



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO I**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS DE ESTUDIANTES  
DE TERCER Y CUARTO AÑO DE BIOMÉDICA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN BIOMÉDICA**

**PRESENTADO POR:**

**11811283 ASHLEY ROSSINA MORALES REYES**

**ASESOR: ING. FERNANDA CÁCERES**

**CAMPUS TEGUCIGALPA; SEPTIEMBRE, 2022**

## **DEDICATORIA**

El proyecto realizado se lo dedico a mis familiares, especialmente a mi padre, Marco Morales; mi tía, Rosina Morales y mi abuela, Martha Zelaya por amarme y apoyarme en cada paso de mi carrera universitaria y de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC por permitirme utilizar el equipo el cual permitió la realización de adquisición de señales. Gracias a cada uno de los estudiantes que decidió ayudarme voluntariamente a realizar el estudio, debido a que sin ellos el proyecto no se podría haber realizado. Agradezco especialmente a compañeros de estudio que me ayudaron conocer más del tema cuando se me dificultaban algunas labores. Finalmente, agradezco a mis asesores temáticos, y a mi asesora metodológica los cuales me guiaron durante el proceso del proyecto nombrando recomendaciones en cada proceso que realizaba.

## RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo con los estudiantes de ingeniería en Biomédica del Campus UNITEC Tegucigalpa, se encuentran en un estado de "estrés". Este puede ser asociado por la asignación de proyectos, tareas o realización de exámenes durante el periodo académico. El periodo académico de UNITEC se desarrolla en diez semanas, en donde en la quinta semana se realiza los exámenes del primer parcial y en semana nueve y diez presentaciones de proyectos y realización de exámenes finales. Se decide realizar un estudio que compare las semanas mencionadas con la actividad cerebral de los estudiantes y la carga académica durante el periodo.

Para el estudio realizado se necesitó obtener señales electroencefalográficas de 27 estudiantes en cada semana mencionada anteriormente. El proceso consistió en realizar 19 preguntas a cada estudiante mientras se adquirían las señales en tiempo real. Luego, se realizó un código en Matlab, que ayudara a procesar las señales del dominio temporal al dominio frecuencial. El código realizado concedía la media de la frecuencia de la señal cargada. Por último, se desarrolló una tabla por estudiante en Excel la cual contenía la frecuencia media del estudiante por semana correspondiente.

Para finalizar, se desarrolló una gráfica y tabla conclusiva en Excel de los estudiantes por semana con el objetivo de realizar un análisis general de la obtención de señales. Se concluyó que, efectivamente, hay un aumento de ondas cerebrales en el transcurso de las semanas del período académico relacionado semanas de exámenes y semanas finales. La gráfica exponía que, en semana ocho y nueve del periodo la mayoría de los estudiantes obtuvieron un aumento de ondas cerebrales a comparación de a inicios del periodo, semana dos. Quiere decir, que, con un aumento de ondas cerebrales, aumenta la actividad cerebral de los estudiantes por la carga académica durante el periodo.

## **ABSTRACT**

According to Biomedical Engineering students at UNITEC Campus Tegucigalpa, they often express they are in a state of "stress". This can be associated with the assignment of projects, homework or test during the academic period. The academic period of UNITEC is developed in ten weeks, where in the fifth week carried out test of the first partial and in the ninth and tenth week there are projects presentations and final tests. It was decided to conduct a study to analyze the above-mentioned weeks with the students' brain activity and academic load during the period.

For the study conducted it was necessary to obtain electroencephalographic signals from 27 students in each week mentioned above. The process consisted of asking 19 questions to each student by documenting the signals in real time. Then, a code was made in the Matlab tool, which helped to process the signals from the time domain to the frequency domain. The code performed gave the average of the frequency of the loaded signal. Finally, a table per student was developed in Excel mentioning the average frequency of each week.

Finally, a conclusive graph and table was developed in Excel of the students by week in order to perform a general analysis of the signal acquisition. It was concluded that, indeed, there is an increase of brain waves over the weeks of the academic period due to exam weeks and final weeks. The graph showed that, in weeks eight and nine of the term, most students obtained an increase in brain waves compared to the beginning of the term, week two. This means that, with an increase in brain waves, the students' brain activity increases due to the academic load during the period.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	4
II.	Planteamiento del Problema.....	5
2.1	Precedentes Del Problema.....	5
2.2	Definición del Problema.....	6
2.3	Justificación.....	6
2.4	Preguntas De Investigación.....	7
2.5	Objetivos.....	7
2.5.1	Objetivo General.....	7
2.5.2	Objetivos Específicos.....	7
III.	Marco Teórico.....	8
3.1	Actividad Cerebral.....	8
3.1.1	El sistema nervioso.....	8
3.1.2	La Neurona.....	10
3.1.3	Actividad eléctrica cerebral.....	12
3.1.4	Potenciales Postsinápticos.....	13
3.1.5	Electroencefalograma.....	14
3.1.6	Sistema de electrodos 10-20 de la Federación Internacional.....	15
3.2	Actividad Cerebral y Estrés Emocional.....	19
3.2.1	Partes del Cuerpo Implicadas al Estrés.....	19
3.2.1.1	Sistema Nervioso.....	19
3.2.1.2	Hipocampo.....	20
3.2.1.3	Corteza Prefrontal.....	20
3.2.1.4	Amígdala.....	21
3.2.1.5	Hipotálamo.....	21
3.2.1.6	Glándulas suprarrenales.....	22

3.2.2	Emociones y estrés emocional.....	22
3.2.3	Mecanismos neurofisiológicos centrales del estrés y emociones negativas.....	23
3.2.4	Electroencefalograma y estrés.....	24
3.3	Open BCI.....	24
3.3.1	Dispositivos necesarios.....	25
3.3.1.1	Placa Cyton.....	25
3.3.1.2	Llave electrónica OpenBCI.....	28
3.3.1.3	Electrodos.....	28
3.3.1.4	Fuente de alimentación.....	29
3.3.1.5	Ultracórtex Mark IV.....	29
3.3.1.6	Pinza para orejas.....	30
3.3.2	Montaje de electrodos.....	30
3.3.3	OpenBCI GUI.....	31
3.3.3.1	Diseños (Widgets) del OpenBCI GUI.....	32
3.3.4	OpenVibe.....	34
3.3.4.1	Características.....	34
3.3.4.2	Servidor de Adquisición.....	36
3.4	Montajes.....	36
3.4.1	Registros Monopolares.....	36
3.4.2	Registros Bipolares.....	37
3.5	Procesamiento de Señales.....	38
3.5.1	Señales.....	38
3.5.2	Procesamiento tiempo-frecuencia.....	39
3.5.3	Transformada Rápida de Fourier.....	39
3.5.4	Densidad Espectral de la Potencia (PSD).....	41
3.5.5	Espectro de Frecuencia.....	41
3.5.6	Frecuencia de Potencia Media (MNF).....	42
3.5.7	Alteraciones En Las señales EEG.....	44
3.5.8	Filtros.....	45

3.5.9	Teorema de Muestreo.....	46
3.6	Matlab .....	47
IV.	Metodología.....	48
4.1	Enfoque.....	48
4.2	Variables de Investigación.....	48
4.2.1	Variable Independiente .....	48
4.2.2	Variables Dependientes.....	48
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	49
4.3.1	Cuestionarios .....	49
4.3.2	Recolección de Datos Cuantitativos .....	50
4.3.3	Juicios de expertos .....	50
4.3.4	Recopilación de Bibliografía .....	50
4.4	Materiales .....	51
4.4.1	Plataforma OpenBCI.....	51
4.4.2	Ultracortex OpenBCI .....	51
4.4.3	Dongle .....	51
4.4.4	Placa Cyton.....	51
4.4.5	OpenBCI GUI.....	52
4.4.6	Electrodos y pinzas de orejas .....	52
4.4.7	OpenVibe .....	52
4.4.8	Excel.....	52
4.4.9	Matlab.....	53
4.4.10	Computadora .....	53
4.4.11	Teléfono Celular .....	53
4.5	Población y Muestra.....	53
4.6	Metodología de Estudio.....	54
4.6.1	Comunicación con personas profesionales .....	54



4.6.2	Cuestionario Pregunta Investigativa.....	55
4.6.3	Cuestionario de Selección de Participantes .....	55
4.6.4	Recopilación de Señales Electroencefalográficas.....	56
4.6.5	Desarrollo Del Código Para El Procesamiento de Señales.....	56
4.6.6	Análisis Estadísticos.....	56
4.6.6.1	Excel .....	56
4.7	Metodología de Validación .....	57
4.8	Cronograma de Actividades.....	59
V.	Resultados y Análisis.....	60
5.1	Cuestionario Pregunta Investigativa .....	60
5.1.1	Preguntas seleccionadas .....	61
5.2	Cuestionario de Selección de Estudiantes .....	62
5.3	Adquisición de Señales Electroencefalográficas a los Estudiantes.....	64
5.3.1	Materiales.....	64
5.3.1.1	Ultracortex .....	64
5.3.1.2	Electrodos Y Pinzas De Oreja .....	65
5.3.1.3	Placa Cyton.....	65
5.3.1.4	Dongle.....	67
5.3.2	Instalación del Software OpenCI GUI.....	68
5.3.3	Organización Con Los Estudiantes En Semana Dos .....	69
5.3.4	Proceso De Adquisición De Señales con los Estudiantes En Semana Dos .....	69
5.3.4.1	Explicar al estudiante detalladamente el proceso al que se iba a someter .....	70
5.3.4.2	Colocación de materiales:.....	70
5.3.4.3	Adquisición de señales con OpenBCI GUI.....	71
5.3.5	Instalación del Software Open Vibe.....	75
5.3.6	Organización Estudiantes Semana Cuatro y Cinco.....	78
5.3.7	Proceso De Adquisición De Señales Semana Cuatro y Cinco.....	78
5.3.7.1	Adquisición de señales con el OpenVibe .....	78

5.3.8	Organización Estudiantes Semana Ocho y Nueve.....	80
5.3.9	Proceso De Adquisición De Señales Semana Ocho y Nueve.....	80
5.3.10	Datos de adquisición de señales listos para procesar .....	80
5.3.11	Problemas Durante el Proceso de Adquisición De Señales .....	81
5.3.11.1	Problemas OpenBCI GUI.....	82
5.3.11.2	Problemas Generales.....	83
5.4	Código Necesario Para el Procesamiento de Señales.....	85
5.4.1	Limpieza de Datos .....	86
5.4.2	Definición de Frecuencia de Muestreo.....	87
5.4.3	Cargar Documento de Muestreo .....	87
5.4.4	Lectura de la Columna Necesaria .....	87
5.4.5	Filtro Pasa Banda:.....	89
5.4.6	Frecuencia Media .....	90
5.5	Resultados Finales .....	93
5.5.1	Explicación de resultados.....	93
5.5.1.1	Ejemplo 1 .....	93
5.5.1.2	Ejemplo 2 .....	95
5.5.2	Promedio General de los Estudiantes .....	97
VI.	Conclusiones .....	100
VII.	Recomendaciones.....	101
VIII.	Aplicabilidad/Implementación.....	102
IX.	Evolución De Trabajo Actual .....	102
X.	Bibliografía.....	103
XI.	Anexos .....	109

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Sistema nervioso central.....	9
Ilustración 2 - Diagrama den encéfalo (Los colores indican los lóbulos cerebrales).....	10
Ilustración 3 - La Neurona .....	11
Ilustración 4 - Sinapsis .....	11
Ilustración 5 - Formación de los potenciales postsinápticos en una célula piramidal.....	13
Ilustración 6 - Ondas Cerebrales.....	15
Ilustración 7 - Métodos de medición de nasion a inion en la línea media (vista lateral). .....	17
Ilustración 8 - Método de medición de la línea central de los electrodos (vista frontal). .....	17
Ilustración 9 - Vista superior del cráneo con las mediciones.....	18
Ilustración 10 - Principales estructuras del sistema límbico implicadas en el procedimiento y respuesta al estrés .....	20
Ilustración 11 - Placa Cyton.....	26
Ilustración 12 – Microcontrolador .....	26
Ilustración 13 – Amplificador.....	27
Ilustración 14 - USB Dongle .....	28
Ilustración 15 - Electrodo OpenBCI.....	28
Ilustración 16 - Electrodo para EEG en OpenBCI .....	29
Ilustración 17 – Fuente de alimentación para la placa Cyton .....	29
Ilustración 18 - Ultracortex Mark IV .....	30
Ilustración 19 - Pinzas para orejas.....	30
Ilustración 20 - Posibles ubicaciones de electrodos en ultracortex .....	31
Ilustración 21 - GUI del OpenBCI.....	32

Ilustración 22 – Filtros .....	32
Ilustración 23 - Serie de Tiempo .....	33
Ilustración 24 - Gráfica de FFT.....	34
Ilustración 25 - Lenguaje gráfico.....	35
Ilustración 26 – Interfaz gráfica de usuario del servidor de adquisición.....	36
Ilustración 27 - Montaje monopolar.....	37
Ilustración 28 - Registros Bipolares.....	37
Ilustración 29 – Ejemplo de gráfica Transformada Rápida de Fourier.....	40
Ilustración 30 – Media de la Frecuencia .....	43
Ilustración 31 – Aumento de la media de la frecuencia.....	44
Ilustración 32 - Metodología de estudio .....	54
Ilustración 33 – Cuestionario Investigativo .....	60
Ilustración 34 – Portada del cuestionario .....	63
Ilustración 35 – Colocación de electrodos en el Ultracortex.....	65
Ilustración 36 – Placa Cyton en estudiante .....	66
Ilustración 37 – Entradas de los electrodos .....	66
Ilustración 38 – Dongle conectado .....	67
Ilustración 39 – Materiales.....	68
Ilustración 40 – Software OpenBCI GUI.....	68
Ilustración 41 – Ubicación de materiales para la adquisición de señales .....	71
Ilustración 42 – Inicio del Software OpenBCI GUI .....	71
Ilustración 43 – Selección de placa Cyton conectado con Dongle.....	72
Ilustración 44 – Inicio de la adquisición de señales con el OpenBCI GUI .....	72

Ilustración 45 – Ventana de filtros.....	73
Ilustración 46 – Adquisición de señales.....	74
Ilustración 47 – Almacenamiento de las señales .....	75
Ilustración 48 – Inicio del OpenVibe.....	76
Ilustración 49 – Código en OpenVibe.....	77
Ilustración 50 – Servidor de Adquisición OpenVibe.....	79
Ilustración 51 – Comienzo de adquisición de señales .....	79
Ilustración 52 – Documento en dominio temporal.....	81
Ilustración 53 – Error de lectura de los electrodos.....	82
Ilustración 54 – Mensaje de Interrupción .....	83
Ilustración 55 – Tipos de Cabello en la adquisición.....	84
Ilustración 56 – Cable desplegable por uso excesivo .....	84
Ilustración 57 – Código Matlab .....	85
Ilustración 58 – Limpieza ventana de command window y workspace .....	86
Ilustración 59 – Respuesta al correr el programa.....	87
Ilustración 60 – Documento en dominio temporal.....	88
Ilustración 61 – Lectura de columna.....	89
Ilustración 62 – Cálculo de la frecuencia media con la frecuencia de muestreo .....	91
Ilustración 63 - Cálculo de la frecuencia media sin la frecuencia de muestreo.....	91
Ilustración 64 – Cálculo de la media de la frecuencia.....	92
Ilustración 65 – Gráfica de la respuesta de la frecuencia media.....	92
Ilustración 66 – Gráfica promedio de 27 estudiantes .....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Letras con su respectivo lóbulo.....	16
Tabla 2 – Entradas de electrodos a la placa Cyton .....	27
Tabla 3 – Entradas utilizadas en la placa Cyton .....	67
Tabla 4 – Frecuencias promedio del estudiante 1.....	93
Tabla 5 – Ejemplo obtención de resultados misma semana.....	94
Tabla 6 – Ejemplo obtención de resultados en distintas semanas.....	95
Tabla 7 – Promedio 27 Estudiantes.....	97

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 – Transformada de Fourier .....	40
Ecuación 2 – Transformada rápida de Fourier .....	40
Ecuación 3 – Densidad Espectral de la Potencia .....	41
Ecuación 4 – Función de Espectro Frecuencial .....	42
Ecuación 5 – Frecuencia Media.....	42
Ecuación 6 – Tiempo de muestra de la señal .....	47
Ecuación 7 – Tiempo de muestra de una señal con Frecuencia de muestreo .....	47
Ecuación 8 – Frecuencia Media.....	94
Ecuación 9 – Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F7-A1 .....	94
Ecuación 10 - Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F8-A1 .....	95
Ecuación 11 – Estudiantes por electrodo.....	95
Ecuación 12 - Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F7-A1 .....	95
Ecuación 13 - Específica para estudiante 1 de la semana cuatro para el electrodo F7-A1.....	96
Ecuación 14 - Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F7-A1 .....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 – Respuestas al Cuestionario Investigativo .....	109
Anexo 2 – Preguntas del cuestionario de Participación.....	110
Anexo 3 - Organización de horarios disponibles en laboratorio .....	111
Anexo 4 - Horarios estudiantes tercer año .....	111
Anexo 5 - Horarios estudiantes cuarto año .....	112
Anexo 6 - Horarios Laboratorios semana cuatro.....	112
Anexo 7 - Horarios Laboratorios Semana cinco .....	113
Anexo 8 - Horarios Estudiantes tercer año, semana cuatro y cinco.....	113
Anexo 9 - Horarios estudiantes de cuarto año, semana cuatro y cinco.....	114
Anexo 10 - Horarios laboratorios semana ocho .....	114
Anexo 11 - Horarios laboratorios semana nueve.....	115
Anexo 12 - Horarios Estudiantes tercer año, semana ocho y nueve .....	115
Anexo 13 - Horarios estudiantes de cuarto año, semana ocho y nueve.....	116
Anexo 14 - Frecuencias promedio del estudiante 2.....	116
Anexo 15 - Frecuencias promedio del estudiante 3.....	116
Anexo 16 - Frecuencias promedio del estudiante 4.....	117
Anexo 17 - Frecuencias promedio del estudiante 5.....	117
Anexo 18 - Frecuencias promedio del estudiante 6.....	117
Anexo 19 - Frecuencias promedio del estudiante 7.....	117
Anexo 20 - Frecuencias promedio del estudiante 8.....	117
Anexo 21 - Frecuencias promedio del estudiante 9.....	118
Anexo 22 - Frecuencias promedio del estudiante 10 .....	118



Anexo 23 - Frecuencias promedio del estudiante 11 .....	118
Anexo 24 - Frecuencias promedio del estudiante 12 .....	118
Anexo 25 - Frecuencias promedio del estudiante 13 .....	118
Anexo 26 -Frecuencias promedio del estudiante 14.....	119
Anexo 27 -Frecuencias promedio del estudiante 15.....	119
Anexo 28 -Frecuencias promedio del estudiante 16.....	119
Anexo 29 - Frecuencias promedio del estudiante 17 .....	119
Anexo 30 -Frecuencias promedio del estudiante 18.....	119
Anexo 31 - Frecuencias promedio del estudiante 19 .....	120
Anexo 32 - Frecuencias promedio del estudiante 20 .....	120
Anexo 33 - Frecuencias promedio del estudiante 21 .....	120
Anexo 34 - Frecuencias promedio del estudiante 22 .....	120
Anexo 35 - Frecuencias promedio del estudiante 23 .....	120
Anexo 36 - Frecuencias promedio del estudiante 24 .....	121
Anexo 37 - Frecuencias promedio del estudiante 25 .....	121
Anexo 38 - Frecuencias promedio del estudiante 26 .....	121
Anexo 39 - Frecuencias promedio del estudiante 27 .....	121

## **LISTADO DE SIGLAS**

ACTH	Adrenocorticotropic hormone (Hormona adrenocorticotropa)
CRF	corticotropina
EEG	Electroencefalograma
FR	Formación Reticular
PPSE	Potenciales Postsinápticos Excitatorios
PPSI	Potenciales Postsinápticos Inhibitorios
SNC	Sistema Nervioso Central
SNP	Sistema Nervioso Periférico
SRA	Sistema Reticular Activador

## GLOSARIO

Célula piramidal: Tipo de neuronas multipolares situadas en diversas partes del cerebro; como en la corteza cerebral, hipocampo o la amígdala (Castillero, 2019).

Diencefalo: Interviene en las sensaciones, controla las emociones y dirige todos los sistemas internos (Laguna, 2022).

Enfermedades psicosomáticas: Enfermedades las cuales, de fuertes procesos emocionales como depresión, ansiedad o estrés, se derivan síntomas físicos (Social, 2020).

Espectro: En la física, un espectro es la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como longitud de onda, energía, etc. En conjunto con su gráfica (ASALE & RAE, s. f.-a).

Exteroceptivas: Sensaciones provocadas por estímulos externos del organismo; como visión olfato, audición, gusto y tacto (Díaz, 2019).

Formación reticular: La formación reticular (FR) es un conjunto de núcleos y fibras nerviosas que ocupa el tegmento o calota del tronco encefálico, entre los núcleos de los nervios craneales y las vías nerviosas ascendentes y descendentes (Ferraro & Acuña, s. f.).

Frecuencia: Número de veces que se repite un proceso periódico por unidad de tiempo (ASALE & RAE, s. f.-b).

Homeostasis: Estado de equilibrio entre todos los sistemas del cuerpo que se necesita para sobrevivir y funcionar correctamente (ASALE & RAE, s. f.-c).

Inion: Proyección más prominente del hueso occipital en la parte posteroinferior del cráneo humano, siendo el sitio de inserción del ligamento nuchal y el músculo trapecio (Domínguez Gasca et al., 2018).

Interoceptivas: Estímulos o sensaciones que provienen de los órganos internos del cuerpo humano (Jiménez, 2019).

Mesencéfalo: Actúa como un organizador, coordina todos los mensajes que llegan al cerebro y los que salen hacia la médula espinal (Hirsch, s. f.).

Modularidad: En informática, modularidad consiste en la capacidad que tiene un sistema de ser estudiado, entendido o visto como una unión de varias partes que interactúan entre sí y que trabajan para alcanzar un objetivo en común (Gilbert, s. f.).

Multiplexaje: En telecomunicaciones se refiere a la técnica de combinar dos o más señales y poder transmitir las por un medio de transmisión permitiendo varias comunicaciones de manera simultánea (*Multiplexación*, s. f.).

Nasion: Punto de intersección del hueso y de los huesos nasales del cráneo humano (*Nasión. Diccionario médico. Clínica Universidad de Navarra.*, s. f.).

Onda: Perturbación periódica que consiste en una serie de oscilaciones que se propagan a través de un medio (ASALE & RAE, s. f.-d).

Pituitaria: Produce hormonas que afectan el crecimiento y las funciones de otras glándulas del cuerpo (*Tumores en la glándula pituitaria - Introducción*, 2021).

Somato: Prefijo médico que significa "cuerpo" (*somato-*, s. f.).

## I. INTRODUCCIÓN

Las señales electroencefalográficas son empleadas en el estudio de la medicina siendo una técnica que provee medidas de la distribución espacial de voltajes del cerebro, la cual varía en el tiempo. Esta técnica ayuda a registrar la actividad cerebral que proviene de los electrodos que se colocan en zonas distintas del cuero cabelludo dependiendo de la finalidad del usuario. (Guevara et al., 2022)

El registro de EEG es una técnica que ayuda a determinar la actividad cerebral en relación con las conductas, procesos cognitivos particulares y estados fisiológicos de manera invasiva. Esta ayuda a ver cambios del cerebro ante distintas condiciones, como respuestas por algún estímulo sensorial, el ciclo del sueño, manipulaciones hormonales y farmacológicas, etc. (Guevara et al., 2022)

En el siguiente informe, se presentan las recolecciones de señales electroencefalográficas a un grupo de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Biomédica de tercer y cuarto año en UNITEC campus Tegucigalpa. Se utilizará la herramienta OpenBci proporcionado por la universidad para registrar las señales de los estudiantes.

El proceso consiste en tomar mediciones a los estudiantes en distintas semanas del periodo académico. De esta manera, se diseñará una herramienta que ayude a visualizar las señales adquiridas de los estudiantes con el objetivo de comprobar si existe una diferencia entre ellas debido a la carga académica a la que se enfrentan. Se propone analizar la respuesta en frecuencias de las señales electroencefalográficas de los estudiantes cuando tienen mayor asignación de trabajos académicos.

El siguiente informe está dividido por capítulos; el planteamiento del problema, luego sus objetivos investigativos, las definiciones necesarias para la comprensión de los temas del proyecto, la metodología empleada y los recursos utilizados. Posteriormente se mostrarán los resultados obtenidos y las dificultades que hubo durante el proyecto.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Las emociones en los seres humanos son estados subjetivos que se reflejan en la actividad cerebral del cerebro. El concepto de estrés es una reacción que surge como una respuesta no específica del organismo a la acción de condiciones ambientales adversas. De acuerdo con el concepto de estrés los científicos han desarrollado una idea de estrés emocional como un estado psicoemocional de una persona caracterizada por un comportamiento no específico. (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Estudios biomédicos y psicofisiológicos muestran que el estrés emocional llega a tener un efecto general sobre las funciones vitales de un organismo. El estrés emocional puede llegar a causar varias enfermedades como psicosis, neurosis, trastornos del sueño, enfermedades oncológicas, disfunciones hormonales, enfermedades cardiovasculares; como infartos, arritmias, hipertensión, etc. Así también, puede provocar reacciones psiconeuróticas como desconfianza excesiva, ansiedad, reducción de actividades, debilidad de memoria, etc. (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Para una medición de estrés se concluye que existe una fuerte correlación entre el cortisol salival, la variedad de frecuencia cardiaca y las ondas beta altas en la actividad cerebral la cual se puede ver mediante un electroencefalograma. Esta correlación puede llegar a detectar un nivel de estrés crónico y/u otras enfermedades y reacciones psicológicas (Colula Medel, 2018).

De acuerdo con los estudiantes de UNITEC Tegucigalpa del programa de ingeniería en biomédica, suelen expresar que se encuentran en un estado de "estrés", el cual puede ser asociado por asignación de tareas, exámenes y proyectos. En UNITEC los periodos académicos se desarrollan en diez semanas para realizar los cursos. Dentro de las diez semanas, se divide en dos parciales, en donde en la quinta semana se realizan los exámenes del primer parcial y en semana diez los correspondientes al segundo parcial. De la misma manera, en semana nueve es entrega de la mayor parte de trabajos y proyectos realizados durante el periodo.

Debido a lo mencionado anteriormente se decidió realizar un estudio analizando la semana inicial del curso, la quinta semana, donde se realizan las evaluaciones parciales, y, la novena semana,

donde se presentan en su mayoría los proyectos e investigaciones del curso. Con el objetivo de registrar señales electroencefalográficas y poder visualizar la actividad cerebral de los estudiantes y encontrar una posible relación al estrés con la carga académica.

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Según estudios científicos, un exceso de actividad cerebral, reflejadas en frecuencia y en sus tipos de ondas consume mucha energía en el cuerpo humano. Los estudiantes de ingeniería en biomédica de UNITEC Campus Tegucigalpa presentan distintos niveles de cargas de asignaciones en el periodo académico dependiendo la semana. Esta carga académica podría llegar a generar estrés en los estudiantes, lo cual podría relacionarse con un consumo de energía adicional o excesivo.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

La actividad cerebral se puede distinguir en diversas ondas cerebrales como delta, theta, alfa, beta y gamma. Cada una de ellas muestra un mapeo cerebral que es dividido en frecuencias; ondas delta (sueño profundo, 0-4Hz), theta (antes de dormir y después de levantarse, 4-7Hz), ondas alfa (despierto relajado, 7-13Hz), ondas beta (despierto-alerta, 13-30Hz) y ondas gamma (30-90Hz) (Gonzalez-Correa & Ramirez-Calderón, 2020).

Una alta actividad cerebral puede afectar a una persona, dado que la presencia excesiva de ondas beta (13-30Hz) puede presentar una falta de regulación en el cuerpo o hasta trastornos de ansiedad. Al lograr diferenciar las frecuencias de las ondas cerebrales es posible conocer estados de ansiedad, estrés, insomnio, etc. Siempre y cuando se tomen en cuenta variantes como la reseña de un profesional médico u otros estudios que validen tales trastornos, pero el conocimiento de dichas frecuencias puede de ser de gran ayuda (Gonzalez-Correa & Ramirez-Calderón, 2020).

Debido a lo anterior, se desea emplear un estudio de la actividad cerebral de los estudiantes en distintas semanas del periodo académico observando sus diferencias dependiendo a la carga académica que conllevan. Un estudio de la actividad cerebral de estudiantes no comprueba que sufre de estrés o ansiedad, debido a que se necesita más que solo estudiar las señales electroencefalográficas para diagnosticarlo. Sin embargo, el estudio puede ayudar a analizar en

qué frecuencias se encuentra la actividad cerebral de los estudiantes cuando tienen una carga académica excesiva.

Conforme a lo mencionado, se puede detectar una posibilidad que los estudiantes durante un tiempo estén más alterados emocionalmente a diferencia de otros debido a la carga académica.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cómo se recolectarán las señales electroencefalográficas en los estudiantes?
- ¿Qué semanas del periodo son más aptas para recolectar las señales electroencefalográficas?
- ¿Qué se necesita para desarrollar una herramienta que ayude a procesar las señales captadas de los estudiantes y así llegar a compararlas entre ellas y entre semanas?
- ¿Qué aspectos se debe de tener en cuenta para analizar las señales y realizar una buena comparación entre ellas?

## **2.5 OBJETIVOS**

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar las señales electroencefalográficas de estudiantes de tercer y cuarto año del programa en ingeniería en biomédica de UNITEC Campus Tegucigalpa en distintas semanas del periodo académico y encontrar relación con la carga académica y un factor de estrés.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar las señales electroencefalográficas del grupo los estudiantes de Ingeniería en Biomédica en distintas semanas del periodo académico utilizando el software de registro OpenBCI.
- Desarrollar un código que ayude en el análisis estadístico de las señales registradas.
- Realizar una comparación de las señales electroencefalográficas con respecto entre la actividad cerebral y la carga en distintas semanas del periodo académico.



### **III. MARCO TEÓRICO**

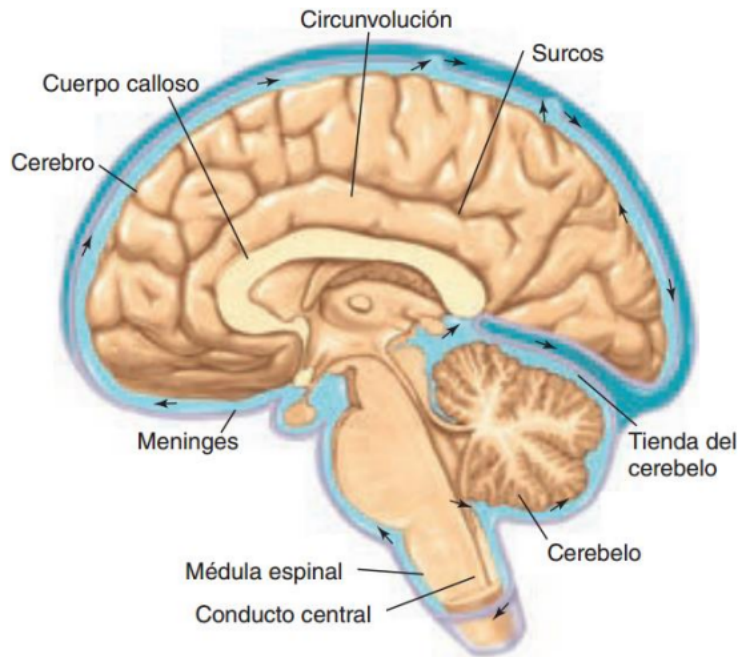
#### **3.1 ACTIVIDAD CEREBRAL**

La actividad eléctrica cerebral es una de las formas la cual el cerebro representa sus funciones. Para comprender la actividad cerebral en nuestro cerebro se debe de conocer varios conceptos antes como ser todo el sistema nervioso, enfocado en el sistema nervioso central. También se requiere del conocimiento esencial de las neuronas y el procedimiento que sucede para que se produzca actividad electica cerebral.

##### **3.1.1 EL SISTEMA NERVIOSO**

El sistema nervioso está dividido en varias partes, dos de ellas son el sistema nervioso central (Ilustración 1) y sistema nervioso periférico. El sistema nervioso central (SNC) es formado por el encéfalo y la medula espinal. Este sistema recibe las informaciones que le son traídas por el sistema nervioso periférico (SNP), las trata en distintos niveles y envía órdenes motoras que parten del sistema nervioso periférico. El SNP, está compuesto por los nervios, las terminaciones y los ganglios nerviosos. Este está disperso e el organismo y trae al sistema nervioso central las informaciones recogidas en la periferia y así transmite a los órganos (Tirado, 2016).

El sistema nervioso central, recibe referencias resultantes de neuronas sensoriales y lidera la actividad de neuronas motoras que inervan músculos y glándula. La mayor parte del encéfalo es el cerebro, el cual trabaja la mayor parte de las funciones superiores del encéfalo que conlleva el aprendizaje y la memoria. El cerebro está formado por dos hemisferios: hemisferio derecho y hemisferio izquierdo conectado por el cuerpo calloso que se encuentra en lo profundo del cerebro. El cuerpo calloso es el principal tracto de axones que conecta ambos hemisferios (Tirado, 2016).



