



Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología

ULL

Universidad
de La Laguna

TRABAJO FIN DE GRADO

PUESTA A PUNTO DE SISTEMA DE ELECTROENCEFALOGRAFÍA PORTÁTIL

ALUMNOS: Jordan Ortega Rodríguez y Alejandro Pacheco Cano.

TUTORES: Sergio Elías Hernández Alonso y José Luis González Mora.

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

JULIO 2015

A mis padres, pilar fundamental e incondicional

en todos y cada uno de mis pasos.

Jordan

*A mi familia, y en especial a Óscar y Emma, por
apoyarme en todo momento durante estos cuatro años.*

Muchas Gracias por todo.

Alejandro

Queremos agradecer a nuestros tutores su correcta dirección, y en especial al profesor Sergio Elías su apoyo, paciencia y dedicación, por mostrarse siempre dispuesto a guiarnos en este camino.

También queremos mostrar nuestro agradecimiento al Servicio de Electrónica de la Universidad de La Laguna por su predisposición y apoyo, en especial, a David Díaz “El Cepillo” por prestarnos ayuda siempre que la necesitamos, incluso en momentos en los que él se encontraba más ocupado que nosotros mismos.

Los autores, julio de 2015.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 0: Resumen y Abstract	10
0.1. Resumen	11
0.2. Abstract	12
Capítulo 1: Introducción y Objetivos	13
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivos Generales	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
1.2. Introducción Biológica	15
1.2.1. El encéfalo	15
1.2.2. Las neuronas	16
1.2.3. La electroencefalografía	20
1.3. Introducción Electrónica.....	24
1.3.1. Análisis espectral de una señal	23
1.3.2. Tipos de registros electroencefalográficos	23
1.3.3. Electroencefalógrafo.....	24
1.3.4. Electroodos	28
1.4. Electroencefalógrafo portátil Emotiv EPOC	31
1.4.1. Hardware Emotiv EPOC.....	32
1.4.2. Software Emotiv EPOC.....	35
Capítulo 2: Diseños para la adquisición y procesamiento digital de la señal EEG.....	42
2.1. Diseño en LabVIEW	43
2.1.1. Librería Emotiv Toolkit para LabVIEW	44
2.1.2. Descripción del programa.....	45
2.2. Diseño en EEGLAB	54
2.3. Diseño en OpenViBE	58
2.4. Diseño en Arduino.....	61
Capítulo 3: Pruebas, análisis y resultados obtenidos	64
3.1. Calibración biológica.....	65
3.1.1. Test.....	67
3.1.2. Sujetos.....	68
3.1.3. Resultados.....	69

3.1.4. Conclusiones generales	79
3.2. Calibración electrónica	80
3.3. Adquisición de señales EEG en LabVIEW	81
3.4. Prácticas de laboratorio.....	85
3.4.1. Aplicaciones prácticas y análisis de la adquisición de señales EEG en tiempo real.....	85
3.4.2. Análisis de señales EEG con EEGLAB	91
3.4.3. Adquisición de señales EEG y potenciales cerebrales con OpenViBE	92
3.4.4. Interfaz Emotiv EPOC-Arduino.....	95
Capítulo 4: Conclusiones	98
Capítulo 5: Referencias.....	100
Anexos.....	106
Anexo I: Instalación y colocación del dispositivo (Emotiv EPOC)	107
Anexo II: Enunciados de prácticas propuestas asociadas al TFG.....	110
1. Adquisición de señales EEG en tiempo real mediante LabVIEW	110
2. Familiarización con las señales EEG mediante EEGLAB	118
3. Visualización en tiempo real de los potenciales del cerebro	130
4. Interfaz de comunicación entre Emotiv EPOC y Arduino	135
Anexo III: Diagrama de bloques para la adquisición de señales EEG en LabVIEW a través de Emotiv EPOC	144
Anexo IV: Bloques funcionales utilizados para la adquisición de señales EEG en LabVIEW	145
Anexo V: Códigos de programación en el procesador de Arduino	151
Anexo VI: Calibración electrónica	154
Anexo VII: Imágenes calibración biológica	166
Anexo VIII: Diagrama de bloques para la adquisición de señales en OpenViBE	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: a) Cerebro; b) Tronco del encéfalo; c) Cerebelo [3].....	15
Figura 2: Lóbulos del cerebro [4].....	16
Figura 3: Partes de una neurona [8]	18
Figura 4: Sinapsis Química [10].....	19
Figura 5: Ritmos cerebrales [16].....	22
Figura 6: Registro unipolar EEG del Emotiv EPOC.....	25
Figura 7: Representación esquemática del procedimiento de registro de un EEG	26
Figura 8: Esquema básico de correcciones de un registro EEG.....	27
Figura 9: Corrección suplementaria en la fase de entrada, detalle (A/B) de la figura anterior	28
Figura 10: Tipos de electrodos	29
Figura 11: Orden de los electrodos según el sistema 10-20.....	30
Figura 12: Emotiv EPOC headset	31
Figura 13: Sensores Emotiv	31
Figura 14: Almohadillas.....	33
Figura 15: Chapas de metal.....	33
Figura 16: Placa 1 (Adquisición y filtrado).....	34
Figura 17: Placa 2 (Adquisición y filtrado).....	34
Figura 18: Placa 3 (Comunicación y Alimentación).....	35
Figura 19: Receptor USB	35
Figura 20: Control Panel	36
Figura 21: Expressiv Suite	37
Figura 22: Cognitiv Suite	38
Figura 23: Emocomposer	39
Figura 24: Testbench.....	40
Figura 25: FFT	40
Figura 26: Panel frontal y diagrama de bloques en LabVIEW	43
Figura 27: Ejemplo de utilización de los VI de la librería Emotiv Toolkit.....	44
Figura 28: Panel frontal de la aplicación EEG.....	46
Figura 29: Diagrama de bloques de la aplicación EEG	47
Figura 30: Panel frontal de la aplicación FFT.....	48
Figura 31: Diagrama de bloques de la aplicación FFT	49
Figura 32: Panel frontal de la aplicación GYRO	50

Figura 33: Diagrama de bloques de la aplicación GYRO	50
Figura 34: Panel frontal de la función Guardar en CSV	52
Figura 35: Diagrama de bloques de la función Guardar en CSV	52
Figura 36: Ventana principal MATLAB	54
Figura 37: Ventana principal EEGLAB	55
Figura 38: Coordenadas de los electrodos	56
Figura 39: Channel locations.....	56
Figura 40: Posición de los electrodos	57
Figura 41: Driver Properties	58
Figura 42: OpenViBE Acquisition Server.....	58
Figura 43: Parte del programa que representa Delta	59
Figura 44: Mind Tour OSCs.....	61
Figura 45: Circuito 1 Arduino	62
Figura 46: Circuito 2 Arduino	62
Figura 47: Standard Firmdata de Arduino.....	63
Figura 48: EEG de un sujeto en reposo con ojos cerrados	66
Figura 49: a) Ejercicio 1 para pensar; b) Ejercicio 2 para pensar	67
Figura 50: Sujetos: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; c) Sujeto 3; d) Sujeto 4.....	68
Figura 51: Parpadeos: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4.....	69
Figura 52: Forma del parpadeo.....	69
Figura 53: Guiño del ojo: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4	70
Figura 54: Forma del guiño de un ojo	70
Figura 55: Movimiento ocular: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4.....	71
Figura 56: Forma del movimiento de los ojos	71
Figura 57: Movimiento muscular: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4	72
Figura 58: Forma del movimiento muscular	72
Figura 59: Movimiento corporal: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4	73
Figura 60: Forma del movimiento corporal.....	73
Figura 61: Reposo: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4	74
Figura 62: Escuchando música: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4.....	74
Figura 63: Pensamiento: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4.....	76
Figura 64: Hablando y pensando: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4.....	76
Figura 65: Sonriendo: a) Sujeto 1; b) Sujeto 2; Sujeto 3; d) Sujeto 4	78
Figura 66: EEG de un sujeto riéndose	79

Figura 67: Visualización de las catorce señales EEG	81
Figura 68: Visualización de cada canal por separado. Ejemplo del canal AF3	82
Figura 69: Espectro de la señal del canal AF3	82
Figura 70: Potenciales del cerebro humano. Valores máximos de magnitud de espectro en cada rango de frecuencia	83
Figura 71: Señales producidas por la aceleración rotacional de la cabeza.....	84
Figura 72: Artefactos biológicos	86
Figura 73: Diagrama de bloques para el estudio de acciones expresivas en LabVIEW	87
Figura 74: Diagrama de bloques correspondiente a cada acción expresiva en LabVIEW ..	88
Figura 75: Ejemplo de EEG ante un parpadeo constante	89
Figura 76: Ejemplo de EEG ante la acción de sonreír	89
Figura 77: Ejemplo de EEG ante la acción de mover las cejas	90
Figura 78: Ejemplo de EEG ante la acción de fruncir el ceño	90
Figura 79: Visualización de las señales 1	91
Figura 80: Visualización de las señales 2.....	91
Figura 81: Análisis de potenciales cerebrales en determinadas frecuencias	92
Figura 82: Parte seleccionada.....	92
Figura 83: Señales con la parte eliminada.....	92
Figura 84: Re-reference.....	93
Figura 85: Change sampling rate	93
Figura 86: Reject continuous data by eye	93
Figura 87: Resultados del programa OpenViBE.....	94
Figura 88: Usuario en estado de reposo	95
Figura 89: Led apagado.....	95
Figura 90: Usuario sonriendo	95
Figura 91: Led encendido.....	95
Figura 92: Nivel de meditación bajo	96
Figura 93: Pocos leds activos	96
Figura 94: Nivel de meditación medio	96
Figura 95: Varios leds activos	96
Figura 96: Nivel de meditación alto	97
Figura 97: Todos los leds activos	97

Prólogo

En el presente documento de Trabajo de Fin de Grado del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, se describen los aspectos fundamentales necesarios para el cumplimiento de las funciones que cabe esperar de un sistema electroencefalográfico portátil, así como el diseño de diferentes softwares dedicados a la representación y estudio los diferentes tipos de señales que este equipo es capaz de adquirir y procesar.

En esta Memoria se recoge, en primer lugar, una descripción de los fundamentos teóricos básicos a tener en cuenta necesarios para comprender el campo científico en el que se basa el dispositivo utilizado, la electroencefalografía.

Seguidamente, se describen de forma detallada todos los procedimientos que se han realizado para la consecución de las diferentes aplicaciones trabajadas, así como de la programación utilizada en cada una según su función correspondiente.

A partir de ello, se han obtenido una serie de resultados que se muestran fruto del estudio de las aplicaciones desarrolladas sobre una serie de usuarios. Por otra parte, en este capítulo adjunta el procedimiento y resultados obtenidos a partir de dos tipos de calibración que se han realizado para comprobar el estado del aparato electroencefalográfico portátil. Además de ello, se desarrollan aplicaciones prácticas de laboratorio dedicadas a la docencia en este ámbito.

Finalmente, se incluye una serie de conclusiones y posibles trabajos futuros sobre todo el proyecto, ya que a partir de lo que se ha desarrollado en el presente trabajo, es posible continuar con labores de investigación en multitud de nuevas aplicaciones y productos de gran interés.

Los autores, julio de 2015

Capítulo 0

Resumen y Abstract

0.1. Resumen

El electroencefalograma, encefalograma o EEG, es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, concretamente de la actividad eléctrica de la corteza del cerebro. Para la adquisición de estas señales se ha utilizado un equipo comercial específico llamado Emotiv-EPOC.

Este equipo incluye un software con varias funciones para el tratado de la señal, aunque con el inconveniente de disponer únicamente de tres licencias para su uso. Es por este motivo que se pretende diseñar aplicaciones capaces de cumplir las mismas funciones usando el equipo de medida sin que tengan el inconveniente mencionado, además de añadir algunas otras funciones y aplicaciones extras.

El diseño en la plataforma LabVIEW, permite la adquisición y representación en tiempo real de las señales EEG, ritmos cerebrales y aceleraciones rotacionales de la cabeza del usuario, así como guardar estos datos para un posterior estudio. La aplicación desarrollada en la plataforma OpenViBE permite, además de las funciones anteriores, la representación gráfica de los ritmos cerebrales en modelos 2D y 3D de una cabeza humana también en tiempo real. Por otro lado, la aplicación EEGLAB para Matlab, permite reproducir los resultados obtenidos a partir de la adquisición EEG para un estudio más detallado de las señales de interés.

Además de las aplicaciones desarrolladas, el uso del dispositivo EMOTIV puede ser aplicado en numerosas aplicaciones, como puede ser en la creación de una interfaz entre éste y circuitos electrónicos en Arduino, o la elaboración de procedimientos para prácticas de laboratorio.

La gran versatilidad en aplicaciones que ofrece el equipo estudiado, facilita labores de estudio en el campo neuro-científico, las cuales pueden ser de gran relevancia en diagnósticos de salud o rehabilitación y en avances científicos relacionados con esta área.

0.2. Abstract

The electroencephalogram or EEG, is a test used to study the functioning of the central nervous system, specifically the electrical activity of the brain's cortex. For the acquisition of these signals it has been used a commercial device called Emotiv EPOC.

This equipment includes a software with several functions for treating the signal, but it has the disadvantage of having only three licenses for use it. For this reason the intention of this project is to design applications that can perform the same functions without having the obstacle mentioned, and also adding some extra features.

The design in the LabVIEW platform, allows the acquisition and representation of the EEG signals, brain rhythms and rotational accelerations of the wearer's head and it saves this data for a further study. The application developed on the platform OpenViBE allows the graphic representation of brain rhythms in 2D and 3D models of a human head. On the other hand, the EEGLAB for Matlab application allows a more detailed study of the results obtained from the EEG acquisition made in real time.

In addition to the applications developed, the use of the Emotiv device can be applied in numerous applications, such as creating an interface between the device and an electronic circuit on Arduino, or the development of procedures for laboratory practice.

The great versatility in the applications that offers the device studied, facilitates the study in the work of the neuro-scientific field, which can be of great importance in health or rehabilitation diagnostics and progress related to this area.

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Generales

- Familiarización con los sistemas de electroencefalografía (EEG) desde un punto de vista electrónico.
- Familiarización con la adquisición de señales electroencefalográficas.
- Búsqueda y desarrollo de aplicaciones prácticas para el uso de un equipo de electroencefalografía.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Búsqueda y desarrollo de programas en software que permitan establecer una interfaz de comunicación con el equipo de electroencefalografía portátil e inalámbrico *Emotiv EPOC*.
- Búsqueda y desarrollo de programas en software que permitan la visualización y estudio de señales EEG en tiempo real, con sus correspondientes representaciones gráficas en una cabeza simulada.
- Búsqueda y desarrollo de programas en software que permitan guardar resultados de una electroencefalografía para un posterior estudio más detallado.
- Desarrollo de aplicaciones destinadas a prácticas de laboratorio de electromedicina desde el punto de vista de un ingeniero.
- Desarrollo de aplicaciones prácticas haciendo uso del entorno de desarrollo Arduino.
- Calibración biológica del equipo *Emotiv EPOC*.

1.2. Introducción biológica

1.2.1. El encéfalo

El sistema nervioso central está formado por el encéfalo y la médula espinal. El encéfalo (comúnmente llamado cerebro) es un órgano muy importante, ya que controla los procesos cognitivos, la memoria, las emociones, el tacto, la capacidad para el movimiento, la vista, la respiración, la temperatura, el apetito y todos los procesos que regulan nuestro cuerpo. [1] [2]

El encéfalo se puede dividir en cerebro, tronco del encéfalo y cerebelo:

- El cerebro: es la parte más grande del encéfalo que representa el 85% de su peso. Las características y profundas arrugas (cisuras corticales) de la superficie exterior del órgano son la corteza cerebral, compuesta por materia gris. Se compone de dos hemisferios, el derecho y el izquierdo.
- Tronco del encéfalo: está formado por el mesencéfalo, la protuberancia anular (o puente troncoencefálico) y el bulbo raquídeo (también llamado médula oblongada). Controla varias funciones incluyendo la respiración, regulación del ritmo cardíaco y aspectos primarios de la localización del sonido. Formado por sustancia gris y sustancia blanca.
- Cerebelo: está situado en la parte posterior de la cabeza. Tiene como función coordinar los movimientos musculares voluntarios y mantener la postura, la estabilidad y el equilibrio. Se compone también de materia gris y blanca y transmite la información a la médula espinal y a otras partes del encéfalo.

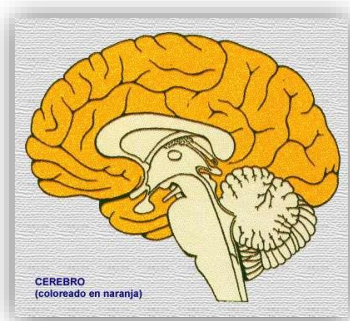


Figura 1a: Cerebro [3]

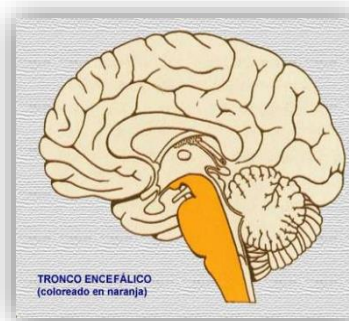


Figura 1b: Tronco del encéfalo [3]

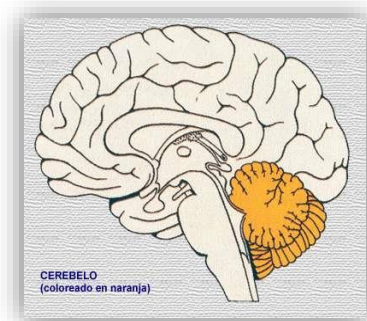


Figura 1c: Cerebelo [3]

Más específicamente, otras partes del encéfalo son:

- **Lóbulo frontal:** porción más voluminosa del encéfalo, situado en la parte delantera de la cabeza. Interviene en las características de la personalidad y en el movimiento.
- **Lóbulo parietal:** situado en la zona media del encéfalo, ayuda a la persona a identificar objetos y a comprender las relaciones espaciales. También interviene en la interpretación del dolor y del tacto en el cuerpo.
- **Lóbulo occipital:** es la parte posterior del encéfalo e interviene en la visión.
- **Lóbulo temporal:** los lados del encéfalo o lóbulos temporales intervienen en la memoria, el habla y el sentido del olfato.
- **Médula espinal:** es un largo cordón de fibras nerviosas situado en el interior de la columna vertebral que se extiende desde la base del encéfalo hasta la parte baja de la espalda; transporta los mensajes entre el encéfalo y el resto del cuerpo.

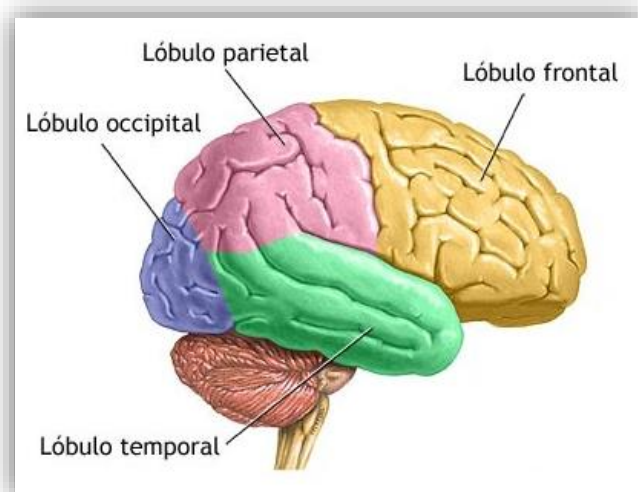


Figura 2: Lóbulos del cerebro [4]

1.2.2. Las neuronas

Son las células funcionales del tejido nervioso. Ellas se interconectan formando redes de comunicación que transmiten señales por zonas definidas del sistema nervioso. Suelen medir entre 4-125 micras. Son células muy excitables, especializadas para la realización de estímulos y la conducción del impulso nervioso. [5]

La forma y estructura de cada neurona se relaciona con su función específica, la que puede ser:

- Recibir señales desde receptores sensoriales
- Conducir estas señales como impulsos nerviosos, que consisten en cambios en la polaridad eléctrica a nivel de su membrana celular
- Transmitir las señales a otras neuronas o a células efectoras

En las neuronas se pueden distinguir tres partes fundamentales, que son [6]:

- Somas o pericarion: corresponde a la parte más voluminosa de la neurona. Aquí se puede observar una estructura esférica llamada núcleo. Éste contiene la información que dirige la actividad de la neurona. Además en el soma se encuentra el citoplasma. En él se ubican otras estructuras que son importantes para el funcionamiento de la neurona.
- Dendritas: son numerosas y aumentan el área de superficie celular disponible para recibir información desde los terminales axónicos de otras neuronas.
- Axón: es una prolongación única y larga que conduce el impulso nervioso de esa neurona hacia otras células ramificándose en su porción terminal (telodendrón).

La transmisión de los impulsos nerviosos entre dos neuronas tiene lugar en la conexión entre ambas llamadas sinapsis. Las sinapsis se establecen normalmente entre la parte terminal de un axón y el cuerpo o las dendritas de otra neurona. La comunicación entre dos neuronas se lleva a cabo en los botones sinápticos, situados en cada extremo de las ramificaciones del axón, que conectan con otra neurona en las sinapsis. [7]

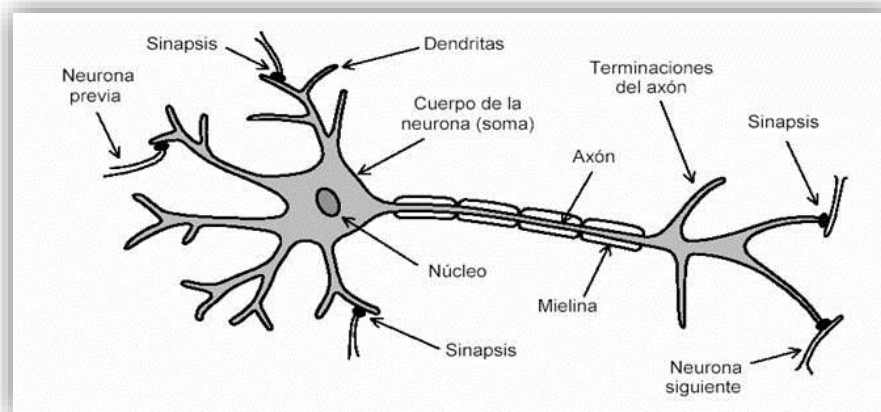


Figura 3: Partes de una neurona [8]

La sinapsis puede ser de dos tipos: [9]

- Química: la membrana presináptica libera una sustancia química llamada neurotransmisor y esta pasa a unirse con los receptores que tiene la membrana postsináptica. Dentro de las sinapsis químicas se reconocen distintos neurotransmisores (moléculas como la acetilcolina, dopamina, glutamato, etc.) y neuroreceptores, con canales que permiten transformar una señal química intercelular a una señal química intracelular.
- Eléctrica: las membranas de ambos tipos de neuronas están conectadas por canales a través de los cuales se transmite corriente eléctrica. Ello produce cambios de voltaje en la célula presináptica que a su vez condicionan cambios en la célula postsináptica. Son extremadamente rápidos pero más raros en el cuerpo. Se les encuentra especialmente en el ojo y en el corazón.

La sinapsis ocurre en una sola dirección pues cada membrana tiene las propiedades de la función que realiza. El impulso sináptico puede diversificarse en varias neuronas, del mismo modo varios impulsos pueden converger en una sinapsis, como se puede observar en la figura 4.

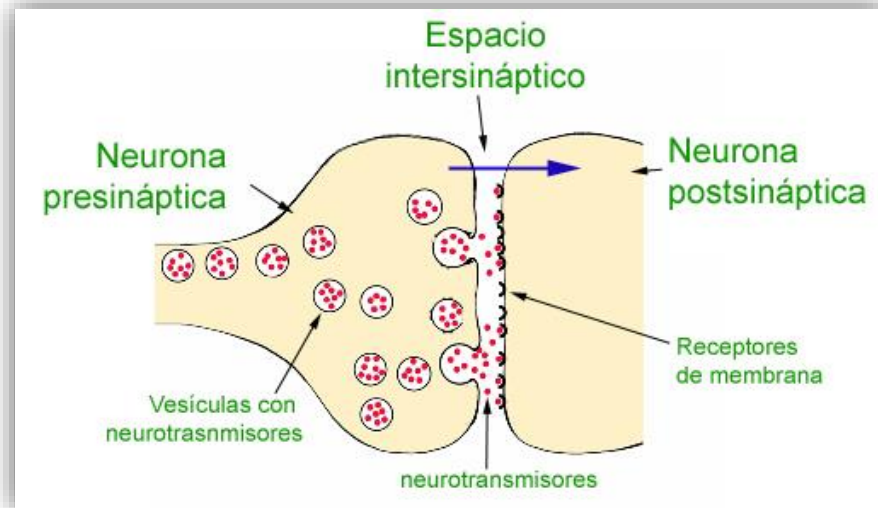


Figura 4: Sinapsis química [10]

1.2.3. La Electroencefalografía

Introducción

Desde que el psiquiatra alemán Hans Berger consiguió en 1924 demostrar en el cerebro humano oscilaciones de potencial, que describió por primera vez en 1929, y cuya inscripción denominó “electroencefalograma” del hombre, la electroencefalografía ha experimentado hasta nuestros días un desarrollo dinámico.

El interés se centró ante todo en la consecución de unas bases para el empleo práctico del EEG en el diagnóstico clínico. Pero la electroencefalografía no alcanzó un empleo más amplio en la exploración clínica sistemática hasta que aparecieron en el comercio instrumentos de registros de varios canales que ofrecieron garantías.

Actualmente, la electroencefalografía reclama grandes exigencias a una técnica de intensificador exenta lo más posible de distorsiones; esta exigencia se consiguió gracias a los progresos realizados por la moderna tecnología electrónica en las últimas décadas. Entretanto han aparecido un gran número de trabajos excelentes que han conferido el EEG, como documento gráfico, un valor y un lugar definitivos en el diagnóstico y la investigación clínica. Así, la electroencefalografía se ha revelado en los años como un procedimiento indispensable en muchos terrenos de la ciencia. [\[11\]](#)

¿Qué es la electroencefalografía?

La electroencefalografía es la parte de la medicina que estudia la obtención e interpretación de los electroencefalogramas.

El electroencefalograma, encefalograma o EEG, es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, concretamente de la actividad eléctrica de la corteza del cerebro. Consiste esencialmente en registrar mediante electrodos especiales las corrientes eléctricas que se forman en las neuronas cerebrales, y que son la base del funcionamiento del sistema nervioso. Gracias a él se pueden diagnosticar alteraciones de la actividad eléctrica cerebral que sugiera enfermedades como la epilepsia,

narcolepsia o demencias, entre muchas otras. También es una prueba imprescindible para certificar una muerte en un paciente en coma. [\[12\]](#)

Diferentes tipos de onda cerebrales

Un EEG registra los patrones de la actividad cerebral. Entre las formas de onda básicas se encuentran los ritmos alpha, beta, theta y delta. [\[13\]](#) [\[14\]](#)

Las ondas *alpha* se producen a una frecuencia de 8 a 12 ciclos por segundo (Hz) a un ritmo regular. Están asociadas con estados de relajación. Están presentes sólo cuando estamos despiertos, pero con los ojos cerrados. Por lo general, desaparecen cuando abrimos los ojos o comenzamos a concentrarnos mentalmente.

Las ondas *beta* se producen cuando el cerebro está despierto e implicado en actividades mentales. Son ondas amplias y las de mayor velocidad de transmisión de las cuatro. Su frecuencia oscila entre 14 y 30-35 Hz. Denotan una actividad mental intensa.

Las ondas *theta* se producen a una frecuencia de 4 a 7 Hz. Se alcanzan bajo un estado de calma profunda. Son más comunes en niños y adultos jóvenes cuando están dormidos.

Las ondas *delta* presentan una frecuencia de 0,5 a 3,5 Hz. Normalmente solo aparecen en niños pequeños durante el sueño aunque se reflejan también en estados profundos de sueño.

Aparte de los cuatro ritmos principales muchos científicos reconocen un quinto ritmo llamado *gamma*. Son las ondas de mayor frecuencia y menor amplitud que se registran. El estado “normal” de aparición en nuestro cerebro es de una frecuencia de unos 40Hz. [\[15\]](#)

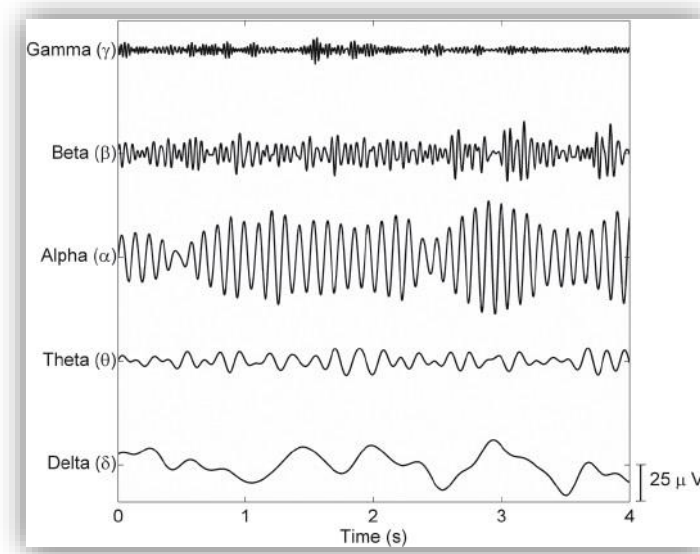


Figura 5: Ritmos cerebrales [16]

Razones por las que se realiza el EEG

Como ya se ha mencionado anteriormente, el EEG se utiliza para observar la actividad cerebral. Se puede emplear para diagnosticar o monitorizar las siguientes afecciones: [17]

- Cambios anormales en la química corporal que afectan al cerebro
- Enfermedades cerebrales como el mal de Alzheimer
- Confusión
- Traumatismos craneales
- Episodios de desmayos o períodos de memoria que no se pueden explicar de otro modo
- Infecciones
- Convulsiones
- Tumores

El EEG también se usa para:

- Evaluar problemas con el sueño (trastornos del sueño)
- Monitorizar el cerebro durante una cirugía cerebral

Neurotecnología

El EEG es una técnica que forma parte de la neurotecnología. Ésta es un conjunto de herramientas que sirven para analizar e influir sobre el sistema nervioso del ser humano, especialmente sobre el cerebro.

La función del modo de aplicación de la tecnología puede dividirse en invasivas y no invasivas. Las primeras requieren de la cirugía para incorporar receptores o emisores cerca o junto a áreas del cerebro que van a ser afectadas. Las segundas no requieren de cirugía eliminando los inconvenientes derivados de la intervención quirúrgica. [\[18\]](#)

Técnica no invasivas:

- FMRI (imágenes por resonancia magnética funcional)
- EEG (electroencefalograma)
- MEG (magnetoencefalograma)
- PET (tomografía de emisión de positrones)
- MRS (resonancia magnética espectroscópica)
- 2D Ultrasound Imaging
- NIRS (topografía óptica)
- DOT (tomografía NIRS)
- EMIT (tomografía cerebral por computación activa de microondas)

1.3. Introducción electrónica

1.3.1. Análisis espectral de una señal

El *teorema de Fourier* nos dice que cualquier señal temporal está constituida por una o más ondas senoidales a diferentes frecuencias, cada una con una amplitud y fase determinada. El *espectro de una señal* es una representación en el *dominio de la frecuencia*, esto es, para un rango de valores de frecuencia que idealmente puede ir desde 0 Hz hasta infinito (en la práctica se selecciona un rango finito de frecuencias de interés), de magnitud y fase de cada componente de frecuencia presente en la señal que está siendo objeto de estudio.

Analizando la forma de onda en el tiempo no es nada fácil determinar cómo ha sido creada, es decir, cuáles son sus componentes frecuenciales. Por el contrario, en un *diagrama de Bode* de una señal se representa la magnitud y fase de sus componentes en el dominio de la frecuencia. Un instrumento que nos permita obtener diagramas de magnitud y de fase es de gran utilidad para caracterizar con mayor precisión una señal o un conjunto de ellas.

El espectro de una señal $f(t)$ puede determinarse mediante la denominada transformada de Fourier: [19]

$$F[f(t)] = F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (\text{Ec. 1})$$

1.3.2. Tipos de registros electroencefalográficos

Los distintos pares de electrodos utilizados para llevar a cabo un registro de encefalografía se combinan constituyendo los montajes. Hay dos tipos básicos de montajes: bipolar (transversal y longitudinal) y monopolar (o referencial). El bipolar registra la diferencia de voltaje entre dos electrodos colocados en áreas de actividad cerebral, mientras que el monopolar registra la diferencia de potencial entre un electrodo ubicado en una zona cerebral activa y otro colocado sobre un área sin actividad o neutra (por ejemplo el lóbulo de la oreja); o bien, la diferencia de voltaje entre un electrodo colocado en una zona activa y el promedio de todos o algunos de los electrodos activos. [20]

El Emotiv EPOC utiliza un tipo de registro monopolar (referencial) haciendo uso de dos referencias conectadas simultáneamente, cuyos correspondientes electrodos se encuentran próximos a las orejas del paciente.

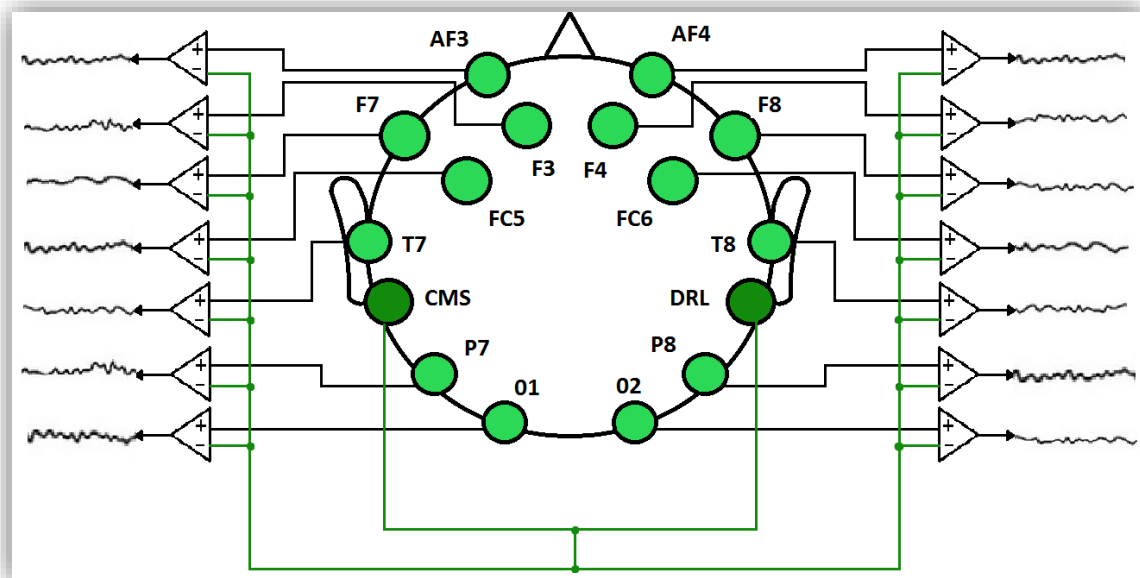


Figura 6: Registro unipolar EEG del Emotiv EPOC (Fuente: Elaboración propia)

1.3.3. Electroencefalógrafo

En una exploración electroencefalográfica, son captadas las oscilaciones de potencial que aparecen en la superficie corporal por un gran número de electrodos simultáneamente, transmitidas a un intensificador con entrada poliódhmica y registradas después por canales registradores. Un sistema semejante (representado esquemáticamente en la figura 8 más adelante) se construye por lo general en forma de una unidad como electroencefalógrafo.

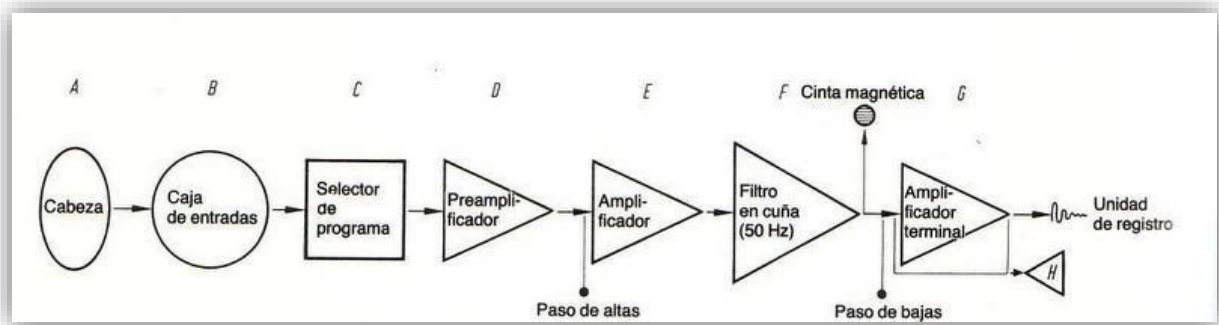


Figura 7: Representación esquemática del procedimiento de registro de un EEG

El curso exacto de un registro electroencefalográfico está expuesto en la figura 7 A y B. Los electrodos en la superficie cefálica facilitan la conexión entre los tejidos, en los que se origina la actividad eléctrica encefálica y los peldaños de entrada del intensificador; la conexión de dos electrodos proporciona una señal electroencefalográfica que es registrada mediante un dispositivo inscriptor. Por lo general, se disponen 16 canales registradores.

Entre los electrodos y el cuero cabelludo existen grandes resistencias. La resistencia original de la actividad eléctrica cerebral escapa a nuestro influjo, es relativamente pequeña y puede ser menospreciada. La conexión desde el electrodo E1 al intensificador conduce la señal de entrada 1 (input terminal 1; rejilla 1); la señal de entrada 2(input terminal 2; rejilla 2). Entre los electrodos y el intensificador se halla el colador, que capta las señales de los electrodos y las transmite unidas en un cable. Las señales de entrada 1 y 2 pasan a través del conmutador de programa al intensificador del electroencefalógrafo, cuya resistencia de entrada en los modernos aparatos, visto desde el lado de las señales, representa la resistencia de entrada del intensificador amortiguador. Con ello queda completado el peldaño de entrada de intensificador. En la derivación electroencefalográfica se utilizan por lo general para la intensificación de las señales intensificadoras que corriente alterna, ya que los intensificadores para corriente continua son extraordinariamente sensibles con respecto a la estabilidad de la línea cero; la línea cero se desplaza fácilmente. Antes de iniciar la derivación, deben comprobarse por separado todos los canales del EEG, para comprobar si están electrónica y mecánicamente exactamente enfocados sobre la línea cero. En los modernos aparatos se puede prescindir de esta medida, puesto que el enfoque sobre la línea es plenamente automático.

Cada canal de un electroencefalógrafo debería transmitir sin distorsión las señales captadas por los electrodos; al respecto deben tomarse en cuenta algunas peculiaridades. Con el fin de reducir al mínimo la distorsión de las señales ingresadas, las resistencias de los electrodos deberían ser pequeñas (máximo 10 kohm). De este modo, la resistencia de origen del EEG está libre de carga. Es necesario un montaje en cadena de varios peldaños de intensificador en el sistema de intensificación con el fin de obtener un factor de intensificación óptimo (gain = ganancia), que eleva la amplitud de la tensión de entrada sobre un indicador de nivel para encauzar el sistema inscriptor. El factor de intensificación se calcula a través de la relación entre la tensión de la señal de salida y la tensión de la señal de entrada. No tiene dimensión y se puede expresar en decibelios. [11]

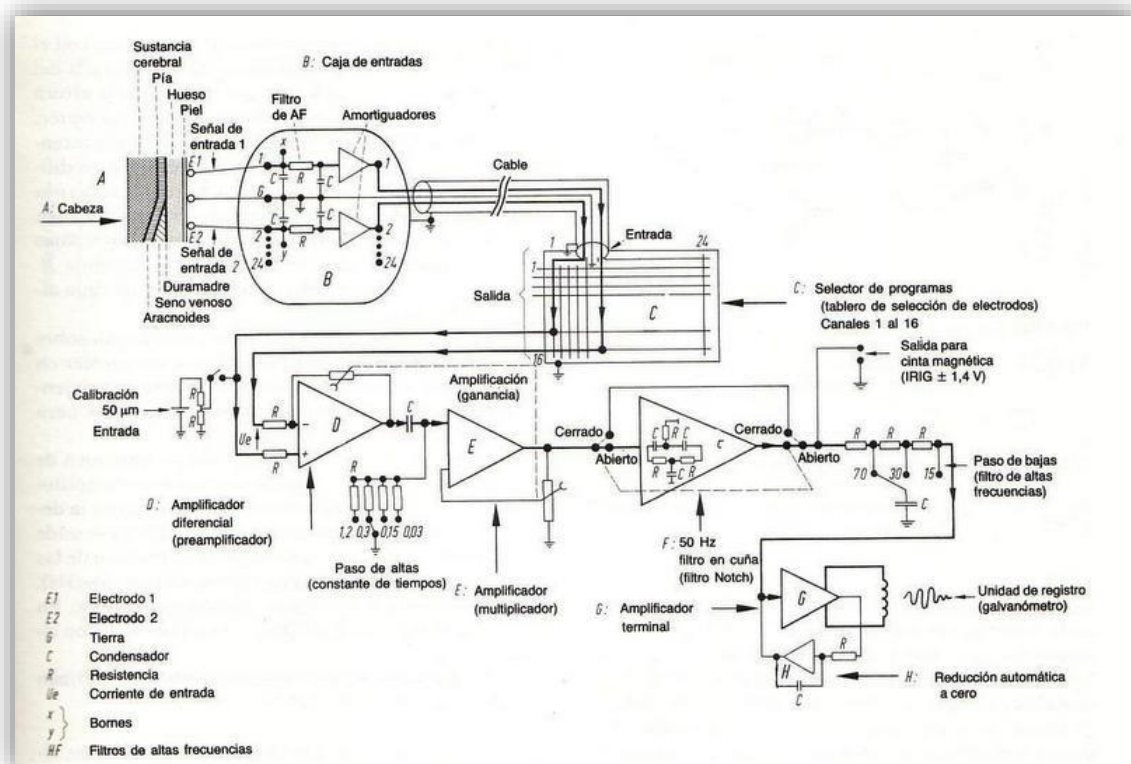


Figura 8: Esquema básico de correcciones de un registro EEG [11]

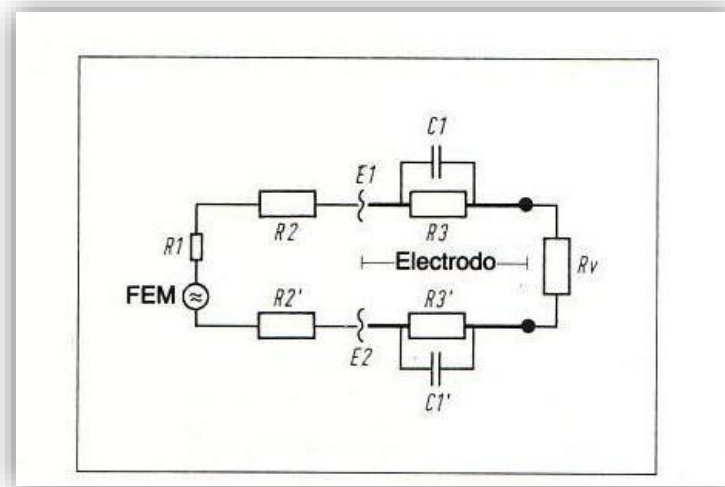


Figura 9: Corrección suplementaria en la fase de entrada, detalle (A/B) de la figura anterior [11]

1.3.4. Electrodos

El registro del EEG es más difícil que el de otros biopotenciales, porque las señales electroencefalográficas tienen voltajes menores.

La aplicación exacta y segura de los electrodos sobre el cuero cabelludo tampoco es siempre fácil. El electrodo ideal debiera ser indoloro y fácil tanto de colocar como de retirar. Los electrodos tienen diversas formas y pueden ser de cualquier metal que, con la ayuda de una solución salina fisiológica o de una pasta conductora, pueda establecer contacto con las superficies de la cabeza.

Existen varios tipos de electrodos: de disco, de aguja, de piel biopotencial, de almohadilla, etc. Antes de cada exploración debe medirse la resistencia de los electrodos, la que, en lo posible, debe ser inferior a 10 kohm. [11]

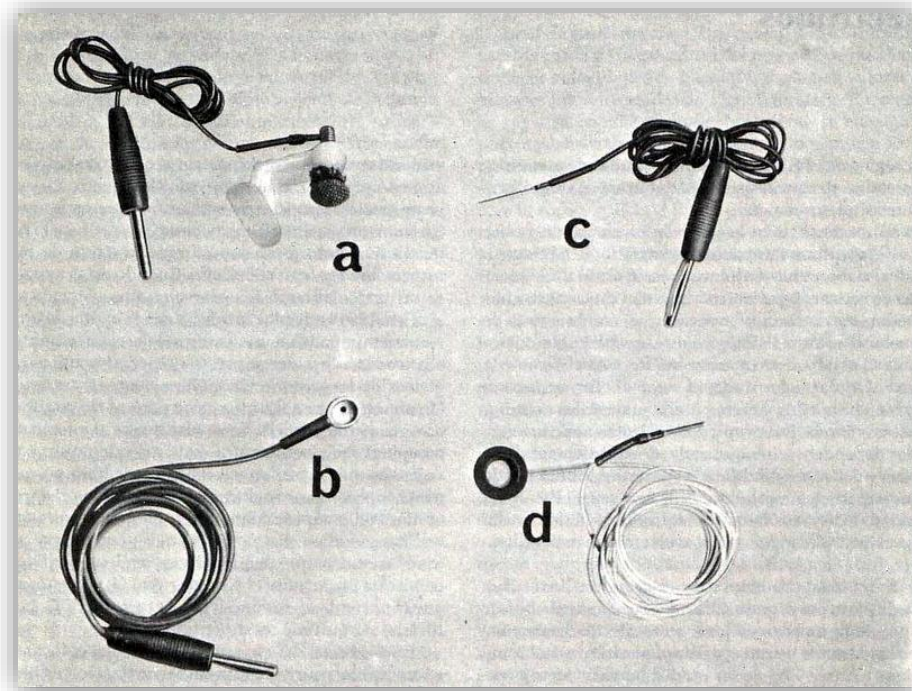


Figura 10: Electrodo: a) electrodo de almohadilla; b) electrodo de disco; c) electrodo de aguja; d) electrodo biopotencial cutáneo [11]

Disposición de los electrodos

El montaje de los electrodos sobre los puntos de registro en la superficie de la cabeza se lleva a cabo según una distribución sistemática. Esta puede variar de un laboratorio a otro, pero en el ámbito de un mismo laboratorio debiera permanecer constante. Con fines comparativos es preferible trabajar con un sistema de disposición de electrodos internacional y unitario. En los últimos años se ha comprobado que en la mayoría de los laboratorios de EEG se emplean la disposición de electrodos aconsejada por la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica. Este sistema de registro se conoce como sistema 10-20 (ten-twenty System).

Se parte de cuatro puntos determinados en la cabeza, del nasión (el punto ubicado en la base de la nariz sobre la sutura frontonasal), del inión (punto situado en la parte posterior de la cabeza que se corresponde con la protuberancia occipital) así como de los dos puntos preauriculares correspondiéndose cada uno de ellos con el comienzo del hueso cigomático

delante del trago. Para determinar la posición de los electrodos se considera como 100% al valor de la distancia que separa al nasión del iniñon medida sobre el vertex en la línea media.

