

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Ingeniería de Sistemas

**APLICACIÓN MÓVIL COMO HERRAMIENTA PARA LA VISUALIZACIÓN E
IDENTIFICACIÓN DE DATOS RELACIONADOS A LAS LECTURAS DE SEÑALES
EEG PROPORCIONADAS POR EL DISPOSITIVO EMOTIV INSIGHT**

Presenta
Nicolás Peñaloza Gamba

Pamplona, Norte de Santander
2021

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Ingeniería de Sistemas

**APLICACIÓN MÓVIL COMO HERRAMIENTA PARA LA VISUALIZACIÓN E
IDENTIFICACIÓN DE DATOS RELACIONADOS A LAS LECTURAS DE SEÑALES
EEG PROPORCIONADAS POR EL DISPOSITIVO EMOTIV INSIGHT**

Trabajo de grado

Presenta

Nicolás Peñaloza Gamba

Para obtener el título de

Ingeniero de Sistemas

Director

PhD. William Mauricio Rojas Contreras

Pamplona, Norte de Santander

2021

Dedicatoria

La concepción y desarrollo de este proyecto está dedicado a mis padres, quienes han sido el motor principal para poder alcanzar todos mis objetivos a lo largo de mi vida. Ellos se convirtieron en mi ejemplo de superación y perseverancia ante los obstáculos que se presentan en el camino. A mi director de trabajo de grado por su orientación y conocimiento otorgado, de igual manera para mis amigos más cercanos quienes me brindaron su apoyo en todo momento.

Resumen

El estado emocional y mental de una persona influye en gran medida para el desempeño de las actividades que debe realizar en su diario vivir. Dichos estados son posibles de identificar gracias dispositivos de lectura EEG tales como, Emotiv Insight, Neurosky Mindwave o las diademas Muse, por nombrar algunos.

Existen diversos tipos de onda cerebral, cada uno representa diferentes estados mentales (como depresión, ansiedad, estrés) y emocionales (como el miedo, la felicidad, entre otras). Estas señales se pueden identificar utilizando dispositivos EEG como el Emotiv Insight, utilizado para el desarrollo del presente trabajo.

Este trabajo tiene como principal objetivo el desarrollo de una app que permita identificar información relevante proveniente de las ondas cerebrales detectadas por medio de la diadema Insight. La aplicación desarrollada en Flutter toma los datos proporcionados por Python, quien a su vez se encarga de gestionar y procesar la Raw data de las señales, para enseñarlos al usuario final por medio de la interfaz.

Palabras clave: Ondas EEG, Emotiv Insight, Flutter, Python, Emociones

Abstract

The emotional and mental state of a person greatly influences the performance of the activities that they must carry out in their daily life. These states are possible to identify thanks to EEG reading devices such as Emotiv Insight, Neurosky Mindwave or Muse headbands, to name a few.

There are different types of brain waves, each representing different mental states (such as depression, anxiety, stress) and emotional (such as fear, happiness, among others). These signals can be identified using EEG devices such as the Emotiv Insight, used for the development of this work.

The main objective of this work is the development of an application that allows identifying relevant information from the brain waves detected through the Insight headband. The application developed in Flutter takes the data provided by Python, which in turn is in charge of managing and processing the Raw data of the signals, to teach them to the end user through the interface.

Keywords: EEG Waves, Emotiv Insight, Flutter, Python, Emotions

Tabla de contenido

Planteamiento del problema.....	12
Justificación	14
Objetivos.....	15
General.....	15
Específicos	15
Alcances y limitaciones	16
Alcances	16
Limitaciones.....	16
Marco Teórico.....	17
El Cerebro Humano	17
Lóbulos Cerebrales	17
Lóbulo frontal.	17
Lóbulo parietal.	18
Lóbulo temporal.....	18
Lóbulo occipital.	18
Ondas Cerebrales	19
Ondas delta (0,2 a 4 Hz).....	19
Ondas theta (4 a 8 Hz).....	19
Ondas alfa (8 a 12 Hz).....	19
Ondas beta (12 a 30 Hz).....	20
Ondas gamma (30 a 90 Hz).....	20
Electroencefalograma (EEG)	21
Sistema 10-20.....	21

Emotiv Insight.....	23
Ficha técnica	24
Cortex API	25
Flutter.....	26
Python.....	26
Flask	26
Google Firebase	27
Estado del arte.....	28
Investigaciones internacionales.....	28
Investigaciones nacionales	31
Bandas de frecuencia de las ondas EEG.....	34
La Transformada Rápida de Fourier.....	34
El Método de Welch	35
Métricas de rendimiento.....	36
Métricas identificadas por el dispositivo	36
Estrés (Stress, St)	36
Compromiso (Engagement, En).....	36
Interés (Interest, In).....	37
Emoción (Excitement, Ex).....	37
Enfoque (Focus, Fo).....	38
Relajación (Relaxation, Re).....	38
Experimento con las métricas de rendimiento	39
Arquitectura del proyecto.....	43

Actores presentes dentro de la arquitectura	44
Dispositivo Emotiv Insight	44
Ordenador.....	44
Cortex API	44
Python.....	44
Flutter (App)	45
Google Firebase	45
Procesamiento de la Raw Data.....	46
Gráfico de una lectura por sensor	49
Aplicación móvil.....	50
Conclusiones	60
Recomendaciones.....	62
Bibliografía	63

Lista de Figuras

Figura 1	22
Figura 2	23
Figura 3	24
Figura 4	36
Figura 5	37
Figura 6	37
Figura 7	38
Figura 8	38
Figura 9	38
Figura 10	40
Figura 11	43
Figura 12	46
Figura 13	47
Figura 14	47
Figura 15	48
Figura 16	49
Figura 17	49
Figura 18	50
Figura 19	51
Figura 20	52
Figura 21	53
Figura 22	54
Figura 23	55

Figura 24	56
Figura 25	57
Figura 26	58
Figura 27	59

Lista de Tablas

Tabla 1.....	39
Tabla 2.....	41

Planteamiento del problema

El cerebro humano es sin duda alguna el órgano más complejo de todos y uno de los más importantes, ya que es el encargado de realizar procesos vitales para el individuo.

Durante cientos de años este órgano ha sido objeto de innumerables estudios e investigaciones, porque como se mencionaba anteriormente, es uno de los ejes centrales del funcionamiento del cuerpo humano. Aun así, pese a que se han desarrollado tantos estudios, a día de hoy el funcionamiento del cerebro en su totalidad sigue siendo una incógnita para la ciencia, llegando a ser considerado incluso como ‘el objeto más complejo’ del universo conocido.

Comprender y estudiar el cerebro ya no es solo un tema del campo de la biología o el campo médico, cada vez otras ciencias se van sumando para realizar sus aportes a este fin común.

Desde la perspectiva de la ingeniería en sistemas o la rama de la computación en términos generales, han surgido varias líneas de investigación referentes a este objeto de estudio, entre ellas se encuentra el procesamiento digital de señales EEG, la cual permite un amplio margen de aplicaciones, como el reconocimiento de emociones, el desarrollo de los sistemas cerebro-maquina (BCI, por sus siglas en inglés), entre otros.

Sin embargo, dentro del área de la computación no existen muchas herramientas que permitan o faciliten en cierto modo el desarrollo de las investigaciones, ya que la gran mayoría de herramientas están enfocadas en el ámbito de la medicina, tomando esto como punto de partida, se lleva a cabo el presente proyecto.