**Ilustración 1- Sistema nervioso central**

Fuente: (Tirado, 2016)

Los dos hemisferios cerebrales muestran su respectiva función, a esto se le conoce como el fenómeno *lateralización cerebral*. La lateralización es referente a la distinta especialización de los hemisferios cerebrales. De esta manera, el hemisferio derecho es el especializado en el pensamiento espacial, reconocimiento fácil y percepción de todas las emociones. El hemisferio izquierdo es el especializado en el lenguaje y control de las emociones (Tirado, 2016).

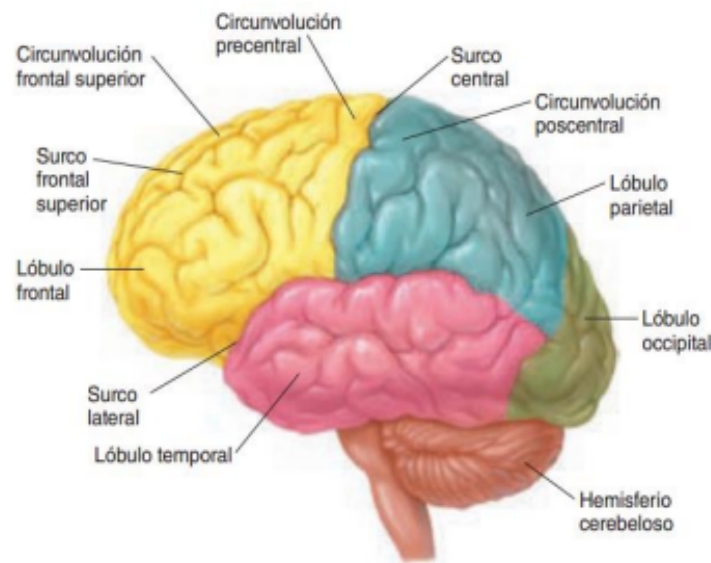
Cada hemisferio cerebral tiene territorios llamados lóbulos cerebrales. Los lóbulos visibles son: el frontal, temporal, occipital y parietal, se pueden observar dinámicamente en la (Ilustración 2). Las funciones de cada lóbulo son distintas; el lóbulo frontal es el que decide el conducto motora apropiada en cada caso. Este es aquel que tiene el control de las emociones, el razonamiento y el juicio; tiene control voluntario de la comunicación verbal, personalidad, procesos intelectuales superiores (toma de decisiones, planeación) (Geffner, 2016).

El lóbulo parietal, es donde está integrado la información sensorial interoceptiva de nuestro cuerpo, decir los músculos, tendones, articulaciones en conjunto con la parte exteroceptiva que

es del exterior. A esta se le incluye el entendimiento del habla y formulación de palabras para expresar los sentimientos y las emociones (Geffner, 2016).

El lóbulo occipital se encarga de la interpretación visual y auditiva, capta la información visual y está trasciende a los lóbulos frontales y parietales. El lóbulo temporal está relacionado con los últimos procesos auditivos; siendo también relacionado con el olfato, visión, emoción y memoria. Es donde asientan importantes estructuras de la memoria (hipotálamo) y del sistema emotivo inconsciente (sistema límbico) (Geffner, 2016).

Por último, hay un lóbulo que no es visible, llamado ínsula. Esta participa en la comprensión del lenguaje hablado, la información sensitiva y el sentido al gusto (Saladin, 2022).



**Ilustración 2 - Diagrama den encéfalo (Los colores indican los lóbulos cerebrales).**

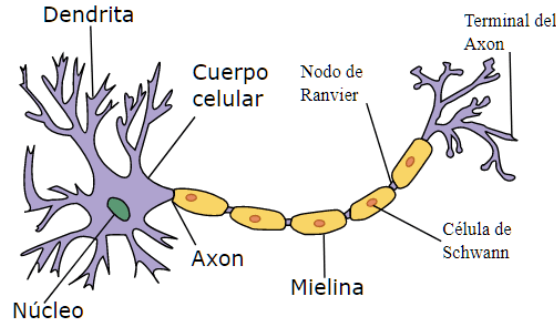
Fuente: (Tirado, 2016).

### 3.1.2 LA NEURONA

El sistema nervioso transfiere las señales entre el cerebro y todo el cuerpo y sus órganos. Es por eso por lo que la actividad del sistema nervioso controla todas las capacidades del cuerpo humano como respirar, moverse, pensar, etc. (NICHD, 2019).

La unidad básica del sistema nervioso es la neurona (Ilustración 3) y el cerebro contiene alrededor de cien mil millones de ellas. Una neurona tiene un cuerpo celular donde incluye el núcleo celular

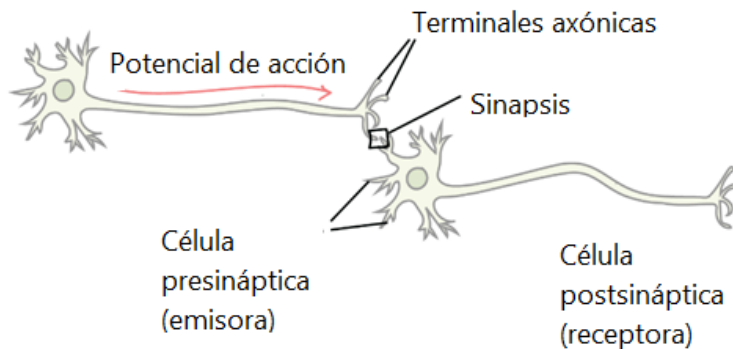
y sus extensiones denominadas axones o nervios que se encuentran en todo el cuerpo y las dendritas. Estas mismas es lo que permite que las neuronas se comuniquen entre ellas, incluso a través de largas distancias (NICHD, 2019).



**Ilustración 3 - La Neurona**

Fuente:(Sanagustín, 2015).

Las neuronas se comunican entre sí a través de sucesos eléctricos llamados potenciales de acción. Envían mensajes a otras al momento de intercomunicarse, cuando esto pasa, una envía una señal eléctrica por la longitud del axón. En el axón terminal, esa señal eléctrica llega a convertirse en una señal química la cual después es liberada con mensajeros químicos denominados neurotransmisores en la sinapsis (conexión entre el axón y la dendrita de otra cercana (ASALE & RAE, s. f.-e)). Los neurotransmisores pasan la señal por la sinapsis hasta la dendrita continua, que vuelve a convertir la señal química en eléctrica como se muestra en la Ilustración 4 (NICHD, 2019).



**Ilustración 4 - Sinapsis**

Fuente: (ASALE & RAE, s. f.-e)

En el sistema nervioso se valora la capacidad que tiene para procesar información, almacenarla y la toma de decisiones; las sinapsis son lo que hacen la toma de decisiones. Debido a eso, entre más sinapsis una neurona tiene, hay una mayor capacidad de almacenamiento de información. Las células piramidales tienen aproximadamente 40,000 contactos sinápticos con otras neuronas. Se calcula que la corteza cerebral, que es el principal tejido que el cerebro tiene para el procesamiento de la información, tiene 100billones de sinapsis. A esta capacidad que las neuronas tienen de procesar, almacenar y recordar información es llamada integración neural. (Saladin, 2022).

### 3.1.3 ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL

La organización de las células y la presencia de enormes cantidades de sinapsis excitadoras e inhibitorias sobre las neuronas es capaz de permitir la sumación de una actividad eléctrica de miles de neuronas en la corteza cerebral (Velayos & Diéguez, 2015).

El sistema reticular activador (SRA) ascendente es el regulador de toda la actividad del sistema nervioso central. Es por eso por lo que, este sistema, en conjunto con el tálamo y la formación reticular toman un papel importante en la sinapsis (Velayos & Diéguez, 2015).

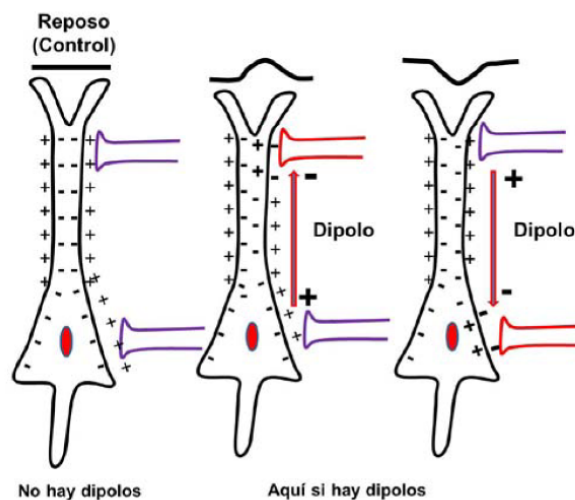
Esa actividad eléctrica produce la formación de dipolos que están fluctuando y son llamados potenciales postsinápticos, sin embargo, estos solo oscilan, no son los potenciales de acción. Los potenciales postsinápticos producen lo que es la actividad eléctrica de la corteza cerebral, estos llegan a sumarse por lo que son lo suficientemente grandes y pueden registrarse desde la superficie del cráneo. Debido a eso, esta es la base del electroencefalograma (Velayos & Diéguez, 2015).

Las neuronas son principales dispositivos eléctricos, ya que hay muchos canales en la membrana celular que acceden que los iones negativos y positivos salgan y entren de la célula. Los potenciales de membrana es una energía guardada la cual genera corrientes eléctricas que dejan pasar los iones (la carga) entre el interior y exterior de la célula. El potencial de membrana sube y baja de manera constante dependiendo de las entradas provenientes de los axones de otras neuronas. Ciertas entradas hacen el potencial de membrana se vuelva más positivo (ejemplo; de -70mV a -65mV) o viceversa (Galarraga & Bargas Díaz, 2022).

### 3.1.4 POTENCIALES POSTSINÁPTICOS

Los potenciales postsinápticos son los que producen la actividad eléctrica de la corteza cerebral, por ende, son los dichos causantes de la actividad eléctrica que es recogida por el EEG, en la Ilustración 5 se puede observar su formación (Velayos & Diéguez, 2015).

Esta actividad cerebral puede ser reflejada en cómo actúa la persona, por ejemplo: con los ojos cerrados, oscilan de manera notable. Cuando se abre los ojos con una atención fija, aumentan las frecuencias oscilatorias y disminuye la amplitud (es desincronizada). En el sueño (no-REM) disminuye la frecuencia de las oscilaciones y aumenta la amplitud (hipersincroniza), entre otros. Los grados en la actividad de los potenciales postsinápticos, que se refleja en los ritmos del EEG, también reflejan cambios en el nivel de conciencia (Velayos & Diéguez, 2015).



**Ilustración 5 - Formación de los potenciales postsinápticos en una célula piramidal.**

Fuente: (Velayos & Diéguez, 2015).

En la superficie de los cuerpos celulares y las dendritas hay sinapsis inhibitorias y excitadoras, estas crean potenciales graduados, no propagados y locales. Los potenciales postsinápticos pueden ser excitatorios (PPSE) y potenciales postsinápticos inhibitorios (PPSI). Ambos potenciales se anexan en el cono axónico y pueden disparar un potencial de acción o potencial integrado que viaja a lo largo del axón (Saladin, 2022).

Hay diferentes situaciones en donde se dan transiciones sinápticas y pueden ser excitatorias o inhibitorias. En la Ilustración 5 se muestra el caso A que es excitatorio, en donde el potencial de acción transportado por el axón presináptico produce PPSE el cual puede ayudar a la generación de un potencial de acción en la neurona postsináptica. En el caso B se muestra el inhibitorio cuando el potencial de acción que es conducido por el axón presináptico produce PPSI, y al contrario del excitatorio este suprime la generación de un potencial de acción en la neurona postsináptica (Saladin, 2022).

### 3.1.5 ELECTROENCEFALOGRAMA

Para fines de estudio y de investigación profesionales es común que vigilen la actividad eléctrica del cerebro, también denominada ondas cerebrales. Las ondas cerebrales son cambios rítmicos de voltaje resultantes de los potenciales postsinápticos sincronizados (no potenciales de acción), quiere decir que crean corriente eléctrica. Estos, están en la corteza cerebral registradas por electrodos sobre el cuero cabelludo. El registro de las ondas cerebrales se le llama electroencefalograma (EEG) (Saladin, 2022).

Es utilizado en estudios de las funciones cerebrales como el sueño, la conciencia, también diagnóstico de enfermedades degenerativas, tumorales, traumatismos, etc. Cuando hay una ausencia de ondas cerebrales es un criterio clínico y legal de muerte de la persona llamado como muerte cerebral (Saladin, 2022).

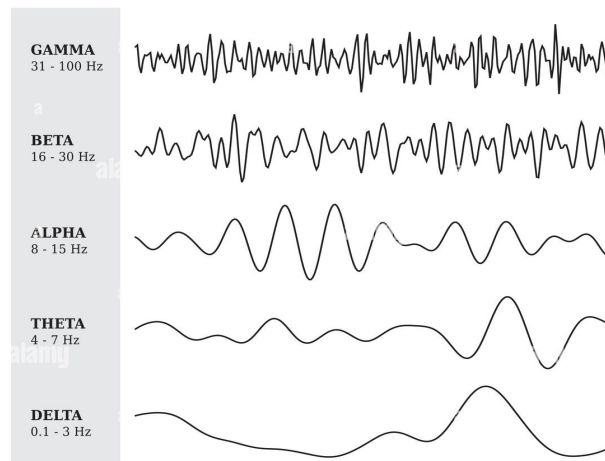
La intensidad que se registra de las ondas cerebrales en la superficie del cuero cabelludo varia entre 0 a 200  $\mu$ V. La frecuencia oscila de acuerdo con el tiempo, una vez cada varios segundos hasta 50 o más segundo. Las ondas cerebrales dependen y varían del grado de actividad en la corteza cerebral, con variaciones entre los estados de vigilia, sueño y coma (Tirado, 2016).

Según el libro de Saladin (2022), existen cuatro tipos de ondas cerebrales (Ilustración 6) las cuales se distinguen por diferencias de amplitud (mV) y la frecuencia expresada en Hz o ciclos por segundo:

- **Ondas Delta ( $\delta$ ):** Son ondas menores a 3.5Hz y se denominan ondas lentas y que tienen amplitud elevada. Se pueden ver en los recién nacidos cuando están en vigilia y con los

adultos en el sueño profundo. Si se predomina ondas delta en los adultos en vigilia, indica daño grave.

- **Ondas Theta ( $\theta$ ):** Ondas que tienen una frecuencia de 4-7Hz. Es normal verlos en niños y en adultos soñolientos, pero si se predomina en adultos despiertos probablemente sea tensión emocional o trastornos cerebrales.
- **Ondas Alfa ( $\alpha$ ):** Tienen una frecuencia entre 8-13Hz y se registran en el área parietooccipital. Se pueden ver en el EEG cuando la persona está despierta y en reposo, ojos cerrados y mente distraída. Se eliminan cuando la persona abre los ojos, se concentra en una tarea o recibe estimulación sensorial específica.
- **Ondas Beta ( $\beta$ ):** Con frecuencia de 14-30Hz presentándose mayormente en la región frontal y parietal. Estas se acentúan durante la actividad mental y estimulación sensorial. Estas ondas se producen por actividad mental y estímulos visuales.
- **Ondas Gamma:** Con frecuencia de más de 30Hz y son aquellas que se producen en ondas rápidas y ráfagas cortas. En estas ondas se presentan cuando el sujeto está en alta concentración, como resolviendo un ejercicio matemático.



**Ilustración 6 - Ondas Cerebrales**

Fuente: (Limited, s. f.)

### 3.1.6 SISTEMA DE ELECTRODOS 10-20 DE LA FEDERACIÓN INTERNACIONAL

El registro de los datos obtenido con el electroencefalograma debe de ser recogidos mediante el sistema internacional 10-20. Este es un sistema reconocido que sirve para describir y aplicar la



ubicación de los electrodos en el cuero cabelludo para el examen de un EEG. Se basa en la relación de la ubicación de un electrodo y el área subyacente de la corteza cerebral. El termino numérico de "10" y "20" significa las distancias entre los electrodos, ya que tiene un 10% o 20% de la distancia total de adelante hacia atrás o de derecha a izquierda. Estos electrodos pueden estar colocados desde el parte frontal hasta la parte occipital del cráneo. Cada sitio tiene una letra para cada lóbulo y números para la ubicación del hemisferio. En la Tabla 1 se muestra el significado de cada letra correspondiente (Toro et al., 2019).

**Tabla 1 - Letras con su respectivo lóbulo**

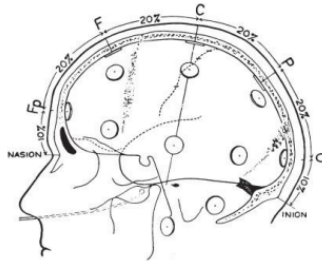
Electrodo	Lóbulo
F	Frontal
T	Temporal
C	Central
P	Parietal
O	Occipital

Fuente: (Toro et al., 2019)

El análisis se basa en un procedimiento que permite caracterizar la cantidad de sincronización y agrupamiento que sucede en sujetos de osciladores de ruido común. Se aplican estos conceptos en señales de EEG en personas sanas y en pacientes epilépticos. Cada uno de los sistemas oscilatorios tiene una característica de frecuencia de oscilación asociada y modos de oscilación definida. Debido a eso, esa propiedad es utilizada para identificar las características (Toro et al., 2019).

La técnica de la medición consiste en el estándar de puntos de referencia en el cráneo. Estos se refieren a la nasion, inion, (puntos de referencia de la parte posterior y anterior del cráneo) y los puntos preauriculares izquierdo y derecho. A continuación, se describe las mediciones que son realizadas para colocar los electrodos y la relación con el cráneo humano (Colula Medel, 2018).

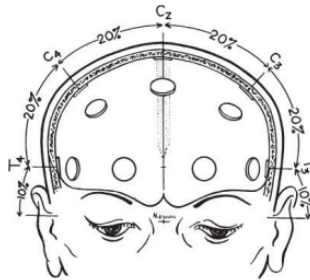
La primera medida es tomada desde el plano anterior posterior a través del vértice craneal, que es desde el nasion hasta el inion (Ilustración 7). Las medidas se dividen en cinco áreas. La primera marca es colocada en el 10% de la medición total y se nombre como Fp. La segunda, tercera, cuarta y quinta se hacen los intervalos de 20% de la medición total y se nombran F, C, P y O. La nombrada O se ubica en el 10% de la medición encima del anion (Colula Medel, 2018).



**Ilustración 7 - Métodos de medición de nasion a inion en la línea media (vista lateral).**

Fuente: (Colula Medel, 2018)

La medición lateral del plano coronal central empieza en el punto preauricular izquierdo por la letra C hasta el punto preauricular derecho (Ilustración 8). Luego a eso, se coloca una marca a los 10% de esa medida sobre los puntos preauriculares de la letra T. Las marcas se ubican en el 20% de la medición lateral como la letra C a la izquierda y derecha y se cruza la ubicación de la letra C (Colula Medel, 2018).



**Ilustración 8 - Método de medición de la línea central de los electrodos (vista frontal).**

Fuente: (Colula Medel, 2018)

Después, se toma una medida circunferencial sobre los lóbulos temporales desde Fp de la línea media hasta la O de la línea media. Hay una marca que está al 10% de la medida que muestra la posición del electrodo Fp izquierdo o derecho. Las marcas se deben realizar al 20% de la medición y se designan occipital fronta inferior, temporal media y posterior e izquierdo o derecha. Las mediciones restantes del 10% en las partes occipitales izquierda y derecha sería la posición O de la línea media (Colula Medel, 2018).

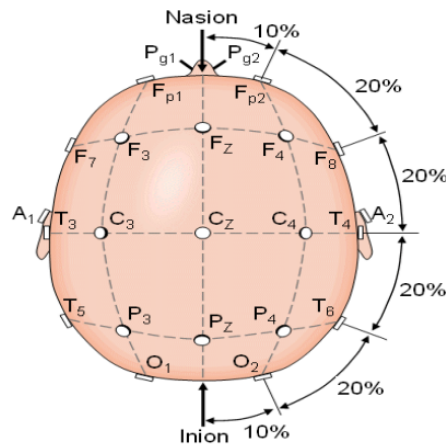
Las mediciones anteroposteriores se miden desde Fp izquierda y derecha a través de la posición lateral C hacia la O izquierda y derecha. Luego, las medidas se dividen en partes iguales en un

25% de las marcas y se etiqueta como lateral F, lateral C y P. Las coronales anteriores se ven desde la posición frontal inferior izquierda y derecha por la posición F de la línea media y se divide por segmentos del 25%. Se hacen cruces en el frontal lateral izquierdo, el punto F y las posiciones frontales laterales derechas (Colula Medel, 2018).

Una medida coronal posterior se mide desde la parte temporal posterior izquierda a través de la parte P en la línea media y también dividida en segmentos de 25% y se nombran P lateral izquierda, línea media P y P lateral derecha (Colula Medel, 2018).

Todas las mediciones mencionadas anteriormente indican la ubicación de los electrodos para el sistema internacional 10-20 (Ilustración 9). Es importante recalcar que los electrodos se nombran en términos anatómicos de sus áreas corticales registradas, en excepción los electrodos C que se ubican en el surco central (Colula Medel, 2018).

Se utilizó un sistema de numeración para diferenciar el hemisferios derecho e izquierdo. La numeración de los números impares se refiere al hemisferio izquierdo y la numeración par corresponde al hemisferio derecho. La numeración impar, por ejemplo; Fp1, F3, F7, C3, T3, P3, T5 Y O1. La numeración par, por ejemplo; Fp2, F4, F8, C4, T4, P4, T6 y O2. Se le llamaban a los electrodos del vértice F, C y P como F0, C0 Y P0 pero actualmente se le llaman Fz, Cz y Pz (z siendo cero) (Colula Medel, 2018).



**Ilustración 9 - Vista superior del cráneo con las mediciones**

Fuente: (ATENSALUD, 2022)

## 3.2 ACTIVIDAD CEREBRAL Y ESTRÉS EMOCIONAL

El cerebro es un órgano único en toda la naturaleza viva, con diferentes capacidades de subjetividad, actividad mental, emociones, conciencia, pensamientos, expresar sentimientos, etc. Las emociones, son de las manifestaciones de la actividad cerebral, que llegan afectar todas las funciones vitales del cuerpo. Como, por ejemplo, las emociones negativas pueden a largo plazo contribuir a estrés, depresión, etc, problemas cardiacos, etc. (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Los estudios de estrés, depresión y las emociones en la actividad cerebral se centran en el estudio de los mecanismos neurofisiológicos central. Sin la necesidad de analizar la originalidad de estas, que se centran en la parte subjetiva de la actividad cerebral (mecanismos de las emociones). Para tener una mejor idea de que significa tener estrés o estrés emocional es necesario estudiar los mecanismos de las emociones (Antonovich & Sergeevich, 2022a).

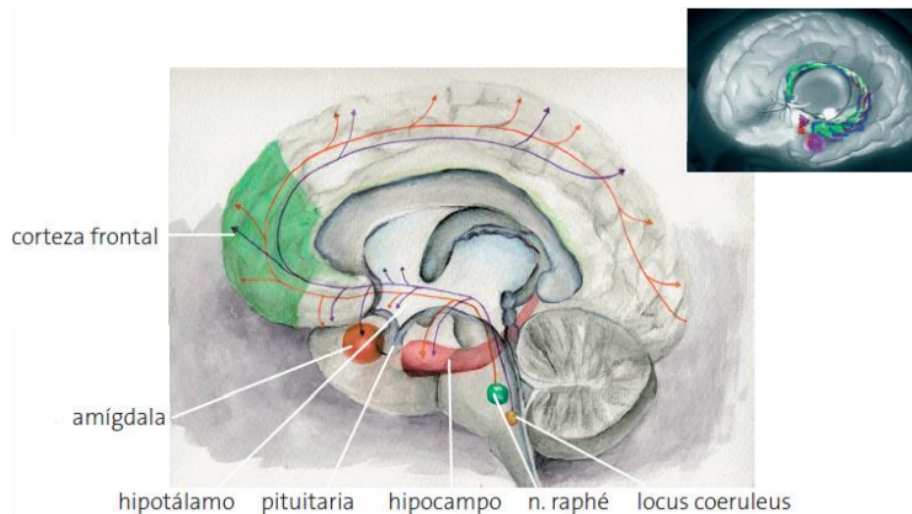
### 3.2.1 PARTES DEL CUERPO IMPLICADAS AL ESTRÉS

El estrés es un estado emocional del cuerpo humano, el cual incluye otras partes del cuerpo humano para ser ejecutado. Para que el cuerpo tenga estrés debe de estar implicado el sistema nervioso con ciertas partes correspondientes que se nombraran a continuación.

#### 3.2.1.1 *Sistema Nervioso*

El sistema nervioso es el que obtiene la información sensitiva del ambiente, evalúa y genera información y respuestas conductuales con el fin de mantener la homeostasis. Todas las acciones implican las acciones integradas de numerosas vías sensitivas, motoras y de la motivación generada en el sistema nervioso. En encéfalo es el principal órgano en la respuesta del estrés. Este incluye también el hipocampo, la amígdala y áreas de la corteza prefrontal. Estas estructuras forman parte del sistema límbico, que es el que controla el comportamiento emocional y los impulsos de las motivaciones (Morelli, 2016).

Con ayuda del hipocampo y la amígdala procesan las experiencias de las situaciones del sujeto. Estas se encuentran vinculadas entre ellas anatómica y funcionalmente, coordinándose con la corteza prefrontal, funciones neuroendocrinas con comportamientos. En la Ilustración 10 se muestran todas las partes del cerebro relacionadas al estrés (Morelli, 2016).



**Ilustración 10 - Principales estructuras del sistema límbico implicadas en el procedimiento y respuesta al estrés**

Fuente: (Morelli, 2016)

### 3.2.1.2 *Hipocampo*

El hipocampo es de las principales estructuras del encéfalo y pertenece al sistema límbico. Sus principales funciones conllevan a la inhibición de las conductas y la formación de memorias complejas, como las relacionadas a las relaciones espaciales y contextuales. Este participa en la regulación del estrés (Morelli, 2016).

### 3.2.1.3 *Corteza Prefrontal*

Esta corteza está en la parte anterior del lóbulo frontal. Tiene como función planificar, encontrar soluciones, tomar decisiones, regular la atención. Por lo tanto, la corteza es necesaria ya que ejecuta tareas motoras complejas (Morelli, 2016).

En la corteza prefrontal se encuentra la región orbitofrontal que se encarga de la terminación de la respuesta emocional. Sin embargo, la prefrontal medial está relacionada con la tendencia a la acción y la expresión emocional, siendo considerada un área crítica para el procesamiento de emociones personales y sociales (Morelli, 2016).

La corteza prefrontal es participe activamente en la regulación de la respuesta de estrés. Ejecuta los procesos de afrontamiento y respuesta ante las amenazas, mediados por el hipocampo, la amígdala y el hipotálamo (Morelli, 2016).

#### 3.2.1.4 *Amígdala*

La amígdala es considerada una estructura esencial para el procesamiento de las emociones. Esta recibe señales neuronales desde las porciones de la corteza límbica, como de los lóbulos temporales, parietal y occipital (Morelli, 2016).

La amígdala efectúa un importante papel en la generación de respuestas endocrinas autonómicas y conductuales que se llevan en marcha con la respuesta de estrés. Cuando hay entradas sensoriales, la amígdala es capaz de detectar diferentes estresores en el entorno y realiza una rápida asignación de recursos emocionales y comportamentales. La activación de esta, permite procesar y analizar emocionalmente cualquier estresor, contribuyendo a la mejor respuesta (Morelli, 2016).

#### 3.2.1.5 *Hipotálamo*

El hipotálamo es la principal conexión entre el sistema nervioso, inmune y endocrino, debido a que tiene acceso a la información sensitiva de todo el cuerpo. Este posee la capacidad de integrar respuestas autónomas y la función endocrina en el comportamiento posee una importancia en la regulación de la homeostasis y las respuestas de emergencia (Morelli, 2016).

El hipotálamo desencadena una cascada de respuesta motoras que son las apropiadas para afrontar las situaciones. Si bien, la amígdala es la implicada en el inicio de la respuesta de defensa, el hipotálamo conlleva la estructura responsable de los cambios vegetativos que acompañan a las emociones. Debido a la capacidad de procesar estímulos dentro y fuera del sistema nervioso, es capaz de generar respuestas apropiadas por las señales endocrinas y neuroendocrina. El hipotálamo se comunica con mensajeros, liberados por neuronas parvo celulares, que son liberadores o inhibidoras (Morelli, 2016).

Los factores liberadores son: Corticotropina (CRF), que se basa en regular la hormona del cortisol (regula el estrés); gonadotropinas y la hormona del crecimiento. Mientras tanto los factores inhibidores son la hormona del crecimiento, igualmente y la de prolactina (Morelli, 2016).

### 3.2.1.6 *Glándulas suprarrenales*

Las glándulas suprarrenales son mediadas por el sistema nervioso autónomo y la ACTH. Estas glándulas se encuentran ubicadas en la anterosuperior de los riñones y cumplen la respuesta a los estresores, secretando corticoides (cortisol-corteza suprarrenal) y catecolaminas (adrenalina-medula suprarrenal) al torrente sanguíneo (Morelli, 2016).

En la corteza suprarrenal la función está gobernada por el sistema nervioso central del hipotálamo. Cuando se produce un estresor, el hipotálamo secreta CRF al sistema que provoca la secreción de ACTH por parte del torrente sanguíneo. Esta acción provoca la estimulación de la corteza suprarrenal y liberación de cortisol al torrente sanguíneo (Morelli, 2016).

En la medula suprarrenal se sintetiza la adrenalina y noradrenalina que son liberadas en los impulsos regulatorios provenientes del sistema nervioso simpático antes el estrés. La noradrenalina mantiene el tono vasomotor y la presión arterial, mientras que la adrenalina incrementa la frecuencia cardíaca (Morelli, 2016).

## 3.2.2 EMOCIONES Y ESTRÉS EMOCIONAL

Como se mencionó, las emociones están en la parte subjetiva de nuestro cerebro y que son reflejadas en la actividad mental. La teoría dinámica de las emociones describe el desarrollo de las emociones en distintas etapas del comportamiento. Las emociones provocan la aparición de reacciones conductuales y somato vegetativas (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Según la definición de estrés es una reacción que surge como una respuesta no específica del organismo a la acción de ciertas condiciones diferentes. En todos los distintos casos la reacción de estrés es debido a la activación de los mecanismos pituitario-suprarrenales, con la activación de la hormona producida por la glándula pituitaria (ACTH) y las funciones adrenocorticales de las glándulas suprarrenales (Antonovich & Sergeevich, 2022).

El propósito biológico del estrés tiene un enfoque adaptativo y activa mecanismos protectores para prevenir el efecto patogénico de factores adversos sobre el cuerpo. El estrés es un estado de defensa que también en pequeñas cantidades ayudan al organismo a reaccionar a situaciones externas (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Junto con el concepto de estrés, se ha desarrollado una idea del estrés emocional como un estado psicoemocional de una persona que se caracteriza por un comportamiento no específico. El estrés emocional primario se forma en la actividad mental del cerebro como resultado de emociones negativas prolongadas. Debido a eso, se puede decir que el estrés emocional como complejo de reacciones psicoemocionales y somato vegetativas del cuerpo en una situación conductual conflictiva (Antonovich & Sergeevich, 2022).

De acuerdo estudios psicofisiológicos y biomédicos muestran que las emociones, como el estrés tienen un efecto general en las funciones vitales del organismo y la salud mental. La cual puede llegar a ser la causa de muchas enfermedades psicosomáticas, como: neurosis, psicosis, trastornos del sueño; enfermedades cardiovasculares, como: arritmias, infarto, hipertensión; enfermedades oncológicas, disfunciones sexuales y hormonales, etc (Antonovich & Sergeevich, 2022).

El estrés, asimismo, puede provocar reacciones psiconeuróticas con la alteración de la conducta; por ejemplo: aparición de desconfianza excesiva, ansiedad, tendencia a experiencias emocionales a largo plazo. También afecta en los trastornos del sueño, reduce la capacidad de trabajo y hasta debilita la memoria. Por esta razón, el estrés llega afectar el aparato genético de hasta las células y llega a dar lugar a trastornos congénitos en el desarrollo y la salud de las personas (Antonovich & Sergeevich, 2022).

### 3.2.3 MECANISMOS NEUROFISIOLÓGICOS CENTRALES DEL ESTRÉS Y EMOCIONES NEGATIVAS

Las reacciones emocionales se forman en el hipotálamo y se generaliza a la corteza cerebral en camino ascendente. En la dirección descendente involucra al sistema nervioso autónomo para estimular la actividad hormonal del mecanismo pituitario-suprarrenal. Las estructuras límbicas del cerebro también están relacionadas en la formación de las emociones. Estas incluyen las áreas de la corteza cerebral, el diencefalo, la formación reticular y el mesencéfalo (Antonovich & Sergeevich, 2022).



El hipotálamo tiene una de las principales funciones que llega a determinar la aparición de motivaciones biológicas en casos de necesidades metabólicas. Este es el que desencadena la actividad de las estructuras cerebrales necesarias para resaltar las motivaciones dominantes, evaluar situaciones y satisfacer necesidades (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Entre las estructuras del hipotálamo están relacionadas la formación de comportamientos y componentes somato vegetativos de las reacciones emocionales. Un papel importante pertenece al núcleo ventromedial del hipotálamo. En ciertos experimentos con animales, se ha demostrado que la irritación eléctrica local del hipotálamo causa un complejo de manifestaciones conductuales. Durante las reacciones emocionales del origen del hipotálamo ocurren cambios en la actividad bioeléctrica en las estructuras emocionales del cerebro (Antonovich & Sergeevich, 2022).