La posición de los electrodos se identifica con letras y números, sobre el hemisferio derechos con pares y sobre el hemisferio izquierdo con impares. Las letras identifican cada región de la cabeza; frontopolar (Fp), frontal (F), temporal (T), central (C), parietal (P), occipital (O), con lo cual se dice únicamente que se registra sobre esas regiones de la cabeza. Esto no significa, sin embargo, que la información deba proceder de las regiones cerebrales ubicadas bajo ese punto. A cada uno de los electrodos ubicados sobre la línea media se le asigna la letra zeta minúscula (z de zero) (Fz, Cz, Pz). Los electrodos del lóbulo de la oreja para el registro con una referencia común se designan con A1 y A2 (A=auricular). Las posiciones de los electrodos determinadas por este sistema no tienen necesariamente que ser utilizadas en su totalidad. En cada caso su número puede ser libremente elegido. [11]

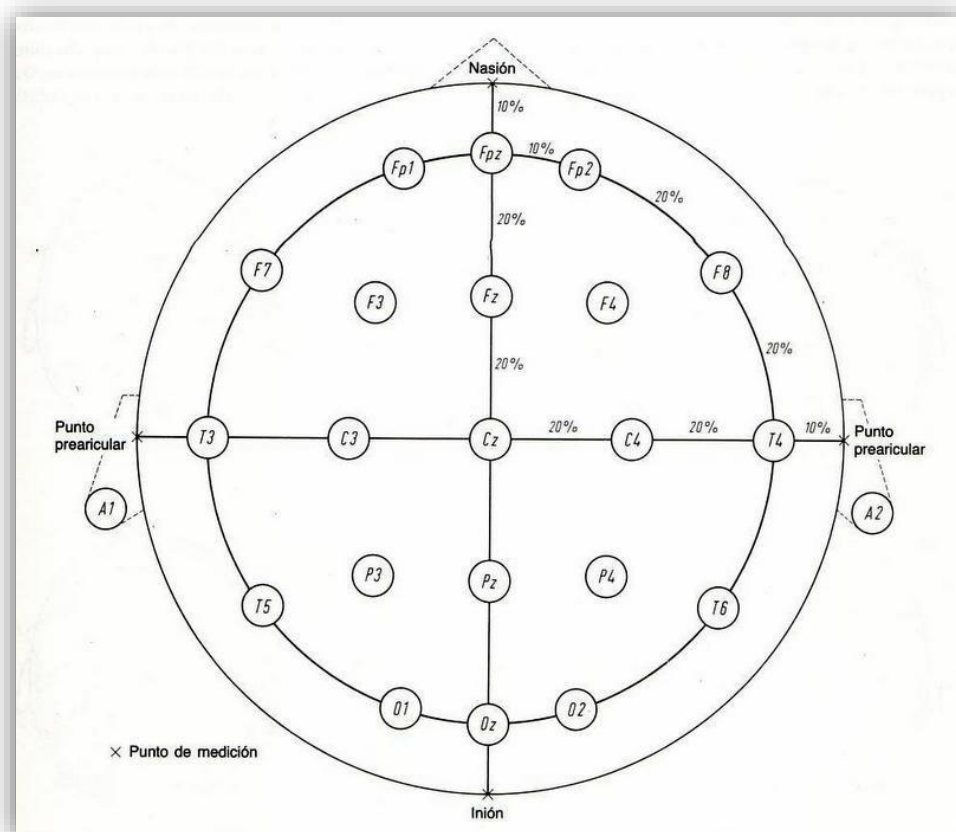


Figura 11: Orden de los electrodos según el sistema 10-20 [11]

1.4. Electroencefalógrafo portátil Emotiv EPOC

En el presente proyecto la adquisición de la señal EEG se realiza mediante el EPOC headset, realizado por la empresa californiana Emotiv Systems. [21] Se trata de un dispositivo portátil que se forma a partir de 16 sensores posicionados específicamente en ciertas áreas del cuero cabelludo, 14 para obtener la señal y 2 de referencia, los cuales envían los datos inalámbricamente a un receptor USB.



Figura 12: Emotiv EPOC headset

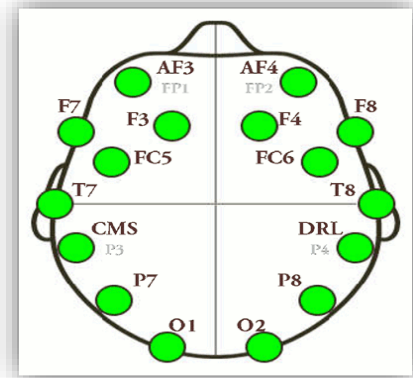


Figura 13: Sensores Emotiv

En este caso, como vemos en la figura 2, las referencias toman el nombre de CMS y DRL a cada lado, los cuales deben ser ubicados detrás de la oreja, cercanos a los mastoides, o encima de ella, siendo estos puntos muy importantes para el correcto funcionamiento del dispositivo, ya que si no son ubicados correctamente o si no entregan un potencial cero, no se obtendrá una correcta lectura sobre la señal y el resto de los sensores no reportará señal alguna. [22]

En el Anexo I del presente documento se podrá ver una información más detallada acerca de la colocación e instalación del dispositivo.

1.4.1. Hardware Emotiv EPOC

El “Emotiv Epoc headset” es un dispositivo para la adquisición y procesamiento de manera inalámbrica de señales neuronales. Utiliza un conjunto de sensores para sintonizar las señales eléctricas producidas por el cerebro para detectar pensamientos, sentimientos y expresiones faciales. Las especificaciones del dispositivo están en la tabla 1

EMOTIV EPOC	
Número de canales	14 (más las referencias CMS/DRL)
Nombre de los canales (Localización 10/20 Internacional)	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, 01, 02, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
Metodo de muestreo	Sequential sampling. Single ADC
Frecuencia de muestro	128 SPS (2018 Hz internal)
Resolución	14 bits 1 LSB= 0.51uV (16 bit ADC, 2 bits instrumental noise floor discarded)
Ancho de banda	0.2-45Hz, Filtro digital notch de 50Hz y 60Hz
Filtrado	Built in digital 5th order Sinc filter
Rango dinámico (entrada de referencia)	8400µV (pp)
Modo de acoplamiento	AC couple
Conectividad	Wireless, 2.4GHz band
Potencia	LiPoly
Duración de la batería	12 horas
Impedancia de medición	En tiempo real de la calidad del contacto con el sistema

Tabla 1: Especificaciones Emotiv EPOC [\[23\]](#)

- Electrodo:

Los tipos de electrodos utilizados son superficiales distinguiéndose ya que son adheridos, es decir, que se conforman de pequeños discos metálicos que se fijan con una pasta conductora entregando con esto una resistencia de contacto a la señal muy baja.

Estos electrodos se encuentran sujetos a una especie de brazos de plástico que garantizan su correcta ubicación ya que son correctivos de ciertos puntos dentro del cuero cabelludo. Su posición se basa en el sistema internacional 10-20 explicado anteriormente. [11] Cada uno de los electrodos está también dotado de una almohadilla que es humedecida en una solución salina la cual favorece la conducción de la actividad eléctrica.

Uno de los principales problemas de estos electrodos es la oxidación de las pequeñas chapas de metal que contactan con las almohadillas ya que dicha oxidación produce una pérdida de prestaciones importante. Para evitarlo es recomendable limpiarlos con agua destilada después de cada uso.



Figura 14: Almohadillas



Figura 15: Chapas de metal

- Acondicionamiento y filtrado de la señal

Esta parte 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 5° orden, conseguimos eliminar el ruido a 50Hz y 60Hz. El acondicionamiento de señal permite una resolución de 0,51uV, con un ancho de banda de 16 bits (14 efectivos) (Tabla 1). En cuanto a la frecuencia de muestreo 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. La parte física puede verse en las siguientes figuras.

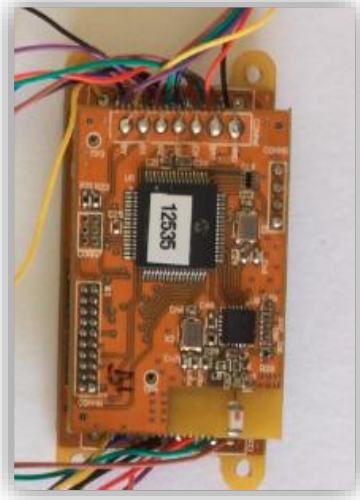


Figura 16: Placa 1 [\[24\]](#)



Figura 17: Placa 2 [\[24\]](#)

- Alimentación

La alimentación del dispositivo viene determinada por una batería Lipo (Polímero de Litio) con una capacidad de 800mA y un voltaje de 3,7v. La carga de dicha batería, la cual puede llegar a durar hasta 12 horas, se realiza mediante un conector mini-USB. La placa dispone de un led rojo, que significa que se está cargando, y un led verde que significa que la carga se ha completado.

- Comunicación

Este sistema se comunica mediante Bluetooth lo cual convierte al Emotiv EPOC en un dispositivo versátil sin necesidad de estar conectando ningún cable. La comunicación viene encriptada, de modo que no es posible ver qué se está transfiriendo.



Figura 18: Placa 3 [24]



Figura 19: Receptor USB

1.4.2. *Software Emotiv EPOC*

El software a emplearse es el que viene equipado con el dispositivo, que en este caso es el SDK Research Edition, que viene incluido con una licencia para tres únicos usuarios. Éste está destinado a la investigación, de ahí su nombre “Research Edition”, por lo que hace que la licencia sea personal e intransferible. Este software también incluye las librerías necesarias que permiten comunicarse con el hardware explicado anteriormente

A continuación se analizarán los componentes del kit de Emotiv:

- Programa Control Panel

Dentro de las aplicaciones desarrolladas por la compañía Emotiv se encuentra el Control Panel, que permite el acceso a distintas funciones obtenidas a partir del casco Emotiv EPOC.

En dicho panel se puede observar en la parte superior el estado del sistema, el tiempo que el EPOC se encuentra conectado, la intensidad de la señal inalámbrica y el nivel de la batería. Estos datos son muy importantes tenerlos presentes ya que de esto parten todas las demás aplicaciones. También se puede elegir o crear un usuario.

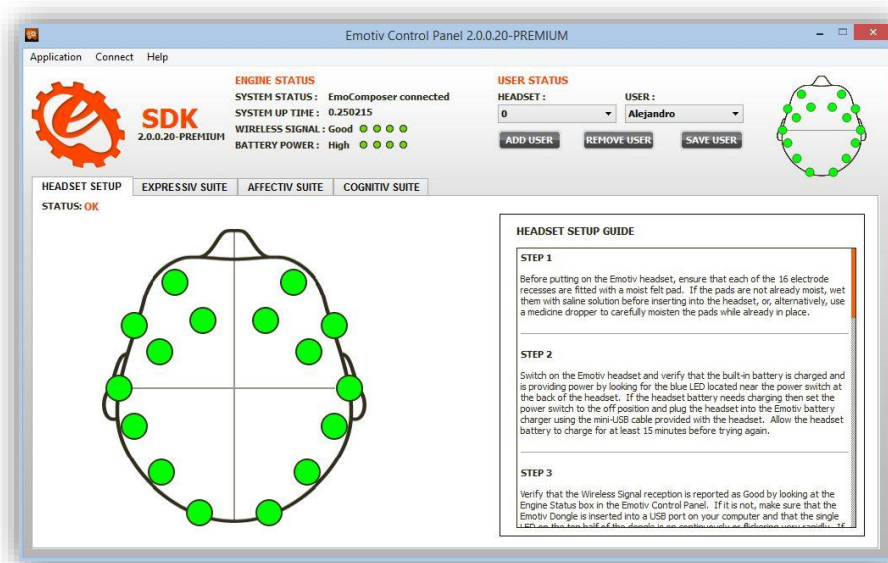


Figura 20: Control Panel

Además se puede visualizar el estado de los electrodos. Dependiendo del color en el que estén se puede saber qué electrodos deben corregirse. A continuación se muestra el significado de los colores:

Color	Estado
Negro	Sin señal
Naranja	Señal muy pobre
Naranja	Señal pobre
Amarillo	Señal aceptable
Verde	Señal buena

Tabla 2: Significado colores según conductancia

Se recomienda que no se utilice el dispositivo para adquirir las señales hasta que se visualicen en amarillo/verde todos los electrodos. Se puede observar también cuatro pestañas las cuales se explicarán brevemente:

- ✓ Headset Setup: Referida anteriormente. Sirve para comprobar el estado de los sensores.

- ✓ Expressiv Suite: Esta aplicación usa la señales electroencefalográficas para determinar los gestos faciales que el usuario realiza.



Figura 21: Expressiv Suite

Dentro de los gestos que pueden ser determinados tenemos pestañear, guiñar el ojo, sonreír, mirar hacia los lados, etc. Cada uno serán representados por el robot y se generará una serie de gráficas con los niveles.

Se pueden ver dos pestañas: Sensitivity y training, cada una de estas tiene sus funciones. El modo de sensibilidad posee deslizadores que permiten configurar la detección de la expresión facial mientras que el entrenamiento permite al usuario entrenar estos datos y mejorar su detección.

- ✓ Affectiv Suite: Esta pestaña corresponde al modo afectivo donde se detectan los cambios emocionales que se generan sobre el usuario. Estos no requieren entrenamiento ya que se generan directamente por las características inherentes de las señales cerebrales, sin embargo, cada una de estas características se guarda individualmente al generar el nuevo usuario antes mencionado.
- ✓ Cognitiv Suite: La última pestaña está referida a la detección y entrenamiento del modo cognitivo. Evalúa la actividad de las señales cerebrales del usuario producidas por el intento de realizar el movimiento de un objeto real o virtual.

Se ha diseñado para realizar 13 tipos de movimientos: 6 movimientos en la dirección, 6 de rotación y el desaparecer del objeto.

Mientras más se incrementa la cantidad de movimientos a realizar, la dificultad aumenta. Evidentemente se necesita de un adecuado tiempo de entrenamiento para poder tener un control del objeto y más aún si se está haciendo uso de varios movimientos a la vez.

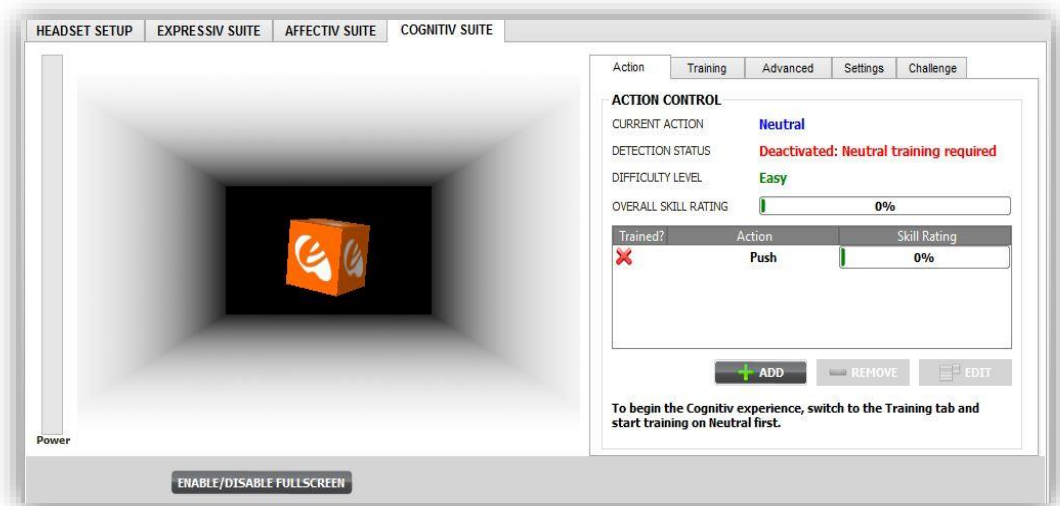


Figura 22: Cognitiv Suite

El panel usa un cubo virtual sobre el cual se representan los movimientos que fueron mencionados. Sobre este control se tienen submenús referidos a Action, Training, Advanced, Setting y Challenge.

- Programa EmoComposer

Este programa emula el comportamiento de la EmoEngine (dispositivo). Está destinado a ser utilizado como una herramienta de desarrollo y pruebas. Esto hace que sea fácil de enviar eventos simulados y solicitar respuestas a las aplicaciones que utilizan la librería de Emotiv. El manejo del programa es sencillo, ya que el usuario solo debe ajustar los valores que desea enviar al Control Panel.

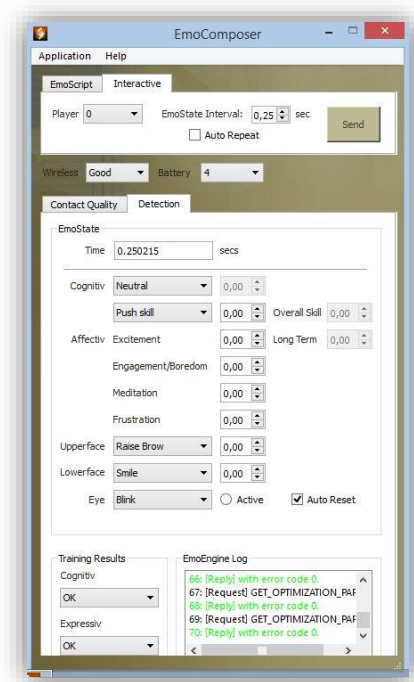


Figura 23: EmoComposer

- Programa EmoKey

Emokey traduce todos los resultados de la detección de Emotiv para ponerlo sobre ciertas teclas predefinidas para el teclado, creando unas reglas lógicas definidas por el usuario creando una interfaz entre el usuario y Emokey. Luego, este conjunto de pulsaciones de teclas conocidas como “Mapping Emokey” pueden ser guardadas para una próxima reutilización.

- Programa Testbench

TestBench permite apreciar las señales de los electrodos del Epoc.

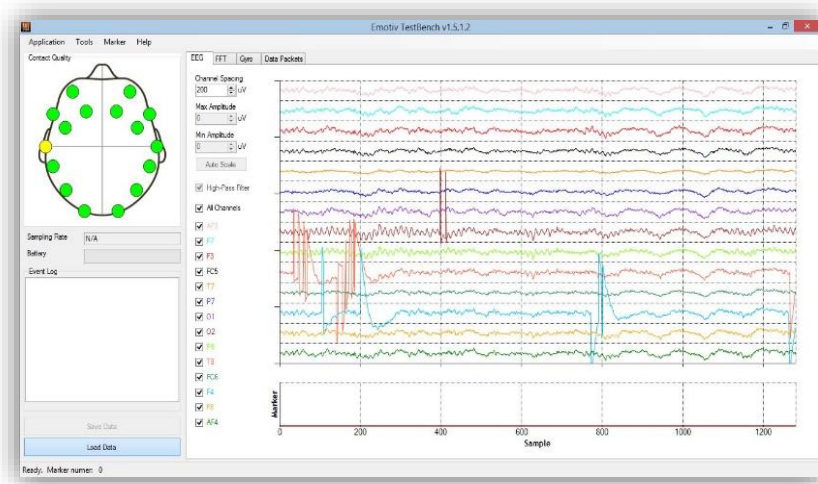


Figura 24: Testbench

Para grabar la señal primero se selecciona “Save Data” y aparece una ventana en la cual al pulsar “Select” se selecciona una carpeta y se nombra al archivo. También se tiene la opción de grabar las señales y procesarlas en otro programa como Matlab. El archivo que se graba es de extensión .edf y para abrirlo en Matlab se debe pasar el archivo a formato .csv.

Este programa posee 4 pestañas: EEG, FFT, Gyro, Data Packets.

La segunda pestaña muestra la FFT de la señal y también existe la posibilidad de realizar el filtrado, además podemos visualizar la potencia de Delta, Theta, Alpha y Beta.

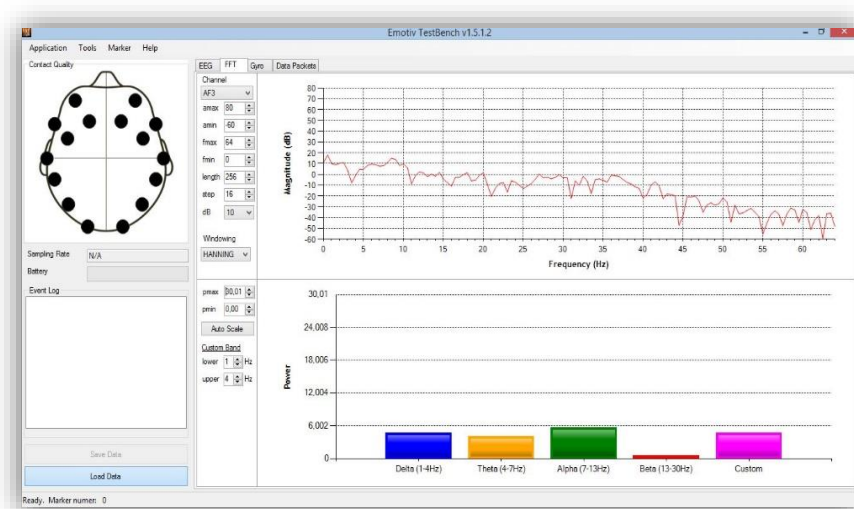


Figura 25: FFT

La pestaña “Gyro” contiene las gráficas correspondientes al giróscopo que contiene el EPOC headset, el cual está compuesto por dos acelerómetros que facilitan la información sobre los movimientos que el usuario realice con su cabeza, representando su aceleración rotacional en el tiempo.

Finalmente, la pestaña “Data Packets” muestra el contador de paquetes de datos y el indicador de paquetes perdidos.

Capítulo 2

Diseños para la adquisición y procesamiento digital de la señal EEG

2.1. Diseño en LabVIEW

Para la adquisición de las señales en tiempo real se ha elaborado un programa en LabVIEW Instrument que pretende imitar las funciones que presenta el propio *Testbench* del software Emotiv EPOC. Para ello, el programa elaborado cuenta con varias funciones de visualización, las cuales se explicarán más adelante con mayor detalle.

La herramienta gráfica *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)*, es ideal para la simulación de sistemas de medida y control principalmente para instrumentos electrónicos programables, ya que integra una gran variedad de herramientas útiles para ingenieros y científicos en la elaboración de diversas aplicaciones. Para la programación, cuenta con dos ventanas de trabajo: panel frontal y diagrama de bloques; como se muestra en la siguiente figura.

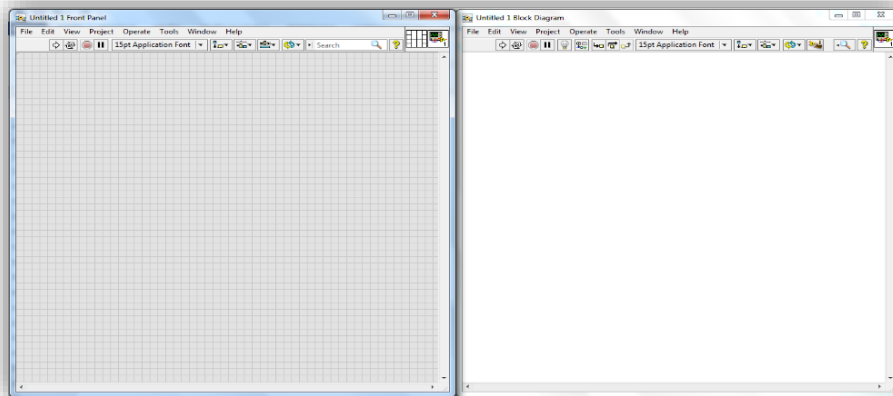


Figura 26: Panel frontal y diagrama de bloques en LabVIEW

LabVIEW posee un *toolkit* específico para la comunicación con el dispositivo Emotiv EPOC. Es por ello que será necesario descargar este paquete de datos para hacer uso de las herramientas que se implementan en el mismo. Además, para la descarga ha sido necesario instalar un programa llamado VI package manager.

Este programa hace posible descargar las diferentes librerías y paquetes de datos disponibles para el uso en LabVIEW de diferentes herramientas específicas para dispositivos y aplicaciones varias. En este caso, se descargará el paquete de datos *Emotiv Toolkit*.

Una vez finalizada la descarga y posterior instalación, se cargarán las funciones y herramientas correspondientes de manera automática en la paleta de controles de LabVIEW.

2.1.1. Librería Emotiv Toolkit para LABVIEW

Para empezar a utilizar la librería, es necesario tener en cuenta los siguientes vi para conseguir una correcta interfaz entre el dispositivo EPOC y LabVIEW

1. EmotivCreate Task.vi: en este vi se debe ubicar la dirección del archivo edk.dll y colocar el path del subvi.
2. EmotivStart Task.vi: se utiliza para iniciar la interfaz.
3. Estructura while: aquí se programa lo que se desea realizar.
4. Emotiv Read.vi: se utiliza dentro del bucle while en el caso de que se desee el comportamiento de las señales EEG ante acciones cognitivas o expresivas.
5. EEG Data.vi: se encarga de adquirir las señales EEG que provienen de cada electrodo.
6. Set Marker.vi: se encarga de enviar marcadores durante la adquisición de las señales EEG.
7. Emotiv Stop Task.vi: se utiliza fuera del bucle while para establecer la interfaz de comunicación.
8. Error out: se utiliza para visualizar un error en caso de que se interrumpa la conexión entre LabVIEW y el dispositivo.

A continuación, se muestra como ejemplo el esquema gráfico utilizado en la práctica de laboratorio número 1 correspondiente al Anexo 2 del presente documento, en el cual pueden apreciarse los diferentes vi explicados anteriormente.

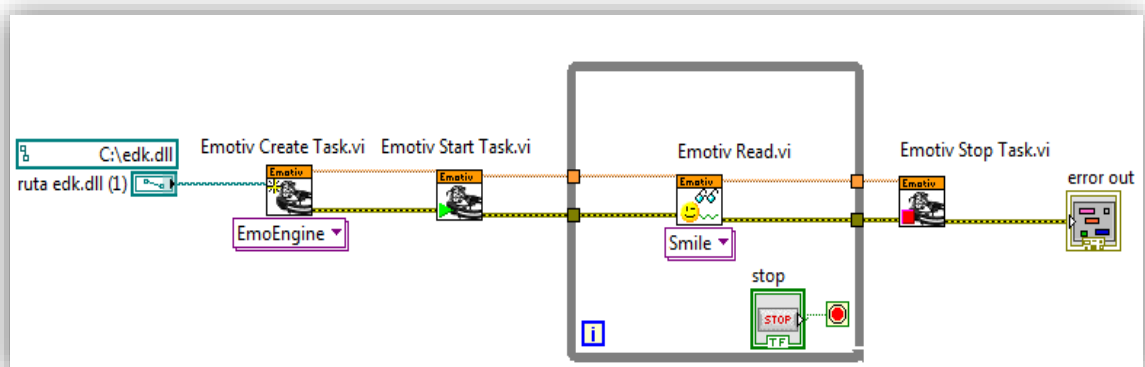


Figura 27: Ejemplo de utilización de los VI de la librería Emotiv Toolkit

2.1.2. Descripción del programa

El programa que se ha desarrollado para la adquisición y estudio de las señales EEG puede dividirse en cuatro partes distintas correspondientes cada una de ellas a una aplicación que desempeña una función determinada:

- EEG
- FFT (Fast Fourier Transform)
- GYRO
- GUARDAR EN CSV

Antes de ejecutar el programa, deberá seleccionarse en LabVIEW, concretamente en el lugar habilitado para ello, el path o ruta de acceso del archivo *edk.dll* correspondiente al dispositivo EPOC que se esté usando.

Este archivo puede encontrarse en la carpeta de instalación del Software que incorpora el propio equipo Emotiv EPOC. La ruta en la que debería encontrarse el archivo *edk.dll* es la siguiente:

- Archivos de programa \ Emotiv Research Edition SDK \ dll \ 64 bit

El diagrama de bloques correspondiente a cada una de las cuatro partes, se llevará a cabo en el interior de un mismo bucle *While Loop* común.

EEG

En esta parte del programa tendrá lugar la visualización de las diferentes señales EEG que proporciona cada uno de los 14 electrodos encargados de captar cada señal correspondiente del dispositivo de acuerdo con el sistema 10-20, omitiendo lo que se visualizaría en los 2 electrodos de referencia o masa. Asimismo, cada electrodo se corresponderá con un canal distinto.

Cada señal puede habilitarse o deshabilitarse para la visualización por separado de aquellas únicas que se deseen estudiar simplemente seleccionando cada señal en cuestión con el botón derecho del mouse y marcando la opción *Plot Visible* según convenga.

De este modo, el panel frontal de la parte del programa en LabVIEW dedicado a la adquisición y visualización de las catorce señales EEG se mostrará de forma similar a la figura 28.

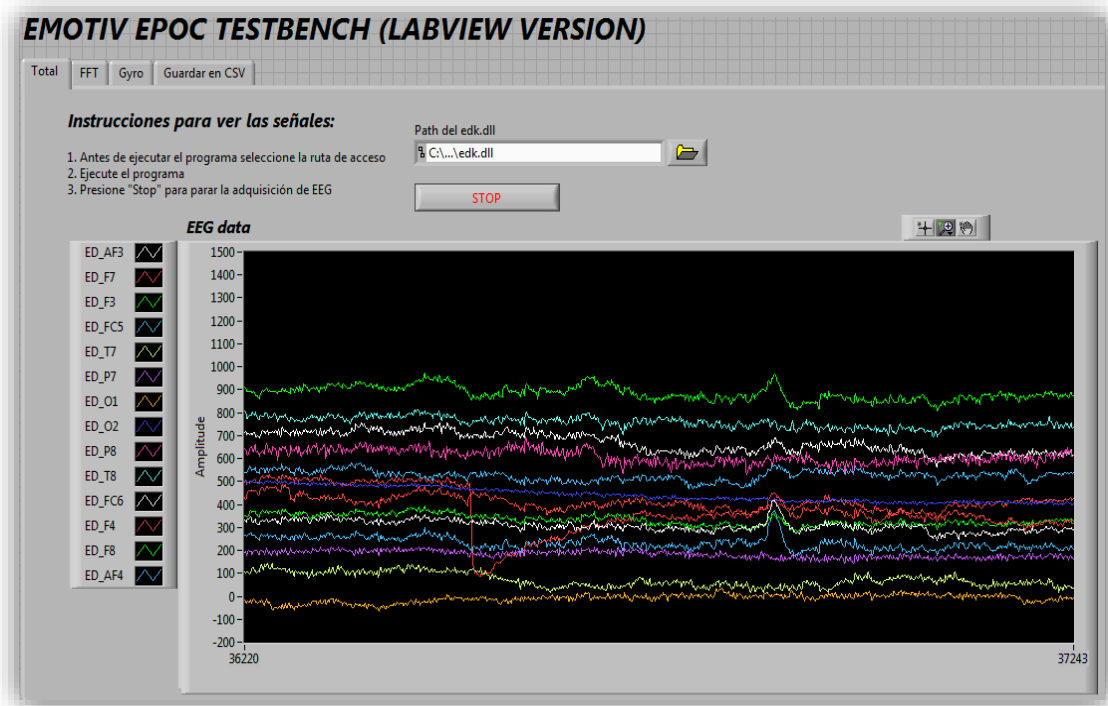


Figura 28: Panel frontal de la aplicación EEG

El diagrama de bloques correspondiente se compone de diferentes funciones comunes de LabVIEW, además de las correspondientes a la librería del Emotiv Toolkit. Con todo ello, tomará la siguiente forma:

Se han colocado indicadores numéricos en forma de tanque de llenado que indican el valor máximo que alcanza la magnitud del espectro de la señal EEG de cada electrodo en el tiempo.

De esta manera, el panel frontal de la aplicación destinada a la adquisición de las señales en el dominio de frecuencias para el estudio de los diferentes ritmos de potenciales del cerebro se presentará de forma similar a como se muestra en la figura 30.

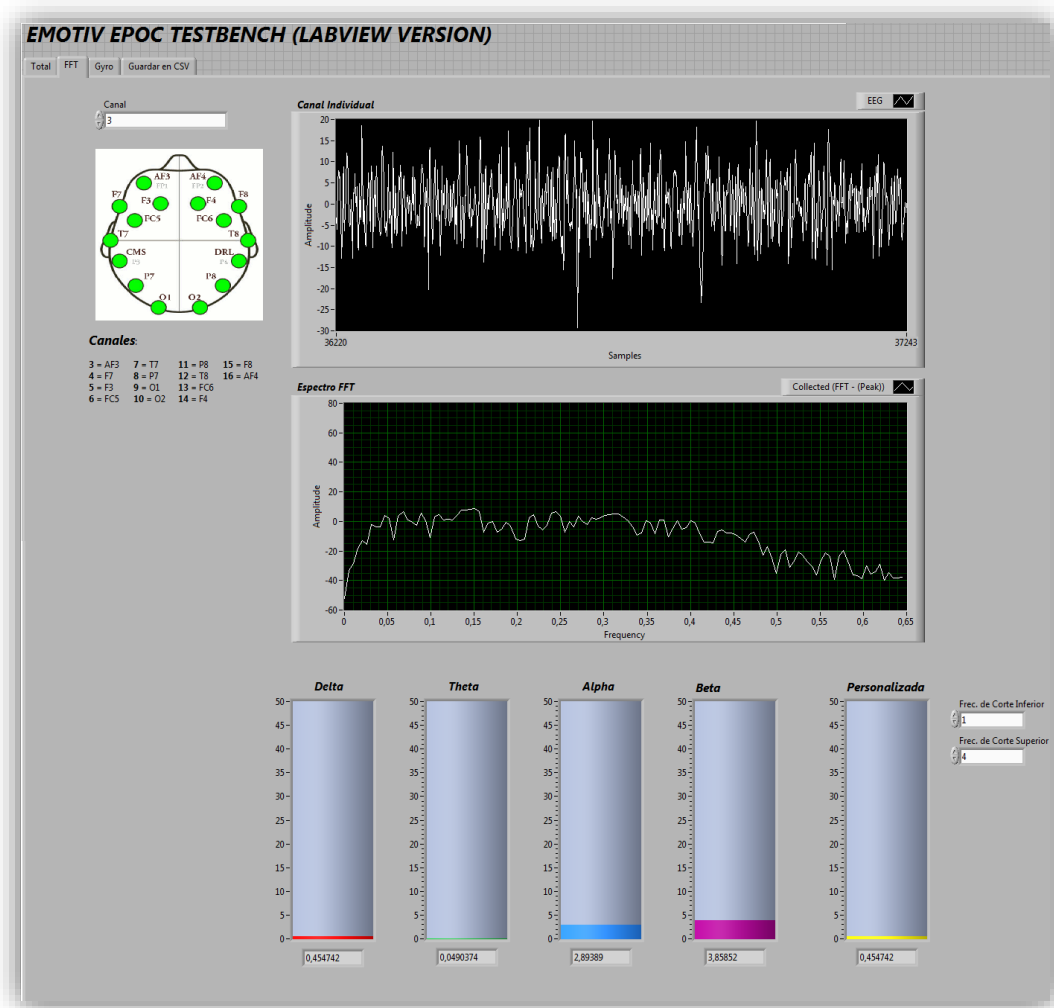


Figura 30: Panel frontal FFT

El diagrama de bloques de la aplicación FFT se añadirá al bucle while común con la aplicación EEG explicada anteriormente con el fin de que puedan reciclarse algunas funciones de LabVIEW comunes a ambas.

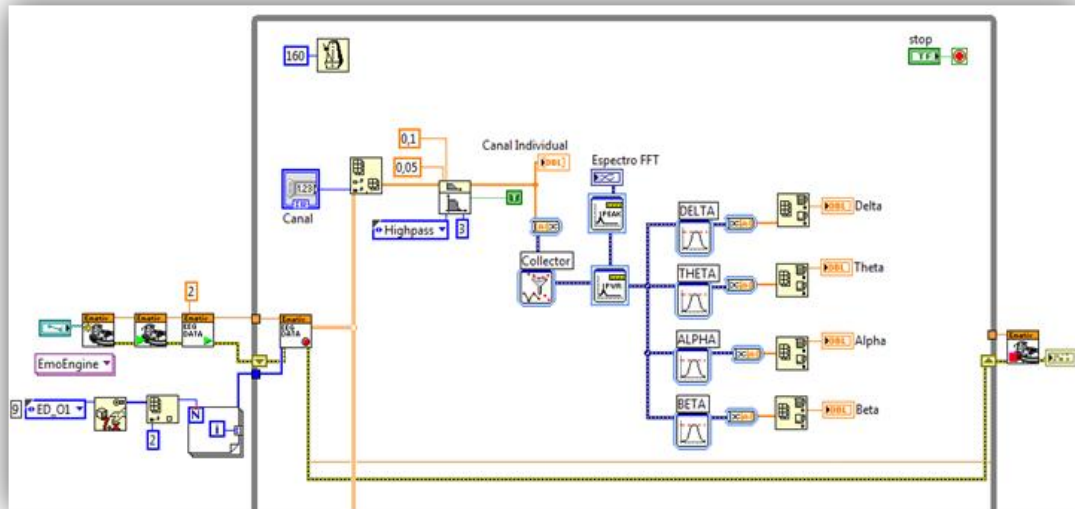


Figura 31: Diagrama de bloques de la aplicación FFT

GYRO

En este módulo se consigue la visualización gráfica de la aceleración rotacional de la cabeza del sujeto sobre el eje horizontal y el eje vertical por separado. Para que esto sea posible, se ha implementado una función *index array* para cada eje.

En el caso del eje horizontal, el índice del *index array* corresponde al número 17 del array de dos dimensiones que proporciona el EEG Data.vi; en el caso del eje vertical, el índice se corresponde con el número 18. Además de ello, se han usado filtros de tipo Pasa Alta para filtrar las frecuencias menores a 0,1 Hz.

Cuando el sujeto realice movimientos de negación con la cabeza, éstos se realizarán sobre el eje X, por lo que se visualizará una señal de amplitudes mayores en la gráfica correspondiente a la aceleración rotacional sobre el eje horizontal. De igual manera ocurrirá cuando el sujeto realice movimientos de asentimiento, los cuales quedarán reflejados con señales de mayores amplitudes en la gráfica correspondiente a la aceleración rotacional sobre el eje vertical.

El panel frontal para la visualización de las correspondientes formas de onda tendrá el siguiente aspecto:

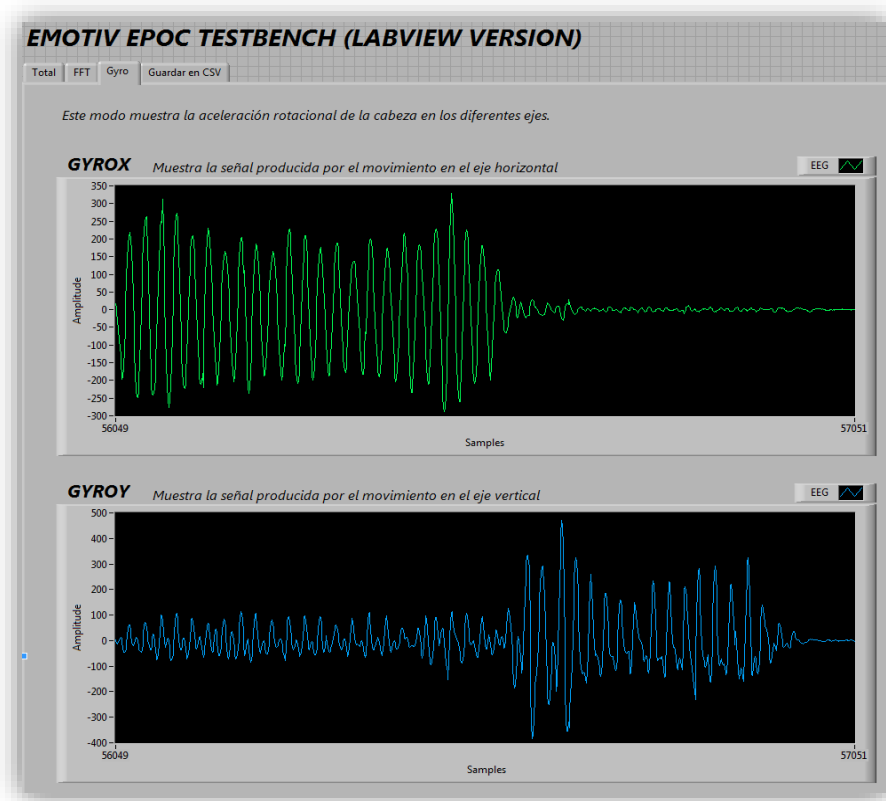


Figura 32: Panel frontal de la aplicación GYRO

De esta manera, el diagrama de bloques que se implementará en el interior del bucle while común resulta ser de la siguiente manera:

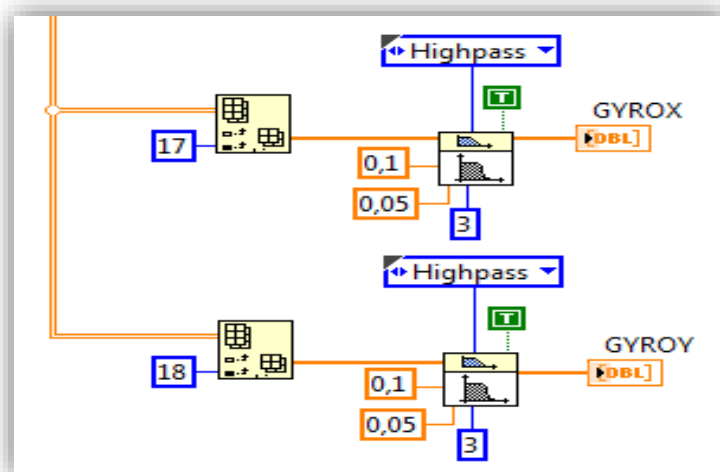


Figura 33: Diagrama de bloques de la aplicación GYRO

GUARDAR EN CSV

El diagrama de bloques de este apartado ha sido facilitado por la empresa canadiense MusaeLab©, dedicada a la investigación en el campo de la ingeniería biomédica y telecomunicaciones, específicamente en el procesamiento de señales para comunicaciones multimedia, diagnósticos de salud y la interacción hombre-máquina. Es por ello que, debido a la complejidad del diagrama, se explicará su función principal y algunos detalles sobre los elementos que de los que se compone.

Este apartado del programa se encarga de aportar las herramientas necesarias para guardar los datos de las señales EEG adquiridas durante un tiempo determinado en un archivo de formato *.CSV externo a LabVIEW, de manera que estas señales puedan ser estudiadas en otros programas de procesamiento comerciales, como por ejemplo en Matlab. Además, permite enviar marcas durante la adquisición de las señales EEG que quedarán reflejadas en el archivo de guardado, lo cual resulta útil para facilitar el estudio de las señales en puntos determinados deseados de las mismas.

Para poder guardar los datos será por tanto necesario en primer lugar la creación de un archivo con extensión *.CSV. Para ello, basta con crear un archivo de hoja de cálculo, como puede ser por ejemplo en Microsoft Excel, y guardarlo con el formato deseado en este caso.

Una vez creado el archivo, el siguiente paso consiste en indicar su ruta de acceso en el lugar del programa en LabVIEW habilitado para tal fin. Para ello, debe seleccionarse con el mouse el icono en forma de carpeta en el programa y elegir la ubicación del archivo CSV.

El panel frontal dedicado al guardado de los datos EEG en formato CSV tendrá el aspecto de la figura 34:

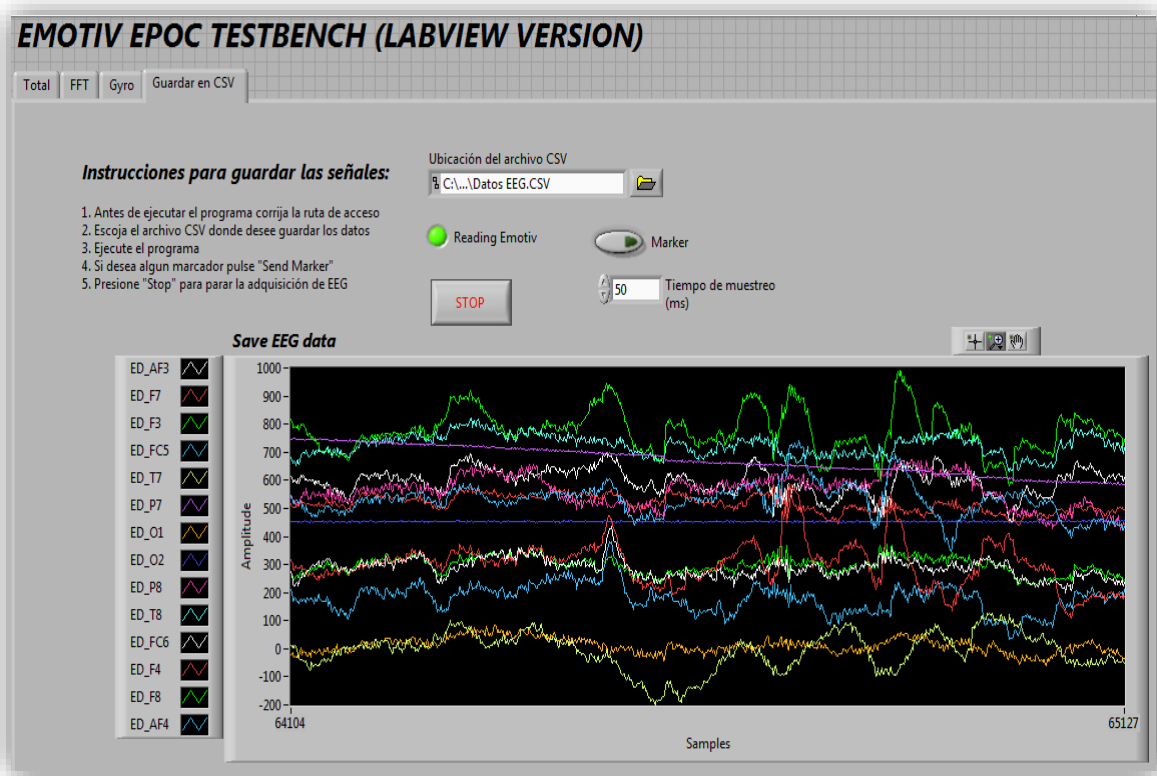


Figura 34: Panel frontal de la función Guardar en CSV

El diagrama de bloques correspondiente al guardado de datos EEG en formato CSV es el que se presenta a continuación, en la figura 35:

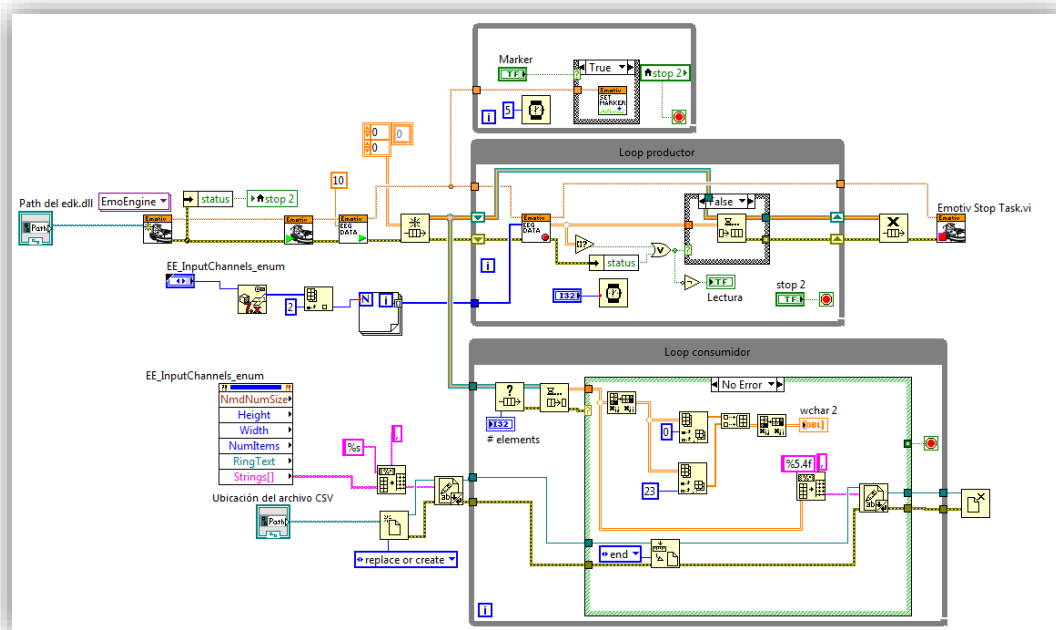


Figura 35: Diagrama de bloques de Guardar en CSV

El esquema del diagrama de bloques completo para la adquisición de señales EEG en LabVIEW se encuentra en el Anexo III de la presente memoria.

Además, se adjunta en el Anexo IV una explicación más detallada de los bloques funcionales de LabVIEW que intervienen en la creación del diagrama de bloques del programa elaborado.

2.2. Diseño en EEGLAB

Esta se trata de una aplicación desarrollada para el programa Matlab destinada al estudio de las señales EEG en instantes determinados de tiempo y valores de frecuencia de las mismas deseados.

Matlab es un lenguaje de alto nivel y el entorno interactivo utilizado por millones de ingenieros y científicos en todo el mundo. Permite explorar y visualizar ideas, así como colaborar interdisciplinariamente en el procesamiento de señales e imagen, comunicaciones, sistemas de control y finanzas computacionales. [25]

Para estudiar las señales EEG se utilizará una herramienta interactiva llamada EEGLAB. Esta herramienta está diseñada para el procesamiento de EEG, MEG y otros datos electrofisiológicos que incorporen el ICA (Independent Component Analysis). Fue desarrollada en MATLAB 5.3 bajo Linux. Actualmente se puede ejecutar en MATLAB v5 y versiones superiores bajo Linux, Unix, Windows y Mac OS X. Puede ser descargado de manera gratuita en su página oficial. [26]

La pantalla principal de Matlab cuenta con la ventana *CommandWindow* en la cual se ingresan los diferentes códigos de programación, el *Workspace* es donde se listan las variables utilizadas y el *CommandHistory* donde se tiene acceso rápido a los comandos utilizados.

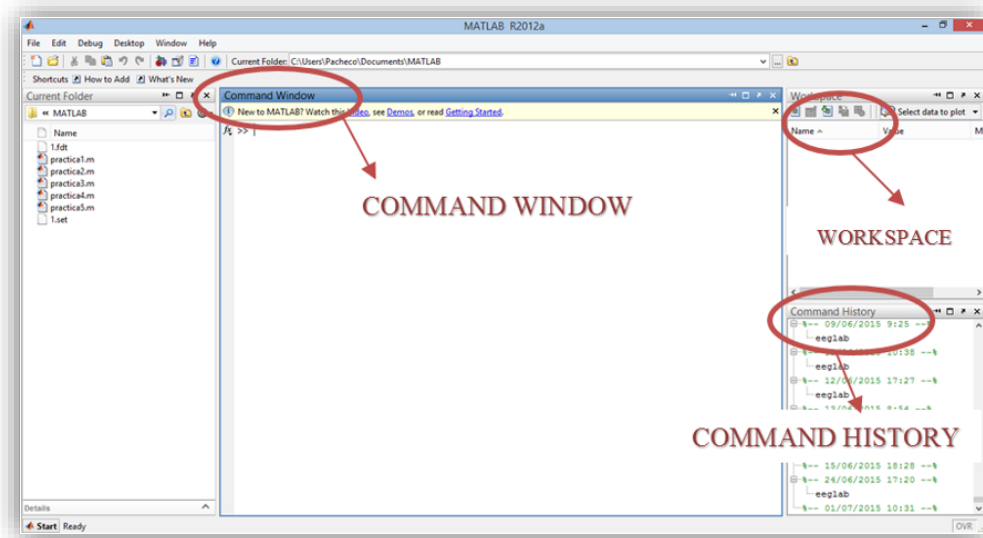


Figura 36: Ventana principal Matlab

Para empezar a trabajar con EEGLAB solo se necesita ejecutar el comando *eeglab* en la ventana *CommandWindow*.