Resulta necesario el acceso a una herramienta que permita identificar información relevante acerca de lecturas EEG realizadas (tales como métricas de rendimiento, bandas de frecuencia, las gráficas de las ondas, entre otras).

Justificación

La gran mayoría de investigaciones referentes al área de la neurociencia en la computación, tienen como punto de partida el análisis y gestión de las señales EEG, para ello se requiere del procesamiento digital de ondas.

Como se mencionaba anteriormente este procesamiento de las ondas permite generar las bases para todo tipo de estudios y aplicaciones.

Cuando se tiene la lectura proporcionada por un sensor EEG, los datos no son comprensibles en ese estado (se le conoce como Raw Data), para poder obtener información a partir de ellos es necesario aplicar una serie de pasos, en otras palabras, se deben procesar.

Al procesar una onda resulta más sencillo su análisis y posterior manipulación, ya que es posible eliminar interferencias o 'ruido' que no aportan nada a la investigación. Además, el procesamiento abarca mucho más que eso, existen diversos algoritmos y funciones matemáticas que se pueden aplicar dependiendo de la finalidad o enfoque del estudio en cuestión.

Este proyecto tiene como finalidad el desarrollo de una app móvil que pueda funcionar como herramienta para realizar procesamiento digital de ondas EEG.

Objetivos

General

Diseñar una aplicación móvil que funcione como una herramienta para la detección y el análisis de diversos estados mentales con base en la interpretación de las ondas cerebrales.

Específicos

- Analizar y estudiar los diversos tipos de ondas cerebrales detectados por medio del dispositivo Emotiv Insight.
- Hacer un análisis comparativo entre las señales EEG obtenidas, a través del dispositivo Emotiv Insight, durante la realización de diferentes actividades por parte de un grupo de individuos, para identificar rasgos y características de relevancia en las ondas.
- Desarrollar una aplicación móvil que trabaje con base en la información proporcionada por el dispositivo (conocida como Raw data) para ofrecer información más detallada acerca de las lecturas de las señales EEG.

Alcances y limitaciones

Alcances

1. Se desarrollará una app en Flutter que permita la interacción con las lecturas de señales EEG.
2. Se identificarán las bandas de frecuencia por cada sensor.
3. Se permitirá al usuario visualizar el gráfico de frecuencia vs tiempo por sensor.

Limitaciones

1. El análisis de las ondas estará restringido a las generadas por el dispositivo Emotiv Insight debido a la disponibilidad del equipo.

Marco Teórico

El Cerebro Humano

El cerebro es uno de los órganos más importantes y complejos del cuerpo humano, controla y gestiona todo el sistema nervioso y sus respectivos procesos con base en la información sensorial que recibe provenientes de todos los rincones del cuerpo. Forma parte del sistema nervioso central (SNC).

Está conformado por millones células, llamadas neuronas, las cuales se comunican entre si por medio de conexiones denominadas sinapsis que permiten la transmisión de impulsos electroquímicos, este proceso es la base fundamental para todas las funciones cognitivas del cerebro.

La importancia del cerebro humano para el cuerpo radica en la cantidad de funciones vitales que realiza, está encargado de procesos como el control del movimiento, el control de los latidos del corazón, regular la temperatura corporal, entre otros.

Lóbulos Cerebrales

La corteza cerebral está dividida o segmentada en 4 zonas llamadas lóbulos, los cuales gestionan y coordinan diversas funciones.

Lóbulo frontal. “En los humanos, es el más grande de los lóbulos del cerebro. Se caracteriza por su papel en el procesamiento de funciones cognitivas de alto nivel tales como la planificación coordinación, ejecución y control de la conducta. Por extensión, también hace posible el establecimiento de metas, la previsión, la articulación del lenguaje y la regulación de las emociones.

Este es uno de los lóbulos cerebrales con un papel más destacado en las funciones que relacionaríamos de un modo más directo con la inteligencia, la planificación y la coordinación de secuencias de movimientos voluntarios complejos.” (Triglia, s.f.)

Lóbulo parietal. “Se encuentra entre los lóbulos frontal y occipital, y se encarga principalmente de procesar información sensorial que llega de todas las partes del cuerpo, como el tacto, la sensación de temperatura, el dolor y la presión, y es capaz de relacionar esta información con el reconocimiento de números. También hace posible el control de los movimientos gracias a su cercanía a los centros de planificación del lóbulo frontal.” (Triglia, s.f.)

Lóbulo temporal. “Los lóbulos temporales de cada hemisferio se encuentran a los laterales del cerebro, dispuestos horizontalmente y pegados a las sienas.

Reciben información de muchas otras áreas y lóbulos del cerebro y sus funciones tienen que ver con la memoria y el reconocimiento de patrones en los datos provenientes de los sentidos. Por lo tanto, juega un papel importante en el reconocimiento de rostros y voces, pero también en el recuerdo de palabras.” (Triglia, s.f.)

Lóbulo occipital. “En los seres humanos, es el menor de los cuatro principales lóbulos del cerebro y se encuentra en la zona posterior del cráneo, cerca de la nuca.

Es la primera zona de la neocorteza a la que llega la información visual. Por lo tanto, tiene un papel crucial en el reconocimiento de objetos cuya luz es proyectada sobre la retina, aunque por sí misma no tiene la capacidad para crear imágenes coherentes. Estas imágenes son creadas a partir del procesamiento de estos datos en unas zonas del cerebro llamadas áreas de asociación visual.” (Triglia, s.f.)

Ondas Cerebrales

Como se mencionaba anteriormente, las neuronas se comunican a través de señales eléctricas que oscilan en diferentes intervalos de frecuencia (la cual se puede medir en Hertz), estos impulsos eléctricos son conocidos como ondas cerebrales.

Existen varios tipos de ondas cerebrales clasificadas según su frecuencia, y son las siguientes:

Ondas delta (0,2 a 4 Hz). “Son ondas (o frecuencias) muy lentas, pero también las que tienen mayor amplitud. Son características de cuando el individuo está dormido y predominan durante el sueño.

También se observan en estados de meditación. La producción del ritmo Delta, coincide con la regeneración y restauración del Sistema Nervioso Central.” (Neurofeedback, 2019)

Ondas theta (4 a 8 Hz). “Las ondas Theta predominan cuando los sentidos están procesando información interna y el individuo se encuentra desconectado del mundo exterior, inmerso. Se presentan también durante la meditación profunda. Son muy importantes durante el aprendizaje y memoria. Se producen durante la transición entre vigilia y sueño.” (Neurofeedback, 2019)

Ondas alfa (8 a 12 Hz). “Alfa predomina cuando el Sistema Nervioso Central se encuentra en reposo, relajado pero despierto y atento.

Si hay déficit de alfa el individuo tiene dificultad para relajarse.

Esta frecuencia ayuda a la coordinación mental, la integración mente/cuerpo, la calma y la alerta. También es una frecuencia que el cerebro utiliza como una gratificación después de un

trabajo bien hecho. Por ejemplo: si a un individuo se le pide hacer una tarea que requiera atención y concentración, si consigue hacer la tarea correctamente, el cerebro obtiene como gratificación breves ráfagas de alfa.” (Neurofeedback, 2019)

Ondas beta (12 a 30 Hz). “Beta predomina durante el periodo de vigilia. Aparece en los estados en que la atención está dirigida a tareas cognitivas externas, al contrario de las ondas Theta, las cuales aparecían durante los estados cognitivos internos.