Los estudios han demostrado que las reacciones emocionales causan sensibilidad química en las neuronas del hipotálamo y la formación reticular del mesencéfalo a los neurotransmisores. Diferentes mecanismos de neurotransmisores participan simultáneamente en la integración de neurotransmisores de excitación negativa (Antonovich & Sergeevich, 2022).

#### 3.2.4 ELECTROENCEFALOGRAMA Y ESTRÉS

Una medición de estrés va más allá de las ondas cerebrales y el uso de un electroencefalograma. Sin embargo, estudios concluyen que existe una fuerte correlación entre el cortisol salival, la variedad de la frecuencia cardíaca y las ondas beta altas en la región temporal del cerebro. Las ondas beta de 22-30Hz se encuentran cuando el sistema nervioso está en cogniciones complejas y puede significar estados de estrés, ansiedad y una falta de regulación en el cuerpo humano (Colula Medel, 2018).

### 3.3 OPEN BCI

El OpenBCI es una plataforma de interfaz de cerebro computadora que fue creado por Joel Murphy Y Conor Russomanno. Se compone por un hardware y software que registran señales. Las placas que esta otorga se pueden usar para medir la actividad eléctrica del cerebro, músculos y el

corazón cada uno correspondientes a sus electrodos. El OpenBCI tiene una placa que es un microcontrolador de biodetección (Suryotrisongko & Samopa, 2015).

Este es compatible con casi cualquier tipo de electrodo y está respaldado por un mapeo de código abierto en constante crecimiento para el procesamiento de señales. Llevando abrir oportunidades para que los investigadores desarrollen investigaciones y aplicaciones a un código abierto. Esto significa que su software y hardware podrían modificarse y desarrollarse según sea necesario (Suryotrisongko & Samopa, 2015).

Hay ciertos valores que el OpenBCI otorga que son necesarios para luego hacer un análisis de los datos adquiridos, tal como la frecuencia de muestreo y el tiempo en el cual adquiere los datos. El ciclo de encendido de la placa Cyton OpenBCI hará que la frecuencia de muestreo se restablezca a su valor predeterminado de 250Hz. En pocas palabras, cuando el equipo se enciende su ciclo produce la cantidad de 250Hz (La definición de frecuencia de muestreo se explica más adelante) (Álvarez Encinosa, 2020).

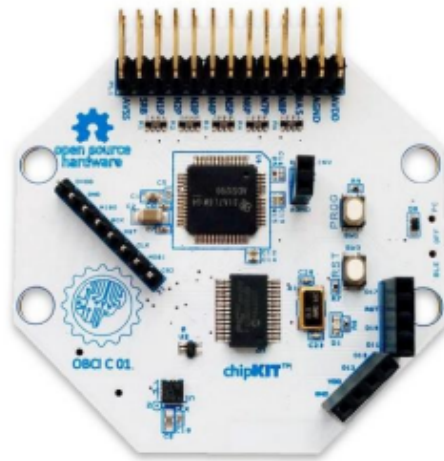
La GUI de OpenBCI es una herramienta del software que sirve para visualizar, grabar y transmitir las señales del EEG captados por las placas del OpenBCI. Los datos captados pueden verse en tiempo real, reproducirse, guardarse en formato de texto (.txt); así como usar softwares terceros como Python, Matlab, etc (Álvarez Encinosa, 2020).

### 3.3.1 DISPOSITIVOS NECESARIOS

El OpenBci utiliza varios dispositivos para que sea utilizado. A continuación, se nombrarán algunos de ellos necesarios para el proyecto a realizar.

#### 3.3.1.1 *Placa Cyton*

La placa Cyton del OpenBCI (Ilustración 11) es una interfaz neuronal de ocho canales para las señales con un procesador de 32 bits, siendo compatible hasta con Arduino (Álvarez Encinosa, 2020).



**Ilustración 11 - Placa Cyton**

Fuente: (Álvarez Encinoso, 2020)

La placa tiene un microcontrolador PIC32MX250F128B (Ilustración 12) proporcionándole una memoria local de 128KB y velocidades de procesamiento rápidas hasta 50Mhz (Álvarez Encinoso, 2020).



**Ilustración 12 – Microcontrolador**

Fuente: (Álvarez Encinoso, 2020)

Adicionalmente, cuenta con un circuito integrado ADS1299 (Ilustración 13), capacitado para amplificar por diferentes valores y digitalizar tasas de muestreo hasta 8 señales de EEG con resolución de 24 bits (Álvarez Encinoso, 2020).



**Ilustración 13 – Amplificador**

Fuente: (Álvarez Encinoso, 2020)

Asimismo, la placa Cyton tiene dos entradas específicas para cada electrodo (se coloca dependiendo de la cantidad de electrodos utilizados). Cada entrada corresponde a un electrodo específico en cual se ilustran posteriormente en el software OpenBCI GUI. Cabe mencionar, que los datos adquiridos se guardan en el mismo orden de cada electrodo y entrada nombrada en la Tabla 2 (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*).

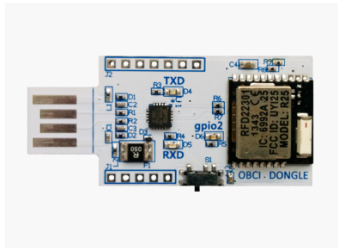
**Tabla 2 – Entradas de electrodos a la placa Cyton**

Electrodo	Entrada de la placa Cyton
Pinza de oreja	Entrada (SR2)
FP1, F7	Entrada N1P
FP2, F8	Entrada N2P
C3, F3	Entrada N3P
C4, F4	Entrada N4P
P7, T7	Entrada N5P
P8, T8	Entrada N6P
O1, P3	Entrada N7P
O2, P4	Entrada N8P

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

### 3.3.1.2 Llave electrónica OpenBCI

El OpenBCI USB Dongle (Ilustración 14) tiene microcontrolador compatible con el Arduino (RFDuino) integrado para así comunicar con la placa. El dongle forma una conexión en serie con el chip de la computadora. El dongle tiene un puerto USB que permite conectar la computadora con la placa vía bluetooth y así poder observar las señales captadas. Este también cuenta con alta velocidad de transferencia. El USB Dongle se es necesario en el uso de la placa Cyton (Álvarez Encinoso, 2020).



**Ilustración 14 - USB Dongle**

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

### 3.3.1.3 Electrodo

Los electrodos que ayudarán a tomar las señales dependiendo de lo que se desee. Se conecta a la parte del sujeto donde se quiera tomar la señal y luego en la placa Cyton. En la Ilustración 15 se muestra un tipo de electrodos para EEG. En siguiente, en la Ilustración 16 se muestran electrodos que son los utilizados en el proyecto.



**Ilustración 15 - Electrodo OpenBCI**

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

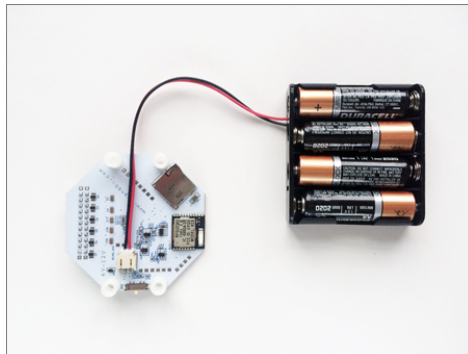


**Ilustración 16 - Electrodo para EEG en OpenBCI**

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

#### 3.3.1.4 Fuente de alimentación

La placa de Cyton se debe de alimentar con baterías (Ilustración 17) con un rango de voltaje específico. Es importante tomar en cuenta no alimentar la placa con voltajes por encima de los rangos de valor, ya que se podría dañar la fuente (Álvarez Encinoso, 2020).

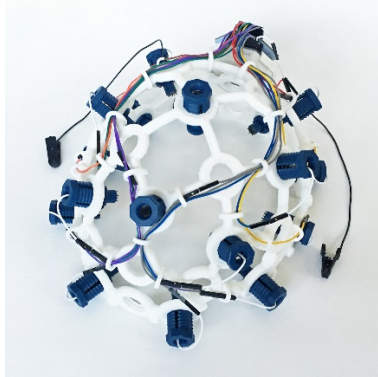


**Ilustración 17 – Fuente de alimentación para la placa Cyton**

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

#### 3.3.1.5 Ultracortex Mark IV

El Ultracortex Mark IV (Ilustración 18) es un auricular imprimible en 3D diseñado con código abierto para funcionar con el sistema del OpenBCI. Este permite registrar la actividad cerebral de grado investigativo. El ultracortex está diseñado para la cantidad de tomar señales con ocho hasta 16 electrodos, siempre cumpliendo las normas del sistema internacional 10-20 (Álvarez Encinoso, 2020).



**Ilustración 18 - Ultracórtex Mark IV**

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

### 3.3.1.6 Pinza para orejas

Las pinzas para orejas (Ilustración 19) se utilizan para tener un referente a tierra ya que como se ha mencionado antes, la actividad cerebral es de manera eléctrica. Esto hace que contenga partículas cargadas (iones y aniones) que se atraen o repelen a otras partículas cargadas. Para que esto no suceda es importante tener un electrodo que funcione como punto neutro en todo momento. Por esto se emplean referencias aproximadas a un potencial cero como el mentón, el mastoides o el lóbulo de la oreja en el caso presente (Pardell, 2022).



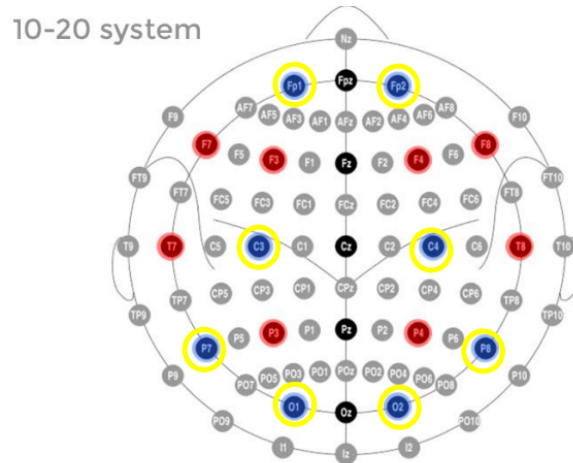
**Ilustración 19 - Pinzas para orejas**

Fuente: (*Documentación OpenBCI | OpenBCI, 2021*)

## 3.3.2 MONTAJE DE ELECTRODOS

El Ultracortex Mark IV puede ser adaptable para ocho y dieciséis electrodos o canales. Estas están ya seccionadas por la impresión 3D del ultracortex cumpliendo con las normas del sistema 10-20.

En la Ilustración 20 se muestra en color rojo y azul los lugares donde es posible colocar los electrodos, dependiendo de lo que la persona quiera captar de las señales (Álvarez Encinoso, 2020).



**Ilustración 20 - Posibles ubicaciones de electrodos en ultracortex**

Fuente: (Álvarez Encinoso, 2020)

### 3.3.3 OPENBCI GUI

EL OpenBCI GUI es una funcional herramienta de software de OpenBCI para observar, grabar y transmitir los datos de las placas del OpenBCI. El GUI da la ventaja que los datos pueden mostrarse en tiempo real, guardarse y luego hasta volver a reproducirse en la computadora siempre y cuando tenga el formato .txt, para así poder conectarse a softwares terceros como Matlab u otros. Las señales son adquiridas por la tarjeta de adquisición Cyton o Ganglion y son visualizadas en la GUI directamente mientras hay un proceso de evaluación de señales (Vera Trujillo, 2021).

Para usar el OpenBCI GUI se usa la misma placa Cyton para ser conectado, dando opción a observar las señales, gráficas y otros diseños como se muestra en la Ilustración 21 (Vera Trujillo, 2021).





**Ilustración 21 - GUI del OpenBCI**

Fuente: (*The OpenBCI GUI | OpenBCI Documentation, s. f.*).

Cabe añadir que el OpenBCI GUI contiene también para deshacerse del ruido. La opción “Notch” da la posibilidad de eliminar el ruido de 60Hz, por lo que ayuda a que sea un mejor filtrado de la señal. Añadiendo, también es posible poner un límite de cuanto es el mínimo de Hz que desea que detecte y un máximo. Ambos ejemplos se ven en la Ilustración 22 (Vera Trujillo, 2021).



**Ilustración 22 – Filtros**

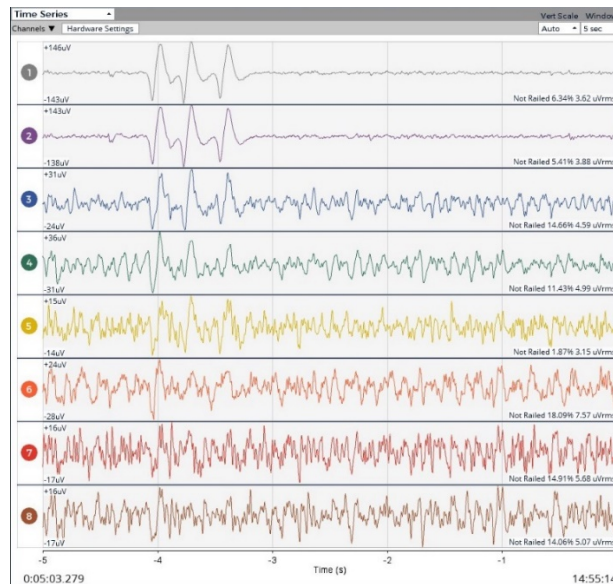
Fuente: (*The OpenBCI GUI | OpenBCI Documentation, s. f.*)

### 3.3.3.1 Diseños (Widgets) del OpenBCI GUI

Según la página oficial *The OpenBCI GUI | OpenBCI Documentation, (s. f.)*, puede mostrar hasta doce diseños, eligiendo qué mostrar dependiendo a la ventana que el sujeto desee ver. A estos diseños se les llaman “widgets”. Los diseños de GUI son pequeñas herramientas que encajan con el OpenBCI, algunos de ellos pueden ser; serie temporal, la transformada de Fourier, de redes, trama

de cabeza, polaridad, espectrograma, de enfoque, auditiva, señal de Cyton. Dando una breve descripción de los dos diseños empleados en el proyecto debido al tipo de gráfica que muestran:

- **Serie de Tiempo:** La serie temporal es el diseño principal para mostrar los datos de bioeléctricos medidos de las señales. Este diseño es capaz de procesar y mostrar la señal electrofisiológica en tiempo real proporcionando el voltaje detectado por cada electrodo colocado. La serie de tiempo se ve de la manera como en la Ilustración 23 (Vera Trujillo, 2021) .

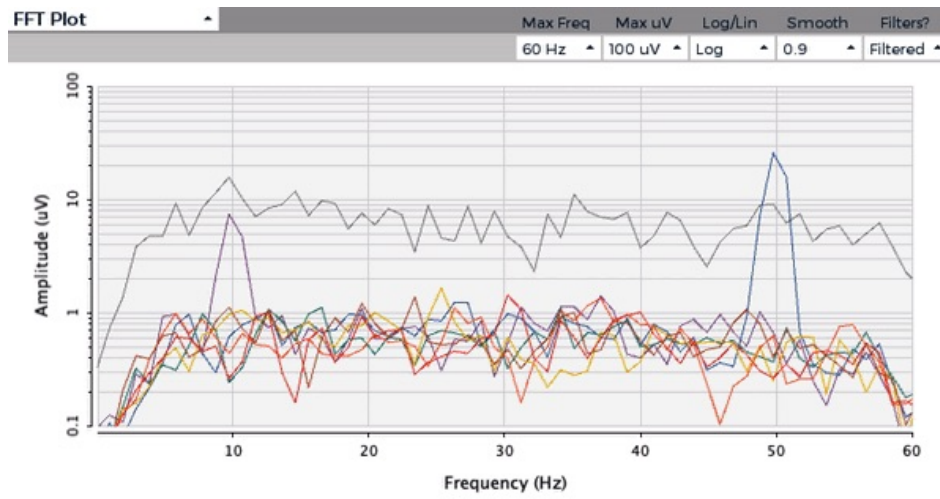


**Ilustración 23 - Serie de Tiempo**

Fuente: (*The OpenBCI GUI | OpenBCI Documentation*, s. f.)

- **Gráfica de la Transformada de Fourier (FFT):** Esta es una de las características para visualizar los datos de bioeléctricos medidos (Ilustración 24). La transformada de Fourier convierte el dominio de tiempo a dominio frecuencial. En el eje x de la gráfica muestra las frecuencias y en el eje y muestra las amplitudes respectivas de cada frecuencia en  $\mu\text{V}$ . La gráfica indica en dominio frecuencial; en qué frecuencia (Hz) se concentró la mayor parte de energía ( $\mu\text{V}$ ) y muestra un pico en donde se obtuvo. En la Ilustración 24 por ejemplo, se observa la mayor amplitud por el pico de un solo electrodo en la frecuencia de 50Hz. Eso quiere decir que la mayor energía de ese electrodo se mantuvo en el rango de 50Hz.

Cada color está relacionado a los electrodos de cada canal en la serie (Gutiérrez Rivera, 2021).



**Ilustración 24 - Gráfica de FFT**

Fuente: (*The OpenBCI GUI | OpenBCI Documentation, s. f.*)

### 3.3.4 OPENVIBE

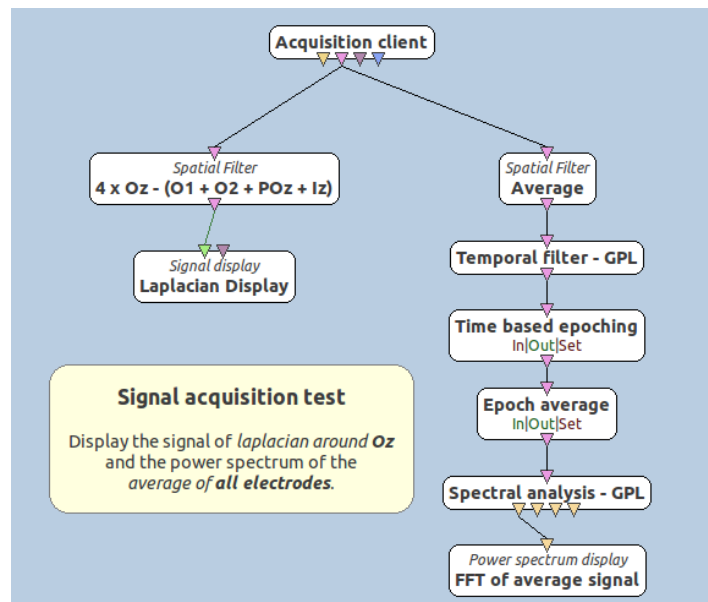
OpenVibe es una plataforma que prueba el uso de interfaces cerebro-computadora. Es un software usado para neurociencias en tiempo real, en otras palabras, en este caso de las señales electroencefalográficas. Dicho software se utiliza para adquirir señal, filtrarla, procesarla, clasificarla y visualizar las señales cerebrales captadas todo en tiempo real. Esta es una plataforma de código abierto para diseñar, probar y usar interfaces de cerebro-computadora en entornos reales y virtuales. (Suryotrisongko & Samopa, 2015).

La plataforma tiene ciertas características como una alta modularidad (capacidad de un sistema de ser estudiado), herramientas integradas para la visualización y retroalimentación, basada en realidad virtual y pantalla 3D, diseño del BCI disponible a los programadores gracias a la programación visual y diversas herramientas ofrecidas a los diferentes tipos de los usuarios (Renard et al., 2016).

#### 3.3.4.1 Características

Según (Suryotrisongko & Samopa, 2015), la plataforma contiene diversas características, como:

- Plataforma de código abierto que permite probar, diseñar y usar interfaces de cerebro-computadora en entornos de tiempo real.
- El OpenVibe está diseñado a ser un conjunto de módulos de softwares para la adquisición, procesamiento, visualización de la actividad cerebral. Permite funcionar con varias máquinas como de EEG, realidad virtual, magneto encefalografía que es el registro de actividad cerebral por medio de captación de campos magnéticos, entre otros.
- Tiene un lenguaje fácil de usar ya que no se necesita aprender un lenguaje de programación. Las piezas de las cadenas de procesamiento de señales están representadas por un cuadro dependiendo de lo que se desee programar como se muestra en la Ilustración 25.
- El OpenVibe tiene una selección de métodos de procesamiento de señales y viene con muchos algoritmos de estos que se pueden usar para extraer características de la señal.
- Tiene compatibilidad con softwares externos, como: Python, Matlab, Scripting, demostraciones con el BCI, etc.

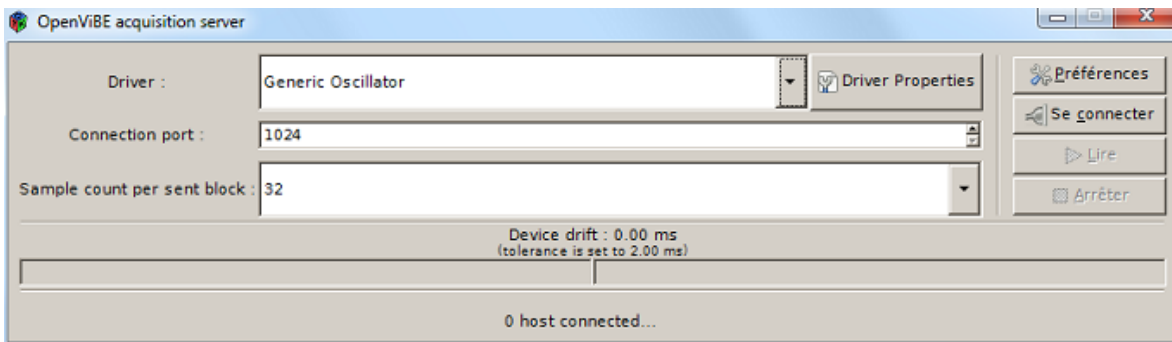


**Ilustración 25 - Lenguaje gráfico**

Fuente: (Discover OpenViBE, 2011)

### 3.3.4.2 Servidor de Adquisición

El servidor de adquisición del OpenVibe es una herramienta que es diseñada para la comunicación con varios dispositivos de señales de hardware, en el caso de este proyecto, OpenBCI. El objetivo del servidor es enviar las señales adquiridas a las aplicaciones del OpenVibe genérico y estandarizado. La conexión del servidor de adquisición, además de ser una comunicación de dispositivos también incluye una interfaz gráfica (Ilustración 26) del servidor de adquisición que permite observar las gráficas de lo que se está adquiriendo.



**Ilustración 26 – Interfaz gráfica de usuario del servidor de adquisición**

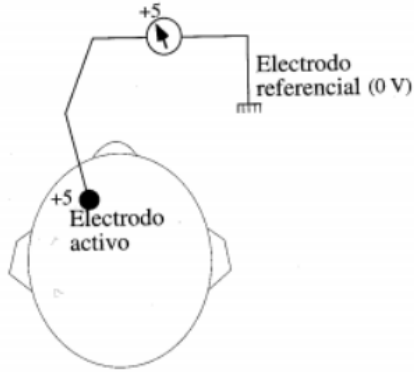
Fuente: Fuente: (Discover OpenViBE, 2011)

## 3.4 MONTAJES

Para registrar señales EEG se debe de tener una serie de electrodos situados en la superficie del cuero cabelludo de la persona siguiendo el sistema internacional 10-20. Cada electrodo situado debe de tener un punto de registro. Por eso, se debe de seleccionar cuales de los electrodos se desea que sean una fuente de señal registrada, dependiendo el número de canales disponibles. Debido a eso, se debe seleccionar si se desea un registro de montaje monopolar o registro de montaje bipolar (Pardell, 2022)

### 3.4.1 REGISTROS MONOPOLARES

En los registros monopolares se toma la señal de cada uno de los electrodos de manera independiente de todos los demás. Por esta parte, el electrodo de registro se llama “electrodo activo” y el segundo que es la entrada al equipo se toma un electrodo que se llama “electrodo de referencia” (Ilustración 27) (Pardell, 2022).

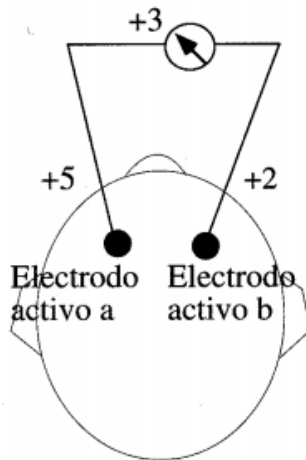


**Ilustración 27 - Montaje monopolar**

Fuente: (Pardell, 2022)

### 3.4.2 REGISTROS BIPOLARES

En los registros bipolares (Ilustración 28) se toman los electrodos de dos a dos y se registran las diferencias de voltaje entre cada par de puntos. En los montajes bipolares ambos electrodos de las parejas son activos. Para los registros bipolares se puede realizar cantidad de registros distintos, así como parejas diferentes. Para eso, existen también distintos tipos de montajes ya que se pueden combinar dos electrodos a larga distancia o dos electrodos a corta distancia, etc. (Pardell, 2022).



**Ilustración 28 - Registros Bipolares**

Fuente: (Pardell, 2022)

### 3.5 PROCESAMIENTO DE SEÑALES

El principal objetivo de procesamiento de señales de EEG es extraer ciertas características de una señal para que faciliten su interpretación. La actividad eléctrica del cerebro puede ser analizada en dominio de tiempo, así midiendo las variaciones de tensión en función del tiempo o en dominio frecuencial (Bermúdez Cicchino, 2013).

En el dominio del tiempo, el procesamiento consiste en medir los cambios de potencial que se producen en las características temporales de la señal de EEG y suelen utilizarse para medir características con relación a un evento. Mientras tanto, la frecuencia se basa en el número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo. Uno de los métodos más usados para obtener el espectro de una señal es la transformada de Fourier o la transformada Wavelet (Bermúdez Cicchino, 2013).

El procesamiento de señales se basa en transformar o convertir datos de una manera que permita observar de manera directa características que no es posible verlas de forma directa. El procesamiento de señales puede abarcar muchos subtemas, a continuación, se presentarán lo necesario que se ocupará para este proyecto (Bermúdez Cicchino, 2013).

#### 3.5.1 SEÑALES

Una señal es considerada como una observación de una magnitud física en función de variables independientes de tiempo y espacio de tal modo que la señal contenga información de procesos observados. Todas las señales contienen información que se desea extraer o modificar dependiendo a lo que se desee (Calero, 2011).

Existen diferentes tipos de señales, cada una de ellas son representadas por funciones matemáticas de una o más variables. Por ejemplo, una señal de voz se representa por una función temporal, señales de imágenes representadas por variables espaciales (Calero, 2011).

De otra manera, otras las señales pueden ser escalares o vectoriales. Se recuerda que los campos escalares son funciones que dependen de dos o más variables de valores reales. Los campos vectoriales son funciones que dependen de dos o más variables con valores vectoriales. Ahora,

las señales electroencefalográficas proveen un conjunto de señales eléctricas provenientes de diferentes electrodos para cada instante de tiempo (Calero, 2011).

Las señales también se pueden dividir entre señales análogas y digitales. Una señal análoga es una señal que varía de forma continua a lo largo del tiempo. Estas señales son las que pueden ser percibidas en todos los lugares como la luz, la energía, el sonido, etc. Mientras tanto las señales digitales son aquellas que representan una variación discontinua con el tiempo y que solo puede tomar ciertos valores discretos. Estas señales no se producen en la naturaleza, sino que son creadas por el hombre (Calero, 2011).

### 3.5.2 PROCESAMIENTO TIEMPO-FRECUENCIA

En el procesamiento de señales el análisis tiempo-frecuencia es un conjunto de formas para caracterizar y manipular señales en donde se varía el tiempo. En análisis tiempo-frecuencia de una señal permite identificar de manera simultánea la distribución espectral de la energía (gráfico en función de la frecuencia que muestra su mayor color en la mayor frecuencia) y su evolución temporal (Bermúdez Cicchino, 2013).

Las señales de EEG, presentan un mejor entendimiento y se muestran con mayor claridad en el dominio de la frecuencia. Existen muchas herramientas para el estudio de las características, una de las más utilizadas es la transformada de Fourier. La transformada de Fourier permite determinar contenido frecuencial de la señal (Bermúdez Cicchino, 2013).

### 3.5.3 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER

En electroencefalografía, la transformada rápida de Fourier se utiliza para indagar la distribución de la amplitud de espectro de potencia en la electroencefalografía y de esa manera extraer el pico del espectro para reflejar las distintas acciones del cerebro. Por medio del uso de la transformada rápida de Fourier, la señal de EEG se puede mapear desde el dominio del tiempo al de la frecuencia. Se conoce como el espectro de frecuencia de la señal al descomponer la señal en su correspondiente sinusoidal de diferentes frecuencias (Medina et al., 2018).

La transformada de Fourier puede ser calculada de manera rápida o alrededor de un tiempo real. Según Medina (2018) la fórmula de la transformada rápida de Fourier proviene cuando la función



f(t) está dada por una lista de N valores f(t1), f(t2)...f(tN) se dice que está muestreada, entonces la integral que define la Transformada de Fourier por la Ecuación 1

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

**Ecuación 1 – Transformada de Fourier**

Fuente: (Medina et al., 2018)

Se convierte en la sumatoria de la Ecuación 2, para una señal discreta xn, donde k es el valor discreto de la señal y N es el número de elementos de xn:

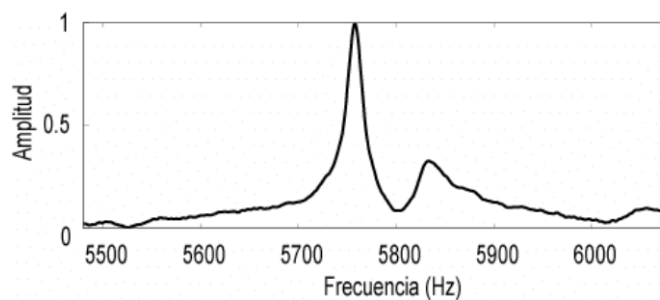
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \left( x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}nk} \right) \text{ con } k = 0, 1, \dots, N - 1$$

**Ecuación 2 – Transformada rápida de Fourier**

Fuente: (Medina et al., 2018)

La transformada de Fourier es comúnmente usada en el procesamiento de señales debido a una mejor interpretación de los datos obtenidos en tiempo frecuencial. En lo que la gráfica representa, permite observar la relación entre la frecuencia y la densidad espectral de la potencia. En el eje de y se observa el nivel de potencia en decibelios (dBm) y en el eje x representa la frecuencia (Hz) (Figuroa, 2016).

Lo que permite observar la gráfica de la transformada de Fourier es un promedio o punto medio donde se conoce la frecuencia dominante en donde se obtuvo la mayor potencia o energía (los decibelios) como en la Ilustración 29 (Se obtuvo mayor energía en la frecuencia dominante de 5750Hz con una amplitud de 1db) (Figuroa, 2016).



**Ilustración 29 – Ejemplo de gráfica Transformada Rápida de Fourier**

Fuente: (Vallat, 2018)

### 3.5.4 DENSIDAD ESPECTRAL DE LA POTENCIA (PSD)

La medición de potencia de una señal de tiempo muestra qué frecuencias contiene la potencia en una señal. La medida es la distribución de potencia en función de la frecuencia donde se considera el promedio de la energía de la señal. Entonces, la densidad espectral de la potencia se define como una función que describe la medida de la potencia en cada frecuencia de una señal (Salazar & Camargo, 2018).

Por lo que, mientras el espectro de potencia calcula el área bajo el gráfico de una señal utilizando la Transformada de Fourier, la densidad del espectro de potencia asigna unidades de potencia a cada unidad de frecuencia (Salazar & Camargo, 2018).

Donde la potencia presente dentro de cada valor espectral se calcula de la siguiente manera:

$$PSD = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} r_{mm}(k)e^{-ikw}$$

#### **Ecuación 3 – Densidad Espectral de la Potencia**

Fuente: (Figuroa, 2016).

Donde  $r_{mm}(k)$  es la función de autocorrelación, que consiste en medir la tendencia de una serie temporal, es decir el grado de dependencia de los datos presentes con los de  $(k)$  periodos anteriores. El  $e^{-ikw}$  es el  $k$ -ésimo armónico de la señal tomada. Se recuerda que los armónicos de señalales son cuyas frecuencias de un múltiplo de la frecuencia fundamental (Figuroa, 2016).

### 3.5.5 ESPECTRO DE FRECUENCIA

El espectro de frecuencias es caracterizado por la distribución de amplitudes para cada frecuencia de un fenómeno ondulatorio y a una representación gráfica de las ondas y su campo de aplicación en función de la frecuencia. Es decir, el espectro equivale a ser una transformada de Fourier con la gráfica de espectro (Rossmann, 2014).

El espectro de las frecuencias se basa en un análisis espectral que descompone una serie de tiempo estacionaria en partes simples y analizables. De forma general, el análisis frecuencia es llamado como el dominio de la frecuencia, ya que la frecuencia es una medida para representar los ciclos (Byron, 2022).

La idea esencial de un análisis espectral es que un proceso estacionario  $Y_t$  pueda ser explicado como la suma de movimientos de seno y coseno de diferentes frecuencias y amplitudes. En el caso del presente proyecto, los movimientos de seno y coseno consisten en las señales electroencefalográficas. El objetivo es determinar cuáles son los ciclos de diferentes frecuencias importantes para describir el comportamiento de  $Y_t$ . Los ciclos pueden ser de corto o largo plazo, por lo que no se descompone la serie en forma de ciclo o tendencia, sino de una totalidad de frecuencias existentes (Byron, 2022).