Esta aplicación no permite adquirir la señal EEG a tiempo real, es decir, primero es necesario guardar la señal en formato *.edf* (en el Testbench) para procesarla en EEGLAB y estudiar lo que el usuario desee.

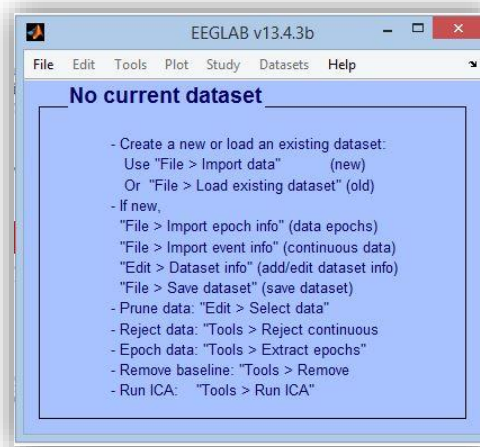


Figura 37: Ventana principal EEGLAB

Para leer la señal se tendrán que seguir los siguientes pasos:

- Como se trata de una señal capturada con un Emotiv Epoc se insertará mediante: *File-> Import data -> Using EEGLAB functions and plugins -> From EDF/EDF+/GDF files (BIOSIG toolbox)*
- Seguidamente saldrá una ventana donde debemos poner los canales que deseamos ver (Channel list). En principio se pondrán desde el 3 hasta el 16 (los 14 electrodos que posee el Emotiv Epoc). Importante: Hay que poner todos los números desde el 3 hasta el 16, el formato 3-16 no es válido.

Además se deberán importar las posiciones de los electrodos. Para ello es necesario crear un archivo .ced donde estén las coordenadas de cada electrodo. Este archivo se puede crear en el bloc de notas y se deben añadir los datos aportados en la figura 38:

Number	labels	theta	radius	X	Y	Z	sph_theta	sph_phi	type
1	AF3	-23	0.411	0.885	0.376	0.276	23	16	1
2	F7	-54	0.511	0.587	0.809	-0.0349	54	-2	1
3	F3	-39	0.333	0.673	0.545	0.5	39	30	1
4	FC5	-69	0.394	0.339	0.883	0.326	69	19	1
5	T7	-90	0.511	6.12e-017	0.999	-0.0349	90	-2	1
6	P7	-126	0.511	-0.587	0.809	-0.0349	126	-2	1
7	O1	-162	0.511	-0.95	0.309	-0.0349	162	-2	1
8	O2	162	0.511	-0.95	-0.309	-0.0349	-162	-2	1
9	P8	126	0.511	-0.587	-0.809	-0.0349	-126	-2	1
10	T8	90	0.511	6.12e-017	0.999	-0.0349	-90	-2	1
11	FC6	69	0.394	0.339	-0.883	0.326	-69	19	1
12	F4	39	0.333	0.673	-0.545	0.5	-39	30	1
13	F8	54	0.511	0.587	-0.809	-0.0349	-54	-2	1

Figura 38: Coordenadas de los electrodos

Una vez creado el archivo con las localizaciones de los electrodos éste se debe importar en *Edit -> Channel Locations -> Read Locations*. Se seleccionará el archivo y se cargarán directamente las posiciones como se puede observar en la figura 39.

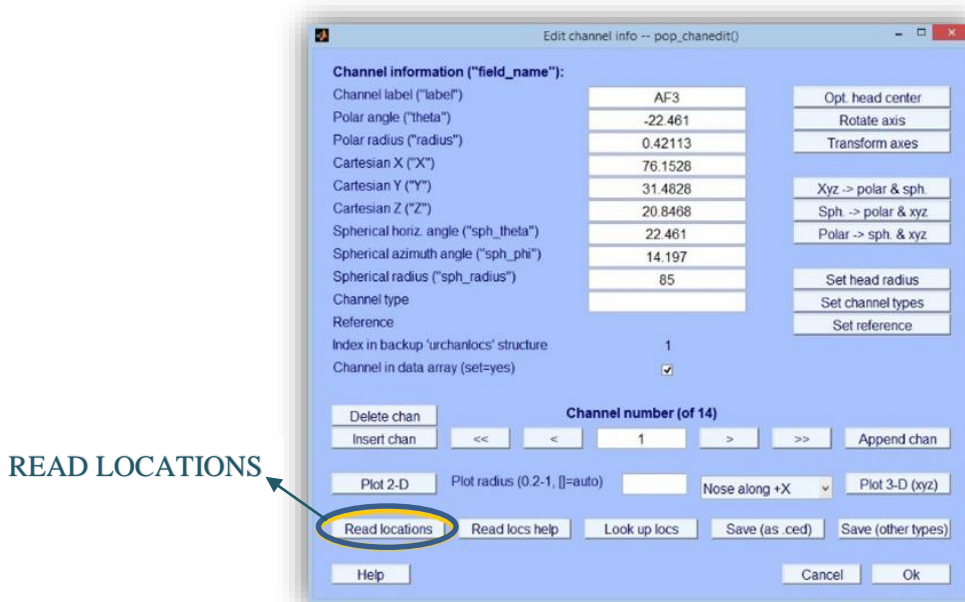


Figura 39: Channel Locations

Para comprobar que los electrodos se han importado correctamente estos se pueden visualizar de dos maneras: por nombre o por número. Para ello, es necesario dirigirse a: *Plot -> Channel Locations -> By Name/By Number*

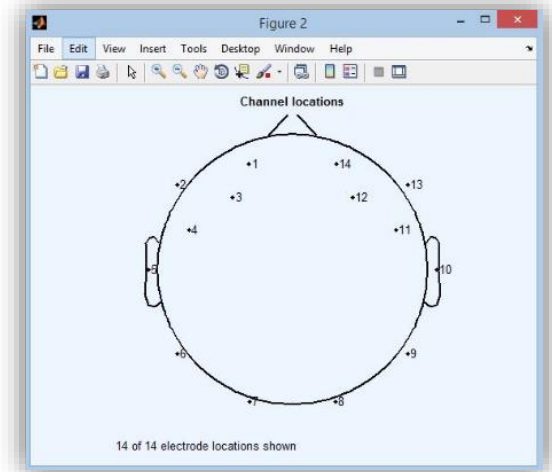


Figura 40: Posición de los electrodos

Una vez configurada la localización de los electrodos ya se puede visualizar y estudiar la señal EEG.

2.3. Diseño en OpenViBE

OpenViBE es una plataforma de software dedicada a diseñar, probar y estudiar interfaces cerebro-computadora. El paquete incluye una herramienta de diseño para crear y ejecutar aplicaciones personalizadas.

Se trata de un software que permite el procesamiento en tiempo real de las señales cerebrales. Puede utilizarse para adquirir, filtrar, procesar, clasificar y visualizar las señales del cerebro en tiempo real. Los principales campos de aplicación de este programa son médicos (asistencia a personas con discapacidad, biorretroalimentación en tiempo real, neurofeedback), multimedia (realidad virtual, videojuegos), robótica y otros campos de aplicación relacionado con interfaces cerebro-computadora. [27]

En la página oficial está el software para descargarlo directamente de forma gratuita. Dicho programa tiene dos aplicaciones que se van a utilizar en el presente proyecto:

- OpenViBE Acquisition Server

Este programa sirve para realizar la interfaz de la Emotiv EPOC con OpenViBE. La configuración es sencilla, lo primero que hay que configurar es la ruta de la librería del EPOC (.dll) y seguidamente establecer la tasa de muestreo a 128.

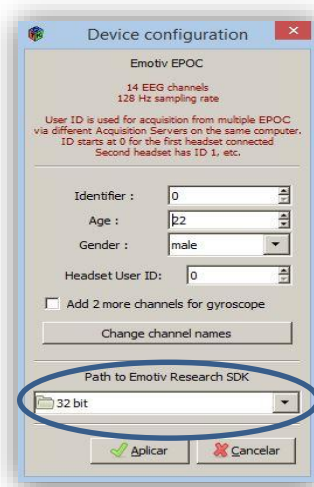


Figura 41: Driver Properties

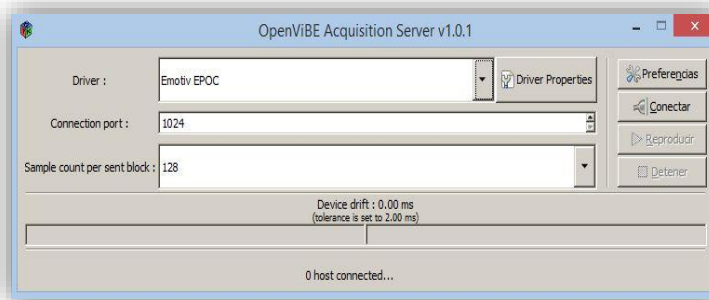


Figura 42: OpenViBE Acquisition Server

Poner aquí la ruta .dll

Una vez conectado solo se necesita activar el diseño presionando el botón *play* del OpenViBE-designer.

- OpenViBE Designer

En este programa es donde se realiza el diseño para obtener los resultados que el usuario desee. Se basa en una estructura simple de cajetines donde el usuario puede relacionar los diferentes bloques a su elección.

En el presente proyecto se ha utilizado este programa para visualizar los FFT de los ritmos alpha, beta, delta y theta, así como un mapeo en 2D y 3D de estos. Se programa la aplicación para que realice lo siguiente:

- ✓ Mostrar las señales de todos los electrodos
- ✓ Mostrar el espectro de cada ritmo
- ✓ Visualizar en 2D y 3D la situación real de los electrodos en la cabeza

A continuación, se muestra el diagrama de bloques creado (Figura 43)

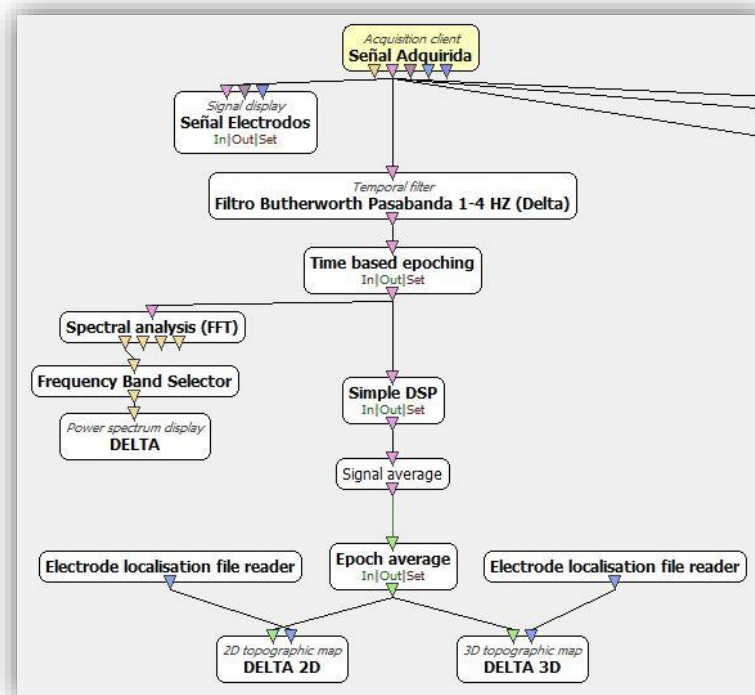


Figura 43: Parte del programa que representa Delta

El filtro creado (*Temporal filter*) es un Butterworth de orden 4 pasa banda con una frecuencia de corte distinta para cada ritmo (alpha, beta, delta y theta). La localización de los electrodos es la que viene en las librerías (Openvibe/share/electrode_sets)

Para la visualización del espectro se ha añadido un selector de bandas de frecuencia (*Frequency Band Selector*) para que el espectro solo muestre los valores entre el rango de frecuencia dado.

Los cuatros casos tienen la misma estructura. Solo se deberá cambiar el rango de frecuencia.

Este programa te permite guardar la señal en formato .EDF o .CSV utilizando los bloques llamados *EDF File writer* y *CSV File writer*. Para conseguir guardar la señal es necesario conectar la patilla de color rosa de cada bloque (*signal*) con su correspondiente pestaña en el bloque de adquisición de la señal.

El diagrama de bloques completo para la adquisición y estudio de las señales EEG con sus correspondientes potenciales mediante OpenViBE se encuentra en el Anexo VIII.

2.4. Diseño en Arduino

En una de las prácticas de laboratorio propuestas en el presente documento, se ha realizado una interfaz para conectar el Emotiv EPOC con un Arduino. Para poder llevar a cabo dicha acción, se necesita un procesador que recoja las señales del aparato y envíe los comandos a la placa. El procesador utilizado se llama “*Processing*” y es en él donde se realizará el código de programación. No obstante, este procesador no es capaz de recoger y procesar las señales del dispositivo EPOC, sino que para ello invoca una librería de un programa llamado Mind Your OSCs que realice dicho trabajo.

Este programa permite enviar datos desde el dispositivo EPOC como paquetes OSC (*Open Sound Control*) hacia otros programas. Se puede descargar de manera gratuita en la página oficial de Emotiv. Para activarlo solo es necesario conectarlo al Control Panel y a OSC. [28]

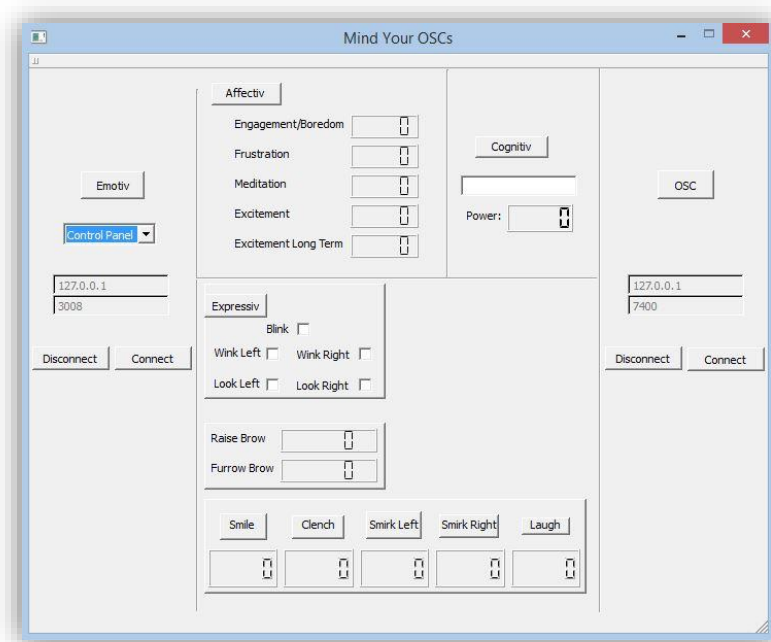


Figura 44: Mind Your OSCs

Processing se trata de un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. Es gratuito y se puede descargar en la página oficial. [29]

Finalmente, Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El microcontrolador se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en *Wiring*) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en *Processing*). [30]

Para conectar al Emotiv EPOC con Arduino se han elaborado dos programas sencillos en *Processing*. El caso 1 consiste en que un led debe encenderse mientras el sujeto este sonriendo. El caso 2 está programado para que una serie de leds muestren al usuario el nivel de meditación que posee en cada momento.

Los circuitos eléctricos necesarios para la correcta ejecución del trabajo se muestran en las Figuras 53 y 54. En el primer caso solo se ha de conectar el led directamente a la placa Arduino (si es de alta impedancia) mientras que en el segundo caso se le ha conectado una resistencia entre cada led y la placa con el fin de prevenir sobrecargas indeseadas.

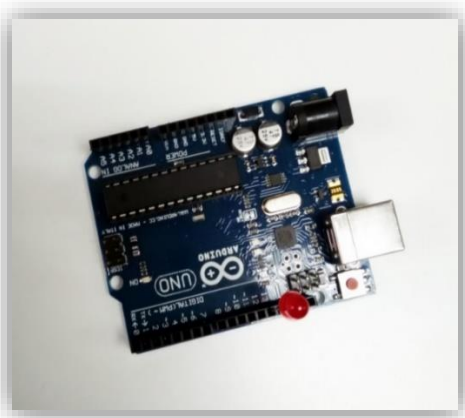


Figura 45: Circuito 1 Arduino

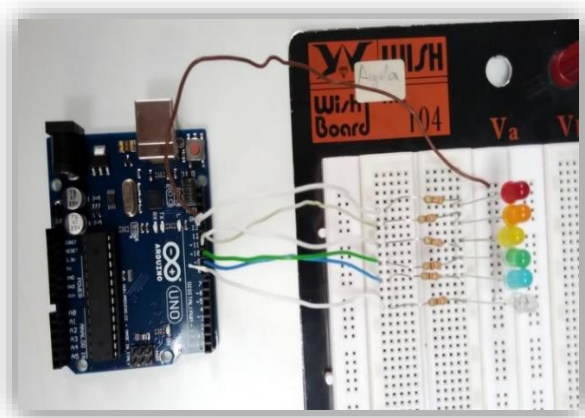


Figura 46: Circuito 2 Arduino

En el Anexo V de la presente Memoria se muestra el código comentado de los dos programas realizados en el procesador.

Para que Processing conecte con Arduino es necesario cargar la librería Standard Firmdata.

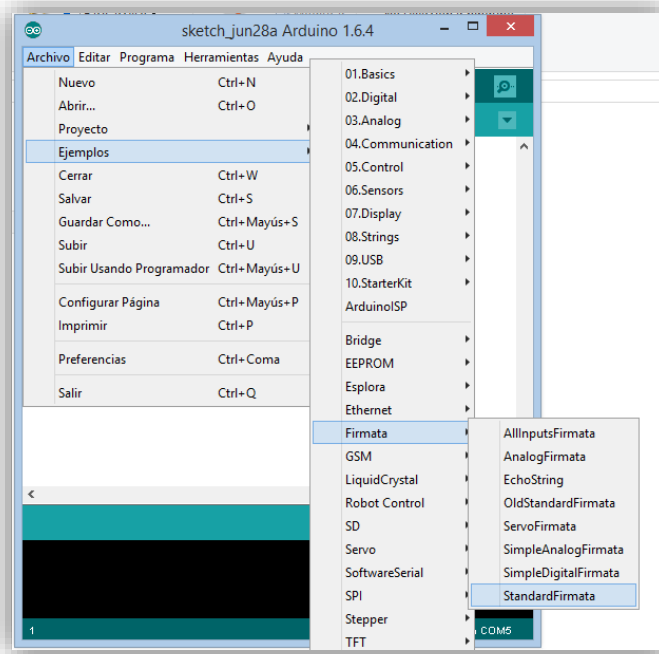


Figura 47: Standard Firmdata de Arduino

Una vez cargada la librería, y con el MIND YOUR OSCs conectado, el usuario solo tendrá que activar el código de *Processing* presionando el botón “Play”.

Capítulo 3

Pruebas, análisis y resultados obtenidos

3.1. Calibración biológica

El registro de un EEG es muy sensible a las variaciones de potencial que provienen del exterior y que aparecen en el trazado EEG como artefactos. La mayoría de los artefactos se reconocen con facilidad cuando uno mismo ha observado durante el registro cómo éstos se han originado. Evidentemente pueden crear a veces dificultades de interpretación debido a que presentan a veces engañosas similitudes con potenciales auténticos. Una delimitación más segura se obtiene repitiendo el registro EEG. [\[11\]](#)

Las posibilidades de que se originen artefactos se presentan en la propia persona que se ha de examinar (artefactos biológicos), trastornos en el aparato de EEG, influjos eléctricos externos sobre el paciente y sobre el sistema de registro, así como sobre los electrodos y las conexiones.

Se pueden distinguir dos tipos de artefactos: externos e internos. [\[31\]](#)

- Artefactos externos: son los derivados de la máquina de EEG, del instrumental, o del medio ambiente. Dentro de este apartado, podemos distinguir:
 - ✓ Técnica inadecuada en la colocación de electrodos y montajes
 - ✓ Alteración de los parámetros de calibración
 - ✓ Corriente alterna
 - ✓ Los propios electrodos (deslizamiento, suciedad, exceso o déficit de pasta conductora)
 - ✓ Electricidad estática
 - ✓ Defectuosa alineación de la línea de base
 - ✓ Movimientos y pasos en la habitación

- Artefactos internos: son los derivados del propio paciente. Los más significativos son:
 - ✓ Electrocardiograma o marcapasos
 - ✓ Pulso
 - ✓ Respiración

- ✓ Electromiograma o artefacto muscular (tics, temblores, deglución, etc)
- ✓ Contracción músculos craneofaciales
- ✓ Parpadeo
- ✓ Movimientos oculares
- ✓ Sudor
- ✓ Movimientos del paciente

Para calibrar biológicamente el Emotiv Epoc se ha decidido realizar una comparación entre los artefactos biológicos (internos) obtenidos al realizar un estudio sobre un sujeto y los obtenidos teóricamente en diferentes libros de electroencefalografía. Además, como investigación para las prácticas propuestas posteriormente, se han intentado evaluar diferentes acciones no descritas en la documentación de EEG estudiada para ver si existen otros artefactos biológicos que afecten de igual manera a la señal.

Como se ha mencionado anteriormente hay artefactos externos que no se han podido controlar. Es por eso que a la hora de verificar los resultados han salido variaciones sin mucho sentido. Por ejemplo en la siguiente figura, el sujeto estuvo en reposo con los ojos cerrados y se ve claramente como aparecen variaciones en tres electrodos (color negro, rojo oscuro y azul celeste) demasiado agresivas para ese estado.

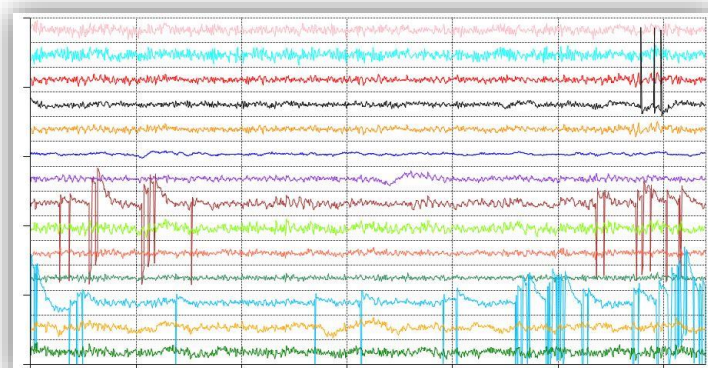


Figura 48: EEG del sujeto en reposo con ojos cerrados

3.1.1. Test:

Las pruebas realizadas han sido las que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de prueba	Intervalos de tiempo [minutos]
Reposo (ojos cerrados)	0:00 – 1:30
Ejercicio para pensar	1:30 – 2:40
Contraer músculos de las manos	2:50 – 3:10
Mover brazos	3:20 – 3:40
Parpadeo constante	3:50 – 4:00
Movimiento ocular	4:10 – 4:20
Recitar el alfabeto al revés	4:30 – 4:45
Reposo escuchando música	4:50 – 5:30
Sonreír	5:35 – 5:45
Reír	5:50 – 6:00
Guiñar un ojo	6:10 – 6:20

Tabla 3: Pruebas de test para la calibración biológica

Entre cada ejercicio se han dejado unos 5-10 segundos para notar mejor el cambio de la señales. A continuación se pueden ver los dos ejercicios que se le ha pedido a los sujetos que realicen durante el minuto 1.30 y el 2.40 del test.

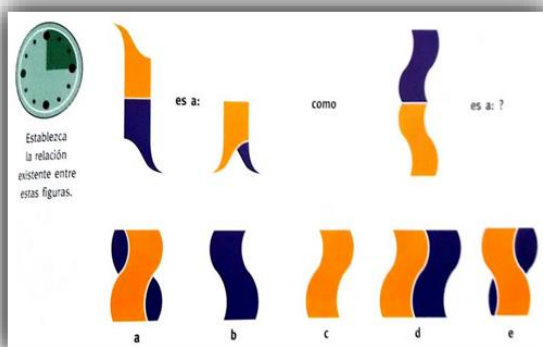


Figura 49a: Ejercicio 1 para pensar

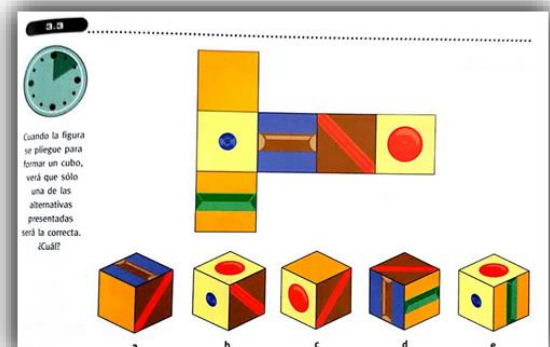


Figura 49b: Ejercicio 2 para pensar

3.1.2. Sujetos:

Lo ideal para hacer una prueba de estas características es tener sujetos de diferentes edades para poder hacer un estudio más preciso. En este caso al no tener autorización para llevar el aparato de electroencefalografía portátil fuera del laboratorio solo se ha podido evaluar a otros alumnos pertenecientes a la universidad.

- Sujeto 1: Alberto Gutiérrez (Edad 21 años; Altura 1,74m; Peso 70 kg)
- Sujeto 2: Sergio Heras (Edad 22 años; Altura 1,75 m; Peso 66kg)
- Sujeto 3: Javier León (Edad 22 años; Altura 1.69 m; Peso 62kg)
- Sujeto 4: Ainhoa Cruz (Edad 21 años; Altura 1.66m; Peso 60 kg)

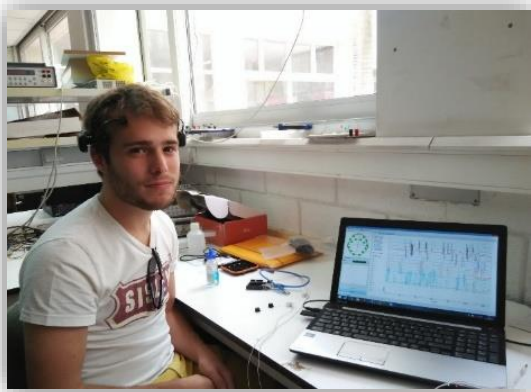


Figura 50a: Sujeto 1

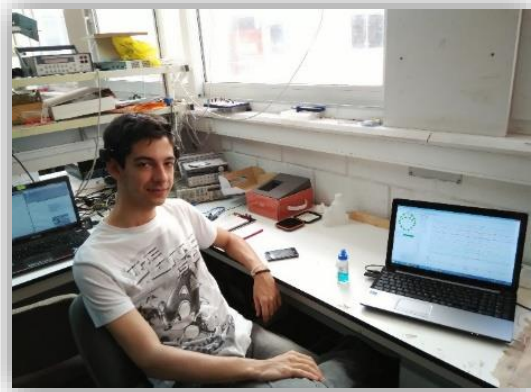


Figura 50b: Sujeto 2

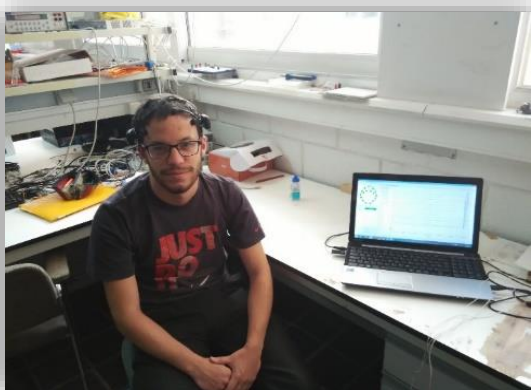


Figura 50c: Sujeto 3

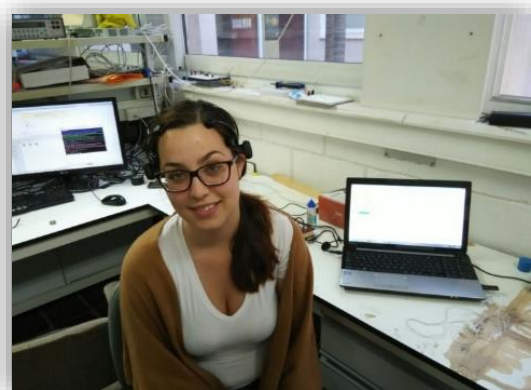


Figura 50d: Sujeto 4

3.1.3. Resultados:

- ESTUDIO 1: parpadeo

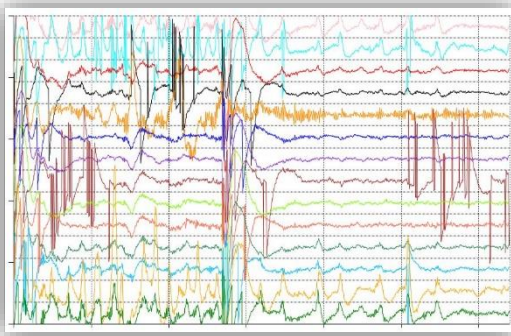


Figura 51a: Parpadeo del sujeto 1

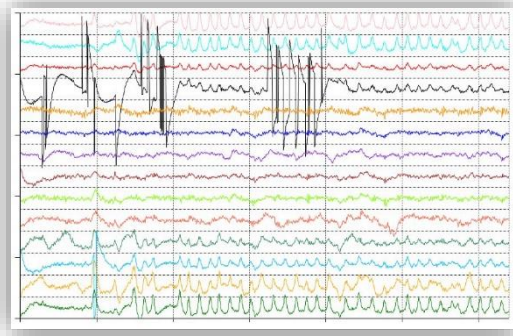


Figura 51b: Parpadeo del sujeto 2

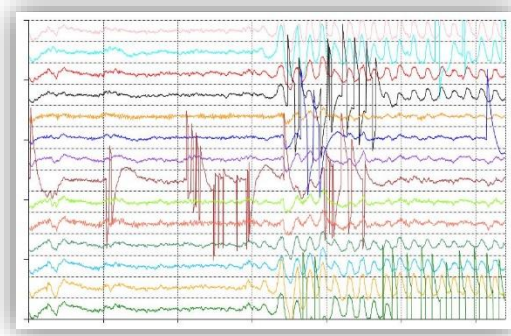


Figura 51c: Parpadeo del sujeto 3

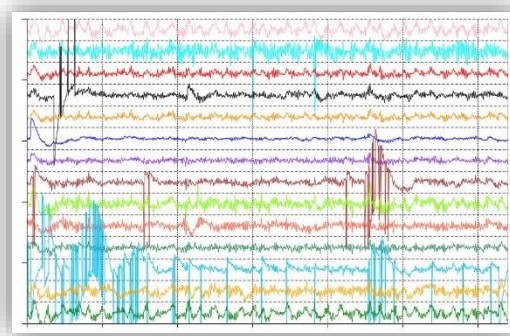


Figura 51d: Parpadeo del sujeto 4

Resultado: Se pueden apreciar los picos del parpadeo en cada sujeto. En los casos de los sujetos 2 y 3 se ve claramente el artefacto mientras que en los otros dos sujetos la señal posee un cierto nivel de ruido.

ESTUDIO 1 VÁLIDO

ESTUDIO 1 NO VÁLIDO

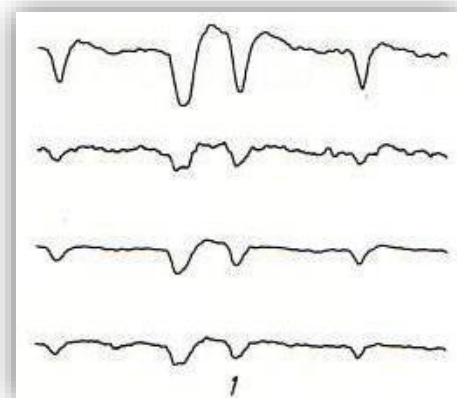


Figura 52: Forma del parpadeo

[11]

- ESTUDIO 2: Guiñar ojos

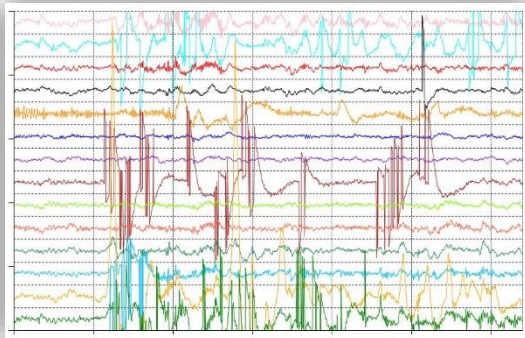


Figura 53a: Guiño del sujeto 1

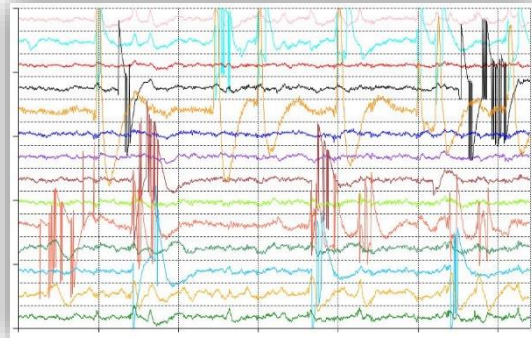


Figura 53b: Guiño del sujeto 2

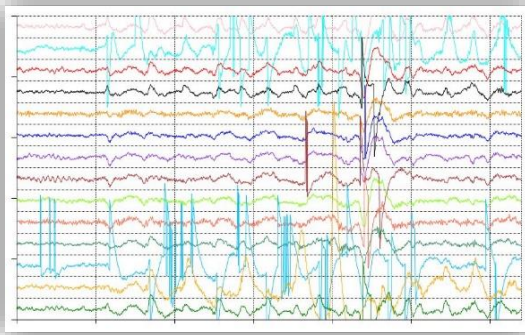


Figura 53c: Guiño del sujeto 3

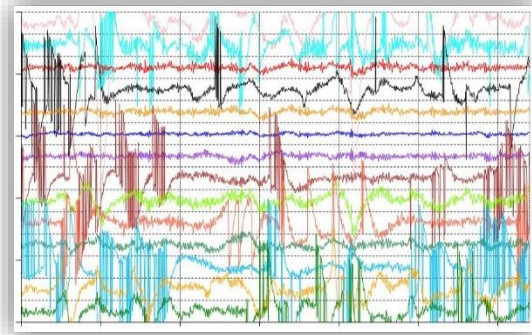


Figura 53d: Guiño del sujeto 4

Resultado: En este caso no ha sido fácil la comparación ya que en algunos casos se ha presentado demasiado ruido en la señal. Sin embargo en todos los casos se ha podido apreciar en los electrodos frontales (señales 1, 2, 5, 10, 13 y 14 de las imágenes) un cambio brusco como en el de la imagen de ejemplo. Estos electrodos son los primeros en variar por esta acción debido a su localización.

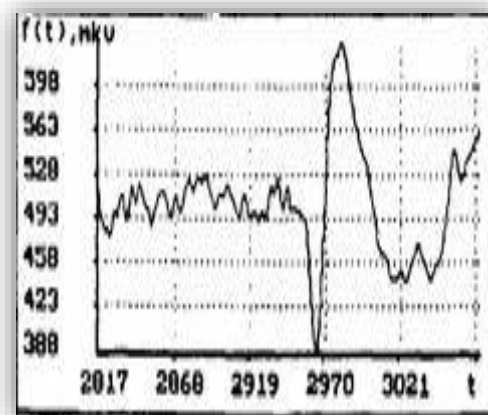


Figura 54: Forma del guiño de un ojo [32]

ESTUDIO 2 VÁLIDO

ESTUDIO 2 NO VÁLIDO

- ESTUDIO 3: Movimiento ocular

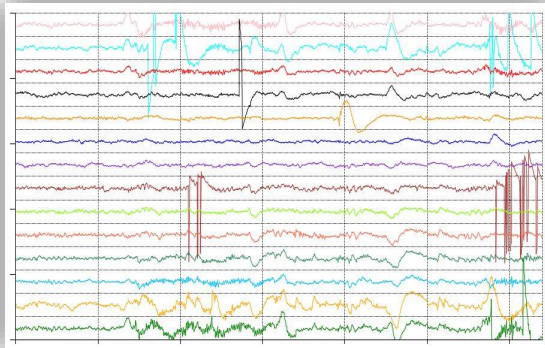


Figura 55a: Movimiento ocular del sujeto 1

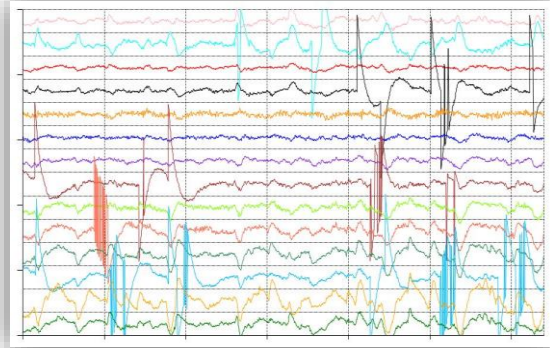


Figura 55b: Movimiento ocular del sujeto 2

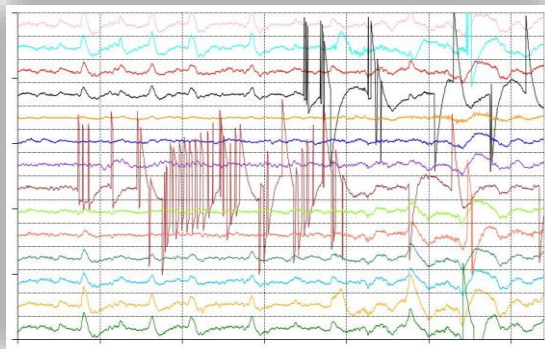


Figura 55c: Movimiento ocular del sujeto 3

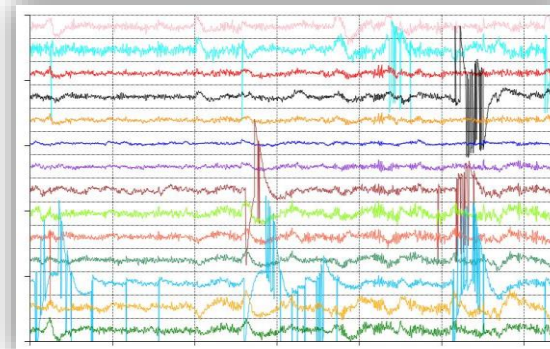


Figura 55d: Movimiento ocular del sujeto 4

Resultado: La forma del movimiento ocular puede confundirse fácilmente ya que presenta unos pequeños y suaves picos en la señal. En el estudio es más sencillo de distinguirlo ya que se conocía el intervalo en el que este movimiento ocurría. En este caso la comparación coincide pero las señales presentan un pico más pronunciado que en la teoría.

ESTUDIO 3 VÁLIDO



ESTUDIO 3 NO VÁLIDO

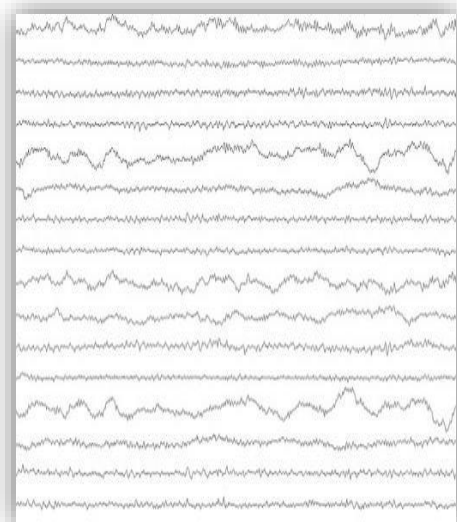


Figura 56: Forma del movimiento de los ojos [33]

- ESTUDIO 4: Movimiento muscular

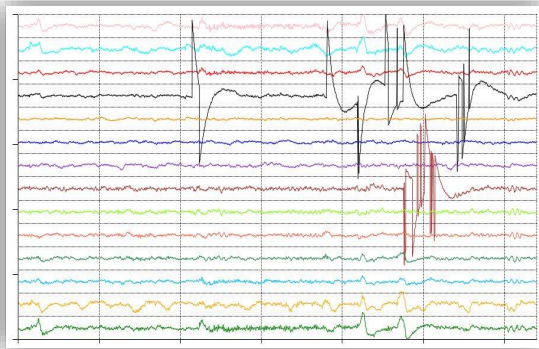


Figura 57a: Movimiento muscular del sujeto 1

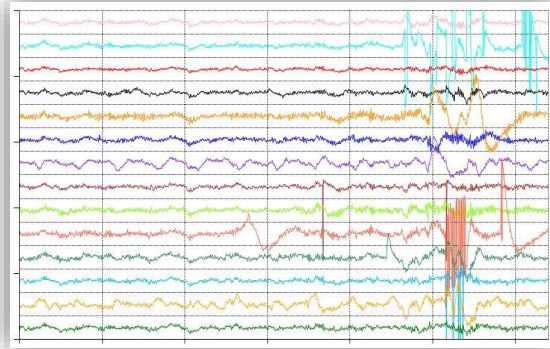


Figura 57b: Movimiento muscular del sujeto 2

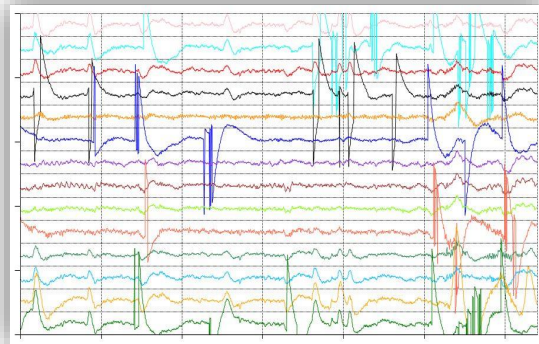


Figura 57c: Movimiento muscular del sujeto 3

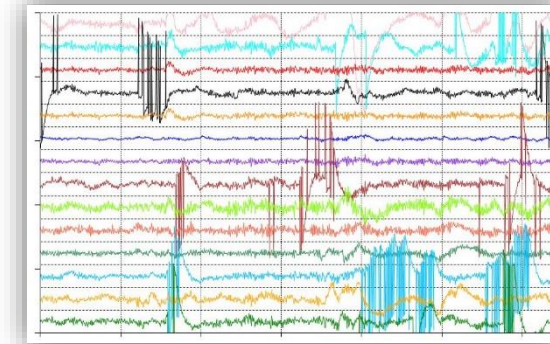


Figura 57d: Movimiento muscular del sujeto 4

Resultado: La forma del movimiento muscular presenta una señal con bastante ruido en varios electrodos. En las señales captadas si es cierto que en algunos casos se aprecia unos picos que pueden demostrar el movimiento del músculo pero no se observa el ruido excesivo mencionado anteriormente. No consideramos que las señales se parezcan lo suficiente.

ESTUDIO 4 VÁLIDO

ESTUDIO 4 NO VÁLIDO

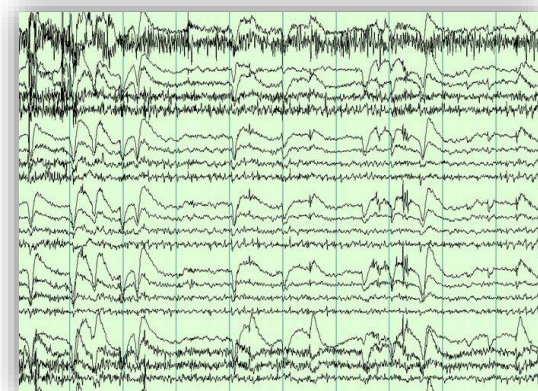


Figura 58: Forma del movimiento muscular [34]

- ESTUDIO 5: MOVIMIENTO CORPORAL

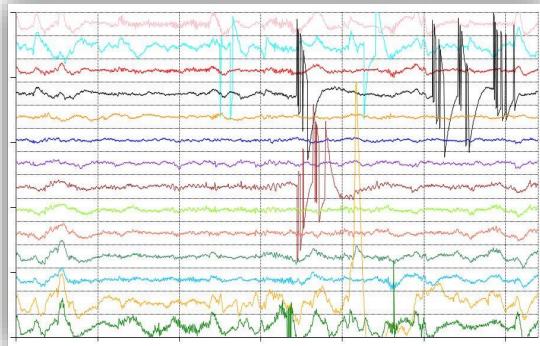


Figura 59a: Movimiento corporal del sujeto 1

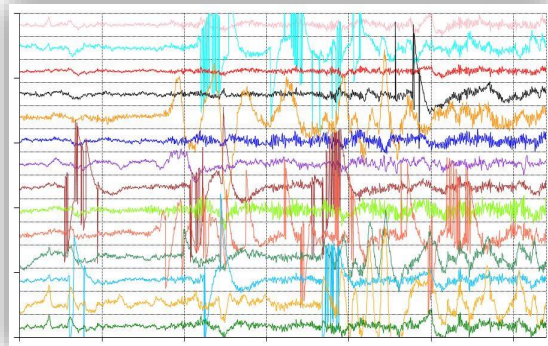


Figura 59b: Movimiento corporal del sujeto 2

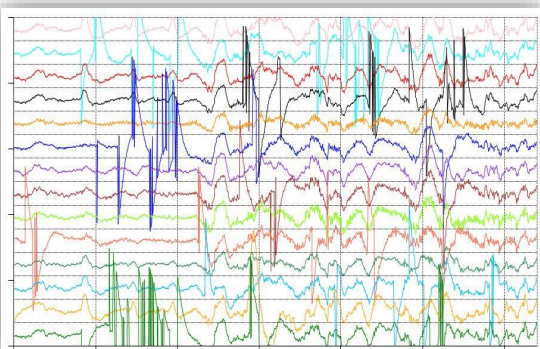


Figura 59c: Movimiento corporal del sujeto 3

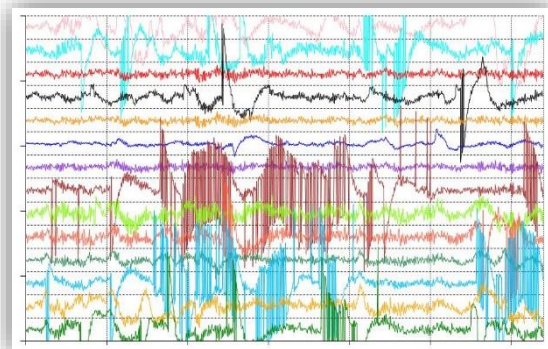


Figura 59d: Movimiento corporal del sujeto 4

Resultado: Este movimiento produce una alteración notable en todos los electrodos. En todos los casos, menos en el sujeto 1, se ha notado una gran variación en la mayoría de los electrodos.

ESTUDIO 5 VÁLIDO

ESTUDIO 5 NO VÁLIDO

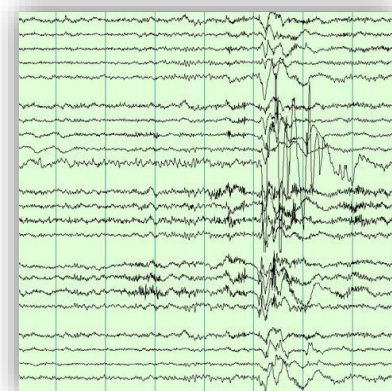


Figura 60: Forma del movimiento corporal [34]

- ESTUDIO 6: Reposo con y sin música

La música es un estímulo que enriquece los procesos sensoriales, cognitivos (como el pensamiento) y motores, además de fomentar la creatividad y la disposición al cambio. A partir de diversos tipos de música se pueden inducir diferentes estados de ánimo, los cuales pueden repercutir en tareas psicomotoras y cognitivas. [35] Una de las variables importantes que intervienen en estos efectos se refiere a la clase de música que se escucha. En este sentido, existen principalmente dos tipos:

- La estimulante, que aumenta la energía corporal, induce a la acción y estimula las emociones.
- La sedante, que es de naturaleza melódica sostenida y se caracteriza por tener un ritmo regular, una dinámica predecible, consonancia armónica y un timbre vocal e instrumental reconocible, con efectos tranquilizantes.

En este estudio se ha querido comprobar si la música relaja a los sujetos ya que se les ha reproducido una canción de Ludovico Einaudi, famoso pianista, llamada *Ancora*.