Debido a que Beta comprende un alto rango de frecuencia se encuentra subdividido de la siguiente manera:

- I. Beta baja (12 a 15 Hz)
- II. Mid Beta (15 a 18 Hz)
- III. Beta alta (18 Hz a 30 Hz)

Un exceso de Beta consume mucha energía. El mapa cerebral de un paciente con trastorno de ansiedad puede mostrar un exceso de Beta 2 o 3, lo cual implicaría una falta de regulación.” (Neurofeedback, 2019)

Ondas gamma (30 a 90 Hz). “Son las ondas más rápidas. Se producen en ráfagas cortas.

Se relacionan con el proceso de información simultánea en varias áreas del Sistema Nervioso Central.

Se observan ráfagas de ondas Gamma cuando el cerebro está en estado de alta resolución. (Ejemplo durante el cálculo de una fórmula matemática).” (Neurofeedback, 2019)

Electroencefalograma (EEG)

Un electroencefalograma es un método utilizado para el registro de las señales u ondas cerebrales, para llevar a cabo el procedimiento se utilizan unos pequeños sensores (conocidos también como electrodos) que se colocan sobre el cuero cabelludo de la persona. Los electrodos pueden captar las señales eléctricas que producen las neuronas para comunicarse entre ellas.

Generalmente este tipo de procedimientos se realizan en el entorno médico, más específicamente para el campo neurológico con la finalidad de diagnosticar posibles problemas o desordenes cerebrales. En la mayoría de casos su uso principal va enfocado en la investigación para trastornos de epilepsia (la cual ocasiona convulsiones en las personas que la padecen).

Una de las grandes ventajas que presenta este examen es su seguridad ya que es indoloro y es un procedimiento no invasivo.

Sistema 10-20

Para realizar un examen EEG se deben colocar electrodos sobre el cuero cabelludo de la persona, estos van ubicados en ciertas zonas específicas que permiten llevar a cabo la lectura de las señales eléctricas.

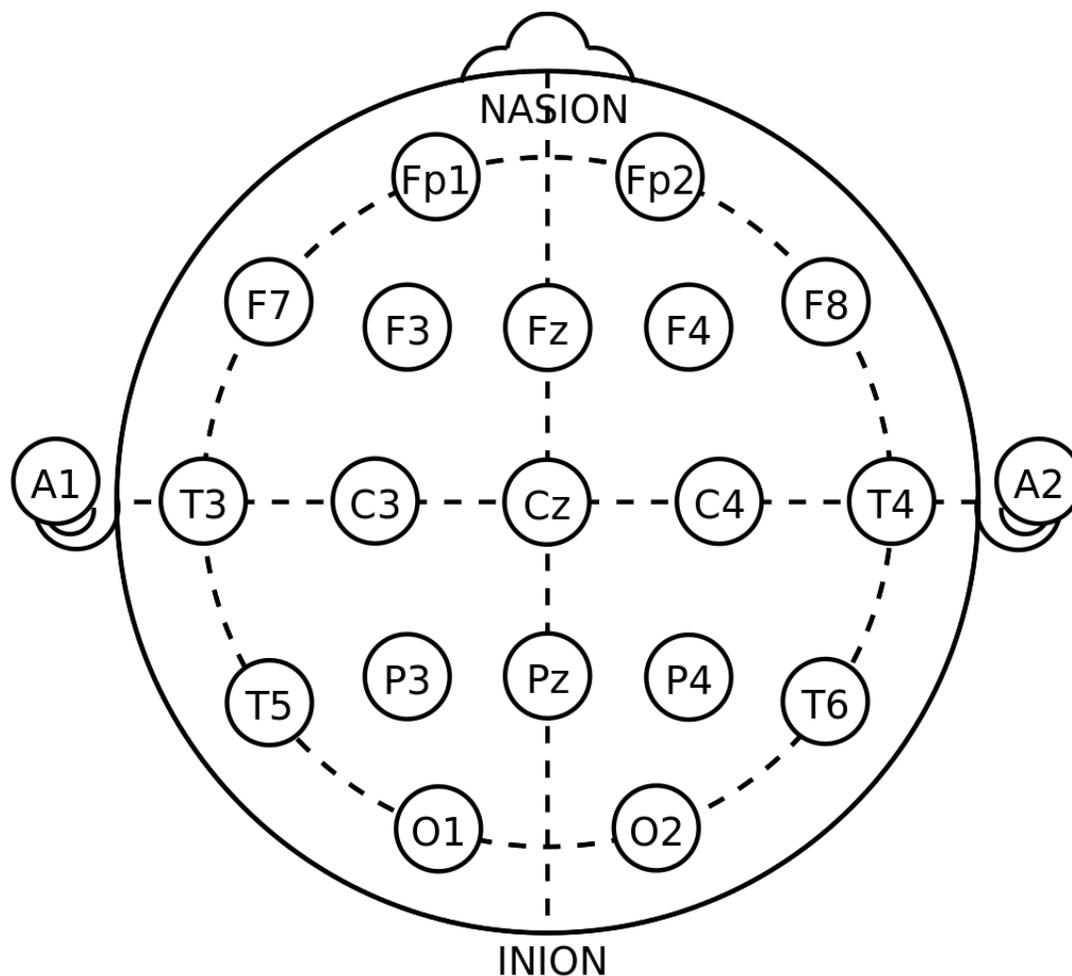
El posicionamiento de dichos electrodos se rige por un método o sistema reconocido internacionalmente en este campo de la neurociencia, se denomina como sistema 10 – 20, su objetivo principal es mantener un estándar para garantizar que los resultados obtenidos en pruebas de este tipo puedan ser replicadas y estudiadas posteriormente sin alteraciones, además de que puedan analizarse utilizando el método científico. (Figura 1)

El nombre que reciben los puntos de fijación para los electrodos hace referencia al lóbulo o la zona del mismo donde se encuentran ubicados. Las etiquetas para los principales lóbulos cerebrales son las siguientes:

- Lóbulo frontal (F)
- Lóbulo temporal (T)
- Lóbulo parietal (P)
- Lóbulo occipital (O)