De forma matemática, el análisis espectral está relacionado con la transformada de Fourier. Cuando se tiene un proceso estacionario con una función de la señal como  $E(Y_t) = \gamma$ , y esta se divide entre  $2\pi$  y se multiplica por  $e^{-i\omega j}$ , es decir, se realiza la transformada de Fourier, el resultado es el espectro frecuencial, observado en la Ecuación 4 (Gómez, 2001).

$$g(z) = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \gamma_j * e^{-i\omega j}$$

#### **Ecuación 4 – Función de Espectro Frecuencial**

Fuente: (Gómez, 2001)

#### 3.5.6 FRECUENCIA DE POTENCIA MEDIA (MNF)

También se le conoce como la media de la frecuencia espectral. Esta es la frecuencia media o el promedio que se calcula como la suma del producto del espectro de potencia (PSD) y la frecuencia y todo eso dividido por la suma total la potencia del espectro, como en la Ecuación 5 (Figuroa, 2016).

La fórmula de la frecuencia media está dada por:

$$MNF = \frac{\sum_{j=1}^M (f_j * P_j)}{\sum_{j=1}^M P_j}$$

#### **Ecuación 5 – Frecuencia Media**

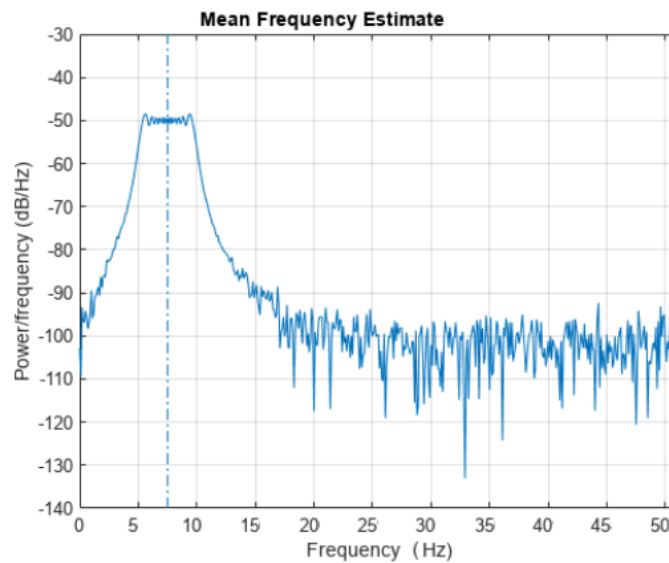
Fuente: (Figuroa, 2016).

Donde  $f_j$  es el valor de la frecuencia de espectro tomada desde la transformada de Fourier y  $P_j$  es el espectro de potencia en el mismo intervalo de frecuencia  $j$ . Por lo que, la media de la frecuencia

es un cálculo que ocupa la transformada de Fourier de la señal colocada (EEG en el caso del proyecto) con su respectiva potencia, para luego obtener el promedio (Figuroa, 2016).

Este cálculo muestra es parecido a una gráfica de Fourier, muestra el eje x de frecuencia y eje y en potencia. Quiere decir, la frecuencia promedio en donde se obtuvo la mayor energía durante el transcurso de las señales obtenidas (Figuroa, 2016).

Como el ejemplo de la Ilustración 30, muestra una línea punteada la cual significa la media de la frecuencia en donde se obtuvo que la mayor parte de la energía a un aproximado de 7.5Hz.



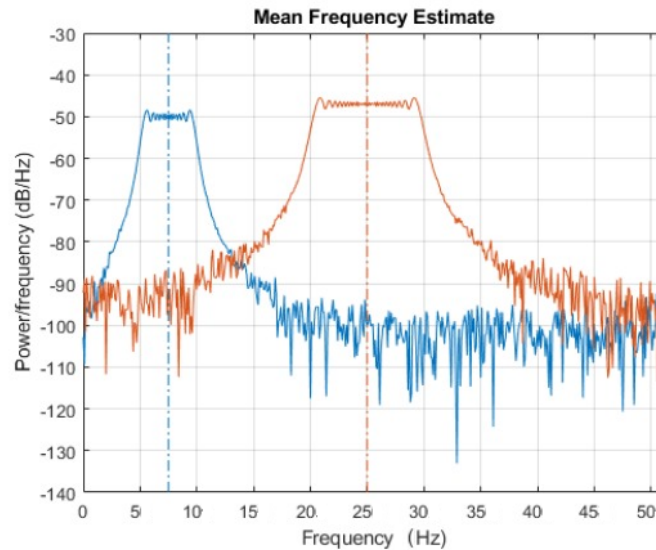
**Ilustración 30 – Media de la Frecuencia**

Fuente: (Mathworks, 2022)

La frecuencia media es definida como el promedio de frecuencia en donde se obtuvo mayor parte de energía durante la señal muestreada. Por lo que, un aumento o decremento de la media de la frecuencia significa el aumento o decremento de las ondas frecuenciales, es decir, ondas delta, alpha, beta, theta o gamma (Tjeerd et al., 2016).

Quiere decir, si la media de la frecuencia se encuentra inicialmente en un promedio de 11Hz y luego se compara con otra función y se obtiene un promedio de 7Hz, por lo que muestra un decremento en las ondas alpha. De la misma manera, si la media de la frecuencia aumenta el rango de las ondas aumenta (Tjeerd et al., 2016).

Un ejemplo que muestra esta relación se muestra en la Ilustración 31, inicialmente una función muestra un promedio de 7.5Hz, en siguiente, otra función muestra una frecuencia de 25Hz. Quiere decir, hubo un incremento en las ondas frecuenciales de ondas theta a ondas beta.



**Ilustración 31 – Aumento de la media de la frecuencia**

Fuente: (Mathworks, 2022).

### 3.5.7 ALTERACIONES EN LAS SEÑALES EEG

Durante la transmisión de la señal se presentan efectos no deseados. Uno de ellos es la atenuación que reduce la intensidad de la señal, otros pueden ser como distorsión, interferencia, ruido o artefactos. Estos efectos se manifiestan como alteraciones en la señal (Guzmán & Ramírez, 2021).

La distorsión es una alteración de la señal que se da por una respuesta imperfecta del sistema a dicha señal. Cabe mencionar que la distorsión es algo que siempre pasa y que desaparece cuando la señal deja de aplicarse, mientras que el ruido y la interferencia no. Las interferencias o artefactos es la contaminación por señales extrañas, normalmente artificiales y de formas similares a las señales. Para eliminar estos problemas se elimina la fuente de interferencias como los artefactos.

Mientras que el ruido, es aquella señal aleatoria o impredecible de tipo eléctrico, que se origina de forma natural dentro o fuera del sistema. El ruido puede ser tan sensible que puede ser provocado por varias actividades fisiológicas inclusive; como ser actividad cardiaca, movimiento

ocular, la respiración o incluso la corriente alterna o los electrodos. Por este, a información puede ser no tan clara siendo difícil interpretar las señales de una mejor manera (Guzmán & Ramírez, 2021).

La principal fuente de ruido siempre se caracteriza como la red que suministra la energía eléctrica, la cual que a raíz de los conductores produce un campo magnético de la frecuencia de 60Hz. En otras palabras, el ruido de 60Hz es el sonido asociado con la corriente alterna a la frecuencia de la línea eléctrica. Por lo que, en EEG las señales son constituidas por potenciales generados por la actividad neuronal sumada con el ruido eléctrico de 60Hz. Debido a eso, siempre se debe de tomar en consideración el ruido del zumbido eléctrico de los 60Hz para la adquisición de señales en electroencefalografía y otras adquisiciones (Sosa Orellana, 2021).

### 3.5.8 FILTROS

Debido a que en la respuesta de las señales siempre se tendrá que disponer ante algunas distorsiones y ruidos se han creado los filtros. Un filtro digital es un conjunto de operaciones que se aplican a una señal de entrada para que esta genere una señal de salida de manera que atenué ciertas frecuencias y que deje pasar solo la de interés (Guzmán & Ramírez, 2021).

Hay distintos tipos de filtros con distintos objetivos, por ejemplo: pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-banda con diferentes aproximaciones como: Butterworth, Cheyshev, etc. Con los cuales las señales de EEG pueden ser filtradas y así eliminar distintos tipos de artefactos y dejar pasar el rango de frecuencia deseado (Guzmán & Ramírez, 2021).

Los filtros pasa-bajas, dejan pasar las bajas frecuencias, desde cero hasta una frecuencia de corte determinada. Los filtros pasa-altas dejaran pasar altas frecuencias desde una frecuencia de corte en adelante. Los filtros pasa-bandas tendrán dos frecuencias de corte, la inferior y superior, así obteniendo un ancho de banda, que será lo que deje pasar, atenuando las demás frecuencias que no estén incluidas dentro de esta banda. Mientras que los filtros rechaza-banda dejaran pasar solo un rango de frecuencia que esté de cero a la frecuencia de corte inferior y de la frecuencia de corte superior en adelante; de esta manera rechaza las frecuencias que estén entre la superior e inferior (Guzmán & Ramírez, 2021).

Los filtros Butterworth es uno de los filtros electrónicos básicos, este está diseñado para producir la respuesta más plana hasta la frecuencia de corte. Estos filtros se caracterizan por tener una amplitud máximamente plana en la banda pasante y una caída monotónica en la banda eliminada. Es decir, la señal se mantiene constante hasta la frecuencia de corte y disminuye a una razón de  $20n$  dB por década, en donde  $n$  es el número de orden (Guzmán & Ramírez, 2021).

El orden del filtro describe el grado de aceptación o de rechazo de frecuencias por arriba o debajo de la frecuencia de corte. Para cumplir las consideraciones de las respuesta de los filtros y tener aproximaciones cercanas de forma ideal se necesitan de orden superior (Noa, 2022).

### 3.5.9 TEOREMA DE MUESTREO

El muestreo que también se le llama como "Discretización de señal", es el primer paso en el proceso de conversiones de señales análogas (tiempo y amplitud continua) a una señal digital (tiempo y amplitud discretas). Las conversiones análogas-digitales se realizan debido a que las señales digitales presentan grandes ventajas al momento de ser transmitidas y/o procesadas. Esto es debido a que tienen mayor inmunidad al ruido, mayor facilidad de procesamiento y facilidad de multiplexaje que se refiere a la técnica de combinar dos o más señales y poder transmitirlos por un medio (Semeria, 2015).

Se le conoce como la frecuencia de muestreo a la cantidad de muestras que se toman por unidad de tiempo para convertir la señal análoga en señal digital. En las aplicaciones tecnológicas se toman muestras a intervalos de tiempo iguales y a esto se le llama muestreo periódico de la señal o frecuencia de muestreo, lo que facilita procesos como el de la reconstrucción de la señal. De igual manera, se (Semeria, 2015).

El teorema de muestreo de Nyquist explica la relación entre la velocidad de muestreo y la frecuencia de la señal que es medida. Eso, afirma que la frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) tiene que ser mayor que el doble del componente de interés de frecuencia en la señal medida (dos veces la frecuencia máxima). Esa frecuencia medida se conoce como la frecuencia Nyquist,  $f_N$ . Por lo que, la tasa de muestreo o la frecuencia de muestreo, es el número de muestras por segundo que se toman en una señal continua, esas muestras sirven para producir una señal discreta (de analógica a digital) (Semeria, 2015).

El proceso de muestreo consiste en muestrear la señal cada  $T_s$  unidades de tiempo, en donde toma  $n$  muestras, las cuales la multiplicación de estas muestra la unidad de tiempo en segundos en la cual la señal fue tomada. La fórmula se muestra en la Ecuación 6 (Semeria, 2015).

$$t = T_s * n$$

### **Ecuación 6 – Tiempo de muestra de la señal**

Fuente: (Semeria, 2015).

De esta manera, el tiempo de muestra de una señal tiene relación con la frecuencia de muestreo. El tiempo de muestreo puede ser obtenido también por medio de la frecuencia de muestreo ( $F_s$ ) y de las  $n$  muestras obtenidas del proceso, con la siguiente formula:

$$t = \frac{n}{F_s}$$

### **Ecuación 7 – Tiempo de muestra de una señal con Frecuencia de muestreo**

Fuente: (Semeria, 2015).

## **3.6 MATLAB**

Matlab es una herramienta que permite realizar cálculos científicos y complejos por medio de valores matriciales. El software integra un conjunto de librerías y comandos de alto nivel, de manera versátil y completos. tiene un lenguaje de alto nivel para cálculos científicos y de ingeniería, entorno para la exploración de diseño y solución de problemas graficas para visualizar datos y herramientas para crear diagramas personalizados, herramientas para crear aplicaciones, interfaces con C++, Java, Python entre otros lenguajes. De igual manera Matlab se utiliza para el procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, visión artificial, comunicaciones, y muchos más campos (Aguilar, 2017).

Matlab para el procesamiento de señales permite leer archivos de gran cantidad de datos con el objetivo de realizar un proceso de procesado de la señal. Este utiliza distintos comandos dependiendo en lo que se desee obtener. Matlab contiene distintas funciones como filtros para el procesado de la señal, fórmulas como la transformada de Fourier, transformada de wavelet, métodos para graficas las señales, interpolación de señales, entre otras opciones (Mahafza, 2010).



## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 ENFOQUE**

Esta investigación tuvo un enfoque mixto. Las señales electroencefalográficas analizadas contenían componentes matemáticos los cuales se estudian por medio de múltiples softwares para representar un enfoque cuantitativo. A su vez, cuenta con un enfoque cualitativo debido a la recolección de datos para elaborar un cuestionario y aplicarlo durante la adquisición de señales.

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.2.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Análisis de señales electroencefalográficas de los estudiantes de Ingeniería en biomédica de UNITEC campus Tegucigalpa: Se buscó realizar un análisis estadístico con el objetivo de encontrar una relación de las señales electroencefalografías en distintas semanas del periodo académico con la carga académica s de cada estudiante.

#### **4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES**

- Señales electroencefalográficas de los estudiantes: Las señales electroencefalográficas de los estudiantes son aquellas que se obtuvieron en distintas semanas a través de sensores colocados en el cuero cabelludo de los estudiantes para detectar la actividad cerebral con el objetivo de ser analizadas posteriormente.
- Procesamiento de señales: Se refiere a los datos de filtrado programados en los softwares de adquisición de señales y el uso del software para convertir los datos de las señales electroencefalográficas de los estudiantes seleccionados a una manera que sea posible comprenderlos y analizarlos.
- Herramienta de adquisición de las señales: La plataforma utilizada para adquirir señales electroencefalográficas en tiempo real por medio de los electrodos colocados en el cuero cabelludo de los estudiantes.
- Herramienta de procesado de las señales: El software para el procesado de señales por medio de un código con la Ecuación 5 – Frecuencia Media mencionada en el marco teórico

para convertir las señales en datos estadísticos y obtener estas, datos con una mayor interpretabilidad.

- Características de las señales: Diversos factores permiten caracterizar una señal electroencefalográfica. La característica más frecuente para describir la actividad cerebral es el ritmo. Por lo que se divide en frecuencia y amplitud de las ondas cerebrales Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma. Asimismo, se debe de considerar el tiempo es un factor fundamental dado que las señales son obtenidas en valores de tiempo y por medio del procesamiento de señales son convertidas datos frecuenciales.

### **4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

#### 4.3.1 CUESTIONARIOS

Se diseñó un cuestionario con una pregunta investigativa dirigida a estudiantes de distintas carreras. El propósito de la consulta era conocer el tipo de preguntas que generarían disgusto o estrés a los estudiantes cuando obtienen bajas calificaciones en una asignatura; como en exámenes parciales, proyectos, muchas tareas, etc. Se documentaron un total de respuestas, seleccionando las 19 más repetitivas para realizar las preguntas a los estudiantes mientras se les adquirían las señales electroencefalográficas con el equipo OpenBCI.

Posteriormente se diseñó un segundo cuestionario para las personas con la disposición para formar parte de la investigación como sujetos de estudio. El cuestionario constaba de preguntas acerca de las clases a cursar, si padecía de algún trastorno específico y datos personales como nombre, correo y número telefónico si estaba dispuesto a participar. También contaba con un apartado para ingresar datos médicos relevantes como, condiciones psicológicas clínicamente diagnosticadas o problemas cardiacos. Se destaca que, los nombres, correos y números telefónicos de los participantes fue de carácter confidencial y no fueron nombrados a lo largo del proyecto. Estos datos solamente fueron utilizados para un medio de comunicación entre la investigadora y cada estudiante.

#### 4.3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS CUANTITATIVOS

La adquisición de las señales electroencefalográficas de los estudiantes se logró por medio del software OpenBCI de los estudiantes que aceptaron participar voluntariamente colocando los electrodos en el cuero cabelludo. Se obtuvo una respuesta de la adquisición de la señal en valores numéricos en el dominio temporal, donde posteriormente, se trabajó en el procesamiento de señales de cada una para analizarlas en el dominio frecuencial de forma estadística.

#### 4.3.3 JUICIOS DE EXPERTOS

Se contó con la asesoría de dos ingenieros en biomédica en el tema durante la trayectoria del proyecto. El apoyo brindado consistió en el conocimiento de procesamiento de señales, en el cual brindaron recomendaciones del proceso a realizar durante la adquisición de señales y para el procesamiento de señales. Con la ayuda de ellos, se aclararon los temas y prácticas necesarias para la investigación.

Surgieron temas como ser: el mejor tipo de software a utilizar para la adquisición de señales y qué software es mejor para el procesamiento de las señales. De la misma manera, los filtros a utilizar para suavizar las señales y se obtengan una mejor lectura, filtros para rangos de frecuencias y fórmulas a utilizar para el análisis. Asimismo, las técnicas para la obtención de una mejor señal al momento de la adquisición en tiempo real con los estudiantes.

Adicionalmente, se tuvo una comunicación con un médico neurofisiológico para conocer acerca de la adquisición de señales y los montajes. De la misma manera, al inicio de la investigación, con un psicólogo para corroborar los temas relacionados al estrés.

#### 4.3.4 RECOPIACIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

Se realizó una recopilación de datos para comprender temas neuronales, de estrés y de manejo de señales electroencefalográficas con el propósito de obtener una relación entre el estrés de una persona y la actividad cerebral.

## **4.4 MATERIALES**

### **4.4.1 PLATAFORMA OPENBCI**

Es un hardware y software que se basa en el interfaz de cerebro-computadora para registrar distintos tipos de señales, como ser, las señales electroencefalográficas, en la aplicación de este proyecto. Se empleó en las semanas correspondientes con cada uno de los estudiantes para adquirir las señales y posteriormente analizarlas.

### **4.4.2 ULTRACORTEX OPENBCI**

Es la pieza impresa en 3D utilizada para colocar los electrodos siguiendo el sistema internacional 10/20 y ubicando la placa Cyton en ella para adquirir las señales electroencefalográficas en las distintas derivaciones. Se utilizó colocándolo en la cabeza del estudiante, considerando que los electrodos tuvieran contacto con el cuero cabelludo para asegurar una obtención de datos de actividad cerebral.

### **4.4.3 DONGLE**

Es la interfaz de comunicación vía puerto USB que permite la conexión con la placa Cyton y los electrodos a los softwares externos en donde se digitaliza las señales y se guardan los datos obtenidos. Fue conectado a la computadora y se mantuvo en uso durante la toma de mediciones de cada estudiante.

### **4.4.4 PLACA CYTON**

Cumple la función de una interfaz neuronal donde se conectan ocho canales de electrodos los cuales se transmite información al dongle vía bluetooth y de esta manera la información se visualice en la computadora al transmitir las señales. La placa se mantuvo encendida en todo el proceso en el utracortex mientras se realizaban las mediciones a los estudiantes para tener una conectividad con el dongle y la computadora.

#### 4.4.5 OPENBCI GUI

Esta herramienta es un software el cual funciona para visualizar, grabar y transmitir señales de EEG captados por los electrodos del OpenBCI en tiempo real o en reproducción. Este software se utilizó para las primeras mediciones a los estudiantes. Luego, se utilizó un mejor software el cual ayudó de semejante manera a registrar señales de EEG.

#### 4.4.6 ELECTRODOS Y PINZAS DE OREJAS

Los electrodos son necesarios para la obtención de señales electroencefalográficas los cuales se colocan en el cuero cabelludo con las configuraciones en el lóbulo frontal y parietal del cerebro, del presente proyecto. Los electrodos adquieren las señales y por medio del interfaz de la placa Cyton y el dongle son enviadas y guardadas en la computadora. Igualmente, se coloca la pinza de oreja tomado como referencia a tierra colocada en el lóbulo de la oreja del estudiante debido a que es un punto neutro en el cuerpo y llega a eliminar electricidad común en los electrodos.

#### 4.4.7 OPENVIBE

Es un software con interfaz de cerebro computadora utilizado en tiempo real y permite observar el procesamiento de señales electroencefalográficas. Este software se utilizó para las segundas y terceras adquisiciones de las señales electroencefalográficas en los estudiantes. Añadiendo, fue una mejor opción debido a que surgieron diversos problemas con el software anterior OpenBCI GUI como ciertas dificultades con la adquisición de las señales.

#### 4.4.8 EXCEL

Se utilizó la herramienta de Excel para múltiples tareas. Primero, las señales electroencefalográficas al terminar de ser registradas son guardadas en archivo Excel en formato .csv (OpenVibe) y .txt (OpenBCI) con todos los datos obtenidos. De la misma manera, se utilizó Excel para organizar cada uno de los horarios de los estudiantes y planificar qué horario sería el conveniente para citar a cada uno de ellos. También, se utilizó para realizar análisis estadísticos convenientes para encontrar y comparar los diferentes resultados ya obtenidos luego de haber procesados las señales.

#### 4.4.9 MATLAB

Se seleccionó este lenguaje de programación en vista que este contiene ya funciones adquiridas en la plataforma para la ayuda de procesamiento de señales sin la necesidad de descargar otras extensiones como se necesitaría en otros lenguajes de programación. Se utilizó Matlab con el objetivo de crear un código para el procesamiento de señales adquiridas en cada semana. Se cargó cada archivo en formato .xlsx (fue necesario pasar de .txt y .csv a .xlsx), para que este leyera los datos temporales obtenidos desde el OpenBCI GUI y OpenVibe y luego por medio del código proporcionar datos frecuenciales con la media de la frecuencia de la señal.

#### 4.4.10 COMPUTADORA

Se requirió una computadora puesto que, fue necesaria para todo el trayecto del proyecto. Se instalaron todas las plataformas y softwares antes mencionadas y de esa manera ejecutar sus funciones para la investigación como adquirir y registrar las señales para luego analizarlas. De igual forma, se utilizó para guardar la documentación de todo el proceso.

#### 4.4.11 TELÉFONO CELULAR

Se necesito el teléfono celular con varios objetivos; el primero, de manera comunicativa con las personas involucradas en la realización del proyecto. El segundo, se utilizó para documentar las reuniones con los estudiantes mientras se les realizaba preguntas al mismo tiempo de efectuar las mediciones de EEG. Finalmente, se utilizó para la toma de fotografías y evidencias de los estudiantes mientras se les hacía la toma de mediciones.

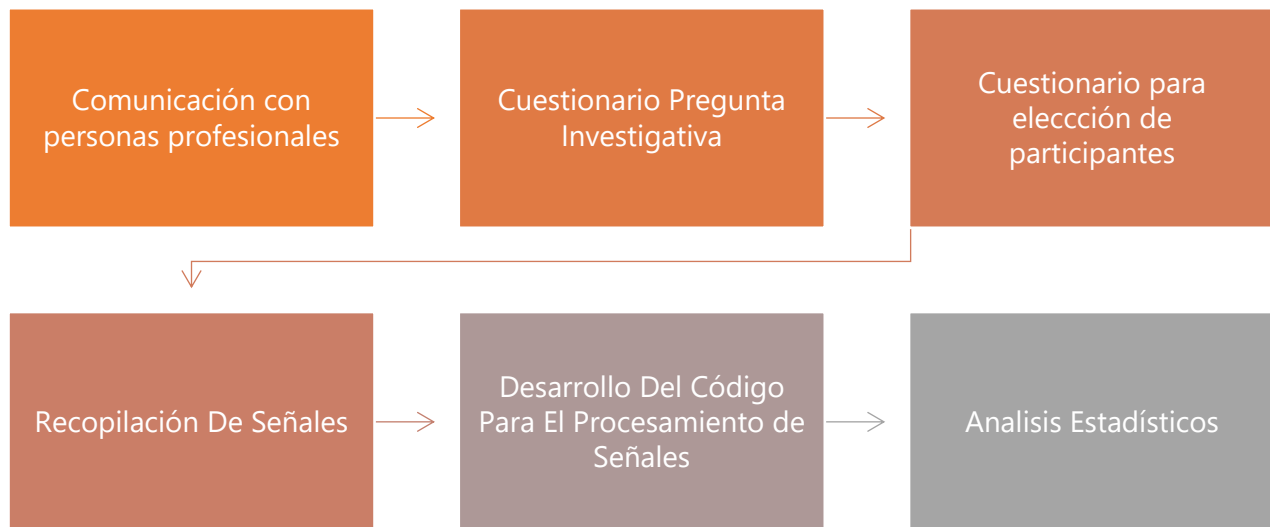
### **4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población de la investigación es representada por los estudiantes de biomédica que se tomaron en cuenta en el estudio de las señales electroencefalográficas.

Se optó por escoger participantes con muestras no probabilísticas, ya que se tiene en cuenta que las unidades no dependieron de una probabilidad o formulas planteadas, sino a las razones relacionadas con el contexto del proyecto y las decisiones del investigador. Las razones por la cual se optó por una muestra no probabilística fueron:

- Solo se consideraron dentro de la población alumnos de tercer y cuarto año de la carrera de Ingeniería en Biomédica. Se eligieron estos dos respectivos años debido a que se tienen mayor parte de asignaturas relacionadas al 100% de la carrera de ingeniería en biomédica. También, para realizar una comparación entre los alumnos que van entrando a las asignaturas de la carrera (tercer año) con los que van culminando la carrera (cuarto año).
- Se elaboró un cuestionario con disposición a participar para conocer los estudiantes interesados ya que fue un estudio de manera voluntaria y 27 de ellos contestaron el cuestionario.
- La razón del número de estudiantes se tomó debido a que la adquisición de las señales tomaba de 15 a 20 minutos por estudiante, se debía coordinar el tiempo libre de los estudiantes y los espacios de tiempo eran limitados lo cual resultó complejo realizar una muestra mayor.

#### 4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO



**Ilustración 32 - Metodología de estudio**

Fuente: Elaboración Propia

##### 4.6.1 COMUNICACIÓN CON PERSONAS PROFESIONALES

Se obtuvo una comunicación con personas profesionales acerca del tema. Entre ellos un psicólogo y una doctora en neurofisiología, la cual permitió hacer una visita técnica al Medical Center para

poder aprender el procedimiento y técnicas a utilizar para realizar un estudio electroencefalográfico. Esta comunicación fue necesaria al inicio de la investigación para así conocer más del tema y poder trabajar con más certeza. De la misma manera, se obtuvo una asesoría al inicio y a lo largo del proyecto con ingenieros en biomédica capacitados en procesamiento de señales los cuales brindaron su ayuda en corroborar los temas y acciones realizadas.

#### 4.6.2 CUESTIONARIO PREGUNTA INVESTIGATIVA

Se realizó un cuestionario con una pregunta investigativa a estudiantes de manera general, la cual exponía "¿Qué pregunta le puede causar estrés o disgusto cuando van mal en una clase?". Se realizó el cuestionario con el objetivo de saber qué tipo de preguntas generan un estrés o disgusto a los estudiantes cuando no generan buenos resultados en una asignatura. Al obtener todas las respuestas del cuestionario, se seleccionaron 19 preguntas. Las preguntas seleccionadas fueron las mayormente repetidas en el cuestionario.

Estas mismas, se documentaron y se realizaron durante la adquisición de señales de manera abiertas a los estudiantes. Cabe mencionar, las preguntas seleccionadas fueron las mismas efectuadas en las tres mediciones realizadas durante el periodo académico. Se realizó con el objetivo de obtener distintas reacciones y respuestas de los estudiantes ante las mismas preguntas.

#### 4.6.3 CUESTIONARIO DE SELECCIÓN DE PARTICIPANTES

Se realizó un cuestionario para identificar a los estudiantes con interés en participar en el estudio. Era necesario realizar el cuestionario con el objetivo que el estudiante decidiera o no brindar la información debido a que se ejecutaron preguntas personales de salud. Adicionalmente, se comunicó las semanas correspondientes que se debían tomar las adquisiciones de las señales. Distinguido lo anterior, las personas decidían si ser partícipes del estudio o no. Obtenidas las 27 personas partícipes que decidieron responder el cuestionario, se llevó una organización de horarios tanto de los estudiantes como de disponibilidad de laboratorio para realizar la adquisición de señales a los estudiantes.



#### 4.6.4 RECOPIACIÓN DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS

Se adquirieron las señales electroencefalográficas de cada estudiante. Se comenzó la adquisición de señales en semana dos del periodo académico debido a que eran las semanas de comienzo del periodo. Se prosiguió a tomar las segundas muestras a finales de semana cuatro e inicios de semana cinco ya que son fechas de primeros exámenes parciales. Por último, se tomaron las muestras a finales de semana ocho consecuentes a que en semana nueve se entregan la mayoría de los proyectos y se aproxima la etapa de exámenes finales. Adquiridos cada uno de los datos, se almacenaron mientras se estudiaba la mejor manera de transformarlos a un análisis frecuencial.

#### 4.6.5 DESARROLLO DEL CÓDIGO PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Se desarrolló un pequeño código con el lenguaje de programación de Matlab que ayudó a procesar las señales de EEG para convertirlas de un dominio temporal a un análisis frecuencial y así analizar cada una de ellas. Se utilizó los comandos necesarios para filtrar las señales deseadas para obtener un rango de frecuencia de acorde a lo estudiado. Luego empleó un comando para obtener respuestas en frecuencias utilizando la fórmula de frecuencia media para mostrar un promedio frecuencial de las señales procesadas de cada estudiante.

#### 4.6.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con la ayuda del código se obtuvo un promedio de frecuencia por semana de cada estudiante y electrodo colocado. Se analizaron de manera estadística para obtener un análisis general de todos los estudiantes por semana distinta y observar si se observaba una diferencia entre ellas. Para este análisis se utilizó Excel para organizar los datos obtenidos y conseguir comparar los datos durante semana por todos los estudiantes.

##### 4.6.6.1 *Excel*

La aplicación de Excel se utilizó para distintas tareas. En esta plataforma se llevó a cabo la organización de horarios de los estudiantes y el día con la hora que fueron citados, al igual que el horario disponible del laboratorio. De otra manera, también se utilizó para llevar el control de los datos obtenidos directamente de la toma de señales a la computadora. Quiere decir que los datos obtenidos directamente de la placa Cyton se guardaron en un documento Excel el dominio

temporal. Luego, cuando estos datos fueron procesados en Matlab se documentó cada respuesta en Excel y de esta manera desarrollar un análisis estadístico sencillo y obtener resultados.

#### **4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

Mediante lo estudiado durante todo el proyecto se tomó en cuenta otros dos análisis relacionados con estudios electroencefalográficos con relación al estrés. Ambos, toman en cuenta que solo un estudio electroencefalográfico no define directamente si una persona sufre o no de estrés, pero puede ayudar a encontrar una relación con otros datos esenciales.

El primer estudio realizado en Ecuador, la Universidad de las Fuerzas Armadas por estudiantes de ingeniería en sistemas de un prototipo para la medición de estrés a estudiantes de la misma universidad. Este proyecto se dividió en dos fases en la cual la primera consistió en medir el estrés de los estudiantes mientras estos realizan unos ejercicios de concentración. La segunda en comprobar si la música hacía un tipo de relajación ante el estrés. En donde en ambos registraba la frecuencia de los estudiantes y presentaba un promedio de este. En dicho estudio se encontraron diversos resultados, como:

- Mientras el estudiante resolvía el problema pudieron observar que el nivel de estrés era un promedio de 83.94, el cual en frecuencia se definía como un nivel alto en ondas Beta y hasta arriba del umbral que era 45 en este caso.
- Por otro lado, en su segunda fase les colocaron la música a los estudiantes y observaron una disminución de las frecuencias en ondas Beta y su promedio bajó a un 9.78 en su nivel de estrés.

El segundo estudio relacionado fue uno realizado por varios científicos a estudiantes del Tecnológico Superior de Libres, en Puebla, México. Consistió en identificar el nivel de estrés y concentración a nivel académico mediante un instrumento de medición. Tomaron una muestra de 122 estudiantes en los cuales detectaron las frecuencias de las ondas cerebrales utilizando un dispositivo llamado Muse Headband. Algunos de sus resultados fueron:

- Se evidenció que los alumnos atribuyen un estrés académico a las evaluaciones y a la sobrecarga de tareas y trabajos.

- Algunos síntomas que pudieron detectar mediante hacer el análisis fueron inquietud, fatiga crónica, ansiedad, angustia y hasta aumento de consumo de alimentos.