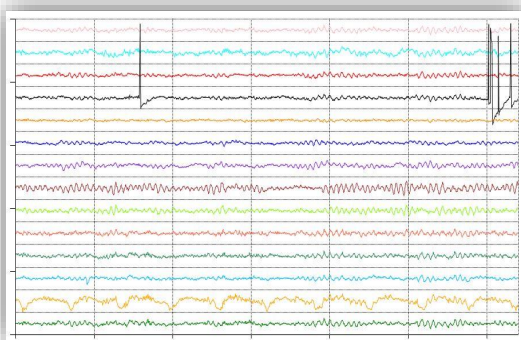


Figura 61a: Reposo del sujeto 1

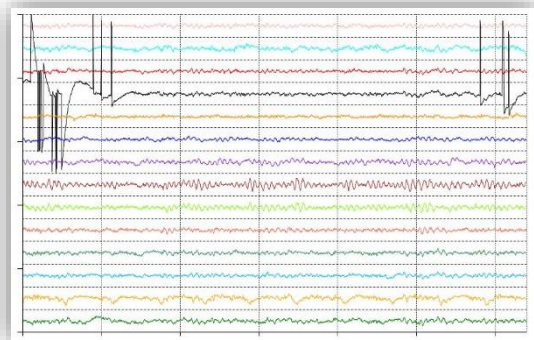


Figura 62a: Sujeto 1 escuchando música

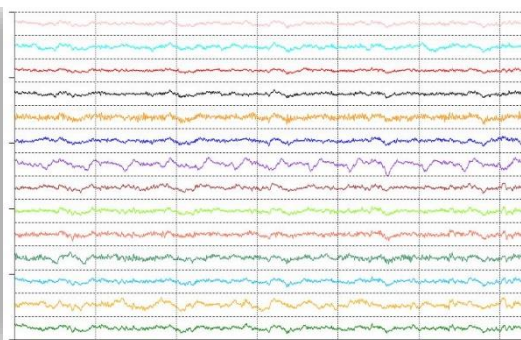


Figura 61b: Reposo del sujeto 2

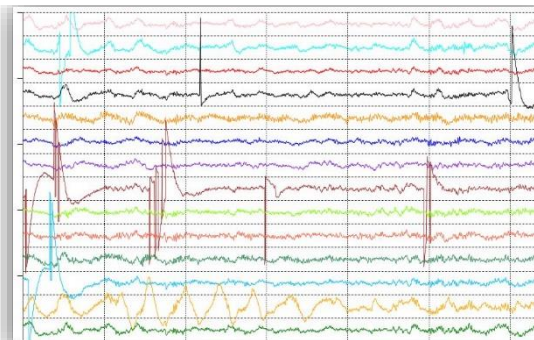


Figura 62b: Sujeto 2 escuchando música

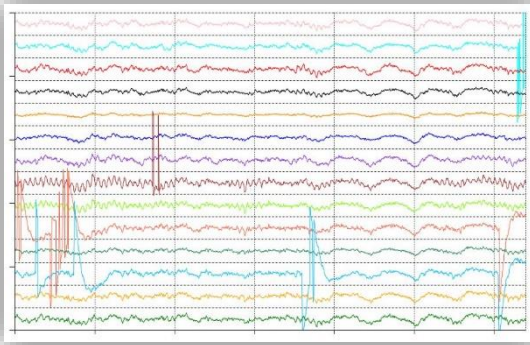


Figura 61c: Reposo del sujeto 3

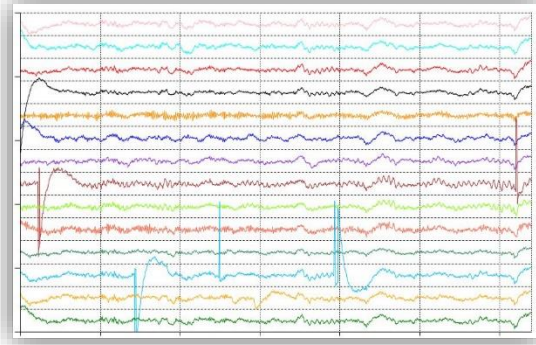


Figura 62c: Sujeto 3 escuchando música

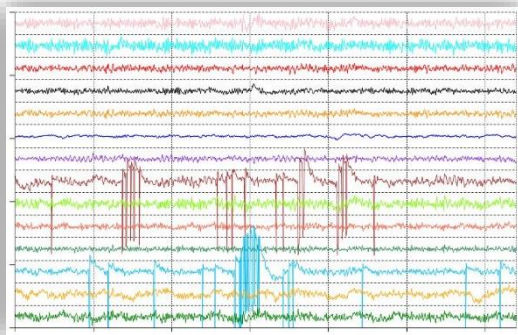


Figura 61d: Reposo del sujeto 4

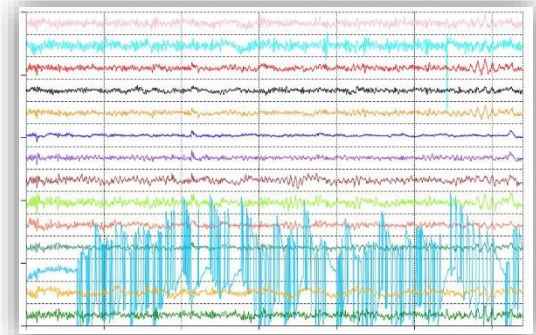


Figura 62d: Sujeto 4 escuchando música

Resultado: No se puede apreciar bien que haya similitud entre las señales de los cuatro sujetos. En algunos parece que realmente sí se atenúan las señales al reproducir la música (sujeto 1 y sujeto 4) pero en los otros casos se aprecia una alteración en las señales, las cuales pueden ser producidas por los estímulos producidos al escuchar la melodía. Aun así, se ha definido este estudio como no concluyente.

Otra opción para evaluar este caso sería el estudio de los ritmos de las frecuencias (alpha, beta, delta y theta) ya que un estudio realizado por varios científicos asiáticos, demostró por medio del registro de EEG y PET, que durante la escucha de música se da un aumento en la presencia de la banda Beta en la parte posterior de la corteza cerebral. Esto lo relacionaron con la interacción de la música con procesos cognitivos, tales como recuerdos o imágenes visuales evocados por la música. [\[36\]](#)

ESTUDIO 6 VÁLIDO

ESTUDIO 6 NO VÁLIDO

- ESTUDIO 7: Sujeto resolviendo ejercicios de pensar

En este estudio se ha querido evaluar si un sujeto varía su señal EEG al resolver una serie de ejercicios mentales sin utilizar el habla y posteriormente utilizándola. En el primer caso se le ha dado a los sujetos un libro de ejercicios y en el segundo caso se les ha pedido que reciten el alfabeto al revés.

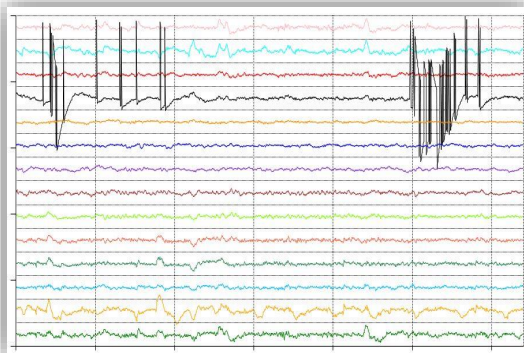


Figura 63a: Pensamiento del sujeto 1

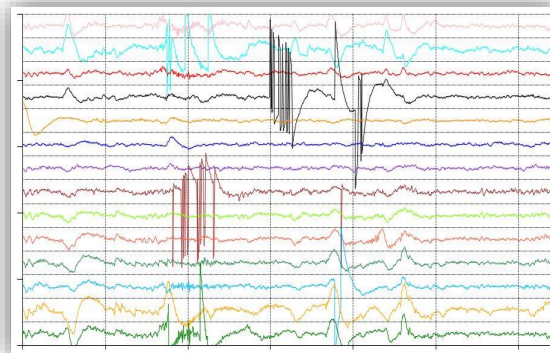


Figura 64a: Sujeto 1 hablando y pensando

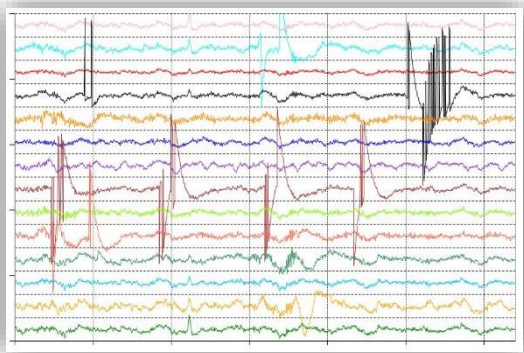


Figura 63b: Pensamiento del sujeto 2

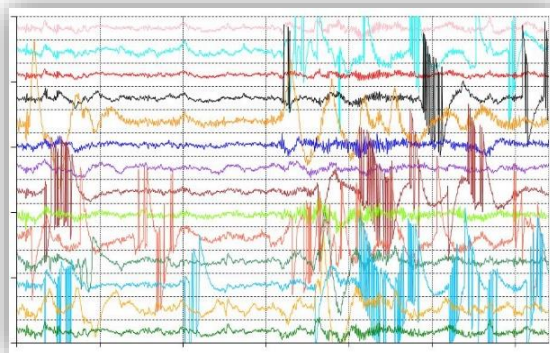


Figura 64b: Sujeto 2 hablando y pensando

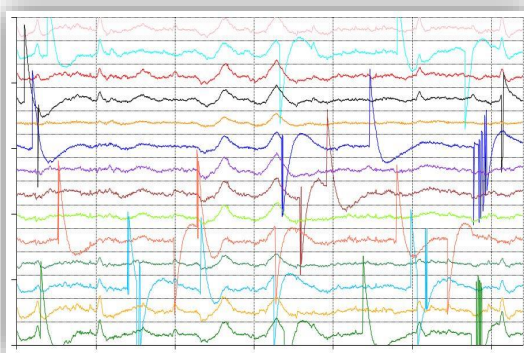


Figura 63c: Pensamiento del sujeto 3

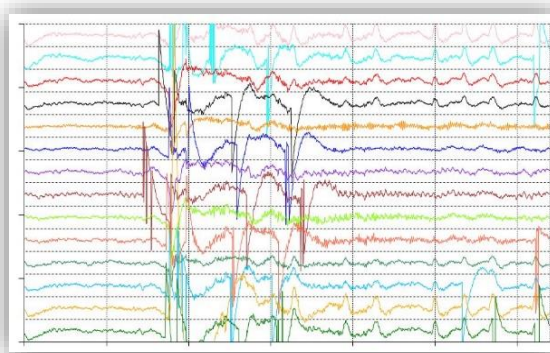


Figura 64c: Sujeto 3 hablando y pensando

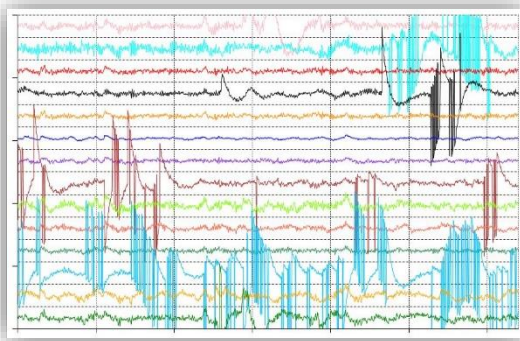


Figura 63d: Pensamiento del sujeto 4

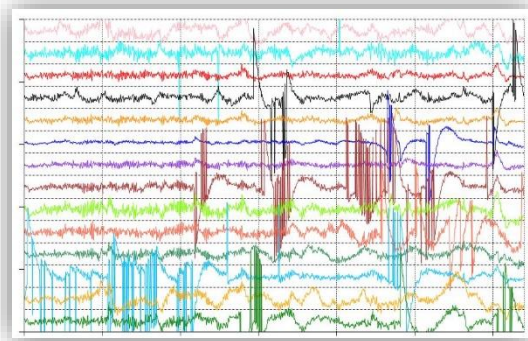


Figura 64d: Sujeto 4 hablando y pensando

Resultado: Lo primero que se debe mencionar es que comparando con el estado en reposo, se observa que cuando el sujeto se concentra, la forma de las señales varía. Una señal EEG no cambia su señal al utilizar las cuerdas vocales para hablar, la cambia al pensar en la pronunciación de una palabra. [37] En este caso se aprecia una clara diferencia con respecto a las señales donde el sujeto solo está pensando para realizar el ejercicio.

Por lo tanto en este estudio se comprueban dos cosas:

- Las señales EEG varían entre el estado de reposo y el estado de pensamiento.
- El habla influye sobre las señales EEG.

ESTUDIO 7 VÁLIDO

ESTUDIO 7 NO VÁLIDO

- ESTUDIO 8: Sonrisa

En este estudio no se pretende comparar los resultados con ningún otro. La finalidad es determinar si al sonreír se produce un artefacto diferente a los vistos anteriormente para poder aplicarlo en la práctica de laboratorio 1 “Aplicaciones prácticas y análisis de la adquisición de señales EEG en tiempo real”, la cual se encuentra en el Anexo II de la presente memoria.

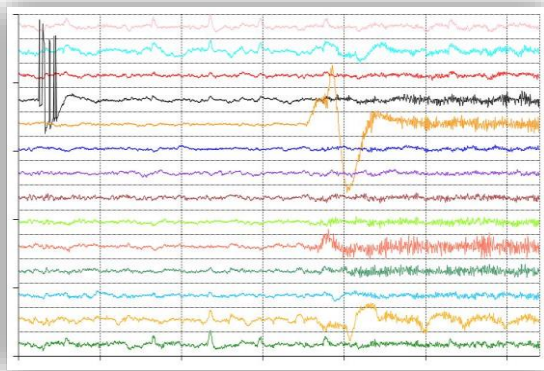


Figura 65a: Sujeto 1 sonriendo

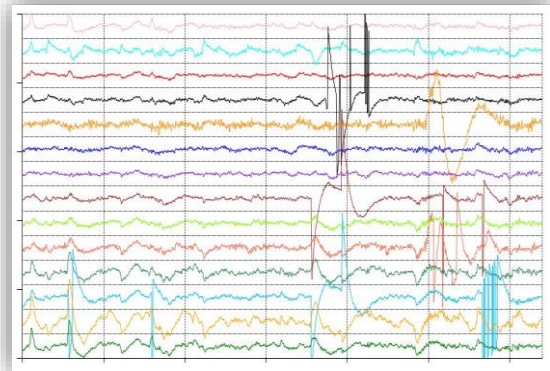


Figura 65b: Sujeto 2 sonriendo

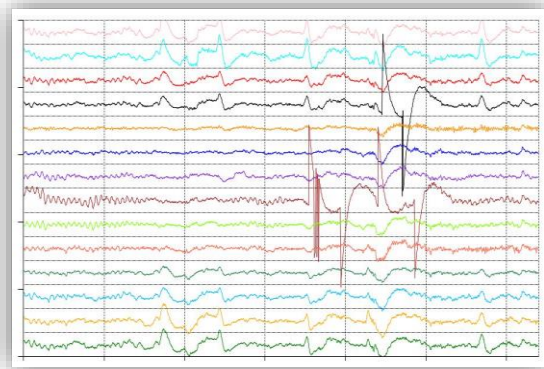


Figura 65c: Sujeto 3 sonriendo

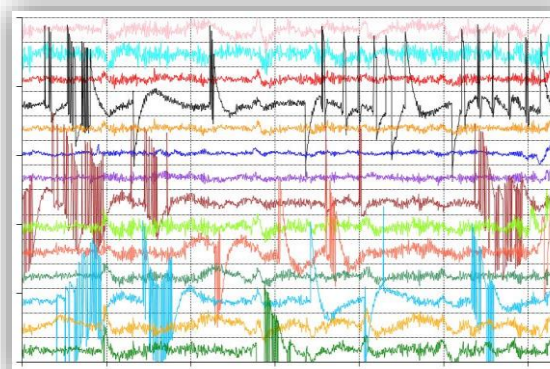


Figura 65d: Sujeto 4 sonriendo

Conclusión: Se puede ver como el Emotiv Epoc detecta las sonrisas sin ningún tipo de problema. Esta acción produce un pico de bastante amplitud en la señal seguido de un pico en la mayoría de los casos de igual tamaño.

3.1.4. Conclusiones generales:

Se han podido comprobar con éxito 5 acciones en las cuales el Emotiv EPOC ha representado las señales con la correcta forma. Es cierto que se ha dado el caso en dos estudios en el que los resultados no han sido los esperados pero también hay que tener en cuenta nuestro bajo nivel de conocimientos de esta materia y puede ser que un médico o una persona más capacitada si vea los cambios necesarios para dar por buenos dichos estudios. Además hay que añadir el poco tiempo de duración de la prueba ya que normalmente estos test duran entre 30-45 minutos.

Cabe que mencionar que en el test existía otro estudio en el cual se le pedía a los sujetos que se rieran. No se ha mostrado este estudio ya que al reírse una persona realiza movimientos con la cabeza y solo se ve ruido en las señales, como se puede ver en la siguiente figura.

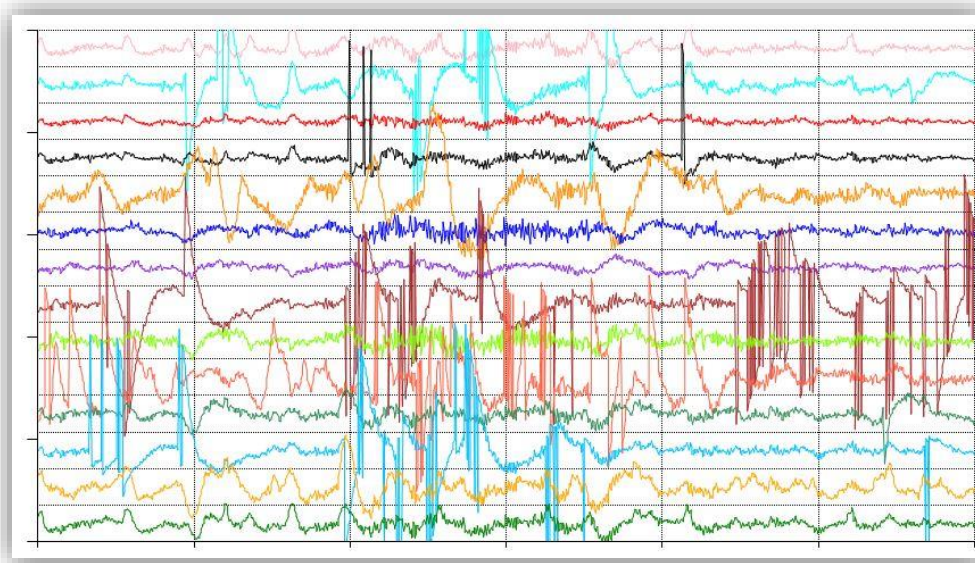


Figura 66: EEG de un sujeto riéndose

En esta calibración se pretendía observar si las señales emitidas por el aparato electroencefalográfico reaccionaban a las diferentes situaciones dadas. Los resultados obtenidos han sido favorables y se puede dar por bueno el estado del aparato en este aspecto.

En el Anexo VII se pueden observar las imágenes con mayor detalle.

3.2. Calibración electrónica

En este caso se ha pretendido realizar una calibración electrónica del dispositivo EMOTIV EPOC en el Servicio de Electrónica de la Universidad de La Laguna, de manera que mediante una serie de señales generadas por un calibrador, éstas puedan ser utilizadas para estudiar algunas de las características electrónicas del equipo, como puede ser su ancho de banda o las amplitudes máximas de la señal de entrada permitidas para la correcta adquisición de las mismas según la conductancia.

Debido a la complejidad que supone generar señales de valores de amplitud y frecuencia tan pequeños y a las limitaciones de recursos y equipos con los que se ha contado para llevar a cabo esta tarea, los resultados de la calibración electrónica del aparato han sido desfavorables y poco concluyentes.

Estos resultados quedan reflejados en el Anexo VI de la presente Memoria a modo indicativo. Es por ello que este apartado puede sugerirse para trabajos futuros sobre el equipo de adquisición EMOTIV.

3.3. Adquisición de señales EEG en LabVIEW

Una vez establecida adecuadamente la comunicación entre el dispositivo EMOTIV EPOC y LabVIEW, puede comprobarse en los respectivos paneles frontales de cada aplicación diseñada el perfecto funcionamiento de los mismos. En el programa pueden distinguirse por separado las cuatro funciones elementales para las cuales se ha diseñado:

- Visualización de las señales EEG correspondientes a cada uno de los catorce electrodos de medida.
- Representación de estas señales en el dominio de la frecuencia con su correspondiente clasificación en bandas de frecuencia para el estudio de potenciales en el cerebro humano.
- Visualización gráfica de la aceleración rotacional de la cabeza sobre el eje horizontal y sobre el eje vertical.
- Posibilidad de guardar los datos producto de la adquisición para un estudio más detallado de las señales EEG durante intervalos de tiempo deseados.

En el apartado EEG del programa se pueden visualizar las señales correspondientes a cada electrodo colocados sobre el cuello cabelludo de un usuario. Esta visualización se trata de una gráfica general en la que es posible ver todas las señales al mismo tiempo.

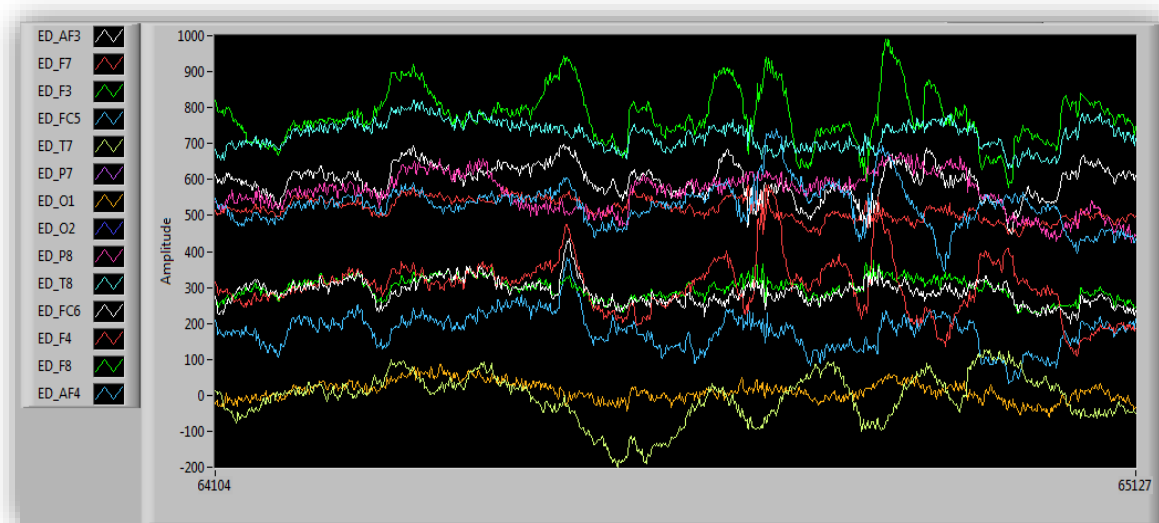


Figura 67: Visualización de las catorce señales EEG

Esto hecho puede resultar una dificultad a la hora de estudiar las amplitudes de cada una de ellas en caso de que se requiera. Para ello, se habilita en el apartado FFT (Fast Fourier Transform) una gráfica de visualización de cada canal por separado, como se muestra en la figura 68, ejemplo de visualización de la señal transmitida por el canal correspondiente a AF3.

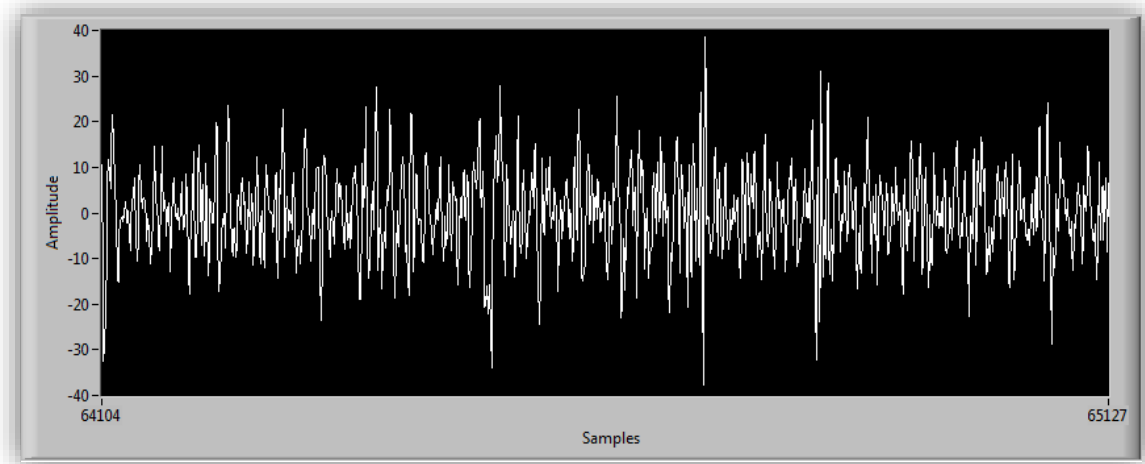


Figura 68: Visualización de cada canal por separado. Ejemplo del canal AF3

En el apartado FFT (Fast Fourier Transform) se visualiza además el espectro de la señal producida por cada canal seleccionable. De este modo es posible estudiar las señales en el dominio de la frecuencia.

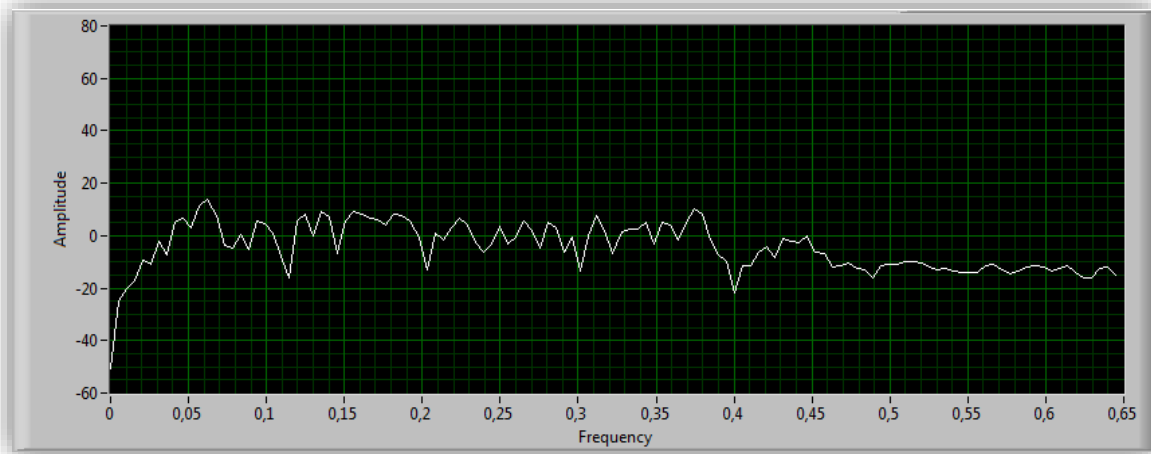


Figura 69: Espectro de la señal del canal AF3

Gracias a la transformada de Fourier para la visualización del espectro de cada señal, es posible discriminar las mismas en los cuatro ritmos biológicos o potenciales del cerebro presentes en diferentes fases de la actividad cerebral. Para ello se filtra el espectro de cada señal entre cuatro rangos de frecuencias correspondientes para visualizar la magnitud del espectro en cada banda. En este caso, el sujeto tomado para ilustrar este ejemplo se encontraba despierto y con los ojos abiertos, es por ello que la banda que más predomina, es decir, cuyo valor máximo de magnitud del espectro es mayor, es Beta, como se aprecia en la figura 70.

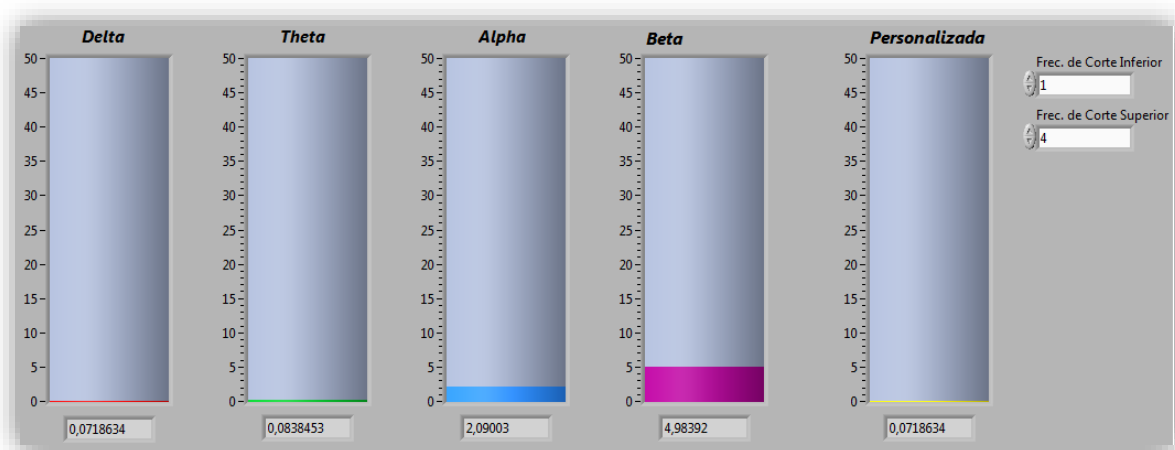


Figura 70: Potenciales del cerebro humano. Valores máximos de magnitud de espectro en cada rango de frecuencia

En el apartado GYRO pueden visualizarse las gráficas correspondientes a las señales de la aceleración rotacional de la cabeza del sujeto respecto del eje horizontal y del eje vertical por separado. Esto es, cuando el sujeto haga un movimiento de asentir con la cabeza, predominará la señal correspondiente al eje vertical y cuando haga un movimiento de negación predominará la señal correspondiente al eje horizontal. Puede apreciarse en la siguiente figura como el sujeto primero niega con la cabeza y a continuación asiente.

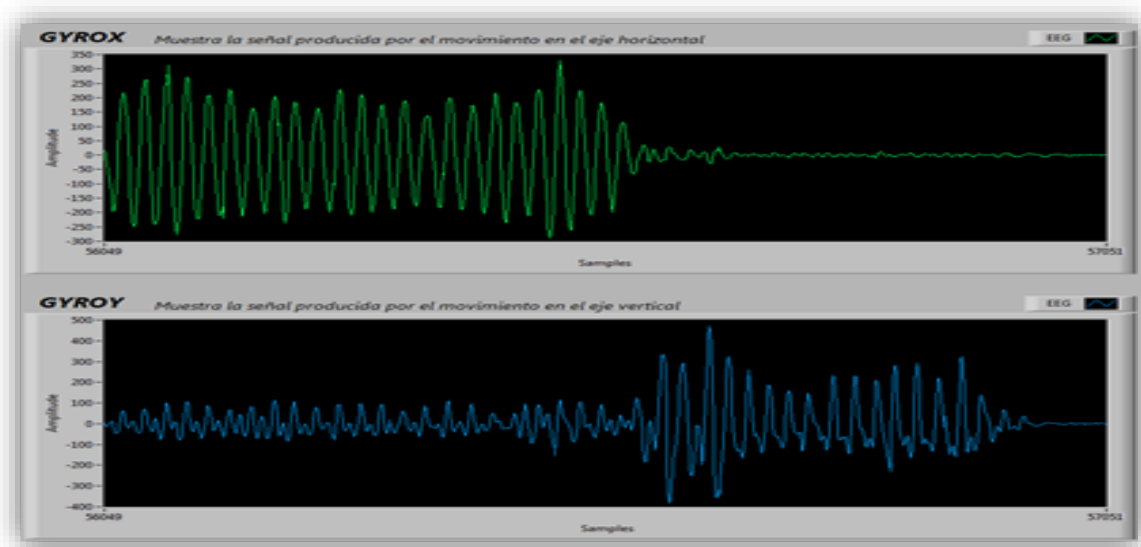


Figura 71: Señales producidas por la aceleración rotacional de la cabeza

El apartado GUARDAR EN CSV permite, como su propio nombre indica, guardar los datos EEG obtenidos a partir de la adquisición de señales para un posterior estudio con mayor detenimiento usando otros programas que permitan visualizar las gráficas de forma estática si así se desea. Mientras el programa en LabVIEW se encuentra en funcionamiento, al darle al botón *STOP* la adquisición de señales finalizará y se guardarán estos datos en un archivo en formato CSV.

3.4. Prácticas de laboratorio

3.4.1. Aplicaciones prácticas y análisis de la adquisición de señales EEG en tiempo real

El objetivo de la presente práctica es la adquisición, familiarización y estudio de señales de electroencefalografía (EEG) en tiempo real ante estímulos expresivos del sujeto. Para ello, se hará uso de un equipo de adquisición dispuesto de sensores para tal fin, el EMOTIV EPOC, y del software LabVIEW de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico que permite visualizar el comportamiento en tiempo real de las señales citadas.

Se pretende conseguir la forma de las señales EEG producidas como respuesta a estímulos expresivos concretos, que serán:

- Parpadeo constante
- Sonreír
- Movimiento de cejas
- Fruncir el ceño

Estas señales serán comparadas con casos reales de pacientes que han sido ya estudiados, con el fin de obtener unos resultados similares. Asimismo, se estudiarán algunas características de las señales correspondientes a cada caso, como pueden ser sus amplitudes máximas y mínimas.

Es importante saber que en el registro EEG normal aparecen artefactos, que son alteraciones en las señales que se deben a múltiples causas (movimientos musculares, oculares, respiración, pulso, electrodos, resistencia de la piel, sudor, problemas técnicos) y no significa que haya patología.

El registro de un EEG es muy sensible a las variaciones de potencial que provienen del exterior y que aparecen en el trazado EEG como artefactos. La mayoría de los artefactos se reconocen con facilidad cuando uno mismo ha observado durante el registro cómo éstos se han originado. Evidentemente pueden crear a veces dificultades de interpretación debido

a que presentan a veces engañosas similitudes con potenciales auténticos. Una delimitación más segura se obtiene repitiendo el registro EEG.

Las posibilidades de que se originen artefactos se presentan en la propia persona que se ha de examinar (artefactos biológicos), trastornos en el aparato EEG, influjos eléctricos externos sobre el paciente y sobre el sistema de registro, así como sobre los electrodos y las conexiones [11]. En la siguiente imagen se muestran algunos ejemplos.

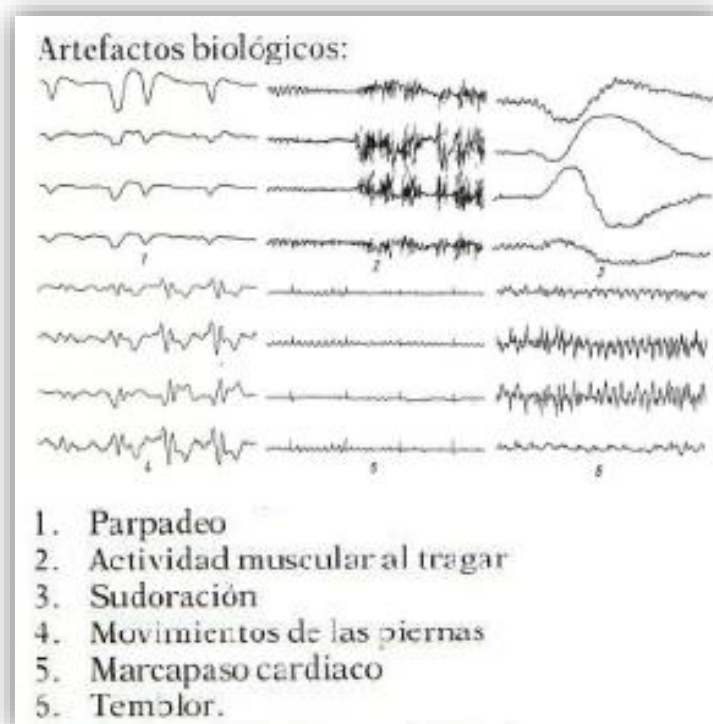


Figura 72: Artefactos biológicos. [11]

LabVIEW posee unas librerías con las que se puede realizar la interfaz de este con los archivos ya mencionados y se forma, formándose una dependencia con el programa Control Panel.

En este Trabajo se ha utilizado una librería específica para la EMOTIV que realiza esta interfaz.

Para empezar a utilizar la librería, es necesario tener en cuenta los siguientes vi para conseguir una correcta interfaz.

9. EmotivCreate Task.vi: en este vi se debe ubicar la dirección del archivo edk.dll y colocar el path del subvi.
10. EmotivStart Task.vi: se utiliza para iniciar la interfaz.
11. Estructura while: aquí se programa lo que se desea realizar.
12. Emotiv Read.vi: dentro del bucle while, se utilizará para estudiar las acciones cognitivas deseadas.
13. Emotiv Stop Task.vi: se utiliza fuera del bucle while para establecer la interfaz.
14. Error out: se utiliza para visualizar un error en caso de que se interrumpa la dependencia.

El diagrama de bloques tendrá la misma estructura para cada acción expresiva que se desee estudiar y será el que se muestra a continuación utilizando las diferentes funciones incorporadas en la librería Emotiv Toolkit descritas anteriormente:

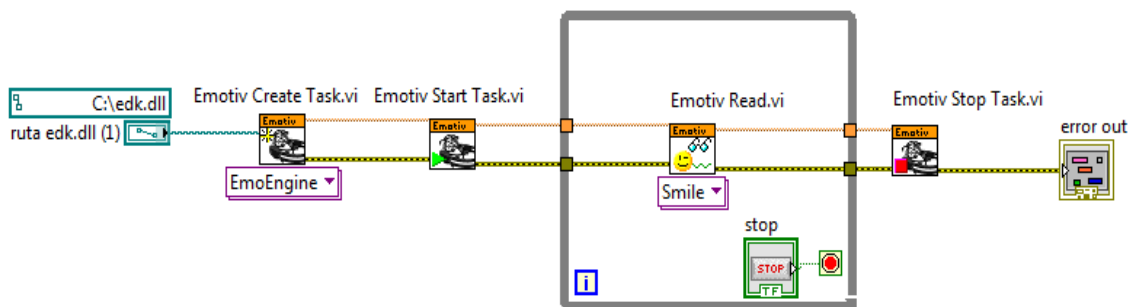


Figura 73: Diagrama de bloques para el estudio de acciones expresivas en LabVIEW

Una vez realizada la interfaz, puede utilizarse el subvi Emotiv Read.vi para estudiar el comportamiento de las señales EEG ante acciones cognitivas o expresivas. Si por ejemplo se selecciona la opción *Smile*, al ejecutar el programa se obtendrá un pulso positivo cuando el dispositivo de electroencefalografía detecte que el sujeto está sonriendo.

Para que esto pueda ser comprobado visualmente de forma más sencilla, se colocará un indicador booleano luminoso (*true* o *false*) en el programa que se encenderá en el momento en el que se detecte el pulso positivo. De esta manera, el bucle se presenta del siguiente modo en cuatro casos correspondientes a cada acción expresiva concreta que pretende estudiarse:

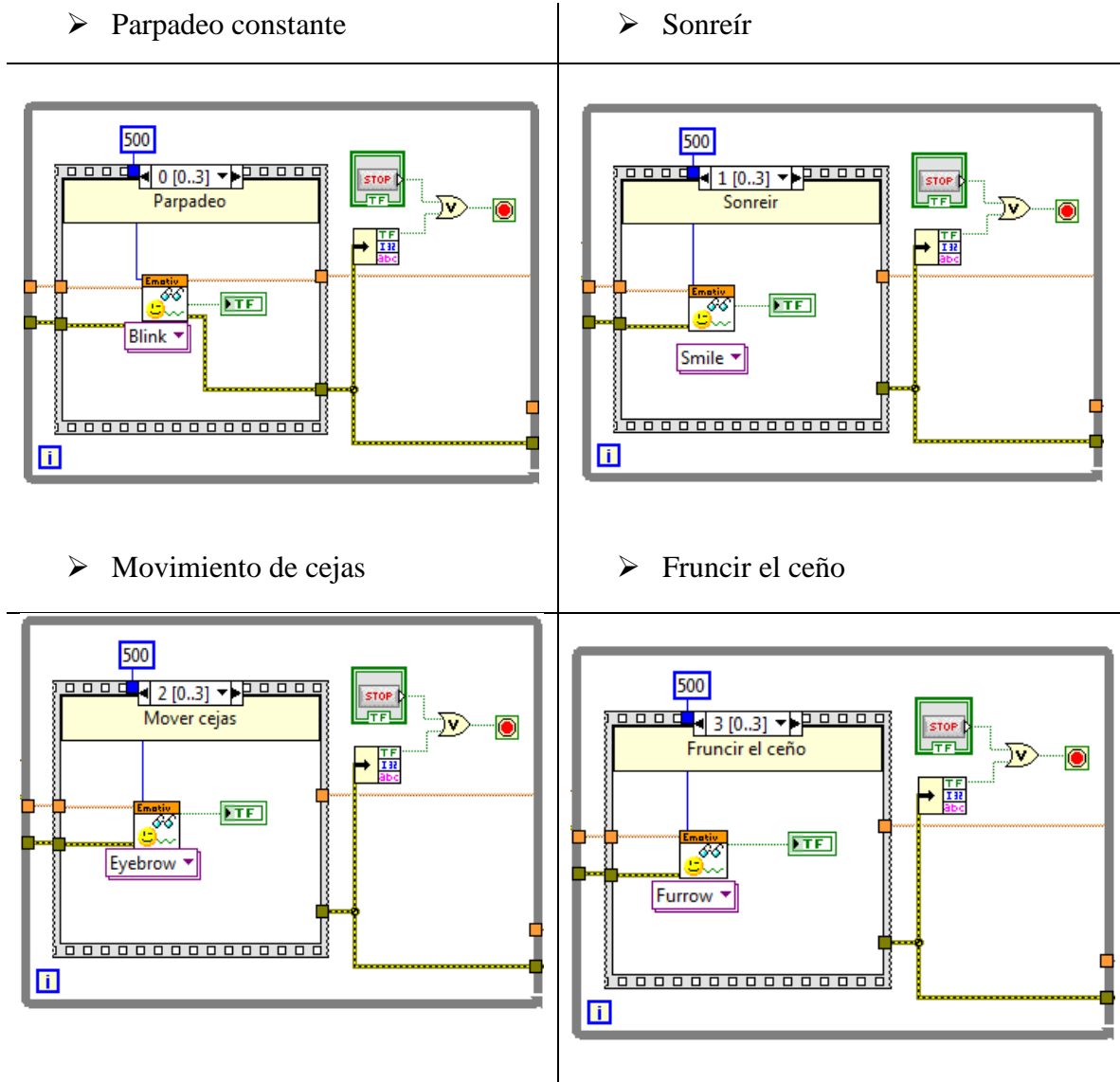


Figura 74: Diagrama de bloques correspondiente a cada acción expresiva en LabVIEW

Para el correcto estudio de la reacción del sistema nervioso ante acciones cognitivas o expresivas, se aporta la visualización de las señales EEG de los catorce electrodos usados. Para que esto sea posible, además de los vi mencionados anteriormente se hace uso de los siguientes:

- EEG Data Start.vi: identificador de datos que se utiliza para proporcionar acceso a los datos de EEG. antes de la recogida de datos, se Inicializa un búfer.
- EEG Data Acquire.vi: inicia la recuperación de los últimos datos EEG existentes en el búfer. Además, se define el número de muestras de datos disponibles, las cuales se utilizan para crear un búfer de datos de ingreso.

Una vez presentado el entorno gráfico de programación, se pretende profundizar en el estudio de la variación de las señales EEG ante estímulos cognitivos o expresivos. Es por ello que en primer lugar se realizará la obtención práctica a tiempo real de dichas señales ante la acción de artefactos biológicos concretos, con el fin de que puedan ser comparadas con registros originales del mismo tipo de artefacto en cada caso. Para ello, se aportan los registros de varios usuarios como ejemplo previamente estudiados antes las diferentes acciones expresivas propuestas.

➤ Parpadeo

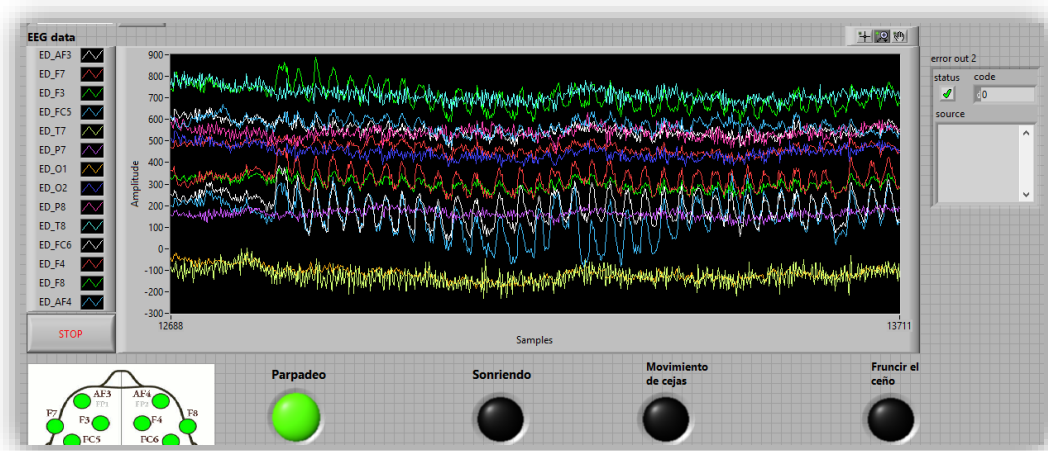


Figura 75: Ejemplo de EEG ante un parpadeo constante

➤ Sonreír

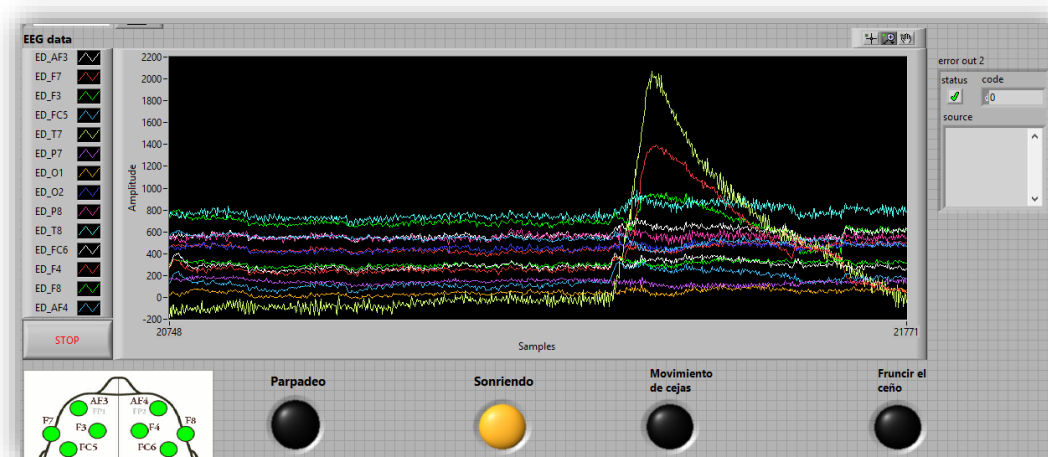


Figura 76: Ejemplo de EEG ante la acción de sonreír

➤ Movimiento de cejas

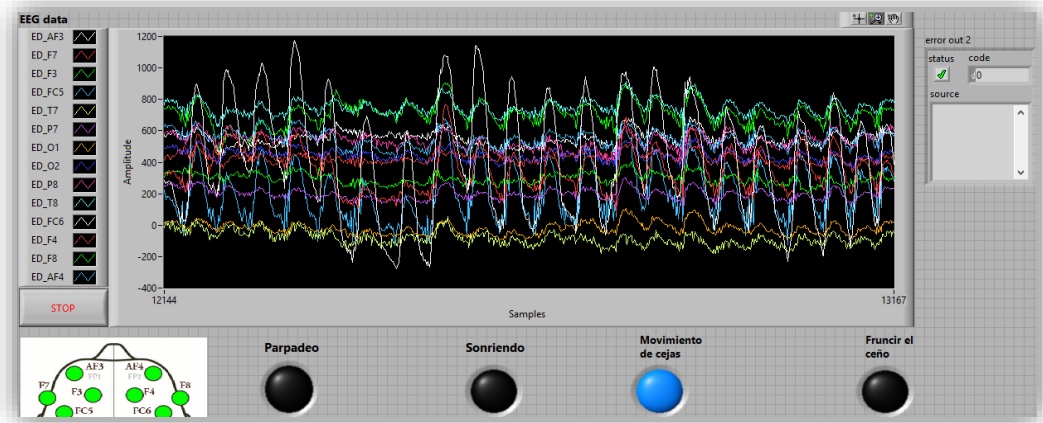


Figura 77: Ejemplo de EEG ante la acción de mover las cejas

➤ Fruncir el ceño

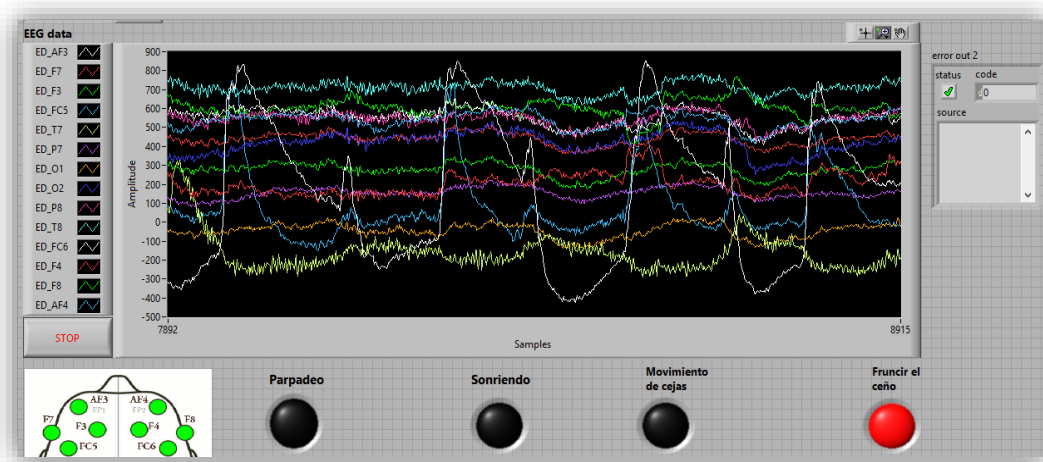


Figura 78: Ejemplo de EEG ante la acción de fruncir el ceño

En el Anexo II, primer apartado, se encuentra el guion de esta práctica para el alumno.

