumiblemente, esta suma será cero, con lo que tendremos ya el punto que buscábamos. Pero con esto, solo se podría registrar la actividad de un electrodo cada vez, ya que todos los demás estarían cortocircuitados entre sí. Para evitar este problema, la interconexión entre todos se realiza por medio de resistencias de valor moderadamente bajo (entre 1 y 1.5Mohmios). Este es el llamado sistema Wilson (Figura 1.5) y con él se pueden tomar tantos pares referencial-activo como se desee, por supuesto, dependiendo del número de canales disponibles en el equipo.

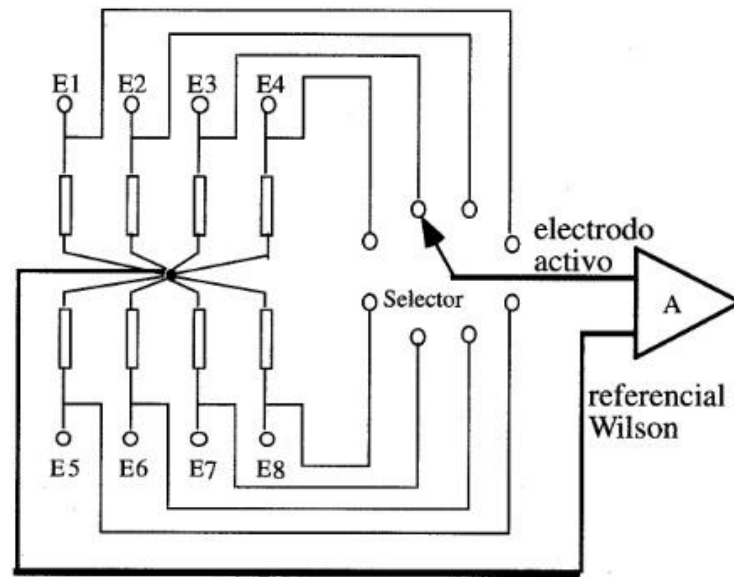


Figura 1.5: Esquema del sistema Wilson. E1-E8, electrodos; A, amplificador.

Existen otros tipos de referencia diferentes que se utilizan, por ejemplo, para reducir algunas interferencias particulares. Por ejemplo, para reducir los artefactos debidos al electrocardiograma, muy corrientes en los registros referenciales, se disponen dos o más electrodos en lugares próximos al corazón (fuera del cráneo) y se unen entre sí. De esta forma en ellos se cortocircuita la señal electrocardiográfica con lo que ésta se atenúa en gran medida. Incluso es posible balancear, por medio de un mando adecuado, el punto de referencia virtual formado con estos electrodos para asegurar una atenuación más completa de la señal ECG indeseada.

- **En los Registros Bipolares** se toman parejas de electrodos, dos a dos y se registran las diferencias de tensión entre cada par de puntos (Figura 1.6). Los dos electrodos de cada pareja son activos.

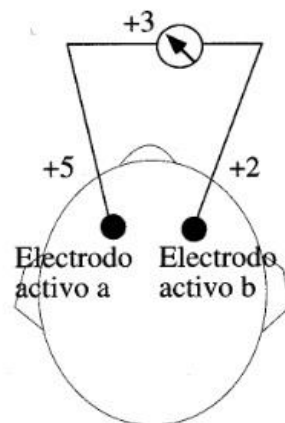


Figura 1.6: Esquema de montaje para un registro bipolar.



De acuerdo con lo anterior es posible realizar un número enorme de registros bipolares diferentes, tantos como parejas diferentes de electrodos, tomadas en grupos de 8, de 12, de 16... (según el número de canales disponibles para registro simultáneo). Por supuesto, este número de combinaciones es enorme y por otra parte, muchas de las combinaciones posibles no rendirían información de interés. Por esta razón es preciso seleccionar, de entre todas las posibles, las combinaciones más interesantes.

Se recomienda, además, seguir las siguientes directrices en el diseño de montajes para registro del EEG:

- Registrar como mínimo 8 canales.
- Utilizar el sistema diez-veinte para la colocación.
- Registrar 16 canales para un resultado óptimo.

1.2.5. Posicionamiento de los electrodos.

Aunque hay varios métodos, el sistema "10-20" es el más utilizado actualmente. El sistema diez-veinte es el aceptado como estándar internacional para posicionamiento EEG, el cual en su versión original (versión americana), está estandarizado por la Asociación Americana de Electroencefalografía. Este sistema consta de la colocación de 21 electrodos. Para situar los electrodos de forma correcta podemos ver la siguiente figura (Figura 1.7) en la cual se representa dicho posicionamiento.

Como regla general podemos enumerar los electrodos del lado izquierdo con una numeración impar mientras que los del lado derecho la llevarán par. También los electrodos de la línea media reciben el subíndice "z" (por "zero", cero en inglés).

El sistema sufre unas ligeras variaciones si nos fijamos en su versión europea. Las variaciones son prácticamente cambios de nomenclatura en el nombre de las posiciones, quedando de la siguiente forma: Los electrodos temporales mediales, llamados T3 y T4 se representan como Tm (temporal medial). Paralelamente, los electrodos F7 y F8, T5 y T6 son denominados como temporales anteriores Ta (F7 y F8) y temporales posteriores Tp (T5 y T6). Es decir que la versión europea considera frontales superiores F7 y F8 y como temporales anteriores, habiendo así una pequeña diferencia de posición. Los electrodos F3 y F4 son representados como Fs (frontales superiores) y los P3 y P4 como P (parietales). Finalmente los centrales C3 y C4 son representados como Cl y Cd. Además considera dos electrodos más, los mastoideos, colocados junto a las apófisis mastoideas (M).

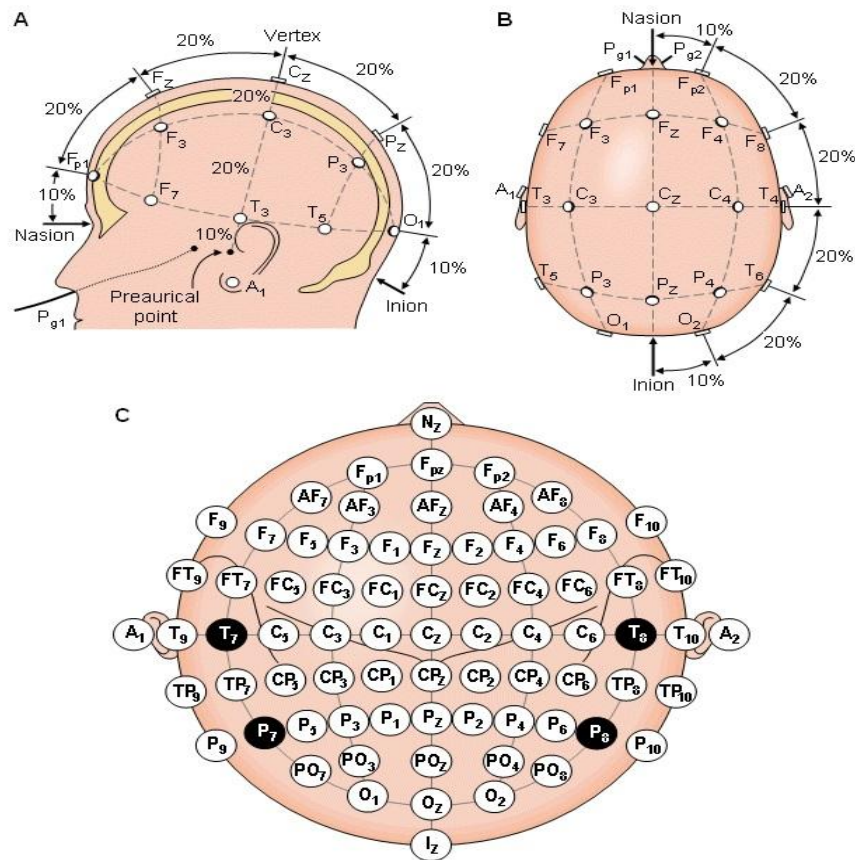


Figura 1.7: Sistema de referencia internacional 10-20 (americano).

1.2.6. Diferentes tipos de señales EEG.

La mayoría de las veces, las ondas registradas no poseen ninguna forma determinada. En algunas ocasiones son ritmos normales o característicos que suelen clasificarse en ritmos α (alfa), β (Beta), θ (Theta), δ (Delta). También hay ciertos ritmos que poseen características patológicas como la epilepsia (Figura 1.8). En los catalogados como ritmos conocidos y que no pertenecen a los anteriores encontramos el estado despierto que se caracteriza por tener bajo voltaje y alta frecuencia, el estado dormido tiene alto voltaje y baja frecuencia, y en estado convulsivo encontramos alto voltaje y alta frecuencia. En definitiva, es objeto de estudio los siguientes ritmos:

- **Las ondas α** (alfa) poseen frecuencias entre 8 y 13 Hz, con amplitudes comprendidas entre 20-200 μV . Estas ondas se registran en sujetos normales despiertos, sin ninguna o poca actividad cerebral y con los ojos cerrados. Pueden producirse también abriendo los ojos, presentando estímulos no familiares al sujeto como flashes de luz. La captación de estas ondas se encuentra sobre todo en la zona occipital y frontal.
- **Las ondas β** (Beta) poseen frecuencias entre 14 y 30 Hz, con amplitudes comprendidas entre 5-30 μV . Podemos distinguir dos tipos de ondas beta claramente diferenciadas, las primeras (β_1) tienen una frecuencia doble a las segundas (β_2) y se comportan de forma parecida las dos. La diferenciación clara está en que las segundas aparecen cuando se activa intensamente el SNC o cuando el sujeto está bajo tensión, pudiendo en estas ocasiones aumentar la frecuencia hasta los 50 Hz. Se manifiestan principalmente en el lóbulo frontal y parietal.
- **Las ondas θ** (Theta) poseen frecuencias entre 4 y 7 Hz, con amplitudes superiores a los 20 μV . Las ondas theta aparecen sobre todo en la infancia aunque también se pueden ver en adultos en estados emocionales de estrés, como decepción o frustración, y en fase REM del sueño. También se ha comprobado que está relacionada a funciones mentales que involucran el acceso a material subconsciente, meditación profunda e inspiración creativa.
- **Las ondas δ** (Delta) poseen frecuencias entre 0.5 y 4 Hz, con una amplitud variable. Se manifiestan, principalmente, durante el sueño profundo o en ciertos estados de meditación. Su presencia en estado de vigilia indica defectos o fallos cerebrales. Es fácil confundir la actividad delta con artefactos musculares, como por ejemplo, aquellos producidos por los músculos de la nuca. Sin embargo, un sistema BCI puede discriminar fácilmente entre una onda delta y una respuesta muscular, ya que la primera se origina profundamente en el cerebro y es severamente atenuada, mientras que la segunda presenta amplitudes mucho mayores.

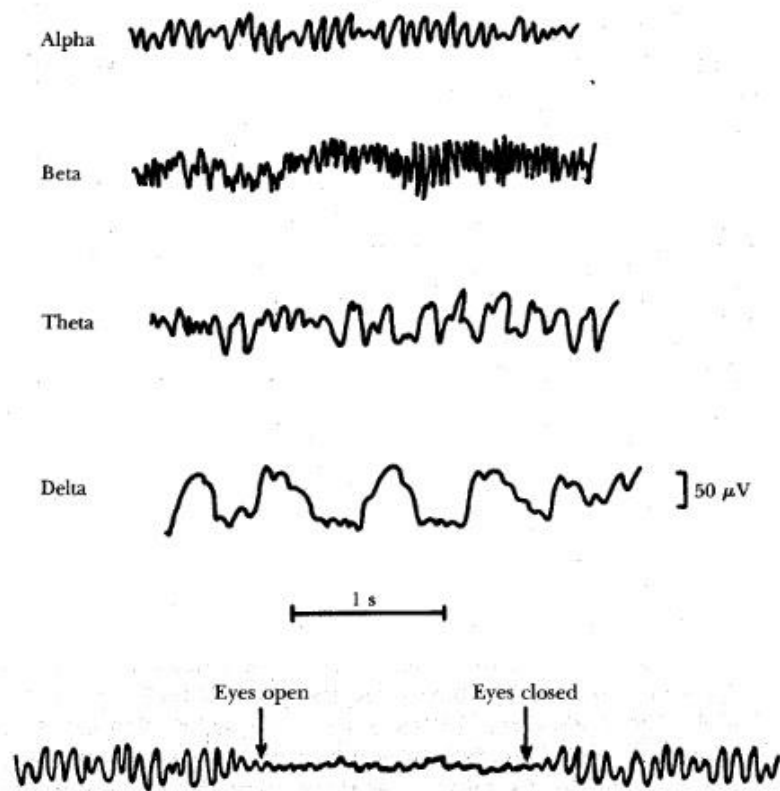


Figura 1.8: Ritmos normales característicos en electroencefalografía.

1.2.7. Artefactos.

Los EEG están enfocados a grabar la actividad cerebral, pero en ocasiones graban actividades eléctricas que surgen de otros lugares que no son el cerebro. Estas actividades eléctricas que no pertenecen al cerebro y que graba el EEG se denomina artefacto. Los artefactos se pueden dividir en dos tipos dependiendo de su fuente de procedencia. El primer tipo de artefactos son los fisiológicos o biológicos y el segundo tipo los artefactos extrafisiológicos o técnicos.

Los artefactos fisiológicos son generados por el paciente y no surgen del propio cerebro, si no de actividades vitales como el respirar, mover los ojos etc. Estos artefactos se pueden distinguir por poseer amplitudes mucho mayor que las propias del cerebro. Podemos enumerar los más comunes a modo de ejemplo:

- **Movimiento de los ojos:** tanto el movimiento de los ojos como los parpadeos causan cambios en el campo eléctrico de los ojos y afectan a la señal EEG.



- **Muscular:** el electromiograma (EMG) mide las corrientes eléctricas generadas en los músculos durante su contracción, representando actividad neuromuscular. La señal EMG también influye en la señal EEG. Hay que indicarle al paciente que intente moverse lo menos posible durante la realización de la prueba.
- **Latidos del corazón:** el electrocardiograma (ECG) registra la actividad eléctrica del corazón durante cada latido. La señal ECG también es visible en la señal EEG. Un problema similar surge cuando se coloca un electrodo justo encima de una vena o arteria.

Los artefactos extrafisiológicos son todas las interferencias que capta el sistema EEG como ondas electromagnéticas de distintas frecuencias y amplitudes del entorno. Algunas de estas interferencias son:

- **La red eléctrica:** son interferencias producidas por la red eléctrica con una frecuencia característica de 50 Hz en casi todo el mundo y 60 Hz en Norteamérica.
- **Ruido del amplificador operacional:** es el ruido generado por el amplificador. Presenta una amplitud muy pequeña comparada con la señal EEG.
- **Electrodos:** ocurre cuando se produce un cambio abrupto de impedancia en alguno de los electrodos.
- **Entorno:** movimientos en el entorno, dispositivos electrónicos en la cercanía, etc.



Capítulo 2

Interfaz Cerebro-Computador.

Se procederá a dar una visión global de qué es una ICC centrándonos en el sistema Emotiv Epoc, en el cual describiremos en funcionamiento tanto de la parte de software como de la parte hardware.

2.1. Interfaz Cerebro-Computador genérica.

Una Interfaz Cerebro-Computador (ICC) o Brain Computer Interface (BCI) es un sistema de interacción hombre-máquina capaz de captar ondas cerebrales, procesarlas e interpretarlas, que se puede traducir en un sistema capaz de convertir nuestras intenciones en una interacción real con el mundo físico. El interés en este tipo de dispositivos por parte de desarrolladores e investigadores con fines tecnológicos se dispara gracias al rápido y continuo desarrollo de sistemas de hardware y software de bajo coste que soportan el análisis multicanal en tiempo real.

2.1.1. Hardware.

Prácticamente todo dispositivo EEG consta a grandes rasgos de las mismas partes, aunque los últimos avances tecnológicos posean ciertos cambios característicos o personalizaciones de cada uno de los fabricantes, podemos asegurar que en su gran mayoría los dispositivos EEG están formados (Figura 2.1) por los electrodos, la parte de acondicionamiento de señal y amplificación, la parte de filtrado de la señal y la parte de la transferencia de los datos al PC:

- Electrodos:** pueden ser clasificados según su nivel de interacción con el sujeto, es decir, si son invasivos o no. En la mayoría de los casos, por no decir en todos, los dispositivos EEG usan electrodos no invasivos, pudiéndose dividir en los siguientes tipos:



Figura 2.1: Partes principales de un dispositivo EEG.

- Adheridos:** son pequeños discos metálicos de unos 5mm de diámetro. Se adhieren con una pasta conductora y ofrecen niveles de impedancia muy bajos. Suelen tener la limitación de movilidad en el paciente, ya que entre el peso del propio electrodo y el cable que éste contiene, la adhesión no es muy robusta.
- De contacto:** son pequeños tubos de plata enroscados a soportes de plástico. En su extremo de contacto se colocan unas almohadillas humedecidas en una solución conductora (Figura 2.2). Se sujetan al cráneo con bandas elásticas y se conectan con pinzas. Son de colocación muy sencilla pero incómoda y poco robusta para el paciente.



Figura 2.2: Electrodo de contacto con almohadilla y parte de contacto eléctrico visibles.

- Casco de malla: consisten en electrodos incluidos en una especie de casco elástico. Existen cascos de diferentes tamaños, dependientes de la talla del paciente. Se sujetan con cintas a una banda torácica. Los electrodos suelen ser de tipo anillo, y pueden ser de dos materiales principalmente, oro y plata, siendo su denominación correcta, electrodos de copa de oro o electrodos de copa de plata (Figura 2.3). Dichos electrodos necesitan un gel para permitir una baja impedancia. Como características más importantes presentan la comodidad de colocación, la comodidad para el paciente en registros de larga duración, su gran inmunidad a los artefactos, la precisión de su colocación, y la baja impedancia.

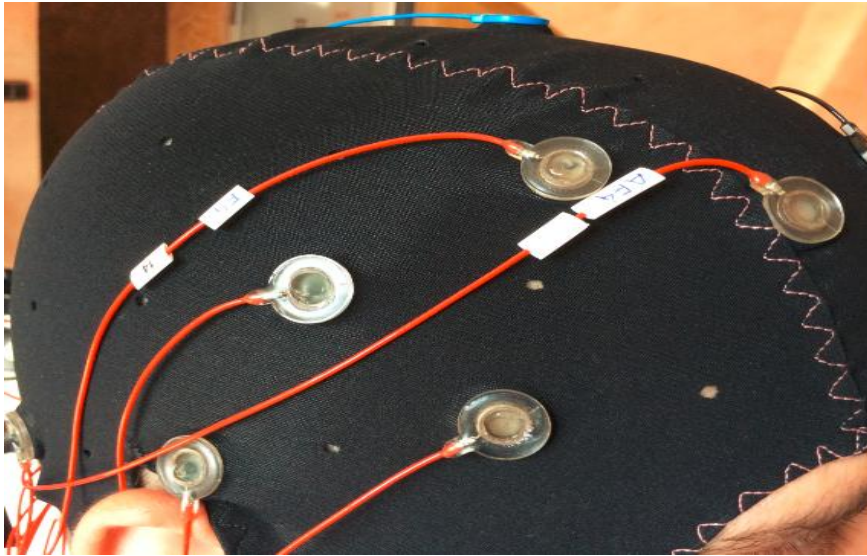


Figura 2.3: Electrodo de copa de plata en casco de malla.

- **Acondicionamiento de señal y amplificación:** en esta fase se trata de acondicionar las variaciones que detectan los sensores de forma que nos sean útiles, como por ejemplo en variación de tensión, para más tarde amplificar las variaciones de tensión. En general un EEG de calidad presenta alta impedancia de entrada, alto rechazo al modo común y bajo ruido. Es muy importante la parte en la que obtenemos un aislamiento del paciente y el dispositivo (Figura 2.4).

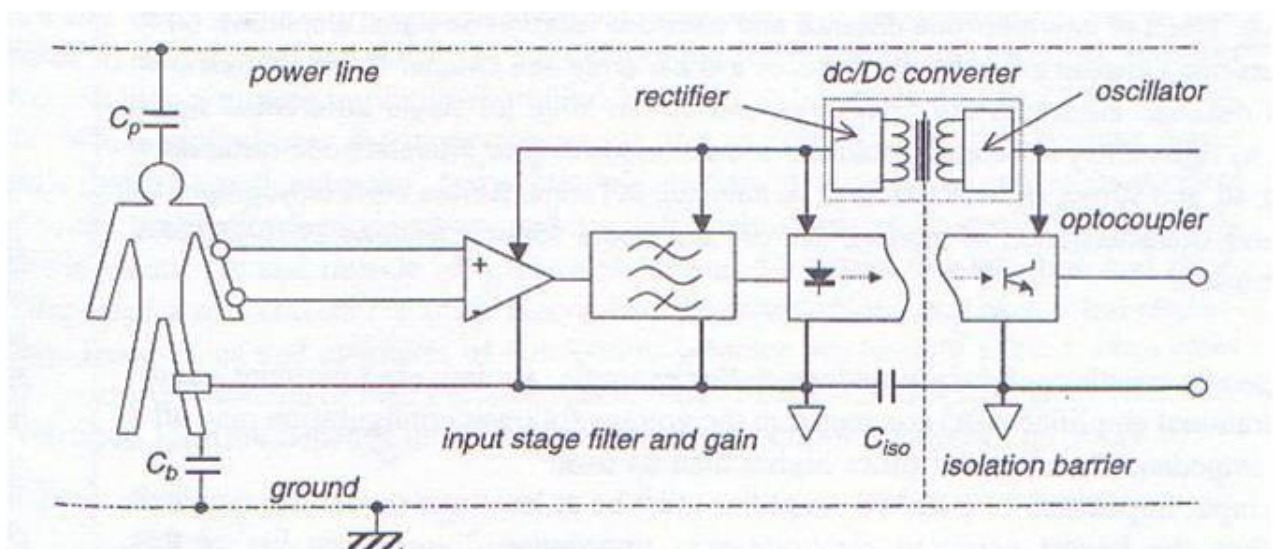


Figura 2.4: Esquema de aislamiento.

- **Filtrado de la señal:** las señales en los EEG son de baja amplitud, por lo que una pequeña interferencia electromagnética puede distorsionar mucho la calidad de nuestra señal, por ello es primordial un buen sistema de filtrado. Normalmente todos los EEG llevan incluidos filtros internos a las frecuencias más comunes como son los 50/60 Hz, los cuales son los instaurados en la mayoría del mundo en la red eléctrica. La calidad de un equipo suele venir determinada en gran parte por la calidad de su filtrado. El filtrado puede tener un costo en las muestras por segundo que obtenemos del dispositivo, por ello el precio del dispositivo también se ve influenciado en gran medida por la calidad de sus filtros. En la gran mayoría de los sistemas, los filtros utilizados son como mínimo de segundo orden, y suelen ser activos.

- **Transferencia de los datos al PC:** una vez que los datos están listos para su preprocesamiento, se procede a su transferencia hasta el pc de los diferentes modos:
 - USB: conexión física mediante un cable USB al pc, pudiéndose utilizar cualquier conector en la parte de la placa. El protocolo de comunicación siempre es el mismo. Se realiza mediante la creación de un puerto serie virtual bajo USB.
 - Bluetooth: puede realizarse mediante un adaptador a USB o directamente si nuestro PC lo permite con el módulo interno de comunicación. Utiliza la banda de frecuencia 2.4 GHz. El protocolo de comunicación es el mismo que en USB.

2.1.2. Software.

El software como en el caso anterior lo abordaremos sobre las partes generales que suelen llevar todos, siendo conscientes de los cambios que puede introducir cada fabricante. Cualquier software debe de contener al menos una parte de configuración del sistema, otra de entrenamiento del sistema y, por último, una de visualización en tiempo real de los datos procesados:

- **Configuración del sistema:** en esta parte se podrá acceder a modificar varios parámetros dependiendo del fabricante, pero su función principal es la visualización del estado sensorial, es decir, desde aquí podemos ver si los sensores cumplen los rangos de impedancia, y en qué rango está pudiendo diferenciar la calidad del contacto. También será preciso una breve descripción de cómo se deberá interpretar dicha información.
- **Entrenamiento del sistema:** en esta parte se podrá interactuar con el software de forma que con diferentes usuarios se podrá ir creando una base de datos de entrenamiento, mediante la cual el sistema podrá realizar capturas de datos a posteriori. Debido a que no hay dos personas que por ejemplo activen de la misma forma la actividad para realizar la misma función cognitiva, el sistema con la base de datos de entrenamiento, podrá detectar que usuario es y saber qué proceso está demandando el usuario específico.
- **Visualización en tiempo real:** una vez el sistema esté bien entrenado, se podrá realizar la visualización de las distintas opciones que posee nuestro software en tiempo real, por ejemplo, las funciones cognitivas, sensitivas, etc.

2.2. Sistema Emotiv Epoc.

Se realizará una descripción detallada del sistema Emotiv Epoc, el cual será objeto de estudio más adelante.

2.2.1. Hardware.

El hardware del sistema Emotiv Epoc cumple con los requisitos descritos en el apartado anterior, por ello procederemos a desarrollar brevemente y localizar de forma física cada parte en el dispositivo (Figura 2.5):



Figura 2.5: Casco Emotiv Epoc completo.

- **Electrodos:** como se puede apreciar en la Figura 2.5 montados y en la Figura 2.2 desmontados, son electrodos de contacto, los cuales necesitan una solución salina que proporciona el fabricante del dispositivo y es de fácil adquisición. Su característica más importante es unos niveles de impedancia regulares y el aumento de impedancia respecto al momento en el cual se aplica la solución salina. Su uso durante tiempos prolongados no está recomendado, debido a que la opresión de los electrodos puede ser molesta pasado cierto tiempo, y al aumento de impedancia mencionado anteriormente.

Otro problema añadido es la oxidación de la parte interior, es decir, la parte que está en contacto con la almohadilla humedecida (Figura 2.6). Dicha oxidación produce una pérdida de prestaciones por parte del electrodo.