Figura 1

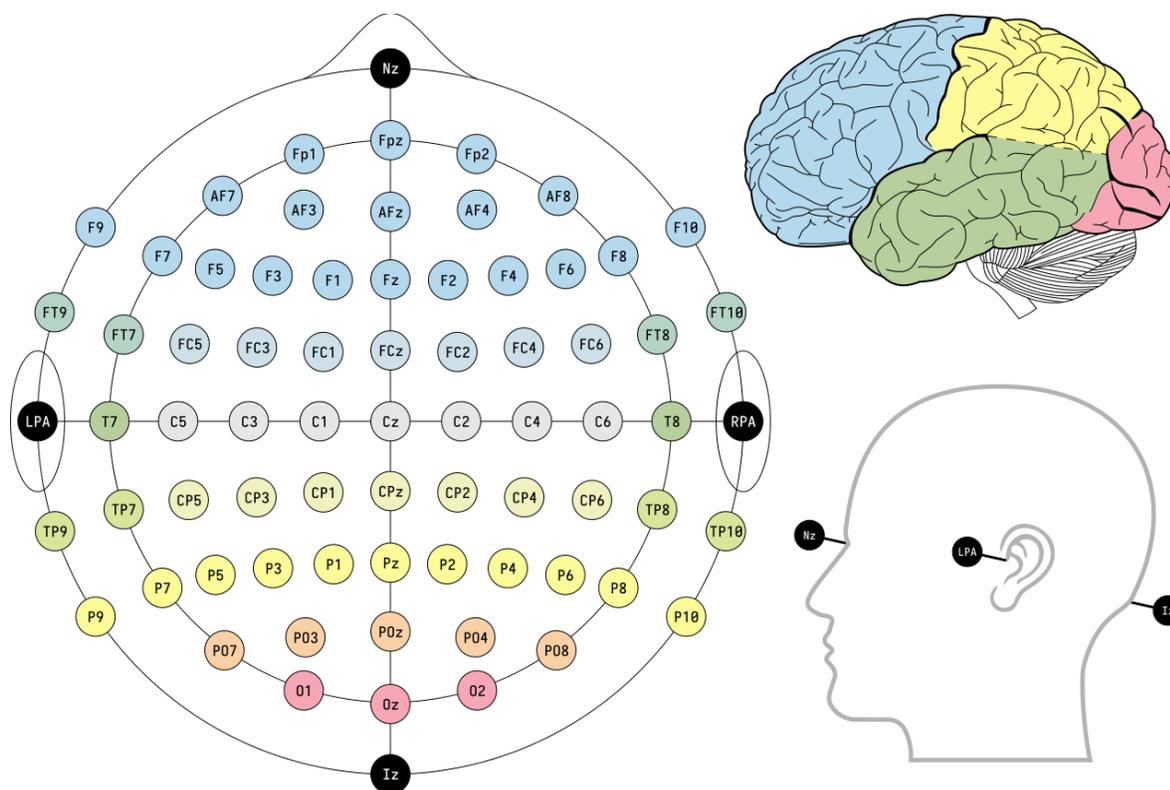
Ubicación de los electrodos del Sistema Internacional 10-20



En estudios EEG más complejos o de mayor resolución se utilizan electrodos adicionales para los sitios intermedios del sistema 10-20 agregando así más nomenclatura para dar lugar la denominada MCN (Modified Combinatorial Nomenclature, por sus siglas en inglés) permitiendo de esta manera una mayor cobertura de la corteza cerebral. (Figura 2)

Figura 2

Posiciones de los electrodos de EEG en el Sistema 10-10 utilizando Nomenclatura Combinatoria Modificada (MCN, por sus siglas en inglés)



Emotiv Insight

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la diadema Insight de la empresa Emotiv, la cual permite la lectura de ondas EEG por medio de sus sensores incorporados. (Figura 3)

El dispositivo permite identificar la actividad eléctrica cerebral en cinco canales específicos gracias a sus electrodos (AF3, AF4, T7, T8, Pz).

La diadema ofrece el acceso a un software para ordenador llamado EmotivPRO en el cual se puede conocer información más detallada acerca de las lecturas EEG y su significado. Permite conocer medidas y estadísticas referentes a variables y estados emocionales.

Figura 3

Diadema Emotiv Insight



Ficha técnica

- **Número de canales:** 5 (más la referencia CMS/DRL en la mastoides izquierda)
- **Nombres de los canales:** AF3, AF4, T7, T8, Pz
- **Método de muestreo:** Muestreo secuencial, ADC único
- **Tasa de muestreo:** 128 SPS (2048 Hz interno)
- **Resolución de EEG:** 14 bits 1 LSB = $0.51\mu\text{V}$ (ADC de 16 bits, piso de ruido instrumental de 2 bits descartado)
- **Banda ancha:** 0.5 - 43Hz, filtros de muesca digitales a 50Hz y 60Hz
- **Filtración:** Filtro Sinc digital de quinto orden integrado

- **Rango dinámico:** 8400 uV (pp)
- **Modo de acoplamiento:** AC acoplado
- **Conectividad:** Inalámbrico patentado de 2.4GHz (con dongle), BLE
- **Capacidad de la batería:** Batería LiPo 450mAh
- **Duración de la batería:** Hasta 8 horas
- **Medida de impedancia:** Calidad de contacto en tiempo real mediante un sistema patentado
- **Parte IMU:** ICM-20948
- **Acelerómetro:** 3 ejes
- **Giroscopio:** Salida como Quaternion
- **Magnetómetro:** 3 ejes +/- 4900 uTesla
- **Muestreo de movimiento:** 64 Hz
- **Salida de cuaterniones:** sí
- **Resolución de movimiento:** 14-bit (dongle) / 8-bit (BLE)
- **Material del sensor:** Polímero semiseco

(Emotiv Insight , s.f.)

Cortex API

Cortex es una API desarrollada por el equipo de Emotiv que otorga el acceso a los datos sin procesar (conocidos también como Raw data) generados por los dispositivos. Permite la conexión directa con las diademas (incluida la Insight) por medio de websockets.

Dicha API proporciona diferentes opciones para el manejo y manipulación de los datos, funcionando principalmente por medio de solicitudes en formato JSON.

Flutter

Flutter es un Framework desarrollado por Google que permite el desarrollo de aplicaciones móviles híbridas, lo cual significa que funcionan tanto para sistemas operativos Android como para iOS, además permite el desarrollo de aplicaciones para escritorio y páginas web. Este framework trabaja con el lenguaje Dart (también desarrollado por Google).

Python

“Python es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos y de alto nivel con semántica dinámica. Sus estructuras de datos integradas de alto nivel, combinadas con tipado dinámico y enlace dinámico, lo hacen muy atractivo para el desarrollo rápido de aplicaciones, así como para su uso como lenguaje de scripts para conectar componentes existentes. La sintaxis simple y fácil de aprender de Python enfatiza la legibilidad y, por lo tanto, reduce el costo de mantenimiento del programa. El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están disponibles en formato fuente o binario sin cargo para todas las plataformas principales y se pueden distribuir libremente.” (Python.org, s.f.)

Flask

“Flask es un framework web, es un módulo de Python que permite desarrollar aplicaciones web fácilmente. Tiene un núcleo pequeño y fácil de ampliar: es un microframework que no incluye un ORM (Object Relational Manager) o características similares.

Un framework web representa una colección de bibliotecas y módulos que permiten a los desarrolladores de aplicaciones web escribir aplicaciones sin preocuparse por detalles de bajo nivel como el protocolo, la gestión de subprocessos, entre otros.” (Python Basics, s.f.)

Google Firebase

“Firebase de Google es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil. Está disponible para distintas plataformas (iOS, Android y web), con lo que es más rápido trabajar en el desarrollo.

Su función esencial es hacer más sencilla la creación de tanto aplicaciones webs como móviles y su desarrollo, procurando que el trabajo sea más rápido, pero sin renunciar a la calidad requerida.

Sus herramientas son variadas y de fácil uso, considerando que su agrupación simplifica las tareas de gestión a una misma plataforma. Las finalidades de las mismas se pueden dividir en cuatro grupos: desarrollo, crecimiento, monetización y análisis. Es especialmente interesante para que los desarrolladores no necesiten dedicarle tanto tiempo al backend, tanto en cuestiones de desarrollo como de mantenimiento.” (Digital55, s.f.)