3.4.2. Análisis de señales EEG con EEGLAB

Una vez configurada la localización de los electrodos ya se puede visualizar y segmentar la señal EEG. Para poder ver la señal:

- *Plot -> Channel Data (Scroll)*
- Se pueden utilizar los signos +/- para cambiar la escala de la señal y las flechas para navegar a lo largo de ella. No es necesario visualizar los 14 electrodos para poder segmentar la señal pero si deseamos verla completa hay dos formas de solucionarlo:
 - ✓ Cambiando la escala hasta poder ver todos los electrodos. Esto tiene un problema ya que no se aprecia los cambios de las señales.

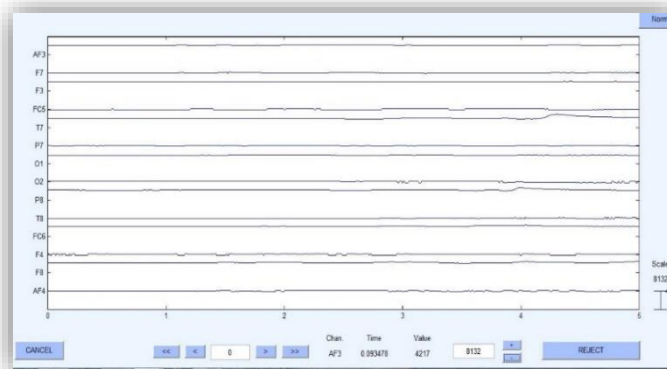


Figura 79: Visualización de las señales 1

- ✓ Podemos visualizar los canales de 7 en 7 o en el rango que se desee en: *Settings -> Number of channels to display*

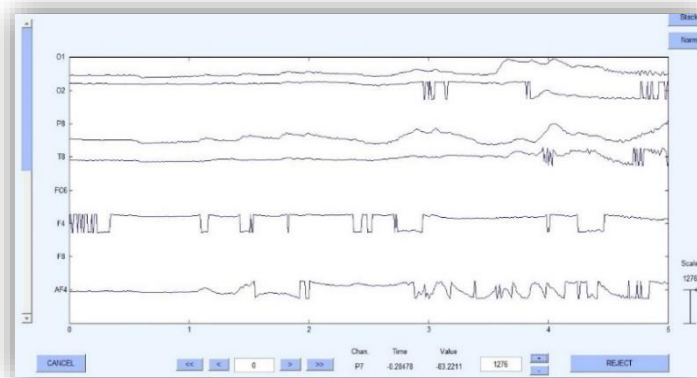


Figura 80: Visualización de las señales 2

- Para guardar una parte de la señal: *Edit -> Select Data-> Time Range*

Si se desea eliminar las tendencias ascendentes o descendentes se puede eliminar la línea base de las señales (offset) mediante *Tools -> Remove baseline*. Es importante saber que las figuras con la línea de base, tienen una potencia mucho mayor que a las que se les suprimió ya que la línea de base representa un valor promedio en cada una de las señales.

Para poder representar los espectros de la potencia es recomendable realizar un análisis de componentes independientes (ICA). Se ejecuta de la siguiente manera: *Tools-> Run ICA*. Finalmente para representar los espectros habrá que ir a: *Plot -> Channel spectra and maps*. Se suele establecer en las frecuencias a representar los valores medios de las bandas alfa, beta, delta y theta (2, 6, 10, 21).

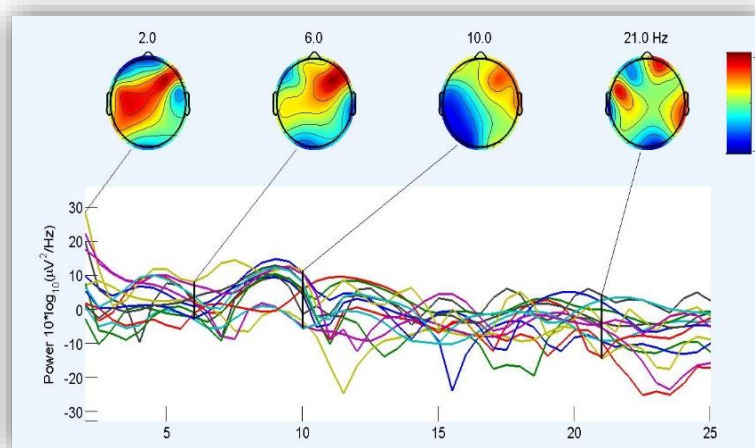


Figura 81: Análisis de potenciales cerebrales en determinadas frecuencias

Si se desea eliminar parte del registro solo hay que seleccionar esa parte y presionar *reject* en la gráfica de los 14 electrodos.

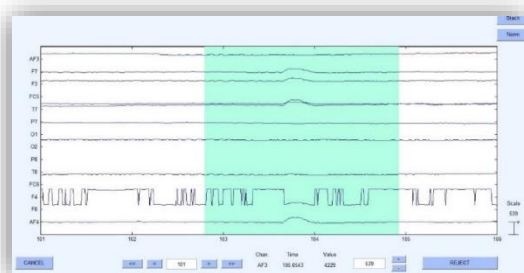


Figura 82: Parte seleccionada

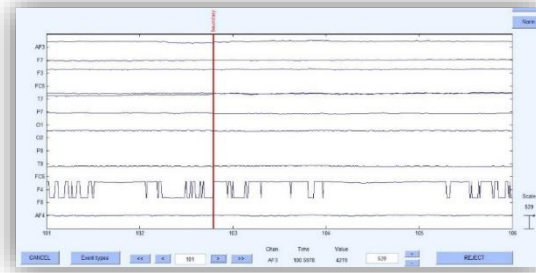


Figura 83: Señales con la parte eliminada

Existen diversas funciones en EEGLAB como:

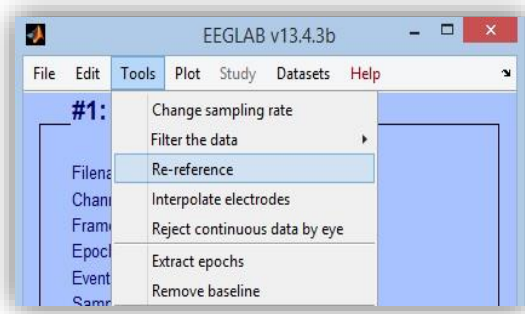


Figura 84: Re-reference

Re-reference: Esta función permite tomar otro canal de referencia y darle valores

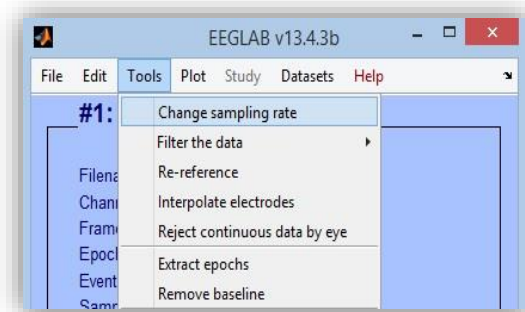


Figura 85: Change sampling rate

Change sampling rate: Es la velocidad de muestreo, así que si originalmente tiene dado 1000/s y se lo cambiamos a 10 (demostrativo) la calidad será menor

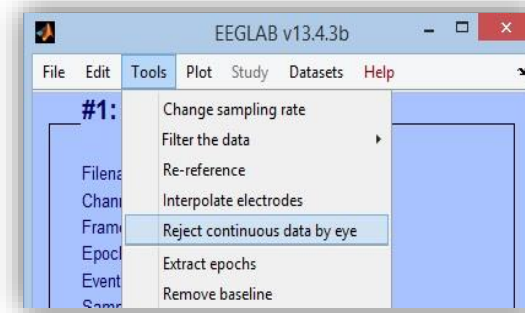


Figura 86: Reject continuous data by eye

Reject continuous data by eye: Se pueden quitar partes de la señal que no son de interés

En el Anexo II, apartado 2, se encuentra el guion de esta práctica para el alumno.

3.4.3. Adquisición de señales EEG y potenciales cerebrales con OpenViBE

Para visualizar los resultados en OpenViBE es necesario presionar el botón *Play* del OpenViBE Designer. Seguidamente aparecerán las gráficas programadas.

En primer lugar aparece una gráfica de la señal EEG de los 14 electrodos del Emotiv EPOC. Además aparecen los espectros y los mapeos (en 2D y 3D) correspondientes a los distintos ritmos Alpha, Beta, Delta y Theta.

Cada filtro Butterworth se ha programado en función al rango de frecuencia de cada ritmo. También se ha añadido un selector de banda de frecuencia para atenuar la señal ya que al reproducir el espectro se observa que el filtro no corta específicamente en el rango deseado. No existe un filtro ideal que corte en el rango de frecuencia establecido.

A continuación, se pueden observar las gráficas de los diferentes ritmos cerebrales.

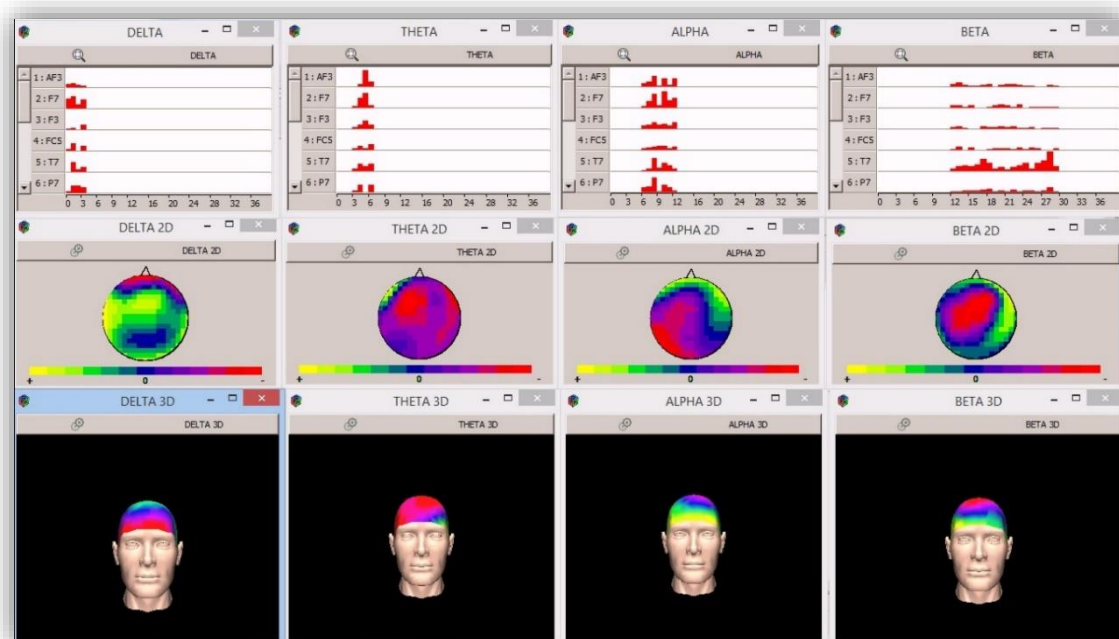


Figura 87: Resultados del programa OpenViBE

Tanto la figura 3D como la 2D se puede rotar y ajustar a las preferencias del usuario. No se ha mostrado la gráfica de los 14 electrodos pero al estar programada también aparecerá en las gráficas finales. En el Anexo II, apartado 3, se encuentra el guion de esta práctica para el alumno.

3.4.4. Interfaz EMOTIV EPOC - Arduino

Una vez realizado todo el procedimiento se debería comprobar que el Arduino responde a las acciones programadas.

El primer caso está programado para que un led se encienda al sonreír el sujeto. El Emotiv EPOC envía a MIND YOUR OSCs los valores de *Smile* los cuales son interpretados por Processing. Hasta que la sonrisa no emita el valor máximo (1,00) el led no deberá encenderse.



Figura 88: Usuario en estado de reposo

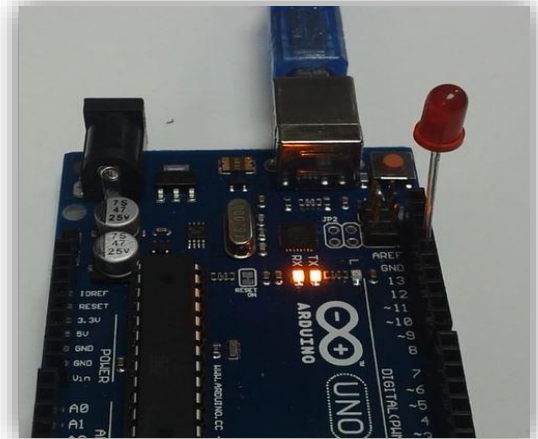


Figura 89: Led apagado



Figura 90: Usuario sonriendo

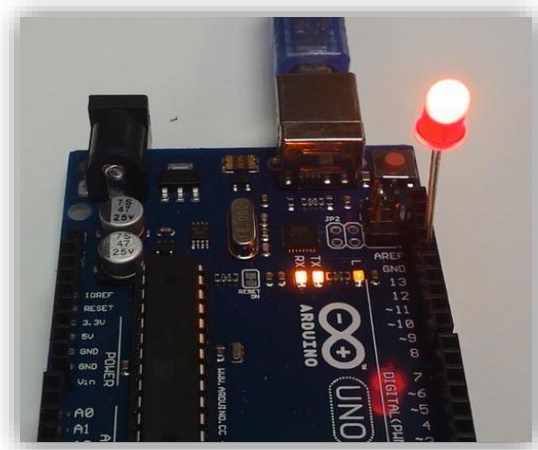


Figura 91: Led encendido

En el segundo caso se ha programado un indicador del estado de meditación de un sujeto. Se ha establecido una serie de valores para activar cada led:

Led	Valor Meditación
Ultravioleta	>0.15
Azul	>0.36
Verde	>0.41
Amarillo	>0.47
Naranja	>0.55
Rojo	>0.66

Tabla 4: Valores establecidos para activar cada led

Es complicado alcanzar el estado máximo de meditación ya que siempre influyen aspectos que no se pueden controlar (ruidos, olores, sensación térmica, etc.) por lo que se ha decidido que el valor máximo del indicador sea 0.66

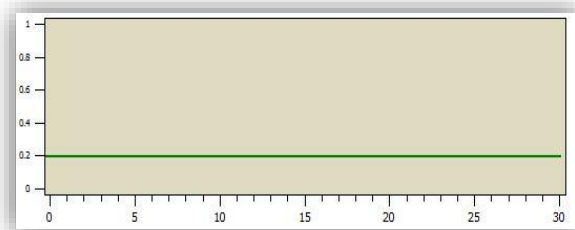


Figura 92: Nivel de meditación bajo

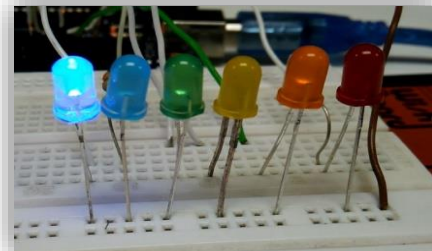


Figura 93: Pocos leds activos

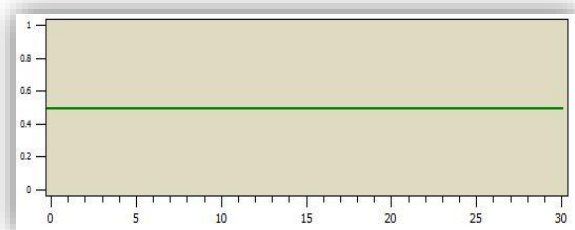


Figura 94: Nivel de meditación medio

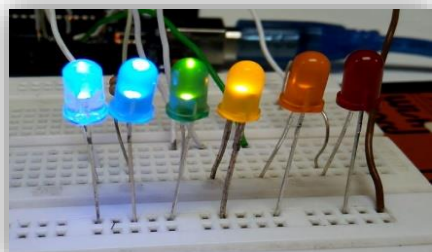


Figura 95: Varios leds activos

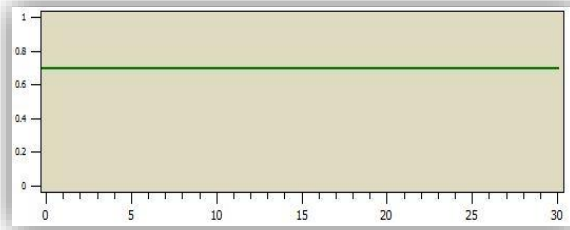


Figura 96: Nivel de meditación alto



Figura 97: Todos los leds activos

En el Anexo II, apartado 4, se encuentra el guion de esta práctica para el alumno.

Capítulo 4

Conclusiones

4. Conclusiones

En el transcurso y la realización del presente Trabajo de Fin de Grado se han podido poner en práctica los siguientes aspectos.

- Se ha comprobado que el equipo de electroencefalografía portátil EMOTIV-EPOC permite una amplia gama de aplicaciones no solo en el campo de la medicina, sino en otras áreas de estudio científico.
- El software diseñado y probado en el presente TFG permite realizar las mismas funciones que trae el kit comercial del propio dispositivo EMOTIV, con la ventaja de que se trata de un software abierto y sin restricciones de licencia, cuyo funcionamiento ha sido verificado con éxito por el Dr. Jesús Llabrés Olmo, antiguo Jefe clínico de neurología del Hospital Universitario de Canarias.
- Además de las funciones que traía el kit comercial, se ha añadido la posibilidad de representar potenciales cerebrales sobre modelos de una cabeza humana en dos y tres dimensiones lo cual facilita en gran medida el estudio de las señales EEG sobre el paciente.
- Se ha implementado un software sobre Matlab que facilita el análisis en detalle de las señales EEG registradas.
- Se ha realizado una interfaz de comunicación entre el dispositivo EMOTIV y la placa electrónica Arduino, de tal forma que las señales EEG interactúan con la placa electrónica permitiendo visualizar en ella estados: afectivos y expresivos
- Ha sido posible la verificación con éxito en las señales EEG registradas, numerosos artefactos biológicos como: el parpadeo, el movimiento ocular y otros. Estos artefactos alteran la señal EEG y es imprescindible su correcta detección para el adecuado procesamiento de las señales. Se han comparado los resultados obtenidos con la bibliografía existente.
- Se ha verificado que el dispositivo de electroencefalografía portátil estudiado, Emotiv EPOC, permite una gran variedad de aplicaciones. Se abre por tanto una amalgama de nuevas posibilidades para trabajos futuros que continúen ampliando el TFG aquí descrito, como ejemplo de posibles aplicaciones estarían: diagnósticos de salud, labores de rehabilitación para pacientes que han sufrido infartos cerebrales, o en el campo de los sistemas robotizados.

Capítulo 5

Referencias

Referencias

1. “Trastornos del sistema Nervioso”. New York Presbyterian. Disponible en la URL:
<http://nyp.org/espanol/library/neuro/anatomy.html>
2. “Encéfalo”. National Geographic. Disponible en la URL:
<http://nationalgeographic.es/ciencia/salud-y-cuerpo-humano/brain-article>
3. “Anatomía y fisiología del sistema nervioso”. Instituto Químico Biológico. Disponible en la URL:
<http://www.iqb.es/neurologia/a002.htm#encefalo><http://www.iqb.es/neurologia/a002.htm>
4. “Lóbulos del cerebro”. Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU. Disponible en la URL:
http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/9549.htm
5. “Neuronas”. Escuela de Medicina P. Universidad Católica de Chile. Disponible en la URL:
<http://escuela.med.puc.cl/paginas/cursos/segundo/histologia/histologiaweb/paginas/ne35145.html>
6. “Neurona”. Profesor en línea. Disponible en la URL:
<http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/neurona.htm>
7. “Transmisión nerviosa”. Bioquímica ambiental. Disponible en la URL:
http://www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_ambiental/tema12/tema%2012-sinapsis.htm
8. “Dibujos e imágenes de las neuronas”. Disponible en la URL:
<http://biologiafotosdibujosimagenes.blogspot.com.es/2011/01/dibujos-de-neuronas-y-sus-partes.html>
9. “¿Qué es la sinapsis?”. Ojo curioso. Sitio dedicado a las diferentes ramas de la ciencia y el conocimiento. Disponible en la URL:
<http://curiosidades.batanga.com/2011/08/07/que-es-la-sinapsis>

10. “Sinapsis”. Universidad de Córdoba. Disponible en la URL:
<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/divbioeco/anatocom/Biologia/Los%20Sistemas/Nervioso/Sinapsis.htm>
11. Simón, Olga. Electroencefalografía: introducción y atlas. Salvat, D.L. 1983
12. “Electroencefalograma EEG”. Centro médico online. Disponible en la URL:
<http://www.webconsultas.com/pruebas-medicas/electroencefalograma-eeeg-12529>
13. “Electroencefalograma EEG”. Biblioteca de la salud Johns Hopkins. Disponible en la URL:
http://www.hopkinsmedicine.org/healthlibrary/test_procedures/neurological/electroencefalogram_eeeg_92,P07655/
14. “Las ondas cerebrales”. Psicología de la percepción visual. Disponible en la URL:
<http://www.ub.edu/pa1/node/130>
15. “Ondas gamma”. Neurociencia. Disponible en la URL:
<http://antroporama.net/que-significan-las-ondas-gamma-cerebrales/>
16. “EEG for Automatic Person Recognition”. IEEE Computer Society. Disponible en la URL:
<http://www.computer.org/csdl/mags/co/2012/07/mco2012070087-abs.html>
17. “Electroencefalograma”. Biblioteca Nacional de Medicina de los EEUU. Disponible en la URL:
<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003931.htm>
18. “Neurotecnología”. Wikipedia, la enciclopedia libre. Disponible en la URL:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Neurotecnolog%C3%ADa>
19. B. González Hernández, Oswaldo. Hernández Alonso, Sergio E. Rodríguez Pérez, Silvestre. Instrumentación electrónica. Universidad de La Laguna. Capítulo 9. 2013

20. "Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas". F. Ramos-Argüelles, G. Morales, S. Egozcue, R.M. Pabón, M.T. Alonso. Disponible en la URL:
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600006
21. "Emotiv EPOC". Emotiv Company. Disponible en la URL:
<https://emotiv.com/epoc.php>
22. "Adquisición de señales electroencefalográficas para el movimiento de un prototipo de silla de ruedas en un sistema BCI". Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. Disponible en la URL:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3212/1/UPS-CT002509.pdf>
23. "Emotiv EPOC & Testbench Specifications". Emotiv Company. Disponible en la URL:
<https://emotiv.com/product-specs/Emotiv%20EPOC%20Specifications%202014.pdf>
24. "Construcción de una nueva interfaz cerebro-computador a partir de una de bajo coste (Emotiv EPOC)". Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en la URL:
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/4462/1/tfg424.pdf>
25. "Matlab: El lenguaje de cálculo técnico". Mathworks. Disponible en la URL:
<http://es.mathworks.com/products/matlab/>
26. "EEGLAB". Swartz Center for Computational Neuroscience. Disponible en la URL:
<http://sccn.ucsd.edu/eeglab/>
27. "OpenViBE". Copro, la enciclopedia libre. Disponible en la URL:
<http://copro.com.ar/OpenVibe.html>
28. "Mind Your OSCs". Emotiv Company. Disponible en la URL:
https://emotiv.com/store/product_85.html
29. "Processing". Wikipedia, la enciclopedia libre. Disponible en la URL:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Processing>

30. “¿Qué es Arduino?”. Creative Technologies Madrid. Disponible en la URL:
<http://madrid.verkstad.cc/es/course-literature/que-es-arduino/>
31. “Manual básico para enfermeros en electroencefalografía” Servicio andaluz de salud. Disponible en la URL:
<http://www.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdesalud/huvvsites/default/files/revistas/ED-094-07.pdf>
32. “Spectral methods of automatic detection of artifacts in digital eeg-systems”. Biomedical Engineering. Disponible en la URL:
http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-3-642-02365-6_49?LI=true
33. “Artifacts in EEG Final”. Disponible en la URL:
http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-3-642-02365-6_49?LI=true
34. “The Atlas of Adult Electroencephalography”. David Strayhorn. Disponible en la URL:
<http://eegatlas-online.com/>
35. “El cerebro y la música”. Julieta Hoyos.
http://www.avizora.com/publicaciones/musica/textos/0029_cerebro_musica.htm
36. “Efectos de la música en el EEG”. Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). Disponible en la URL:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lps/gomez_g_j/capitulo1.pdf
37. “Desarrollo de interfaces para la detección del habla sub-vocal”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible en la URL:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2013000300013&script=sci_arttext
38. National Instruments. Introducción a LabVIEW. 2015. Disponible en la URL:
<http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>

Anexos

ANEXO I - INSTALACIÓN Y COLOCACIÓN DEL DISPOSITIVO

(Emotiv EPOC)

Para instalar el kit de desarrollo Emotiv será necesario ingresar la licencia otorgada por la compañía para su posterior registro en línea. Este procedimiento se inicializa ejecutando el instalador proporcionado. Al tener concluida la instalación se procederá a adecuar el dispositivo para su correcto uso.

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

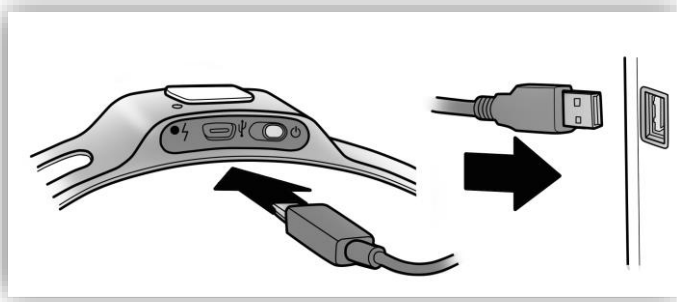


Figura 1: Cargar en PC

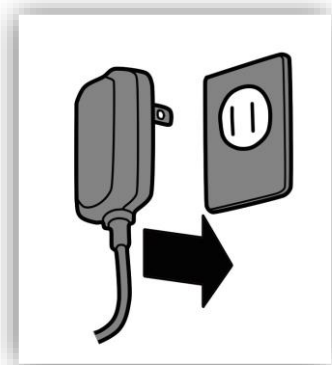


Figura 2: Cargar desde una toma de corriente

El dispositivo cuenta con tres leds indicadores colocados en la parte posterior del casco.

Color	Significado
Azul	Encendido
Rojo	Cargando la batería
Verde	Carga completa

Tabla 1: Significado leds del EPOC

Antes de usar el dispositivo es necesario verificar si los sensores se encuentran hidratados con la solución salina dada en la caja.

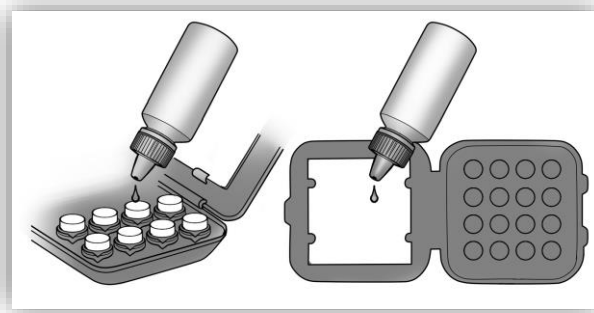


Figura 3: Hidratar sensores

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

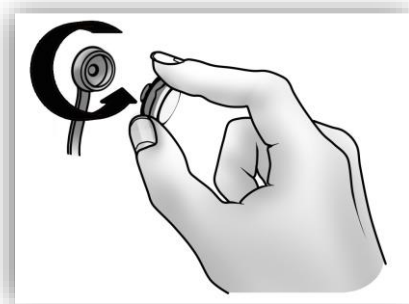


Figura 4: Colocación de los sensores

Este proceso también se ha de realizar cuando se termine de usar el dispositivo. Es necesario retirar uno por uno los sensores y colocarlos nuevamente en su caja.

A continuación se insertará el receptor USB en el computador para su posterior sincronización con el mismo y seguidamente se encenderá el dispositivo.

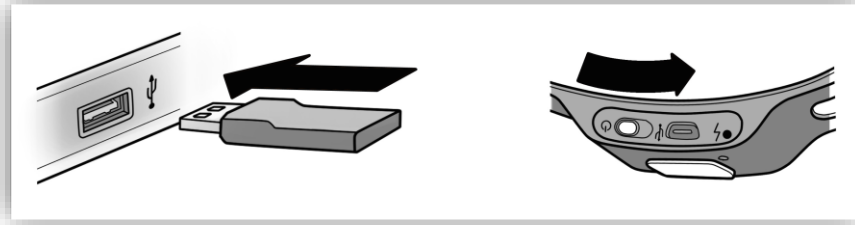


Figura 5: Activar el EPOC

La manera de ubicar en la cabeza el Emotiv EPOC headset es la que se observa en las figura - y -. Con ambas manos, se debe colocar el EPOC desde la parte superior de la cabeza, descendiendo hasta que se llegue a ubicar los sensores de manera correcta, recordando que las referencias CMS y DRL deben estar a la altura de las orejas y prestando atención en que los sensores de la parte frontal tienen que ser ubicados aproximadamente a dos o tres dedos desde las cejas hacia el sensor.

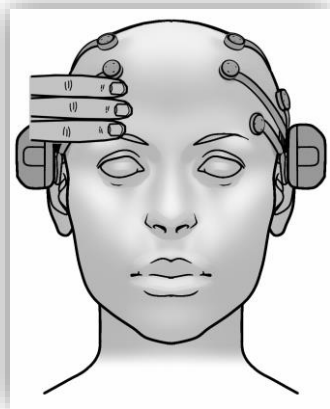


Figura 6: Colocación del EPOC

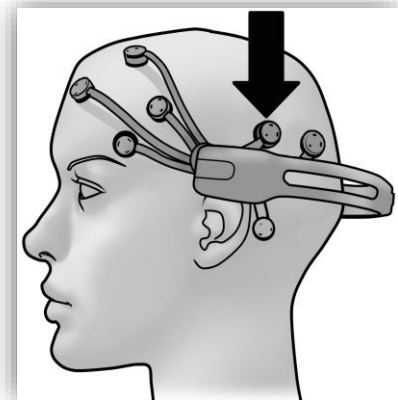


Figura 7: Colocación del EPOC

ANEXO II - Enunciados de prácticas propuestas asociadas al TFG

PRÁCTICA DE LABORATORIO 1

Aplicaciones prácticas y análisis de la adquisición de señales EEG en tiempo real

1.1. Objetivos generales

El objetivo de la presente práctica es la adquisición, familiarización y estudio de señales de electroencefalografía (EEG) en tiempo real. Para ello, se hará uso de un equipo de adquisición dispuesto de sensores para tal fin, el EMOTIV EPOC, y el software LabVIEW de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico que permite visualizar el comportamiento en tiempo real de las señales citadas.

Para la visualización de las señales EEG, se adjunta un programa en LabVIEW que cuenta además con la opción de estudiar la reacción del sistema nervioso ante acciones expresivas.

1.2. Objetivos específicos

Se pretende conseguir la forma de las señales EEG producidas como respuesta a estímulos expresivos concretos, que serán:

- Parpadeo constante
- Sonreír
- Movimiento de cejas
- Fruncir el ceño

Estas señales serán comparadas con casos reales de pacientes que han sido ya estudiados, con el fin de obtener unos resultados similares. Asimismo, se estudiarán algunas características de las señales correspondientes a cada caso, como pueden ser sus amplitudes máximas y mínimas.

1.3. Adquisición de las señales EEG

La adquisición se lleva a cabo utilizando la diadema de la EPOC con sus correspondientes electrodos, que obtendrán señales de amplitudes extremadamente pequeñas en un margen de tensión de entre $5\mu\text{V}$ y $300\mu\text{V}$ en un margen de frecuencias de 0Hz hasta incluso alrededor de 150 Hz. Para la visualización de estas señales resulta necesario la creación de una interfaz de comunicación entre la EMOTIV y un programa diseñado para tal fin. En este caso la plataforma empleada será LabVIEW.

1.4. Interfaz LabVIEW – EMOTIV EPOC

El software del Emotiv Epoc trabaja con archivos de extensión `edk.dll` y `edk_utils.dll`, los cuales son librerías de vínculos dinámicos que contienen una biblioteca de datos y código que pueden ser utilizados por otros programas al mismo tiempo.

LabVIEW posee unas librerías con las que se puede realizar la interfaz de este con los archivos ya mencionados y se forma, formándose una dependencia con el programa Control Panel.

En este Trabajo se ha utilizado una librería específica para la EMOTIV que realiza esta interfaz.

1.5. Librería EMOTIV TASK para LabVIEW

Para empezar a utilizar la librería, es necesario tener en cuenta los siguientes vi para conseguir una correcta interfaz.

15. `EmotivCreate Task.vi`: en este vi se debe ubicar la dirección del archivo `edk.dll` y colocar el path del subvi.
16. `EmotivStart Task.vi`: se utiliza para iniciar la interfaz.
17. Estructura `while`: aquí se programa lo que se desea realizar.
18. `Emotiv Read.vi`: dentro del bucle `while`, se utilizará para estudiar las acciones cognitivas deseadas.
19. `Emotiv Stop Task.vi`: se utiliza fuera del bucle `while` para establecer la interfaz.
20. `Error out`: se utiliza para visualizar un error en caso de que se interrumpa la dependencia.

El diagrama de bloques tendrá la misma estructura para cada acción expresiva que se desee estudiar y será el que se muestra a continuación utilizando las diferentes funciones incorporadas en la librería Emotiv Toolkit descritas anteriormente:

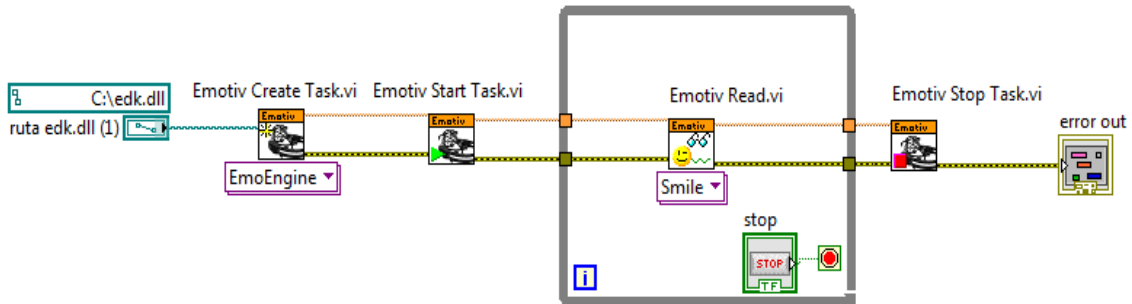


Figura 1: Diagrama de bloques para el estudio de acciones expresivas en LabVIEW

Una vez realizada la interfaz, puede utilizarse el subvi Emotiv Read.vi para estudiar el comportamiento de las señales EEG ante acciones cognitivas o expresivas. Si por ejemplo se selecciona la opción *Smile*, al ejecutar el programa se obtendrá un pulso positivo cuando el dispositivo de electroencefalografía detecte que el sujeto está sonriendo.



Figura 2: Emotiv Read.vi en LabVIEW

Para que esto pueda ser comprobado visualmente de forma más sencilla, se colocará un indicador booleano luminoso (*true* o *false*) en el programa que se encenderá en el momento en el que se detecte el pulso positivo. De esta manera, el bucle se presenta del siguiente modo en cuatro casos correspondientes a cada acción expresiva concreta que pretende estudiarse:

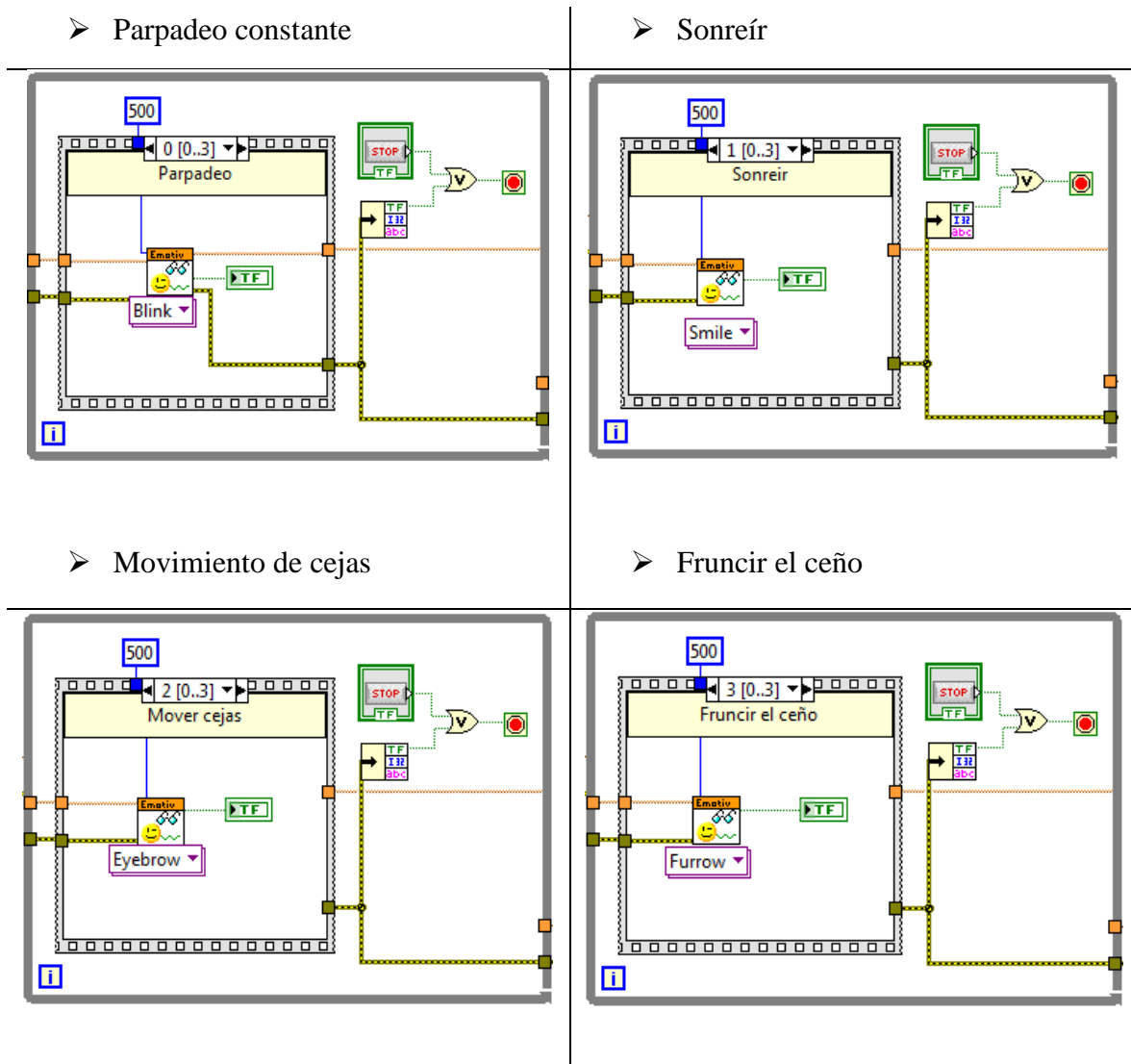


Figura 3: Diagrama de bloques correspondiente a cada acción expresiva en LabVIEW

1.6. Visualización de señales EEG

Para el correcto estudio de la reacción del sistema nervioso ante acciones cognitivas o expresivas, se aporta la visualización de las señales EEG de los catorce electrodos usados. Para que esto sea posible, además de los vi mencionados anteriormente se hace uso de los siguientes:

- EEG Data Start.vi: identificador de datos que se utiliza para proporcionar acceso a los datos de EEG. antes de la recogida de datos, se Inicializa un búfer.

- EEG Data Acquire.vi: inicia la recuperación de los últimos datos EEG existentes en el búfer. Además, se define el número de muestras de datos disponibles, las cuales se utilizan para crear un búfer de datos de ingreso.

La estructura gráfica necesaria para la visualización de las citadas señales es la siguiente:

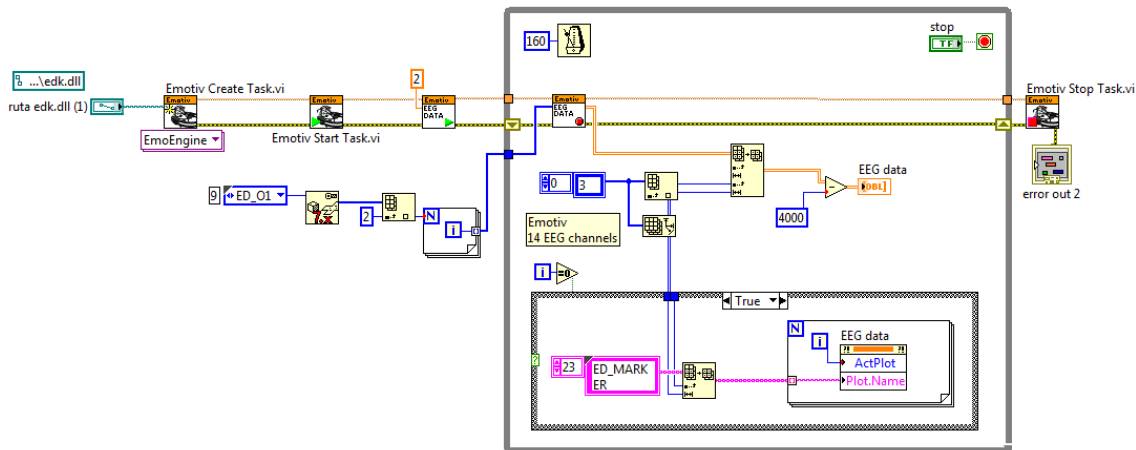


Figura 4: Diagrama de bloques de la visualización de señales EEG en LabVIEW

En este caso, se separan los datos adquiridos en catorce canales diferentes, correspondientes cada uno de ellos a la señal captada por cada electrodo respectivo del dispositivo EMOTIV.

Una vez presentado el entorno gráfico de programación, se pretende profundizar en el estudio de la variación de las señales EEG ante estímulos cognitivos o expresivos. Es por ello que en primer lugar se realizará la obtención práctica a tiempo real de dichas señales ante la acción de artefactos biológicos concretos, con el fin de que puedan ser comparadas con registros originales del mismo tipo de artefacto en cada caso. Para ello, se aportan los registros de varios usuarios como ejemplo previamente estudiados.

1.7. Realización práctica

Para llevar a cabo el estudio, junto al presente guion se aportarán los archivos necesarios para tal fin. Tras colocarse correctamente la diadema EMOTIV sobre el sujeto que pretende ser estudiado y verificar el correcto contacto de conexionado entre éste y los electrodos del aparato, se seguirán los siguientes pasos antes de ejecutar el programa.

1. Abrir el archivo *EEG.vi* aportado en la presente práctica con LabVIEW Instrument.
2. Una vez iniciado LabVIEW, debe seleccionarse la ruta de ubicación donde se encuentre el archivo *edk.dll* en nuestro equipo.
3. Ejecute el programa.

Una vez puesto en marcha el programa, en el panel frontal se visualizará la representación gráfica de catorce señales correspondientes a las proporcionadas respectivamente por cada uno de los electrodos que incorpora el dispositivo EMOTIV.

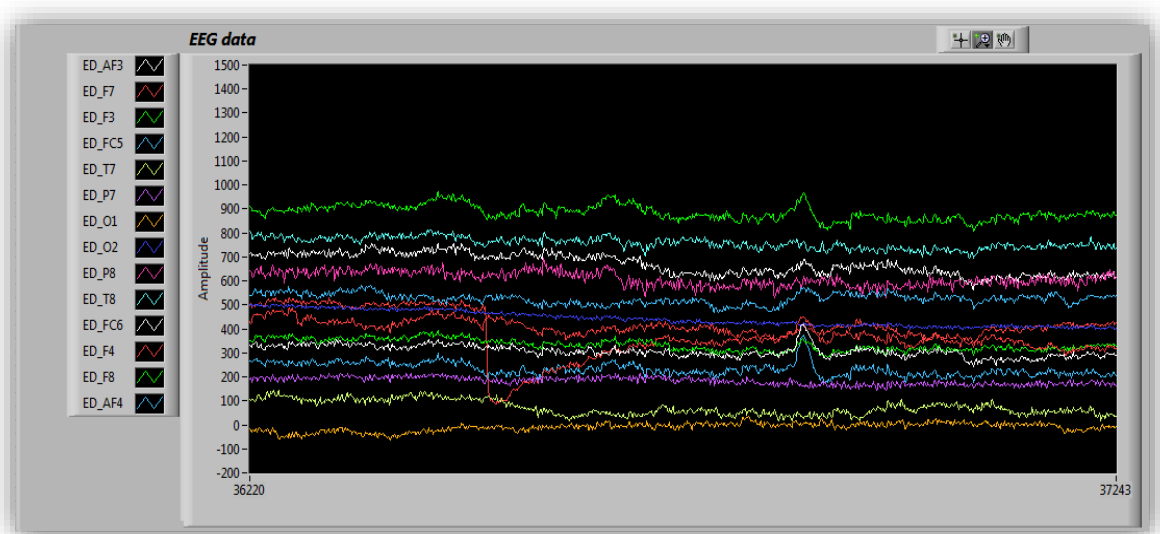


Figura 5: Panel frontal de la visualización de señales EEG en LabVIEW

Además, se añaden indicadores booleanos luminosos para cada acción expresiva, los cuales se iluminarán en cada caso cuando el bloque funcional de cada acción (parpadeo, sonreír, mover cejas y fruncir el ceño) proporcione un pulso activo en su salida. Por

ejemplo, cuando el sujeto sonría se encenderá el indicador luminoso correspondiente y así de la misma forma para los tres casos restantes.

Gracias a estos indicadores, se facilita la tarea de estudiar las señales EEG correspondientes al tipo de acción expresiva que pretende estudiarse en cada caso.

1.8. Resultados

Las señales obtenidas deberán ser similares a las que se muestran a continuación, las cuales corresponden a sujetos previamente estudiados.

➤ Parpadeo

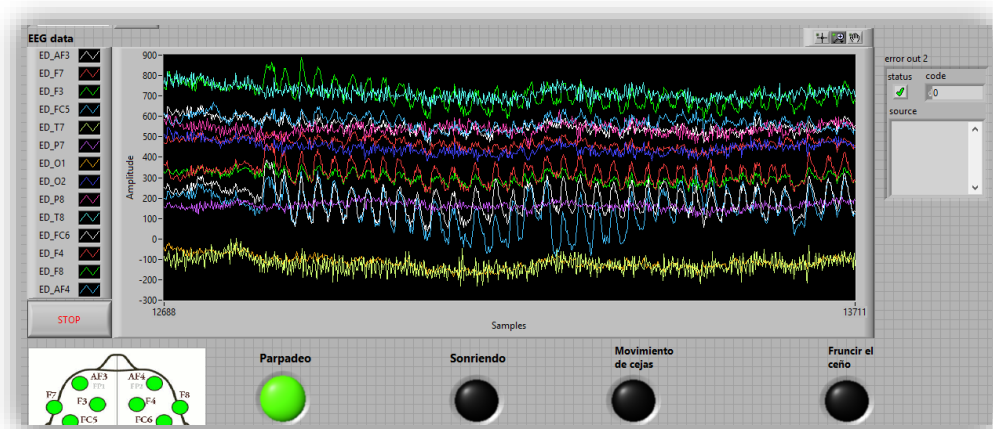


Figura 6: EEG del parpadeo constante

➤ Sonreír

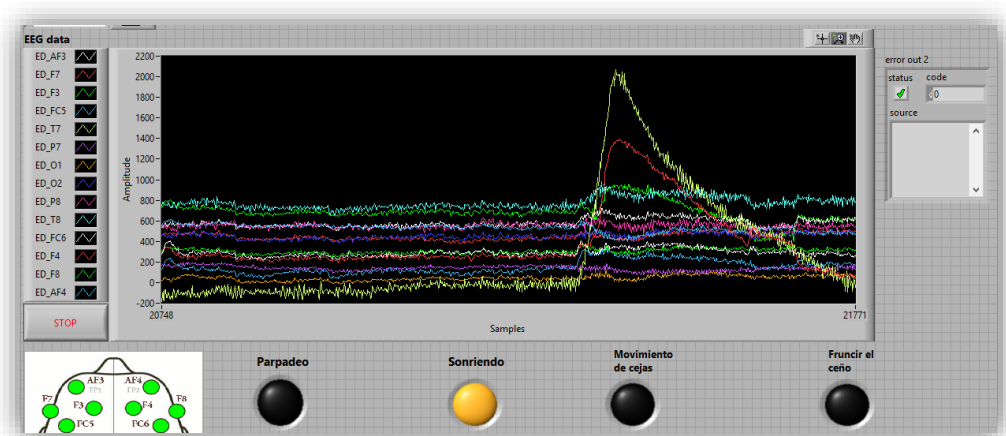


Figura 7: EEG durante la sonrisa

➤ Movimiento de cejas

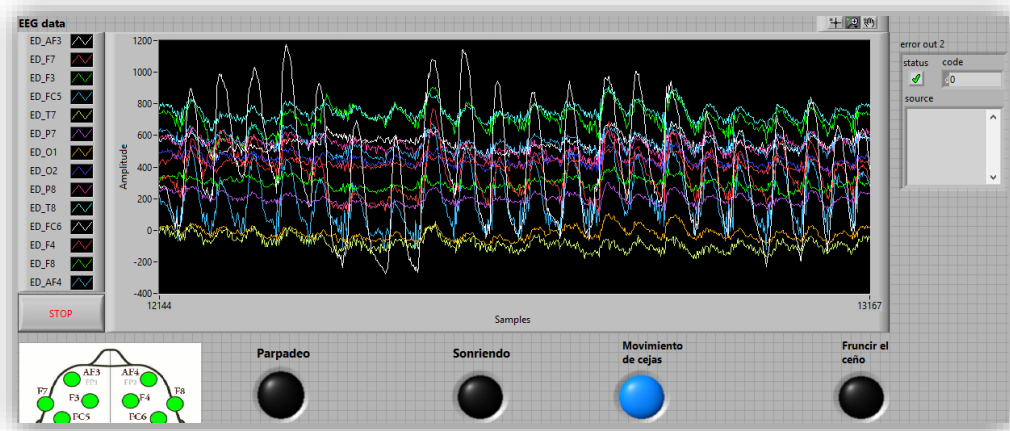


Figura 8: EEG ante un movimiento de cejas constante

➤ Fruncir el ceño

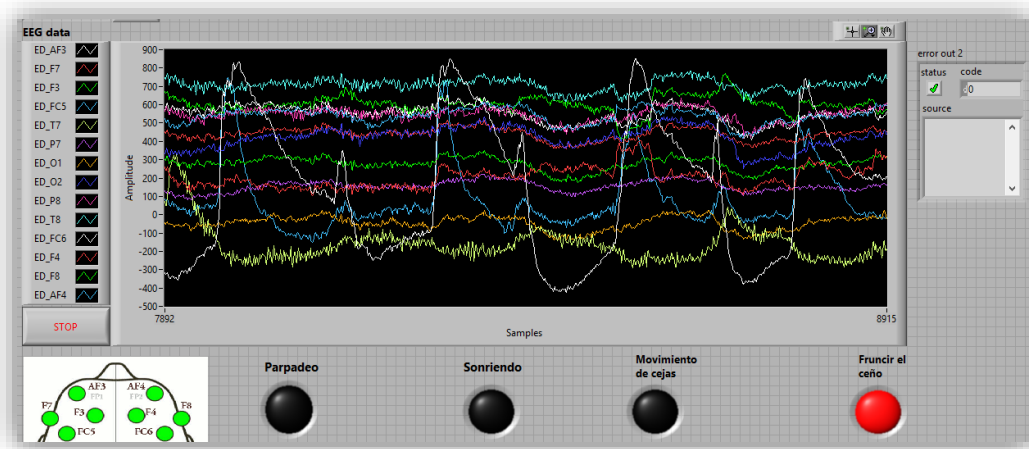


Figura 9: EEG ante la acción de fruncir el ceño

PRÁCTICA DE LABORATORIO 2

Adquisición y familiarización de las señales EEG mediante la utilización de una herramienta comercial de proceso (EEGLAB)

1.1. Introducción

Esta práctica está diseñada para que el estudiante se familiarice con el entorno EEG mediante una aplicación del programa MATLAB. Se podrá estudiar cualquier señal guardada de un aparato de electroencefalografía, en este caso del Emotiv Epoc.