Figura 2.6: Electrodo Emotiv Epoc oxidado.

- **Acondicionamiento y filtrado de señal:** esta parte del hardware permite una banda de adquisición efectiva de 0.2-45Hz, esto se consigue gracias a un filtro paso-bajo y un paso-alto, utilizando un filtro digital de 5º orden, conseguimos eliminar el ruido a 50Hz y 60Hz. El acondicionamiento de señal permite una resolución de $0,51\mu\text{V}$, con un ancho de banda de 16 bits (14 bits efectivos). La parte física puede verse en las siguientes figuras (Figura 2.7 y 2.8). En cuanto a la frecuencia de muestreo o el número de muestras que puede recopilar por segundo son 128, ya que el acondicionamiento y filtrado tiene un coste de computación y añade latencia a la señal, por ello se ve mermado desde una frecuencia interna de 2.048Hz a una frecuencia externa de 128Hz.

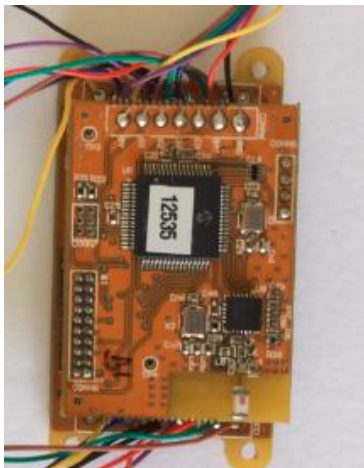


Figura 2.7: Adquisición y filtrado.



Figura 2.8: Adquisición y filtrado.

- Alimentación:** la alimentación del dispositivo viene determinada mediante una batería Lipo (Polímero de Litio), con una capacidad de 800mA y un voltaje de 3,7v. La carga de dicha batería se realiza mediante un conector mini-USB (Figura 2.9). La placa dispone de un led indicativo del estado de la batería. El led color rojo significa que está cargando, y el led en color verde que la carga se ha realizado con éxito y de forma completa. La autonomía aproximada es de 12 horas.
- Comunicación:** en este apartado es en el que más destaca el sistema Emotiv Epoc respecto de los demás competidores, ya que su comunicación Bluetooth dota al sistema de una versatilidad mayor (Figura 2.9). La comunicación viene encriptada, de modo que no es posible ver qué se está transfiriendo. En la parte de software veremos una opción de ver los datos recopilados, pero el protocolo de encriptación y el acceso al medio está restringido.



Figura 2.9: Comunicación y alimentación.

2.2.2. Software.

El fabricante nos ofrece dos variantes de software, una versión Premium o de desarrollador y una versión capada. Para describir todas las utilidades que proporciona, se estudiará la versión Premium, la cual viene bajo el nombre de “Emotiv Control Panel-PREMIUM”. A continuación se describirán las diferentes partes que nos proporciona la versión 1.0.0.4 de dicho software, aunque debido a que el funcionamiento es idéntico, solo se desarrollará una función, en concreto la cognitiva:



- **Configuración del sistema:** nos permite preparar el sistema para su correcto uso, con una detallada guía de usuario donde se explican los conocimientos mínimos del software para poder interactuar con el de forma correcta. El correcto posicionamiento de los electrodos se realiza gracias a un sistema patentado por el fabricante, el cual nos interpreta, bajo un código de colores, el estado de la conexión en función de la impedancia medida (Tabla 2.1). En esta pestaña podemos visualizar el nivel de batería, la calidad de la conexión inalámbrica del bluetooth, el tiempo que ha transcurrido desde que se inició la comunicación bluetooth del software con el dispositivo y el estado del sistema en general (Figura 2.10). También se puede visualizar los datos de usuario, con la opción de borrar o añadir más usuarios.

Color	Calidad de Contacto
Verde	Óptimo
Amarillo	Aceptable
Naranja	Pobre
Rojo	Muy pobre
Negro	Sin señal

Tabla 2.1: Niveles de calidad de conexión de cada electrodo.

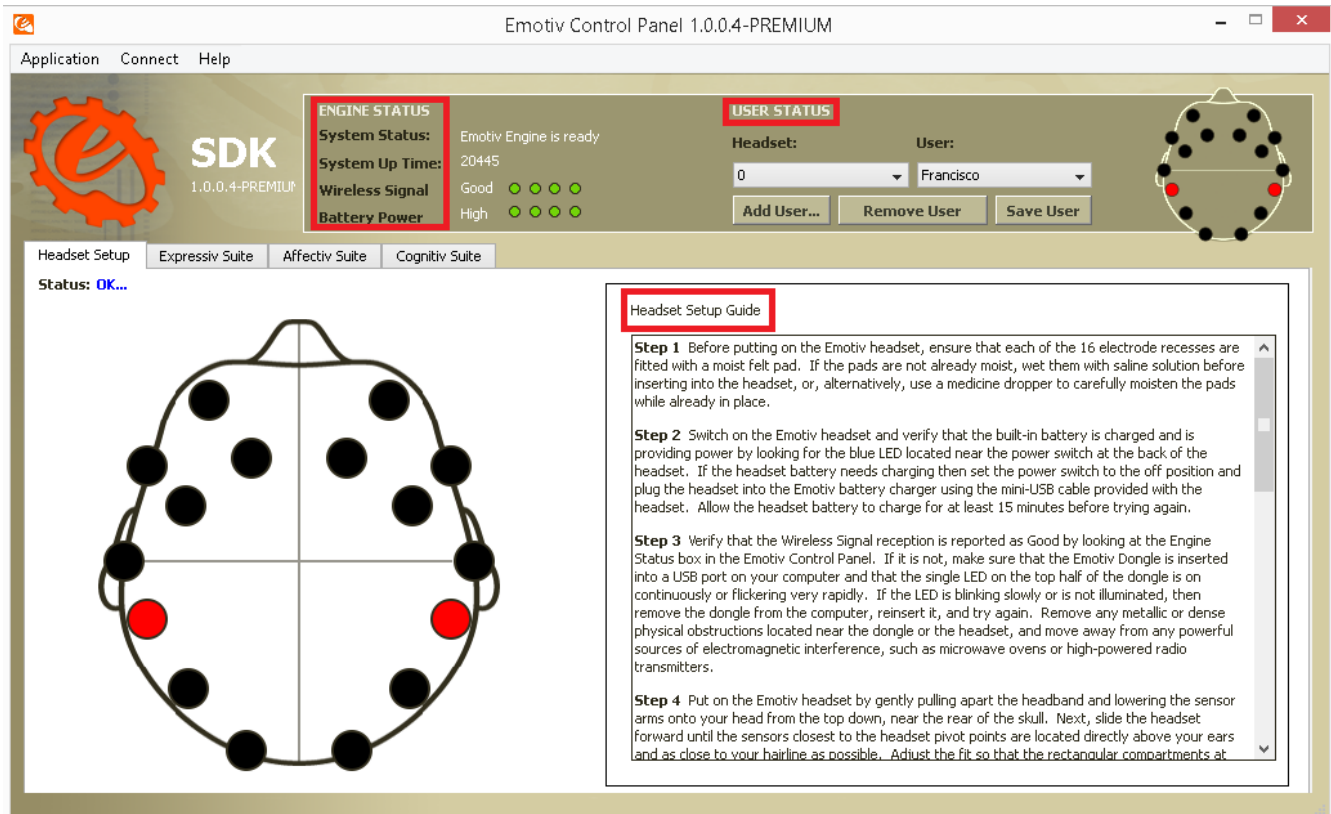


Figura 2.10: Pestaña de configuración del sistema.

- Pestaña cognitiva:** la cabecera del software no varía con las diferentes pestañas, es decir, los datos de usuario y estado del dispositivo están siempre visibles. Los datos recogidos en este apartado, en la versión Premium se pueden obtener para su posterior análisis con cualquier otro software, se proporcionarán en formato raw. En esta pestaña tenemos una interfaz de un cubo, el cual se mueve en tiempo real dependiendo de la función cognitiva que el sistema está interpretando en función del entrenamiento que el mismo ha recibido. Si tenemos el sistema bien entrenado, es decir, una base de datos completa en la que los porcentajes de entrenamiento son altos, podremos ver el cubo en tiempo real interpretando nuestras funciones cognitivas deseadas (Figura 2.11).

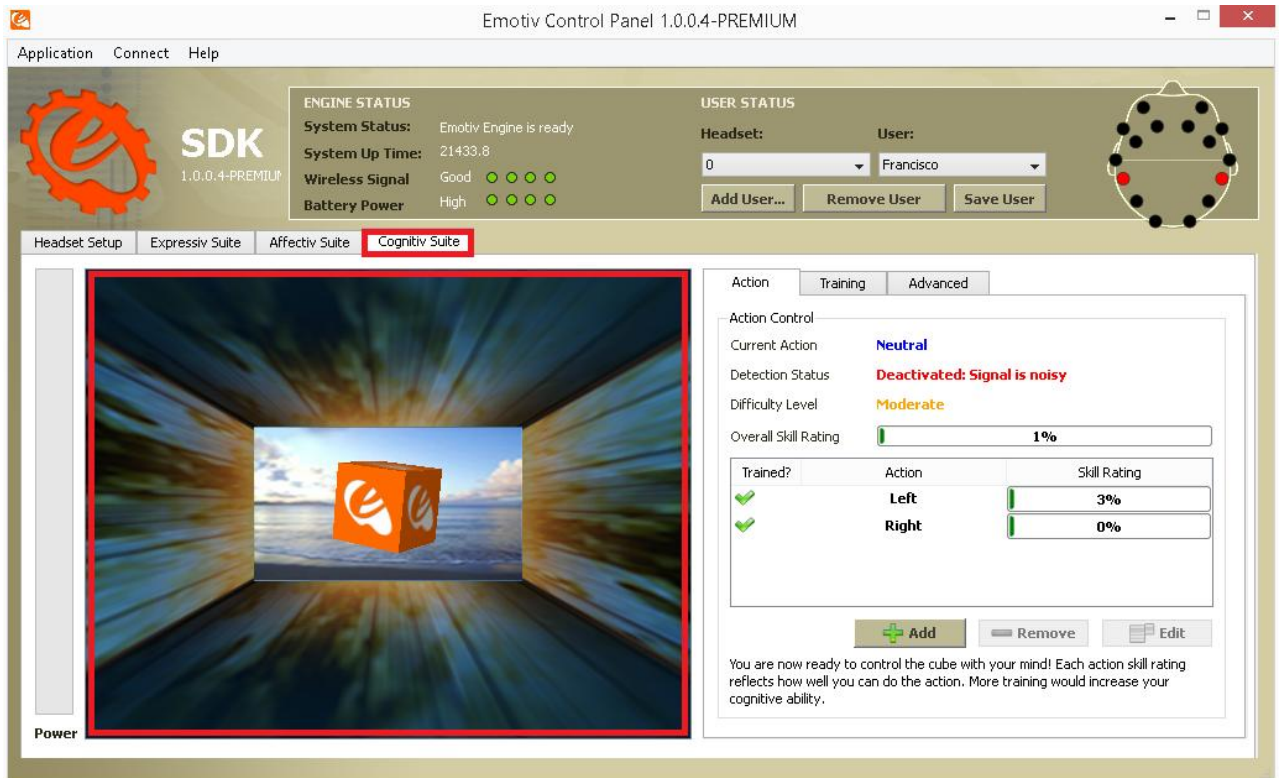


Figura 2.11: Pestaña de funciones cognitivas.

Dentro de esta pestaña tenemos tres pestañas con diferentes funciones que analizaremos por separado:

- Pestaña de estado actual: en esta pestaña podemos visualizar y configurar las diferentes funciones cognitivas sobre las que queremos crear una base de datos a posteriori. La base de datos será de cada usuario independiente, por ello estos valores podrán variar en función del usuario que indiquemos al software. Podemos añadir diferentes funciones cognitivas (Figura 2.12), y visualizar tanto el porcentaje de aprendizaje que tiene el sistema de una función cognitiva en concreto, como el porcentaje de aprendizaje total que el sistema tiene sobre un usuario en concreto dependiendo de las diferentes funciones cognitivas que hemos introducido. En la figura 2.11 podemos visualizar un porcentaje del 3% en mover el cubo hacia la izquierda, del 0% para la derecha y un porcentaje total del 1%.

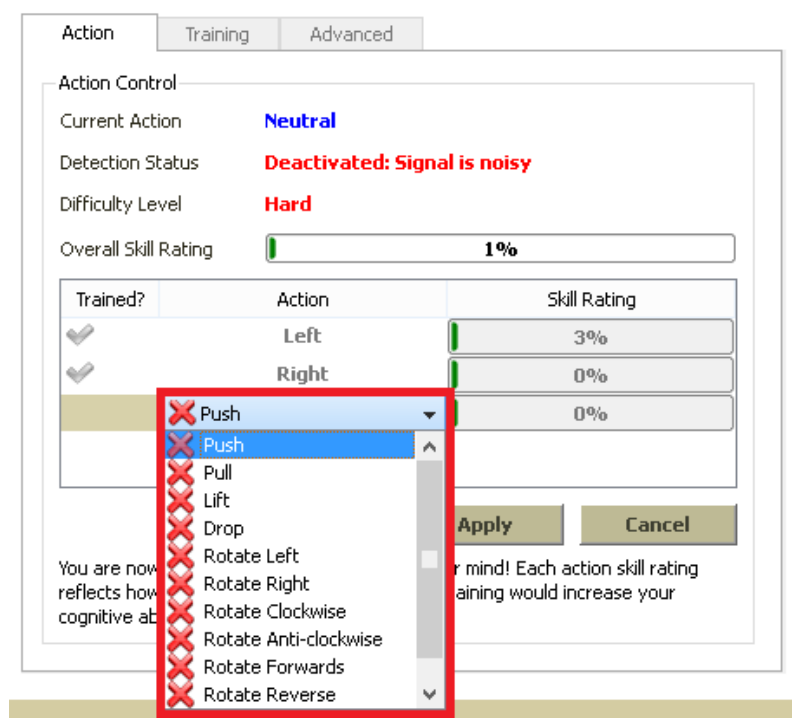


Figura 2.12: Pestaña de estado actual.

- Pestaña de entrenamiento: es la entrada de información a la base de datos, de forma que podemos seleccionar el proceso cognitivo sobre el cual queremos entrenar (Figura 2.13). Se especifica que las sesiones de entrenamiento son de 8 segundos, una vez terminada la sesión, tendremos la opción de añadir la información recopilada a la base de datos, si creemos que hemos hecho bien el entrenamiento, o de desechar esa información para no empeorar el porcentaje de dicha función cognitiva.

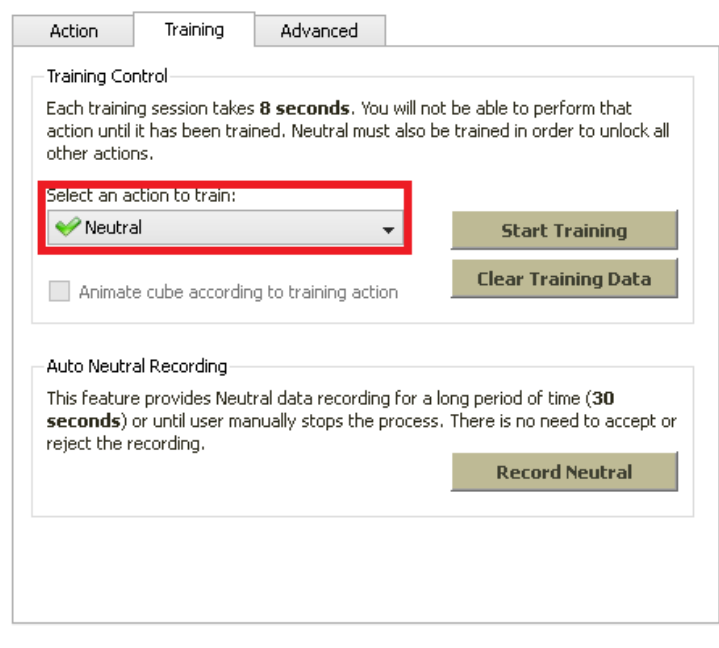


Figura 2.13: Pestaña de entrenamiento cognitivo.

- Pestaña de opciones avanzadas: nos permite la configuración para usuarios avanzados, de forma que podemos calibrar la sensibilidad de diferentes acciones (Figura 2.14).

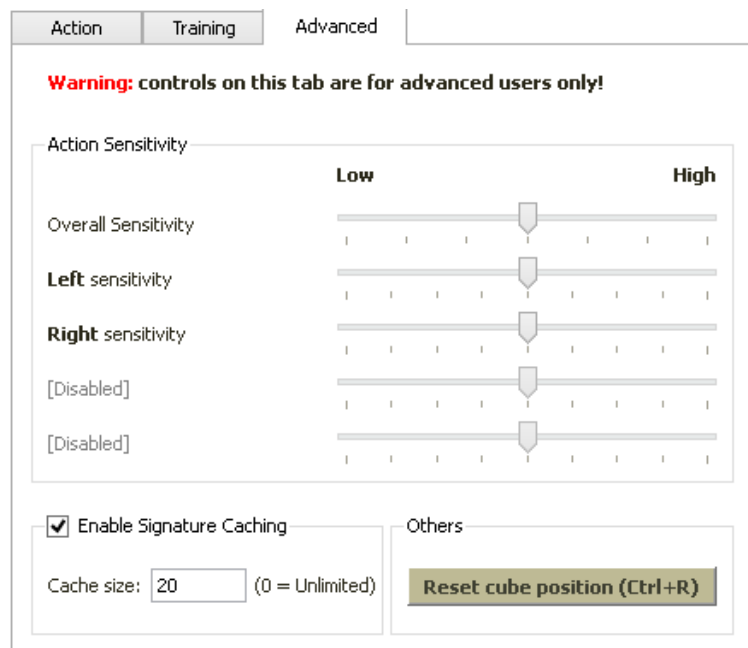


Figura 2.14: Opciones de configuración avanzada.



Capítulo 3

Proceso de construcción del nuevo sistema.

A partir del sistema Emotiv Epoc, se construirá un dispositivo con mejores prestaciones, las cuales serán comparadas con el sistema inicial mediante varios experimentos. En el presente capítulo se describirá en varias partes el proceso completo de transformación de un sistema a otro, separando el proceso en varias partes. Se realizará un estudio del sistema inicial y, a continuación, se procederá a la extracción de los distintos componentes hardware. Una vez estén los componentes listos, se realizará el ensamblaje de todas las partes en una primera versión para comprobar el correcto funcionamiento y, a continuación, se intentará mejorar con pequeños cambios. Por último, se efectuarán varias pruebas para comprobar que todo se ha realizado de forma satisfactoria.

3.1. Material de laboratorio utilizado.

Para el correcto desarrollo del proyecto ha sido necesaria una serie de materiales que serán listados a continuación. No es necesario para la realización del mismo, pero sí para una mejor calidad, y una mejor experiencia a lo largo del desarrollo. Se expondrá el soldador utilizado y el tipo de estaño. El resto del material, polímetro, extractor, alicates y pelacables no son determinantes en la calidad del dispositivo, por ello no serán objeto de estudio.

- **Soldador:** el soldador fue elegido debido a la necesidad de una punta lo más fina posible, ya que las soldaduras están muy próximas entre sí y cerca de los puntos a soldar se encuentran partes de hardware como microcontroladores, que no agradecerían una gran fuente de calor externa. Por ello se utilizó el modelo de JBC 14-ST de 11W de potencia, el cual permite una punta de 0,5 mm de diámetro, siendo la más pequeña soportada por la gama de soldadores JBC. El modelo de la punta es el B-03D (Figura 3.1).



Figura 3.1: Soldador JBC con punta 0,5 mm.

- **Estaño:** tras determinar que la mezcla de estaño comercial habitual no era lo más adecuada para este proceso por la poca amplitud de las señales eléctricas que se iban a tratar, se intentó buscar uno de mejores condiciones con un precio razonable. El estaño comercial habitual se compone de una mezcla de 60% estaño y 40% plomo, estos valores pueden oscilar en torno a un 10%, pero no más. El estaño que se utilizó contiene un 96% de estaño y un 4% de plata (Figura 3.2), lo cual mejora considerablemente sus características tanto eléctricas como mecánicas. Las características eléctricas consiguen una mejora del 4% aproximadamente, mientras que las mecánicas, sobre el 7%.



Figura 3.2: Estaño con plata.

3.2. Extracción de los diferentes componentes hardware.

El proceso completo es bastante engorroso, por ello, será desarrollado en varias fases. Una primera fase se encargará de tener una toma de contacto con el sistema, la segunda fase se centrará en el etiquetado de sensores para su posterior localización y, por último, se llevará a cabo la extracción completa del hardware con su correspondiente etiquetado.

3.2.1. Primer contacto con el dispositivo.

El dispositivo con el que se va a trabajar está siendo usado desde hace aproximadamente 3 años, con lo cual, al no ser nuevo, puede tener algunos problemas. En un primer contacto con el dispositivo, se aprecia un fallo aparentemente de alimentación, ya que funciona. El dispositivo, no enciende, no carga, ni responde a ningún estímulo. Para poder realizar el etiquetado de los sensores, es necesario que el dispositivo funcione correctamente. A continuación, se procede a desmontar el dispositivo para poder determinar el fallo del sistema y, si éste se puede solventar de una forma eficiente.

Para desmontar el casco Emotiv Epoc es necesario seguir una serie de pasos, los cuales son muy intuitivos a simple vista. El primer punto es quitar los elementos adheridos mediante pegamento, seguidamente con la extracción de 6 tornillos, llegamos al punto de tener acceso visible a todo el hardware del sistema (Figura 3.3). Llegados a este punto, se observa que el dispositivo no reacciona ante ningún tipo de interacción con el mismo. Por ello, utilizando el polímetro se determina que la batería está con un potencial de 0V, lo cual nos indica que se necesita una sustitución de la misma.

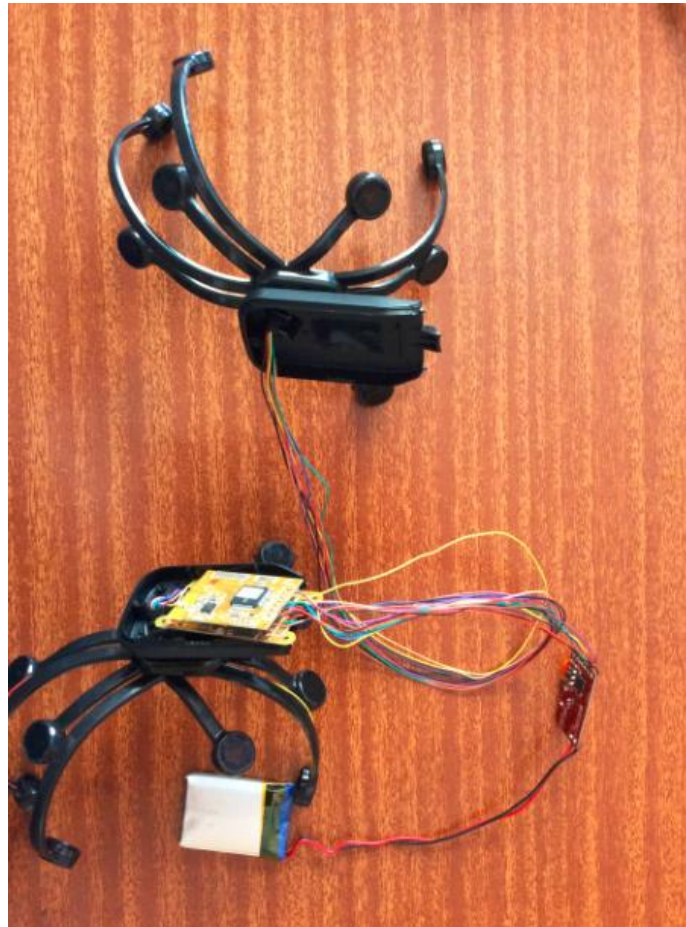


Figura 3.3: Hardware completo visible.

Tras el intento de encenderlo con el cable de alimentación conectado, se obtiene un resultado similar, no responde a ningún estímulo. Sospechando que la tasa de descarga del dispositivo puede ser mayor que la de carga, por ello, aún con el cable de alimentación puesto, no tendríamos la tasa de amperaje necesaria para la estimulación del dispositivo, lo cual es interesante para obtener más información del sistema. En este punto ya podemos asegurar que tardará mucho más tiempo en cargarse que en descargarse una vez esté en funcionamiento. A continuación, se procede a la realización de varias pruebas con una batería de móvil, ya que el potencial es el mismo (3,7V), para determinar con total exactitud que ese es el problema. Con ayuda de una protoboard y unos pocos cables, se realiza el circuito en sustitución de la batería (Figura 3.4), observando, como era de esperar, que el dispositivo enciende correctamente, indicándolo con un led azul, el cual indica que el sistema está operativo y todo está correcto.

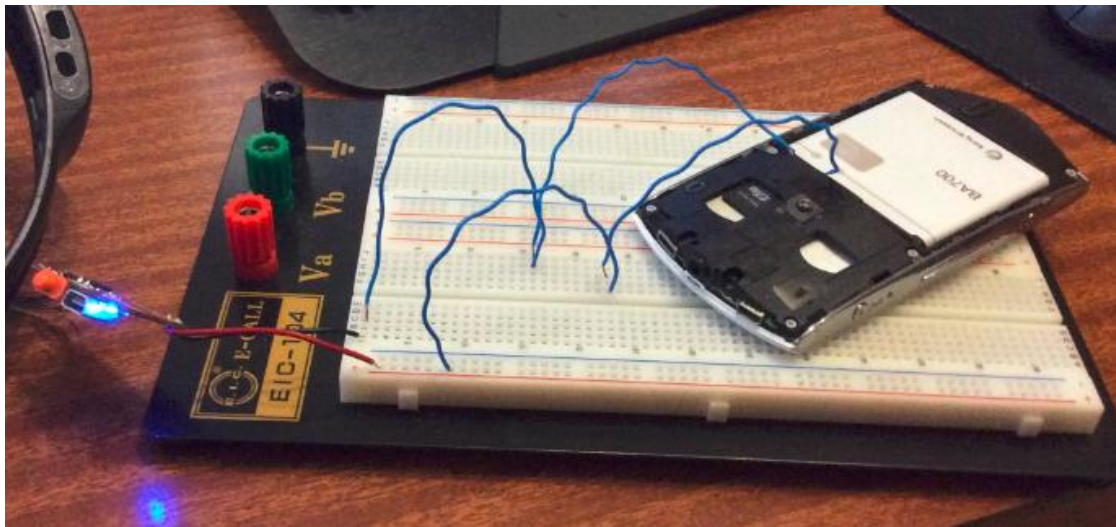


Figura 3.4: Circuito corroborador de fallo de batería.