## 4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

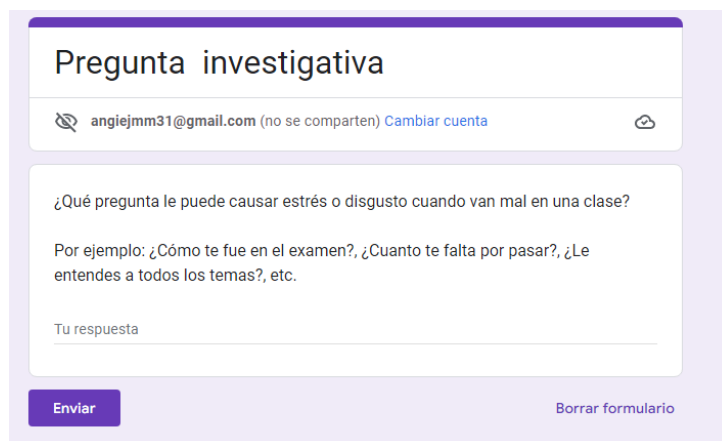
Actividad	Semana#1	Semana#2	Semana#3	Semana#4	Semana#5	Semana#6	Semana#7	Semana#8	Semana#9	Semana#10
Realización de pregunta investigativa										
Realización de cuestionario para elección de participantes										
Investigaciones y planteamiento del problema										
Toma de mediciones de los estudiantes										
Avance en el desarrollo del Informe										
Segunda toma de mediciones de los estudiantes										
Investigación acerca de programas a utilizar para el desarrollo del código										
Avance y correcciones en el desarrollo de la segunda parte del informe de proyecto.										
Investigación a mejor opción para realizar el código necesario para el procesamiento de señales										
Realización del código en Matlab										
Comienzo de procesamiento de señales en Matlab										
Tercera y última toma de mediciones a estudiantes										
Finalización de procesamiento de señales de todas las adquisiciones										
Finalización de proyecto y colocación de resultados en el informe										
Realización del paper										
Entrega informe final										

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Posteriormente a las herramientas y metodología de investigación mencionadas se muestran el proceso detallado y los resultados obtenidos de la investigación. En la primera unidad se describirá el proceso para la selección de estudiantes de la investigación, en siguiente la explicación de selección de las mejores preguntas para realizar en la adquisición de señales. Consecutivamente, se dará una descripción del proceso de adquisición de señales en los estudiantes explicando ciertas característica o problemas que se presentaron durante el proceso. Luego, una explicación de la construcción del código necesario y del por qué las funciones que se utilizaron. Por último, se explicará el análisis obtenido de los resultados del código en Matlab y su respectiva explicación.

### 5.1 CUESTIONARIO PREGUNTA INVESTIGATIVA

El proceso de adquisición de señales consiste en colocar al estudiante en una silla con los materiales necesarios a la vez que se realizan preguntas que pueden llegar a generar estrés o disgusto al estudiante. La elección de dichas preguntas se llevó a cabo realizando un cuestionario a estudiantes de diferentes carreras que contenía la pregunta: “¿Qué pregunta le puede causar estrés o disgusto cuando van mal en una clase?” como se muestra en la Ilustración 33.



Pregunta investigativa

angiejmm31@gmail.com (no se comparten) [Cambiar cuenta](#)

¿Qué pregunta le puede causar estrés o disgusto cuando van mal en una clase?

Por ejemplo: ¿Cómo te fue en el examen?, ¿Cuanto te falta por pasar?, ¿Le entendes a todos los temas?, etc.

Tu respuesta

[Enviar](#) [Borrar formulario](#)

**Ilustración 33 – Cuestionario Investigativo**

Fuente: Elaboración propia

Dicho cuestionario ayudó a conocer qué tipo de preguntas les generan disgusto, estrés o incomodidad a los estudiantes cuando sus calificaciones no son buenas, tienen un mal resultado en un examen o la posibilidad de repetir la asignatura. Una vez obtenidas las respuestas del cuestionario, se decidió seleccionar las preguntas más repetitivas. Se añadieron preguntas acerca del transcurso del periodo, como, por ejemplo: ¿Llevan trabajos en grupo?, ¿Cuál asignatura es la más difícil de cursar en su periodo actual?, ¿Cuántos proyectos deben realizar?, etc. Se añadieron con el objetivo de llevar un orden al momento de realizar las preguntas.

Se documentaron 34 preguntas en total como respuesta de las personas que respondieron el cuestionario las cuales se muestran en Anexo 1. Como se mencionó antes, la elección de las preguntas finales consistió en seleccionar las más relevantes y repetitivas las cuales sumaron un total de 19 preguntas. Las 19 preguntas fueron seleccionadas para realizarlas a los estudiantes mientras se les adquirían las señales cerebrales.

Se realizaron las mismas 19 preguntas a los estudiantes en las tres mediciones adquiridas durante el periodo académico. Se realizó con el objetivo de obtener diferentes reacciones y respuestas ante las mismas preguntas y no alterar de alguna manera distinta las señales adquiridas.

### 5.1.1 PREGUNTAS SELECCIONADAS

Las 19 preguntas seleccionadas para realizárselas a los estudiantes fueron:

1. ¿Qué clases estás llevando?
2. ¿Cuáles de esas crees que es la más difícil?
3. ¿Cómo vas con esas clases?
4. ¿Le entiendes a todos los temas?
5. ¿Cuántas tareas tienes pendientes?
6. ¿Cómo piensas organizarte para realizar todas las tareas pendientes?
7. ¿Tienes proyectos a realizar?
8. ¿Cómo vas con los proyectos de tus clases y crees que lo vas a tener todo listo para la fecha de entrega?
9. ¿Llevas trabajos en grupo?
10. ¿Cómo te llevas con tus compañeros de grupo?

11. ¿No tienen problemas en organizarse y con la entrega de sus partes?
12. ¿Has estudiado para tus exámenes ya?
13. ¿Cómo te ha ido en las pruebas de las clases?
14. ¿Cómo crees que te vaya en los exámenes?
15. ¿Cómo te fue en el examen del primer parcial?
16. ¿Cuánto te falta para pasar en tus clases?
17. ¿Crees llegar a pasar la clase o a tener tu objetivo de promedio en la clase?
18. ¿Sabes cómo van tus compañeros en esas mismas clases, si vos estás arriba o debajo de la media?
19. Una pregunta futura: ¿Cuánto te falta por graduarte?

## **5.2 CUESTIONARIO DE SELECCIÓN DE ESTUDIANTES**

Para la investigación, se debió seleccionar a las personas que deseaban formar parte de la investigación. Para esto, se decidió realizar un cuestionario con la portada de la Ilustración 34 y con preguntas generales como ser: Nombre completo y la edad. Sin embargo, también se decidió preguntar si la persona padecía de ansiedad, depresión, estrés crónico o alguna patología cardíaca clínicamente diagnosticadas o si tomaba algún tipo de medicamento contra estas patologías y que las especificará. Se decidió realizar este tipo de preguntas, ya que como se mencionó en el Marco Teórico trastornos como ser ansiedad, depresión y estrés y enfermedades cardíacas pueden afectar a una actividad cerebral elevada en la persona.

Añadiendo, se preguntó los cursos que iba a matricular el estudiante en el tercer trimestre del 2022 de UNITEC Campus Tegucigalpa para diferenciar si la persona permanecía en tercer o cuarto año de la carrera de Ingeniería en Biomédica. Para realizar la división por año se tuvo en cuenta las clases por año nombrado en el plan de estudio académico 2020 de la carrera en Ingeniería en Biomédica. Por último, se preguntó si la persona estaría dispuesta a participar en el tiempo de semana dos, semana cinco y semana nueve del periodo académico. Si la respuesta fuese "Sí", debía de escribir su número telefónico y correo para una futura comunicación entre la investigadora y el estudiante.

El objetivo de seleccionar semana dos, semana cinco y semana nueve del periodo académico es debido a que; en semana dos, es el inicio del periodo, cuando los estudiantes comienzan a organizar sus horarios de clases. En semana cinco, los estudiantes comienzan exámenes del primer parcial y han recibido más temas de acuerdo con sus asignaturas. Por último, en semana nueve, los estudiantes están culminando el periodo académico y seguramente entregando proyectos y preparándose para posteriormente semana diez, última semana de exámenes y del periodo académico. En el Anexo 2 se muestran las preguntas textuales que se les realizaron a los estudiantes en el cuestionario.

Cabe mencionar, los datos adquiridos en las preguntas de investigación a los participantes, fueron totalmente confidenciales y solamente se utilizaron para razones investigativas y para el contacto con entre la investigadora y cada uno de ellos.

Por último, se tomó como resultado que 15 personas de tercer año respondieron la encuesta de forma voluntaria y 12 personas de cuarto año la respondieron de igual manera. Obteniendo, un total de 27 estudiantes de estudio para la investigación. Posteriormente se mantuvo un contacto con cada estudiante para organizar los horarios para las adquisiciones de señales.



**Cuestionario para estudio de proyecto de graduación de Ingeniería en Biomédica**

Buen día, mi nombre es Ashley Morales, estudiante de último año de la carrera de Ingeniería en Biomédica que estaré pronto a realiza mi proyecto de graduación, el cual tratará de tomar estudios electroencefalográficos en distintas semanas del periodo para así comparar sus señales. Para este proyecto se me es necesario la participación de algunos estudiantes, quienes quieran ser partícipes pueden contestar la siguiente encuesta. Cabe mencionar que los datos que responda en el cuestionario serán confidenciales y no se publicará su nombre.

 [angiejmm31@gmail.com](mailto:angiejmm31@gmail.com) (no se comparten) [Cambiar cuenta](#) 

\*Obligatorio

**Ilustración 34 – Portada del cuestionario**

Fuente: Elaboración propia



### **5.3 ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS A LOS ESTUDIANTES**

El proceso de adquisición de señales electroencefalográficas de los estudiantes llevó a cabo varios procesos y decisiones durante el periodo académico. Se tenía registrado que las adquisiciones se tomarían en semana dos, semana cinco y semana nueve. Sin embargo, se realizaron pequeños cambios durante la investigación.

Las primeras adquisiciones de señales se realizaron en semana dos debido a que es el comienzo del periodo académico. Las segundas adquisiciones de las señales de los estudiantes se comenzaron a finales de semana cuatro inicios de semana cinco. Se optó a esta decisión ya que en finales de semana cuatro los estudiantes se están preparando para los exámenes de semana cinco y se deseaba registrar si estaban estudiando y/o preparándose para dichos exámenes del primer parcial. Luego, por la misma razón, las terceras y últimas adquisiciones se decidieron tomar finales de semana ocho, inicios de semana nueve, para conocer el estado de los estudiantes antes de presentar los proyectos y todas tareas asignadas al final del período.

Para el proceso de la adquisición de señales se realizó una organización con cada estudiante con los horarios disponibles. En la adquisición se realizaron algunas instrucciones a los estudiantes describiendo el proceso que se realizaría. Posteriormente, para las segundas adquisiciones de las señales se tomó la decisión de cambiar de software y utilizar otro que ayudará de mejor manera. Por último, en las últimas adquisiciones se les agradeció a los estudiantes por ser partícipes en el estudio.

#### **5.3.1 MATERIALES**

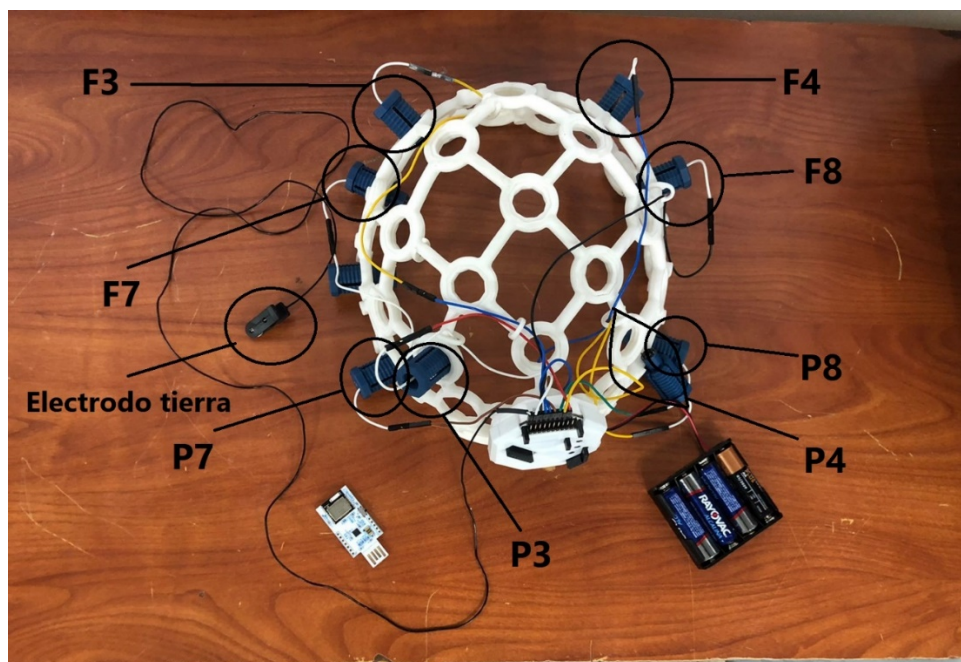
Cabe mencionar, para la adquisición de señales se necesitó tener los materiales preparados para ser colocados correctamente en los estudiantes. Los materiales son:

##### *5.3.1.1 Ultracortex*

Fue el instrumento impreso en 3D situado en los estudiantes donde se colocan los electrodos a la medida exacta nombrada por el sistema internacional 10-20, con el nombre de los canales establecidos y nombrados posteriormente en 5.3.1.2.

### 5.3.1.2 Electrodo Y Pinzas De Oreja

Se colocaron ocho electrodos siguiendo el montaje oficial del sistema 10-20 (Ilustración 35). Se eligieron los lóbulos frontales y parietales debido a que estos son los que recopilan más información de ondas beta, las analizadas en este proyecto. Se escogieron los canales siguientes: F3, F4, F7, F8, P3, P4, P7, P8. Adicionalmente, cada uno de este canal está conectado a un electrodo de referencia llamado A1 que es la referencia a tierra con las pinzas de orejas, por lo que es un montaje mono polar. Por lo que el nombre de los canales es llamado: F7-A1; F8-A1; F3-A1; F4-A1; P7-A1; P8-A1; P3-A1; P4-A1.



**Ilustración 35 – Colocación de electrodos en el Ultracortex**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.1.3 Placa Cyton

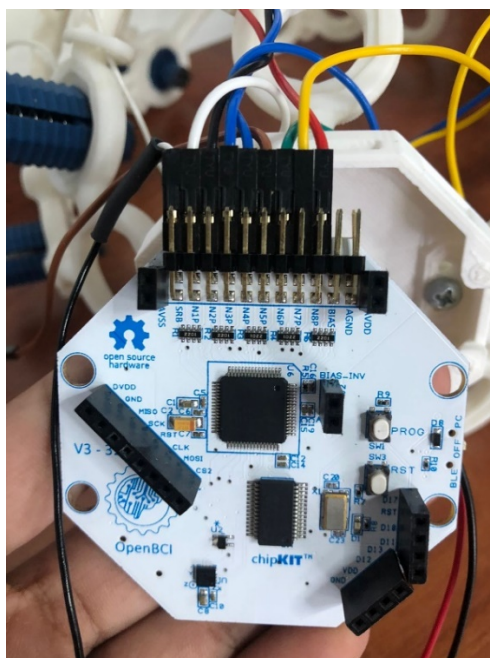
La placa Cyton es colocada como soporte en una parte posterior del Ultracortex como se muestra en la Ilustración 36.



**Ilustración 36 – Placa Cyton en estudiante**

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, como se muestra en la Ilustración 37 se conectan los electrodos en la placa Cyton con su respectivo nombramiento y entrada. Como se nombró los electrodos utilizados fueron: F3, F4, F7, F8, P3, P4, P7, P8, por lo que su entrada correspondiente se muestra en la Tabla 3.



**Ilustración 37 – Entradas de los electrodos**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 3 – Entradas utilizadas en la placa Cyton**

<b>Electrodo</b>	<b>Entrada de la placa Cyton</b>
Pinza de oreja	Entrada AGND
F7	Entrada N1P
F8	Entrada N2P
F3	Entrada N3P
F4	Entrada N4P
P7	Entrada N5P
P8	Entrada N6P
P3	Entrada N7P
P4	Entrada N8P

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.3.1.4 *Dongle*

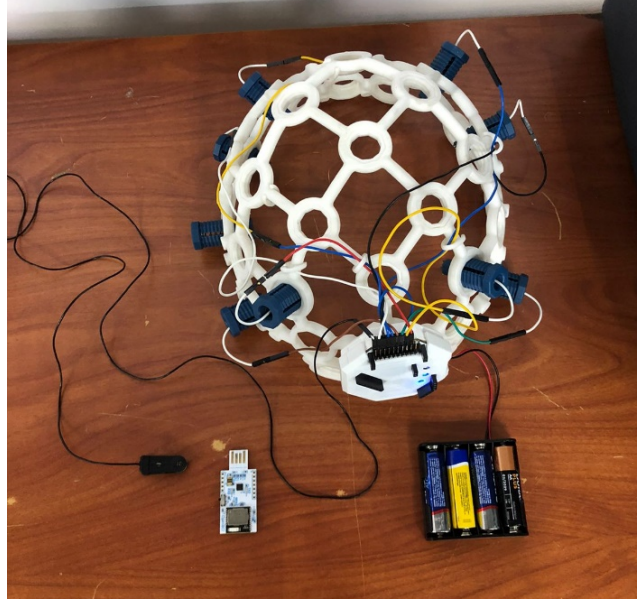
El dongle fue conectado a la computadora por un puerto USB (Ilustración 38), y de esta manera adquirir las señales de cada electrodo referente enviada desde la placa Cyton para así almacenar los datos en la computadora.



**Ilustración 38 – Dongle conectado**

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se obtienen todos los materiales en disposición para ser utilizados como en la Ilustración 39.

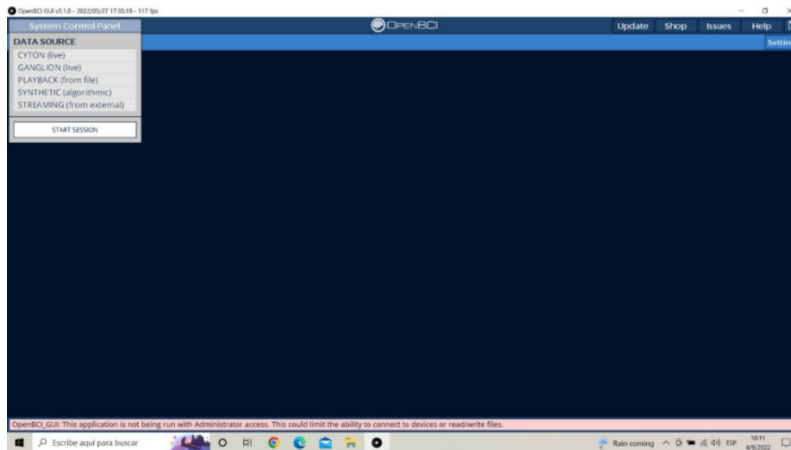


**Ilustración 39 – Materiales**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.2 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE OPENCI GUI

Para la adquisición de datos se necesitaba un software que fuera compatible con la plataforma del OpenBCI, por lo que decidió empezar a tomar las adquisiciones de señales con el software OpenBCI GUI mostrado en la Ilustración 40.



**Ilustración 40 – Software OpenBCI GUI**

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 ORGANIZACIÓN CON LOS ESTUDIANTES EN SEMANA DOS

Primeramente, antes de organizar un horario con cada estudiante se optó a conocer los horarios disponibles del laboratorio y el docente a cargo, debido a que no se podía usar el equipo fuera del área del laboratorio de Biomédica. Se llevó una organización con la docente, donde brindó una tabla de Excel en el cual colocaba el día y horario disponible, como se muestra en Anexo 3.

En siguiente, para obtener un orden y una fácil organización se realizó un documento en Excel con el horario de clases de cada estudiante y sus horas libres. Esto ayudó a organizar un horario establecido para coordinar la hora y el día en que se tomarían las adquisiciones de señales con cada uno de ellos. Se dividió en dos tablas, una de ellas con los estudiantes de tercer año (Anexo 4) y otra tabla con los estudiantes de cuarto año (Anexo 5).

Para realizar la tabla, se utilizó la herramienta de Excel. Primero se organizaron los estudiantes completos con sus nombres de forma alfabética, y se nombraron del 1-27 (cantidad completa de estudiantes de estudio). Luego, se dividieron por el año que están cursando y se realizaron dos tablas diferentes (Anexo 4), estudiantes de tercer año y (Anexo 5) estudiantes de cuarto año. Posteriormente, se le solicitó el horario a cada alumno para conocer los horarios en que podría asistir a la adquisición de señales. Por último, conociendo las horas libres de cada estudiante, se prosiguió en organizar los días y las horas en las cuales se adquirirían las señales.

Cabe mencionar que la numeración de estudiantes en forma alfabética no cambia durante todo el proceso del proyecto.

### 5.3.4 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES CON LOS ESTUDIANTES EN SEMANA DOS

El proceso de adquisición de señales fue el mismo con cada uno de ellos, sin embargo, se obtuvieron algunas dificultades con ciertos estudiantes los cuales se nombrarán más adelante. Cuando el estudiante se presentaba en la hora y día programado los materiales ya estaban listos; es decir, la computadora encendida conectado al dongle y el software listo para usar y el ultracortex con los electrodos seleccionados conectados con la placa Cyton. El proceso consistió en:

#### *5.3.4.1 Explicar al estudiante detalladamente el proceso al que se iba a someter*

El proceso consistía en que el estudiante se colocara en una silla para que la investigadora le colocara el ultracortex. Luego, se ajustaba cada electrodo al tamaño de la cabeza del estudiante para así tener un contacto seguro con el cuero cabelludo.

Posteriormente, se explicó que para la adquisición de señales iba a tomar un tiempo de aproximadamente cinco minutos. Un minuto de toma de señales en silencio para que haya una estabilidad de la señal antes de empezar con las preguntas. Luego, tres minutos aproximadamente en las cuales se les realizaron las 19 preguntas seleccionadas. Por último, otro minuto final para asegurar que las señales fueron guardadas.

Adicionalmente, también se le comunicó al estudiante que debía de tener el cabello lo más limpio posible para no obtener otro tipo de señales desde los electrodos. De igual manera, que permaneciera estable durante la adquisición, ya que algún movimiento puede ser captado en las señales como movimiento muscular y no de actividad cerebral. Adicionalmente, se comunicó que debía de separarse de todas las pertenencias de metal o eléctricas como celulares, relojes, cadenas, aritos etc. Esto debido a que este tipo de materiales generan artefactos en la señal.

#### *5.3.4.2 Colocación de materiales:*

Luego que se le comunicó al estudiante el proceso, se colocó el Ultracortex ajustando cada electrodo al cuero cabelludo y colocando la pinza en el lóbulo de la oreja para asegurar la referencia a tierra. Al final, la colocación se muestra en la Ilustración 41.



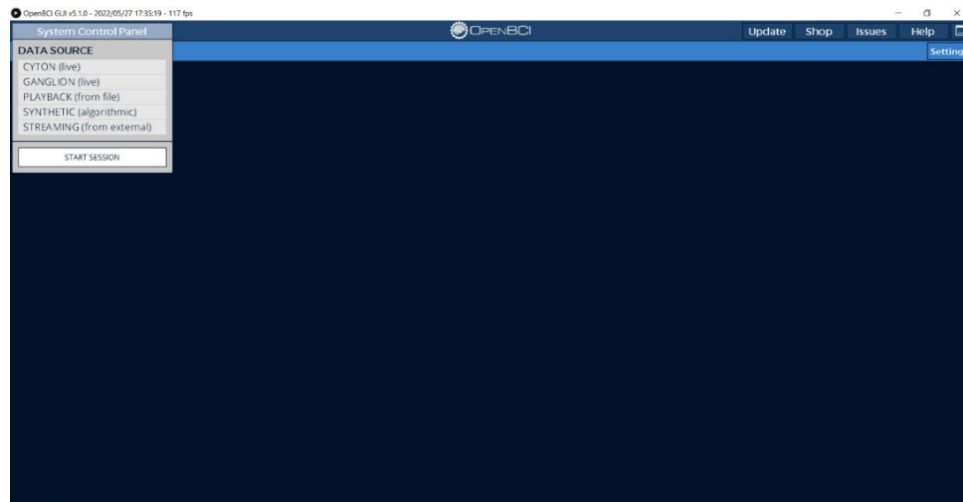
**Ilustración 41 – Ubicación de materiales para la adquisición de señales**

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.4.3 *Adquisición de señales con OpenBCI GUI*

Con el estudiante listo es posible empezar el proceso de adquisición de señales.

1. Software en inicio para comenzar como en la Ilustración 42, para esto se debía conectar el dongle en el puerto USB y la placa Cyton encendida.

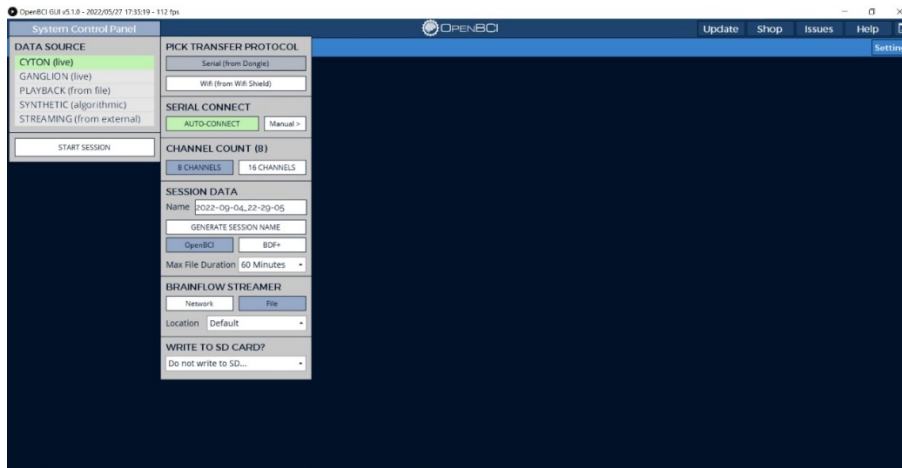


**Ilustración 42 – Inicio del Software OpenBCI GUI**

Fuente: Elaboración propia

2. Se selecciona la opción de la placa Cyton conectado con Dongle (Ilustración 43) debido a que era el material que se necesitaba para la adquisición de señales, y se confirma que se selecciona la opción de ocho canales.

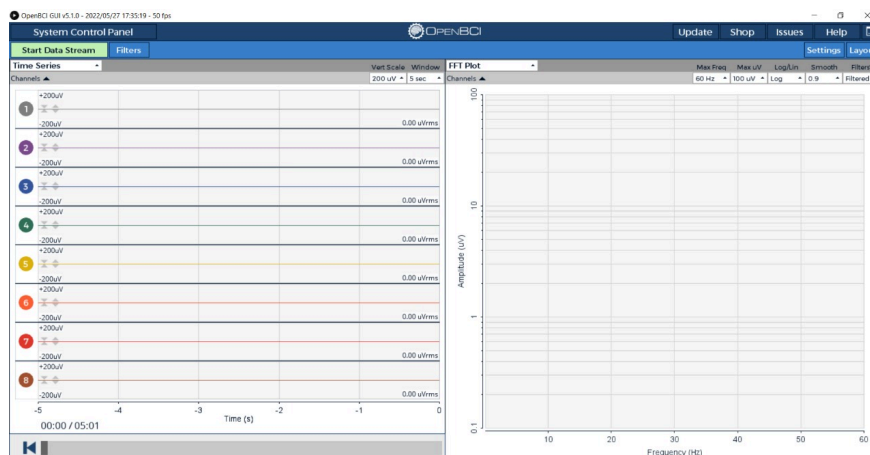




**Ilustración 43 – Selección de placa Cyton conectado con Dongle**

Fuente: Elaboración Propia

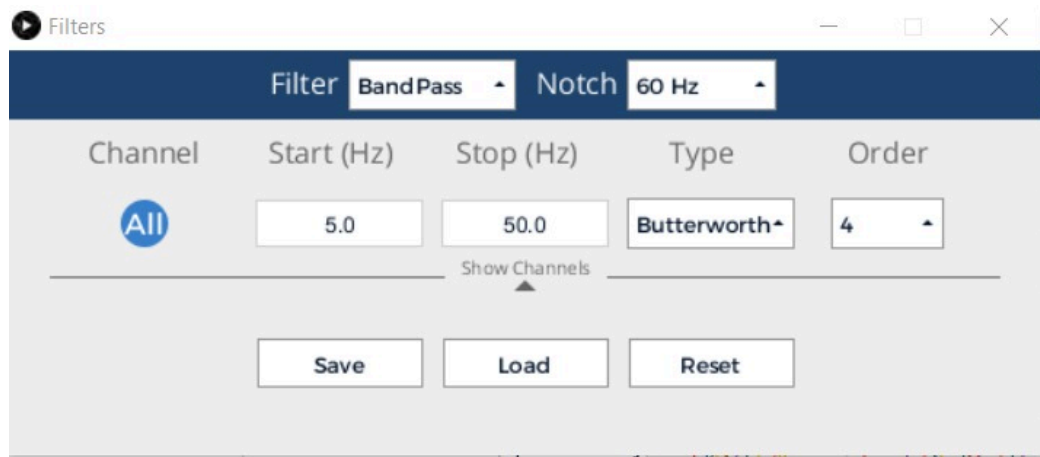
3. Se selecciona la opción de "Start Session", y se prosigue abrir el inicio como se muestra en la Ilustración 44.



**Ilustración 44 – Inicio de la adquisición de señales con el OpenBCI GUI**

Fuente: Elaboración propia

4. Se deben de seleccionar los filtros y los rangos de frecuencia que se desean, se selecciona la opción de "Filters" donde abre la ventana de la Ilustración 45.



**Ilustración 45 – Ventana de filtros**

Fuente: Elaboración propia

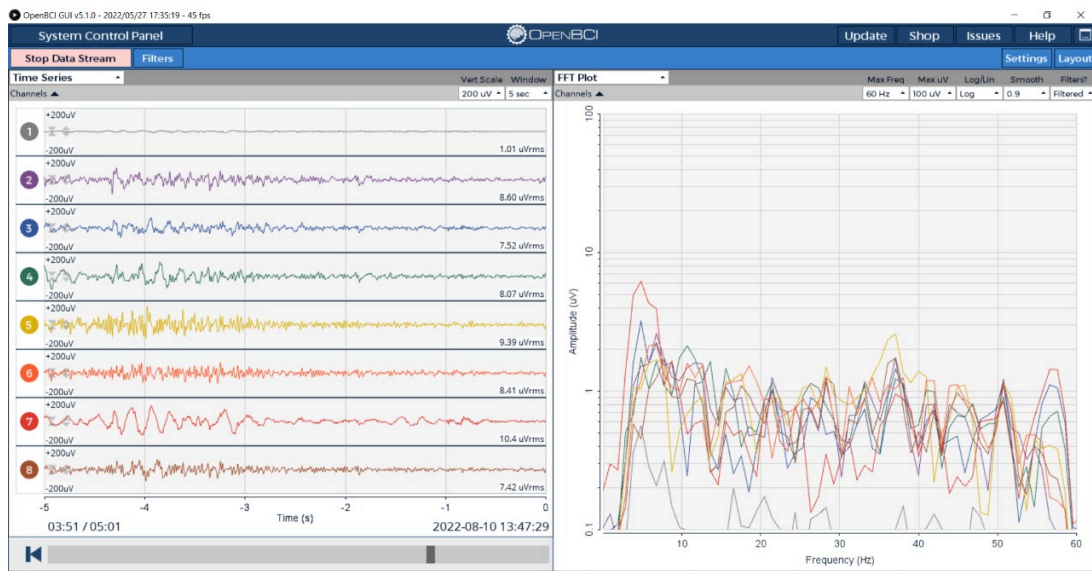
El software permite ajustar funciones como filtros y el nivel de frecuencia que se desea captar. Para esto, se utilizó un filtro pasa banda o "BandPass" para un mejor filtrado de la señal entre 5Hz a 50Hz, por lo que, no tomará señales menores a 5Hz debido a que lo que se desea medir son señales beta (persona despierta y consciente) que son de 13Hz hasta 30Hz y se tomó el máximo de 50Hz de ondas gamma (persona en suma concentración) para no tener un límite exacto al medir las ondas beta y observar si las ondas cerebrales de los estudiantes podrían o no pasar el límite.

Se utilizó un filtro rechaza banda o "Notch" de 60Hz que ayuda a eliminar la principal fuente de ruido que suministra la energía eléctrica producida por la corriente alterna a una frecuencia de 60Hz. Por otra parte, también se colocó un filtro tipo Butterworth con el objetivo de tener la respuesta más plana posible y atenuar más el ruido. Fue colocado en orden número cuatro ya que se desea obtener las mejores aproximaciones a la frecuencia de corte de 50Hz establecida, por lo que se necesita un orden superior.

5. Se comienza la adquisición de señales seleccionando "Start Data Stream" y se observan el comienzo de las señales electroencefalográficas como en la Ilustración 46. Se comienza a esperar el minuto de estabilidad para las señales para luego iniciar realizando las preguntas de investigación.

En la pantalla se puede observar dos diseños. El diseño de "Time Series" en la parte izquierda que muestra la estructura de las señales en tiempo real con los valores de voltaje obtenidos en cada cierto tiempo. El segundo diseño "FFT Plot" en la parte derecha muestra la relación de frecuencia con la amplitud, que se basa en la Transformada de Fourier en tiempo real.

Fue necesario mantener ambos diseños a la vista durante la adquisición de señales debido a que se deseaba observar la forma que tomaban las señales al momento de ser adquiridas. Se debía observar si todos los electrodos estaban correctamente conectados y que cada uno se mostrara en las gráficas, de lo contrario se debía parar el proceso y colocarlo de una mejor manera en el estudiante. Asimismo, observar que las señales tuvieran una estructura parecida a las ondas anteriormente mencionadas en el marco teórico, de lo contrario, las señales seguramente detectaban ruidos exteriores o una mala colocación de electrodos en el cuero cabelludo.