1.2. Objetivos

1. Adquirir la señal EEG
2. Familiarizarse con la aplicación EEGLAB
3. Realizar una serie de ejercicios relacionados con la aplicación

1.3. Marco teórico

El electroencefalograma, encefalograma o EEG es una prueba que se usa para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, concretamente de la actividad de la corteza del cerebro. La actividad coordinada de miles de neuronas produce diferencias de potencial en el cuero cabelludo que pueden ser registradas utilizando electrodos en conjunción con amplificadores de señal. Es decir, colocando una serie de electrodos repartidos por la cabeza podemos hacernos una idea de en qué zonas de nuestro cerebro se está produciendo mayor actividad.

Para estudiar las señales EEG se utilizará la herramienta interactiva para MATLAB llamada EEGLAB. Esta herramienta está diseñada para el procesamiento de EEG, MEG y otros datos electrofisiológicos que incorporen el ICA (Independent Component Analysis),

análisis de tiempo/frecuencia, estadísticas relacionados con el evento y varios modos de visualización del promedio y los datos de una sola prueba. Fue desarrollada en MATLAB 5.3 bajo Linux. Actualmente se puede ejecutar en MATLAB v5 y superiores bajo Linux, Unix, Windows y Mac OS X. Se puede descargar de manera gratuita en su página oficial.

1.4. Materiales

- Equipo Emotiv Epoc
- PC instalado Matlab
- Librería EEGLAB

1.5. Procedimiento

La adquisición de la señal de EEG se realiza por medio del Emotiv Epoc. En este caso la adquisición ya se ha realizado mediante el TESTBENCH y se ha guardado un archivo .edf de aproximadamente dos minutos de duración.



Figura 1: Emotiv EPOC

Para un buen uso del EEGLAB es fundamental una correcta instalación. Se descomprime el archivo y se instala en la carpeta toolbox de Matlab (C:\Archivos de programa (x86)\MATLAB\R2012b\toolbox). Para poder trabajar con la toolbox solo es necesario ejecutar *eeglab* en MATLAB.

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> eeglab
eeglab: options file is C:\Users\Pacheco\eeg_options.m
EEGLAB: adding "Biosig" to the path; subfolders (if any) might be missing from the path
EEGLAB: adding "dipfit" v2.3 (see >> help eegplugin_dipfit)
EEGLAB: adding "firfilt" v1.6.1 (see >> help eegplugin_firfilt)
Could not check for the latest EEGLAB version (internet may be disconnected).
To prevent long startup time, disable checking for new EEGLAB version (FILE > Memory and other o
ft >> |
  
```

Figura 2: Ejecutando EEGLAB

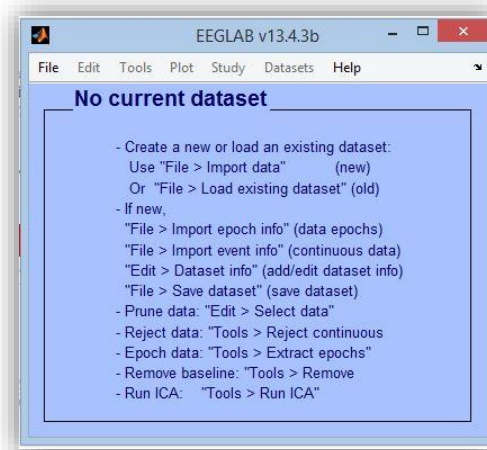


Figura 3: Ventana EEGLAB

Para leer la señal se tendrán que seguir los siguientes pasos:

- El archivo se llamará “prueba1.edf” y estará localizada en la carpeta correspondiente
- Como se trata de una señal capturada con un Emotiv Epoc se insertará mediante: *File-> Import data -> Using EEGLAB functions and plugins -> From EDF/EDF+/GDF files (BIOSIG toolbox)*
- Seguidamente saldrá una ventana donde debemos poner los canales que deseamos ver (Channel list). En principio se pondrán desde el 3 hasta el 16 (los 14 electrodos que posee el Emotiv Epoc). Importante: Hay que poner todos los números desde el 3 hasta el 16, el formato 3-16 no es válido.

Además se deberán importar las posiciones de los electrodos. Para ello se incluirá un archivo .ced donde estén las coordenadas de cada electrodo. Este archivo se puede visualizar con el bloc de notas por si requiere alguna modificación.

- Se pueden importar estas posiciones utilizando: *Edit -> Channel Locations -> Read Locations*
- Seleccionar el archivo “canales_oficial.ced”. Una vez cargadas las posiciones se debería visualizar como en la *Ilustración 4*
- Para visualizar la posición de los electrodos (*Ilustración 5*): *Plot -> Channel Locations -> By Name/By Number*

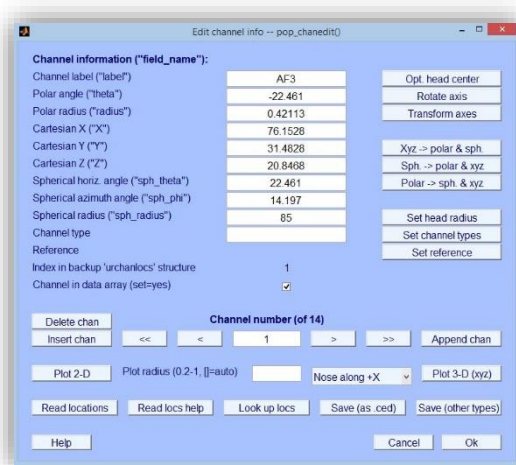


Figura 4: Channel Locations

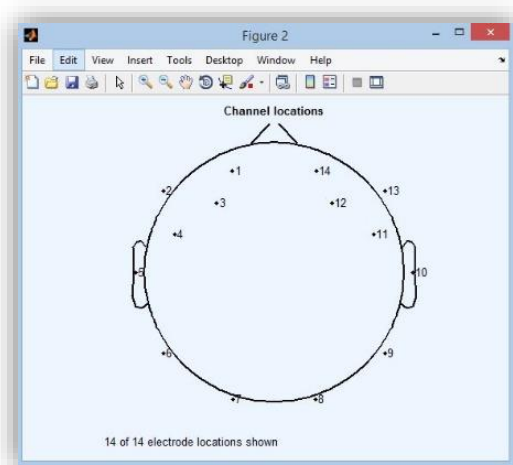


Figura 5: Posición de los electrodos

Una vez configurada la localización de los electrodos ya se puede visualizar y segmentar la señal EEG. Para poder ver la señal:

- *Plot -> Channel Data (Scroll)*
- Utilizar los signos +/- para cambiar la escala de la señal y las flechas para navegar a lo largo de ella. No es necesario visualizar los 14 electrodos para poder segmentar la señal pero si deseamos verla como en la imagen predeterminada no aparecen hay dos formas de solucionarlo:

a) Cambiando la escala hasta poder verlas todas. Esto tiene un problema ya que no se aprecian los cambios de las señales.

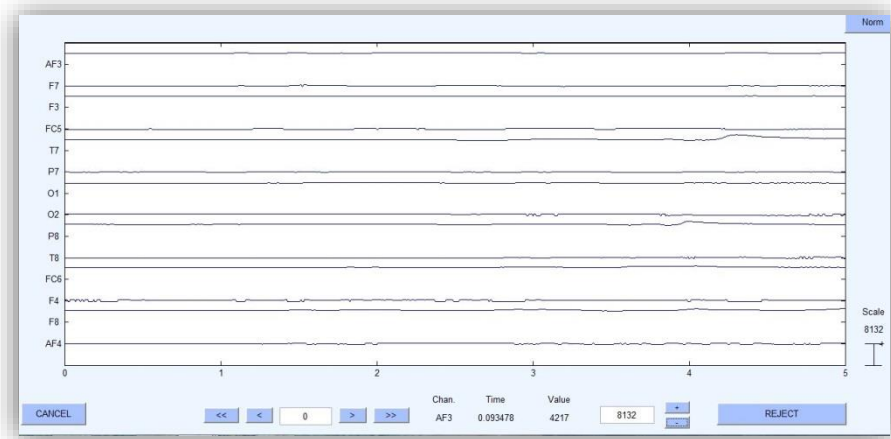


Figura 6: Visualización electrodos 1

- b) Podemos visualizar los canales de 7 en 7 o en el rango que se desee en:
Settings -> Number of channels to display

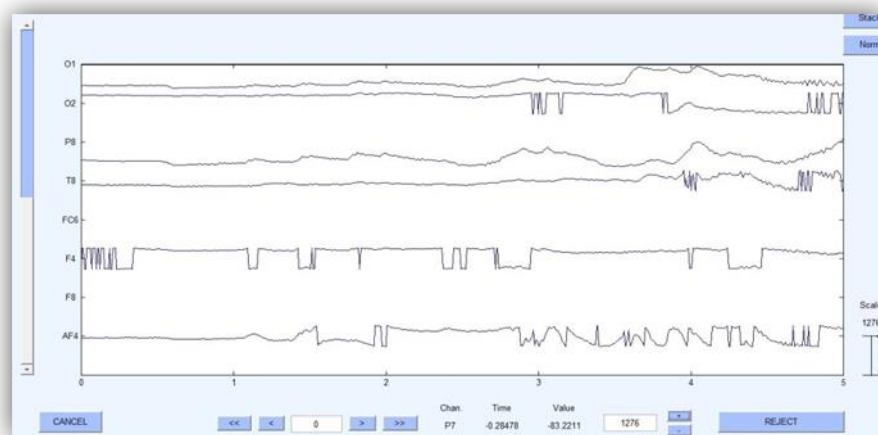


Figura 7: Visualización electrodos 2

- Para guardar una parte de la señal: *Edit -> Select Data-> Time Range*
- Para visualizar los diferentes datasets sólo hay que seleccionar la ventana “Datasets”

Si se desea eliminar las tendencias ascendentes o descendentes se puede eliminar la línea base de las señales (offset) mediante *Tools -> Remove baseline*.

Para poder representar los espectros de la potencia es recomendable realizar un análisis de componentes independientes (ICA). Se ejecuta de la siguiente manera: *Tools-> Run ICA*. Finalmente para representar los espectros habrá que ir a: *Plot -> Channel spectra*

and maps. Es recomendable poner en las frecuencias a representar los valores medios de las bandas alfa, beta, delta y theta (2, 6, 10, 21).

1.6. Ejercicios propuestos

Debido a que esta práctica consiste en la familiarización de la señal EEG con la aplicación EEGLAB no existen resultados de esta. Por lo tanto se han elaborado varios ejercicios para comprobar si el alumno ha entendido correctamente el procedimiento. Hay que recordar que el archivo .edf se ha creado con dos intervalos bastante diferenciados de cara a algunos de estos ejercicios.

Pregunta 1: Una vez que cargamos el archivo y seleccionamos los canales que queremos ver ¿qué datos más relevantes nos da el programa?



Figura 8: Ventana EEGLAB

Respuesta:

Número de canales: 14

Fotogramas por tiempo: 15488

Tiempo Inicial y tiempo final: 0-120.992 seg

Frecuencia: 128 Hz

Tamaño del archivo: 1 Mb

Pregunta 2: Visualizar las posiciones de los electrodos del Emotiv EPOC y decir en cuántas zonas cerebrales se sitúan dichos electrodos según su nombre y posición.

Respuesta: Cada hemisferio posee varias cisuras que lo subdividen en lóbulos: El lóbulo frontal, El lóbulo parietal, El lóbulo occipital, El lóbulo temporal.

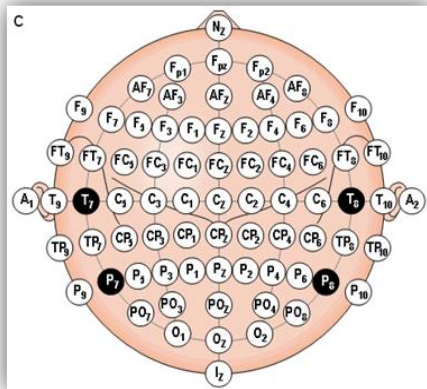


Figura 9: Sistema 10/20 EEG

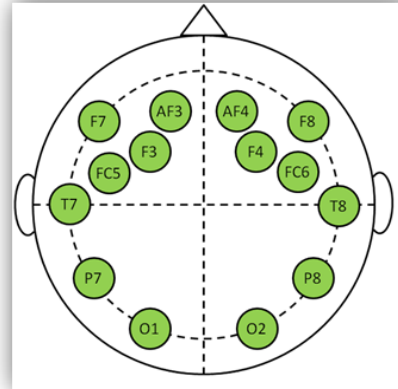


Figura 10: Electrodos Emotiv EPOC

A continuación, se exponen y describen las denominaciones estándar de los electrodos. (Nota: por convención, los electrodos designados con números impares se localizan a la izquierda, y los pares a la derecha).

- F3/F4= Mediofrontal sobre el lóbulo frontal (registra la actividad frontal)
- FC5/FC6 = Frontal central
- F7/F8= Frontal inferior, en ocasiones denominado temporal anterior (registra la actividad de las regiones orbitofrontal, frontal lateral y temporal anterior).
- T7/T8= Temporal medial (registra la actividad de las regiones temporales anterior y medial).
- P7/P8 = Parietal (registra la actividad parietal).
- O1/O2= Occipital (registra la actividad occipital).

Pregunta 3: Al visualizar la señal completa ¿Por qué crees que se produce un cambio en la señal? ¿Qué diferencia ves? Genera dos *datasheets* que contengan las dos partes diferenciadas. Indica que intervalos de tiempo has escogido.

Respuesta: Se ve claramente dos partes diferenciadas. En primer lugar las señales varían mucho presentando altos niveles de irregularidad hasta el segundo 40-45 donde se estabilizan la mayoría. Esto es debido a que en los primeros segundos de la prueba el sujeto se ha estado moviendo y realizando acciones faciales mientras que pasado el segundo 45 ha presentado un estado de reposo en el cual solo se pueden ver como variación de la señal a los parpadeos.

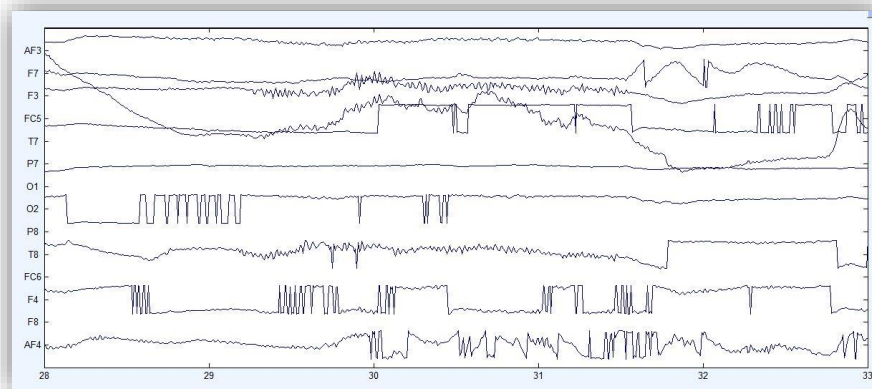


Figura 11: Parte 1 (0-45 segundos)

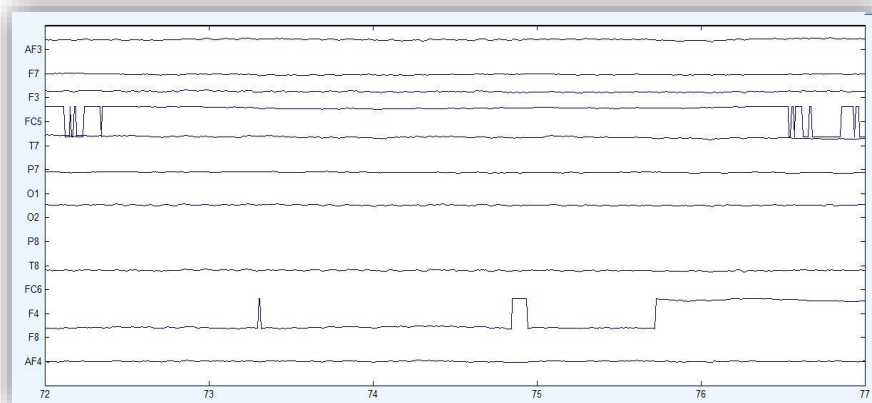


Figura 12: Parte 2 (45-120 segundos)

Pregunta 4: ¿Qué ventaja ves que aparece al eliminar la línea de base?

Respuesta: Aparte de lo mencionado anteriormente de eliminar las tendencias ascendentes o descendentes también se puede ver como ahora vemos las 14 señales en el plot con la misma escala.

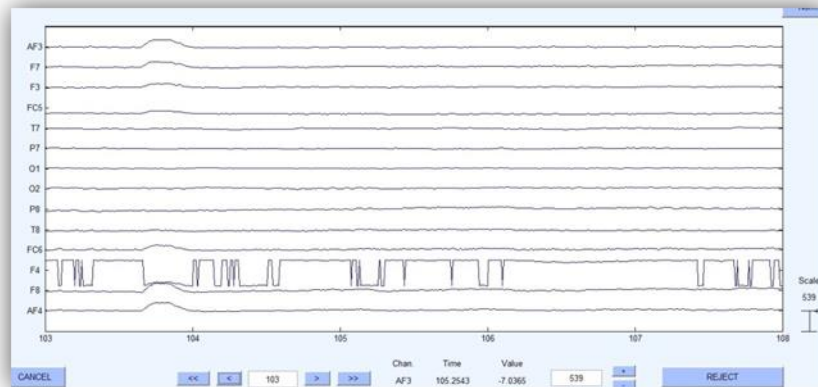


Figura 13: Señal sin línea de base

Pregunta 5: Genera dos segmentos de 5 segundos de cada uno de los dos datasets creados anteriormente que se encuentren lo menos contaminado por ningún artefacto, es decir, que no tengan demasiado ruido. Indica los instantes de tiempo de estos dos segmentos y haz captura de pantalla de ellos. Calcula su espectro antes y después de eliminar la línea de base. Comenta las diferencias.

Respuesta: Aquí tenemos el ejemplo de un segmento escogido del segundo dataset, en concreto del segundo 47 al 52. En las imágenes de la izquierda se muestran con la línea de base mientras que en las figuras de la derecha se muestran sin ésta.

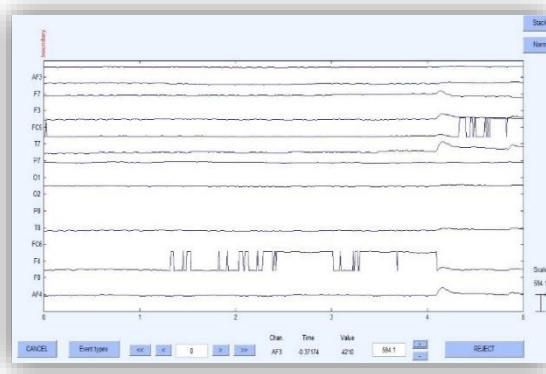


Figura 14: Con línea de base

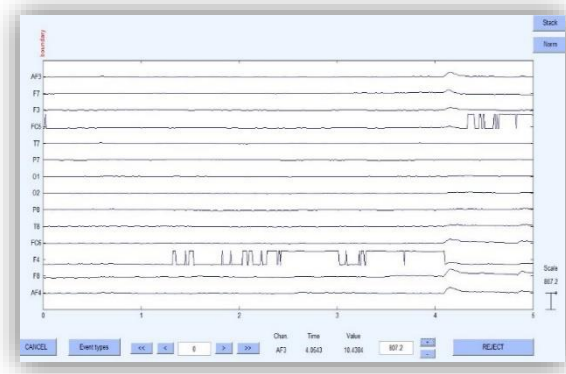


Figura 15: Sin línea de base

En las figuras que contienen la línea de base, la potencia es mucho mayor que a las que se les suprimió ya que la línea de base representa un valor promedio en cada una de las señales.

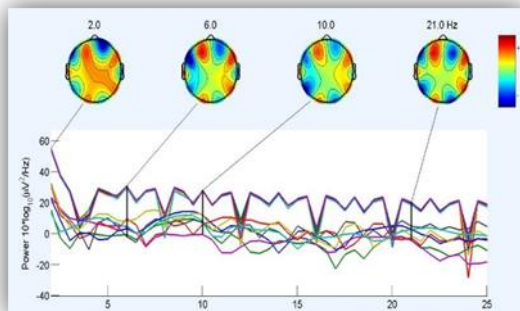


Figura 16: Potencia con línea de base

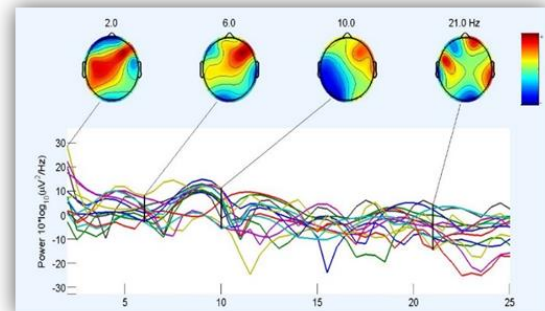


Figura 17: Potencia sin línea de base

Pregunta 6: ¿Qué es lo que hace el programa cuando representas las señales, seleccionas una parte y presionas *reject*? Realiza una captura de pantalla del antes y el después. ¿Cómo mejorarías esa función?

Respuesta: Al presionar *reject* se elimina la parte seleccionada. Una manera de mejorar esta función sería que en lugar de eliminar todos los electrodos de la parte seleccionada se podría reemplazar los electrodos con ruido por una línea horizontal.

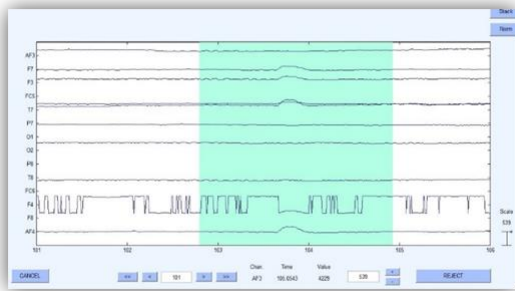


Figura 18: Parte seleccionada

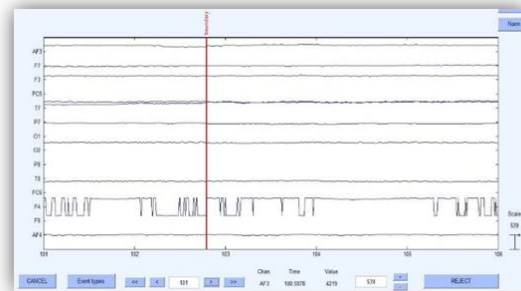


Figura 19: Señal con la parte eliminada

Pregunta 7: Utiliza el resto de funciones disponibles en el EEGLAB y comenta su funcionalidad (cambio de referencia, cambio de la frecuencia de muestreo, reject continuous data by eye)

Respuesta:

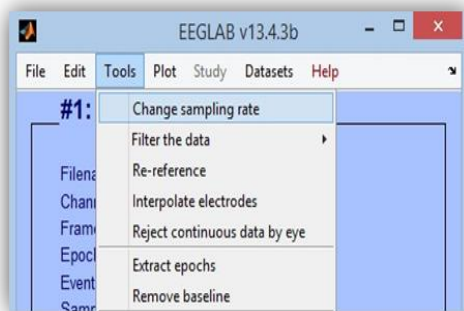


Figura 19: Change sampling rate

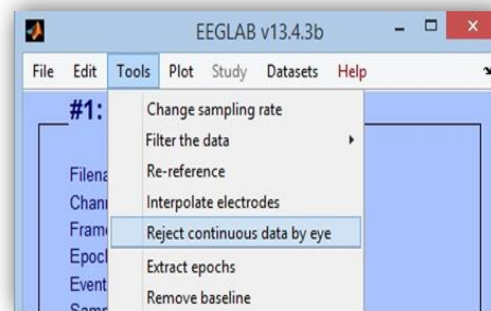


Figura 20: Reject continuous data by eye

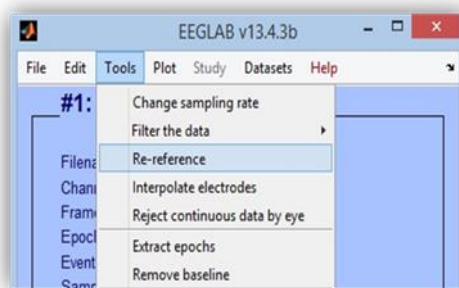


Figura 21: Change sampling rate

- Re-reference: Esta función permite tomar otro canal de referencia y darle valores.
- Change sampling rate: Es la velocidad de muestreo, así que si originalmente tiene dado 1000/s y se lo cambio a 10 (demostrativo) la calidad será menor.
- Reject continuous data by eye: Se pueden quitar partes de la señal que no son de interés.

PRÁCTICA DE LABORATORIO 3

Visualización en tiempo real de los potenciales del cerebro

1.1. Introducción

Además de poder utilizar las señales del cerebro para visualizar las ondas también podemos visualizar la potencia que nos dan los electrodos en una visualización con colores que nos indican que parte del cerebro está generando un mayor potencial en una determinada actividad.

1.2. Objetivos

1. Conseguir un mapeo en 2D y en 3D del cerebro utilizando el programa OpenViBE

1.3. Marco teórico

OpenViBE es una plataforma de software dedicada a diseñar, probar y usar interfaces cerebro-computadora. El paquete incluye una herramienta de diseño para crear y ejecutar aplicaciones personalizadas.

OpenViBE es un software que permite el procesamiento en tiempo real de las señales cerebrales. Puede utilizarse para adquirir, filtrar, procesar, clasificar y visualizar las señales del cerebro en tiempo real. Los principales campos de aplicación de este programa son médicos (asistencia a personas con discapacidad, biorretroalimentación en tiempo real, neurofeedback), multimedia (realidad virtual, videojuegos), robótica y otros campos de aplicación relacionado con interfaces cerebro-computadora.

En la página oficial se encuentra disponible el software para descargarlo directamente de forma gratuita.

1.4. Materiales:

- Emotiv Epoc
- PC instalado OpenViBE

1.5. Procedimiento

La adquisición de la señal de EEG se realiza por medio del Emotiv Epoc. Para un buen funcionamiento los electrodos deben estar humedecidos y en el CONTROL PANEL se debe comprobar la correcta ubicación de estos.



Figura 1: Emotiv Epoc

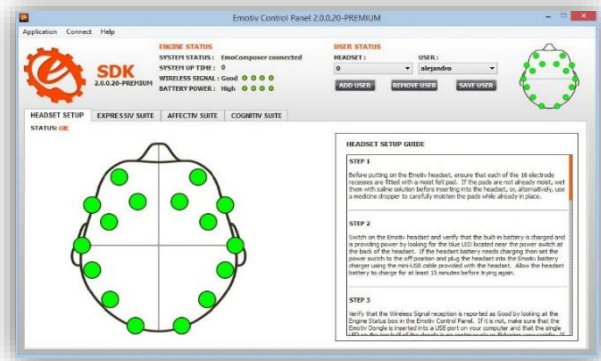


Figura 2: Control Panel

Una vez verificada la señal de los electrodos podemos cerrar la aplicación de CONTROL PANEL y abrir el programa OpenViBE Designer.

Se programa la aplicación para que realice lo siguiente:

- Mostrar las señales de todos los electrodos
- Mostrar el espectro de cada ritmo
- Visualizar en 2D y 3D la situación real de los electrodos en la cabeza
- La localización de los electrodos es la que viene en las librerías (Openvibe/share/electrode_sets)
- El filtro creado (Temporal filter) es un Butterworth de orden 4 pasa banda con una frecuencia de corte distinta para cada ritmo (alpha, beta, theta y delta)

- Se ha añadido un selector de bandas de frecuencia para que el espectro solo muestre los valores entre el rango de frecuencia dado.

Los cuatros casos tienen la misma estructura. Solo se deberá cambiar el rango de frecuencia.

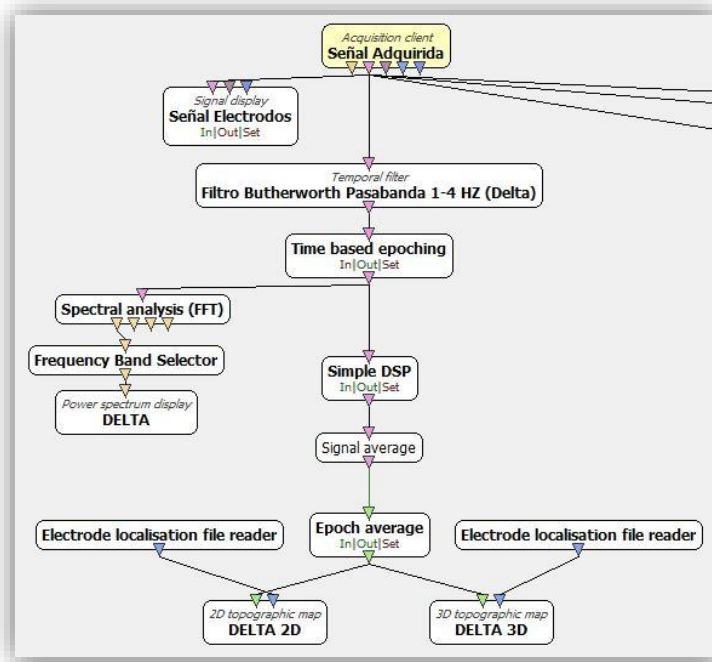


Figura 3: Parte del programa que representa Delta

A continuación se deberá abrir la aplicación OpenViBE Acquisition Server para hacer la interfaz con el programa y el Emotiv Epoc. Lo primero que hay que configurar es la ruta de la librería del Epoc (.dll) y seguidamente establecer la tasa de muestreo a 128.



Figura 4: Driver configuration

Una vez conectado solo se necesita activar el diseño presionando el botón “play” del OpenViBE-designer.

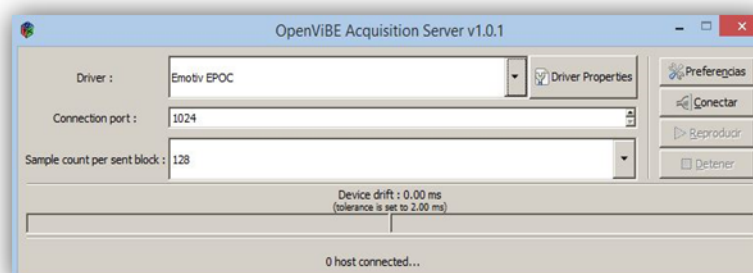


Figura 5: Acquisition Server

1.6. Resultados

Una vez realizado todo el procedimiento se debería ver algo parecido a la siguiente figura.

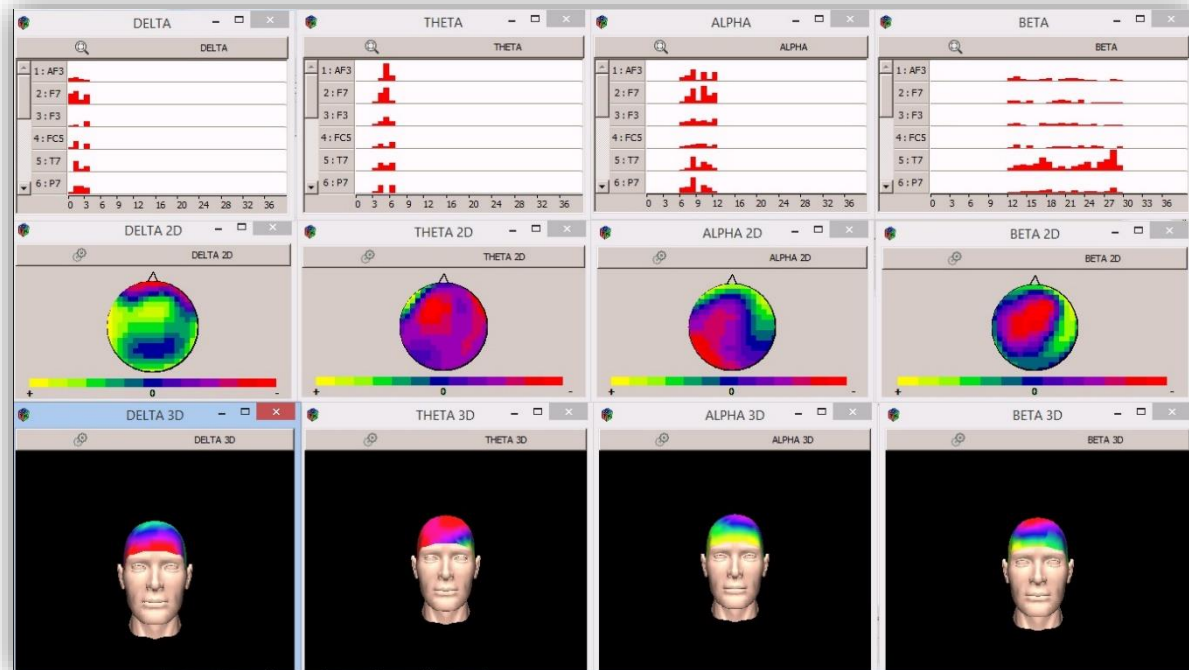


Figura 6: Mapeo de los ritmos en 2D y 3D

Tanto la figura 3D como la 2D se puede rotar y ajustar a las preferencias del usuario. No se ha mostrado la gráfica de los 14 electrodos pero al estar programada también aparecerá en las gráficas finales.

1.7. Conclusiones

Al revisar las gráficas podemos observar las partes que trabajan en el cerebro al hacer diferentes actividades, además con el espectro podemos ver las frecuencias en los intervalos de cada ritmo.

PRÁCTICA DELABORATORIO 4

Elaboración de un interfaz de comunicación entre el Emotiv EPOC y Arduino.

1.1. Introducción

El uso de las señales del cerebro es muy utilizado ya que con estas y con una correcta interfaz se pueden lograr mover objetos, accionar dispositivos o indicar el grado de un estado del cerebro como por ejemplo se hará con esta práctica.

1.2. Objetivos

1. Conseguir encender un led cuando una persona sonría
2. Indicar el grado de meditación en el que está una persona mediante una serie de leds

1.3. Marco teórico

Para poder conectar el Emotiv Epoc con el Arduino se necesita un procesador que recoja las señales del aparato y envíe los comandos a la placa. El procesador utilizado se llama “Processing” y es en él donde se realizará el código de programación. Para esta práctica se necesitarán tres programas:

Mind your OSCs – Processing – Arduino

Mind your OSCs: Esta aplicación permite enviar datos de EPOC como paquetes OSC (Open Sound Control) a otros programas. Se puede descargar de manera gratuita en la página oficial de Emotiv.

Processing: Es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. Es gratuito y se puede descargar en la página oficial.

Arduino: Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El microcontrolador se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).

1.4. Materiales:

- Emotiv Epoc
- PC instalado Mind Your OSCs y Processing
- Arduino (hardware y software)
- Protoboard
- 6 leds (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta)
- 6 resistencias de 330 Ohmios
- Cables

1.5. Procedimiento

Primero se realizarán los circuitos eléctricos, los cuales son bastantes sencillos. En el primer caso solo se ha de conectar el led directamente al Arduino (si es de alta impedancia)

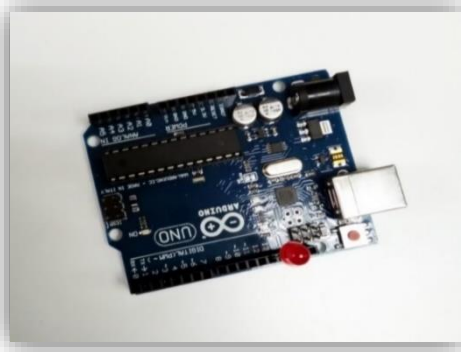


Figura 1: Caso 1

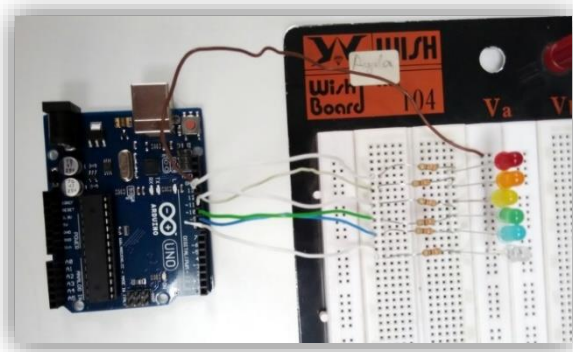


Figura 2: Caso 2

mientras que en el segundo caso se le han puesto a cada led una resistencia para evitar una sobrecarga.

La adquisición de la señal de EEG se realiza por medio del Emotiv Epoc. Para un buen funcionamiento los electrodos deben estar humedecidos y en el CONTROL PANEL se debe comprobar la correcta ubicación de estos.



Figura 3: Emotiv Epoc

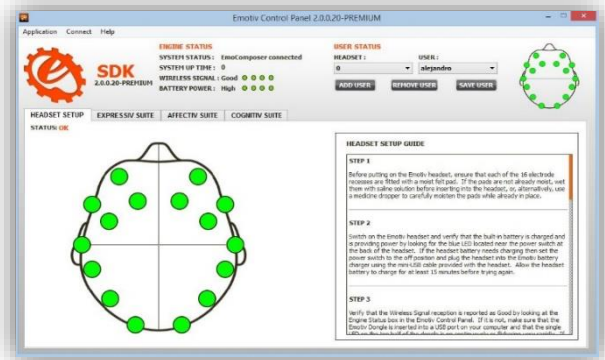


Figura 4: Control Panel

Una vez verificada la conexión de los electrodos abriremos la aplicación Mind Your OSCs y conectaremos el programa al Control Panel y a OSC.

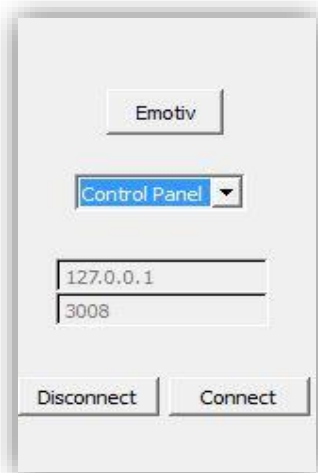


Figura 4: Conexión del EPOC al programa

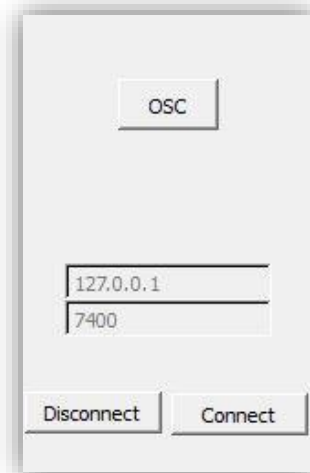


Figura 5: Activación para enviar paquetes OSC

Ahora se abrirá Processing para llevar a cabo la programación. Se programa la aplicación para que realice lo siguiente:

- Caso 1: Un led debe encenderse mientras el sujeto este sonriendo
- Caso 2: Una serie de leds deben mostrar al usuario el nivel de meditación que posee en cada momento

En dicho programa se invoca a las librerías de Arduino y de Mind Your Oscs. Es muy probable que estas se tengan que descargar. Ambas son gratuitas:

- oscP5 (<http://www.sojamo.de/libraries/oscP5/>)
- Arduino (<http://playground.arduino.cc/Interfacing/Processing>)

A continuación se pueden ver los códigos de los distintos casos:

Programa 1:

```
Caso1
// Trabajo Fin de Grado
// Jordan Ortega y Alejandro Pacheco
// Caso 1: Sonreír

// Se importan las librerías necesarias para Arduino y OSC
import processing.serial.*;
import cc.arduino.*;
import oscP5.*;

Arduino arduino; // declaramos objeto
OscP5 oscP5; // declaramos objeto

float smile = 0; // Valor de entrada del Epoc
int LED = 13; // El pin 13 del Arduino es al que debe conectarse el led

void setup() {
  println(Arduino.list()); // busca Arduinos disponibles
  // comienza la comunicacion con el Arduino a 57,600 baudios
  arduino = new Arduino(this, "COM5", 57600);

  // establecemos el led como un pin de salida
  arduino.pinMode(LED, arduino.OUTPUT);

  // comienza oscP5, recibe los mensajes del puerto 7400 (este valor
  // se debe comprobar ya que puede cambiar)
  oscP5 = new OscP5(this, 7400);
```

```


/* aqui se reenvian automaticamente los mensajes de OSC
que tienen como patrón la dirección /EXP/SMILE to getSmile()
el cual actualiza la variable Smile con el valor del mensaje de OSC */
oscP5.plug(this, "getSmile", "/EXP/SMILE");
}

void draw() {
  /* Si el valor que recibe de smile(sonrisa) es igual a 1, valor máximo, el
  led deberá encenderse. En caso contrario este permanecerá apagado */
  if (smile == 1) {
    arduino.digitalWrite(LED, arduino.HIGH);
  } else {
    arduino.digitalWrite(LED, arduino.LOW);
  }
}

/* esta funcion actualiza Smile con el valor del mensaje OSC
de /EXP/SMILE, establecido en el setup () */
void getSmile (float theValue) {
  smile = theValue;
  println("OSC message received; new smile value: "+smile);
}

```

Programa 2:



```

Caso2
// Trabajo Fin de Grado
// Jordan Ortega y Alejandro Pacheco
// Caso 2: Meditación

import processing.serial.*;
import cc.arduino.*;
import oscP5.*;

Arduino arduino;
OscP5 oscP5;

public float med = 0;