Con el problema diagnosticado de forma correcta, podemos continuar con el proyecto, ya que durante esta incertidumbre, no se podía avanzar con desmontar por completo el dispositivo. Esto es debido a que hay un punto de no retorno en el proceso, y en esta parte estamos previos al dicho punto.

El siguiente paso es encontrar una batería de sustitución que cumpla con las características necesarias para que sea válida, la primera es la forma rectangular con las siguientes medidas, 28x37x6mm (Figura 3.5), de forma que cualquier medida superior a ésta no será posible que entre en la caja que contendrá el hardware. La siguiente característica importante es la eléctrica, deberá tener un potencial de 3,7V y, una capacidad lo más elevada posible. La capacidad de la que disponía el dispositivo es de 800mA, pero como son fabricadas exclusivamente para ellos, encontrar una de características similares fue prácticamente imposible. Por ello, se intentó encontrar una con la capacidad lo más elevada posible siendo conscientes que no se llegaría a 800mA. Tras indagar por foros del fabricante, éste advertía del peligro del cambio de batería por la localización de la misma (exactamente en la cabeza cuando esté montada en el casco de malla). El fabricante recomendaba la compra de otro dispositivo completo, ya que no vendían la batería por separado y, sus baterías cumplían una serie de medidas de seguridad extras, como protección contra tensiones elevadas, cortocuitos, etc. En definitiva, nada que no contenga cualquier buena batería LiPo con unos niveles de calidad medianamente buenos.

Debido a este problema, la batería debía de ser de un fabricante fiable, con ciertas medidas de seguridad y, un nivel de calidad aceptable. Como consecuencia, se eliminó cualquier posibilidad de baterías directas de proveedores chinos. El resultado de una búsqueda exhaustiva fue una batería de fabricante alemán, con una capacidad de 650mA, dimensiones 27x34x5mm y una protección IP23 (Figura 3.6).

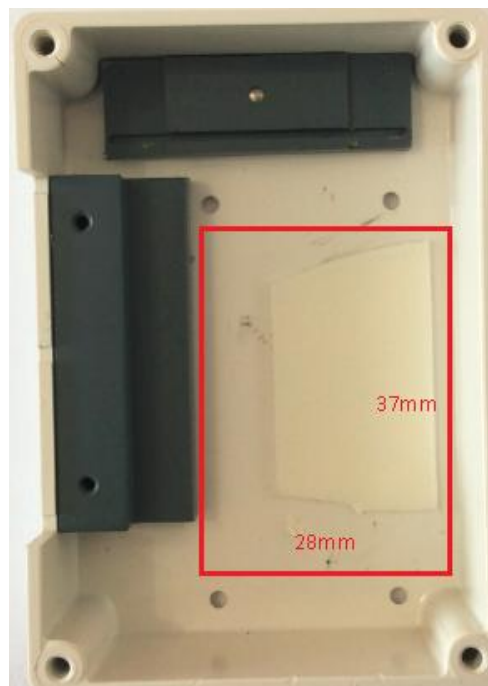


Figura 3.5: Dimensiones máximas admitidas de la batería.



Figura 3.6: Batería LiPo 650mAh/3,7V.

La batería tardó varias semanas en llegar, por ello, las siguientes pruebas se realizarán con una batería provisional (Figura 3.7).

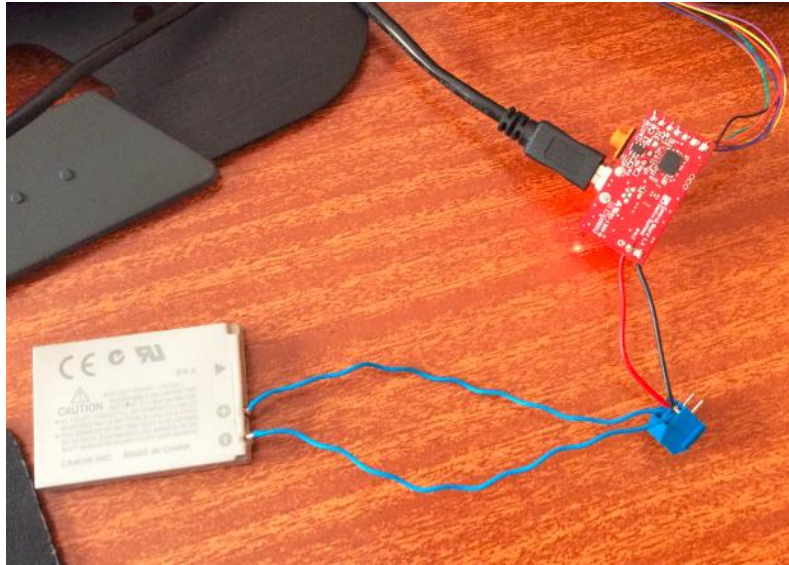


Figura 3.7: Batería provisional adaptada.

3.2.2. Etiquetado previo de sensores.

Una vez ya tenemos el casco operativo de forma provisional, se procederá al etiquetado de los diferentes sensores. En la información encontrada al respecto, no se ha conseguido determinar con total seguridad qué sensor pertenece a qué etiqueta. Debido a esta problemática, se desarrollará una prueba de ensayo y error, de forma que se irá etiquetando sensor a sensor de forma progresiva.

Con el casco puesto en un sujeto, y con la ayuda del sistema de software, se realizará una buena conexión de todos los sensores, de forma que el software nos indique todas sus posiciones en verde (Figura 3.8). Con una imagen de las posiciones etiquetadas según el estándar 10-20 que lleva instaurado Emotiv Epoc, se podrá saber qué sensor se está levantando ya que su color pasará a negro. Seguidamente se etiquetará dicho sensor con una etiqueta provisional que servirá de guía para el siguiente paso (Figura 3.9). Las posiciones a etiquetar son O1, O2, P7, P8, CMS, DRL, T7, T8, FC5, FC6, F3, F4, F7, F8, AF3, AF4. Las posiciones mencionadas vienen denominadas según el estándar de posicionamiento del modelo 10-20.

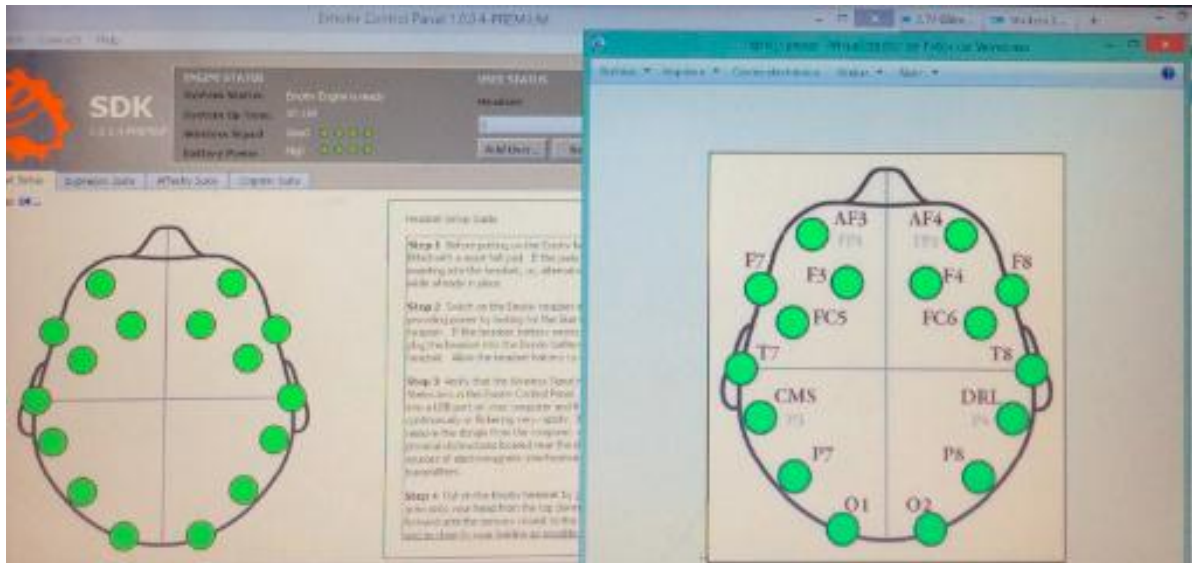


Figura 3.8: Comparativa de posiciones sensoriales Emotiv Epoc.



Figura 3.9: Casco Emotiv Epoc con sensores etiquetados.

3.2.3. Extracción completa de hardware.

Llegados a este punto, debemos proceder a la extracción del hardware por completo. La extracción se puede llevar a cabo cortando los cables de los sensores y, como cada uno de ellos tiene sus distintas etiquetas, se debe de tener sumo cuidado para no cometer errores de etiqueta. Para el correcto desarrollo de la extracción de cables uno a uno, se ayudará de unas etiquetas semirrígidas, las cuales serán más adelante usadas en el nombramiento de las posiciones sensoriales. En las etiquetas se escriben a mano los diferentes nombres de los sensores, de forma que cada cable que se corta se le asigna una etiqueta. Una vez termina el proceso de extracción, podemos visualizar correctamente todas las partes que lo componen con todos sus sensores etiquetados (Figura 3.10).

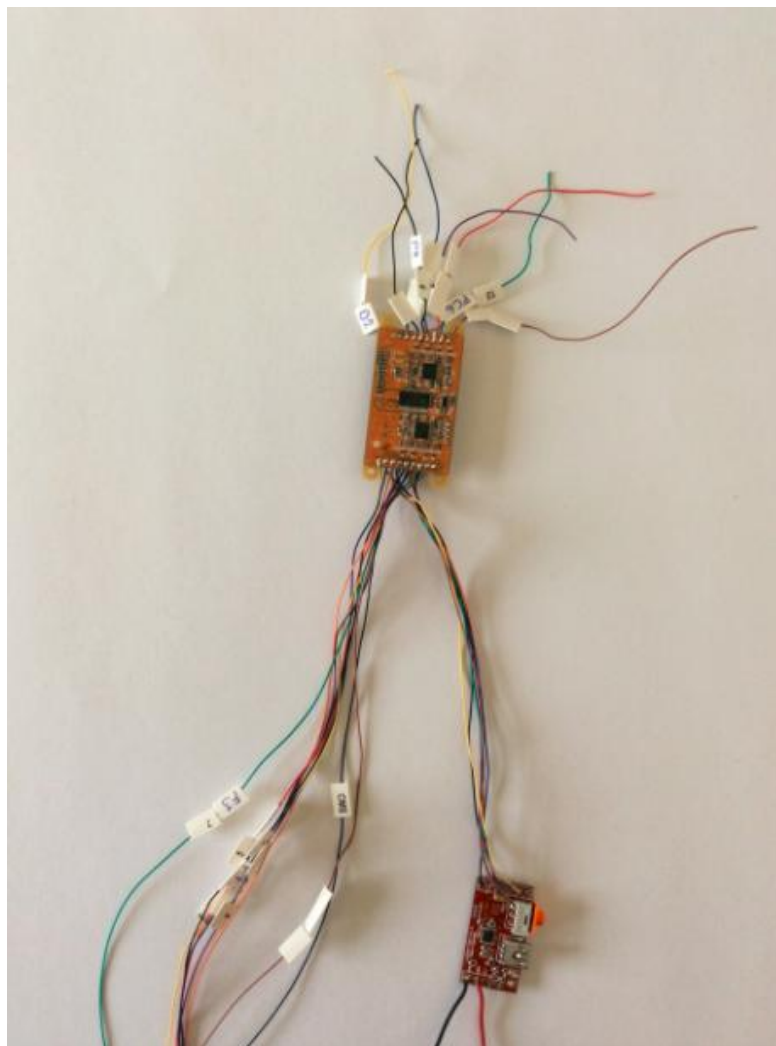


Figura 3.10: Hardware completo con sensores etiquetados.

3.3. Ensamblaje de partes del sistema (Versión Beta).

El ensamblaje final del dispositivo atraviesa varias fases que merecen atención especial. Por ello se distinguirán los apartados más importantes a continuación.

3.3.1. Kit de ensamblaje Hardware.

Para la construcción del nuevo dispositivo se necesitan nuevos componentes, los cuales darán ese salto de calidad al dispositivo inicial. El hardware de ensamblaje es adquirido de un fabricante alemán “Bionic Ibérica S.A.”, el cual nos proporciona un kit llamado EASYCAP, con el cual tenemos la totalidad de los componentes que necesitamos para el desarrollo y uso del dispositivo final, que incluye los siguientes componentes:

- **Malla elástica de 60cm:** la cual está perforada en todas las posiciones posibles de posicionamiento de cualquier electrodo.
- **Electrodos:** componen su totalidad 16 electrodos de plata clorurada con cable de 150 cm con encapsulado transparente y color del cable rojo. Otros 2 electrodos de las mismas características pero con el cable negro, y otros dos más con el cable azul. Teniendo un total de 20 electrodos, de los cuales se usarán 18.
- **Etiquetas:** etiquetas semirrígidas con una enumeración determinada, pero con la posibilidad de poder escribir las anotaciones que sean necesarias debido a espacio sobrante.
- **Conectores:** un kit de 30 conectores para crimpar los cables de los sensores y poder introducir dicho cable crimpado en un conector.
- **Encapsulado:** el encapsulado se puede dividir por una parte en la caja de plástico dentro de la cual irán introducidos todos los componentes, el conector hembra/macho que necesitaremos para el conexionado de todos los sensores a la caja y los tornillos para cerrar la caja de una forma robusta. También se proporciona una malla de tela elástica con velcro la cual será usada como funda para la caja, de forma que se podrá adherir la caja al casco gracias al velcro de la funda.

- **Kit de inicio para registros EEG:** es un completo kit con todos los utensilios necesarios para poner en funcionamiento el dispositivo. Tenemos a modo de ejemplo, el gel de conductividad para realizar la correcta conexión del electrodo con el cuero cabelludo, por otro lado tenemos un alcohol para limpiar la superficie sobre la cual será puesto dicho gel. El kit es completado por bastoncillos, un cepillo, un gel abrasivo para la limpieza de los sensores y unas jeringuillas para la colocación del gel de conductividad.

3.3.2. Sustitución de cableado y soldaduras.

Llegados a este punto se tiene el dispositivo con los sensores etiquetados pero con longitudes de cables aleatorias, por ello se deberán de sustituir todos los cables de la placa por otros del mismo color, pero de igual longitud. Igualmente se procederá a la sustitución de todas las soldaduras de la placa, debido a que no se sabe a priori la composición de dicha soldadura y se dispone de una composición de buena calidad.

El primer paso será determinar una longitud de cable que nos permita el ensamblaje completo de todos los componentes dentro de la caja. Por ello, se determina una longitud aproximada de 12 cm de longitud por cable de cada canal. Se intenta que la longitud de todos los cables sea la misma, para intentar que las impedancias residuales de las soldaduras y longitud de cables interfieran lo mínimo posible en la medida de las señales. Aunque los sensores midan sobre una impedancia de 5-10Kohm, lo cual quiere decir que las impedancias residuales, las cuales en comparación con la impedancia de los sensores debería de ser insignificante, no tendrán un papel determinante en la medida de cada sensor. Aún así se intentará minimizar todas las impedancias residuales teniendo en cuenta la longitud de los cables y la cantidad de estaño que se aporta a la soldadura.

El siguiente paso es soldar los cables de igual longitud previamente cortados. Los cables irán soldados a la placa en un extremo de los mismos y al conector hembra en el otro extremo, por ello se puede elegir qué parte soldar primero. Para una realización más sencilla y más cómoda se soldará primero la parte del conector hembra. Se realizarán las soldaduras de los cables según su color, siendo éste el correspondiente al cable soldado a la placa en el canal que corresponda al pin del conector. Como es de lógica el conector tiene 18 cables de los 16 canales activos y 2 de masa. Para desarrollar con éxito el trabajo es necesario tener unos criterios de numeración de canales establecidos, dichos criterios se pueden ver de forma clara en la Figura 3.11 y la Tabla 3.1.

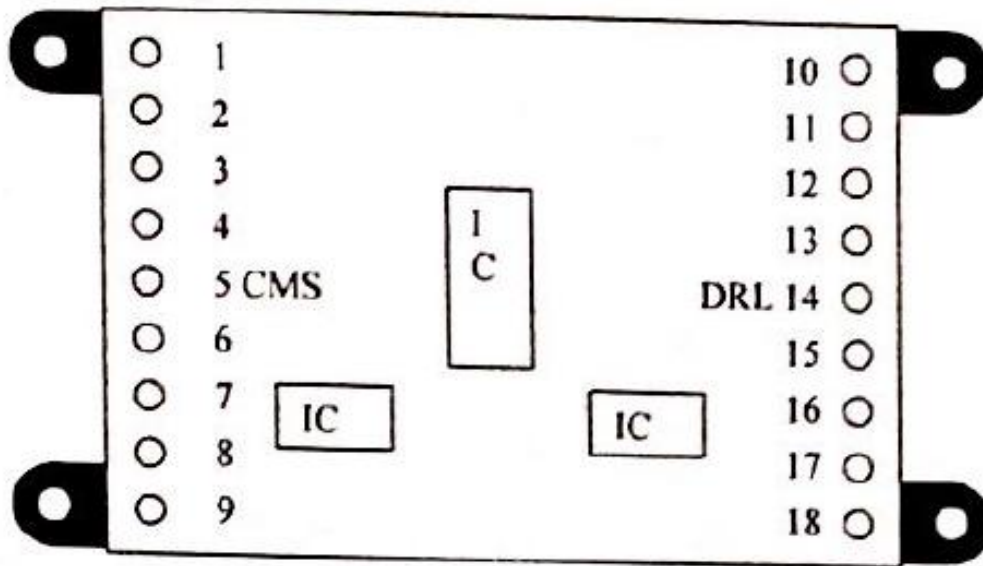


Figura 3.11a: Enumeración de placa y de conector hembra.

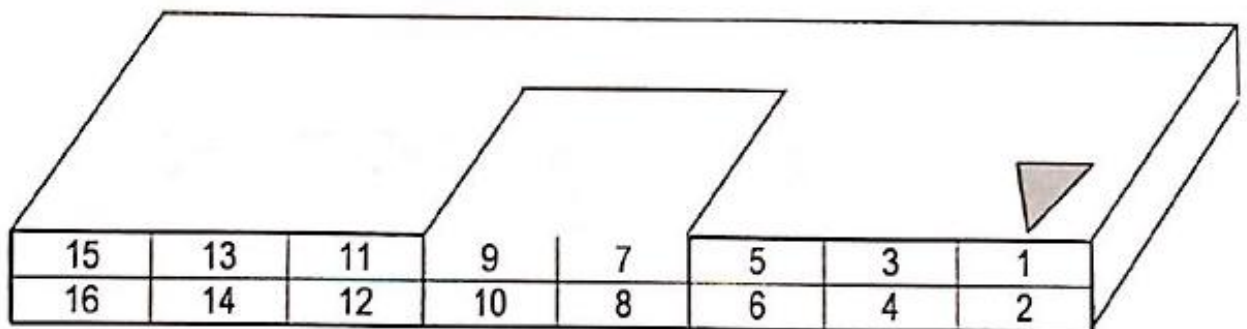


Figura 3.11b: Enumeración de placa y de conector hembra.



Número de canal placa Emotiv Epoc.	Numeración conector hembra.	Color del cable.	Posición del electrodo en software Emotiv.
1	1	Amarillo	O1
2	2	Azul	P7
3	3	Negro	T7
4	4	Fucsia	F7
5 CMS	5 CMS	Negro	CMS
6	6	Naranja	AF3
7	7	Marrón	FC5
8	8	Verde	F3
11	9	Negro	O2
12	10	Amarillo	P8
13	11	Azul	T8
14 DRL	12 DRL	Negro	DRL
15	13	Fucsia	F8
16	14	Naranja	AF4
17	15	Verde	FC6
18	16	Marrón	F4

Tabla 3.1: Tabla de valores asignados a cables.

Con los criterios ya establecidos, debemos proceder a soldar los cables en el conector hembra como primer paso de soldadura, este proceso es laborioso y delicado, debido a que los pines están muy próximos entre ellos y se pueden interferir si la soldadura no es muy limpia. Debido a esto, se procede a realizar de forma muy pausada las soldaduras. Una vez terminadas todas, tendremos el conector hembra con los cables de sus correspondientes colores ya soldados (Figura 3.12).

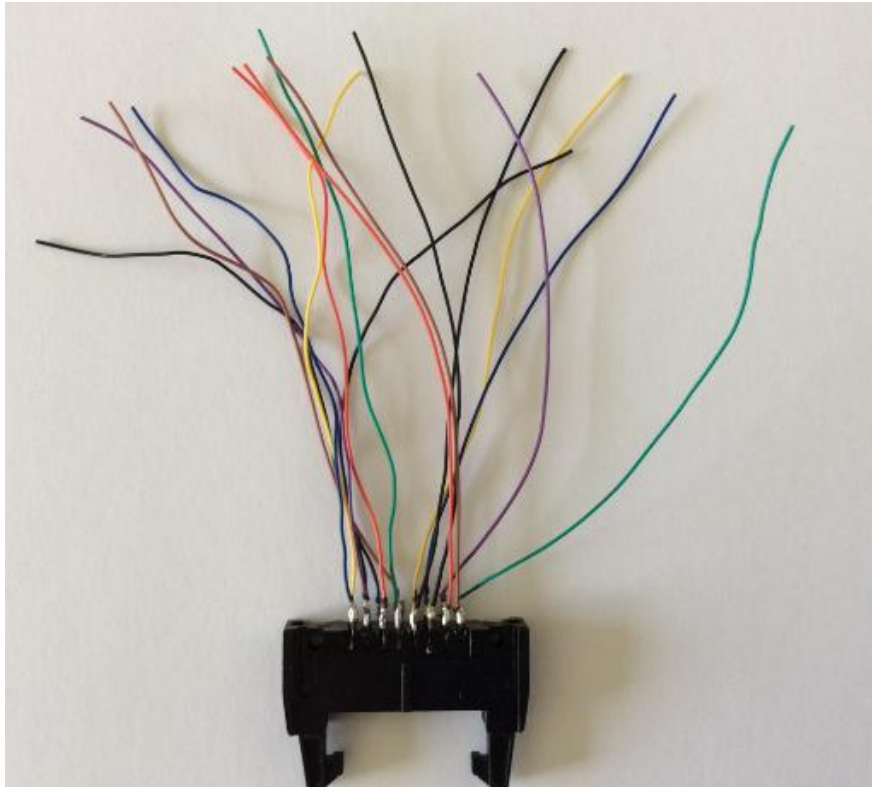


Figura 3.12: Conector hembra con cables soldados.

El siguiente paso a seguir es un paso delicado del proceso ya que hay que tener sumo cuidado en la extracción de los cables de cada sensor de la placa debido a la poca robustez de las pistas de cobre adheridas a la misma. Por experiencia personal, se determina que no se deberá de calentar durante mucho tiempo cada soldadura, ni tampoco acercar el extractor lo máximo, ya que podríamos arrancar la superficie de soldadura. Para evitar fallos iremos cable por cable, de forma que se desoldará un cable de la placa, se limpiará la zona de soldadura, seguidamente se escogerá el cable a soldar (ambos del mismo color), una vez terminado, éste estará ya soldado a la placa y al conector. Este proceso se repetirá con todos los cables, de modo que tras repetirlo varias veces ya tendremos nuestro conector unido a la placa mediante los cables (Figura 3.13).

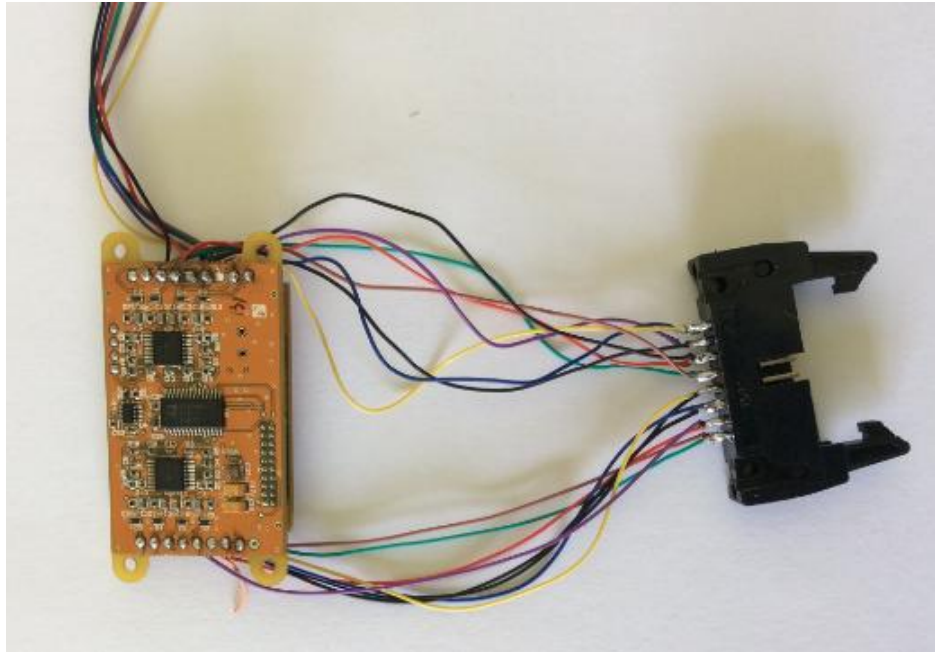


Figura 3.13: Conector hembra y placa hardware.