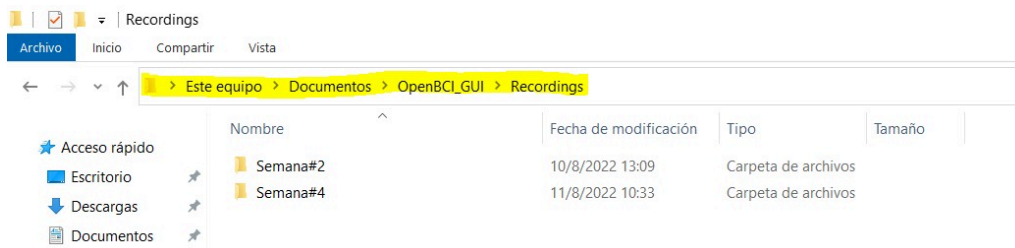


**Ilustración 46 – Adquisición de señales**

Fuente: Elaboración propia

6. Por último, se realizó el guardado de las señales. Cuando finalizó el proceso de cinco minutos de adquisiciones se selecciona la opción de "Stop Data Stream". Al instante de seleccionar dicha opción la grabación se guarda automáticamente en una carpeta colocada en "Documentos > > >OpenBCI\_GUI> > >Recordings" (Ilustración 47) que se

instaló de manera automática al instante de descargar el software. Posteriormente, se realizaron carpetas distintas para diferenciar las fechas de las señales.



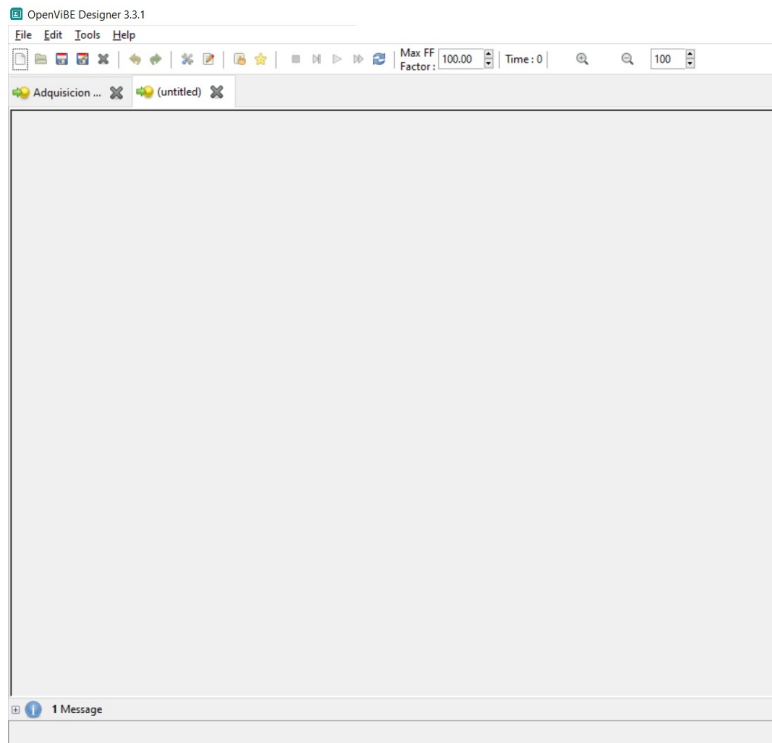
**Ilustración 47 – Almacenamiento de las señales**

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.5 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE OPEN VIBE

Para las segundas adquisiciones de datos se tomó la decisión de cambiar el software OpenBCI GUI por el software Open Vibe, de igual manera compatible con la plataforma. Se tomó esta decisión ya que el OpenBCI GUI mostraba ciertos problemas con la lectura de los electrodos hacia la computadora. Asimismo, otro factor consistió en que en medio de la adquisición de datos mostraba un mensaje interrupción de la grabación. Dichos problemas son especificados más adelante en el informe en el subtema 5.3.11.1 (Problemas OpenBCI GUI).

Para la instalación del Software del OpenVibe consistió en un proceso más largo a diferencia del OpenBCI GUI. Como se mencionó en el Marco Teórico el OpenVibe es un software de lenguaje de programación simple que puede ser compatible con distintas plataformas, una de ellas el OpenBCI. Debido a eso, se prosiguió a seguir un proceso de compatibilidad entre el OpenVibe y el OpenBCI manteniendo colocado el dongle en el puerto USB. Conectado el dongle a la computadora se puede abrir el software como "OpenVibe-designer" como se muestra en la Ilustración 48



**Ilustración 48 – Inicio del OpenVibe**

Fuente: Elaboración Propia

Luego, como OpenVibe trabaja como lenguaje de programación se debió realizar un código (Ilustración 49) que mantuviera características parecidas a las del OpenBCI GUI. La programación del OpenVibe, consistió en colocar las mismas características y filtros establecidos en el OpenBCI GUI.

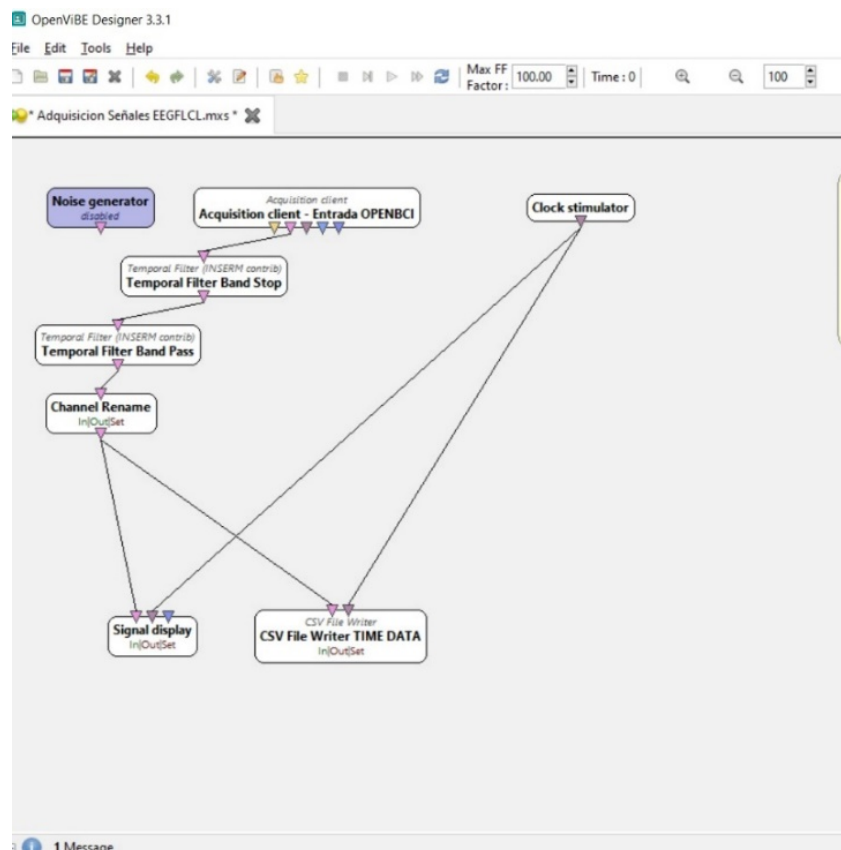
Se comenzó en la adquisición de la señal (puerto de entrada), el cual se configura para que tenga una conexión con el servidor de adquisición, el OpenBCI. Luego pasará por un filtro “bandastop” conocido en el OpenBCI GUI como filtro “Notch”, el cual se programa para que elimine el ruido exacto de 60Hz. Los 60Hz cumplen el mismo objetivo mencionado anteriormente en el OpenBCI GUI, elimina la principal fuente de ruido que suministra la energía eléctrica.

Posteriormente, se coloca un filtro pasa banda que toma las frecuencias de 5Hz a 50Hz como se tomaron en el OpenBCI GUI. No se tomará señales menores a 5Hz debido a que lo que se desea medir son señales beta (persona despierta y consciente) que son de 13Hz hasta 30Hz y se tomó el máximo de 50Hz de ondas gamma (persona en suma concentración) para no tener un límite

exacto al medir las ondas beta y observar si las ondas cerebrales de los estudiantes podrían o no pasar el límite.

Luego pasa por el nombramiento de canales utilizados que fueron F7-A1; F8-A1; F3-A1; F4-A1; P7-A1; P8-A1; P3-A1; P4-A1 (opción que no concebía el OpenBCI GUI). Por último, el nombramiento de canales se conecta a la pantalla que muestra la señal de salida resultante en conjunto con la salida del archivo en formato .csv el cual muestra los datos de las señales electroencefalográficas en datos temporales.

Se añade un elemento para registrar el tiempo del registro de las señales electroencefalográficas y este es conectado con ambas salidas; la salida resultante y el archivo guardado. Finalmente, se prosigue a guardar el código y se puede comenzar el proceso de adquisición de señales a los estudiantes.



**Ilustración 49 – Código en OpenVibe**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.6 ORGANIZACIÓN ESTUDIANTES SEMANA CUATRO Y CINCO

Para la organización de horarios de semana cuatro y cinco se llevó a cabo de la misma manera que en semana dos. Primordialmente, se organizó un horario en Excel en donde el laboratorio de Biomédico estuviera de manera disponible como se muestra en el Anexo 6 y el Anexo 7.

Posteriormente, se llevó a cabo una misma organización en la herramienta de Excel con los estudiantes para conocer el día y horario en que sería la adquisición de datos con cada uno de ellos. Los horarios establecidos se muestran en el Anexo 8 y Anexo 9.

### 5.3.7 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES SEMANA CUATRO Y CINCO

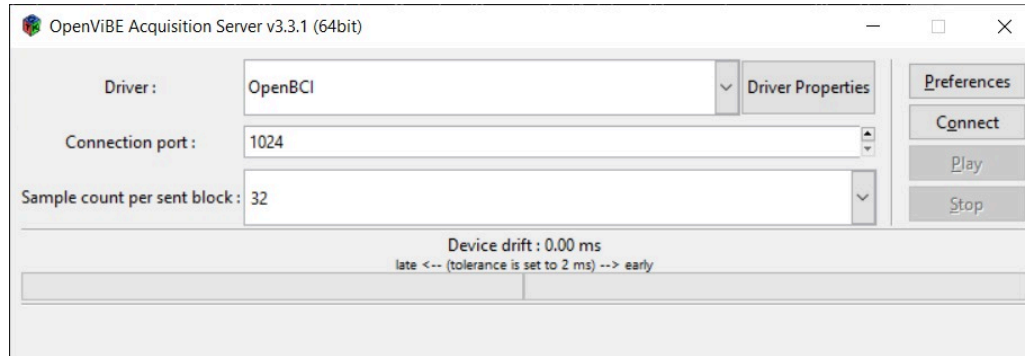
El proceso de adquisición de señales de semana cuatro y cinco se procedió a utilizar el OpenVibe debido a los problemas que se obtuvieron con el OpenBCI GUI. El procedimiento fue muy parecido al de semana dos y se llevó a cabo con exactamente el mismo procedimiento explicado en 5.3.4.1 y en 5.3.4.2. Luego, el proceso de adquisición fue diferente ya que se utilizó un distinto software.

#### 5.3.7.1 *Adquisición de señales con el OpenVibe*

Con el estudiante listo es posible empezar el proceso de adquisición de señales.

1. Software de OpenVibe listo con el código guardado anteriormente explicado como en la Ilustración 49 – Código en OpenVibe). Es necesario conectar el dongle en el puerto USB y la placa Cyton encendida.
2. Posteriormente, se guarda el documento antes de empezar con la adquisición de datos seleccionando la opción de "CSV File TIME Data" y se guarda en una carpeta seleccionada con el nombre que se desee.
3. Luego, se prosigue abrir la ventanilla del servidor de adquisición (Ilustración 50) que permite la conexión entre el OpenBCI, el OpenVibe y la interfaz gráfica con ciertas configuraciones establecidas por la página oficial del OpenVibe. La configuración del controlador o "driver" es la interfaz de donde se adquiere la señal, en el caso de este proyecto la interfaz es el OpenBCI, por lo que se debe de colocar como opción en el controlador.

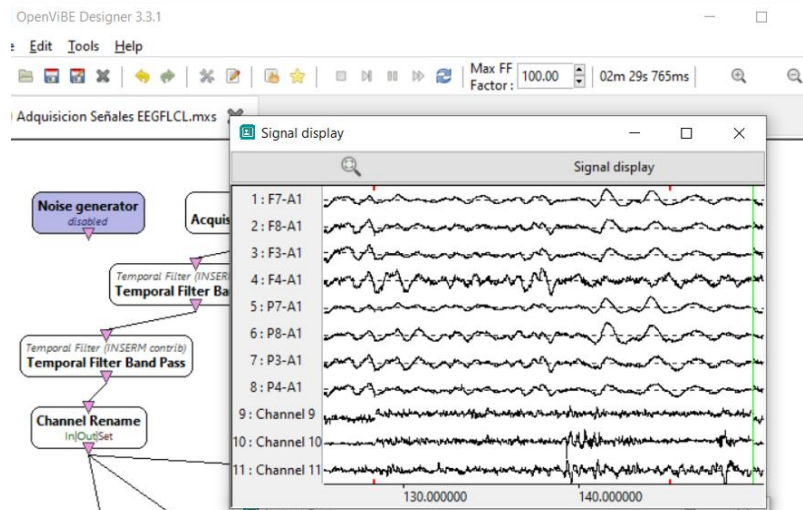
Las demás configuraciones como ser "Connection Port" y "Sample count per sent block" se utilizaron de acuerdo a las opciones ya predefinidas por la página oficial del OpenVibe, ya que son configuraciones de manera estándar.



**Ilustración 50 – Servidor de Adquisición OpenVibe**

Fuente: Elaboración Propia

- Una vez la ventana de adquisición abierta y los materiales listos en el estudiante, se prosigue a conectar el OpenBCI y el OpenVibe, con la opción "Connect" de la Ilustración 50. Luego, cuando el procedimiento sea exitoso, se empieza la adquisición de señales con la opción "Play" y se muestra una imagen como el de la Ilustración 51 de las señales adquiridas por mientras se les realiza las preguntas a los estudiantes.



**Ilustración 51 – Comienzo de adquisición de señales**

Fuente: Elaboración Propia



5. Por último, se selecciona la opción "Stop" desde el servidor de adquisición y se detiene la adquisición de datos y automáticamente se guarda en la carpeta antes seleccionada.
6. Se obtiene

### 5.3.8 ORGANIZACIÓN ESTUDIANTES SEMANA OCHO Y NUEVE

Para la organización de horarios de semana cuatro y cinco se llevó a cabo de la misma manera que en semana dos y cuatro. Primordialmente, se organizó un horario en Excel en donde el laboratorio de Biomédico estuviera de manera disponible como se muestra en el Anexo 10 y el Anexo 11.

Posteriormente, se llevó a cabo una misma organización en la herramienta de Excel con los estudiantes para conocer el día y horario en que sería la adquisición de datos con cada uno de ellos. Los horarios establecidos se muestran en el Anexo 12 y Anexo 13.

### 5.3.9 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES SEMANA OCHO Y NUEVE

El proceso que se realizó en semana ocho y nueve para la adquisición de señales en los estudiantes, fue realizado de la misma manera anteriormente mencionada en 5.3.7 (Proceso De Adquisición De Señales Semana Cuatro y Cinco) debido a que se utilizó el Software OpenVibe y se realizaron los mismos procedimientos.

### 5.3.10 DATOS DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES LISTOS PARA PROCESAR

Una vez adquiridos los datos de cada semana correspondiente, se obtiene lo que son documentos en formato .txt (en caso del OpenBCI GUI) y documentos en formato .csv (en caso del OpenVibe) en el dominio temporal. Se decidió convertir cada uno de ellos en formato .xlsx (Herramienta de Excel), debido a que se necesitaría cargar los archivos a Matlab en dicho formato. Para esto, se organizó cada documento de cada estudiante en cada semana en Excel y debía obtener la misma estructura para poder utilizar el mismo código con cada uno de ellos.

Asimismo, solamente se interesan los tres minutos (180 segundos) de la realización de preguntas al estudiante. Por lo que, se borran los datos del segundo uno al segundo 60, debido a lo que se mencionó anteriormente era para generar estabilidad en las señales. De la misma manera, se

obtienen datos del segundo 60 al segundo 240, que equivale a tres minutos. Por lo que, se borran los datos siguientes a 240 segundos. Finalmente, esto deja un número de 45,000 muestras de la señal adquiridas en 180 segundos. Todos los documentos se organizaron finalmente de la manera mostrada en la Ilustración 52.

Se obtiene; en columna uno, cada tiempo en el cual se adquirirían los datos de cada electrodo. En siguiente, de columna dos a columna nueve, se presentan los datos adquiridos por el OpenBCI y OpenVibe y se nombra cada columna en el orden correspondiente de cada electrodo nombrada anteriormente en la Tabla 2 – Entradas de electrodos a la placa Cyton). Se añade que, el número de filas de cada documento equivale al número de muestras adquiridas en total por la adquisición de señales en los tiempos definidos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Time:250Hz	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1							
2	60.0039999	-3.99317323	-18.8524046	15.524083	-5.77207423	-5.21291692	-19.8529796	-0.10295049	-2.62379656							
3	60.0079999	-3.2569193	-19.4738592	15.3667481	-7.16787658	-2.89570097	-20.8011273	0.46013963	-0.68001036							
4	60.0119999	-4.09931496	-21.2082173	14.8736686	-10.6325146	-7.76721438	-22.0579611	-0.4670127	-1.42794545							
5	60.0159999	-5.73574205	-21.7277749	15.1047008	-12.1528358	-13.3966938	-22.3174697	-2.07417787	-3.74149562							
6	60.0199999	-8.33630404	-19.7424321	16.0971342	-9.23673461	-12.1452874	-21.495816	-3.53302765	-5.47821622							
7	60.0239999	-12.693103	-16.1373455	17.3212156	-4.73255738	-4.96327755	-20.7089914	-4.85714303	-5.23141276							
8	60.0279999	-17.1238828	-12.4748511	18.5521391	-3.02576292	0.69702207	-20.4438423	-6.37511648	-3.2079899							
9	60.0319999	-18.6373258	-9.82682482	19.3927368	-4.49817255	0.65494789	-19.8941092	-8.17211076	-0.90136419							
10	60.0359999	-15.9636312	-8.21100522	19.6297888	-5.90896292	-1.54002823	-17.9803245	-9.58175356	0.95254074							
11	60.0399999	-10.683033	-6.90377262	19.6820179	-5.39185527	-0.90322997	-14.7873853	-9.7289388	3.05654746							
12	60.0439999	-6.7734967	-6.11028717	19.5155839	-4.64729578	1.98122574	-11.9559204	-9.19187311	5.47812372							
13	60.0479999	-6.81351673	-7.0523844	18.494947	-5.54235297	3.41339362	-11.0853738	-9.55609657	6.91765929							
14	60.0519999	-9.1778431	-9.50695377	17.1238064	-6.89712213	1.96227622	-11.8152048	-10.7538668	6.95479895							
15	60.0559999	-11.807179	-11.090855	17.1943902	-5.86701875	-0.99716558	-12.3025863	-10.9707511	7.08612105							
16	60.0599999	-15.4252803	-10.4866386	19.325181	-1.9374594	-3.32459392	-11.543984	-9.75088423	8.5303204							
17	60.0639999	-19.4693774	-9.20402188	22.2244291	1.83892995	-4.34259146	-10.0684982	-8.65322658	10.7853441							
18	60.0679999	-19.2048028	-8.61393527	24.8701965	3.01627721	-4.85100991	-8.28205587	-8.27061663	12.9330618							
19	60.0719999	-11.5822636	-8.10864272	27.2374667	3.28474567	-4.37297274	-5.73293887	-7.3067991	14.7247586							
20	60.0759999	-1.35776143	-7.42144473	28.8160003	5.0782469	-1.73734569	-2.47610698	-5.18486377	16.0204952							
21	60.0799999	3.54049365	-7.69641505	28.8220092	6.87759176	1.67964459	0.32338835	-3.15355178	16.4840062							

**Ilustración 52 – Documento en dominio temporal**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.11 PROBLEMAS DURANTE EL PROCESO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES

Durante todo el proceso de adquisición de señales se obtuvieron algunos problemas. Se describirá primero los problemas generados en el software del OpenBCI GUI debido a que fue una de las razones del cambio al software del OpenVibe. Luego se presentarán algunos problemas de forma general que se presentaron dependiendo al estudiante.

### 5.3.11.1 Problemas OpenBCI GUI

1. **Electrodos sin lectura:** No mostraba una lectura de las señales adquiridas desde los electrodos y mostraba una lectura "Railed", que es crítica debido a que no detectaba señales adquiridas o una lectura de  $0\mu\text{V}$  como se muestra en la Ilustración 53. Este problema se llevaba a cabo de manera seguida en cada estudiante por lo que se extendía el tiempo de adquisición y alargaba la estadía del estudiante. La solución que se planteaba cuando ocurría dicho problema era reiniciar la plataforma y volver a colocar los electrodos por si el problema basaba en la inicial colocación y luego volver a iniciar el proceso de adquisición de señales.

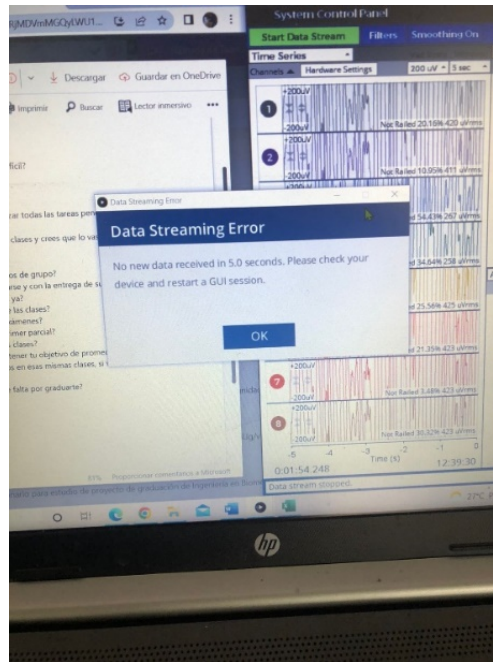


**Ilustración 53 – Error de lectura de los electrodos**

Fuente: Elaboración propia

2. **Mensaje de Interrupción:** Cuando se iniciaba el proceso de adquisición de señales, como se ha mencionado anteriormente, se decidía esperar un minuto, luego tres minutos de preguntas y por último un minuto más. Mientras transcurrían los cinco minutos a veces el software insertaba el mensaje de la Ilustración 54, la cual indicaba "No data received in 5.0 seconds. Please check your deviced and restart GUI session.", el cual significaba "No se

recibió datos en cinco segundos. Por favor revise su dispositivo y reinicie GUI.” Este mensaje se presentaba en medio de la adquisición de datos aun cuando en la pantalla se observaba que detectaba señales. Para la solución ante este problema se volvía a reiniciar el software y se debía comenzar de nuevo la adquisición con los estudiantes, lo cual alteraba la programación de las sesiones.

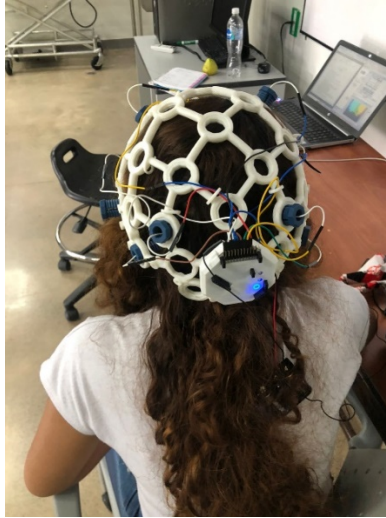


**Ilustración 54 – Mensaje de Interrupción**

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.11.2 Problemas Generales

- 1. Tipo de cabello de los estudiantes:** Durante todas las adquisiciones de las señales se presentaron problemas con el tipo de cabello de los estudiantes, un ejemplo se muestra en la Ilustración 55. El problema presentado fue que se debía de dividir el cabello lo mejor posible para que el electrodo tuviera mayor contacto con el cuero cabelludo y se dificultaba más cuando la persona poseía un tipo de cabello no lacio y largo.



**Ilustración 55 – Tipos de Cabello en la adquisición**

Fuente: Elaboración propia

- 2. Electroodos dañados:** Debido a que los electrodos fueron utilizados en una gran cantidad de estudiantes y durante cierta cantidad de tiempo, estos fueron dañándose por el uso excesivo. Durante la colocación de electrodos a los estudiantes, se presentaba que el cable conectado a la base (Ilustración 56) se desplegaba creando una desconexión hacia la placa Cyton, siendo imposible volverlo a utilizar. Por lo que se tuvieron que remplazar por nuevos electrodos.



**Ilustración 56 – Cable desplegable por uso excesivo**

Fuente: Elaboración Propia

- 3. Sin posible conexión al OpenBCI:** En las últimas adquisiciones de señales, es decir en semana ocho y nueve se presentó un problema con las conexiones entre el interfaz del OpenBCI y el OpenVibe, el cual ocasionó grandes dificultades al momento de poder realizar las últimas cinco adquisiciones de señales en los estudiantes. El problema no se logró solucionar por lo que se presentaron las conclusiones sin la posible respuesta de señales de los cinco estudiantes faltantes. Los cinco estudiantes fueron; estudiante 2, estudiante 9, estudiante 11, estudiante 19 y estudiante 23.

#### 5.4 CÓDIGO NECESARIO PARA EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Es seguro que, se ha cumplido ya con un proceso de procesamiento de señales con la colocación de filtros directamente en la adquisición de datos. Sin embargo, se necesita pasar las señales del dominio temporal al dominio frecuencial para obtener datos de manera analizable. Para este proceso, se utilizó el software de Matlab debido a que este contiene funciones matemáticas y de procesamiento de señales ya adquiridas. Debido a eso, el proceso de procesamiento de señales en Matlab se convierte en un código sencillo (en caso del presente proyecto), a lo que se quiere conseguir.

El código que se necesitó se muestra en la Ilustración 57 el cual se explicará detalladamente a continuación:



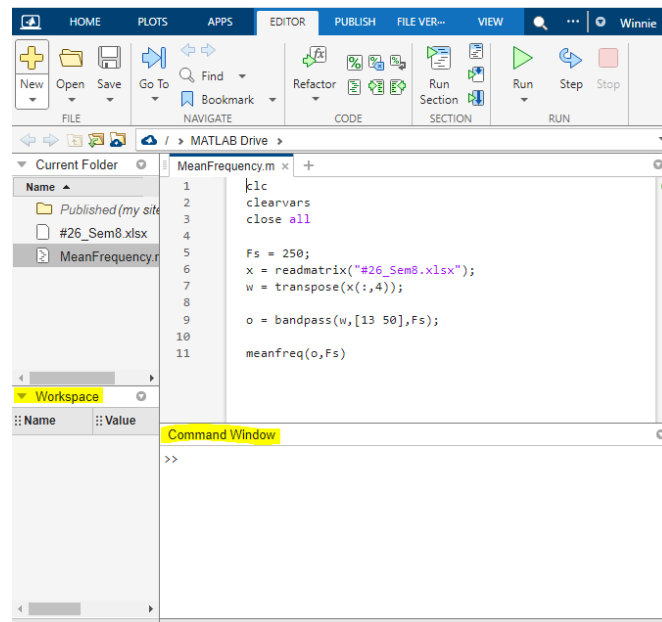
```
1 clc
2 clearvars
3 close all
4
5 Fs = 250;
6 x = readmatrix("#26_Sem8.xlsx");
7 w = transpose(x(:,3));
8
9 o = bandpass(w,[13 50],Fs);
10
11 meanfreq(o,Fs)
```

**Ilustración 57 – Código Matlab**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.4.1 LIMPIEZA DE DATOS

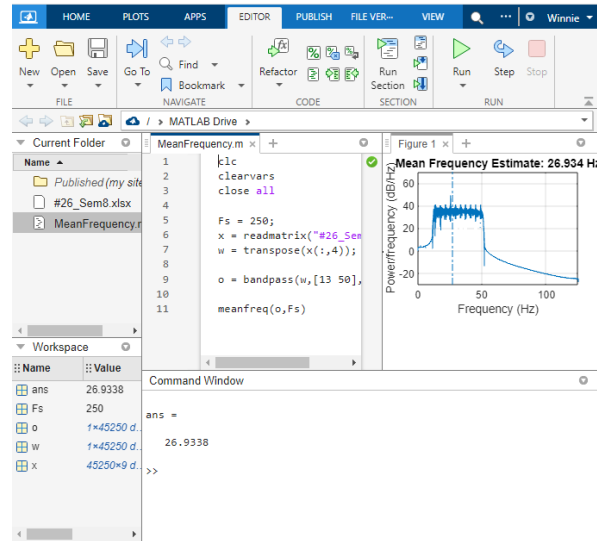
Las líneas del código del uno al tres representan limpieza a los datos cada vez que se corre el programa. En la línea número uno, el comando “clc” limpia la ventana de “command window” (Ilustración 58) en donde se representa la respuesta numérica de lo deseado. En la línea número dos “clearvars” se utiliza para limpiar la ventana “Workspace” (Ilustración 58) en donde se guardan todas las variables nombradas en el código y que fueron obtenidas cuando se corre el programa. Por lo que cada vez que corre el programa se borra automáticamente la respuesta anterior obtenida en command window y las variables en el workspace. Por último, el comando “close all”, cierra todas las figuras o gráficas que son abiertas cuando se corre el programa.



**Ilustración 58 – Limpieza ventana de command window y workspace**

Fuente: Elaboración Propia

Por lo que, por ejemplo; cuando se inicializa el programa muestra una imagen como en la Ilustración 59. Asimismo, cuando se cambia la matriz que se desea leer, y se vuelve a correr el programa, este automáticamente borra la ventana de “workspace”, “command window” y la ventana de la gráfica mostrada y muestra el nuevo resultado.



**Ilustración 59 – Respuesta al correr el programa**

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4.2 DEFINICIÓN DE FRECUENCIA DE MUESTREO

En la línea número cinco del código se define  $F_s$  como la frecuencia de muestreo, valorada en 250Hz, dado que es un valor predeterminado del equipo como se comentó en el marco teórico. Se recuerda que la frecuencia de muestreo es la cantidad de muestras que se toma por unidad de tiempo de un segundo, quiere decir que cada segundo se toman 250 muestras. Este dato ayuda a la obtención del filtro pasa banda (línea 9) y al cálculo de la media de frecuencia (línea 11).

#### 5.4.3 CARGAR DOCUMENTO DE MUESTREO

En la línea número seis se define como variable "x" al comando "readmatrix" que permite explorar datos de Excel en Matlab, por lo que debe de estar en formato .xlsx. Este comando lee todo lo que contiene datos numéricos en la matriz sin importar la cantidad de ellos. Por lo tanto, en esta sección se carga el archivo completo de cada estudiante de cada semana específica que fue guardado y convertido en formato .xlsx luego de la adquisición de señales.

#### 5.4.4 LECTURA DE LA COLUMNA NECESARIA

En la línea número 7 se define como variable "w" al comando de "transpose" que permite tomar la transposición de un vector o columna en específico en Matlab. Este comando es necesario ya



que permite leer una columna en específico del documento cargado anteriormente como variable "x". Es decir, el comando funciona colocando como variable "x" como la matriz que se desea leer y nombrando la columna específica que se desea leer para procesar la señal.

Se recuerda que los documentos permanecen en un orden específico explicado en 5.3.10 y cada documento se representa de la forma como en Ilustración 60. Como lo que se desea procesar son los datos de cada electrodo, en cada estudiante se comenzó nombrando la lectura de la columna dos (F7-A1) consecutivamente hasta llegar a la columna nueve (P8-A1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
	0.004	76228.590456	-37259.061606	3774.494383	12659.491618	31213.406469	23658.762712	-41898.523795	111673.651537																	
	0.008	77548.259800	-37911.129047	4936.449818	13598.041367	31738.091318	24118.426337	-42595.451188	112226.723102																	
	0.012	77207.730974	-37320.573607	4433.088533	13403.625894	31389.739381	24007.025243	-42300.005829	111995.807230																	
	0.016	75897.359555	-36603.462589	3244.087487	12475.693223	30830.878714	23550.490862	-41594.450664	111426.374188																	
	0.02	76077.872643	-37108.232034	3582.157622	12543.597823	31102.407706	23601.274026	-41795.862233	111578.343699																	
	0.024	77476.488349	-37907.306899	4860.208018	13523.565355	31708.922292	24083.311747	-42551.552361	112181.863151																	
	0.028	77485.406695	-37516.039612	4670.821687	13570.369908	31500.738144	24085.077534	-42448.622578	112095.227789																	
	0.032	76165.603240	-36688.645087	3423.549643	12648.852187	30882.935927	23623.670474	-41703.817749	111499.196172																	
	0.036	75988.085686	-36972.624001	3419.682791	12460.069354	30988.927899	23545.864051	-41713.093723	111489.495515																	
	0.04	77371.301040	-37852.880401	4728.600946	13414.801766	31640.794175	24023.565534	-42495.114207	112109.152926																	
	0.044	77745.603352	-37659.716625	4879.452870	13714.695122	31605.478419	24155.753750	-42574.731120	112189.865075																	
	0.048	76486.417828	-36780.398998	3639.579253	12845.569890	30967.090245	23716.005530	-41821.879664	111601.097775																	
	0.052	75958.804901	-36834.758441	3295.004761	12417.064597	30906.159390	23518.527868	-41628.134743	111433.862023																	
	0.056	77207.306291	-37743.625074	4522.070828	13262.876959	31547.520345	23944.596820	-42371.307894	112012.101652																	
	0.06	77901.059735	-37793.894147	4990.988075	13783.784364	31676.176986	24185.347460	-42655.107993	112240.782349																	
	0.064	76776.476416	-36928.121677	3831.938366	13018.795910	31050.395197	23793.588435	-41971.949276	111692.695223																	
	0.068	75930.015854	-36727.671233	3173.813602	12377.658472	30825.380185	23491.035222	-41584.571193	111377.580330																	
	0.072	76969.170805	-37595.276546	4251.145333	13067.232140	31424.786916	23845.869165	-42222.266462	111888.988243																	
	0.076	77938.431852	-37879.031942	5007.394255	13772.720250	31712.878551	24184.073411	-42677.772662	112257.859082																	
	0.08	77038.818841	-37042.964940	4023.291650	13176.778040	31158.488233	23876.826331	-42094.258022	111798.128402																	
	0.084	75935.246162	-36634.307997	3093.168508	12368.203684	30782.241318	23488.129495	-41559.850163	111356.972022																	

**Ilustración 60 – Documento en dominio temporal**

Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, por ejemplo; cuando carga el documento y se selecciona la columna, se coloca en el código como en la Ilustración 61. Quiere decir, que significa que se desea cargar el documento del estudiante número 26 de la semana ocho (variable "x") y se desea leer toda la columna número dos que corresponde al electrodo F7-A1. Antes de cambiar el documento se debe de cambiar cada columna hasta llegar a la columna nueve correspondiente al electrodo P8-A1.

```
1      clc
2      clearvars
3      close all
4
5      Fs = 250;
6      x = readmatrix("#26_Sem8.xlsx");
7      w = transpose(x(:,2));
8      |
9      o = bandpass(w,[13 50],Fs);
10
11     meanfreq(o,Fs)
```

**Ilustración 61 – Lectura de columna**

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4.5 FILTRO PASA BANDA:

En la línea número nueve se definió como variable "o" a un filtro pasa banda que lea solamente el rango de frecuencia entre 13Hz y 50Hz. Este filtro funciona de la misma manera colocada en la adquisición en tiempo real del OpenBCI GUI y el OpenVibe. Se decidió volver a colocar en el código un filtro pasa banda debido a que se decidió corregir el rango de frecuencias.