Estado del arte

Investigaciones internacionales

- **(García Domínguez, 2015), Análisis de ondas cerebrales para determinar emociones a partir de estímulos visuales.** “Este trabajo se centra en el reconocimiento y medición de cambios eléctricos que se infiere son emociones, proveniente directamente de las ondas cerebrales de la persona utilizando una interfaz cerebro computadora (BCI por sus siglas en inglés) llamada Emotiv EPOC, la medición de cambios eléctricos que se asocia a alguna emoción se extraen por medio de un electroencefalograma (EEG por sus siglas en inglés), como resultado de este proceso se obtiene un patrón, el cual potencialmente podría servir como base en la construcción y diseño de sistemas interactivos que logren adaptarse y tengan la capacidad de cambiar de acuerdo a la experiencia del usuario. Los datos recabados son grabados y convertidos a un formato entendible por la computadora mediante el software Experiment Wizard, la información es analizada con técnicas de minería de datos, aplicando filtros de discretización y análisis bayesianos realizados con el software Weka para obtener conocimiento que permita generar un modelo que realice clasificación de patrones en las ondas cerebrales. En el patrón encontrado los electrodos que tienen mayor actividad en ondas Beta las cuales indican actividad cerebral en estado activo o alerta de los individuos, resultando los diodos frontales F3 y F8 además el occipital O1 para las emociones de Miedo y Felicidad, alcanzando un resultado de 53.7879 por ciento de instancias correctamente clasificadas y siendo el algoritmo de búsqueda Hill Climbing el que arrojó mejores resultados.”

- **(Gonzales Wong, 2019), Clasificación de visualizaciones motoras utilizando señales de un EEG, basado en algoritmos de aprendizaje profundo.** Este trabajo tiene como objetivo principal “Implementar un modelo computacional basado en aprendizaje profundo que sea capaz de clasificar cuatro diferentes visualizaciones motoras: mano derecha, mano izquierda, ambos pies y movimientos con la lengua.”
- **(Torres, Sánchez, & Palacio-Baus, 2016), Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo Mindwave.** “La actividad cerebral puede ser monitoreada mediante la electroencefalografía y utilizada como un indicador bioeléctrico. Este artículo muestra como un dispositivo de bajo costo y fácil acceso puede utilizarse para el desarrollo de aplicaciones basadas en interfaces cerebro-computador (BCI). Los resultados obtenidos muestran que el dispositivo MindWave puede efectivamente utilizarse para la adquisición de señales relacionadas a la actividad cerebral en diversas actividades cerebrales bajo la influencia de diversos estímulos. Se propone además el uso de la transformada Wavelet para el acondicionamiento de las señales EEG con el objetivo de utilizar algoritmos de inteligencia artificial y técnicas de reconocimiento de patrones para distinguir respuestas cerebrales.”
- **(Villegas Méndez & Rojas Fernández, 2019), Interfaz cerebro ordenador BCI mediante el uso de Emotiv Insight.** “En la actualidad existen diversos dispositivos comerciales de adquisición de bioseñales cerebrales electroencefalográficas (EEG) en el mercado, cada uno con diferentes prestaciones y posibles aplicaciones en ingeniería, investigación médica, entre

otras. El presente trabajo describe el desarrollo de una interfaz cerebro ordenador (BCI) utilizando el dispositivo EEG Emotiv Insight por sus características técnicas comparadas a otros modelos de la propia compañía Emotiv y modelos de otras compañías. Se han utilizado como herramientas, un lenguaje de programación orientado a objetos para el desarrollo del programa principal que gestiona las intenciones captadas por el dispositivo EEG para aplicarlas a algún fin, un kit de desarrollo de aplicaciones propio de Emotiv para acceder a las funciones de la interfaz de programación de aplicaciones y scripts de Matlab para el desarrollo de una interfaz de usuario y el análisis de los bioseñales captados. Las aplicaciones de esta interfaz BCI van desde el estudio de bioseñales cerebrales de manera gráfica hasta aplicaciones en domótica u otros.”

- **(Zabcikova, 2019), Visual and Auditory Stimuli Response, Measured by Emotiv Insight Headset.** “La interfaz cerebro-computadora (BCI) es un área muy atractiva y una tendencia común en todo el mundo. La tecnología electroencefalográfica (EEG) está siendo utilizada por sistemas BCI que procesan las señales cerebrales a través de algoritmos informáticos. El BCI basado en EEG se ha convertido en una herramienta importante para el análisis en tiempo real de la actividad cerebral. Este artículo examina la usabilidad y la calidad de las señales registradas con el dispositivo Emotiv. Para examinar la actividad cerebral, se muestran estímulos visuales y auditivos a los sujetos y se observaron las respuestas utilizando el dispositivo EEG inalámbrico no invasivo Emotiv Insight. Para medir las señales se utilizó la versión gratuita del software Emotiv Xavier

Control Panel. Los resultados demuestran que el dispositivo Emotiv Insight es adecuado para el entretenimiento.”

Investigaciones nacionales

- **(Ortega Loaiza, 2021), Reconocimiento de emociones en humanos mediante procesamiento de señales EEG y estimulación auditiva.** “Este trabajo aborda una problemática que no es ajena a la academia, pero que aún presenta resultados embrionarios. En particular, emplea estímulos auditivos con el objeto de implementar un algoritmo computacional que realice el reconocimiento de un grupo definido de emociones maximizando la precisión y reduciendo la cantidad de electrodos necesarios para dicha tarea. Para ello se definió un grupo de 6 emociones objetivo estimuladas mediante 30 audios, los cuales fueron presentados a un grupo de 14 personas voluntarias, de entre 18 y 35 años, sobre las cuales se realizó la lectura de las señales EEG. La metodología conlleva 3 fases, son sus respectivas etapas, y permitió construir un algoritmo basado tanto en características convencionales como en la Transformada Wavelet, la Dimensión Fractal y un modelo de Análisis Discriminante Cuadrático, el cual fue valorado bajo métricas de precisión, exactitud, exhaustividad y puntaje F1. Los resultados fueron comparados con aquellos reportados en otros trabajos similares disponibles en la literatura.”
- **(Peña Cortés, 2015), Integración de un sistema de neuroseñales para detectar expresiones en el análisis de material multimedia.** “Presenta los avances realizados en la integración de un dispositivo comercial de bajo costo para capturar neuroseñales, con el fin de registrar expresiones de un usuario de

material multimedia. Todas las personas adoptan diversos tipos de expresiones al ver televisión, películas, comerciales u otros textos. Ejemplos de estas expresiones son: apretar los dientes en escenas de suspenso; mover la cabeza hacia atrás cuando se da la sensación de arrojar un objeto hacia fuera de la pantalla en películas 3D; desviar la mirada en las escenas de terror; sonreír en comerciales emotivos; dar carcajadas en escenas de humor, e incluso quedarse dormido por el desinterés. La idea general de este sistema es capturar todas estas expresiones en conjunto, con señales emotivas tales como el nivel de atención, frustración y meditación, para que los expertos en creación del material multimedia puedan realizar un análisis y mejorar sus productos. Se presentan pruebas experimentales que evidencian el buen funcionamiento del sistema.”