3.3.3. Cableado de sensores.

Los sensores de que deberemos de usar son 14 de cableado rojo, 1 de cableado negro y otro azul. Todos los sensores vienen con un cable de 150 cm. Es lógico que no deberán ser tan largos. Para estimar la longitud del cableado de los sensores se han tenido en cuenta la consideración de que no sabemos qué configuraciones se van a usar con el mismo, por ello se cortarán a una longitud mínima la cual permita que cualquier cable en el caso más desfavorable (punto más lejano entre la ubicación de la caja hardware y cualquier posible posición de un sensor) pueda usarse correctamente. Para determinar dicha longitud, se pondrá la malla sobre un sujeto y se medirá la longitud realizando el posicionamiento del sensor en la zona más alejada del conector de la caja (Figura 3.14). Una vez se tiene la longitud determinada, se cortarán todos los cables de los sensores.



Figura 3.14: Determinación de longitud de cableado de los sensores.

El siguiente paso será soldar y crimpar el conector al cable del sensor. Los conectores que tenemos pueden usarse solo con el crimpado, pero para una mayor robustez y calidad de la señal, se ha optado por soldar las partes metálicas y crimpar la parte del plástico del cable. De esta forma nos aseguramos que tiene una buena robustez y, que además, su calidad de conexionado es máxima. El procedimiento será, primero soldar el cable al conector (Figura 3.15) y, una vez soldado, realizamos el crimpado. El conector macho en el que irán introducidos todos los cables de los sensores, está enumerado de la misma forma que el conector hembra (Figura 3.16), por lo que solamente deberemos irnos a la tabla anterior para ver qué etiqueta de posicionamiento le corresponde a dicho sensor que hemos colocado en la posición “x” del conector, quedando de esta forma el cable crimpado del electrodo listo para su inserción en el conector (Figura 3.17).



Los electrodos llevarán dos etiquetas, una indicando la posición que tenía en el sistema Emotiv Epoc según el estándar 10-20 y otra etiqueta con un número. La etiqueta con el número sirve para poder hacer, a posteriori, cambios de configuración de una forma más intuitiva, ya que se podrá asignar una posición específica a cada número. Dicha numeración está hecha sobre los electrodos activos, es decir, los 14 rojos (Tabla 3.2).



Figura 3.15: Soldadura de conector crimpado.



Figura 3.16: Conector macho enumerado.

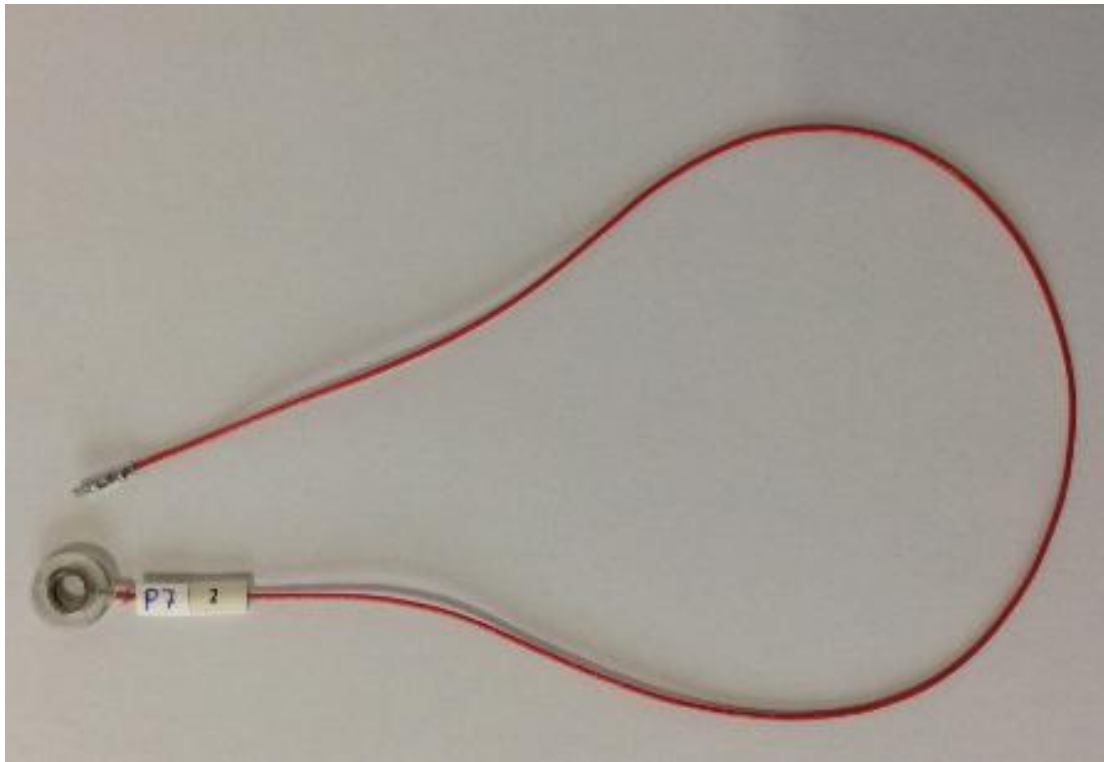


Figura 3.17: Electrodo completo.



Número de electrodo	Posición sistema Emotiv
1	O1
2	P7
3	T7
4	F7
5	AF3
6	FC5
7	F3
8	O2
9	P8
10	T8
11	F8
12	AF4
13	FC6
14	F4

Tabla 3.2: Equivalencia entre numeración y posición Emotiv EPOC.

En cuanto a los colores, todos los sensores son rojos menos los dos de masa, los cuales serán azul para CMS y negro para DRL. Una vez se realicen todos los electrodos, ya tendremos el conector macho con todos los electrodos introducidos (Figura 3.18).

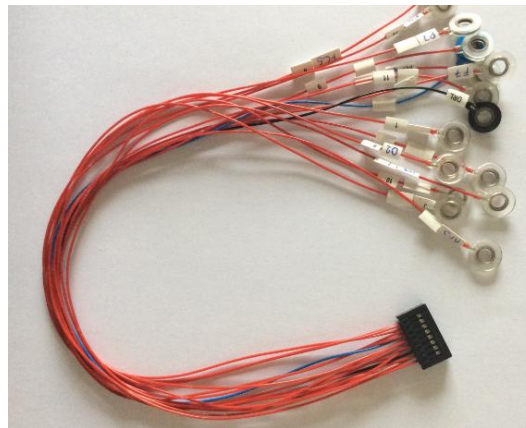


Figura 3.18: Conector con todos los electrodos introducidos.

Llegados a este punto, estamos en condiciones de ensamblar todos los componentes dentro de la caja. Es muy sencillo, solamente necesitamos poner 6 tornillos, y ver cómo quedan (Figura 3.19). Dichos componentes se están ensamblando sin la batería que le correspondería por problemas de logística.

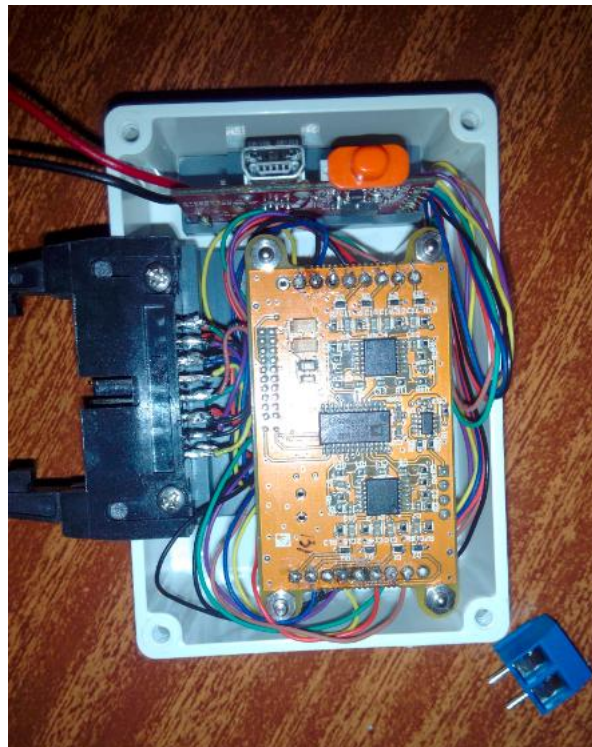


Figura 3.19: Hardware completo versión beta.

Una vez ensamblado todo dentro, se puede apreciar que queda muy comprimido, hay mucho cable sobrante, incluso sin batería que en este caso se

puede introducir cable en el hueco sobrante que ocupará la batería en un futuro, y como consecuencia de ello las soldaduras del conector están sometidas a tensiones que pueden derivar en una fractura de la misma. Por ello se deberá de retocar este aspecto más adelante.

Para un correcto desarrollo, se realizarán unas pruebas de todos los sensores para comprobar su correcto funcionamiento y, que durante el proceso de soldadura y demás la placa no ha sufrido ningún desperfecto. Con la ayuda de un sujeto, se realizan las pruebas para comprobar que todos los sensores están bien etiquetados y que todos ellos responden de una forma normal o esperada (Figura 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23). Dicha prueba se realizará conectando con el gel los dos sensores de masa (DRL y CMS), a continuación se irá uno por uno, comprobando que la etiqueta que tiene corresponde con la que nos indica el sistema de Emotiv Epoc. En la prueba todo sale como se esperaba y el resultado en principio es satisfactorio.

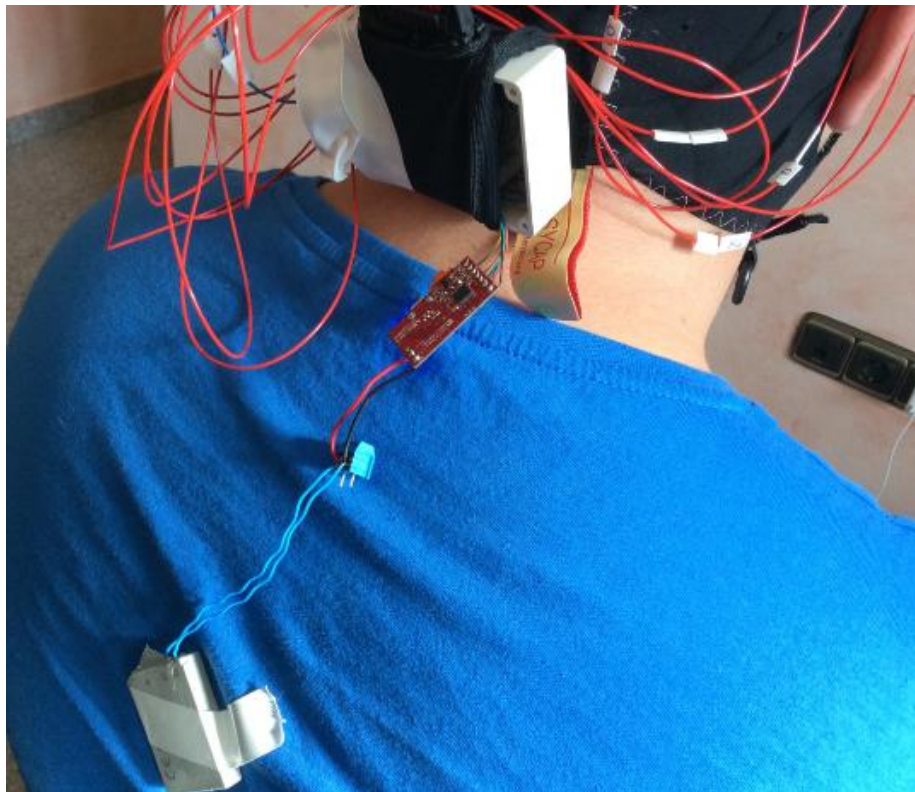


Figura 3.20: Prueba de hardware.

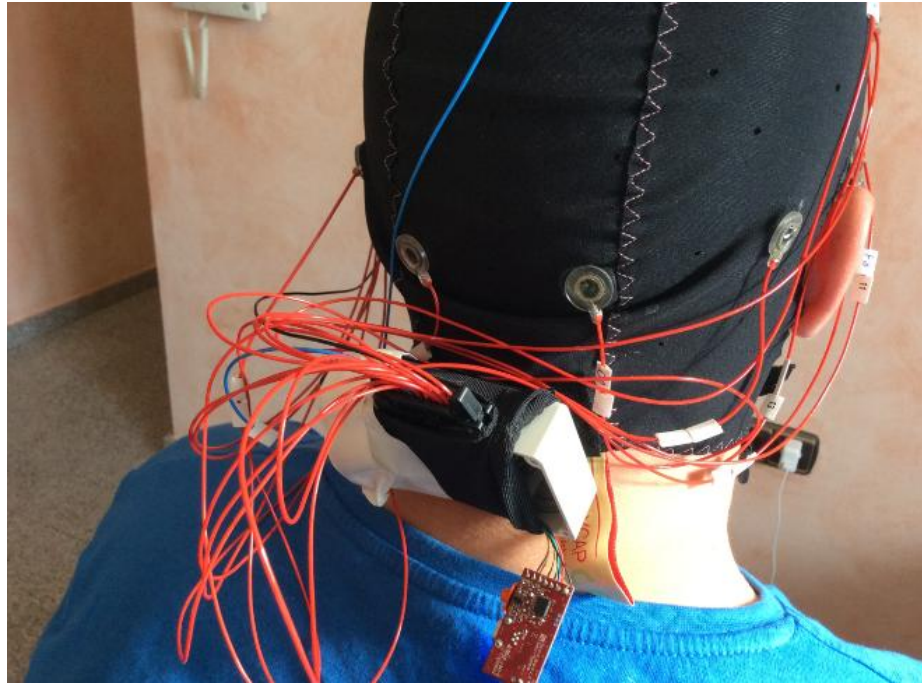


Figura 3.21: Prueba de hardware.



Figura 3.22: Prueba de hardware.

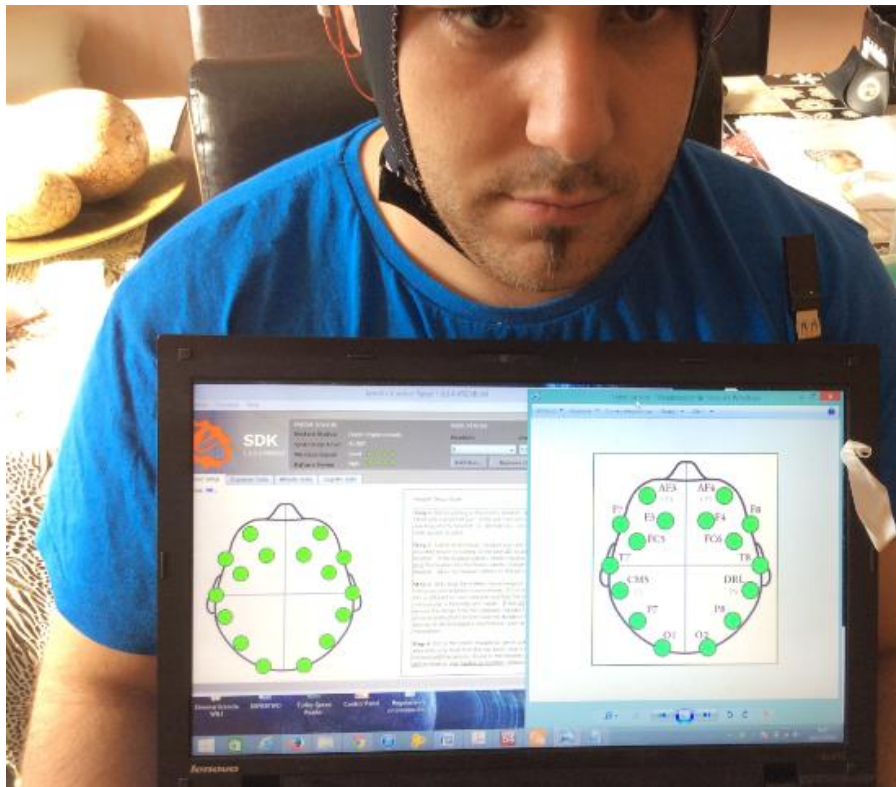


Figura 3.23: Prueba de hardware.

3.4. Ensamblaje de partes del sistema.

Con la comprobación previa en la versión anterior del sistema, sabemos que todo está correcto, pero la longitud de los cables puede ser un problema a medio plazo, por ello se procederá a volver a desarmar el sistema, cortar los cables y volverlos a soldar, repitiendo el procedimiento descrito anteriormente. La longitud de los cables se determinará por tanteo, intentando que sea la mínima posible. En esta parte del proyecto ya contamos con la batería que usaremos descrita en capítulos anteriores. Se procederá a unir la batería a la placa con la soldadura de los cables y un protector termo retráctil (Figura 3.24).

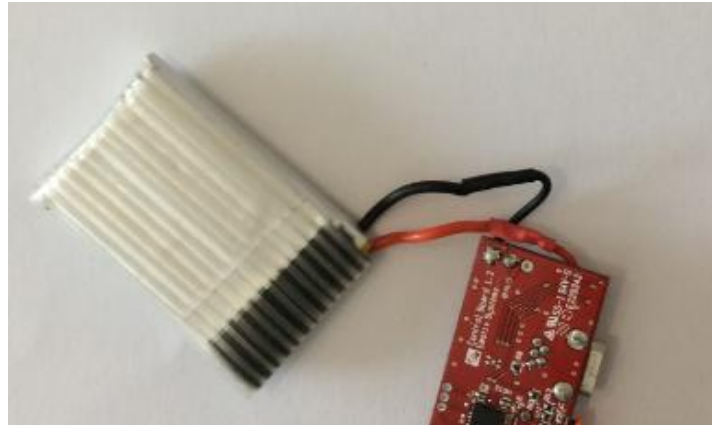


Figura 3.24: Batería del sistema soldada.

Una vez terminado el proceso de reacondicionar la longitud de los cables (Figura 3.25), sacamos en conclusión varias mejoras con el acortamiento de los mismos, en primer lugar todo quedará mucho más compacto y robusto, y al tener todos los cables más cortos y de igual longitud, tenemos menos impedancia debida al cable y una probabilidad menor de que una interferencia electromagnética interfiera en la señal que transporta dicho cable.

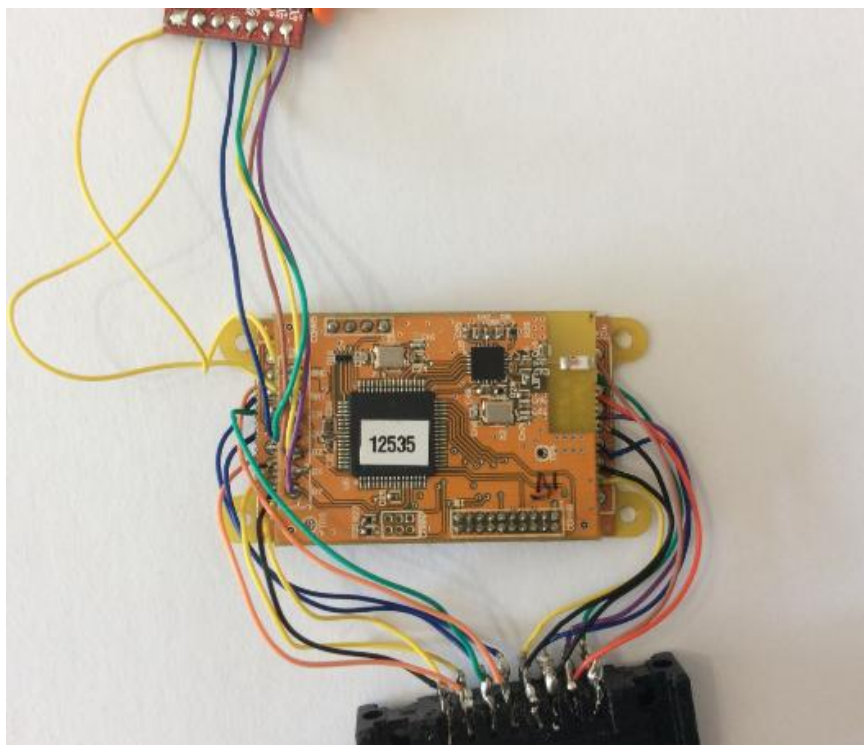


Figura 3.25: Reacondicionamiento de longitud de cables.



Para la inserción de la batería en la caja, usaremos previamente un adhesivo de doble cara (Figura 3.26), debido a que la batería estará alojada en un hueco entre la placa y la caja, por lo que si no está bien sujeta a la caja, ésta podría golpear la placa. Para asegurarnos de que no pase, pegaremos la batería en el fondo de la caja (Figura 3.27).



Figura 3.26: Interior de la caja sin batería.



Figura 3.27: Interior de la caja con batería pegada.

El siguiente paso será ensamblar el resto de componentes como en el apartado anterior, quedando esta vez un sistema más robusto eléctrica y mecánicamente (Figura 3.28).

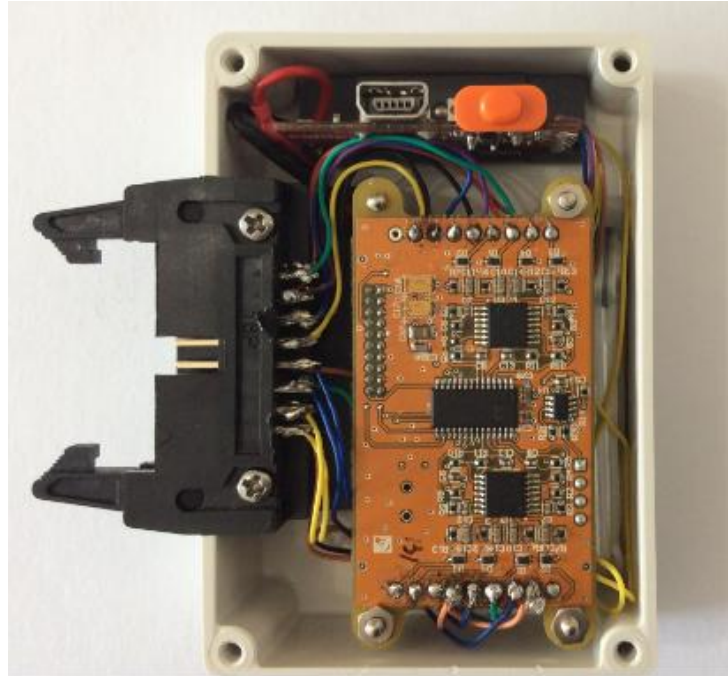


Figura 3.28: Sistema hardware completo.

Por último, nos queda realizar las mismas pruebas que antes, para comprobar que en el nuevo reajuste no se ha producido ningún fallo ni ningún error. Se realizarán las mismas pruebas que en el apartado anterior pero con un nuevo sujeto (Figura 3.29, 3.30, 3.31)

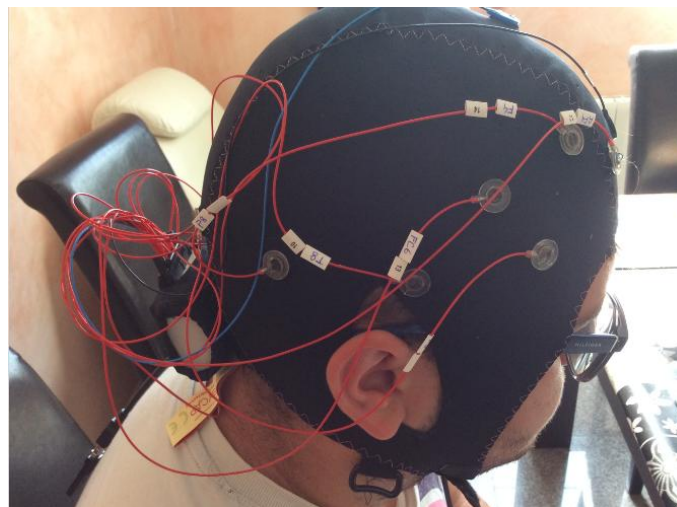


Figura 3.29: Prueba de hardware completo.

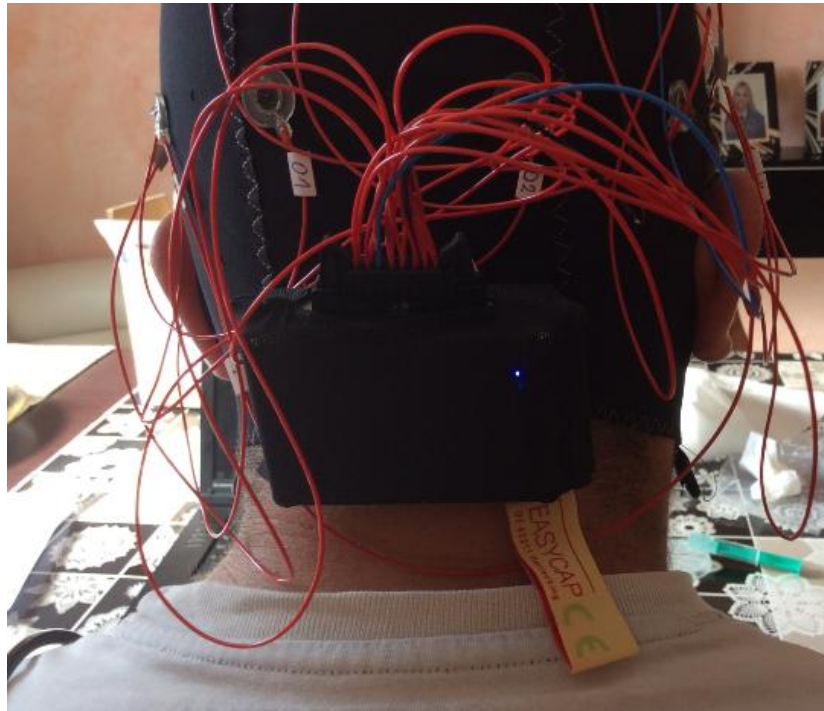


Figura 3.30: Prueba de hardware completo.



Figura 3.31: Prueba de hardware completo.