En lugar de colocar 5Hz como mínimo se decidió nombrar el rango mínimo de 13Hz debido a que no se interesan las frecuencias entre 5Hz a 12Hz. Esto es debido a que pertenecen a ondas theta (4-7Hz) referentes a personas en estado somnoliento y ondas Alpha (8-13Hz) referentes a personas despiertas, pero como ojos cerrados.

En siguiente, el rango máximo de frecuencia se decidió colocar de nuevo 50Hz, como en los softwares en tiempo real debido a no colocar un límite exacto de 30Hz. Se decidió de esta manera en vista que las ondas beta llegan hasta 30Hz y las gammas son ondas mayores a 30Hz. Sin embargo, en ondas gamma la persona sí está despierta y con los ojos abiertos, con la diferencia que se encuentra en una alta concentración, como resolviendo un ejercicio matemático.

Por último, en el filtro pasa banda se debe de establecer la frecuencia de muestreo ya antes definida como "Fs" debido a que los cálculos se basan de acuerdo a esa frecuencia de muestreo

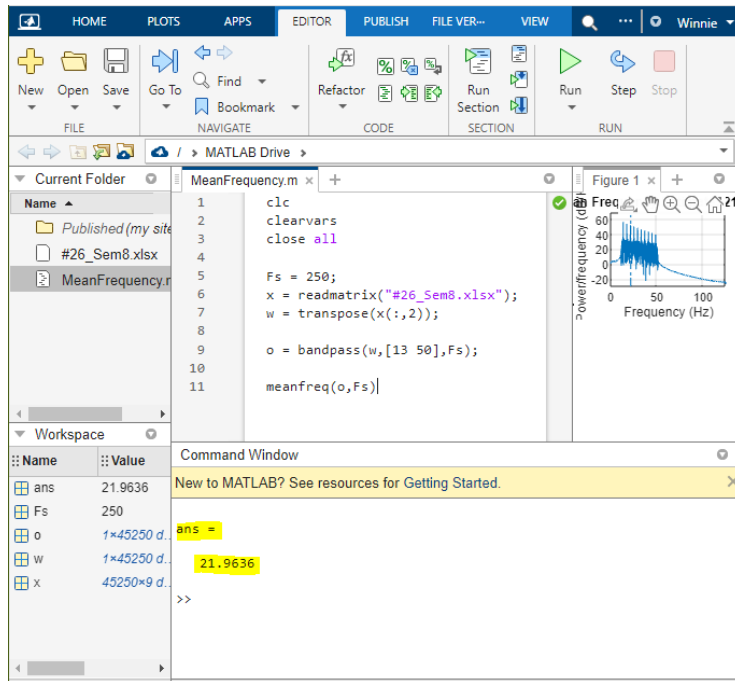
siempre. Es importante tomar en cuenta la frecuencia de muestreo en vista que esta, en conjunto con la cantidad de muestras de cada documento (filas de en Excel) se define el tiempo exacto total de la adquisición de datos (cinco minutos en cronometro de tiempo real).

#### 5.4.6 FRECUENCIA MEDIA

Por último, en la línea 11 se calcula la frecuencia media de la nueva variable "o", ya que esta ya pasa por el filtro establecido. Se recuerda que la frecuencia media se conoce como el promedio calculado por la suma del producto de la potencia y la frecuencia lo cual es dividido en la suma de la potencia. Por lo que, Matlab ya tiene una función establecida nombrada como "Meanfreq" que hace el cálculo. En el cálculo se realiza otorgando valores en el dominio del tiempo el cual los convierte en dominio frecuencia de acuerdo a la transformada de Fourier y la medición de potencia de la misma señal de tiempo muestra la potencia de las frecuencias en una señal.

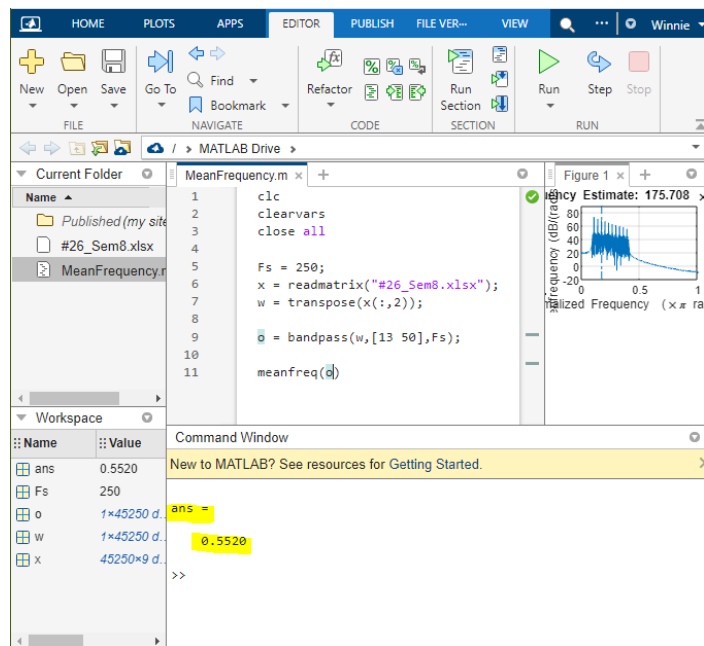
El cálculo de fórmula se debe de basar de acuerdo a la frecuencia de muestreo, de la misma manera que en el filtro pasa banda. Esto es debido a que la frecuencia de muestreo establece la cantidad de muestras tomadas en un segundo (250 muestras). Es decir, si se obtienen 45,000 muestras el tiempo de muestreo es de 180 segundo que equivale a tres minutos de muestreo. Este cálculo también se puede obtener por la Ecuación 7 – Tiempo de muestra de una señal con Frecuencia de muestreo).

En caso a que no se coloque la frecuencia de muestreo, se obtienen datos totalmente diferentes debido a que no hay una referencia de tiempo de la señal. Esto se observa fácilmente en el ejemplo de la Ilustración 62, donde se muestra el cálculo con la frecuencia de muestreo y en la Ilustración 63, se muestra el cálculo sin la frecuencia de muestreo.



**Ilustración 62 – Cálculo de la frecuencia media con la frecuencia de muestreo**

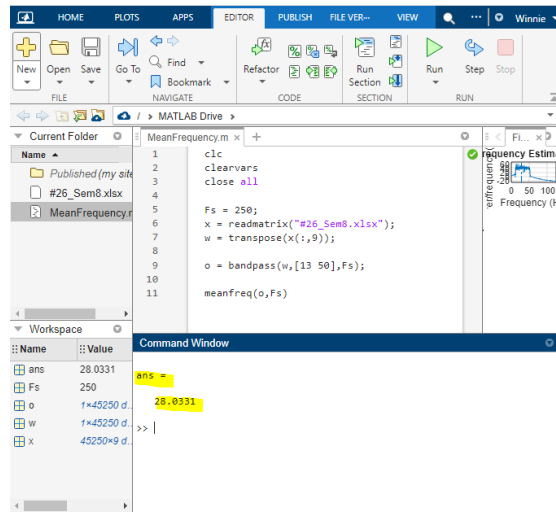
Fuente: Elaboración Propia



**Ilustración 63 - Cálculo de la frecuencia media sin la frecuencia de muestreo**

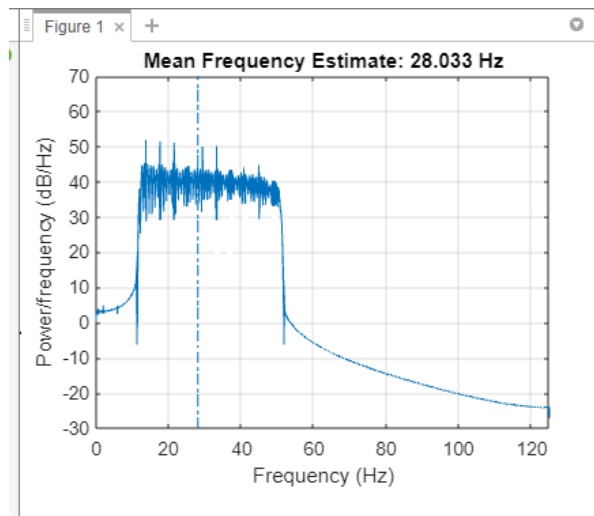
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, la respuesta de la media de la frecuencia otorga el promedio de frecuencia (Ilustración 64) de la columna seleccionada del número del estudiante establecido. De la misma manera, muestra una gráfica (Ilustración 65) que indica en una línea punteada el mismo valor representando el cual consiste, por la definición de frecuencia media, el lugar donde se concentró más la energía.



**Ilustración 64 – Cálculo de la media de la frecuencia**

Fuente: Elaboración Propia



**Ilustración 65 – Gráfica de la respuesta de la frecuencia media**

Fuente: Elaboración Propia

## 5.5 RESULTADOS FINALES

Luego de procesar todas las señales por electrodo, por estudiante y de cada semana; se decidió realizar una tabla de Excel para cada uno. En esta, se especificó la semana de la adquisición de la señal con cada electrodo específico colocando la media de la frecuencia obtenido por medio del código antes explicado. Cabe mencionar, que se observa que la tabla de los estudiantes 2, 9, 11, 19 y 23 están de manera incompleta en semana ocho debido al problema que se mencionaron anteriormente en 5.3.11.2.

Luego de procesar la señal de cada estudiante, se tomó un promedio general de los estudiantes para obtener un análisis estadístico y poder concluir los resultados.

**Tabla 4 – Frecuencias promedio del estudiante 1**

Estudiante 1								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.4598	15.4818	18.013	18.0272	15.4385	16.3445	15.4244	15.3022
<b>Semana 4</b>	20.8282	28.467	19.7084	19.6035	24.6202	20.3618	21.948	20.0607
<b>Semana 8</b>	24.8834	26.7244	30.7041	27.4254	29.4371	25.297	24.3601	28.0392

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4 se muestra un ejemplo del estudiante 1, y la obtención final donde cada electrodo corresponde a una semana de adquisición de señales. Posteriormente, se muestra desde el Anexo 14 al Anexo 39 todas las tablas por estudiante.

### 5.5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de cada estudiante se basan en la medición de la frecuencia media de cada electrodo utilizado en cada uno de ellos. Matlab utiliza el comando "meanfreq" el cual sigue la formula nombrada en Ecuación 5.

#### 5.5.1.1 Ejemplo 1

A continuación, se explicará la obtención de los resultados y el porqué de estos tomando como ejemplo al estudiante uno, semana dos y electrodos del F7-A1 a P4-A1.

**Tabla 5 – Ejemplo de obtención de resultados en la misma semana**

Estudiante 1								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.4598	15.4818	18.013	18.0272	15.4385	16.3445	15.4244	15.3022

Fuente: Elaboración Propia

Ahora, se recuerda que la Ecuación 5 establece que:

$$MNF = \frac{\sum_{j=1}^M (f_j * P_j)}{\sum_{j=1}^M P_j}$$

**Ecuación 8 – Frecuencia Media**

Fuente: (Figuroa, 2016).

Esta misma fórmula podría verse de la siguiente manera si se especifica en el ejemplo nombrado del estudiante 1 de semana dos, de esta manera:

1. Para F7-A1 de semana dos, siendo la función  $f_{jsem2}(t1)$  el espectro de frecuencia de cada muestra  $j$  del tiempo del electrodo F7-A1 y la función  $P_{jsem2}(t1)$  el espectro de densidad de cada muestra  $j$ . Se muestra la Ecuación 9.

$$MNF_{sem2}(t1) = \frac{\sum_{j=1}^M (f_{jsem2}(t1) * P_{jsem2}(t1))}{\sum_{j=1}^M P_{jsem2}(t1)}$$

**Ecuación 9 – Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F7-A1**

Fuente: Elaboración Propia

La respuesta de la Ecuación 9 equivale a 15.4598Hz. Esta se define como la frecuencia media del electrodo F7-A1 de semana dos del estudiante 1, la cual pertenece a un rango dentro de las ondas beta (13Hz-30Hz).

2. Para F8-A1 de semana dos, siendo la función  $f_{jsem2}(t2)$  el espectro de frecuencia de cada muestra  $j$  del tiempo del electrodo F8-A1 y la función  $P_{jsem2}(t2)$  el espectro de densidad de cada muestra  $j$ . Se muestra la Ecuación 10.

$$MNF_{sem2}(t2) = \frac{\sum_{j=1}^M (fjsem2(t2) * Pjsem2(t2))}{\sum_{j=1}^M Pjsem2(t2)}$$

**Ecuación 10 - Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F8-A1**

Fuente: Elaboración Propia

La respuesta de la Ecuación 10 equivale a 15.4918Hz. Esta se define como la frecuencia media del electrodo F8-A1 de semana dos del estudiante 1, la cual pertenece a un rango dentro de las ondas beta de igual manera.

- De la misma, se prosigue a realizar esta fórmula hasta el último electrodo P4-A1 cambiando la función a  $fjsem2(t3,4, \dots 8)$  y  $Pjsem2(t3,4, \dots 8)$ .

$$MNF_{sem2}(t2) = \frac{\sum_{j=1}^M (fjsem2(t3,4, \dots 8) * Pjsem2(t3,4, \dots 8))}{\sum_{j=1}^M Pjsem2(t3,4, \dots 8)}$$

**Ecuación 11 – Estudiantes por electrodo**

Fuente: Elaboración Propia

5.5.1.2 *Ejemplo 2*

Ahora, si se toma un ejemplo por semana con el mismo electrodo, como en Tabla 6.

**Tabla 6 – Ejemplo obtención de resultados en distintas semanas**

Estudiante 1	
	F7-A1
<b>Semana 2</b>	15.4598
<b>Semana 4</b>	20.8282
<b>Semana 8</b>	24.8834

Fuente: Elaboración Propia

- Para F7-A1 de semana dos, siendo la función  $fj(t1)$  el espectro de frecuencia de cada muestra  $j$  del tiempo del electrodo F7-A1 y la función  $Pj(t1)$  el espectro de densidad de cada muestra  $j$ . Se muestra la Ecuación 12.

$$MNF_{sem2}(t1) = \frac{\sum_{j=1}^M (fjsem2(t1) * Pjsem2(t1))}{\sum_{j=1}^M Pjsem2(t1)}$$

**Ecuación 12 - Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F7-A1**

Fuente: Elaboración Propia



La Ecuación 12 obtiene una frecuencia media de 15.4598Hz. Esta se define como la frecuencia media del electrodo F7-A1 de semana 2 del estudiante 1, la cual pertenece a un rango dentro de las ondas beta.

2. Para F7-A1 de semana cuatro, siendo la función  $fjsem4(t1)$  el espectro de frecuencia de cada muestra  $j$  del tiempo del electrodo F7-A1 y la función  $Pjsem4(t1)$  el espectro de densidad de cada muestra  $j$ . Se muestra la

$$MNF\ sem4(t1) = \frac{\sum_{j=1}^M (fjsem4(t1) * Pjsem4(t1))}{\sum_{j=1}^M Pjsem4(t1)}$$

### **Ecuación 13 - Específica para estudiante 1 de la semana cuatro para el electrodo F7-A1**

Fuente: Elaboración Propia

La Ecuación 13 obtiene una frecuencia media de 20.8282Hz. Esta se define como la frecuencia media del electrodo F7-A1 de semana cuatro del estudiante 1, la cual pertenece a un rango dentro de las ondas beta. Cabe mencionar que, pertenece al mismo tipo de onda que en semana dos, pero se observa una diferencia de aumento de ondas beta entre la semana dos y semana cuatro. Quiere decir que en semana dos la mayor parte de energía se centró en un promedio de frecuencia de 15Hz. Mientras tanto, que en semana cuatro la mayor parte de energía se centró en un promedio de frecuencia de 21Hz.

Finalmente, se puede concluir entre estas dos semanas específicas del estudiante 1, que en semana cuatro el estudiante 1 obtenía una mayor actividad cerebral debido al aumento de ondas beta que se registró.

3. Para F7-A1 de semana ocho, siendo la función  $fjsem8(t1)$  el espectro de frecuencia de cada muestra  $j$  del tiempo del electrodo F7-A1 y la función  $Pjsem8(t1)$  el espectro de densidad de cada muestra  $j$ . Se muestra la Ecuación 14

$$MNF\ sem8(t1) = \frac{\sum_{j=1}^M (fjsem8(t1) * Pjsem8(t1))}{\sum_{j=1}^M Pjsem8(t1)}$$

### **Ecuación 14 - Específica para estudiante 1 de la semana dos para el electrodo F7-A1**

Fuente: Elaboración Propia

La Ecuación 14 obtiene una frecuencia de 24.8834Hz. Esta se define como la frecuencia media del electrodo F7-A1 de semana ocho del estudiante 1, la cual pertenece a un rango dentro de las ondas beta. Esta, como la conclusión antes mencionada, se puede observar que la media de la frecuencia del estudiante1 en semana ocho del electrodo F7-A1 igualmente pertenece dentro del rango de las ondas beta teniendo un aumento de estas mismas. Quiere decir que en semana dos la mayor parte de energía se centró en un promedio de frecuencia de 15Hz. Mientras tanto, que en semana cuatro la mayor parte de energía se centró en un promedio de frecuencia de 21Hz. Por último, en semana ocho la energía se centró en un promedio de 25Hz.

Se observa que consecutivamente hubo un aumento de la media de la frecuencia en el mismo electrodo con las distintas semanas del periodo. Por lo que equivale que hubo un aumento de ondas beta en el electrodo, por lo tanto, se puede indicar que hubo aumento de actividad cerebral en el estudiante.

El proceso anteriormente mencionado, se realizó con cada uno de los estudiantes, en cada semana por cada electrodo. Cabe mencionar, que no todos los estudiantes representaron un aumento de la media de la frecuencia como el estudiante 1, ya que cada estudiante reacciona distinto a las preguntas realizadas. Debido a eso, se decidió realizar un promedio general en una tabla de todas las medias de las frecuencias de los 27 estudiantes para obtener una conclusión general.

#### 5.5.2 PROMEDIO GENERAL DE LOS ESTUDIANTES

Para finalizar, se realizó una tabla general (Tabla 7) en Excel la cual calcula el promedio de la frecuencia media de cada electrodo de cada estudiante, de cada semana.

**Tabla 7 – Promedio 27 Estudiantes**

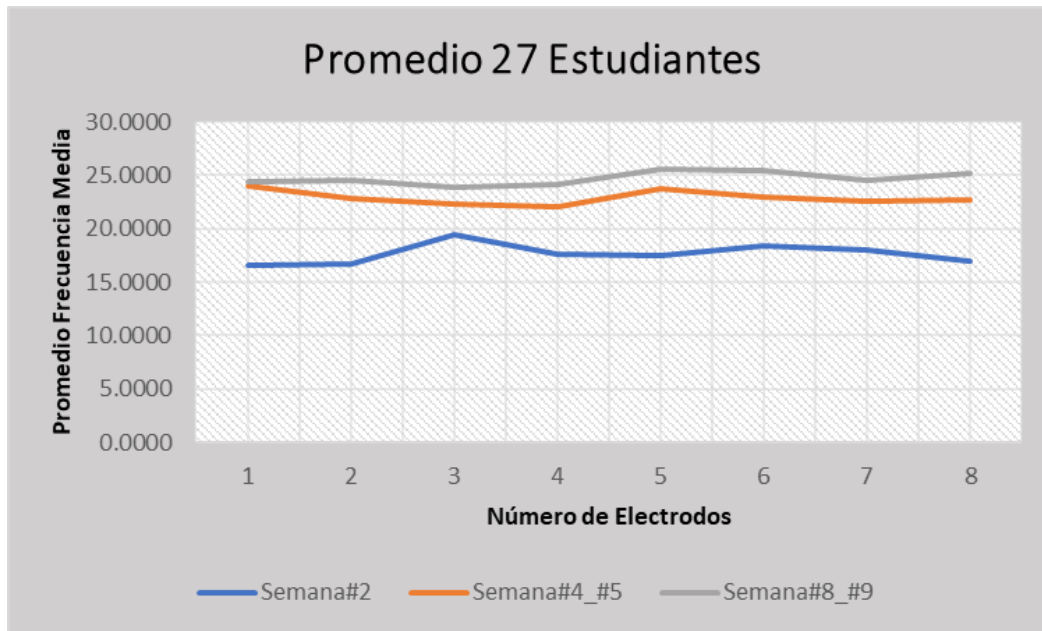
Promedio 27 Estudiantes								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	16.5629	16.6437	19.4248	17.5902	17.4180	18.4224	18.0344	16.9613
<b>Semana 4_5</b>	24.0428	22.7740	22.3292	22.0651	23.7101	23.0141	22.5096	22.7273
<b>Semana 8_9</b>	24.4005	24.5309	23.8353	24.1736	25.5642	25.4536	24.5452	25.2128

Fuente: Elaboración Propia

Es decir, por ejemplo. Para el promedio general del electrodo F7-A1 de semana dos se tomó en cuenta: F7-A1, semana dos, estudiante 1; F7-A1, semana dos, estudiante 2; F7-A1, semana dos,

estudiante 3; F7-A1, semana dos, estudiante 4; consecutivamente hasta llegar al estudiante 27. Luego, se repitió el mismo proceso por cada electrodo por cada semana hasta obtener un promedio general de electrodos en cada semana de los 27 estudiantes.

Para observar de una mejor manera la diferencia entre los promedios de la frecuencia media se decidió realizar una gráfica con los datos finales mostrada en Ilustración 66.



**Ilustración 66 – Gráfica promedio de 27 estudiantes**

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que, a pesar de que no todos los estudiantes tienen la misma reacción ante las preguntas realizadas en la adquisición de señales, la mayoría de ellos representó un cambio en las ondas beta. En la gráfica de la Ilustración 66 se observa que en semana dos el promedio general se mantuvo en un rango aproximado entre 16Hz y 20Hz aproximadamente entre todos los estudiantes. Mientras tanto, en semana cuatro y cinco se mantuvo a un rango entre 21Hz y 23Hz aproximadamente. Por último, en semana ocho y nueve se obtiene que se mantuvo a un rango entre 23Hz y 26Hz.

En análisis anterior, significa que al momento de obtener un promedio general de las semanas por estudiante indica que en la mayoría de los estudiantes la media de la frecuencia aumenta de acorde a las semanas del periodo académico. Se observa que la mayor diferencia se obtiene entre

semana dos (inicio del periodo) a semana cuatro y cinco (mediados del periodo). Mientras tanto, entre semana cuatro y cinco (mediados del periodo) y semana ocho y nueve (finalización del periodo) hay una muy mínima diferencia entre el aumento de la frecuencia media.

Se recuerda que, el aumento de frecuencia media equivale al aumento de las ondas cerebrales. Es decir, que entre semanas se pudo observar un aumento de ondas cerebrales en el rango de las ondas beta de manera general en los estudiantes de ingeniería en Biomédica del campus UNITEC Tegucigalpa.

## VI. CONCLUSIONES

- Para la recolección de señales electroencefalográficas se utilizó el software de OpenBCI con las herramientas compatibles de OpenBCI GUI y OpenVibe. Las señales fueron adquiridas en semana dos por el comienzo del periodo académico, semana cuatro debido a que es una preparación a semana de exámenes parciales y semana ocho referentes a la finalización del periodo académico. La adquisición de señales se llevó a cabo en cinco minutos; un minuto de estabilidad de las señales electroencefalográficas, tres minutos de preguntas a los estudiantes y un último minuto para asegurar que las señales se guardaran de la manera más eficiente. Para finalizar, se procedió a realizar una limpieza de las señales adquiridas para la preparación del procesado de las señales.
- Se diseñó un código en la herramienta de Matlab el cual ayudó a convertir las señales de un dominio temporal a un dominio frecuencial. Por medio del código en Matlab se obtuvo la media de la frecuencia la cual consiste en un promedio de la frecuencia predominante de las señales obtenidas. Se calculó la frecuencia media por electrodo en de todos los estudiantes que formaron parte del estudio.
- Con los datos de promedios por semana, se observó que en semana dos, se mantuvo en un rango entre 16Hz y 20Hz entre todos los estudiantes. Mientras que, en semana cuatro y cinco se mantuvo a un rango de 21Hz y 23Hz. Por último, en semana ocho y nueve se obtiene que se mantuvo a un rango entre 23Hz y 26Hz. Quiere decir, que entre semana se observó un aumento de ondas betas, lo que conlleva a un aumento de ondas cerebrales en los estudiantes. Por lo que, se concluye que la actividad cerebral aumenta de acuerdo con las semanas del periodo académico de la universidad lo cual es posible decir que puede haber un factor de mayor estrés en los estudiantes a finales del periodo académico.

## VII. RECOMENDACIONES

- Conocer de manera adecuada la herramienta de adquisición de señales a utilizar y los problemas que podría ocasionar. En caso que, si la herramienta falla, se debe optar a un plan alternativo para terminar todo el proceso de adquisición y finalizar la investigación correctamente.
- Se recomienda conocer los filtros necesarios antes de llevar a cabo la adquisición de señales en los estudiantes. De esta manera, se obtienen mejores resultados desde el comienzo de la investigación.
- El uso excesivo de los electrodos podría ocasionar daños funcionales. Por lo tanto, se recomienda siempre contener diversos electrodos para el cambio se es necesario. De esta manera, no se debe esperar a la compra de materiales y postergar el proceso de adquisición.
- Se recomienda comunicarle al estudiante desde la primera adquisición de señales programada separarse de las pertenencias que generan artefactos en la señal; como aritos, cadenas, relojes, celulares, etc.
- Se recomienda optar por un mejor código de programación para una limpieza de señales eficiente. Debido que, aun con los filtros seleccionados y de la separación de artefactos en los estudiantes, la señal de EEG siempre presentará ruido y artefactos naturales, por lo que puede alterar el resultado final.
- Para los documentos de Excel generados por estudiante, se recomienda sean la misma estructura y cantidad para utilizar el código realizado para todos los documentos.
- Se recomienda, en trabajos futuros mejorar la programación del proyecto para obtener datos más específicos y analizables. De esta manera, se podría ampliar la investigación a no solamente la media de la frecuencia de los estudiantes.

## **VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN**

El estudio presentado anteriormente fue diseñado con el objetivo de conocer el aumento de actividad cerebral en los estudiantes de ingeniería en biomédica de UNITEC Campus Tegucigalpa relacionado con el estrés de la carga académica. Sin embargo, se podrían realizar otros tipos de estudios los cuales se desea conocer el aumento o decremento de actividad cerebral en un grupo de personas distintas, dependiendo de lo que se desea implementar. Se añade que, aplicar un análisis de señales de EEG podría ayudar a realizar estudios en el área clínica de la neurología o psicología en distintas aplicaciones como diferenciar la actividad cerebral en una persona diagnosticada con estrés crónico, depresión, ansiedad, etc. siempre y cuando se tomen otras mediciones necesarias a parte de la actividad cerebral.

## **IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL**

La expansión de la investigación conlleva en implementar mejoras en el código de programación con el objetivo de obtener datos más específicos. El estudio investigativo puede ampliar los temas como: especificar en qué momento el estudiante obtuvo mayor actividad cerebral por alguna pregunta específica que se realizó y tuviera una diferente reacción que a las demás (una definición de picos en frecuencia). Otro alternativo, se podría conocer un posible decremento de ondas cerebrales del estudiante al terminar el cuestionario desde minuto cuatro al minuto cinco debido a que el estudiante después de la realización de preguntas podría entrar en un estado de reposo nuevamente. Adicionalmente, es posible realizar un estudio individual a estudiantes con diagnóstico clínico de trastornos mentales como ser estrés, ansiedad o depresión.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- 2.4 *Multiplexación*. (s. f.). Recuperado 3 de septiembre de 2022, de [http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/24\\_multiplexacin.html](http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/24_multiplexacin.html)
- Aguiar, L. A. Z. (2017). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS CON MATLAB PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EXTENSIÓN, FLEXIÓN, PRONACIÓN Y SUPINACIÓN DE UN BRAZO HUMANO*. 74.
- Álvarez Encinoso, R. (2020). *Montaje, prueba y calibración de sistemas de encefalografía EEG OPEN-BCI*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/19811>
- Antonovich, Y. E., & Sergeevich, P. S. (2022). Mental Activity of the Brain and Emotional Stress. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 12(05), 196-210. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2022.125011>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-a). *Espectro | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 3 de septiembre de 2022, de <https://dle.rae.es/espectro>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-b). *Frecuencia | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://dle.rae.es/frecuencia>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-c). *Homeostasis | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 14 de agosto de 2022, de <https://dle.rae.es/homeostasis>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-d). *Onda | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://dle.rae.es/onda>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-e). *Sinapsis | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://dle.rae.es/sinapsis>



- ATENSALUD. (2022). El Electro-encefalograma. <http://www.atensalud.com/2022/02/el-electro-encefalograma.html>
- Bermúdez Cicchino, A. N. (2013). *Técnicas de procesamiento de EEG para detección de eventos* [Magíster en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/32602>
- Byron, J. A. (2022). *Análisis espectral*. [https://www.academia.edu/5270098/An%C3%A1lisis\\_espectral](https://www.academia.edu/5270098/An%C3%A1lisis_espectral)
- Calero, L. (2011). *Procesamiento Digital de Senales*. [https://www.academia.edu/35013082/Procesamiento\\_Digital\\_de\\_Senales](https://www.academia.edu/35013082/Procesamiento_Digital_de_Senales)
- Castillero. (2019, enero 19). *Neuronas piramidales: Funciones y localización en el cerebro*. <https://psicologiaymente.com/neurociencias/neuronas-piramidales>
- Colula Medel, I. (2018). *Método de clasificación para detección de estrés empleando electroencefalograma*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/7257>
- Díaz, N. S. (2019). *ANÁLISIS DE LA EXTEROCEPCIÓN EN FUNCIÓN DE LA FASE EVOLUTIVA EN DEMENCIAS. 27.*
- Discover OpenViBE. (2011, mayo 10). *OpenViBE*. <http://openvibe.inria.fr/discover/>
- Documentación OpenBCI | OpenBCI*. (2021, julio 27). <https://openbci.github.io/>
- Domínguez Gasca, L. G., Álvarez Rodríguez, M., Domínguez Carrillo, L. G., Domínguez Gasca, L. G., Álvarez Rodríguez, M., & Domínguez Carrillo, L. G. (2018). Entesofito de la protuberancia occipital externa. *Acta médica Grupo Ángeles, 16(4)*, 365-366.
- Ferraro, F. M., & Acuña, M. (s. f.). *Formación Reticular y Fibras de Asociación del Tronco Encefálico. 9.*
- Figuroa, C. (2016). *SEMG signal acquisition system for muscle fatigue detection* [Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica]. <https://doi.org/10.17488/RMIB.37.1.4>
- Galarraga, E., & Bargas Díaz, J. (2022). *Potencial de membrana y de acción | Fisiología humana, 4e | AccessMedicina | McGraw Hill Medical* (Cuarta). McGraw Hill.

<https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1858&sectionid=1343626>  
56

García, Ó. R., García, L. M. J., Castelló, L. P., Aparicio, A. G., & Vidal, A. P. (2018). *MATLAB: Conceptos básicos y descripción gráfica*. Universidad Miguel Hernández.

Geffner, D. (2016). *El cerebro: Organización y función*.  
<https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/78723/el-cerebro-organizacion-y-funcion>

Gilbert. (s. f.). *Modularidad*. Recuperado 3 de septiembre de 2022, de <https://www.linguateca.pt/GikiCLEF/GIRA/pool/GikiCLEF2009DocumentPool/es/m/o/d/Modularidad.xml>

Gómez, D. (2001). Análisis Espectral: Consideraciones teóricas y aplicabilidad. *Economía y Sociedad*, 6.