- **(Rojas Contreras & Cañas, 2020), Method for the construction of AR books and usability record through neuroseigns.** “Un gran número de organizaciones están incorporando herramientas llamadas habilitadores digitales (IoT, Cloud Computación, Impresión 3D, Big Data, Ciberseguridad, Visión Tecnologías) como parte de los procesos de digital transformación hacia la Industria 4.0. En particular, dentro de tecnologías de visión, la realidad aumentada se puede analizar como una herramienta que integra elementos virtuales que la enriquecen en un entorno real. Uno de los casos en los que se aplica la realidad aumentada son los llamados Libros AR, que pueden concebirse como libros físicos (reales) enriquecidos con aplicaciones de software a las que se accede a través marcadores. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de aplicaciones hoy en día se realiza de forma artesanal, lo que trae como consecuencia bajos indicadores de

madurez, productividad y disciplina en el desarrollo de software proceso de este tipo. El alcance central de este artículo es describir y probar un método para la construcción de AR libros y, de forma complementaria, validar la usabilidad del producto a través de la verificación de neuro signos emotivos con el dispositivo de Emotiv Insight.”

- **(Corredor Camargo, Peña Cortés, & Pardo García, 2019), Evaluación de las emociones de usuarios en tareas con realimentación háptica utilizado el dispositivo Emotiv Insight.** “Este estudio evalúa las cinco métricas de desempeño, disponibles en el dispositivo Emotiv Insight en una tarea virtual de seguimiento de trayectorias por medio de un robot móvil.”

Bandas de frecuencia de las ondas EEG

Las bandas de frecuencia permiten clasificar las ondas EEG. Cada tipo de onda cerebral está determinado por la frecuencia de la misma según los intervalos establecidos, a su vez, cada tipo de onda representa o permite identificar (a través de otros procesos de manipulación y análisis) información acerca del estado mental y emocional de una persona.

La diadema Emotiv Insight por medio de sus 5 sensores permite la detección de los tipos de ondas cerebrales existentes. El dispositivo permite acceder a la información relacionada a las lecturas EEG por medio de su software para ordenador denominado EmotivPRO. Por medio de este programa se puede conocer a detalle la información de las señales cerebrales, incluyendo las bandas de frecuencia por sensor.

Para lograr identificar las bandas de frecuencia (conocidas también como band power en inglés) es necesario aplicar ciertos métodos o modelos matemáticos. El algoritmo que se usa en la mayoría de casos es la Transformada Rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés), ya que permite transformar las señales entre el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia.

La Transformada Rápida de Fourier

La "Transformada Rápida de Fourier" (FFT) es un método de medición importante en la ciencia de la medición y tratamiento digital de señales. Convierte una señal en componentes espectrales individuales y, por lo tanto, proporciona información de frecuencia sobre la señal. Las FFT se utilizan para análisis de fallas, control de calidad y monitoreo de condiciones de máquinas o sistemas. Estrictamente hablando, la FFT es un algoritmo optimizado para la implementación de la "Transformación discreta de Fourier" (DFT). Una señal se muestrea durante un período de tiempo y se divide en sus componentes de frecuencia. Estos componentes

son oscilaciones sinusoidales simples a frecuencias distintas, cada una con su propia amplitud y fase. (NTI Audio, s.f.)

El Método de Welch

E Método de Welch se utiliza en diversos campos y ciencias, entre ellos la ingeniería, para estimar la densidad espectral y potencia de una señal de onda. Este método reduce el ruido presente en la señal, por lo cual mejora la precisión del periodograma clásico.

Métricas de rendimiento

El dispositivo Emotiv Insight por medio de su software EmotivPRO permite conocer las denominadas métricas de rendimiento, las cuales consisten en seis medidas (con un rango de 0 a 100) tomadas a partir de la actividad cerebral identificada por los sensores. En el caso puntual de la diadema Insight se pueden identificar seis métricas.

Métricas identificadas por el dispositivo

Las seis métricas mencionadas corresponden a las siguientes:

Estrés (Stress, St)

Es una medida de comodidad con el desafío actual. El estrés alto puede resultar de la incapacidad para completar una tarea difícil, sentirse abrumado y temer consecuencias negativas por no cumplir con los requisitos de la tarea.

Figura 4

Ejemplo de la métrica de Estrés en una lectura



Compromiso (Engagement, En)

Se experimenta como el estado de alerta y la dirección consciente de la atención hacia los estímulos relevantes para la tarea. Mide el nivel de inmersión en el momento y es una mezcla de atención y concentración y contrasta con el aburrimiento.

Figura 5

Ejemplo de la métrica de Compromiso en una lectura



Interés (Interest, In)

Es el grado de atracción o aversión a los estímulos, el entorno o la actividad actuales y se conoce comúnmente como valencia. Los puntajes de interés bajos indican una fuerte aversión a la tarea, el interés alto indica una afinidad fuerte con la tarea, mientras que los puntajes de rango medio indican que ni le gusta ni no le gusta la actividad.

Figura 6

Ejemplo de la métrica de Interés en una lectura



Emoción (Excitement, Ex)

Es una conciencia o sentimiento de excitación fisiológica con un valor positivo. Se caracteriza por la activación en el sistema nervioso simpático que da como resultado una variedad de respuestas fisiológicas (como dilatación de la pupila, ensanchamiento de los ojos, estimulación de las glándulas sudoríparas, entre otras).

Figura 7

Ejemplo de la métrica de Emoción en una lectura



Enfoque (Focus, Fo)

Es una medida de atención fija a una tarea específica. El enfoque mide la profundidad de la atención, así como la frecuencia con la que la atención cambia de una tarea a otra.

Figura 8

Ejemplo de la métrica de Enfoque en una lectura

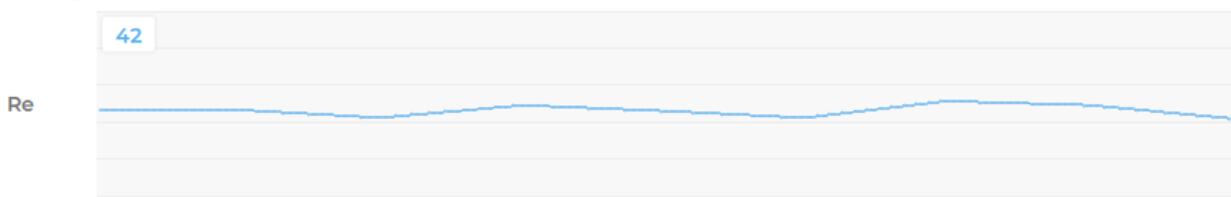


Relajación (Relaxation, Re)

Es una medida de atención fija a una tarea específica. El enfoque mide la profundidad de la atención, así como la frecuencia con la que la atención cambia de una tarea a otra.

Figura 9

Ejemplo de la métrica de Relajación en una lectura



Experimento con las métricas de rendimiento

Con la finalidad de comprobar el nivel de asertividad de dichas métricas proporcionadas por el software se llevó a cabo un experimento, el cual consistió en tomar los registros de tres individuos diferentes durante el desarrollo de una actividad en particular para posteriormente analizar y comparar los resultados de las métricas de rendimiento.

El experimento en cuestión se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Como primer paso se buscó a un grupo de tres personas, todas ellas estudiantes de últimos semestres de ingeniería de sistemas.