3.5. Pruebas de funcionamiento extenso y mejoras.

Tras tener la certeza de que todo funciona correctamente, pasaremos a realizar pruebas de funcionamiento intenso y extenso para ver posibles fallos del sistema. El primero es determinar el tiempo de carga completa, ya que la batería no es la original y, por ello, no se corresponderá con el Emoti Epoc original. Primero descargamos la batería completamente y la ponemos a cargar. Debido a la baja tasa de carga, tarda 11 horas en cargar aproximadamente. Tras tenerlo cargado entero, se procede a estimar el tiempo en funcionamiento que tiene el dispositivo hasta que se descarga completamente. El dispositivo aguanta 9 horas seguidas sin volver a cargar. Durante la descarga del dispositivo se han realizado pruebas de la distancia máxima a la cual se puede separar el bluetooth sin perder la conexión.

La distancia depende del medio en el que nos encontremos, debido a que es muy sensible a interferencias electromagnéticas, por ello se hacen dos estimaciones en un medio relativamente aislado en el cual se mantiene la conexión en 2 metros de radio aproximadamente alrededor del dispositivo. En un medio con más interferencias la distancia recomendada es de 1 metro aproximadamente, esto puede ser debido a que el bluetooth está deteriorado o a que no es de muy buena calidad. Para poder mejorar estas medidas se ha adquirido una alargadera usb con conexión 3.0 con múltiple apantallamiento formado por 128 hilos trenzados y lámina de aluminio (Figura 3.32). Con esto conseguimos separar el bluetooth del pc, el cual puede meter ruido al dispositivo. Las nuevas pruebas realizadas con el alargador resultan una mejora notable, quedando unas distancias de 4m en ambientes no muy ruidosos y de 2m en ambientes susceptibles de ruido.



Figura 3.32: Alargador USB de alta calidad.

El último problema encontrado ha sido visto al conectar los dos conectores hembra macho de forma repetida. Los pines del conector hembra, al ser presionados por los del macho, ceden hacia atrás (Figura 3.33), pudiendo ser un gran problema ya que si se hunde mucho el pin, este no conecta con el macho y se anula un canal del dispositivo. Para solucionar el problema se añadirá un potente pegamento de contacto para unir los pines con el resto del conector hembra por la parte de atrás (Figura 3.34).

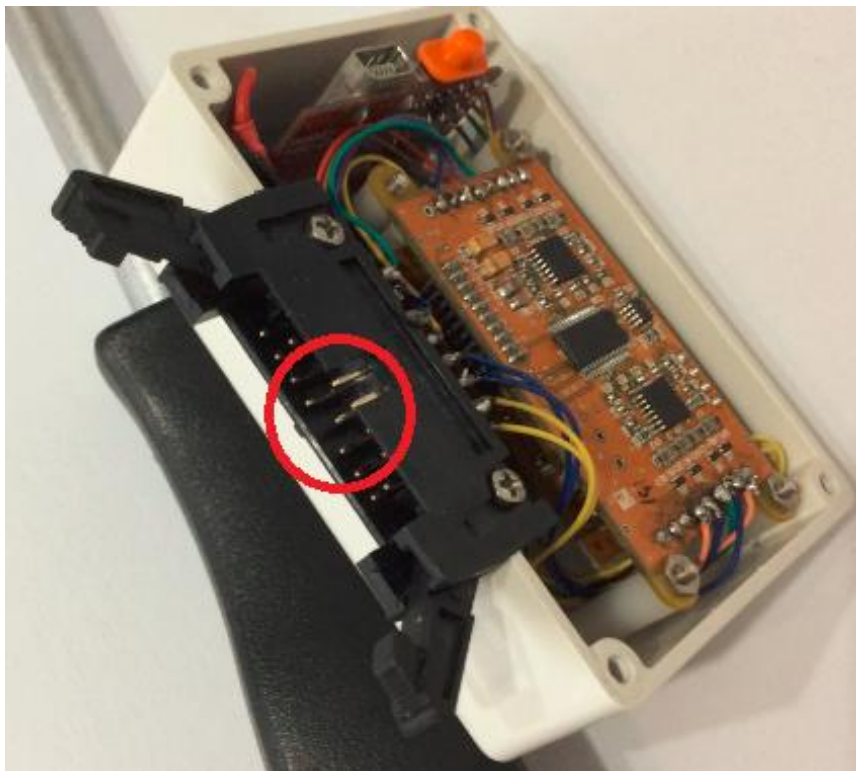


Figura 3.33: Conector hembra con pines hundidos.

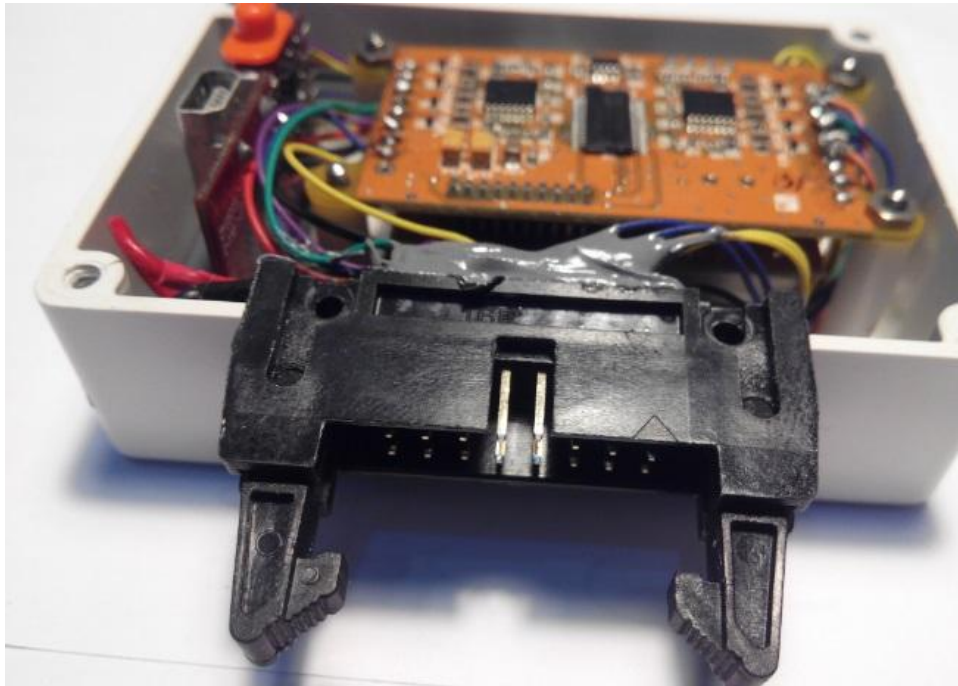


Figura 3.34: Conector con pines adheridos.

Finalmente podemos dar por concluido este capítulo con el dispositivo totalmente terminado y con todas las pruebas que se han considerado necesarias realizadas. El nombre con el cual denominaremos al dispositivo será Emoc.

Capítulo 4

Comparativa entre los dos sistemas.

Para empezar la comparativa, es necesario tener una visión clara y global de la metodología que se va a utilizar y de qué datos se usarán para la misma. Por ello, a continuación, se describirá el proceso que se ha seguido tanto en la adquisición de dichos datos como en su procesado hasta llegar a datos concluyentes que se pueden comparar entre sí de una forma más intuitiva. Finalmente se realizará la comparación de porcentajes de cada dispositivo.

4.1. Método de adquisición de datos.

Para poder llevar a cabo la comparativa, es necesario pasar por una serie de etapas (Figura 4.1), de forma que hay que tener una base de datos previa del sistema y otra posterior. La base de datos estará compuesta por 4 sesiones independientes de cada sujeto. Se dispone de 4 sujetos para realizar los experimentos, tres de ellos tienen más experiencia en las pruebas que el último de ellos. Primero los sujetos realizarán los experimentos con el sistema Emotiv Epoc y, posteriormente, con el sistema denominado Emoc.

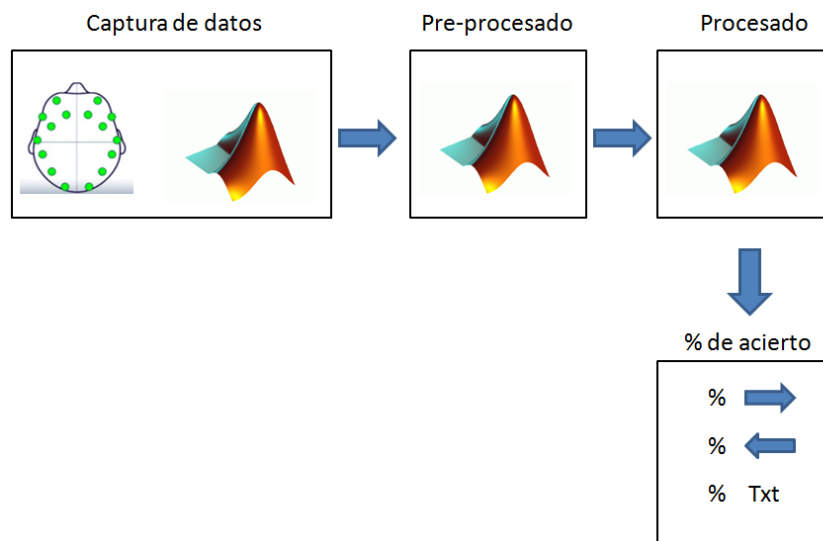


Figura 4.1: Diagrama de proceso completo.



El experimento se desarrollará según las indicaciones del Data Set V de la BCI Competition III, con lo cual, se seguirá la metodología descrita en dichas especificaciones. A continuación, se describirá el método, que será el mismo para los dos sistemas.

El sistema tiene un total de 14 sensores o canales activos, los cuales se corresponden con las posiciones AF4, F8, F4, FC6, T8, P8, O2, O1, P7, T7, FC5, F3, F7, AF3. Las posiciones corresponden con la disposición según el estándar internacional 10-20 (Figura 4.2). La metodología del experimento será realizar las siguientes pruebas:

- Pensar en mover la mano izquierda.
- Pensar en mover la mano derecha.
- Pensar en una palabra que empiece por una determinada letra.

El sujeto que realiza la prueba deberá estar sentado en posición relajada, con los brazos apoyados sobre unos reposabrazos, y con la espalda lo más recta posible. La prueba consistirá en 4 sesiones, con una duración de 4 minutos por sesión, de las cuales 3 de ellas servirán como identificador, es decir, el sistema intentará aprender qué se supone que estamos pensando, y la última sesión será sobre la que se realizará el posterior análisis. Las sesiones se realizarán con periodos de descanso estimados entre 5-10 minutos.

El procedimiento de cada sesión será el mostrar al usuario lo que tiene que pensar mediante una imagen. La imagen cambiará cada 15 segundos, y el orden según el cual aparecen las diferentes imágenes será aleatorio.

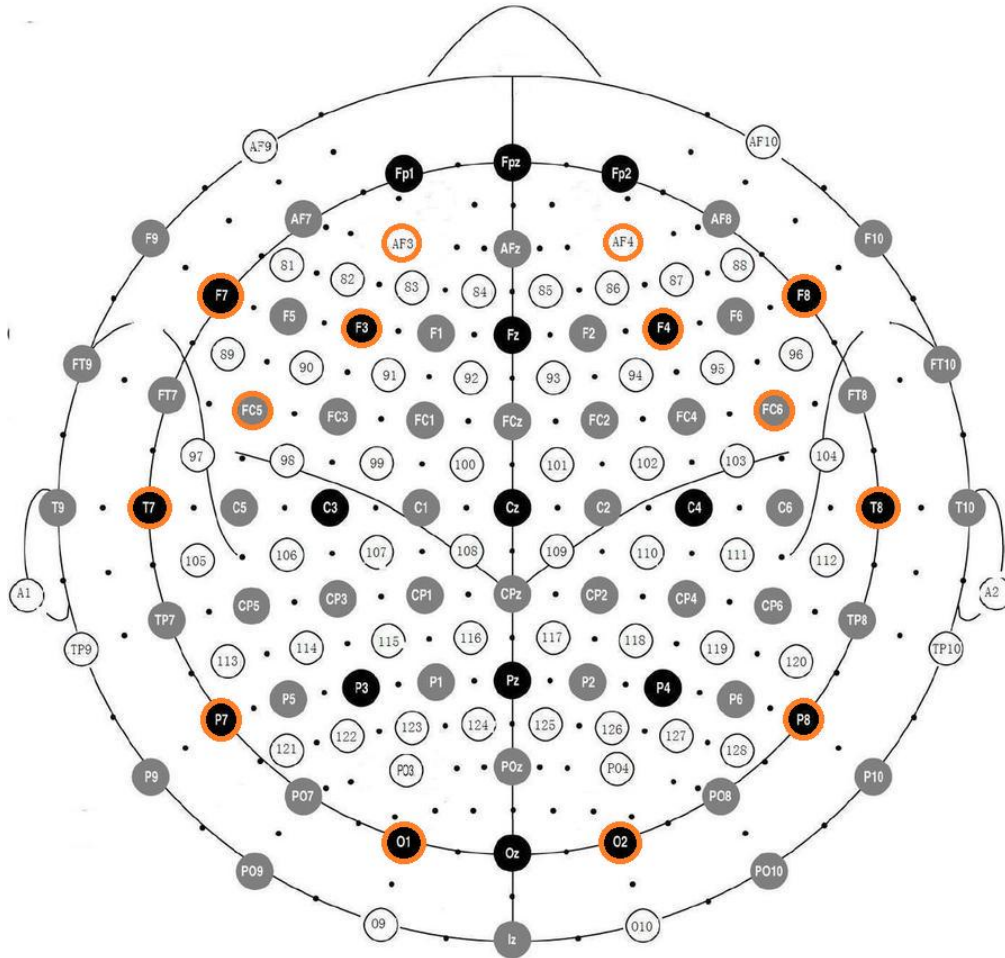


Figura 4.2: Disposición de sensores Emotiv EPOC según estándar 10-20.

Como el hardware del sistema Emotiv EPOC dispone de una frecuencia de muestreo de 128 Hz, eso quiere decir que tendremos 128 muestras cada segundo por cada canal independiente. Con lo cual, cada segundo, el sistema proporcionará 1.792 datos.

El tiempo estimado de preparación del dispositivo Emotiv EPOC para la realización del experimento será de unos 5 minutos aproximadamente. Es poco tiempo relativamente, ya que disponemos de sensores por contacto, que sólo necesitan una solución salina para reducir su impedancia.

En cuanto al sistema Emoc, éste, aún siendo configurable, usará las mismas posiciones que el sistema Emotiv EPOC. Todo lo descrito anteriormente es válido para este sistema, la única diferencia a priori, será la colocación de los sensores. El tiempo de preparación del dispositivo con los sensores sin colocar en sus posiciones de la malla, será aproximadamente de 25 minutos.

Los electrodos necesitarán la aplicación de un gel de baja impedancia en su interior, para que contacten con el cuero cabelludo (Figura 4.3). Dicho gel se suministrará a cada electrodo de forma independiente con una jeringuilla. Al tiempo de preparación hay que sumarle un tiempo de post-experimento, el cual será empleado en limpiar cada uno de los electrodos, incluso con un gel abrasivo cuando sea conveniente. Dicho tiempo es aproximadamente de 10-15 minutos. Por ello, podemos considerar el tiempo completo de realización de un experimento sobre unos 40 minutos.

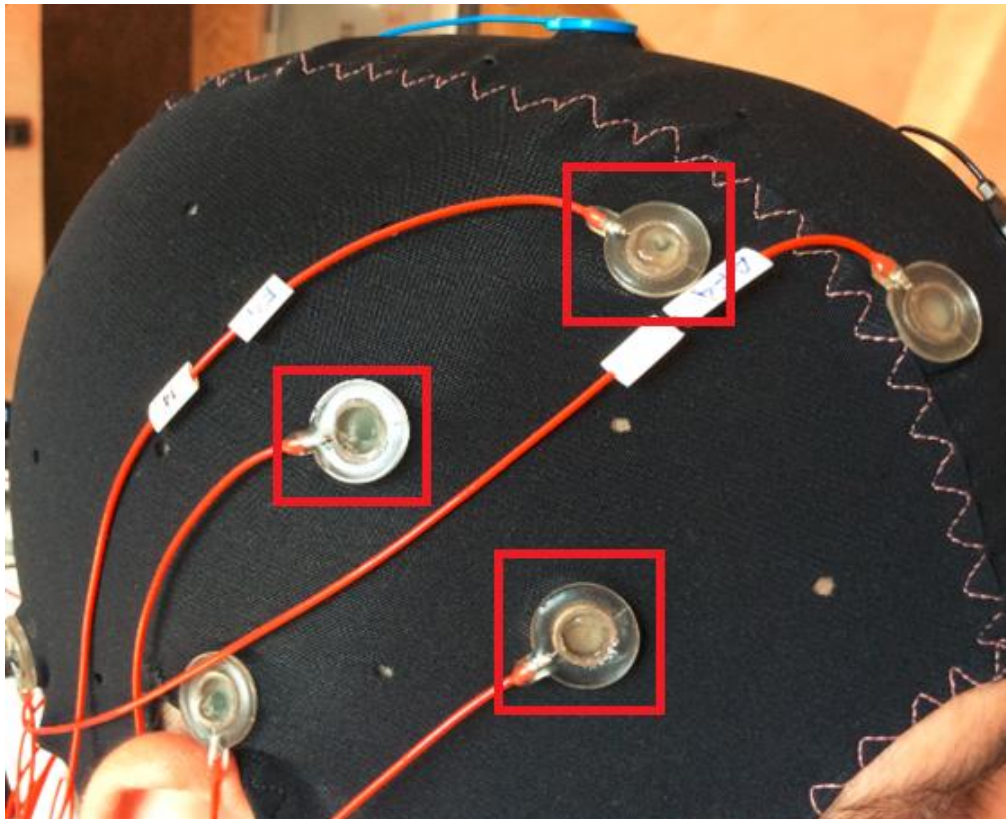


Figura 4.3: Electrodo Emoc colocados con el gel de baja impedancia.

Tanto para un experimento como para otro, será imprescindible visualizar el estado de cada electrodo con la ayuda del software “Panel Control” de Emotiv Epoc, asegurándonos de una correcta impedancia en cada uno de los canales. Cuando todos los canales marquen un nivel de impedancia óptimo, se procederá al experimento.

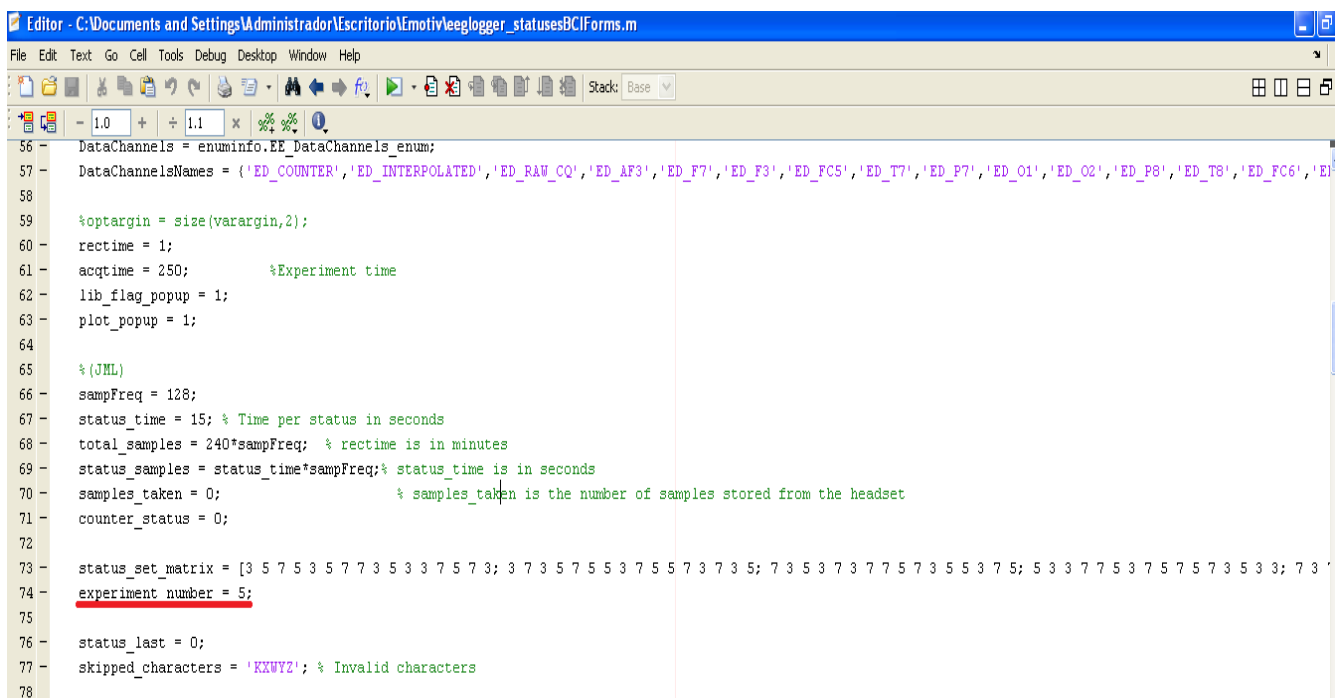
4.1.1. Software Matlab.

Llegados a este punto, la forma de preparación para el experimento ya está clara. Al disponer de la versión de desarrollador de Emotiv Epoc, tenemos la opción de poder recoger los datos que hemos registrado, desde que iniciamos la conexión, hasta que ésta finaliza. Por ello, se debe llegar a poder adquirir datos de otra forma que nos sea más útil para los experimentos que tenemos que desarrollar.

Disponemos de la versión de desarrollador del software “Panel Control” de Emotiv, ello implica la posibilidad de poder acceder al puerto por el cual el sistema recibe datos cifrados, en este caso es el puerto USB, en el cual hay conectado un adaptador bluetooth propio de Emotiv. El intercambio de datos entre el adaptador y el dispositivo se realiza de forma cifrada, es decir, lo que llega por el puerto serie virtual creado por el USB está cifrado y el propio software de Emotiv lo descifra y guarda la sesión. En el departamento de física aplicada de la Universidad Johns Hopkins, Francesco Tenore desarrolla un software en Matlab junto con Emotiv Epoc, que provee a éste de las librerías necesarias para poder descifrar el tráfico del puerto. Lo bueno de este software es que ya disponemos de una forma de adquirir datos con muchísimas posibilidades, ya que al ser código libre, podemos adaptarlo a nuestras necesidades. El software está pensado para poder realizar sesiones de tiempo controlado y poder introducir los procesos cognitivos que deseemos. En principio lleva incluidos los propios de la BCI Competition. Para entender el funcionamiento de este software en conjunto, primero describiremos los archivos por separado que contiene la carpeta, después se centrará en cómo se realiza el proceso de adquisición. Los archivos que contiene la carpeta son:

- **Librerías dinámicas** de conexión con el puerto de recepción de datos. Las dos librerías disponibles se encargan también de descifrar la información que nos llega por el puerto. Estas dos librerías son proporcionadas por Emotiv, y debes de usar la versión de desarrollador para que éstas tengan acceso al puerto.
- **Figuras** que aparecerán para indicar al usuario en qué tiene que pensar, izquierda, derecha y una letra.
- **Todo el código** en varios script, gracias a los cuales se puede realizar la captura de datos, aunque principalmente se trabajará con “eeglogger_statusesBCIForms.m”.

La característica más importante es que con este código, tenemos la posibilidad de poder controlar los tiempos de inicio de registro y fin, así como qué datos podemos registrar. Para realizar la captura de datos, deberemos de interactuar con el script llamado “eeglogger_statusesBCIForms.m”. En dicho script hay una parte en la cual le indicamos el número de experimento que estamos realizando. El nombre del fichero que se creará vendrá en el formato ExpX, siendo “X” el número de sesión que debemos de cambiar al terminar cada una para que no machaque los datos de las sesiones anteriores. Por defecto tiene el número 1, y tras realizar la primera sesión, deberemos de ir a cambiar el número. En el código viene bajo la variable “experiment number” (Figura 4.4). Ese es el único paso que debemos de tener en cuenta para realizar los experimentos de forma correcta sin tener fallos en nuestra captura de datos. Cuando terminemos los 4 experimentos o sesiones, nos quedarán guardados en la misma carpeta donde están contenidos todos los archivos.



```

56 - DataChannels = enuminfo.EE_DataChannels_enum;
57 - DataChannelsNames = {'ED_COUNTER', 'ED_INTERPOLATED', 'ED_RAW_CQ', 'ED_AF3', 'ED_F7', 'ED_F3', 'ED_FC5', 'ED_T7', 'ED_P7', 'ED_O1', 'ED_O2', 'ED_P8', 'ED_T8', 'ED_FC6', 'ED'};
58
59 - %optargin = size(varargin,2);
60 - rectime = 1;
61 - acqtime = 250; %Experiment time
62 - lib_flag_popup = 1;
63 - plot_popup = 1;
64
65 - %(JML)
66 - sampFreq = 128;
67 - status_time = 15; % Time per status in seconds
68 - total_samples = 240*sampFreq; % rectime is in minutes
69 - status_samples = status_time*sampFreq; % status_time is in seconds
70 - samples_taken = 0; % samples_taken is the number of samples stored from the headset
71 - counter_status = 0;
72
73 - status_set_matrix = [3 5 7 5 3 5 7 7 3 5 3 3 7 5 7 3; 3 7 3 5 7 5 5 3 7 5 5 7 3 7 3 5; 7 3 5 3 7 3 7 7 5 7 3 5 5 3 7 5; 5 3 3 7 7 5 3 7 5 7 5 7 3 5 3 3; 7 3 5 3 3 7 5 3 3 7 5 3 3 7 5 3 3];
74 - experiment number = 5;
75
76 - status_last = 0;
77 - skipped_characters = 'KXWY2'; % Invalid characters
78

```

Figura 4.4: Variable que se modificará en cada nueva sesión.

El código original de Matlab que nos proporciona esta carpeta, ha sido modificado por el alumno de doctorado Juan Antonio Martínez León. La modificación nos permite adaptar el código a nuestras necesidades. A continuación, se dará una breve descripción del proceso que sigue para adquirir datos y, de las características que se han modificado del código original.