Gonzalez-Correa, C., & Ramirez-Calderón, B. (2020). *MEMORIASRREDSIOCT.22Y23DE2014*.

Gutiérrez Rivera, Á. (2021). *Implementación de Software Defined Radio en sistemas de comunicaciones actuales*. <https://idus.us.es/handle/11441/109235>

Guzmán, A. S., & Ramírez, A. C. (2021). Introduciendo SigProU, una interfaz gráfica de usuario para el análisis y procesamiento de señales EEG. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 13060-13074. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i6.1307](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1307)

Hirsch, L. (s. f.). *El cerebro y el sistema nervioso (para Adolescentes)*—Nemours KidsHealth. Recuperado 14 de agosto de 2022, de <https://kidshealth.org/es/teens/brain-nervous-system.html>

Jiménez, D. C. G. (2019). *Trabajo de grado para optar al título de*. 26.

Laguna, M. (2022). *Diencéfalo*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/diencefalo-es>

Limited, A. (s. f.). *Ondas cerebrales fotografías e imágenes de alta resolución*. Alamy. Recuperado 15 de agosto de 2022, de <https://www.alamy.es/imagenes/ondas-cerebrales.html>

- Mahafza, B. R. (2010). *Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB*. Chapman and Hall/CRC.  
<https://doi.org/10.1201/9781420066449>
- Mathworks. (2022). *Mean frequency* [Matlab].  
<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/meanfreq.html>
- Medina, B., Sierra, J. E., & Ulloa, A. B. (2018). Técnicas de extracción de características de señales EEG en la imaginación de movimiento para sistemas BCI. *Revista ESPACIOS*, 39(22).  
<http://www.revistaespacios.com/a18v39n22/18392236.html>
- Morelli, A. S. (2016). *Neurobiología del estrés*. 39.
- Nasión. *Diccionario médico. Clínica Universidad de Navarra*. (s. f.). Recuperado 14 de agosto de 2022, de <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/nasion>
- NICHD. (2019). *¿Cuáles son las partes del sistema nervioso?* <https://espanol.nichd.nih.gov/>.  
<https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/neuro/informacion/partes>
- Noa, R. (2022). *Características de los filtros analogicos de butterworth y chebyshev—Características de los filtros*. StuDocu. <https://www.studocu.com/uk/document/natsional%D1%8Cniy-universitet-l%D1%8Cvivs%D1%8Cka-politekhnika/corporate-law/caracteristicas-de-los-filtro-analogicos-de-butterworth-y-chebyshev/22663742>
- Pardell, X. (2022, julio 29). *Electroencefalografo—Apuntes de Electromedicina Xavier Pardell*.  
<https://www.pardell.es/electroencefalografo.html>
- Renard, Y., Lotte, F., & Bertrand, M. (2016). (PDF) *OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments*.  
[https://www.researchgate.net/publication/43401204\\_OpenViBE\\_An\\_Open-Source\\_Software\\_Platform\\_to\\_Design\\_Test\\_and\\_Use\\_Brain-Computer\\_Interfaces\\_in\\_Real\\_and\\_Virtual\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/43401204_OpenViBE_An_Open-Source_Software_Platform_to_Design_Test_and_Use_Brain-Computer_Interfaces_in_Real_and_Virtual_Environments)
- Rossmann, M. R. A. (2014). *EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS Y SUS APLICACIONES*. 8.
- Saladin, K. (2022). *ENCÉFALO Y PARES CRANEALES | Anatomía y fisiología. La unidad entre forma y función, 9e | AccessMedicina | McGraw Hill Medical*. McGrawHill Education.

<https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=3137&sectionid=2631340>  
78

Salazar, L. A. G., & Camargo, L. E. M. (2018). *Densidad espectral de potencia EN VÍAS, por métodos no convencionales*. 43.

Sanagustín, A. (2015). *Sistema Nervioso Humano explicado fácil | Dr. Alberto Sanagustín*.  
<https://www.albertosanagustin.com/2015/02/sistema-nervioso-humano-explicado-facil.html>

Semeria, M. (2015). *Los tres teoremas: Fourier—Nyquist—Shannon*. 17.

Social, I. E. de S. y B. (2020, marzo 19). Enfermedades psicósomáticas: El poder de la mente sobre el cuerpo. *Instituto Europeo de Salud y Bienestar Social*.  
<https://institutoeuropeo.es/articulos/insights/enfermedades-psicosomaticas-el-poder-de-la-mente-sobre-el-cuerpo/>

Somato-. (s. f.). TheFreeDictionary.com. Recuperado 14 de agosto de 2022, de  
<https://es.thefreedictionary.com/somato->

Sosa Orellana, P. A. (2021). *Procesamiento de señales encefalográficas para interfaz cerebro-computador*. [Thesis, Universidad del Valle de Guatemala].  
<http://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4125>

Suryotrisongko, H., & Samopa, F. (2015). *Evaluating OpenBCI Spiderclaw V1 Headwear's Electrodes Placements for Brain-Computer Interface (BCI) Motor Imagery Application | Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.155>

*The OpenBCI GUI | OpenBCI Documentation*. (s. f.). Recuperado 17 de agosto de 2022, de  
<https://openbci.github.io/Software/OpenBCISoftware/GUIDocs/>

Tirado, J. A. G. (2016). *Clasificación de señales electroencefalográficas usando la coherencia parcialmente dirigida*. 75.

Tjeerd, B., Colleen, L., Stevan, N., & Ann, M. (2016). *Frontiers | Change in Mean Frequency of Resting-State Electroencephalography after Transcranial Direct Current Stimulation*.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2016.00270/full>

Toro, G. M. M., Bautista, D. W. R., Riaño, E. R., & Riaño, P. A. R. (2019). Unsupervised learning: Application to epilepsy. *Revista Colombiana de Computación*, 20(2), 20-27.

*Tumores en la glándula pituitaria—Introducción*. (2021, octubre 27). Cancer.Net. <https://www.cancer.net/es/tipos-de-cancer/tumores-en-la-gl%C3%A1ndula-pituitaria/introducci%C3%B3n>

Vallat, R. (2018). *Bandpower of an EEG signal*. <https://raphaelvallat.com/bandpower.html>

Velayos, J. L., & Diéguez, G. (2015). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso central*. CEU Ediciones. <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/43244?page=10>

Vera Trujillo, B. A. (2021). *Procesamiento de señales EMG para miembros inferiores durante la marcha humana*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11340>

## XI. ANEXOS

### Anexo 1 – Respuestas al Cuestionario Investigativo

1. ¿Ya estudiaste?
2. ¿Le entiendes a todos los temas?
3. ¿Qué pusiste en X pregunta?
4. ¿Cuánto te dio X ejercicio?
5. ¿Crees que pasas la clase?
6. ¿Si crees que pasas?
7. No me molesta ninguna pregunta que me hagan al respecto.
8. ¿Has estudiado más?
9. ¿Como te fue en el examen?
10. ¿Como te fue en el examen?
11. ¿Cómo te fue en el examen?
12. ¿Cuánto ocupas para pasar?
13. ¿Se supone que estudiaste verdad?
14. ¿Qué clases vas a meter el otro periodo?
15. ¿Le entiendes a todos los temas?
16. ¿Por qué te fue mal?, si habías estudiado bastante.
17. ¿Cuánto te falta por pasar?
18. ¿Ese ejercicio estaba fácil y no pudiste hacerlo? o La clase es fácil y vas con esa nota? o Y es que no te explican bien/y es que no prestas atenciones para que lleves esa nota?
19. ¿Cuánto te falta para pasar?
20. ¿Cuándo te gradúas?
21. ¿Cuánto sacaste?
22. Cuanto te falta para pasar
23. ¿Cómo te fue en el examen?
24. ¿Cuánto te falta por pasar?
25. ¿Haces el promedio?
26. ¿Cómo te está yendo en tal clase?

27. ¿En qué semana sentís más estrés por la clase?
28. ¿Cuándo vas a examen?
29. ¿Cuántos puntos llevas perdidos?
30. ¿cómo vas?
31. ¿Cuánto te falta por pasar?
32. ¿Qué tal vas en x clase?
33. ¿Cuándo te vas a graduar?
34. ¿Le entiendes a todos los temas?
35. ¿Cómo hiciste este ejercicio/parte? (Aún sin haber empezado por no entenderle)
36. ¿Cómo te dio el resultado? (Y tener resultados diferentes)
37. cómo vas con tus otras clases?
38. ¿Ya hiciste todas las tareas?
39. ¿cuánto te falta para pasar tus clases?
40. ¿Cómo te fue en la prueba?
41. ¿Crees pasar?
42. ¿Le entiendes a los temas?

## **Anexo 2 – Preguntas del cuestionario de Participación**

1. Nombre completo
2. Edad
3. ¿Padece usted de ansiedad clínicamente diagnosticada por un psicólogo y/o médico?
4. ¿Padece usted de depresión clínicamente diagnosticada por un psicólogo y/o médico?
5. ¿Padece usted de estrés crónico clínicamente diagnosticada por un psicólogo y/o médico?
6. ¿Padece usted de alguna patología cardíaca?
7. ¿Toma usted algún medicamento como ansiolíticos y/o antidepresivos?
8. De su respuesta anterior ser "Sí", especifique qué tipo de medicamento:
9. ¿Qué cursos va a matricular este periodo Q3 del 2022 en UNITEC?
10. ¿Estaría dispuesto a formar parte de una investigación de proyecto de graduación de la carrera de ingeniería en biomédica donde se tomarán señales electroencefalográficas en

semana#2, semana#5 y semana#9 con fines académicos con el propósito de analizarlas y comprobar si existe alguna diferencia entre ellas por la carga académica?

11. De manera que Sí desea formar parte del estudio, por favor brinde su correo electrónico de la universidad

12. De manera que Sí desea formar parte del estudio, por favor brinde su número celular

### Anexo 3 - Organización de horarios disponibles en laboratorio

		Semana 2					
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
		25 de Julio	26 de Julio	27 de Julio	28 de Julio	29 de Julio	30 de julio
07:00							
08:30							
10:10							
11:30							
12:00							
1:00 p. m.							
2:20 p. m.							
3:40 p. m.							
5:10 p. m.							
6:30 p. m.							

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 4 - Horarios estudiantes tercer año

TERCER AÑO, Semana#2				
Estudiante	Sus Clases	libre	Día de sesión	Hora de sesión
#1	10:10, 2:20	8:30, 1:00, 3:40	Viernes 21/07	3:40pm
#4	1:00, 5:10, 6:30	antes 1:00pm, 2:20-5:10	Martes 26/07	10:30am
#6	1:00pm-3:40 , 5:10-6:30	antes 1:00pm, 3:40	Lunes 25/07	11:40pm
#7	8:30-11:30	11:30 adelante	Viernes 21/07	11:30am
#10	8:00, 11:30, 2:20, 3:40	10:10-1:00	Lunes 25/07	10:10am
#12	7:00, 8:30, 1:00	10:10, 11:30, 2:20, 3:40	Viernes 21/07	12:15pm
#13	8:30, 3:40, 6:30	10:10-3:40	Viernes 21/07	10:45am
#14	8:30-10:10, 11:30-2:20, 6:30	10:10-11:30, 2:20-5:00	Lunes 25/07	2:45pm
#16	7:00, 1:00, 5:10, 6:30 (lunes a jueves)	8:30-1:00, 2:20-5:10	Viernes 21/07	1:00pm
#17	1:00-5:10	antes 1:00pm	Lunes 25/07	11:00am
#20	3:40, 8:30	10:00-3:40	Viernes 21/07	2:20pm
#22	8:30, 1:00, 5:10, 6:30 (viernes solo a las 8:30am)	10:10-1:00, 2:20-3:40	Lunes 25/07	10:40am
#24	1:00, 3:40-6:30	antes 1:00pm, 2:20	Lunes 25/07	2:20pm
#25	8:30, 1:00, 5:10-7:50	10:10-1:00, 2:20-5:00	Viernes 21/07	3:00pm
#27	8:30-11:30	11:30 adelante	Martes 26/07	3:15pm

Fuente: Elaboración propia.



## Anexo 5 - Horarios estudiantes cuarto año

4to año, Semana#2				
Estudiante	Sus Clases	libre	Día de sesión	Hora de sesión
#2	7:00, 2:20, 3:40, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Lunes 25/07	1:00pm
#3	4:00, 5:10, 7:50	antes 3:40	Martes 26/07	2:20pm
#5	1:00,4:00,5:10,7:50	8:00-1:00, 2:20	Lunes 25/07	3:15pm
#8	7:00, 2:20, 3:40, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Martes 26/07	10:10am
#9	7:00, 2:20, 3:40, 5:10	8:30-2:20	Martes 26/07	11:30am
#11	7:00am, 8:30, 2:20	10:10, 11:30, 1:00, 3:40	Martes 26/07	3:40pm
#15	7:00, 2:20, 5:10, 6:30,	8:30-2:20, 3:40	Martes 26/07	4:15pm
#18	7:00, 2:20, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Lunes 25/07	11:30am
#19	7:00, 2:20, 3:40, 5:10	8:30-2:20	Lunes 25/08	1:30pm
#21	(lunes-jueves: 2:20, 4:00, 5:10, 7:50) viernes: 2:20	antes 2:20	Martes 26/07	11:00am
#23	8:30, 2:20, 4:00, 5:10, 7:50 (viernes: 2:20)	10:10-2:20	Martes 26/07	10:35am
#26	7:00, 11:30-2:20, 6:30 (viernes: 7:00-9:00, 11:30)	8:30-11:30, 3:40	Martes 26/07	2:45pm

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 6 - Horarios Laboratorios semana cuatro

	Laboratorio ocupado
	Asesora no disponible

	Semana 4					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	8 de Agosto	9 de Agosto	10 de Agosto	11 de Agosto	12 de Agosto	13 de Agosto
07:00						
08:30						
10:10						
11:30						
12:00						
1:00 p. m.						
2:20 p. m.						
3:40 p. m.						
5:10 p. m.						
6:30 p. m.						

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 7 - Horarios Laboratorios Semana cinco

	Laboratorio ocupado
	Asesora no disponible

Semana 5						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	15 de Agosto	16 de Agosto	17 de Agosto	18 de Agosto	19 de Agosto	20 de Agosto
07:00						
08:30						
10:10						
11:30						
12:00						
1:00 p. m.						
2:20 p. m.						
3:40 p. m.						
5:10 p. m.						
6:30 p. m.						

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 8 - Horarios Estudiantes tercer año, semana cuatro y cinco

TERCER AÑO, Semana#4 y #5				
Estudiante	Sus Clases	libre	Día de sesión	Hora de sesión
#1	10:10, 2:20	8:30, 1:00, 3:40	Jueves 11/08	3:40pm
#4	1:00, 5:10, 6:30	antes 1:00pm, 2:20-5:10	Jueves 11/08	4:00pm
#6	1:00pm-3:40 , 5:10-6:30	antes 1:00pm, 3:40	Lunes 15/08	0,423611111
#7	8:30-11:30	11:30 adelante	Jueves 11/08	3:15pm
#10	8:00, 11:30, 2:20, 3:40	10:10-1:00	Jueves 11/08	10:10am
#12	7:00, 8:30, 1:00	10:10, 11:30, 2:20, 3:40	Jueves 11/08	2:20pm
#13	8:30, 3:40, 6:30	10:10-3:40	Jueves 11/08	1:50pm
#14	8:30-10:10, 11:30-2:20, 6:30	10:10-11:30, 2:20-5:00	Martes 16/08	3:00pm
#16	7:00, 1:00, 5:10, 6:30 (lunes a jueves)	8:30-1:00, 2:20-5:10	Martes 16/08	4:20pm
#17	1:00-5:10	antes 1:00pm	Lunes 15/08	3:40pm
#20	3:40, 8:30	10:00-3:40	Martes 16/08	3:20pm
#22	8:30, 1:00, 5:10, 6:30 (viernes solo a las 8:30am)	10:10-1:00, 2:20-3:40	Lunes 15/08	2:45pm
#24	1:00, 3:40-6:30	antes 1:00pm, 2:20	Lunes 15/08	2:20pm
#25	8:30, 1:00, 5:10-7:50	10:10-1:00, 2:20-5:00	Jueves 11/08	4:30pm
#27	8:30-11:30	11:30 adelante	Jueves 11/08	1:30pm

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 9 - Horarios estudiantes de cuarto año, semana cuatro y cinco

4to año, Semana#4 y #5				
Estudiante	Sus Clases	libre	Día de sesión	Hora de sesión
#2	7:00, 2:20, 3:40, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Martes 16/08	11:10am
#3	4:00, 5:10, 7:50	antes 3:40	Miercoles 10/08	2:45pm
#5	1:00,4:00,5:10,7:50	8:00-1:00, 2:20	Miercoles 10/08	2:20pm
#8	7:00, 2:20, 3:40, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Martes 16/08	4:40pm
#9	7:00, 2:20, 3:40, 5:10	8:30-2:20	Martes 16/08	10:00am
#11	7:00am, 8:30, 2:20	10:10, 11:30, 1:00, 3:40	Martes 16/08	10:20am
#15	7:00, 2:20, 5:10, 6:30,	8:30-2:20, 3:40	Martes 16/08	4:00pm
#18	7:00, 2:20, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Martes 16/08	10:20am
#19	7:00, 2:20, 3:40, 5:10	8:30-2:20	Miercoles 10/08	1:00pm
#21	(lunes-jueves: 2:20, 4:00, 5:10, 7:50) viernes: 2:20	antes 2:20	Miercoles 10/08	1:50pm
#23	8:30, 2:20, 4:00, 5:10, 7:50 (viernes: 2:20)	10:10-2:20	Jueves 11/08	1:00pm
#26	7:00, 11:30-2:20, 6:30 (viernes: 7:00-9:00, 11:30)	8:30-11:30, 3:40	Lunes 15/08	3:15pm

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 10 - Horarios laboratorios semana ocho

	Laboratorio ocupado
	Asesora no disponible

	Semana 8					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	5 de Septiembre	6 de Septiembre	7 de Septiembre	8 de Septiembre	9 de Septiembre	10 de Septiembre
07:00						
08:30						
10:10						
11:30						
12:00						
1:00 p. m.						
2:20 p. m.						
3:40 p. m.						
5:10 p. m.						
6:30 p. m.						

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 11 - Horarios laboratorios semana nueve

	Laboratorio ocupado
	Asesora no disponible

Semana 9						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
	12 de Septiembre	13 de Septiembre	14 de Septiembre	15 de Septiembre	16 de Septiembre	17 de Septiembre
07:00						
08:30						
10:10						
11:30						
12:00						
1:00 p. m.						
2:20 p. m.						
3:40 p. m.						
5:10 p. m.						
6:30 p. m.						

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 12 - Horarios Estudiantes tercer año, semana ocho y nueve

TERCER AÑO, Semana#2					
Estudiante	Nombre	Sus Clases	libre	Día de sesión	Hora de sesión
#1	Alcides Josué Orellana irias	10:10, 2:20	8:30, 1:00, 3:40	Jueves 08/09	1:10pm
#4	Andrés de Jesús Bueso Linares	1:00, 5:10, 6:30	antes 1:00pm, 2:20-5:10	Jueves 08/09	4:00pm
#6	Celeste Odeth Lainez Soto	1:00pm-3:40 , 5:10-6:30	antes 1:00pm, 3:40	Jueves 08/09	3:40pm
#7	Celine Jireh Coello Martínez	8:30-11:30	11:30 adelante	Jueves 08/09	12:50pm
#10	Dariela Canaca	8:00, 11:30, 2:20, 3:40	10:10-1:00	Jueves 08/09	11:30am
#12	Fátima Gisselle Zelaya Maradiaga	7:00, 8:30, 1:00	10:10, 11:30, 2:20, 3:40	Jueves 08/09	2:20pm
#13	Gustavo Napoleón Molina Juarez	8:30, 3:40, 6:30	10:10-3:40	Jueves 08/09	12:10pm
#14	Héctor rolando paz	8:30-10:10, 11:30-2:20, 6:30	10:10-11:30, 2:20-5:00	Lunes 12/09	2:20pm
#16	Juan jose montoya herrera	7:00, 1:00, 5:10, 6:30 (lunes a jueves)	8:30-1:00, 2:20-5:10	Jueves 08/09	3:20pm
#17	Karla Sarahi Aguilar López	1:00-5:10	antes 1:00pm	Jueves 08/09	11:50am
#20	Maria José Martínez Zapata	3:40, 8:30	10:00-3:40	Jueves 08/09	1:30pm
#22	Max Ernesto Guillén Berganza	8:30, 1:00, 5:10, 6:30 (viernes solo a las 8:30am)	10:10-1:00, 2:20-3:40	Lunes 12/09	11:50am
#24	Nicole Maria Gradiz Izaguirre	1:00, 3:40-6:30	antes 1:00pm, 2:20	Jueves 08/09	2:40pm
#25	Pablo Portillo	8:30, 1:00, 5:10-7:50	10:10-1:00, 2:20-5:00	Lunes 12/09	12:10pm
#27	Shelsy Gissel Zambrano Amador	8:30-11:30	11:30 adelante	Jueves 08/09	12:30pm

Fuente: Elaboración Propia.

### Anexo 13 - Horarios estudiantes de cuarto año, semana ocho y nueve

4to año, Semana#2					
Estudiante	Nombre	Sus Clases	libre	Día de sesión	Hora de sesión
#2	Alejandro Guillen	7:00, 2:20, 3:40, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20		
#3	Alisson Martinez	4:00, 5:10, 7:50	antes 3:40	Lunes 12/09	3:20pm
#5	Blanca Camacho	1:00,4:00,5:10,7:50	8:00-1:00, 2:20	Lunes 12/09	3:00pm
#8	Cristyan Montoya	7:00, 2:20, 3:40, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20	Lunes 12/09	1:40pm
#9	Daniela Palencia	7:00, 2:20, 3:40, 5:10	8:30-2:20		
#11	Emily Leticia	7:00am, 8:30, 2:20	10:10, 11:30, 1:00, 3:40	Martes 13/09	11:00am
#15	José Cerrato	7:00, 2:20, 5:10, 6:30,	8:30-2:20, 3:40	Lunes 12/09	3:50pm
#18	Lesly Gómez	7:00, 2:20, 5:10 (viernes solo 2:20)	8:30-2:20		
#19	Lesman Ordoñez	7:00, 2:20, 3:40, 5:10	8:30-2:20		
#21	Maria Varela	(lunes-jueves: 2:20, 4:00, 5:10, 7:50) viernes: 2:20	antes 2:20	Lunes 12/09	11:30am
#23	Mirna Chavez	8:30, 2:20, 4:00, 5:10, 7:50 (viernes: 2:20)	10:10-2:20		
#26	Ramón Moncada	7:00, 11:30-2:20, 6:30 (viernes: 7:00-9:00, 11:30)	8:30-11:30, 3:40	Lunes 12/09	10:50am

Fuente: Elaboración Propia.

### Anexo 14 - Frecuencias promedio del estudiante 2

Estudiante 2								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3013	17.8444	15.8235	15.5034	15.3426	15.3426	15.5681	15.3254
<b>Semana 4</b>	20.1793	21.318	22.7061	20.9319	20.6081	20.6488	23.1227	19.6263
<b>Semana 8</b>								

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 15 - Frecuencias promedio del estudiante 3

Estudiante 3								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	16.7684	15.2781	17.5331	17.2571	15.8688	15.4203	16.766	15.4661
<b>Semana 4</b>	17.1115	25.3821	25.3821	19.6357	22.188	26.7115	15.451	15.7019
<b>Semana 8</b>	30.5917	24.5742	28.3733	23.1931	23.5453	24.8679	28.0861	24.1932

Fuente: Elaboración Propia

#### Anexo 16 - Frecuencias promedio del estudiante 4

Estudiante 4								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.2769	15.3474	15.4097	15.2863	15.3162	15.3162	15.2795	15.3029
<b>Semana 4</b>	30.2235	25.3912	23.2586	26.326	26.4611	22.1562	26.6848	26.8515
<b>Semana 8</b>	26.4395	26.322	26.2072	26.3285	26.3275	26.3233	26.3161	26.3362

Fuente: Elaboración Propia

#### Anexo 17 - Frecuencias promedio del estudiante 5

Estudiante 5								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.6773	20.4153	16.4419	15.4062	19.2596	16.4233	15.6092	16.857
<b>Semana 4</b>	26.8515	19.2698	20.9238	22.2137	16.1888	17.2242	19.9269	16.3136
<b>Semana 8</b>	29.9403	30.0855	29.7976	29.7473	28.5374	29.2831	24.2285	29.8684

Fuente: Elaboración Propia

#### Anexo 18 - Frecuencias promedio del estudiante 6

Estudiante 6								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3439	17.5466	17.5466	15.4494	15.2928	15.4143	17.254	15.3432
<b>Semana 4</b>	25.5618	20.6352	20.2955	20.8046	24.6376	23.8723	23.4539	23.7654
<b>Semana 8</b>	26.2919	26.5095	20.7554	20.4298	27.5767	25.6321	26.0131	26.3892

Fuente: Elaboración Propia

#### Anexo 19 - Frecuencias promedio del estudiante 7

Estudiante 7								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3213	16.0169	16.5688	15.4039	30.6881	25.8293	19.336	20.9251
<b>Semana 4</b>	37.9635	36.2554	38.0297	37.8732	38.1566	28.0013	27.7877	38.0092
<b>Semana 8</b>	25.1007	26.3051	17.5737	22.6059	25.4594	24.3367	23.4545	22.454

Fuente: Elaboración Propia

#### Anexo 20 - Frecuencias promedio del estudiante 8

Estudiante 8								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3050	15.3045	15.7905	15.2896	15.3567	15.304	15.6516	15.3331
<b>Semana 4</b>	28.1063	26.0627	26.6825	23.9516	29.0421	28.9707	27.245	27.427
<b>Semana 8</b>	24.5399	24.0488	22.4779	24.1385	25.5309	25.054	24.0209	24.4009

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 21 - Frecuencias promedio del estudiante 9

Estudiante 9								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.4675	15.297	16.075	15.3273	15.3405	15.8151	15.3087	15.9024
<b>Semana 4</b>	27.1964	27.1964	20.2612	25.7613	26.9451	26.3385	23.5583	25.4701
<b>Semana 8</b>								

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 22 - Frecuencias promedio del estudiante 10

Estudiante 10								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	19.6221	21.0919	37.4653	37.1203	20.1739	33.4155	37.77	20.1009
<b>Semana 4</b>	15.2917	17.9631	15.2917	15.8131	15.5315	17.8977	22.0004	16.796
<b>Semana 8</b>	18.6587	17.5992	16.6421	17.4135	23.3517	30.9827	23.4728	25.4999

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 23 - Frecuencias promedio del estudiante 11

Estudiante 11								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	26.9278	27.3427	27.0301	26.3457	30.2678	27.2238	25.7214	27.3059
<b>Semana 4</b>	19.2687	26.0975	22.063	21.4388	21.7422	20.3988	25.8892	23.4539
<b>Semana 8</b>								

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 24 - Frecuencias promedio del estudiante 12

Estudiante 12								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.2801	16.7687	23.3075	15.4889	15.6142	16.1986	15.7522	15.2797
<b>Semana 4</b>	30.338	17.076	16.539	17.9426	24.2118	18.5925	25.2016	26.7983
<b>Semana 8</b>	16.5668	17.7608	17.0994	24.8884	16.6832	17.68	19.9555	17.1276

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 25 - Frecuencias promedio del estudiante 13

Estudiante 13								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.2859	15.3064	15.6007	15.2548	15.3606	15.2673	15.2635	15.3163
<b>Semana 4</b>	26.8811	29.5695	31.7137	29.6461	30.5371	28.5087	33.0962	30.6538
<b>Semana 8</b>	26.8049	24.1799	20.9178	25.3149	28.3704	27.1521	28.0507	26.2956

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 26 -Frecuencias promedio del estudiante 14

Estudiante 14								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
Semana 2	15.4793	15.2982	15.8945	27.316	15.4811	22.8767	35.4178	23.3769
Semana 4	23.1524	25.3057	18.8507	24.845	23.9731	26.1646	21.2816	22.2336
Semana 8	25.9408	23.294	30.74	26.0219	24.7065	23.0251	22.3148	20.907

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 27 -Frecuencias promedio del estudiante 15

Estudiante 15								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.2773	15.3554	15.3554	15.3603	16.3409	16.0152	16.0152	18.6753
<b>Semana 4</b>	17.6106	17.6139	17.4245	16.2121	18.4178	17.5982	17.2566	17.5885
<b>Semana 8</b>	20.907	22.9347	21.0161	21.1007	20.8062	21.1942	21.0951	20.7698

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 28 -Frecuencias promedio del estudiante 16

Estudiante 16								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3008	15.2967	15.2706	15.872	15.5128	15.3015	15.2925	15.3634
<b>Semana 4</b>	24.778	26.3977	25.4082	20.6676	24.9126	23.239	23.5597	22.3367
<b>Semana 8</b>	23.9999	23.4886	23.4241	23.4828	23.5281	24.267	23.5357	23.3286

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 29 - Frecuencias promedio del estudiante 17

Estudiante 17								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	30.0839	15.5061	33.9409	17.5364	25.6523	33.0261	16.014	15.3571
<b>Semana 4</b>	26.719	18.6121	19.4536	22.5183	25.0191	23.3598	21.8397	22.2934
<b>Semana 8</b>	31.0483	18.5615	30.8241	31.2843	31.0988	31.9438	26.9511	29.2583

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 30 -Frecuencias promedio del estudiante 18

Estudiante 18								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3475	15.4959	24.2177	15.3942	15.3589	15.7685	18.6107	15.332
<b>Semana 4</b>	35.3361	21.9328	34.5246	29.3184	29.4937	26.5715	23.6225	23.5659
<b>Semana 8</b>	19.0828	18.3972	17.8707	18.1952	24.7621	22.2515	22.1457	21.2945

Fuente: Elaboración Propia



### Anexo 31 - Frecuencias promedio del estudiante 19

Estudiante 19								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.4379	15.3577	18.018	15.5149	15.33	15.3269	15.6454	15.3029
<b>Semana 4</b>	15.2787	15.6959	15.3275	15.2856	15.3996	15.6648	15.4892	15.3842
<b>Semana 8</b>								

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 32 - Frecuencias promedio del estudiante 20

Estudiante 20								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.2955	15.5087	26.145	18.6879	15.7473	15.3781	15.3003	15.3112
<b>Semana 4</b>	24.3628	24.2877	20.0173	23.3122	24.1249	23.7739	21.451	22.8874
<b>Semana 8</b>	24.1638	23.3918	17.7672	22.5547	24.5229	22.9072	22.7166	22.3775

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 33 - Frecuencias promedio del estudiante 21

Estudiante 21								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3217	15.8731	15.3605	15.7163	15.2864	15.2865	15.2893	15.2865
<b>Semana 4</b>	15.1372	19.6361	17.3753	15.1248	15.471	24.8493	15.2928	15.8696
<b>Semana 8</b>	20.4305	26.3318	19.8587	19.1229	28.4856	25.8882	23.9845	24.7489

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 34 - Frecuencias promedio del estudiante 22

Estudiante 22								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.2275	16.4373	24.4637	16.2069	15.6526	27.202	19.9159	15.3909
<b>Semana 4</b>	20.3812	21.1017	20.9445	20.9432	20.3768	20.2622	20.2338	20.209
<b>Semana 8</b>	28.2349	29.2454	25.7069	24.7616	24.5379	24.3255	23.3861	29.3495

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 35 - Frecuencias promedio del estudiante 23

Estudiante 23								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.803	17.4102	19.3694	18.3828	15.655	15.8725	17.4235	15.4794
<b>Semana 4</b>	27.3858	19.9317	23.3969	24.4837	19.2258	29.794	21.2071	24.561
<b>Semana 8</b>								

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 36 - Frecuencias promedio del estudiante 24

Estudiante 24								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.5209	15.4121	15.2155	15.2433	15.9642	15.3941	15.342	23.1589
<b>Semana 4</b>	23.8082	18.5192	24.6404	23.2394	24.5174	23.3796	23.3034	23.3062
<b>Semana 8</b>	21.0559	22.7551	20.2607	19.2863	23.9764	21.3967	19.5709	23.869

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 37 - Frecuencias promedio del estudiante 25

Estudiante 25								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.4472	15.6339	16.0627	15.9131	17.7365	15.7257	15.3042	15.3482
<b>Semana 4</b>	19.9317	22.4063	21.8567	21.6235	25.5504	24.9276	22.8518	23.546
<b>Semana 8</b>	30.4569	30.1329	35.7211	30.1286	29.8266	30.1232	30.3673	30.1087

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 38 - Frecuencias promedio del estudiante 26

Estudiante 26								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3028	16.4046	17.1978	15.3423	15.4506	15.606	15.2999	15.4343
<b>Semana 4</b>	23.0644	22.8411	19.0923	15.8485	26.7303	17.1727	21.8802	23.6097
<b>Semana 8</b>	21.9636	26.93	26.9338	24.4956	26.982	26.6245	25.9938	28.0331

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 39 - Frecuencias promedio del estudiante 27

Estudiante 27								
	F7-A1	F8-A1	F3-A1	F4-A1	P7-A1	P8-A1	P3-A1	P4-A1
<b>Semana 2</b>	15.3151	15.3471	15.3516	15.2884	15.7968	15.3092	15.3543	15.3773
<b>Semana 4</b>	26.4078	19.9317	21.7208	20.3944	26.0892	24.9401	23.1246	25.3178
<b>Semana 8</b>	19.7084	30.1064	23.7038	29.9001	24.3607	29.4235	29.9751	30.0317

Fuente: Elaboración Propia