// Ahora declaramos para cada pin un led
int ROJO = 13;
int NARANJA = 12;
int AMARILLO = 11;
int VERDE = 10;
int AZUL = 9;
int VIOLETA = 8;

void setup() {
  println(Arduino.list());

  arduino = new Arduino(this, "COM5", 57600);

```

```

arduino.pinMode(ROJO, arduino.OUTPUT);
arduino.pinMode(NARANJA, arduino.OUTPUT);
arduino.pinMode(AMARILLO, arduino.OUTPUT);
arduino.pinMode(VERDE, arduino.OUTPUT);
arduino.pinMode(AZUL, arduino.OUTPUT);
arduino.pinMode(VIOLETA, arduino.OUTPUT);

oscP5 = new OscP5(this, 7400);

oscP5.plug(this, "updateMed", "/AFF/Meditation");
}

void draw() {

  if (med >= 0.15) {
    arduino.digitalWrite(VIOLETA, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.36) {
    arduino.digitalWrite(AZUL, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.41) {
    arduino.digitalWrite(VERDE, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.47) {
    arduino.digitalWrite(AMARILLO, arduino.HIGH);
  }

  if (med >= 0.55) {
    arduino.digitalWrite(NARANJA, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.66) {
    arduino.digitalWrite(ROJO, arduino.HIGH);
  }
  else {
    arduino.digitalWrite(VIOLETA, arduino.LOW);
    arduino.digitalWrite(AZUL, arduino.LOW);
    arduino.digitalWrite(VERDE, arduino.LOW);
    arduino.digitalWrite(AMARILLO, arduino.LOW);
    arduino.digitalWrite(NARANJA, arduino.LOW);
    arduino.digitalWrite(ROJO, arduino.LOW);
  }
}

public void updateMed (float theValue) {
  med = theValue;
  println("OSC message received; new med value: "+med);
}

```

Una vez realizado el código se debe cargar la librería *Standard Firmdata* de Arduino.

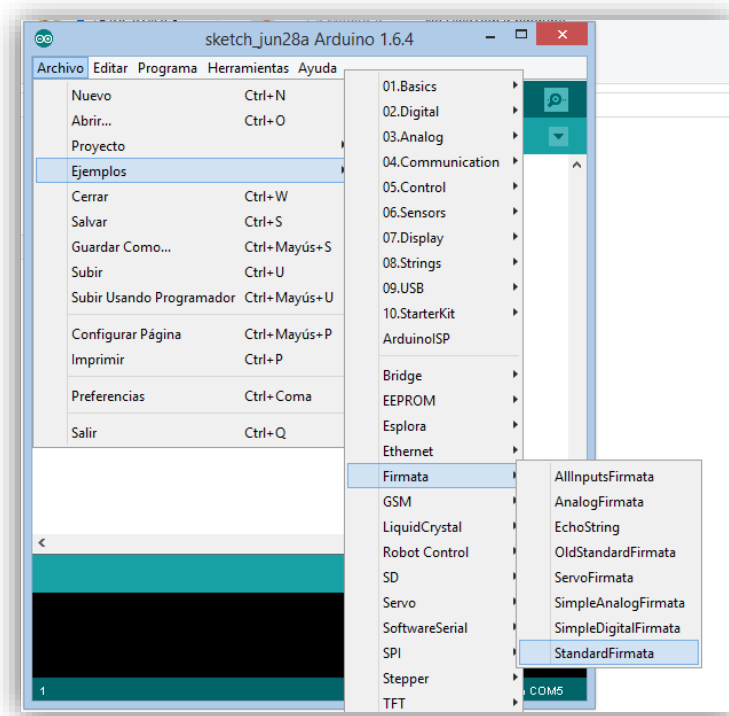


Figura 6: Standard Firmdata

Ahora solo queda ejecutar los programas en Processing y comprobar el resultado.

1.8. RESULTADOS:

Una vez realizado todo el procedimiento se debería ver algo parecido a las siguientes figuras.

Programa 1:

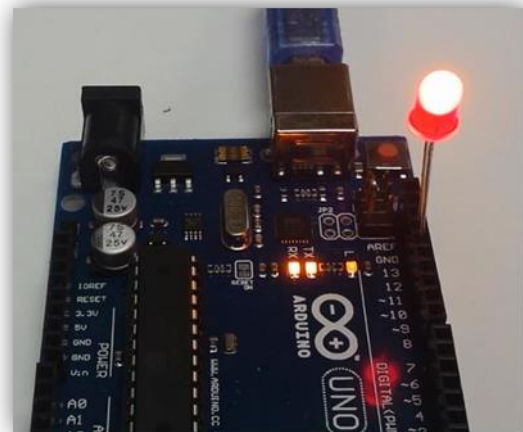
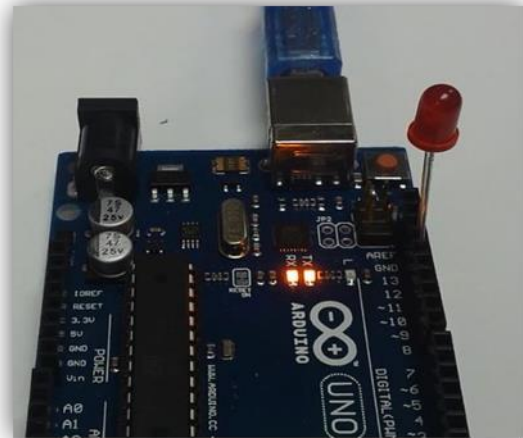


Figura 7: Comparativa entre la acción expresiva de un sujeto y su respuesta en el circuito

Programa 2:

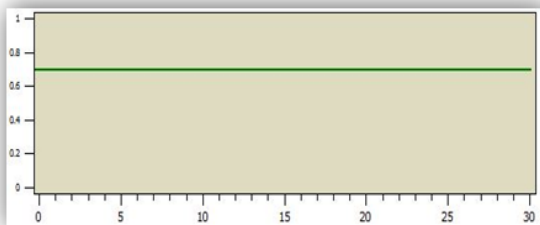
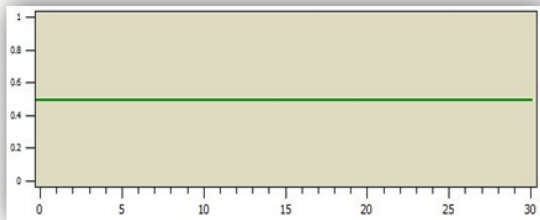
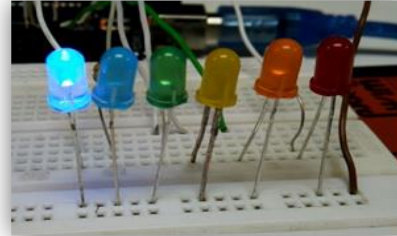
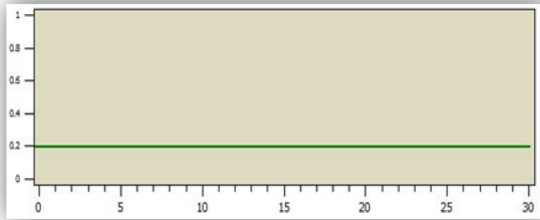
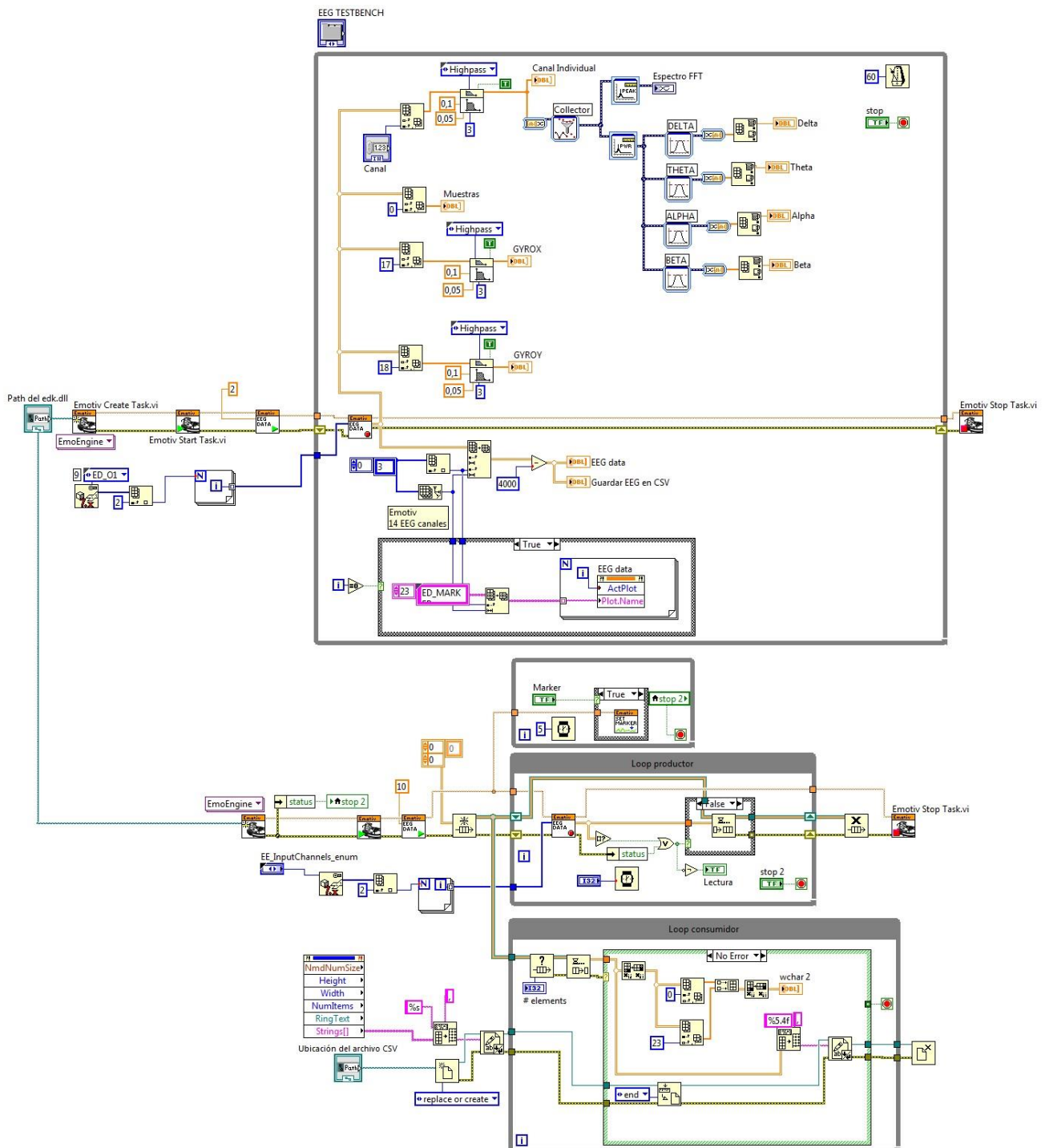


Figura 8: Ejecución del programa de meditación

1.9. CONCLUSIONES:

Este aparato tiene mucho potencial ya que es fácil de manejar y posee una infinidad de aplicaciones para desarrollar. Grandes proyectos como controlar un coche o una silla de ruedas con la mente se pueden desarrollar sin duda con el Emotiv EPOC.

ANEXO III - Diagrama de bloques para la adquisición de señales EEG en LabVIEW a través de Emotiv EPOC



ANEXO IV -Bloques funcionales utilizados para la adquisición de señales EEG en LabVIEW

A continuación, se presentan con detalle algunas de las funciones de LabVIEW utilizadas para la elaboración del diagrama de bloques correspondiente a cada apartado de los que se compone el programa que se ha explicado en la Memoria del presente documento.

- Flatten To String: convierte cualquier entrada en un *string* de desplegado de datos binarios.

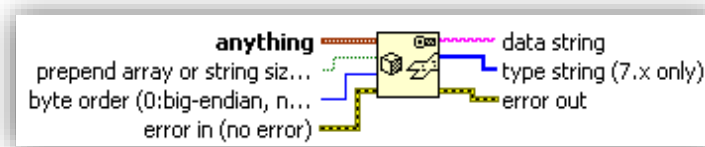


Figura 1: Función Flatten to String de LabVIEW

- Index Array: devuelve un subarray o elementos de una matriz de n dimensiones al índice. En su entrada *index* se colocará un controlador numérico para la elección del canal de la señal EEG cuyo espectro se desee visualizar. En su entrada de array se conectará el array de dos dimensiones (2D) correspondiente a la salida del EEG Data.vi.

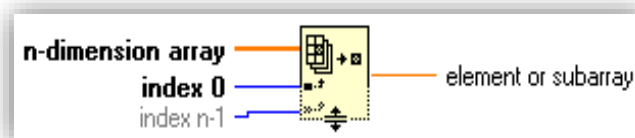


Figura 2: Función Index Array

- Bucle For Loop: ejecuta un subdiagrama un número determinado de veces predeterminado.

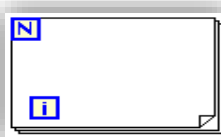


Figura 3: Función For Loop de LabVIEW

- Butterworth Filter.vi: filtro de frecuencia seleccionado de tipo Pasa Altas de orden 3, y una frecuencia de corte de 0,1 Hz con el fin de eliminar valores de offset.

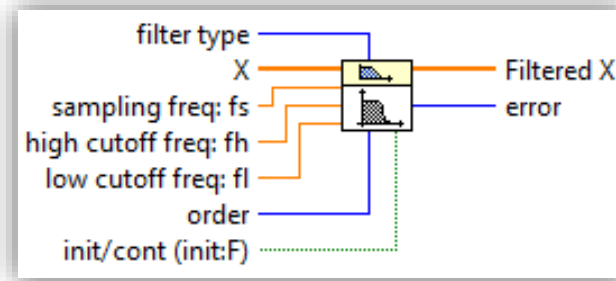


Figura 4: Función de filtro Butterworth Paso Alto de LabVIEW

- Collector Express: recoge las señales de entrada y devuelve los datos más recientes, hasta el número máximo especificado de muestras por canal.

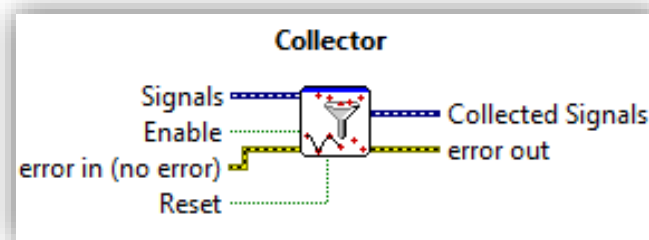


Figura 5: Función Collector Express de LabVIEW

- Spectral Measurements: realiza la transformada FFT de las señales EEG para su representación en el dominio de frecuencias, gracias a ello podrá visualizarse la magnitud del espectro de cada una de ellas.

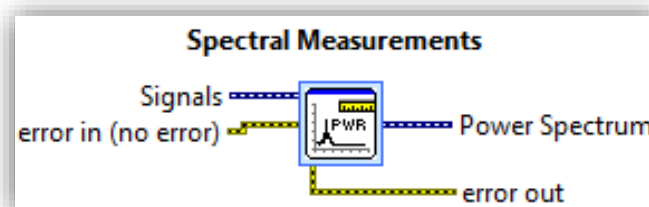


Figura 6: Función Spectral Measurements de LabVIEW

- Filter Express: filtros de frecuencia de tipo Pasa Banda de topología Butterworth de orden 3, diseñados con el fin de separar las señales en diferentes rangos de frecuencia correspondientes a cada uno de los ritmos o potenciales mencionado anteriormente.

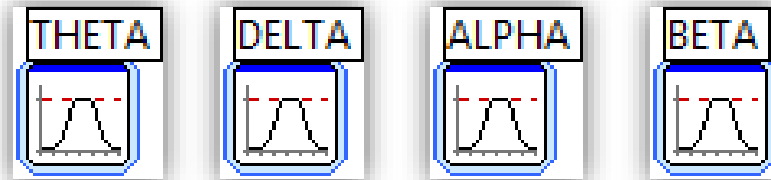


Figura 7: Filtros Pasa Banda para cada ritmo en LabVIEW

- Array Max & Min: devuelve el valor máximo y el mínimo de un array de datos, lo cual resulta útil para la representación gráfica de bandas de ritmo como indicadores visuales, representando los picos o valores máximos de la magnitud del espectro de cada señal EEG durante el tiempo en el que se ejecución del programa.

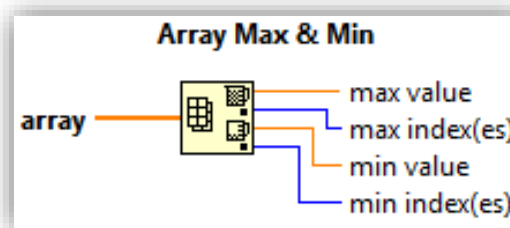


Figura 8: Función Array Max&Min en LabVIEW

- Obtain Queue: devuelve la referencia hacia una cola de datos.

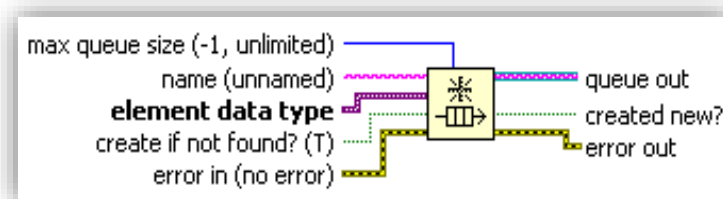


Figura 9: Función Obtain Queue en LabVIEW

- Enqueue Element: añade elementos al final de una cola de datos.

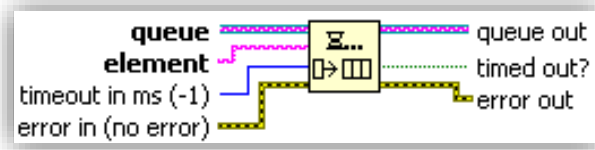


Figura 10: Función Enqueue Element en LabVIEW

- Release Queue: devuelve la referencia hacia una cola de datos.

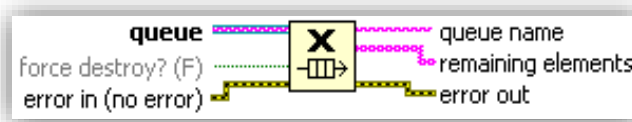


Figura 11: Función Release Queue en LabVIEW

- Array to spreadsheet string: esta función se encarga de convertir un array de cualquier dimensión a una tabla de en forma de string con el fin de separar elementos de alguna fila o columna.

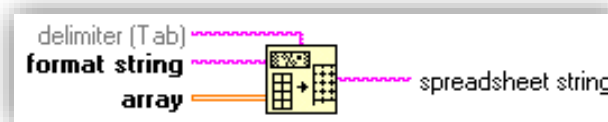


Figura 12: Función Array to Spreadsheet String de LabVIEW

- Open/Create/Replace File: se encarga de abrir, crear o remplazar un archivo existente.

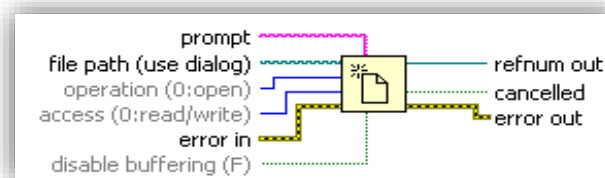


Figura 13: Función Open/Create/Replace File de LabVIEW

- Write To Text File: se encarga de escribir un string o un array de strings como líneas en un nuevo archivo.



Figura 14: Función Write To Text File de LabVIEW

- Get Queue Status: devuelve información sobre el estado actual de una cola, como puede ser el número de elementos actualmente en la cola.

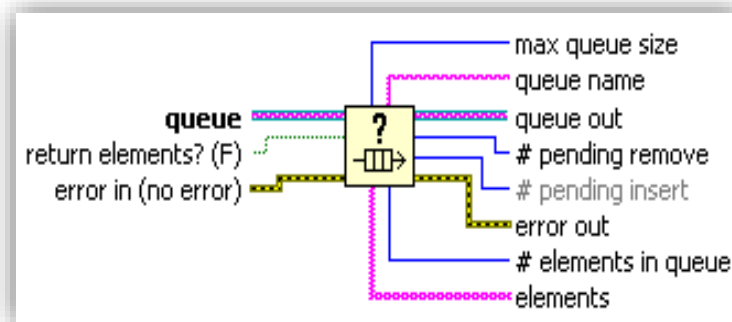


Figura 15: Función Get Queue Status en LabVIEW

- Dequeue Element: elimina un elemento que se encuentre al principio de una cola y devuelve el elemento. Si la cola está vacía, la función espera un determinado tiempo definido en milisegundos.

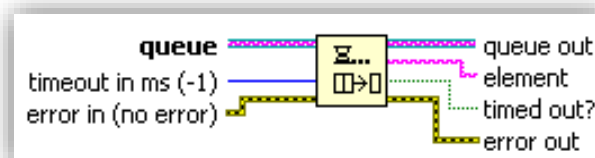


Figura 16: Función Dequeue Element en LabVIEW

- Transpose 2D Array: transpone los elementos de un array de dos dimensiones [i,j] por uno de dos dimensiones [j,i].

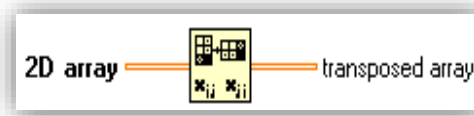


Figura 17: Función Transpose 2D Array de LabVIEW

Para conseguir una visualización más cómoda, se ha colocado la función de LabVIEW Wait Until Next ms Multiple dentro del bucle While con el fin de controlar el ritmo de ejecución del mismo. [\[38\]](#)

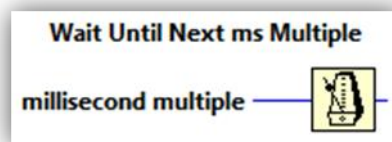


Figura 18: Bloque “Wait Until Next ms Multiple” de LabVIEW

Anexo V - Códigos de programación en el procesador de Arduino

```
Caso1
// Trabajo Fin de Grado
// Jordan Ortega y Alejandro Pacheco
// Caso 1: Sonreir

// Se importan las librerías necesarias para Arduino y OSC
import processing.serial.*;
import cc.arduino.*;
import oscP5.*;

Arduino arduino; // declaramos objeto
OscP5 oscP5; // declaramos objeto

float smile = 0; // Valor de entrada del Epoc
int LED = 13; // El pin 13 del Arduino es al que debe conectarse el led

void setup() {
  println(Arduino.list()); // busca Arduinos disponibles
  // comienza la comunicacion con el Arduino a 57,600 baudios
  arduino = new Arduino(this, "COM5", 57600);

  // establecemos el led como un pin de salida
  arduino.pinMode(LED, arduino.OUTPUT);

  // comienza oscP5, recibe los mensajes del puerto 7400 (este valor
  // se debe comprobar ya que puede cambiar)
  oscP5 = new OscP5(this, 7400);

  /* aqui se reenvian automaticamente los mensajes de OSC
  que tienen como patrón la dirección /EXP/SMILE to getSmile()
  el cual actualiza la variable Smile con el valor del mensaje de OSC */
  oscP5.plugin(this, "getSmile", "/EXP/SMILE");
}

void draw() {
  /* Si el valor que recibe de smile(sonrisa) es igual a 1, valor máximo, el
  led deberá encenderse. En caso contrario este permanecerá apagado */
  if (smile == 1) {
    arduino.digitalWrite(LED, arduino.HIGH);
  } else {
    arduino.digitalWrite(LED, arduino.LOW);
  }
}

/* esta funcion actualiza Smile con el valor del mensaje OSC
de /EXP/SMILE, establecido en el setup () */
void getSmile (float theValue) {
  smile = theValue;
  println("OSC message received; new smile value: "+smile);
}
```

Caso2

```
// Trabajo Fin de Grado
// Jordan Ortega y Alejandro Pacheco
// Caso 2: Meditación

import processing.serial.*;
import cc.arduino.*;
import oscP5.*;

Arduino arduino;
OscP5 oscP5;

public float med = 0;

// Ahora declaramos para cada pin un led
int ROJO = 13;
int NARANJA = 12;
int AMARILLO = 11;
int VERDE = 10;
int AZUL = 9;
int VIOLETA = 8;

void setup() {
  println(Arduino.list());

  arduino = new Arduino(this, "COM5", 57600);
  arduino.pinMode(ROJO, arduino.OUTPUT);
  arduino.pinMode(NARANJA, arduino.OUTPUT);
  arduino.pinMode(AMARILLO, arduino.OUTPUT);
  arduino.pinMode(VERDE, arduino.OUTPUT);
  arduino.pinMode(AZUL, arduino.OUTPUT);
  arduino.pinMode(VIOLETA, arduino.OUTPUT);

  oscP5 = new OscP5(this, 7400);

  oscP5.plug(this, "updateMed", "/AFF/Meditation");
}

void draw() {
  if (med >= 0.15) {
    arduino.digitalWrite(VIOLETA, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.36) {
    arduino.digitalWrite(AZUL, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.41) {
    arduino.digitalWrite(VERDE, arduino.HIGH);
  }
  if (med >= 0.47) {
    arduino.digitalWrite(AMARILLO, arduino.HIGH);
  }
}
```