Entre todos los archivos que contiene el código de Matlab (Figura 4.5), contenidos todos en la misma carpeta, el que realiza la adquisición de datos es el archivo .m llamado “eeglogger_statusesBCIForms”. Dicho script es el mismo que contiene la variable del número de experimento. Este script hace uso de todos los demás, llamándolos mediante calllib. Los demás scripts sirven a éste para hacer todos los ajustes de conexión del puerto, controlar los errores, los inicios de comunicación del puerto y el final de la misma. Por ello, explicando por encima cómo funciona este script, tendremos una visión global del funcionamiento de todo el código. Por una parte, tenemos la modificación del código, para que en vez de contar tiempo, contara muestras como forma de saber que se ha terminado el experimento. El número de muestras por segundo lo sabemos y, el tiempo del experimento también, por ello, sabemos el número de muestras por canal que vamos a tener. Con este cambio nos aseguramos de que no se ha perdido ningún dato y que el experimento tiene un array de la misma longitud. El ajuste de estos parámetros (Figura 4.6) es a elección del usuario, aunque quedan optimizados para la BCI competition.

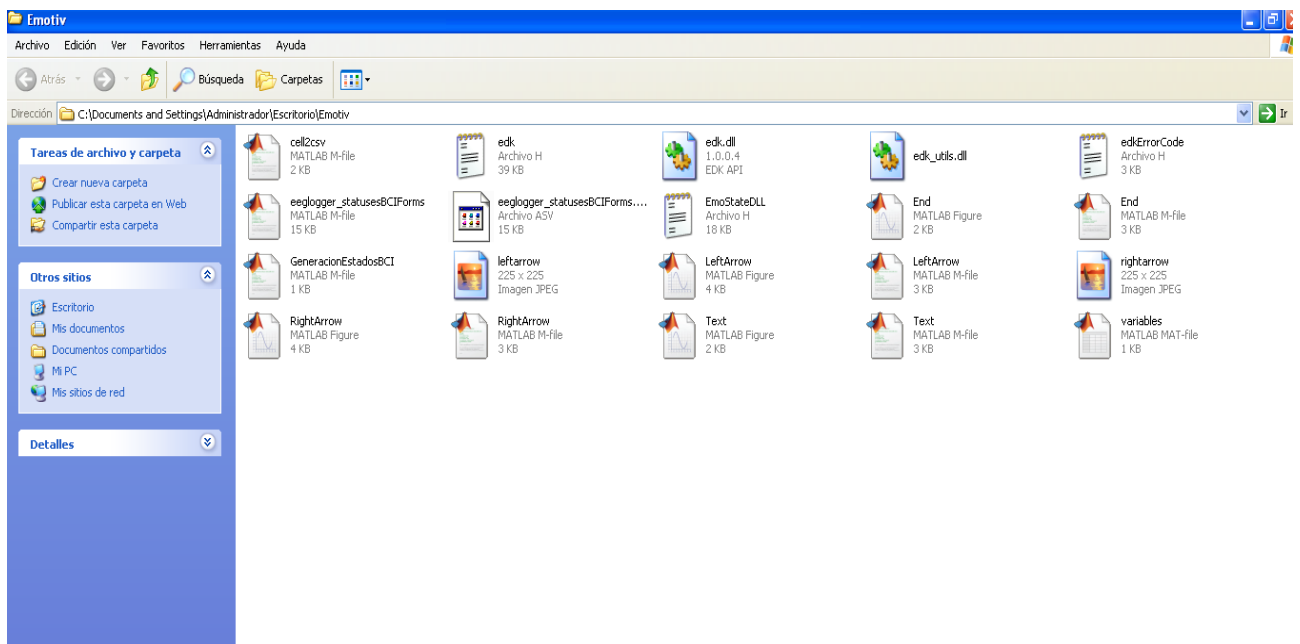
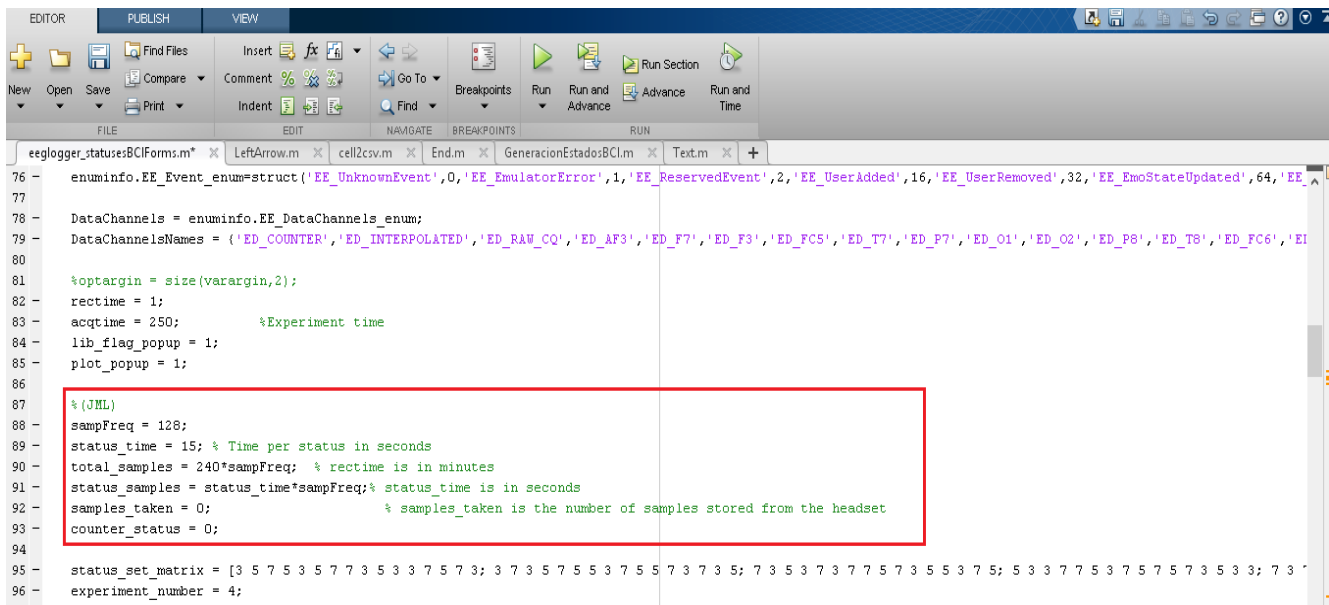


Figura 4.5: Contenido de la carpeta.



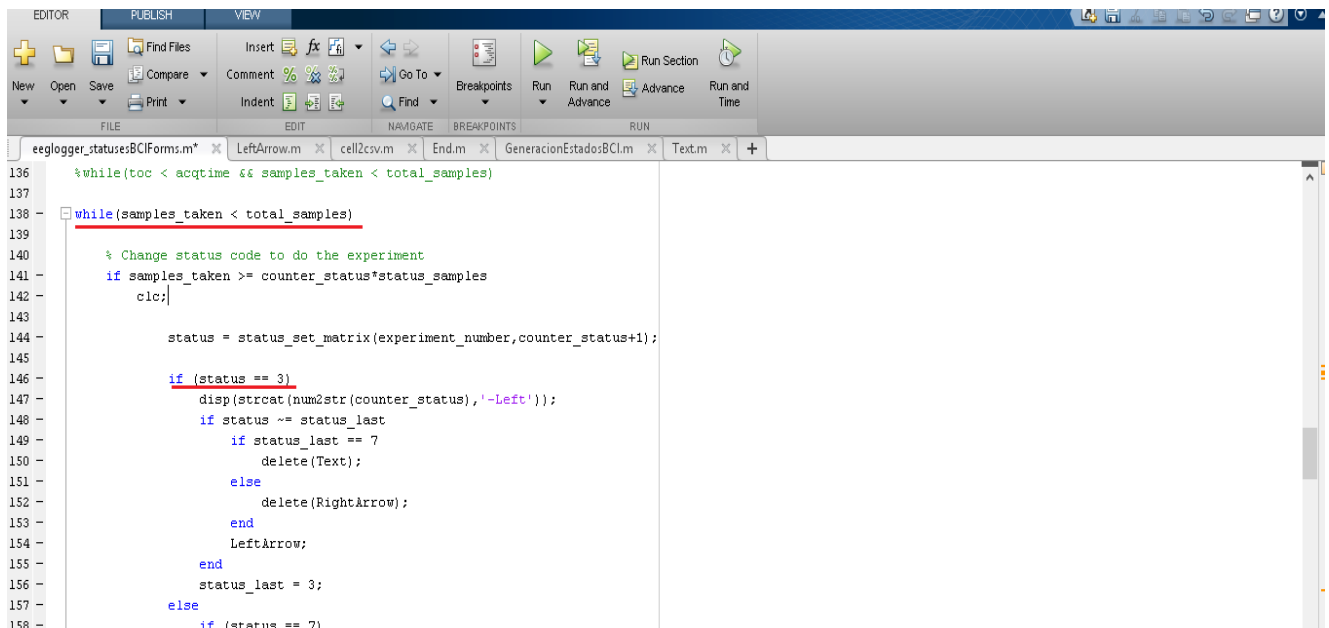
```

76 - enuminfo.EE_Event_enum=struct('EE_UnknownEvent',0,'EE_EmulatorError',1,'EE_ReservedEvent',2,'EE_UserAdded',16,'EE_UserRemoved',32,'EE_EmoStateUpdated',64,'EE
77 -
78 - DataChannels = enuminfo.EE_DataChannels_enum;
79 - DataChannelsNames = {'ED_COUNTER','ED_INTERPOLATED','ED_RAW_CQ','ED_AF3','ED_F7','ED_F3','ED_FCS','ED_T7','ED_P7','ED_O1','ED_O2','ED_P8','ED_T8','ED_FC6','EI
80 -
81 - %optargin = size(varargin,2);
82 - rectime = 1;
83 - acqtime = 250; %Experiment time
84 - lib_flag_popup = 1;
85 - plot_popup = 1;
86 -
87 -
88 - % (JML)
89 - sampFreq = 128;
90 - status_time = 15; % Time per status in seconds
91 - total_samples = 240*sampFreq; % rectime is in minutes
92 - status_samples = status_time*sampFreq;% status_time is in seconds
93 - samples_taken = 0; % samples_taken is the number of samples stored from the headset
94 - counter_status = 0;
95 -
96 - status_set_matrix = [3 5 7 5 3 5 7 7 3 5 3 3 7 5 7 3; 3 7 3 5 7 5 5 3 7 5 5 7 3 7 3 5; 7 3 5 3 7 3 7 7 5 7 3 5 5 3 7 5; 5 3 3 7 7 5 3 7 5 7 5 7 3 5 3 3; 7 3
97 - experiment_number = 4;

```

Figura 4.6: Configuración de parámetros.

El siguiente punto importante, es el bucle que se repetirá para registrar todas las muestras (Figura 4.7). La condición de este bucle, es el número de muestras calculadas anteriormente. Lo primero que se comprueba dentro del bucle, es la imagen que debe de mostrar al usuario en pantalla, una vez comprobado, el siguiente punto importante dentro del bucle (while), es el otro bucle for, el cual realiza la adquisición de cada dato del canal, es decir, cuando se sale de este for ya se tiene una muestra de cada canal activo (Figura 4.8).



```

136 %while(toc < acqtime && samples_taken < total_samples)
137
138 while(samples_taken < total_samples)
139
140 % Change status code to do the experiment
141 if samples_taken >= counter_status*status_samples
142     clic;
143
144     status = status_set_matrix(experiment_number,counter_status+1);
145
146     if (status == 3)
147         disp(strcat(num2str(counter_status),'-Left'));
148         if status ~= status_last
149             if status_last == 7
150                 delete(Text);
151             else
152                 delete(RightArrow);
153             end
154             LeftArrow;
155         end
156         status_last = 3;
157     else
158         if (status == 7)

```

Figura 4.7: Bucle principal que realiza el script.



```

219 if (readytocollect)
220
221     calllib('edk','EE_DataUpdateHandle', 0, hData);
222     nSamples = libpointer('uint32Ptr',0);
223     calllib('edk','EE_DataGetNumberOfSample',hData,nSamples);
224     nSamplesTaken = get(nSamples,'value') ;
225     %(JML) -- Updates the number of samples since the beginning of the
226     % experiment
227     samples_taken = samples_taken + nSamplesTaken;
228     if (nSamplesTaken ~= 0)
229         data = libpointer('doublePtr',zeros(1,nSamplesTaken));
230     %
231     for sampleIdx=1:nSamplesTaken
232         for i = 1:length(fieldnames(enuminfo.EE_DataChannels_enum))
233             calllib('edk','EE_DataGet',hData, DataChannels.([DataChannelsNames(i)]), data, uint32(nSamplesTaken));
234             data_value = get(data,'value');
235             output_matrix(cnt+1,i) = data_value(sampleIdx);
236             output_matrix(cnt+1:cnt+length(data_value),i) = data_value;
237         end
238     % (JML) - New column on output matrix for status
239     output_matrix(cnt+1:cnt+length(data_value),i+1) = status;
240     nS(cnt+1) = nSamplesTaken;
241     %
242     cnt = cnt + 1;
243     cnt = cnt + length(data_value);
244     %
245     %
246     %
247     %
248     %
249     %
250     %
251     %
252     %
253     %
254     %
255     %
256     %
257     %
258     %
259     %
260     %
261     %
262     %
263     %
264     %
265     %
266     %
267     %
268     %
269     %
270     %
271     %
272     %
273     %
274     %
275     %
276     %
277     %
278     %
279     %
280     %
281     %
282     %
283     %
284     %
285     %
286     %
287     %
288     %
289     %
290     %
291     %
292     %
293     %
294     %
295     %
296     %
297     %
298     %
299     %
300     %
301     %
302     %
303     %
304     %
305     %
306     %
307     %
308     %
309     %
310     %
311     %
312     %
313     %
314     %
315     %
316     %
317     %
318     %
319     %
320     %
321     %
322     %
323     %
324     %
325     %
326     %
327     %
328     %
329     %
330     %
331     %
332     %
333     %
334     %
335     %
336     %
337     %
338     %
339     %
340     %
341     %
342     %
343     %
344     %
345     %
346     %
347     %
348     %
349     %
350     %
351     %
352     %
353     %
354     %
355     %
356     %
357     %
358     %
359     %
360     %
361     %
362     %
363     %
364     %
365     %
366     %
367     %
368     %
369     %
370     %
371     %
372     %
373     %
374     %
375     %
376     %
377     %
378     %
379     %
380     %
381     %
382     %
383     %
384     %
385     %
386     %
387     %
388     %
389     %
390     %
391     %
392     %
393     %
394     %
395     %
396     %
397     %
398     %
399     %
400     %
401     %
402     %
403     %
404     %
405     %
406     %
407     %
408     %
409     %
410     %
411     %
412     %
413     %
414     %
415     %
416     %
417     %
418     %
419     %
420     %
421     %
422     %
423     %
424     %
425     %
426     %
427     %
428     %
429     %
430     %
431     %
432     %
433     %
434     %
435     %
436     %
437     %
438     %
439     %
440     %
441     %
442     %
443     %
444     %
445     %
446     %
447     %
448     %
449     %
450     %
451     %
452     %
453     %
454     %
455     %
456     %
457     %
458     %
459     %
460     %
461     %
462     %
463     %
464     %
465     %
466     %
467     %
468     %
469     %
470     %
471     %
472     %
473     %
474     %
475     %
476     %
477     %
478     %
479     %
480     %
481     %
482     %
483     %
484     %
485     %
486     %
487     %
488     %
489     %
490     %
491     %
492     %
493     %
494     %
495     %
496     %
497     %
498     %
499     %
500     %
501     %
502     %
503     %
504     %
505     %
506     %
507     %
508     %
509     %
510     %
511     %
512     %
513     %
514     %
515     %
516     %
517     %
518     %
519     %
520     %
521     %
522     %
523     %
524     %
525     %
526     %
527     %
528     %
529     %
530     %
531     %
532     %
533     %
534     %
535     %
536     %
537     %
538     %
539     %
540     %
541     %
542     %
543     %
544     %
545     %
546     %
547     %
548     %
549     %
550     %
551     %
552     %
553     %
554     %
555     %
556     %
557     %
558     %
559     %
560     %
561     %
562     %
563     %
564     %
565     %
566     %
567     %
568     %
569     %
570     %
571     %
572     %
573     %
574     %
575     %
576     %
577     %
578     %
579     %
580     %
581     %
582     %
583     %
584     %
585     %
586     %
587     %
588     %
589     %
590     %
591     %
592     %
593     %
594     %
595     %
596     %
597     %
598     %
599     %
600     %
601     %
602     %
603     %
604     %
605     %
606     %
607     %
608     %
609     %
610     %
611     %
612     %
613     %
614     %
615     %
616     %
617     %
618     %
619     %
620     %
621     %
622     %
623     %
624     %
625     %
626     %
627     %
628     %
629     %
630     %
631     %
632     %
633     %
634     %
635     %
636     %
637     %
638     %
639     %
640     %
641     %
642     %
643     %
644     %
645     %
646     %
647     %
648     %
649     %
650     %
651     %
652     %
653     %
654     %
655     %
656     %
657     %
658     %
659     %
660     %
661     %
662     %
663     %
664     %
665     %
666     %
667     %
668     %
669     %
670     %
671     %
672     %
673     %
674     %
675     %
676     %
677     %
678     %
679     %
680     %
681     %
682     %
683     %
684     %
685     %
686     %
687     %
688     %
689     %
690     %
691     %
692     %
693     %
694     %
695     %
696     %
697     %
698     %
699     %
700     %
701     %
702     %
703     %
704     %
705     %
706     %
707     %
708     %
709     %
710     %
711     %
712     %
713     %
714     %
715     %
716     %
717     %
718     %
719     %
720     %
721     %
722     %
723     %
724     %
725     %
726     %
727     %
728     %
729     %
730     %
731     %
732     %
733     %
734     %
735     %
736     %
737     %
738     %
739     %
740     %
741     %
742     %
743     %
744     %
745     %
746     %
747     %
748     %
749     %
750     %
751     %
752     %
753     %
754     %
755     %
756     %
757     %
758     %
759     %
760     %
761     %
762     %
763     %
764     %
765     %
766     %
767     %
768     %
769     %
770     %
771     %
772     %
773     %
774     %
775     %
776     %
777     %
778     %
779     %
780     %
781     %
782     %
783     %
784     %
785     %
786     %
787     %
788     %
789     %
790     %
791     %
792     %
793     %
794     %
795     %
796     %
797     %
798     %
799     %
800     %
801     %
802     %
803     %
804     %
805     %
806     %
807     %
808     %
809     %
810     %
811     %
812     %
813     %
814     %
815     %
816     %
817     %
818     %
819     %
820     %
821     %
822     %
823     %
824     %
825     %
826     %
827     %
828     %
829     %
830     %
831     %
832     %
833     %
834     %
835     %
836     %
837     %
838     %
839     %
840     %
841     %
842     %
843     %
844     %
845     %
846     %
847     %
848     %
849     %
850     %
851     %
852     %
853     %
854     %
855     %
856     %
857     %
858     %
859     %
860     %
861     %
862     %
863     %
864     %
865     %
866     %
867     %
868     %
869     %
870     %
871     %
872     %
873     %
874     %
875     %
876     %
877     %
878     %
879     %
880     %
881     %
882     %
883     %
884     %
885     %
886     %
887     %
888     %
889     %
890     %
891     %
892     %
893     %
894     %
895     %
896     %
897     %
898     %
899     %
900     %
901     %
902     %
903     %
904     %
905     %
906     %
907     %
908     %
909     %
910     %
911     %
912     %
913     %
914     %
915     %
916     %
917     %
918     %
919     %
920     %
921     %
922     %
923     %
924     %
925     %
926     %
927     %
928     %
929     %
930     %
931     %
932     %
933     %
934     %
935     %
936     %
937     %
938     %
939     %
940     %
941     %
942     %
943     %
944     %
945     %
946     %
947     %
948     %
949     %
950     %
951     %
952     %
953     %
954     %
955     %
956     %
957     %
958     %
959     %
960     %
961     %
962     %
963     %
964     %
965     %
966     %
967     %
968     %
969     %
970     %
971     %
972     %
973     %
974     %
975     %
976     %
977     %
978     %
979     %
980     %
981     %
982     %
983     %
984     %
985     %
986     %
987     %
988     %
989     %
990     %
991     %
992     %
993     %
994     %
995     %
996     %
997     %
998     %
999     %
1000    %

```

Figura 4.8: Bucle for de adquisición de datos.



El punto más importante de este bucle (for), es cuando llama a la librería. Esta provee al sistema del dato que está llegando por el puerto de comunicación. La librería dinámica a la que invoca es llamada "edk", y dentro de ella, invoca a la función "EE_DataGet", de la cual usa la estructura de datos llamada "data". El siguiente paso, es buscar dentro de la estructura "data" el valor que nos interesa, en este caso llamado "value", dicho valor, lo volcamos en una variable llamada "data_value". El último paso antes de salir del bucle, es guardar el valor obtenido en el lugar correspondiente de la matriz de salida llamada "output_matrix". En esta matriz ya estarán ordenados los valores en función del canal por el que van llegando. Cuando el for termina, ya tenemos una muestra completa de cada uno de los sensores. Para tener un segundo de muestras, serían 128 muestras, por lo tanto, el bucle debería de repetirse todas esas veces.

El siguiente paso es, una vez ya se ha salido de este bucle, volcar todos los datos en otra estructura y, generar el fichero que los va a contener. El fichero que los contendrá, clasificará por cada canal, es decir, indicará el nombre del canal y seguidamente todos los datos recogidos durante los 240 segundos. Esto es, gracias al cambio de estructura previo antes de generar el fichero de escritura. También se cerrarán todas las figuras y demás procesos necesarios.

Con todos estos conceptos claros, procedemos a ver de forma global el procedimiento (Figura 4.9). Primero colocamos el casco y nos aseguramos de que todos los sensores están en su nivel de impedancia correcto, después realizamos el experimento número 1 con Matlab, seguidamente cambiamos el nombre al número 2, así hasta el 4. Finalmente, en nuestra carpeta de archivos nos aparecerán los 4 ficheros de las 4 sesiones registradas (Figura 4.10).

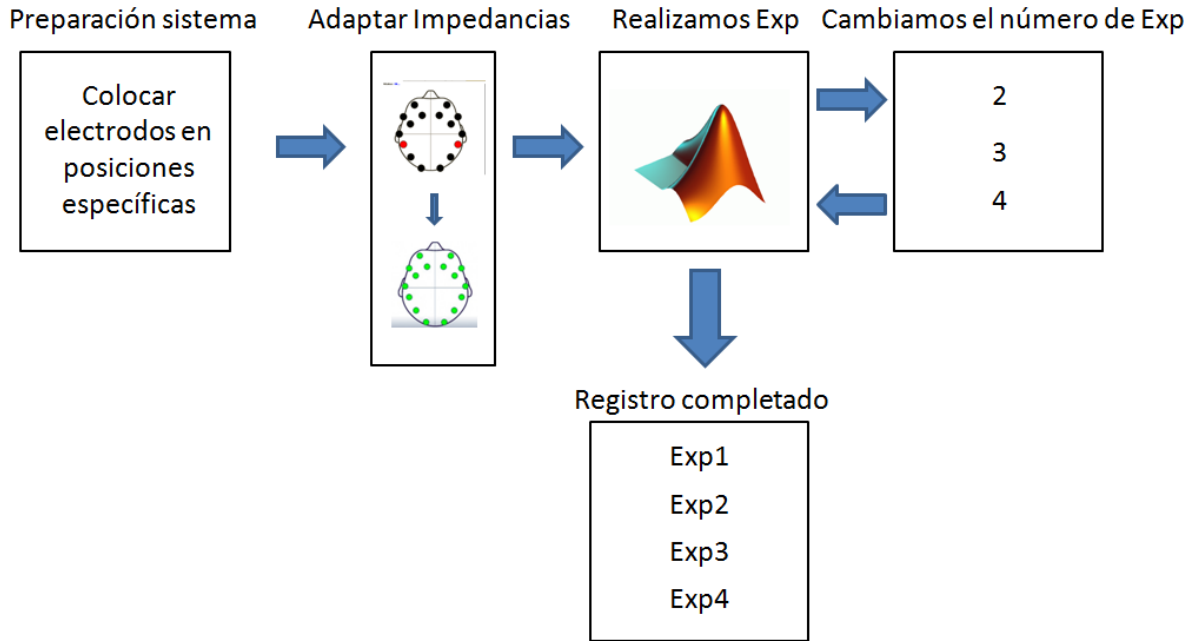


Figura 4.9: Metodología de registro de datos.

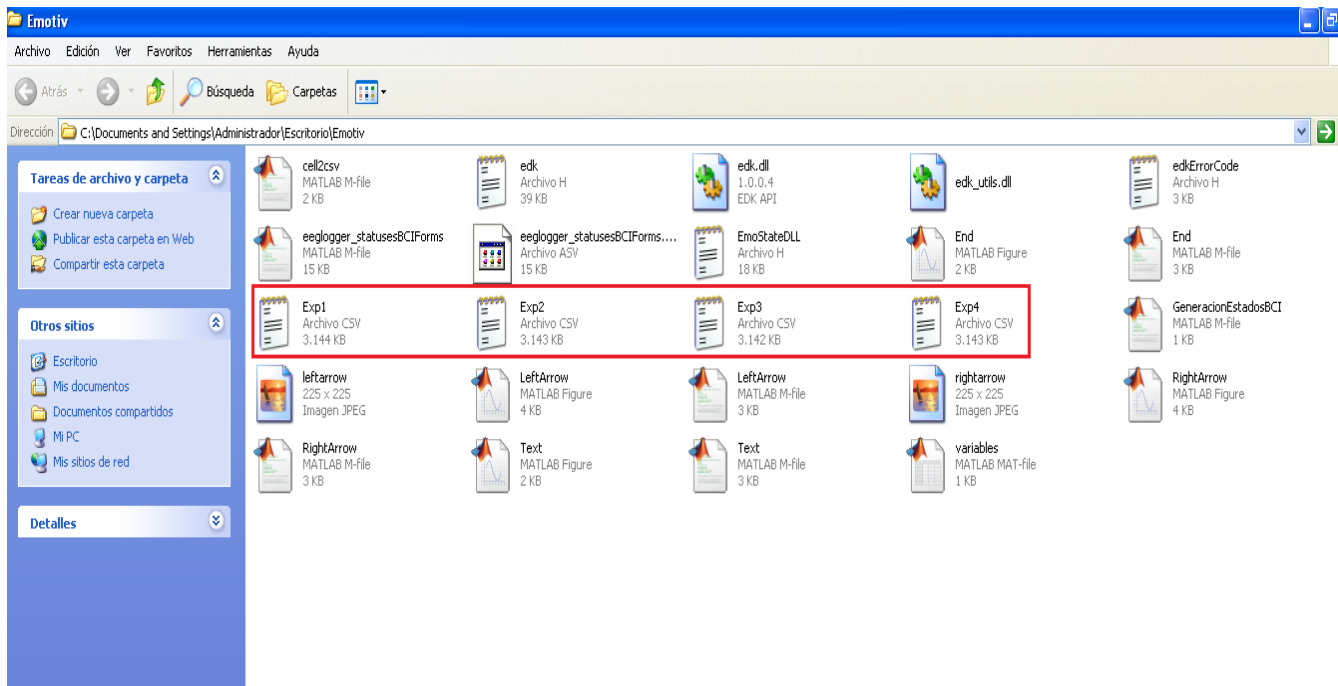


Figura 4.10: Carpeta con las 4 sesiones guardadas.