Tabla 1

Información de los individuos participantes

Individuo	Edad	Nivel de formación
A	21	Decimo semestre
B	21	Sexto semestre
C	24	Decimo semestre

2. Posteriormente se grabó la actividad cerebral de cada individuo mientras interactuaban con el mismo nivel de un videojuego específico, utilizando la diadema Emotiv Insight.
3. Seguido a ello, se le solicitó a cada individuo completar una encuesta donde debían escoger un valor para cada métrica de rendimiento según sus sensaciones durante el desarrollo de la actividad (Figura 4).

Para asociar los valores de las métricas de rendimiento en la encuesta se utilizó la escala de Likert (del 1 al 5), tomando rangos de 20 puntos, de la siguiente forma:

- 1 (0 a 20)
- 2 (20 a 40)
- 3 (40 a 60)
- 4 (60 a 80)
- 5 (80 a 100)

De esta manera es posible hacer un aproximado para comparar los resultados de la encuesta con los valores que identifica Emotiv, que van en un rango de 0 a 100 como se había mencionado.

Figura 10

Ejemplo de pregunta en la encuesta para las métricas de rendimiento

La variable del interés mide el grado de atracción o rechazo de la actividad que se está ejecutando. En base a lo anterior ¿Qué nivel de interés tuvo durante el desarrollo de la actividad? *

	1	2	3	4	5	
Ningún interés	<input type="radio"/>	Demasiado interés				

Para una mejor visualización y análisis de los resultados obtenidos en cada apartado del experimento se realizó una tabla (Tabla 2) donde se pueden apreciar los valores para cada métrica de rendimiento, segmentados por sus etiquetas.

Las respectivas etiquetas corresponden a las siguientes métricas:

- Compromiso (En)
- Emoción (Ex)
- Enfoque (Fo)
- Interés (In)
- Relajación (Re)
- Estrés (St)

Tabla 2

Resultados de las métricas de rendimiento obtenidas en el software EmotivPRO y en la encuesta

	Resultados EmotivPRO						Resultados encuesta					
	En	Ex	Fo	In	Re	St	En	Ex	Fo	In	Re	St
Individuo A	59	63	35	54	61	45	70	70	50	50	70	30
Individuo B	44	59	29	57	33	36	70	70	70	50	50	50
Individuo C	70	13	34	54	21	30	90	70	90	70	90	10

Nota. Para determinar los valores referentes a la encuesta se sacó el promedio dependiendo del rango de puntos en cada selección propiciada por el individuo.

Como se puede observar en los resultados de la *Tabla 2* los valores de las métricas no guardan una gran similitud entre ellos, el promedio de la diferencia entre ambas mediciones (EmotivPRO vs encuesta) es de aproximadamente 23 puntos. Hay varios factores que influyeron en esta brecha, pero uno de los más importantes a considerar es la calibración del dispositivo ya que para tener mediciones más exactas en el software, la diadema debe estar entre un 80 a 100% en la calidad de contacto de sus sensores con la cabeza del individuo.

Durante la toma de las lecturas la diadema no se mantenía en un valor estándar referente a la calidad de contacto, por el contrario, oscilaba con valores entre 60 a 70% en promedio, cabe resaltar que la diadema toma mejores lecturas si el cabello del individuo es muy corto.

Otro factor a considerar referente a la diferencia entre los resultados es que la diadema ya tiene un tiempo de uso prolongado por lo cual algunos de sus sensores han perdido calidad en la lectura de las señales. Además, desde la perspectiva de la encuesta los valores que cada persona se asignaba para las métricas son muy subjetivos por ende se debe considerar un margen de error.

En conclusión, los resultados tienen un margen de diferencia considerable, pero teniendo en cuenta los factores mencionados se puede inferir que el nivel de asertividad de las métricas de rendimiento proporcionadas por el dispositivo es aceptable y puede mejorar más en escenarios donde se tenga un mayor control sobre los aspectos identificados como interferencias con el desarrollo del experimento.

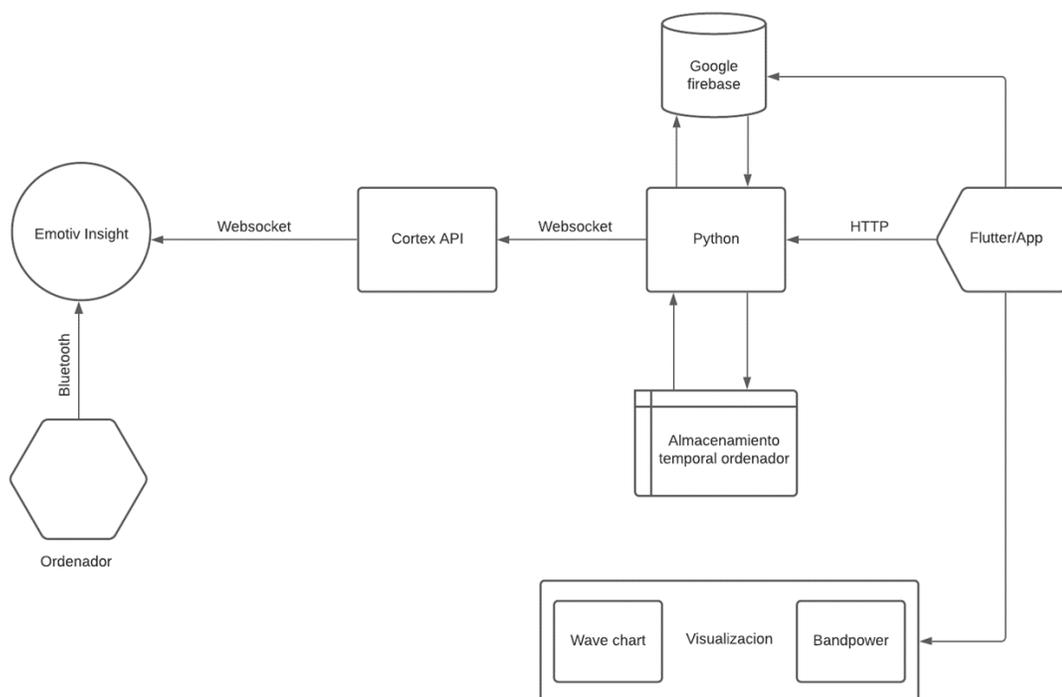
Arquitectura del proyecto

Para la arquitectura del proyecto se propuso un modelo como se indica en la *Figura 11* donde intervienen varios actores o componentes que al interactuar en conjunto permiten el procesamiento de las ondas EEG para su posterior análisis y visualización.

Debido a los objetivos y el enfoque de la investigación, la arquitectura planteada no contempla una capa enfocada en la seguridad (más allá de la autenticación proporcionada por Google Firebase).

Figura 11

Diagrama de la arquitectura del proyecto



Actores presentes dentro de la arquitectura

Dispositivo Emotiv Insight

Es el encargado de tomar las lecturas EEG al individuo por medio de sus sensores. Se comunica con el software EmotivPRO (que funciona en el ordenador) para enviar la información acerca de la lectura, además se comunica con la API Cortex para enviar los datos solicitados por medio de las peticiones.

La comunicación con el ordenador la realiza gracias a la memoria USB que funciona como puerto Bluetooth, en el caso de la API, su comunicación es vía websocket.

Ordenador

Tiene instalado el software de EmotivPRO donde se pueden visualizar los resultados de las diferentes lecturas realizadas por la diadema.