```
    if (med >= 0.55) {  
        arduino.digitalWrite(NARANJA, arduino.HIGH);  
    }  
    if (med >= 0.66) {  
        arduino.digitalWrite(ROJO, arduino.HIGH);  
    }  
    else {  
        arduino.digitalWrite(VIOLETA, arduino.LOW);  
        arduino.digitalWrite(AZUL, arduino.LOW);  
        arduino.digitalWrite(VERDE, arduino.LOW);  
        arduino.digitalWrite(AMARILLO, arduino.LOW);  
        arduino.digitalWrite(NARANJA, arduino.LOW);  
        arduino.digitalWrite(ROJO, arduino.LOW);  
    }  
}  
public void updateMed (float theValue) {  
    med = theValue;  
    println("OSC message received; new med value: "+med);  
}
```

Anexo VI - Calibración electrónica

En este caso se ha pretendido realizar una calibración electrónica del dispositivo EMOTIV EPOC en el Servicio de Electrónica de la Universidad de La Laguna, de manera que mediante una serie de señales generadas por un calibrador, éstas puedan ser utilizadas para estudiar algunas de las características electrónicas del equipo, como puede ser su ancho de banda o las amplitudes máximas de la señal de entrada permitidas para la correcta adquisición de las mismas según la conductancia.

Debido a las características electrónicas del dispositivo, ha sido necesario elaborar una sonda especial para la comunicación entre éste y el generador de señales, ya que el dispositivo utiliza un registro unipolar. Esto implica que cada electrodo se encuentra referenciado frente a dos masas conectadas eléctricamente entre sí, como se indica en el esquema representativo de la siguiente figura.

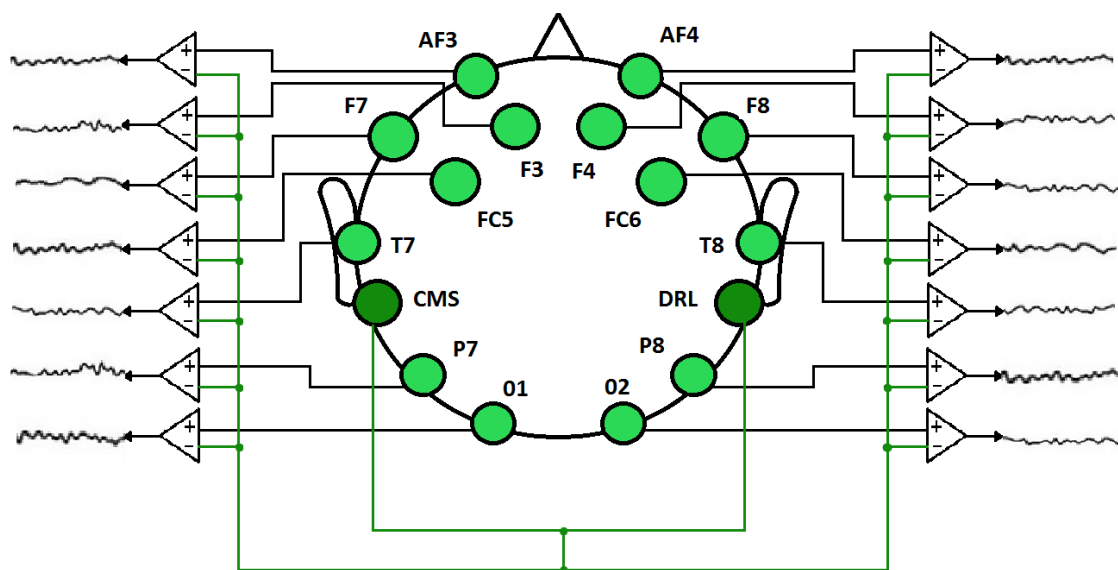


Figura 1: Registro unipolar EEG del EMOTIV EPOC (Elaboración propia)

Para generar las señales simuladas se ha utilizado un calibrador electrónico Fluke, modelo 5500A, capaz de cubrir un espectro de carga de trabajo de calibración eléctrica de baja frecuencia.

Una vez realizada la conexión entre los equipos, se han determinado en primer lugar los valores de tensión de entrada máximos que pueden ser correctamente captados por el equipo de electroencefalografía. Usando el Control Panel del software que trae consigo el dispositivo EPOC puede apreciarse el estado de la conectividad entre los electrodos y la señal simulada, que se considerará excelente cuando se aprecien los electrodos con una señal luminosa en el propio software de color verde. Debe tenerse en cuenta que el EPOC todavía trabajará correctamente aun cuando algunos sensores se muestren de color amarillo o naranja. Asimismo, la comunicación se considera pobre cuando se muestren de color rojo, y nula cuando se muestren de color negro.

Sabiendo esto, se ha escogido una señal sinusoidal de entrada con valores iniciales de tensión de 1 mV de pico y con 1 Hz de frecuencia, aplicada sobre el electrodo O1 como ejemplo. Con estos valores la comunicación se muestra excelente.

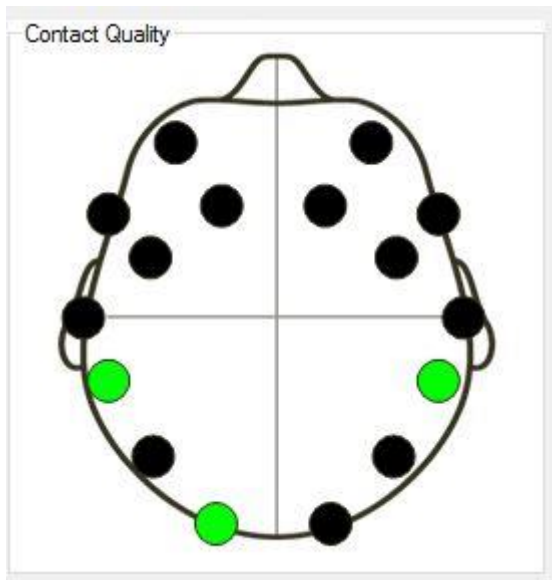


Figura 2: Estado de la conectividad excelente. Electrodo de color verde.

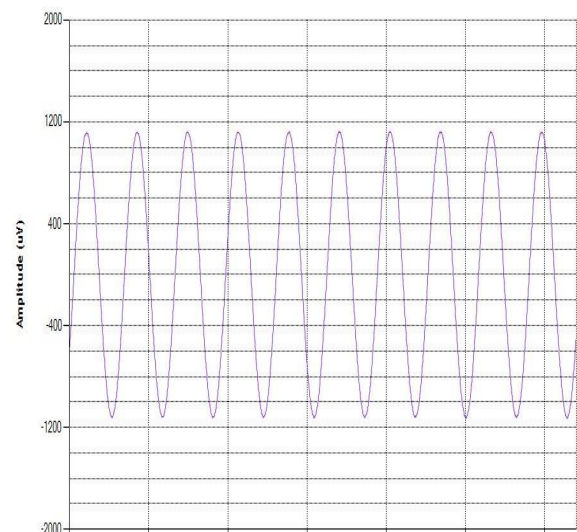


Figura 3: Señal de entrada mostrada en el Testbench.

No obstante, como se explicará más adelante, la señal de entrada real no tendrá estos valores exactos debido a diversas perturbaciones causadas por el ruido eléctrico que produce la propia sonda y demás aparatos y elementos electrónicos cercanos al sistema de medida.

A medida que se varía la tensión de entrada aumentando el valor de la misma producida por el calibrador, puede observarse como decae la calidad en adquisición de la señal según se acerca a los valores de saturación. De esta manera, se han estimado los valores de tensión que corresponden a cada estado de la calidad de conexión entre la señal de entrada y los electrodos del aparato.

La tabla 1 muestra la relación entre la calidad de conexión y los valores de tensión de la señal de entrada.

Amplitud de la señal de entrada (V_{in}) [mV]	Calidad de la conexión (conductancia)	Color del electrodo en el Control Panel
$0 < V_{in} < 2.28$	Excelente	Verde
$2.28 < V_{in} < 2.73$	Regular	Amarillo
$2.73 < V_{in} < 3.68$	Pobre	Naranja
$3.68 < V_{in} < 7.61$	Crítica	Rojo
$V_{in} < 7.61$	Nula	Negro

Tabla 1: Relación amplitud-conductancia en la adquisición de la señal de entrada

Una vez estudiados los límites permisibles en la variación del valor de la tensión de entrada de la señal, se ha intentado estudiar la respuesta del sistema de medida frente a variaciones de frecuencia con el fin de estimar el ancho de banda práctico que presentan los amplificadores electrónicos que se encargan de la adquisición de las señales EEG.

Al variar la frecuencia, el voltaje de salida cambia debido a la reactancia del capacitor. Esto implica que la ganancia de voltaje $V_{salida}/V_{entrada}$ se encuentra en función de la frecuencia. La tensión de salida será aquella que pueda ser mostrada en el Test Bench del software del propio dispositivo EPOC.

La imagen que obtenida que se muestra en el Testbench ha resultado ser nefasta debido a los excesivos niveles de ruido que presenta la señal. Esto se debe a la dificultad que

supone representar señales de tan baja amplitud y frecuencia, altamente vulnerables a sufrir interferencias causadas por los diversos equipos y componentes electrónicos que se encuentren próximos al entorno de trabajo.

Estos factores dificultan las labores de medida haciendo que resulten imposibles, ya que se producirán un error excesivo. A continuación, se muestran en la tabla 2 las medidas tomadas, en la que constatan dicho error de forma evidente., ya que para los valores de frecuencia estudiados, la ganancia en tensión del aparato debería ser lo más próximo posible a la unidad.

Ventrada [mV]	Vsalida [mV]	Frecuencia [Hz]	Ganancia [dB]	Bandas o potenciales correspondientes
1	1,12	1	1,008	DELTA
1	1,44	1,5	3,149	
1	1,54	2	3,750	
1	1,66	4	4,402	
1	1,75	6	4,861	THETA
1	1,78	8	5,008	ALPHA
1	1,78	10	5,008	
1	1,63	15	4,244	
1	1,23	20	1,798	BETA
1	1,22	25	1,727	
1	1,21	30	1,656	

Tabla 2: Medidas de la ganancia de amplificación del dispositivo

Para que la medida sea correcta, el valor de la ganancia en decibelios debe encontrarse lo más próximo posible a la unidad, quedando reflejado que esto no se cumple en nuestro sistema de medida. Estos datos se comprueban en las gráficas obtenidas en el Testbench para cada valor de frecuencia.

Montaje y resultados de la calibración electrónica del dispositivo EMOTIV EPOC

La sonda elaborada para la medida se trata de un cable de entrada coaxial que irá conectada al generador de señales con tres terminales de salida, que se conectarán a los electrodos del dispositivo de manera que conste de una salida positiva y dos referencias de masa. La conexión entre los terminales de salida de la sonda con los electrodos del dispositivo EMOTIV se ha realizado de como se muestra en la imagen.

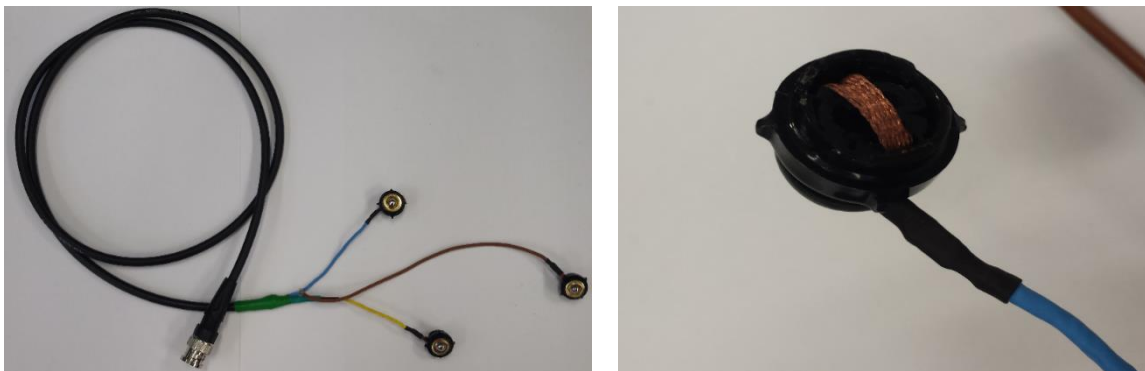


Figura 4: Sonda elaborada para la calibración electrónica

Tras establecer la conexión entre los electrodos y los terminales de salida de la sonda, deben colocarse correctamente en el dispositivo, de modo que las salidas de masa queden conectadas a los electrodos de referencia correspondientes y la salida positiva se conecte al electrodo cuya señal se desee visualizar.



Figura 5: Dispositivo Emotiv EPOC preparado para la conexión con el calibrador

Con el fin de evitar el posible movimiento causado sobre el dispositivo y fijarlo en una posición estable durante la medida, se ha decidido colocarlo sobre una cabeza de maniquí.



Figura 6: Soporte del dispositivo EPOC en una cabeza de maniquí.

Para generar las señales simuladas se ha utilizado un calibrador electrónico Fluke, modelo 5500A, capaz de cubrir un espectro de carga de trabajo de calibración eléctrica de baja frecuencia. Permite generar señales sinusoidales de corriente alterna en un rango de tensiones de entre 1 mV y 1020 V, y de frecuencias entre 0,01 Hz y 2 MHz. Asimismo, deberá conectarse la entrada coaxial de la sonda descrita anteriormente con la salida del calibrador, como se muestra en la figura 6.

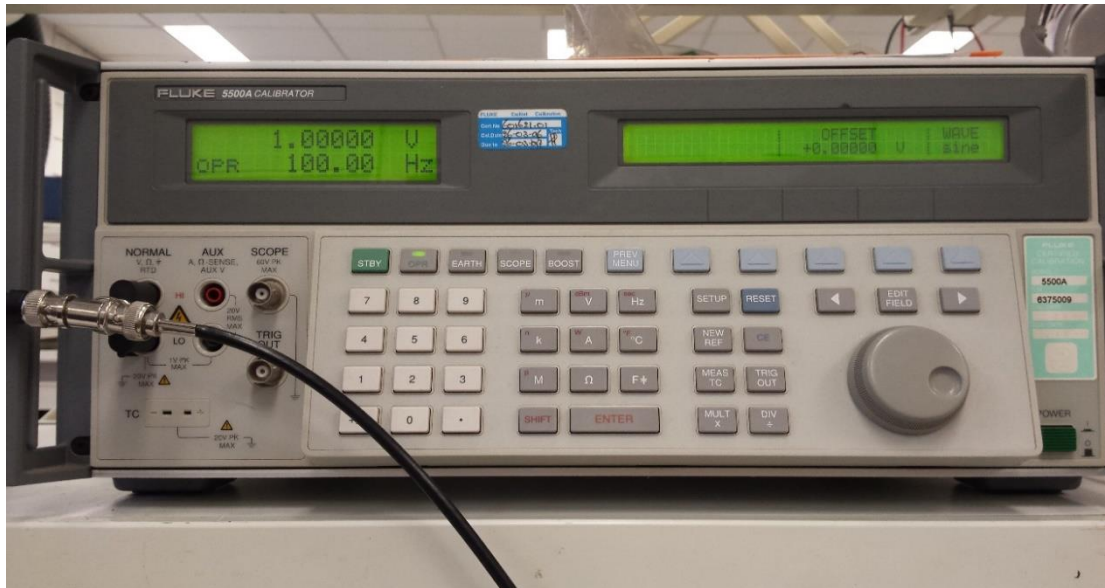


Figura 1: Calibrador FLUKE 5500A

Al variar la frecuencia, el voltaje de salida cambia debido a la reactancia del capacitor. Esto implica que la ganancia de voltaje V_{in}/V_{out} se encuentra en función de la frecuencia. La tensión de salida será estudiada utilizando el Testbench del propio software del dispositivo EPOC.

Como se explica en el Capítulo III de la presente Memoria, la señal se ve perturbada debido a ruidos de origen diverso. A continuación, se muestran los resultados de las medidas tomadas para cada valor de frecuencia.

Para que la medida sea correcta, el valor de la ganancia en decibelios debe encontrarse lo más próximo posible a la unidad. Se comprueba que debido a las perturbaciones sobre la señal de entrada, la señal de salida mostrada varía considerablemente ante pequeñas modificaciones de frecuencia.

- 1 Hz:

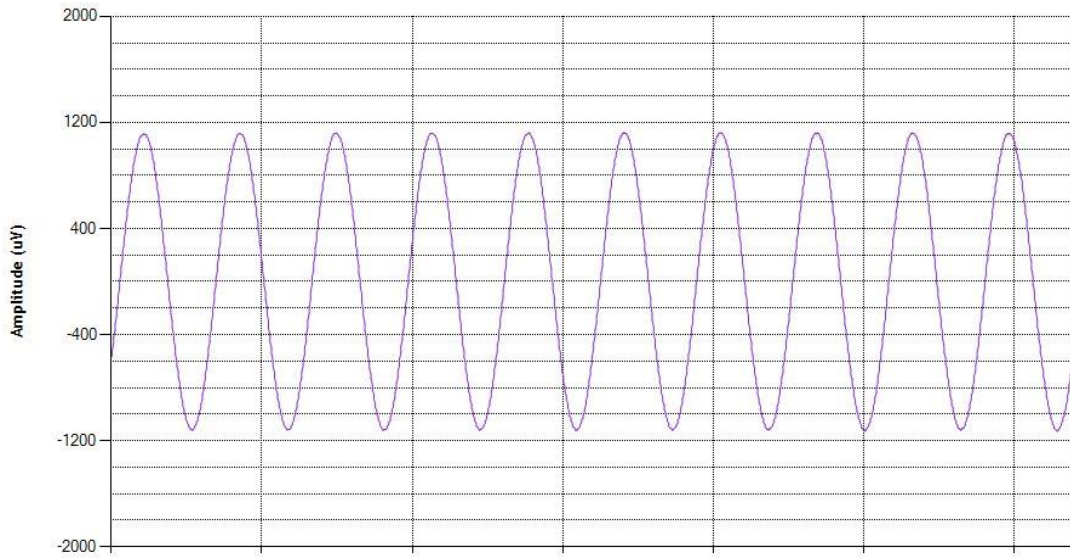


Figura 2: Señal de salida de 1 Hz

- 1,5 Hz:

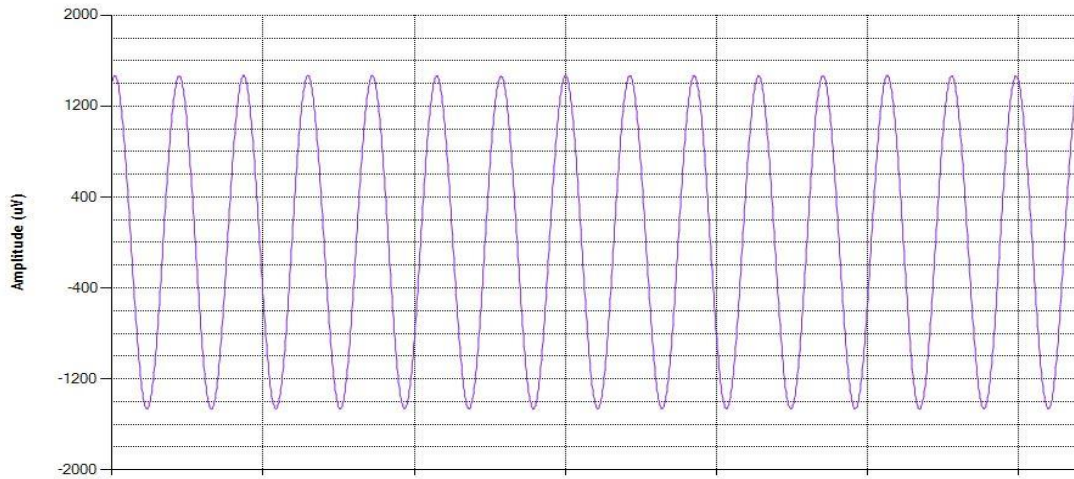


Figura 3: Señal de salida de 1,5 Hz

- 2 Hz:

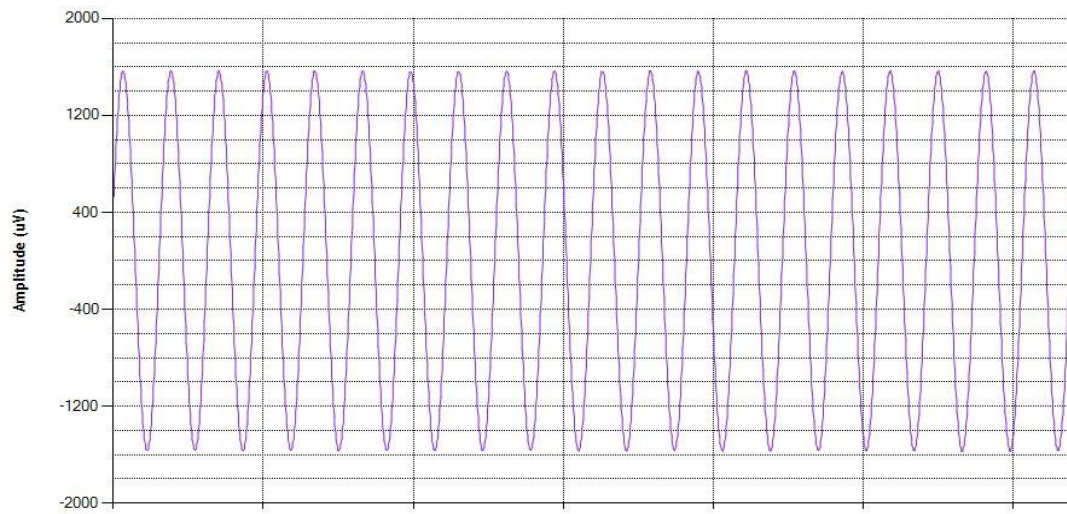


Figura 4: Señal de salida de 2 Hz

- 4 Hz:

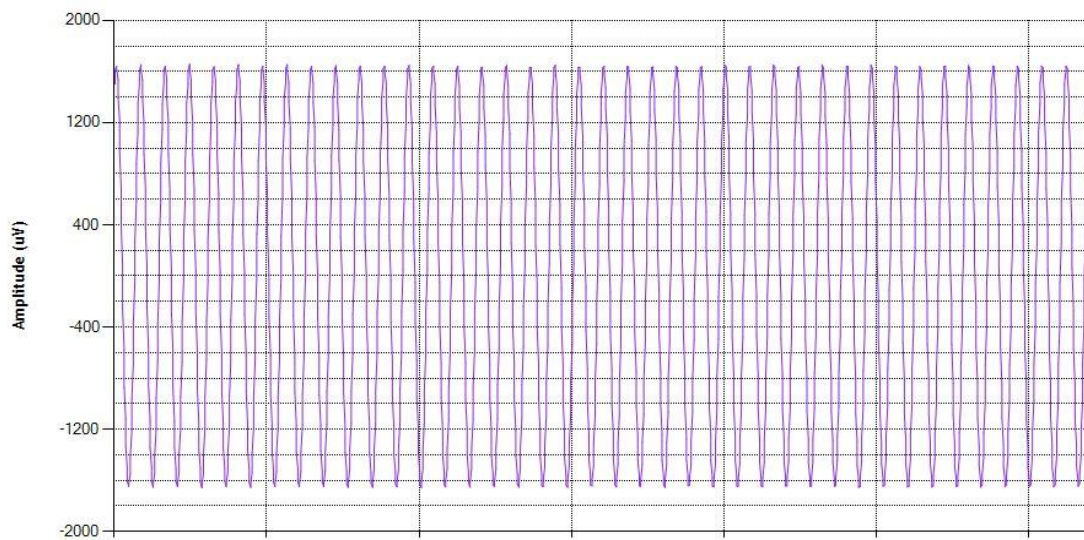


Figura 5: Señal de salida de 4 Hz

- 6 Hz:



Figura 6: Señal de salida de 6 Hz

- 8 Hz:

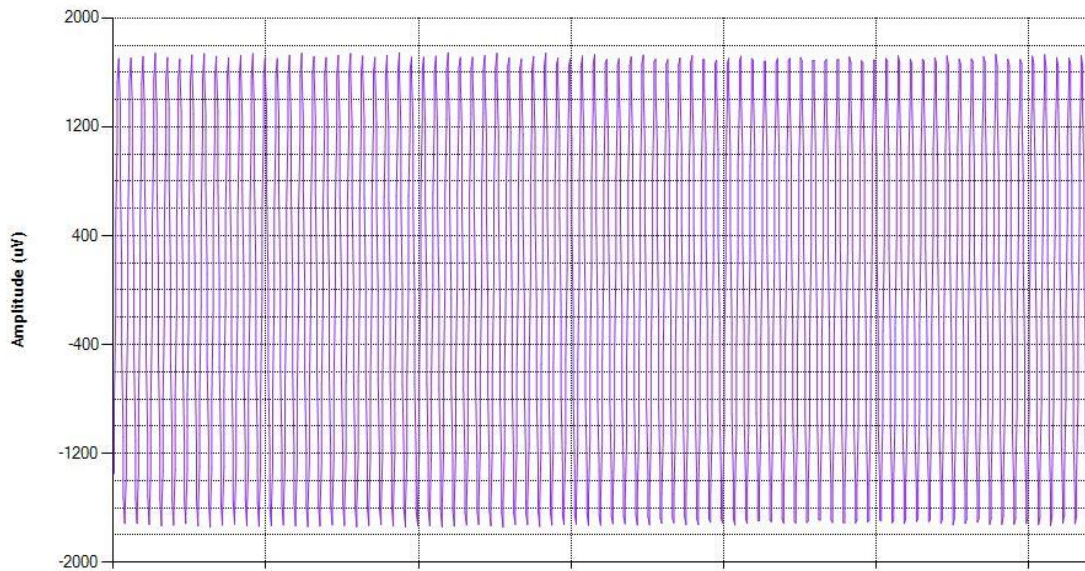


Figura 7: Señal de salida de 8 Hz

- 10 Hz:

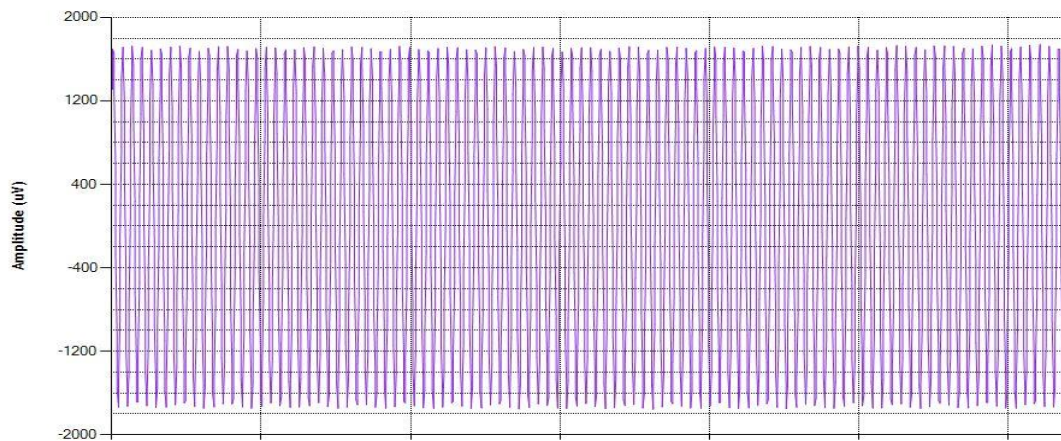


Figura 8: Señal de salida de 10 Hz

- 15 Hz:

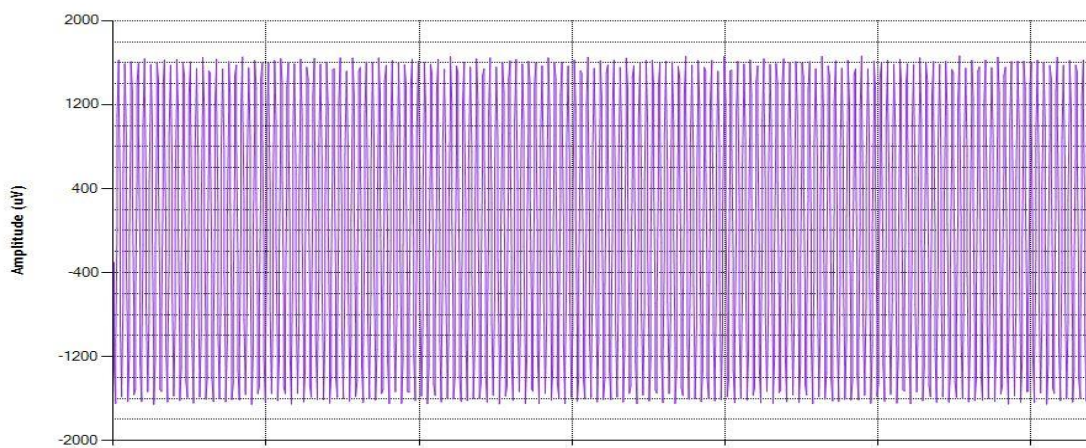


Figura 9: Señal de salida de 15 Hz

- 20 Hz:

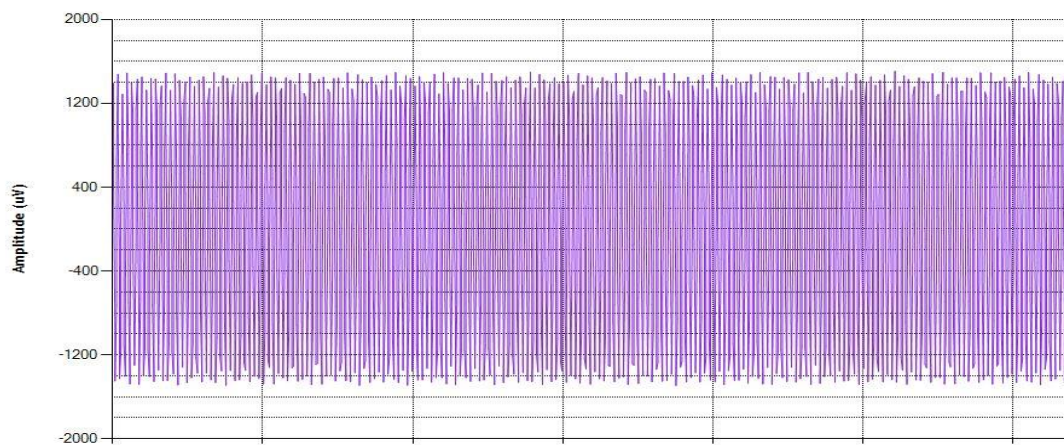


Figura 10: Señal de salida de 20 Hz

- 25 Hz:

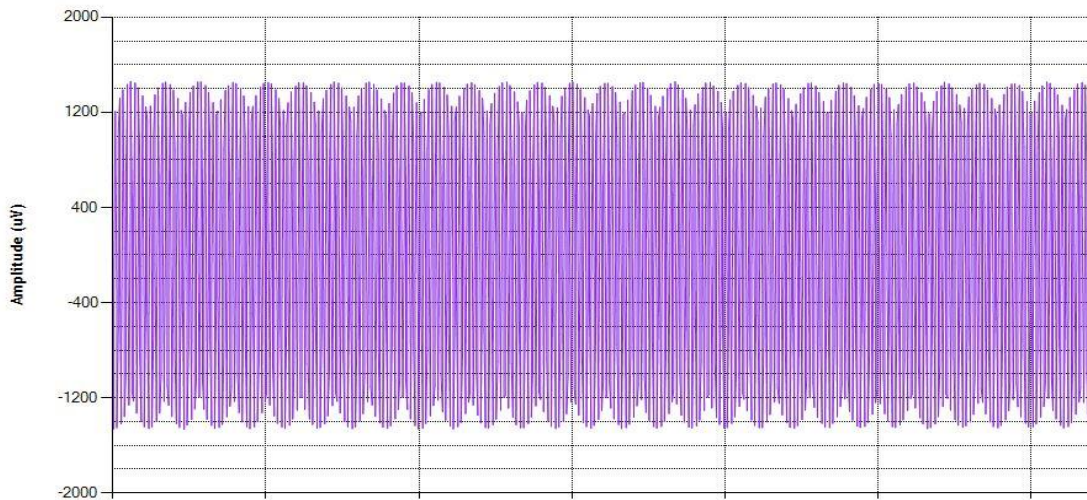


Figura 11: Señal de salida de 25 Hz

- 30 Hz:

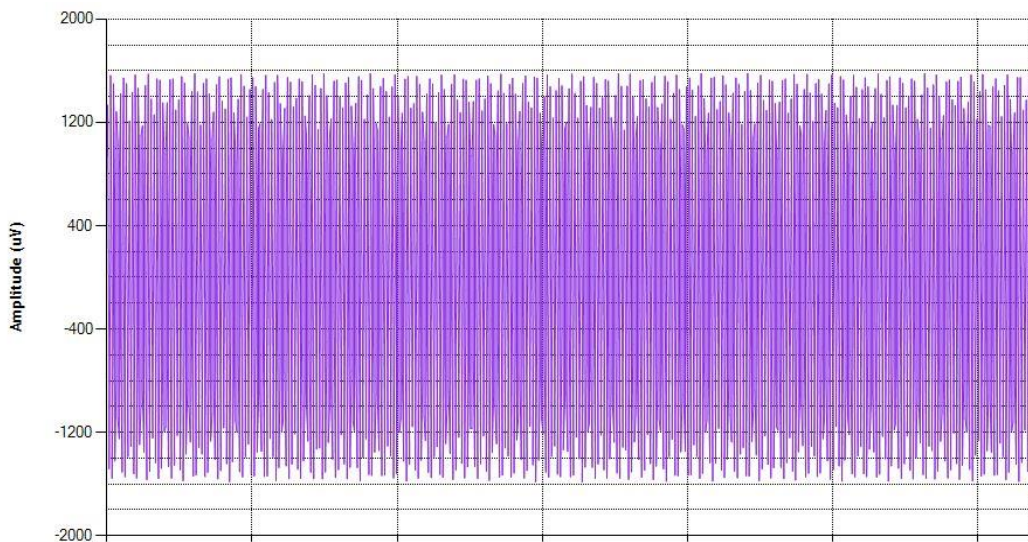


Figura 12: Señal de salida de 30 Hz

Como queda demostrado, la calibración electrónica no se ha conseguido con éxito debido a la limitación del material y los equipos que se han utilizado para ello. Es por este motivo que este apartado puede quedar pendiente para futuros trabajos en los que se cuente con un material más apropiado para llevarlo a cabo correctamente.

Anexo VII - Imágenes Calibración Biológica

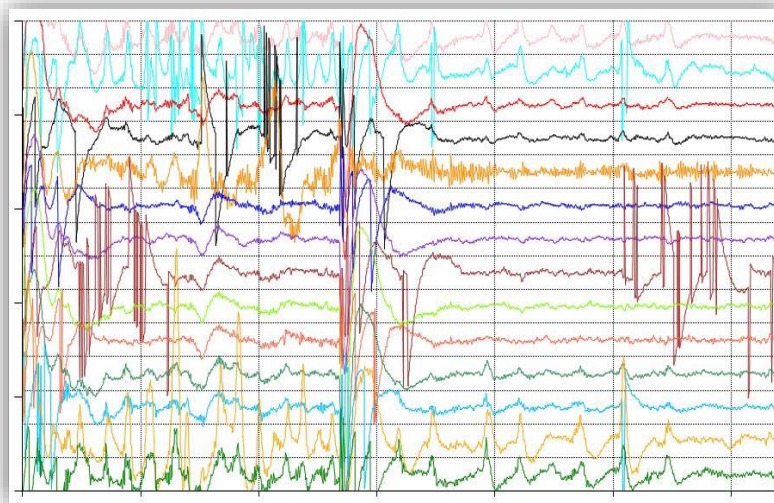


Figura 1a: Parpadeo del sujeto 1

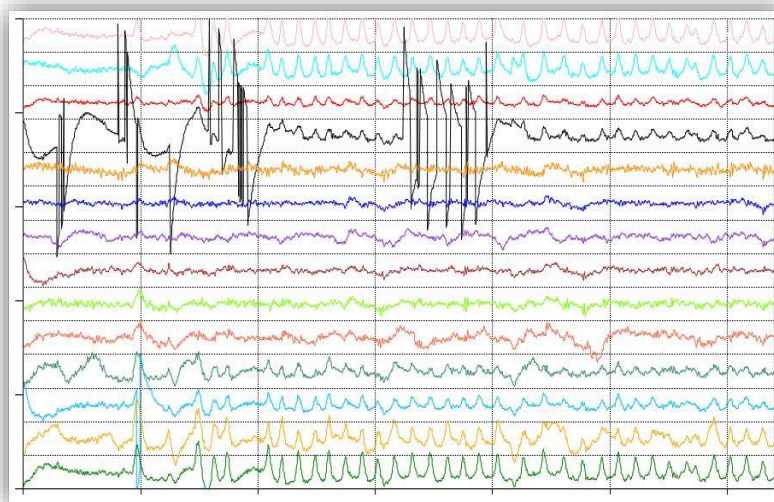


Figura 1b: Parpadeo del sujeto 2

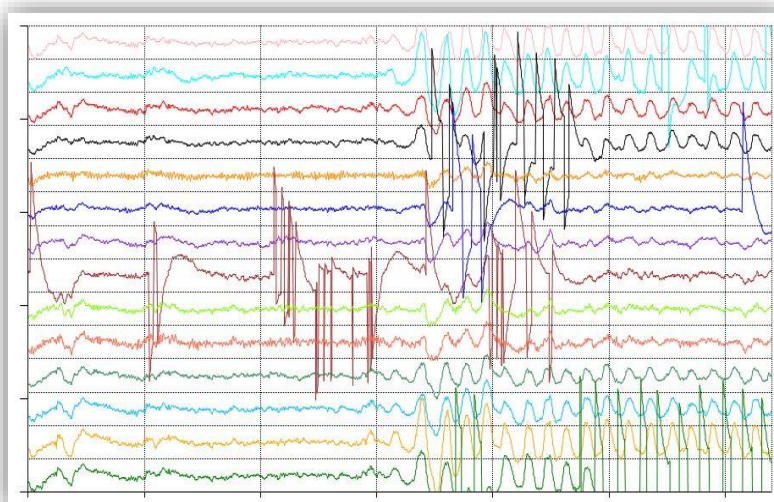


Figura 1c: Parpadeo del sujeto 3

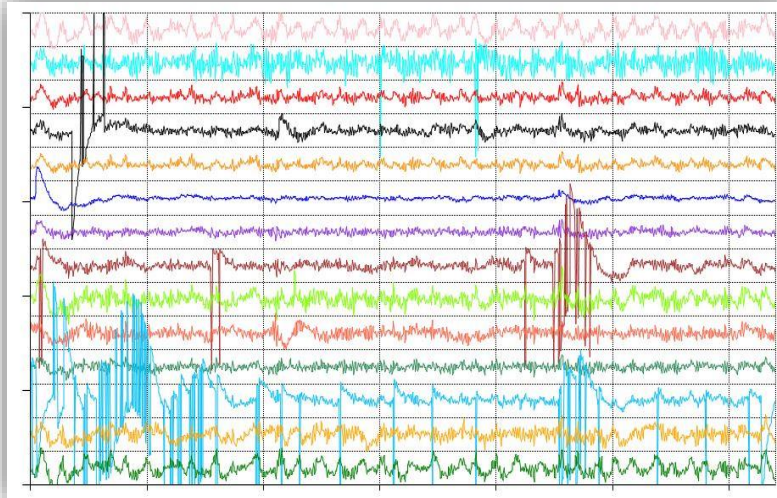


Figura 1d: Parpadeo del sujeto 4

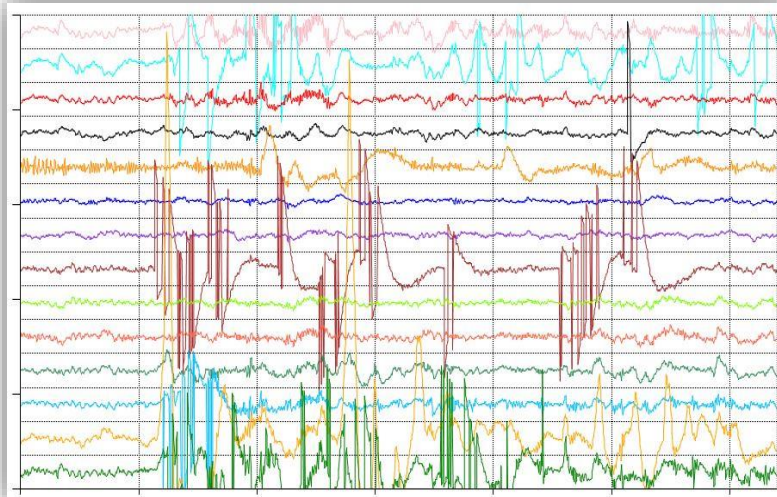


Figura 2a: Guiño del sujeto 1

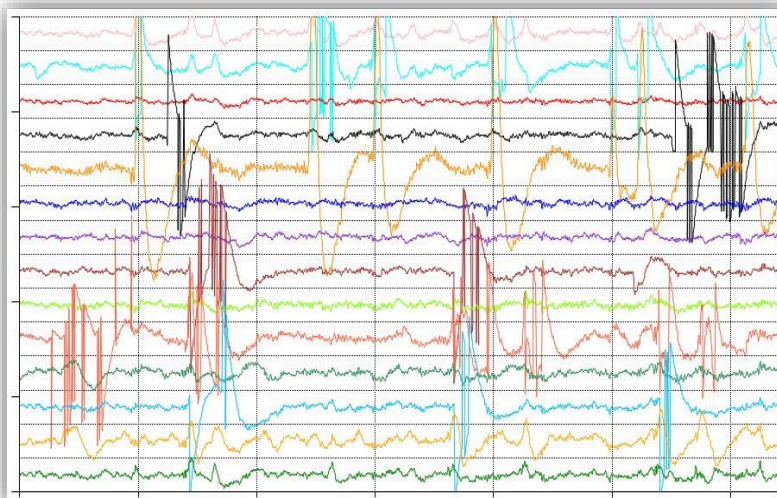


Figura 2b: Guiño del sujeto 2

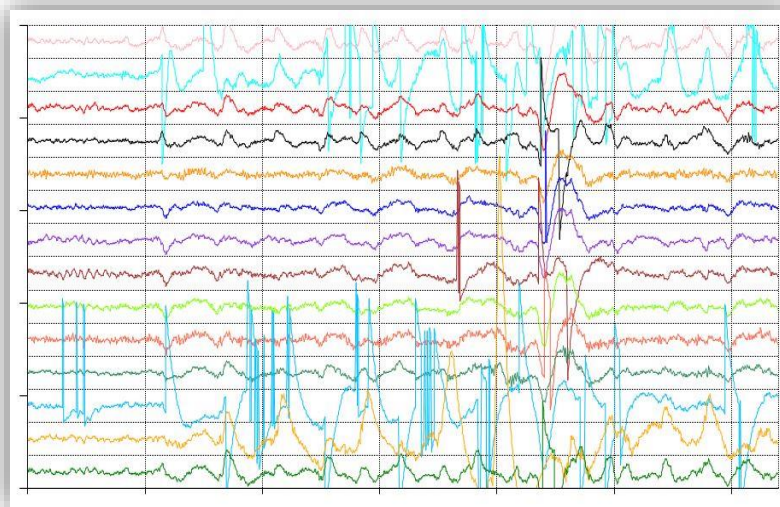


Figura 2c: Guiño del sujeto 3

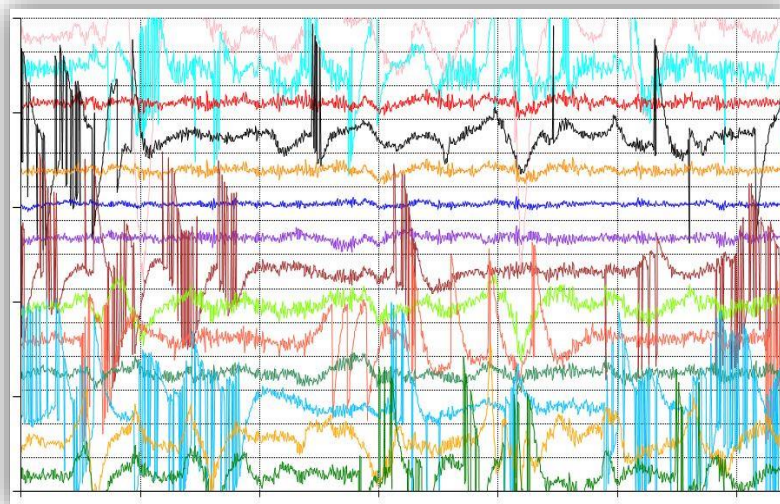


Figura 2d: Guiño del sujeto 4

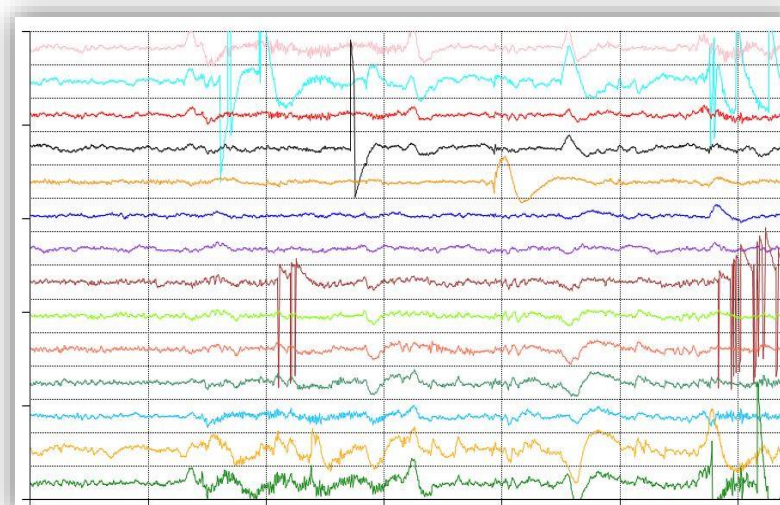


Figura 3a: Movimiento ocular del sujeto 1

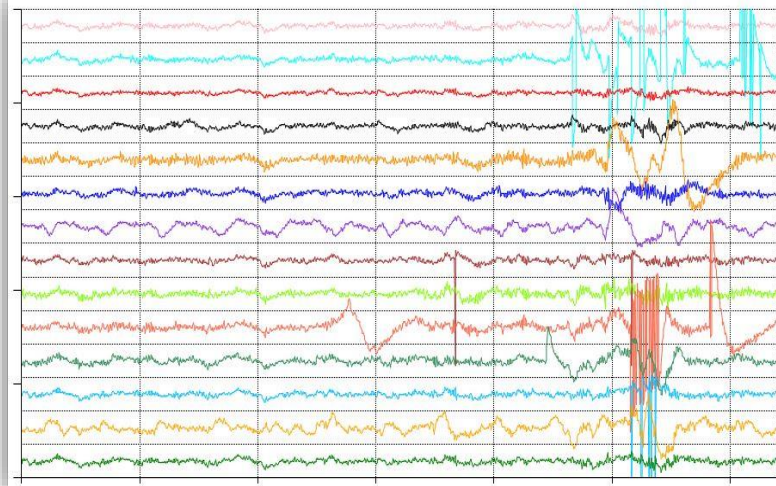


Figura 3b: Movimiento ocular del sujeto 2

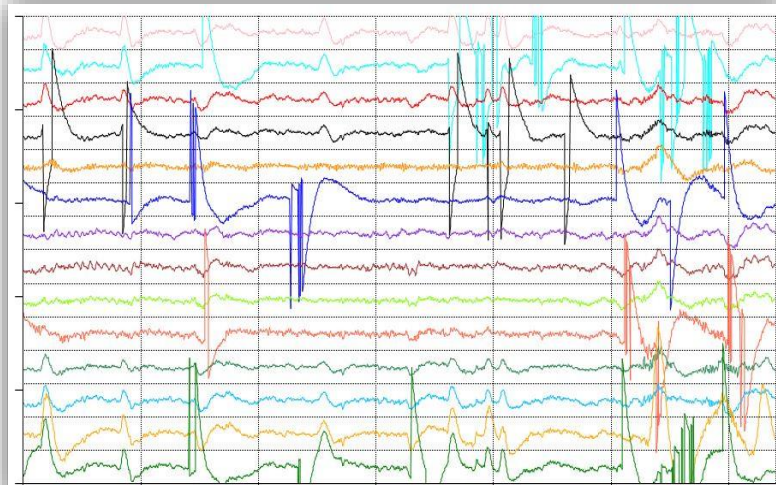


Figura 3c: Movimiento ocular del sujeto 3

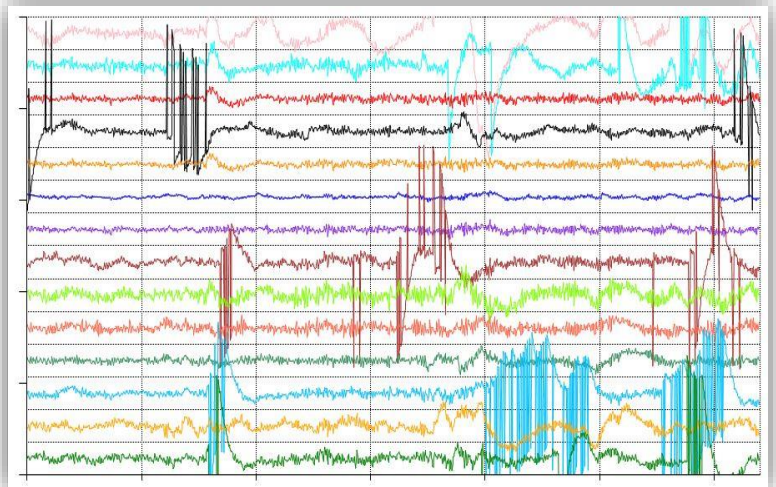


Figura 3d: Movimiento ocular del sujeto 4

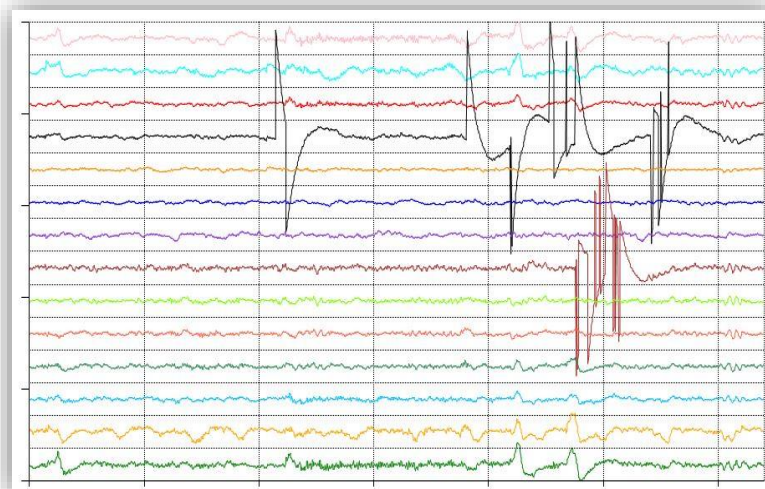


Figura 4a: Movimiento muscular del sujeto 1

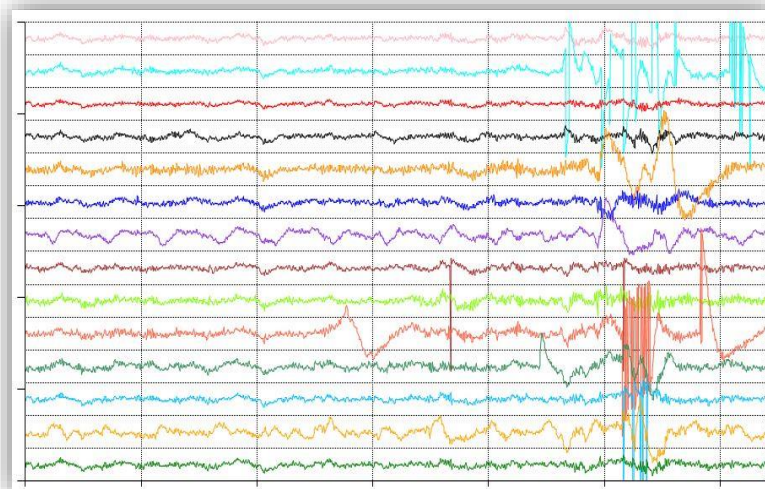


Figura 4b: Movimiento muscular del sujeto 2

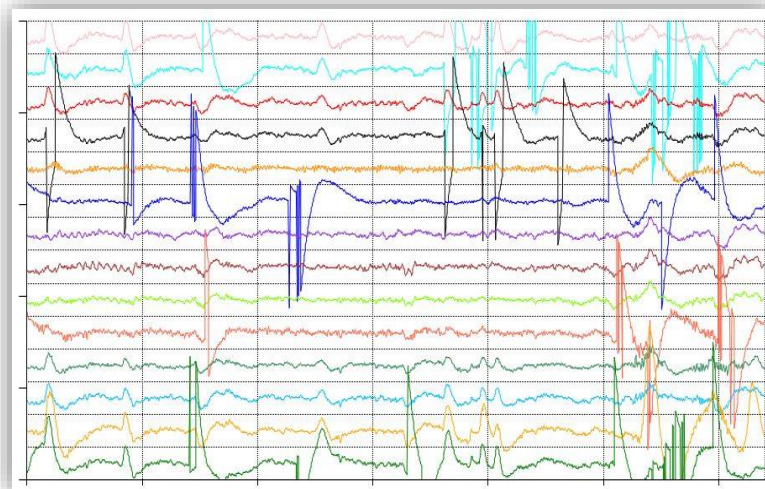


Figura 4c: Movimiento muscular del sujeto 3

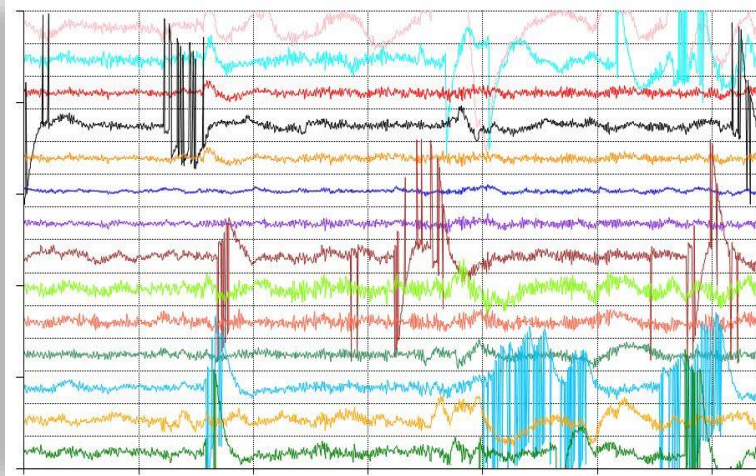


Figura 4d: Movimiento muscular del sujeto 4

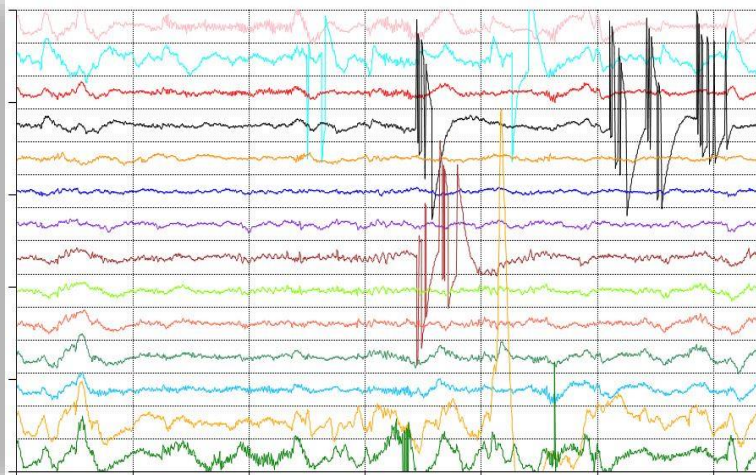


Figura 5a: Movimiento corporal del sujeto 1

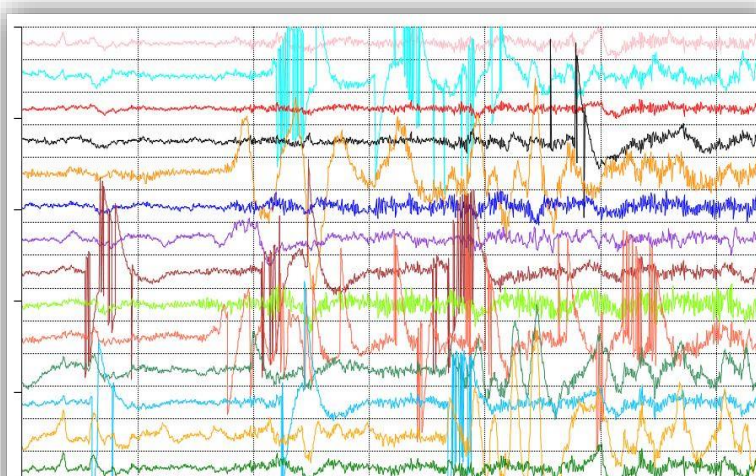


Figura 5b: Movimiento corporal del sujeto 2

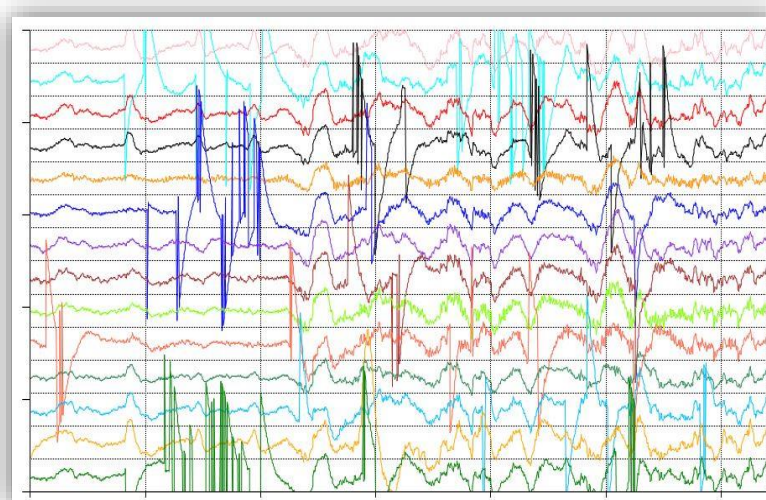


Figura 5c: Movimiento corporal del sujeto 3

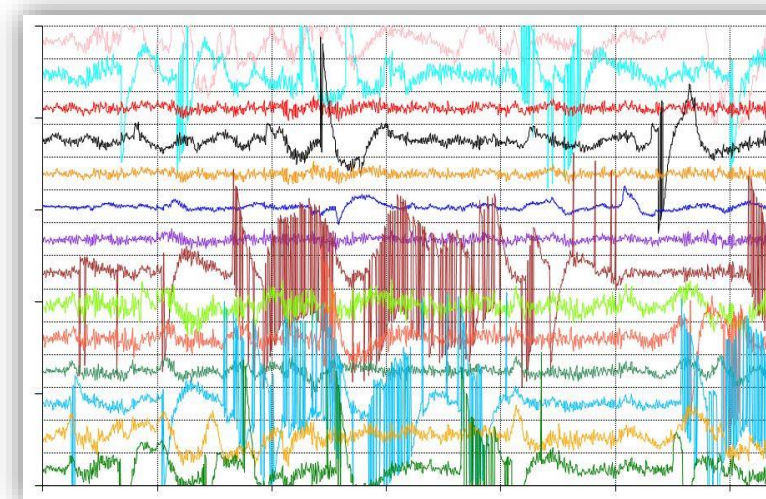


Figura 5d: Movimiento corporal del sujeto 4

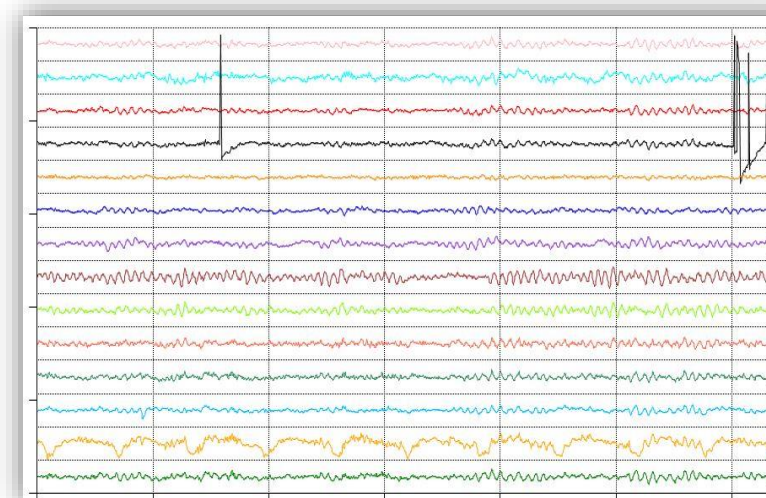


Figura 6a: Reposo del sujeto 1

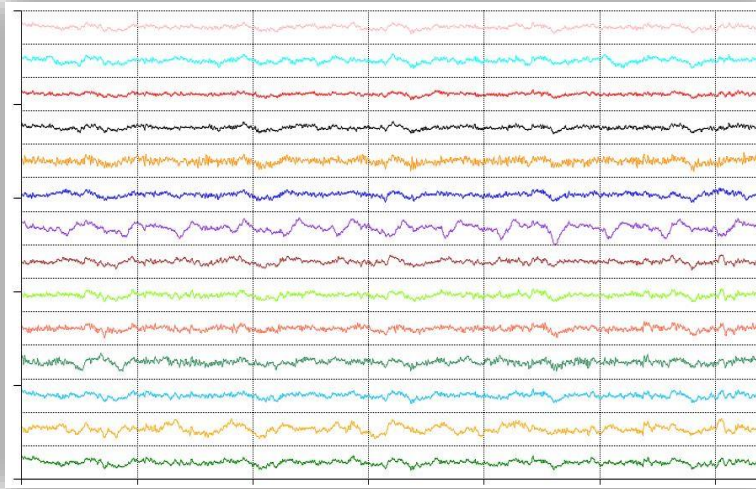


Figura 6b: Reposo del sujeto 2

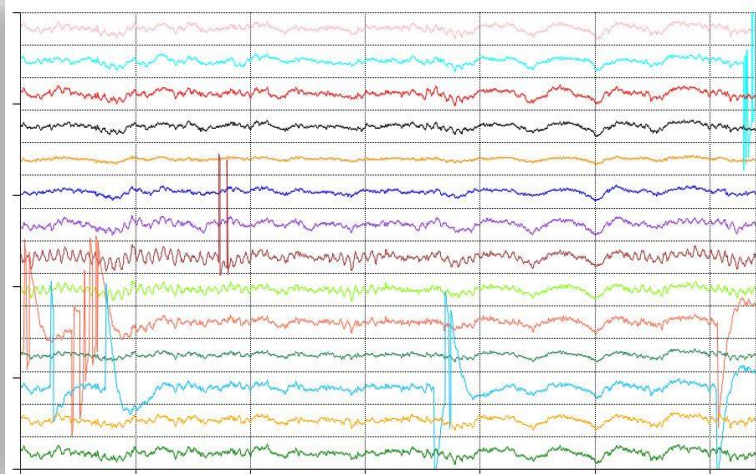


Figura 6c: Reposo del sujeto 3

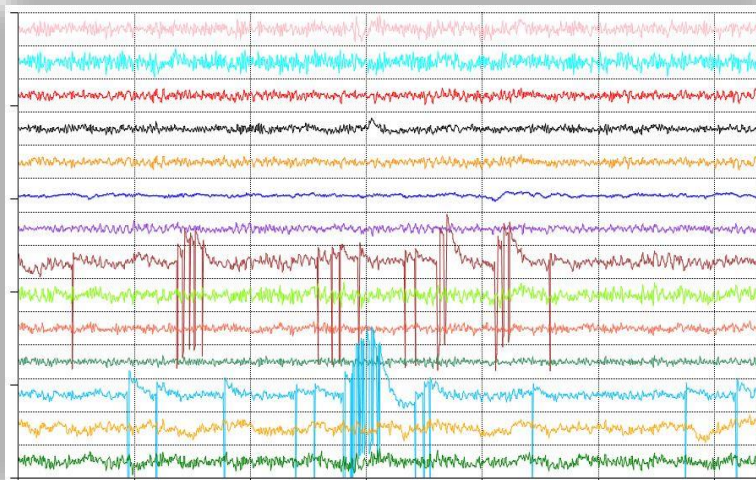


Figura 6d: Reposo del sujeto 4

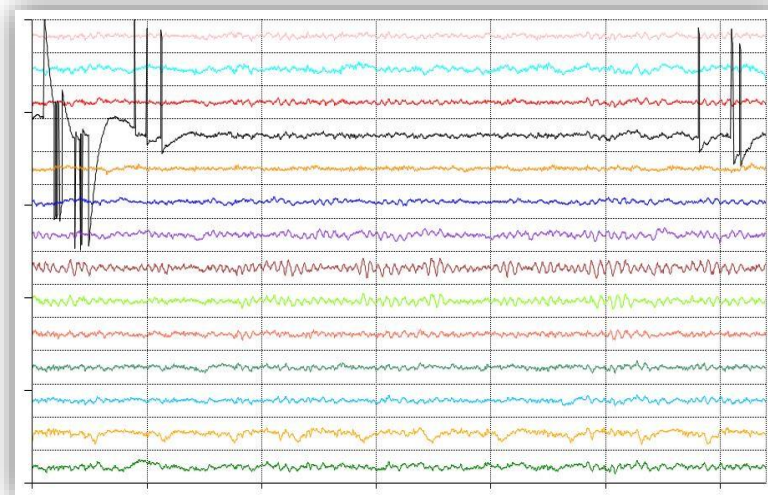


Figura 7a: Sujeto 1 escuchando música

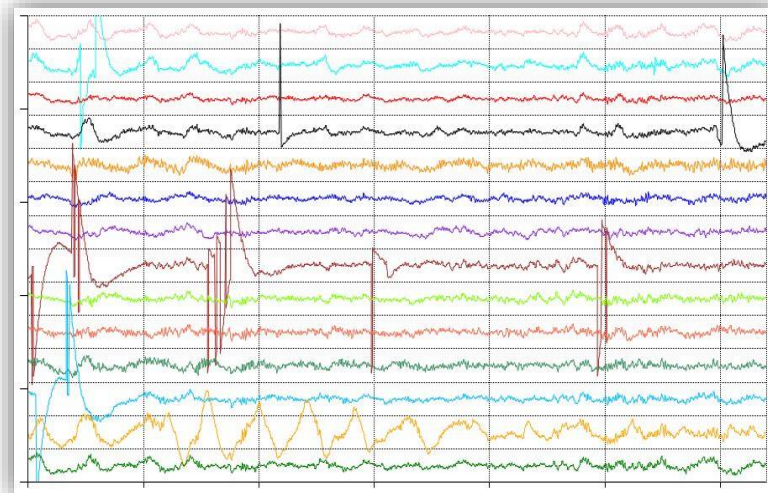


Figura 7b: Sujeto 2 escuchando música

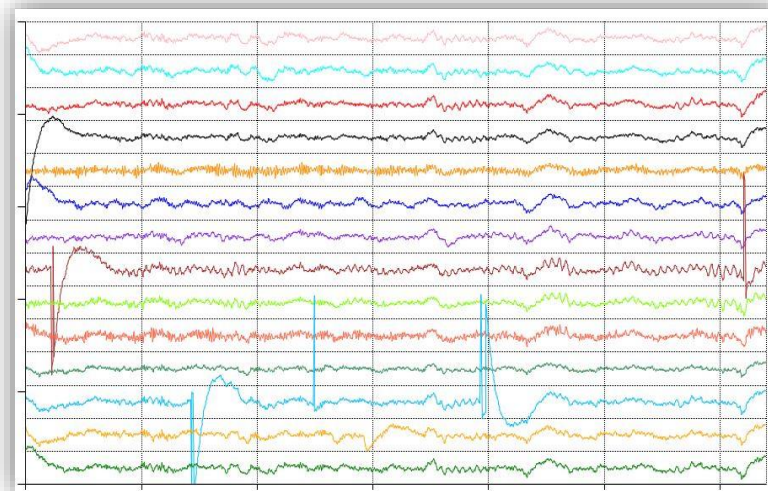


Figura 7c: Sujeto 3 escuchando música

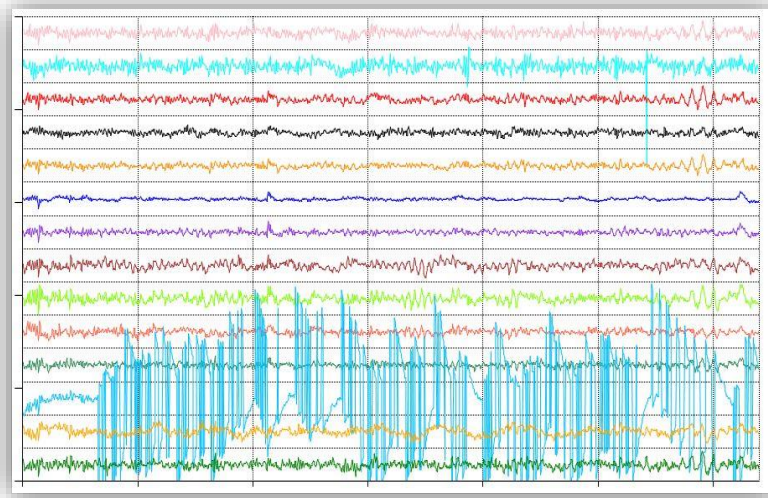


Figura 7d: Sujeto 4 escuchando música

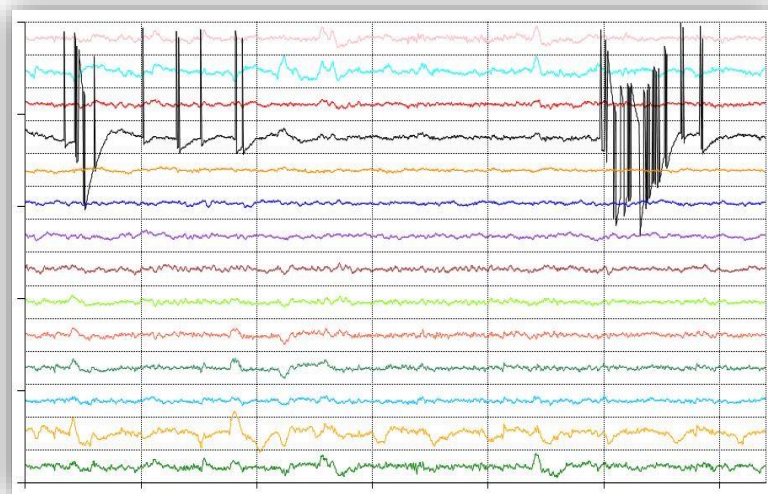


Figura 8a: Pensamiento del sujeto 1

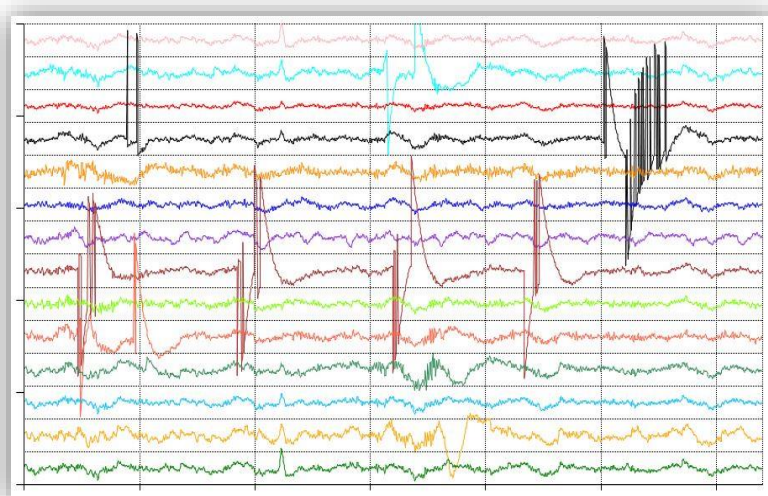


Figura 8b: Pensamiento del sujeto 2

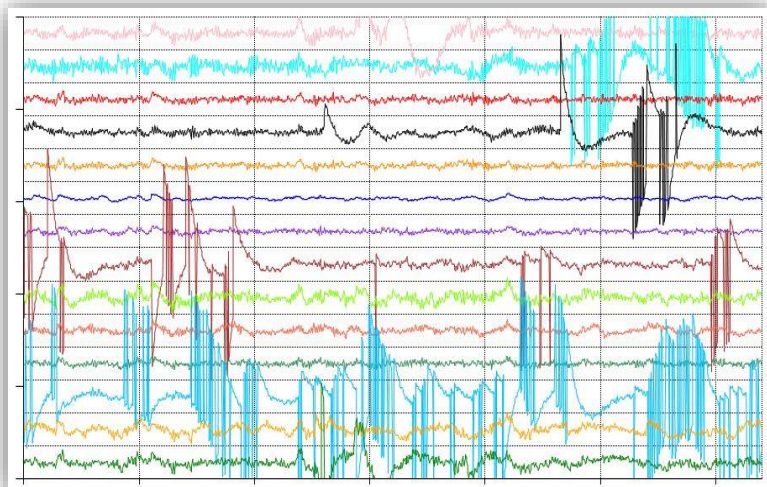


Figura 8c: Pensamiento del sujeto 3

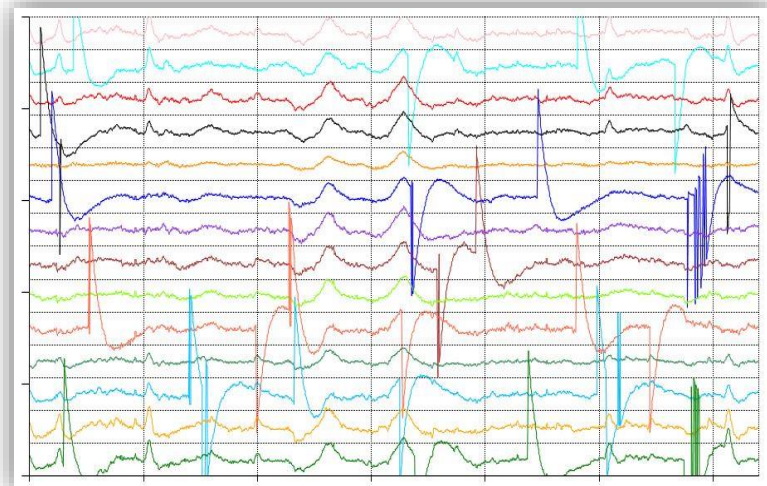


Figura 8d: Pensamiento del sujeto 4

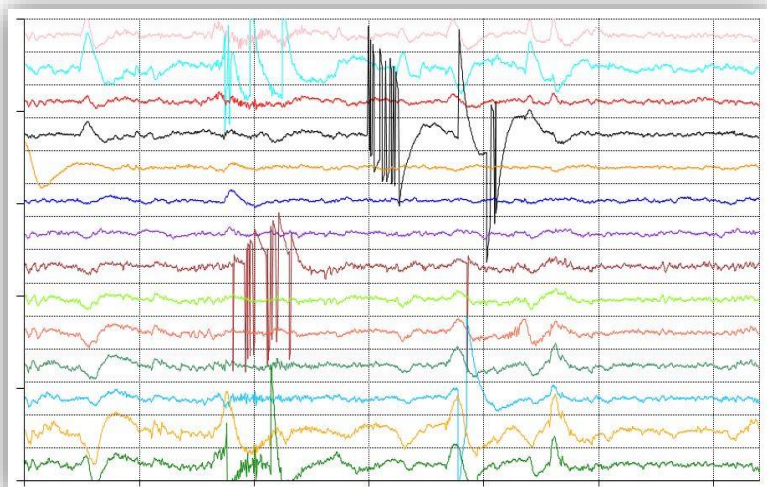


Figura 9a: Sujeto 1 hablando y pensando

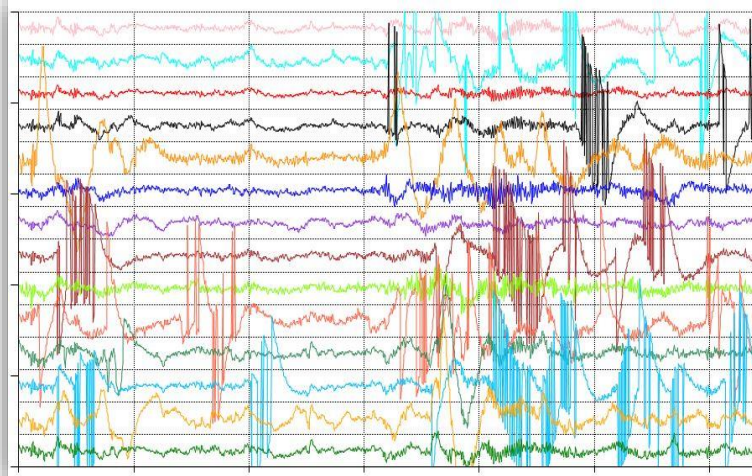


Figura 9b: Sujeto 2 hablando y pensando

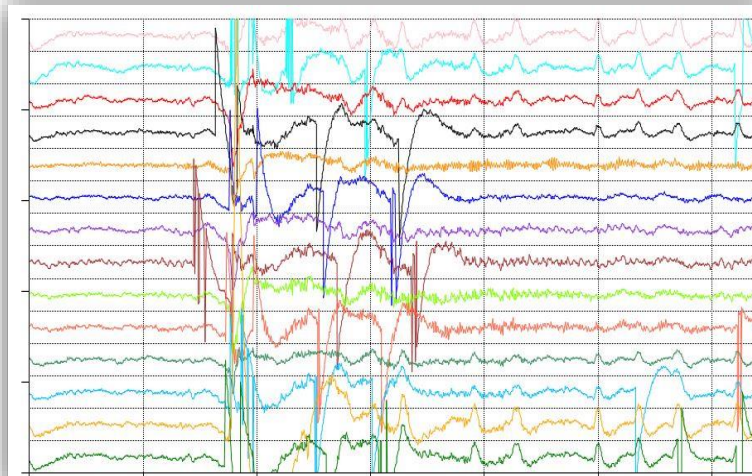


Figura 9c: Sujeto 3 hablando y pensando

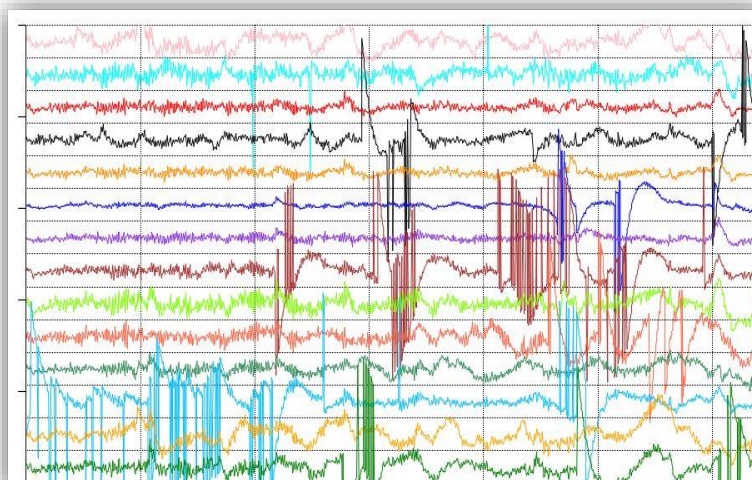


Figura 9d: Sujeto 4 hablando y pensando

Anexo VIII- Diagrama de bloques para la adquisición de señales y potenciales EEG en OpenViBE