4.2. Metodología de procesamiento de datos.

Con la etapa anterior completada, ya tenemos los datos en un formato válido para poder realizar con ellos lo que queramos. El conjunto de procesos que nos quedan son el pre-procesado de los datos y, por último, el procesado. Las dos etapas serán explicadas a continuación, quedando así, el proceso de adquisición completo explicado en su totalidad.

4.2.1. Etapa de preprocesado.

Los datos tal y como los tenemos en los 4 archivos, necesitan una preparación antes de ser procesados, ya que los valores que tenemos no son válidos para analizar (Figura 4.11). El primer paso, será realizar la media Laplaciana de cada canal con todos los demás, es decir, al valor registrado por el casco en cada canal, se le aplicará la media Laplaciana de los valores de los demás canales en el mismo instante de tiempo. Dicho de otra forma, al pasar esta etapa pasaremos de tener la misma cantidad de datos y en las mismas posiciones, pero con valores distintos, siendo estos, los calculados con la media Laplaciana. Este proceso es casi indispensable en cualquier tipo de experimento de BCI, ya que elimina muchas interferencias de ruido y mejora los valores que vamos a analizar.

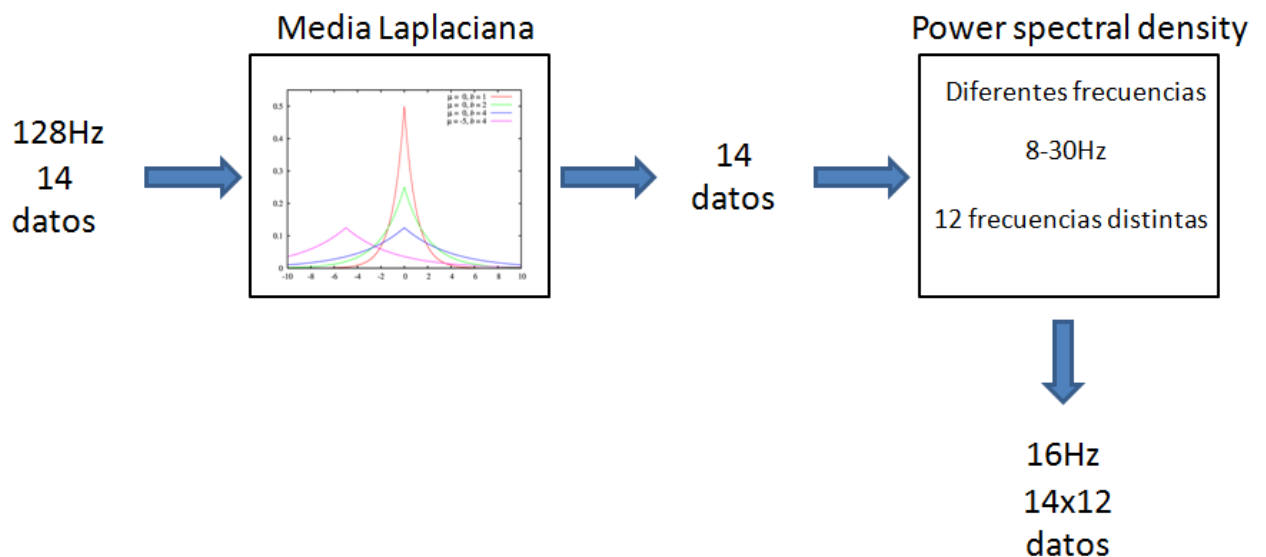


Figura 4.11: Etapa de preprocesado.



El siguiente paso, será sacar la información que nos interesa de estos datos, en concreto, sus frecuencias. Para ello, utilizaremos la función de PSD o power spectral density, con la cual, de cada señal sacaremos información de 12 frecuencias distintas, comprendidas entre 8 y 30Hz y, equidistantes en intervalos de 2Hz. Es decir, de cada canal, sacaremos información en 8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28, y 30Hz. Siendo ahora un dato cada frecuencia distinta. Ahora tenemos más valores que antes, ya que por cada canal, tenemos 12 nuevos valores de las diferentes frecuencias. Llegados a este punto, los datos se agruparán en vectores que serán muestreados a 16 Hz. En la salida de la etapa de preprocesamiento, tendremos los datos agrupados para muestrearlos a dicha velocidad tal y como estipula la BCI competition.

4.2.2. Etapa de procesado.

La etapa de procesado, es la que nos servirá para analizar los datos (Figura 4.12). Con los datos ya tratados por la anterior etapa, ésta se ocupará de dar un porcentaje de acierto independiente de cada proceso cognitivo. Para ello se hace servir de varias partes, podemos separarlas principalmente en 2; una parte para que el sistema aprenda los diferentes procesos cognitivos mediante 3 sesiones, y otra parte con el sistema ya entrenado. Utilizamos la última sesión para que el sistema nos diga qué estábamos pensando con los conocimientos que él ha aprendido:

- **Parte de aprendizaje:** en ella, crearemos unos modelos, que después nos evaluarán. Para ello haremos uso de las 3 primeras sesiones, es decir, los archivos preprocesados de Exp1, Exp2 y Exp3. Se crearán dos modelos de cada sesión; tendremos 6 en total. A modo de ejemplo de funcionamiento, se explicará, como se crearían los dos de la primera sesión. Con la primera sesión, mediante una función denominada “dFasArt” y otra “poda de reglas”, en la cual se irán eliminando reglas de dFasArt de forma reiterada, tendremos el primer paso del bloque completo, pero dicho bloque, debe de ajustarse para que esté lo mejor entrenado posible, para ello, usaremos la sesión 2, que mediante el ajuste de los parámetros del modelo por tanteo, obtendremos el modelo definitivo, en este caso, denominado “S1S2”, ya que ha sido obtenido de la sesión 1 y, ajustando los parámetros con la sesión 2. Seguidamente, realizaremos el mismo procedimiento, pero con el ajuste nos serviremos

de la sesión 3, teniendo así el modelo “S1S3” (Figura 4.13). Realizando este proceso reiteradamente para cada sesión, llegaremos a tener los 6 Modelos, denominados S1S2, S1S3, S2S1, S2S3, S3S1 y, S3S2.

- Parte de evaluación o test:** en esta etapa, se evaluará la última sesión o sesión número 4. Para ello, se hará de forma paralela la evaluación de esta sesión en los 6 modelos. Una vez que cada modelo dé su porcentaje de acierto, en base a lo aprendido anteriormente, llegarán a una etapa posterior donde se compararán todos los porcentajes y se escogerá el mejor de ellos (Figura 4.14). La BCI competition, estipula, que se deberá dar una predicción cada medio segundo. Teniendo en este caso una frecuencia de 16Hz, cada medio segundo tendremos 8 muestras, por ello, en la votación se analizarán 8x6 porcentajes, correspondientes a la salida de cada uno de los 6 canales, en 8 instantes de tiempo consecutivos. Finalmente, se dará una respuesta del porcentaje de acierto. De este modo, se tendrá una predicción cada 0,5 segundos. Es lógico pensar que si los experimentos duran 15 segundos y, se debe de dar una predicción cada 0,5 segundos, siempre habría 30 predicciones que predecirían lo mismo y, se podría usar la información de la etapa anterior, pero la BCI Competition determina que solo se usarán los datos cada 0,5 segundos tal y como se ha explicado anteriormente.

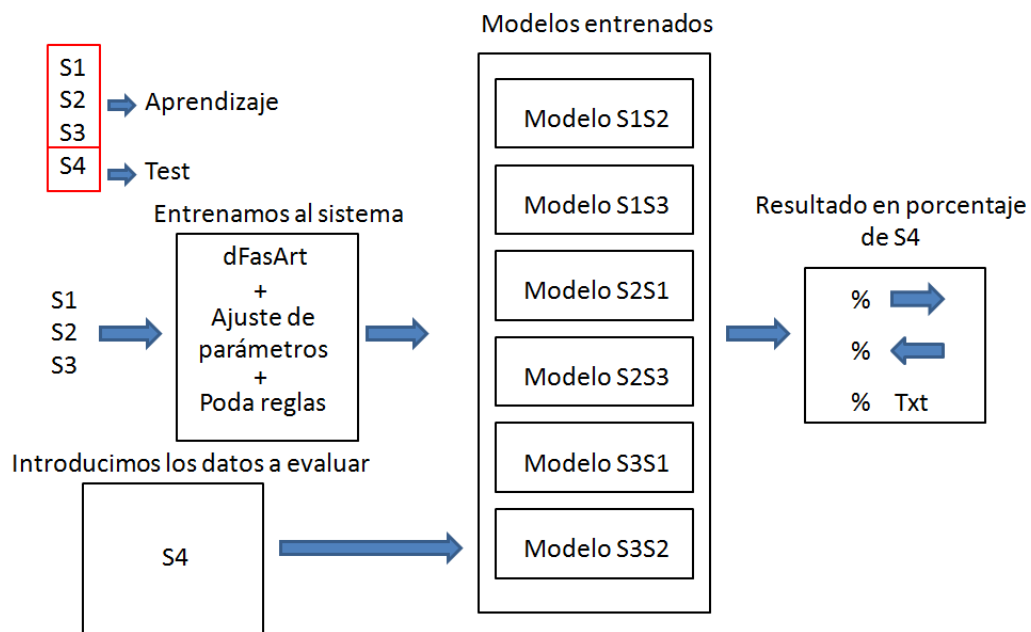


Figura 4.12: Procesado de datos.

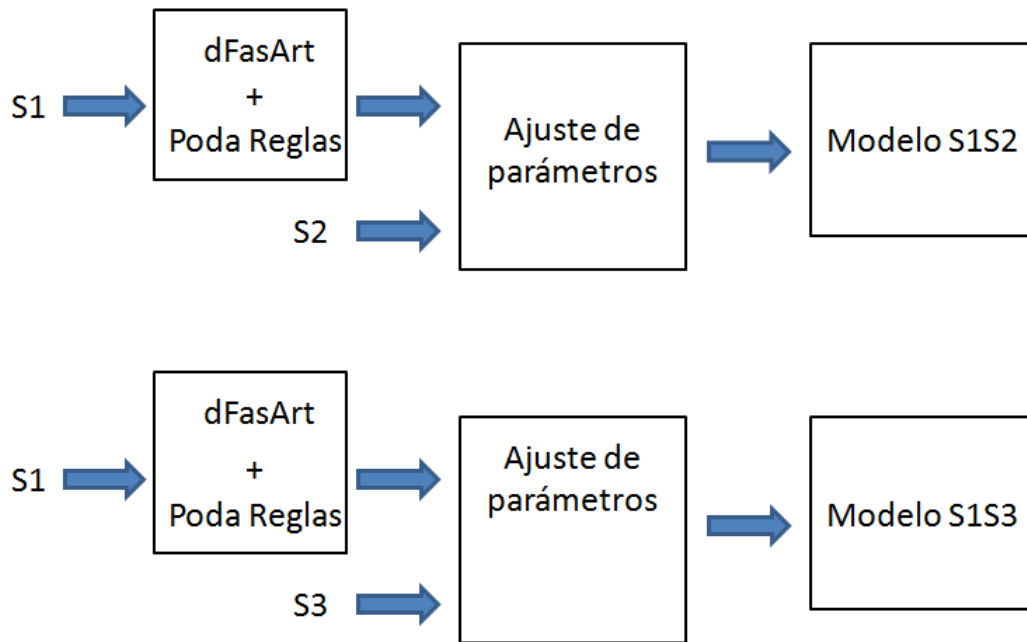


Figura 4.13: Etapa de aprendizaje.

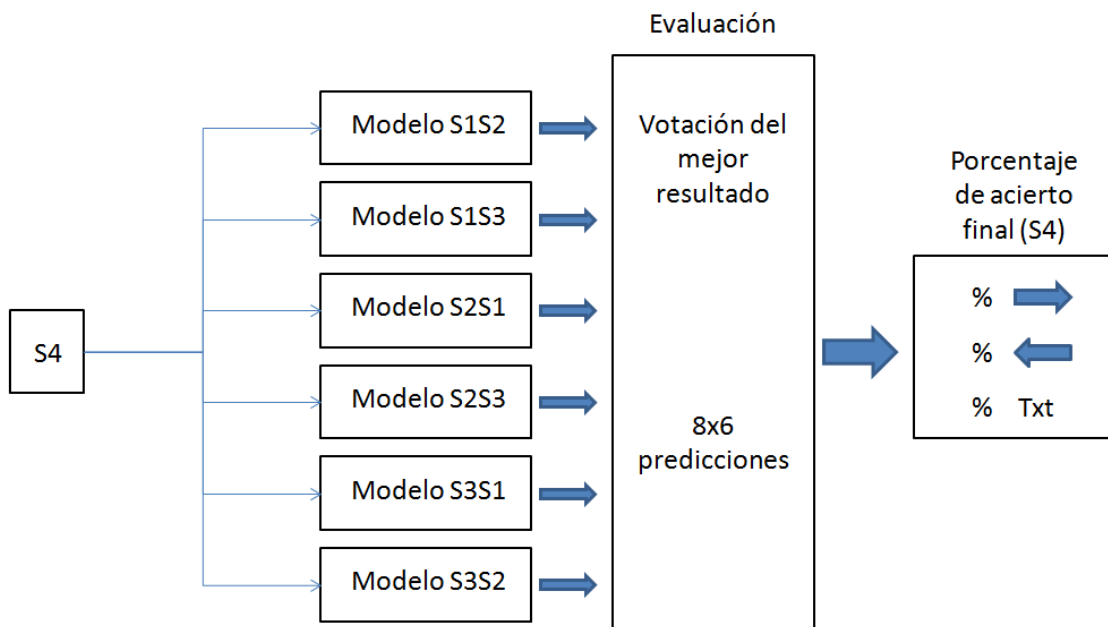


Figura 4.14: Etapa de Test.



4.3. Comparativa de datos Emotiv Epoc con sistema Emoc

Finalmente, se procederá a la comparación entre los datos del sistema del cual partimos (Emotiv Epoc), y del que hemos construido. Con los experimentos desarrollados tal y como se ha explicado en el apartado anterior, a continuación, se presentarán los porcentajes de acierto de los 4 sujetos, de cada una de los diferentes procesos cognitivos.

4.3.1. Datos puros de ambos sistemas (comparativa).

Es de vital importancia poder realizar una comparativa de los datos puros, es decir, procederemos a comparar los datos obtenidos sin ningún tipo de procesado. Usaremos los obtenidos mediante Matlab (tenemos 4 sesiones por usuario). Se compararán los datos de una sesión, del usuario número 1. En las figuras 4.15 y 4.16, se puede apreciar, que lo datos de Emoc, en verde, no tienen picos debido a posibles errores o ruido, como los obtenidos por el sistema Emotiv Epoc, en rojo. La registrada por el sistema Emoc es una señal mucho más suave, como las obtenidas en sistemas de alta calidad, como el sistema de Biosemi representado en la figura 4.17.

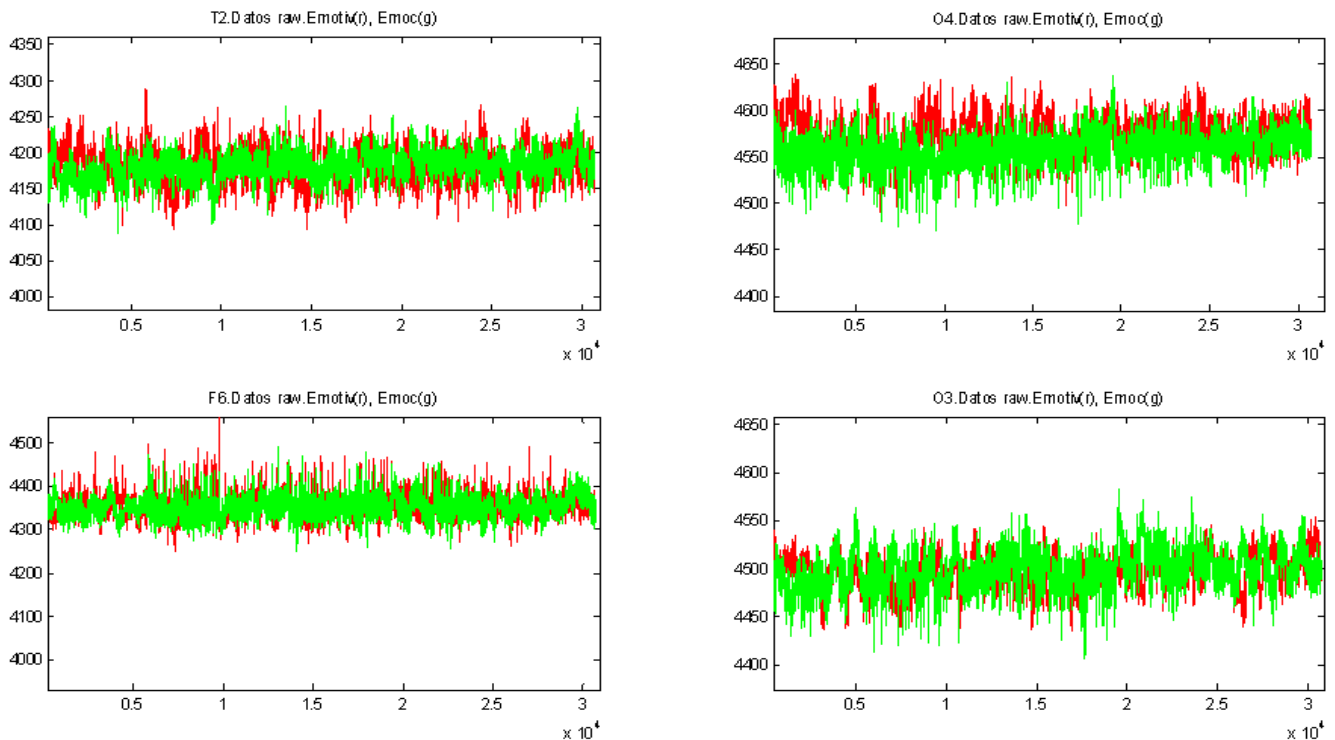


Figura 4.15: Comparativa datos puros, Emotiv (red) vs Emoc (green).

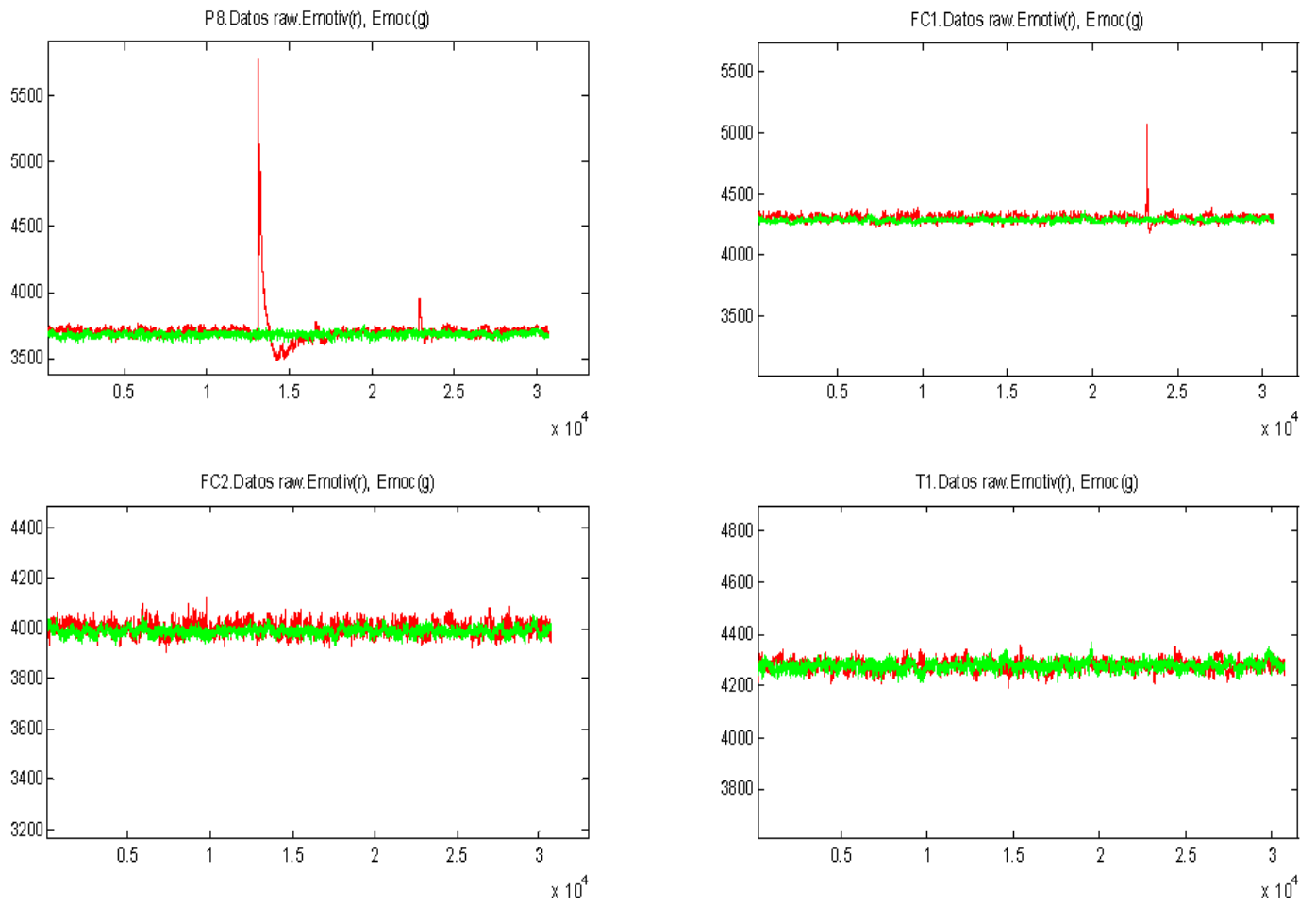


Figura 4.16: Comparativa datos puros, Emotiv (red) vs Emoc (green).

En las anteriores figuras, se aprecian los datos puros, de los canales, FC2, T1, P8, FC1, T2, O4, F6 y, O3. Comparandolas a simple vista con las registradas por un sistema de Biosemi (Figura 4.17), podemos apreciar que se parecen mucho más a las registradas por el sistema Emoc. Otra comparativa que analizará todos los canales, es decir los 14 activos, es la realizada a continuación, en la cual, podemos ver la varianza de cada canal en las diferentes 4 sesiones realizadas sobre el sujeto 1 (Figura 4.18). Dicha varianza es mucho más estable en todos los canales del sistema Emoc, en verde, que del Emotiv Epoc, en rojo, por lo que podemos asegurar, que los electrodos registran una señal de mucha mejora calidad.

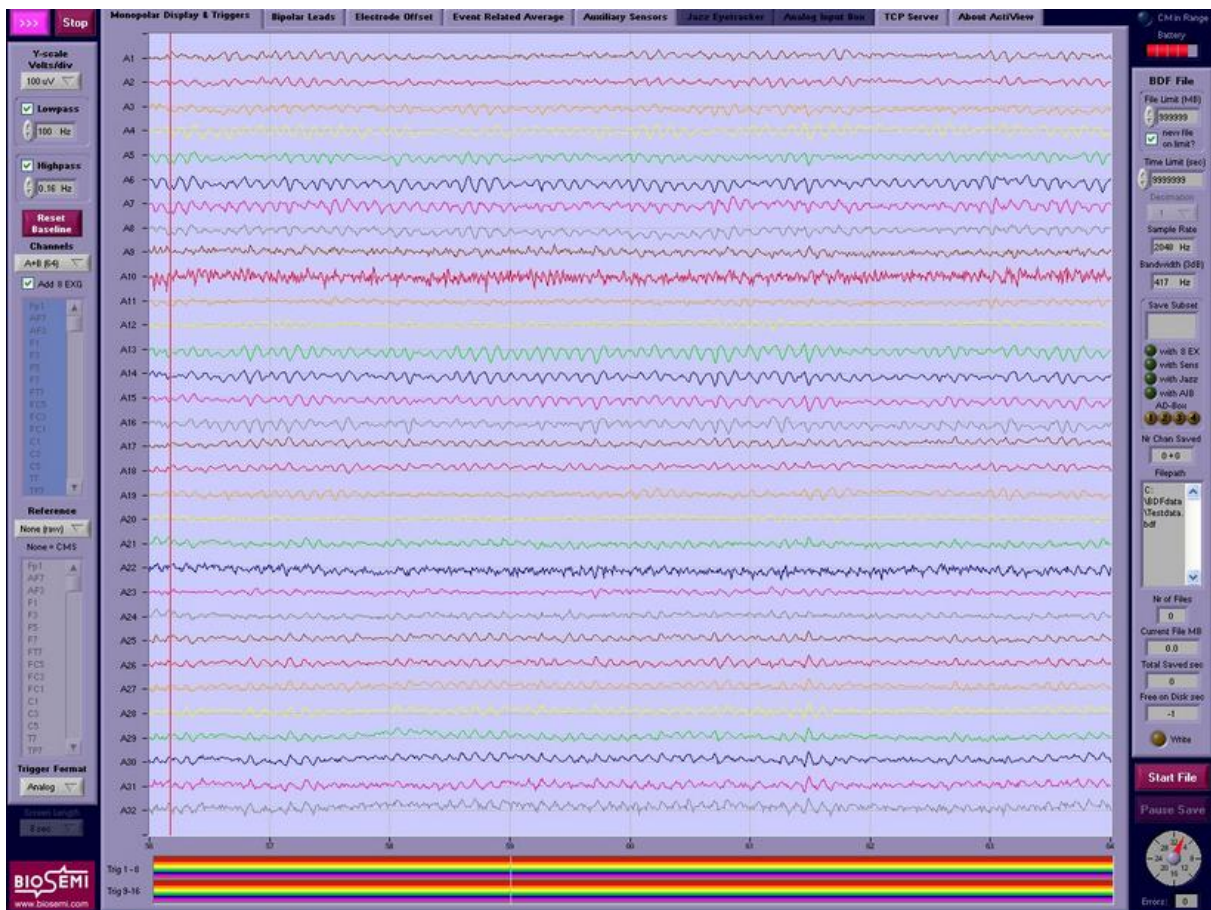


Figura 4.17: Datos puros registrados por un sistema Biosemi.

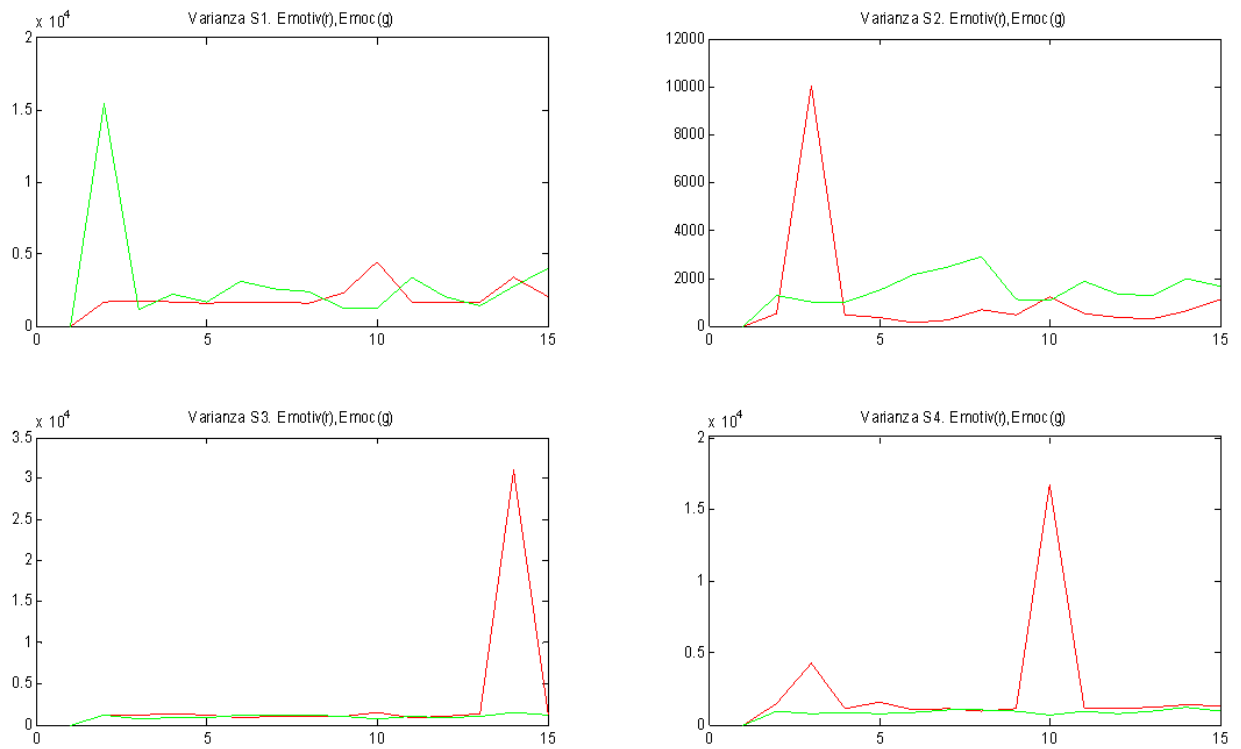


Figura 4.18: Comparativa varianza, Emotiv (red) vs Emoc (green).

4.3.2. Datos procesados de ambos sistemas.

En primer lugar expondremos los datos del sistema Emotiv Epoc, con los sujetos ordenados por orden numérico:



Usuario 1 (Emotiv)

Global = 42.05%

Motor= 55.23%

Derecha= 0.56%

Izquierda= 39.60%

Palabra= 94%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	59	0	90
	Derecha	63	1	115
	Palabra	9	0	141

Tabla 4.1: Matriz de confusión, usuario 1, dispositivo Emotiv Epoc.

Usuario 2 (Emotiv)

Global = 56.80%

Motor= 80.56%

Derecha= 50.87%

Izquierda= 55.17%

Palabra= 65.52%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	80	39	26
	Derecha	71	88	14
	Palabra	34	16	95

Tabla 4.2: Matriz de confusión, usuario 2, dispositivo Emotiv Epoc.



Usuario 3 (Emotiv)

Global = 55.94%

Motor= 78.19%

Derecha= 41.95%

Izquierda= 93.10%

Palabra= 35.42%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	160	14	0
	Derecha	117	27	1
	Palabra	36	34	75

Tabla 4.3: Matriz de confusión, usuario 3, dispositivo Emotiv Epoc.

Usuario 4 (Emotiv)

Global = 52.16%

Motor= 70.47%

Derecha= 24.83%

Izquierda= 65.52%

Palabra= 63.45%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	114	4	56
	Derecha	81	36	28
	Palabra	44	9	92

Tabla 4.4: Matriz de confusión, usuario 4, dispositivo Emotiv Epoc.



En segundo lugar expondremos los datos del sistema Emoc, con los sujetos ordenados por orden numérico:

Usuario 1 (Emoc)

Global = 56.47%

Motor= 84.70%

Derecha= 18.62%

Izquierda= 91.95%

Palabra= 51.72%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	160	14	0
	Derecha	117	27	1
	Palabra	36	34	75

Tabla 4.5: Matriz de confusión, usuario 1, dispositivo Emoc.



Usuario 2 (Emoc)

Global = 44.18%

Motor= 70.91%

Derecha= 21.38%

Izquierda= 55.17%

Palabra= 53.79%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	96	35	43
	Derecha	89	31	25
	Palabra	59	8	78

Tabla 4.6: Matriz de confusión, usuario 2, dispositivo Emoc.

Usuario 3 (Emoc)

Global = 44.83%

Motor= 52.37%

Derecha= 4.83%

Izquierda= 41.95%

Palabra= 88.28%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	73	9	92
	Derecha	26	7	112
	Palabra	16	1	128

Tabla 4.7: Matriz de confusión, usuario 3, dispositivo Emoc.



Usuario 4 (Emoc)

Global = 42.03%

Motor= 75.00%

Derecha= 82.76%

Izquierda= 21.26%

Palabra= 26.21%

Matriz de confusión

		Predicho		
		Izquierda	Derecha	Palabra
Real	Izquierda	37	134	3
	Derecha	19	120	6
	Palabra	12	95	38

Tabla 4.8: Matriz de confusión, usuario 4, dispositivo Emoc.

4.3.3. Comparativa de datos procesados.

Se visualizará la comparativa de datos, de forma independiente para cada usuario. Dentro de cada usuario se compararán los diferentes procesos cognitivos que se están evaluando.

Usuario 1

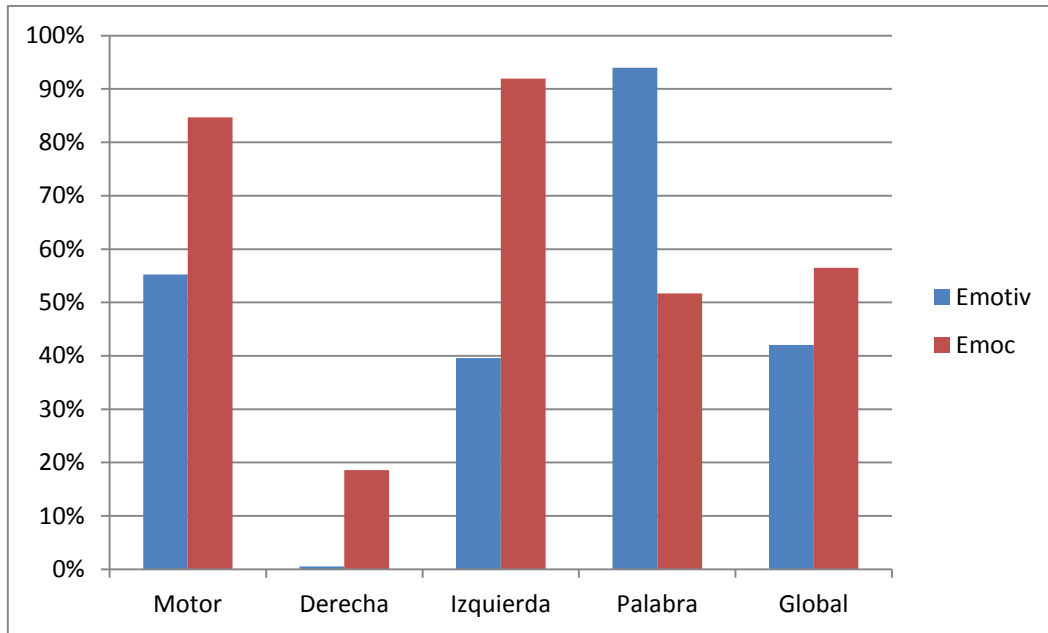


Tabla 4.9: Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 1.

Usuario 2

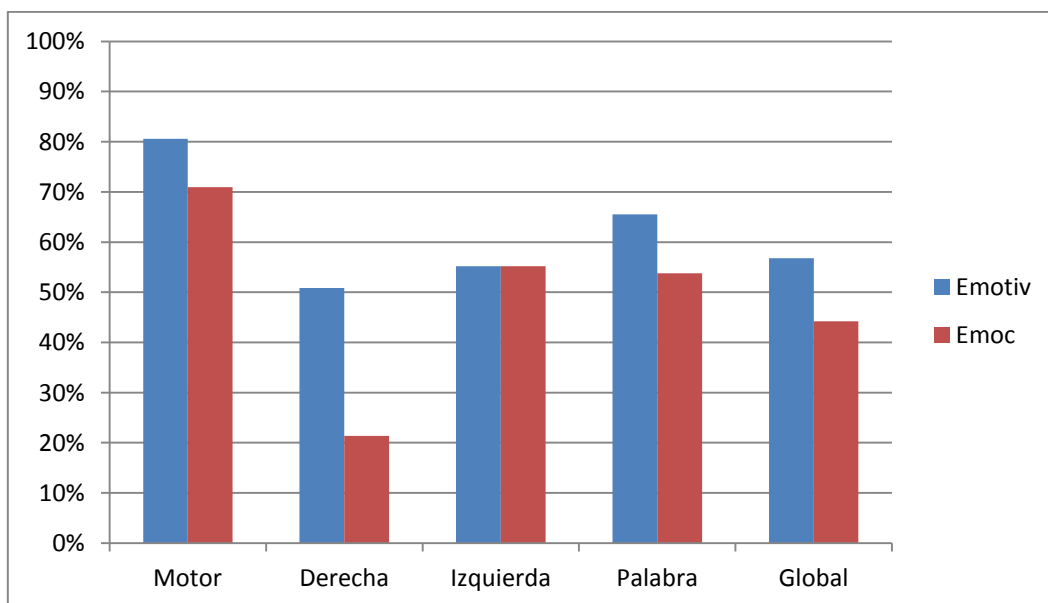


Tabla 4.10: Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 2.



Usuario 3

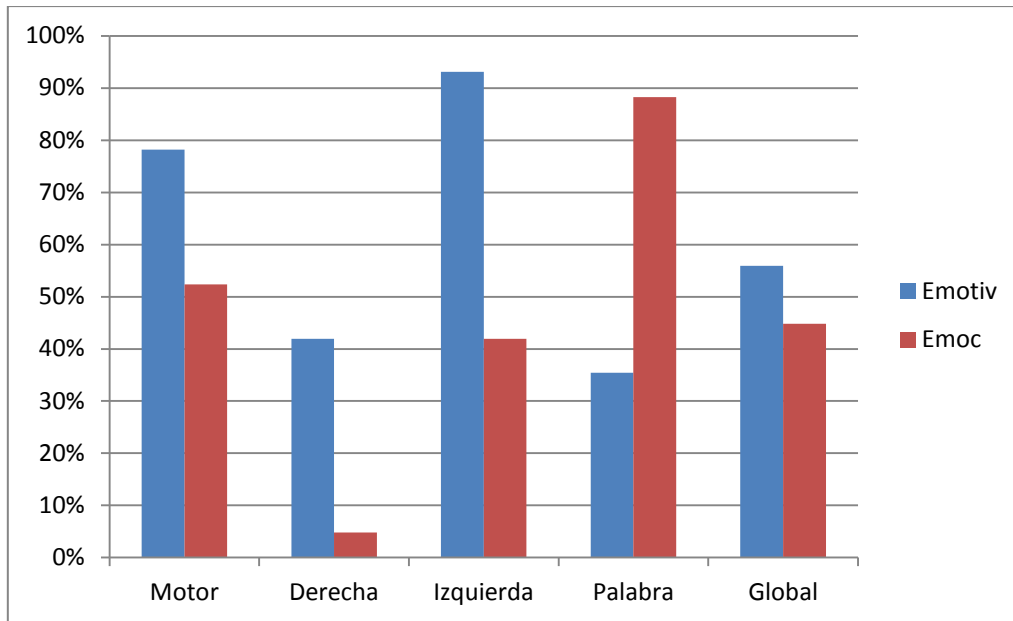


Tabla 4.11: Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 3.

Usuario 4

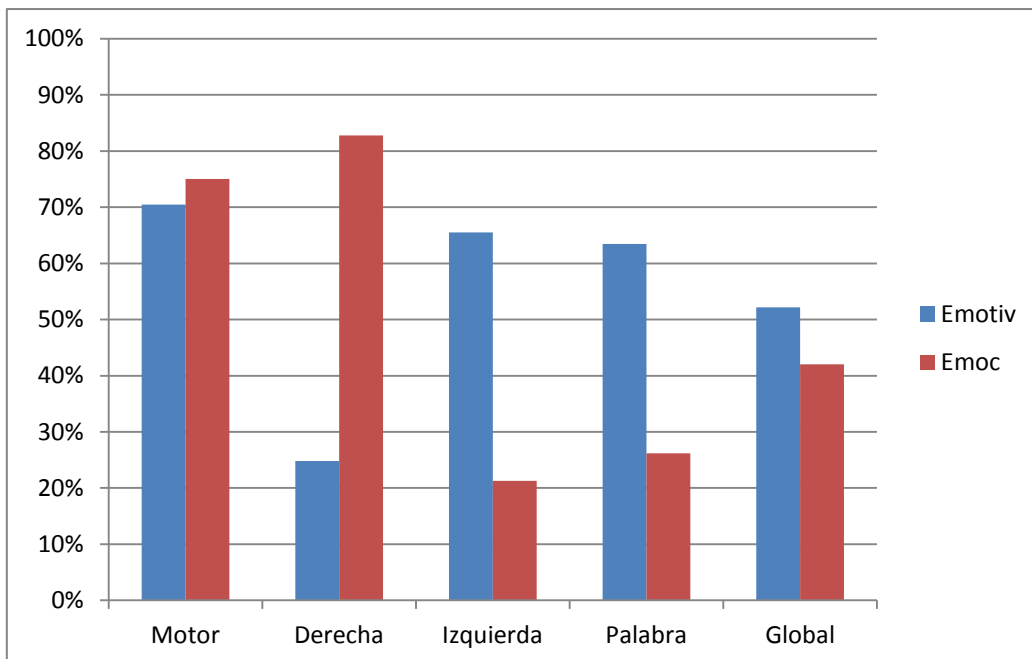


Tabla 4.12: Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), usuario 4.

Con el fin de tener una clara visualización de la comparación entre ambos dispositivos, se realizará una comparativa entre los porcentajes generales obtenidos sobre cada uno de los procesos cognitivos.

General

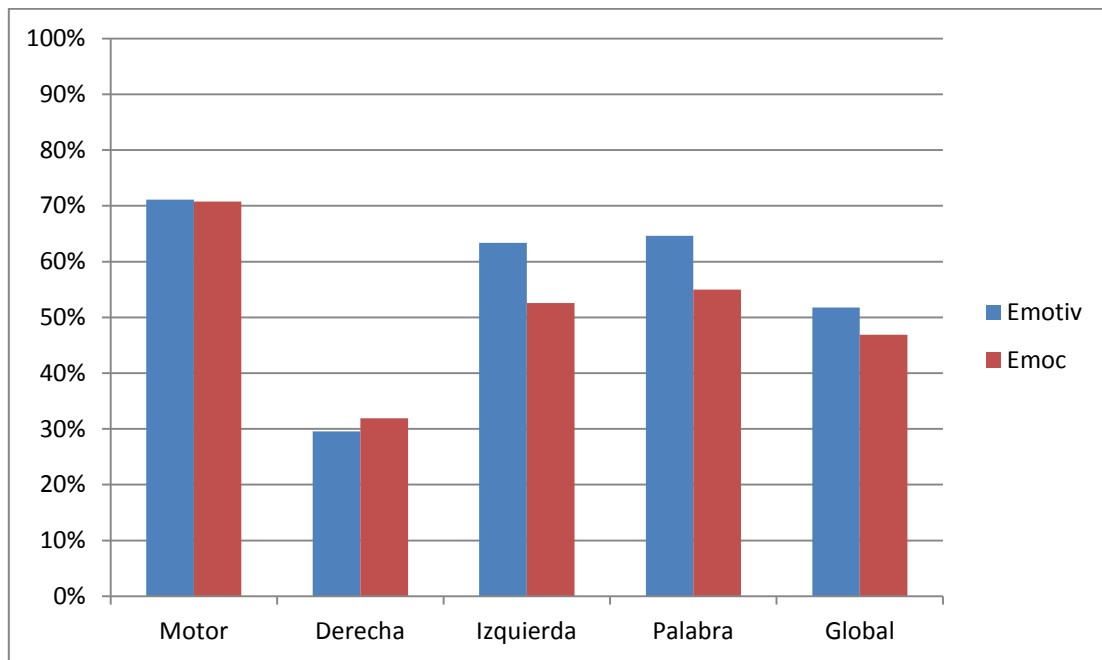


Tabla 4.13: Comparativa de datos (Emotiv vs Emoc), general.

4.4. Comparativa de Emotiv Epoc con el sistema Emoc.

Se procederá a indicar las mejoras que se han obtenido con el sistema Emoc, respecto del Emotiv. Para ello se compararán varias características que han sido modificadas, comparando cada característica por separado. Las mejoras de un sistema respecto de otros son las siguientes:

- El sistema Emoc está dotado de configurabilidad, y el sistema Emotiv no. De forma que con el sistema Emoc, podemos realizar la configuración de electrodos que queramos, siempre y cuando respetemos las posiciones que nos permite la malla.
- Con el sistema Emotiv, al tener los electrodos de solución salina, éstos, con el paso del tiempo, iban perdiendo humedad y su impedancia comenzaba a aumentar, por lo que no era recomendable usarlo en pruebas con periodos de tiempo relativamente largos. Con el sistema Emoc queda resuelto el problema, ya que podemos hacer uso de él simplemente preocupándonos por el estado de la batería. Con lo cual se han ganado dos cosas; confortabilidad del sistema y, capacidad de funcionamiento prolongado.
- Mejora de sensibilidad de los electrodos del sistema Emoc respecto del Emotiv. En la comparativa realizada de datos puros, se puede observar que, los sensores registran una señal de mejora calidad, la cual puede ser mucho más útil para diferentes utilidades en trabajos futuros.
- No hay una mejora sustancial, de los porcentajes de acierto en el problema BCI Competition utilizado para realizar el testeo del sistema. En la comparativa de la tabla 4.13, podemos ver que no se ha conseguido una mejora considerable, de hecho, se empeoran un poco los resultados, aunque no varían considerablemente. En los dos experimentos se puede decir a favor del dispositivo Emoc, que se tenía menos experiencia con este tipo de electrodo y, también, el tamaño de la malla no era el adecuado para un correcto ajuste de la misma sobre el cuero cabelludo. Por ello se esperan mejores resultados en experimentos posteriores.



En términos generales, podemos afirmar, que el dispositivo Emoc tiene, mejor sensibilidad, mejor confortabilidad, capacidad de funcionamiento prolongado y, capacidad de configuración de los electrodos.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros.

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado ha sido determinar la viabilidad de la construcción de una nueva interfaz cerebro-computador a partir de una de bajo coste (Emotiv Epoc). Con este objetivo, se ha desarrollado la construcción del dispositivo, cumpliendo todos los subobjetivos planteados en un principio. De forma que podemos decir, que se ha completado de manera satisfactoria:

- Se ha desmontado el dispositivo Emotiv Epoc por completo.
- Se ha construido el sistema Emoc por completo.
- Se han solventado todos los problemas que han ido apareciendo en el proceso de construcción.
- Se han realizado las bases de datos con el sistema Emotiv y, con el sistema Emoc.
- Se han comparado los datos de ambos sistemas, notándose una mejora sustancial en la calidad de los datos obtenidos con la nueva ICC, pero no se ha mejorado el porcentaje de acierto del problema expuesto.
- Se han adquirido varias mejoras del sistema Emoc respecto del Emotiv.
- Los resultados de las pruebas, indican que la construcción del dispositivo Emoc, a partir del Emotiv, es viable.



Como trabajos futuros, usando Emoc, se plantean las siguientes líneas de investigación:

- Realizar la misma problemática de la BCI Competition, con los electrodos en diferentes posiciones.
- Determinar la relevancia del número de electrodos en una determinada configuración, con el problema de la BCI Competition.
- Mejorar los datos con las posiciones Emotiv, ayudándose de la experiencia con el dispositivo Emoc.



Bibliografía.

- [1] F. Flórez Revuelta. Desarrollo de una interfaz cerebro-computador de bajo coste basada en máquinas de vector soporte, 2011.
- [2] J.M Ramírez-Cortés, V Alarcón-Aquino, G. Rosas-Cholula, P.Gómez-Gil, and J.Escamilla-Ambrosio. P-300 rhythm detection using anfis algorithm and wavelet feature extraction in eeg signals. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, I, 2010.
- [3] J.T.Kemp. Classification of imagined motor movement eeg signals with radial basis function neural network. EE836 Cybernetics and BioRobotics class, 2010.
- [4] Rafael Barea Navarro. Instrumentación biomédica Apuntes de tema 5: electroencefalografía, 2012.
<http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/tema%205%20-%20electroencefalografia.pdf>
- [5] Carolina Arboleda, Eliana García, Alejandro Posada, Róbinson Torres. Diseño y construcción de un prototipo de interfaz cerebro-computador para facilitar la comunicación de personas con discapacidad motora, Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Julio 2009.
<http://revista.eia.edu.co/articulos11/EIA%2011%20%28105-115%29--.pdf>
- [6] Inés Naranjo Peña, Unidad de cuidados intensivos pediátricos, Hospital Universitario Gregorio Marañón, Febrero 2014.
<http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion7/capitulo123/capitulo123.htm>
- [7] Gavin. Used to query the EDK library in order to receive EEG data from the Emotiv EEG headset, Abril 2012.
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/36111-emotiveeg-headset-toolbox>
- [8] Datasheet Enobio neuroelectrics. 2014.
<http://cdn2.hubspot.net/hub/181943/file-1350008960-pdf/docs/Enobio32channelsBrochure.pdf?t=1406664488040>



- [9] Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, Mathieu Petieau, Thomas Hoellinger, Guy Cheron and Thierry Dutoit. Performance of the Emotiv Epoc headset for P300-based applications, 2013.
<http://www.biomedical-engineering-online.com/content/12/1/56>
- [10] Berger H (1929). Uber das Electroenkephalogram des Menschen. Arch.f.Psychiat.
- [11] Nunez PL(1981). Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG. Oxford University Press, New York.
- [12] Rush S, Driscoll DA (1969). EEG-electrode sensitivity- An application of reciprocity. IEEE Trans. Biomed Eng.
- [13] F.Ramos-Arguelles, G. Morales, S. Egozcue, R.M. Pabón, M.T. Alonso. Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas, 2013.
<http://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v32s3/original6.pdf>
- [14] Homan RW, Herman J, Purdy P. Cerebral location of international 10-20 system electrode placement. Electroencephalogr Clín Neurophysiol, 1987.
- [15] Página web oficial del sistema Emotiv Epoc.
<http://emotiv.com/>
- [16] Página web oficial del sistema biosemi.
<http://www.biosemi.com/>
- [17] Librería de información sobre Emotiv, en Emotiv Wiki.
http://emotiv.wikia.com/wiki/Emotiv_EPOC
- [18] Falk Minow. International 10/20 System for electrode placement.
http://www.easycap.de/easycap/e/downloads/info_Standard_10_20.pdf
- [19] Electroencephalography information.
<http://www.bem.fi/book/13/13.htm>
- [20] Página web oficial neurobitsystems.
<http://www.neurobitsystems.com/es/neurobitoptima.htm>
- [21] Jose-Manuel Cano-Izquierdo, Julio Ibarrola, and Miguel Almoncid. Improving Motor Imagery Classification With a New BCI Design Using Neuro-Fuzzy S-dFasArt, Enero 2012.
- [22] Jose-Manuel Cano-Izquierdo, Julio Ibarrola, Juan-Antonio Martinez-Leon. About the use of Emotiv EPOC for BCI applications: Motor Imagery pattern recognition problema, Febrero 2014.