En el ordenador es donde se ejecuta el script de Python el cual está encargado de la comunicación entre la API de Cortex y la app, así como la manipulación y análisis de los archivos generados por el dispositivo Insight.

Cortex API

La API permite acceder a la información sin procesar de las lecturas EEG, se comunica tanto con la diadema como con Python a través del protocolo WebSocket.

Python

Es el 'cerebro' de la arquitectura ya que gestiona la comunicación con la diadema y con la app, sumado a esto, es el encargado de manipular los archivos .CSV para posteriormente aplicar los cálculos o funciones necesarias para su análisis.

Puede verse como el 'backend' de la arquitectura.

Flutter (App)

Es el actor que tiene interacción directa con el usuario final, ya que por medio de su interfaz permite visualizar información acerca de los procesos y análisis aplicados a las lecturas EEG.

Puede verse como el 'frontend' de la arquitectura.

Google Firebase

Es el encargado del almacenamiento de la información referente a los archivos .CSV, además se encarga de manejar el proceso de autenticación para el ingreso a la app.

Procesamiento de la Raw Data

El dispositivo Emotiv Insight por medio de su API Cortex permite el acceso a la Raw Data, la cual consiste en el conjunto de datos sin procesar identificados por los sensores (de ahí su nombre).

Para conectarse a la API es necesario utilizar el protocolo de red WebSocket a través del localhost en el puerto 6868 (todo esto lo indica explícitamente su documentación, ver Figura 11), además para obtener la información deseada se deben realizar peticiones o requests utilizando el protocolo JSON-RPC.

El lenguaje utilizado para realizar dicha conexión fue Python ya que ofrece una gran cantidad de librerías que facilitan muchos procesos y cálculos necesarios para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Figura 12

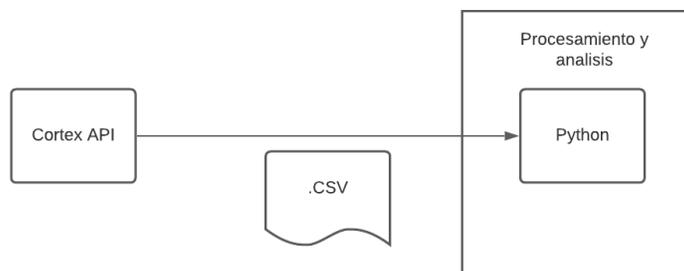
Configuración para la conexión a la API Cortex desde Python

```
class Cortex(Dispatcher):
    def __init__(self, user, debug_mode=False):
        url = "wss://127.0.0.1:6868"
        self.ws = websocket.create_connection(url, sslopt={"cert_reqs": ssl.CERT_NONE})
        self.user = user
        self.debug = debug_mode

        self.headset_id = ''
        self.auth = ''
        self.session_id = ''
        self.record_id = ''
```

Figura 13

Diagrama sobre el formato en el cual se envía la Raw data hacia Python



Una vez que se tiene la raw data de una lectura en específico se procede a manipular dicho archivo para a partir de allí poder extraer información de interés.

El proceso en términos generales puede resumirse de la siguiente manera:

1. Obtener la raw data (la cual viene por defecto en formato .CSV)
2. Transformar el archivo .CSV en un dataframe

Figura 14

Ejemplo de un archivo .CSV convertido a dataframe

	Timestamp	EEG.Counter	EEG.Interpolated	...	EQ.Pz	EQ.T8	EQ.AF4
0	1.631632e+09	47.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
1	1.631632e+09	48.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
2	1.631632e+09	49.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
3	1.631632e+09	50.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
4	1.631632e+09	51.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
...
7515	1.631632e+09	110.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
7516	1.631632e+09	111.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
7517	1.631632e+09	112.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
7518	1.631632e+09	113.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN
7519	1.631632e+09	114.0	0.0	...	NaN	NaN	NaN

[7520 rows x 28 columns]

3. Filtrar la raw data, extrayendo las columnas que poseen información relevante.

Para el caso específico del proyecto, las columnas que se extraen son las

siguientes:

- Timestamp
- EEG.Counter
- EEG.AF3
- EEG.T7
- EEG.Pz
- EEG.T8
- EEG.AF4

Figura 15

Ejemplo de un dataframe filtrado

	EEG.T7	EEG.Pz	...	EEG.Counter	EEG.AF3
0	4333.333496	4218.461426	...	47.0	4391.282227
1	4340.512695	4172.820313	...	48.0	4398.974121
2	4330.256348	4203.589844	...	49.0	4398.974121
3	4305.128418	4245.641113	...	50.0	4400.000000
4	4313.333496	4179.487305	...	51.0	4394.871582
...
7515	4183.077148	4203.077148	...	110.0	4351.794922
7516	4204.102539	4209.230957	...	111.0	4360.512695
7517	4200.000000	4211.282227	...	112.0	4354.358887
7518	4188.205078	4217.436035	...	113.0	4348.717773
7519	4189.230957	4204.615234	...	114.0	4344.615234

[7520 rows x 7 columns]

Al hacer los pasos anteriores ya se tiene la base de para aplicar o realizar los cálculos y funciones matemáticas necesarias según el objetivo en concreto.

Gráfico de una lectura por sensor

Una vez se tiene el dataframe filtrado se pueden visualizar los gráficos de las lecturas EEG por sensor, el proceso consiste en tomar la columna *Timestamp* para el eje **X** y los valores del sensor como el eje **Y**.

Figura 16

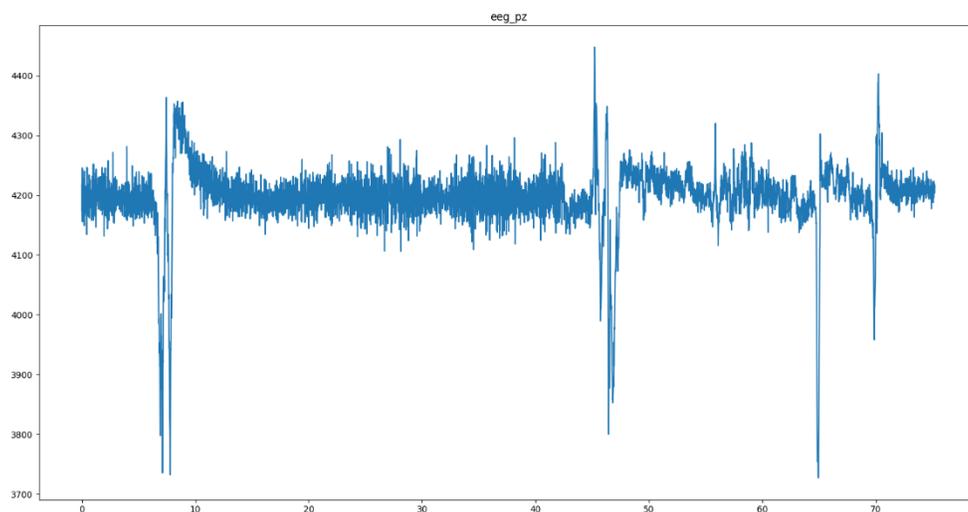
Asignación de los valores en X, Y para obtener los gráficos

```
self.sensors_data = {
    'eeg_pz': {'x': self.data['Timestamp'].values, 'y': self.data['EEG.Pz'].values},
    'eeg_t7': {'x': self.data['Timestamp'].values, 'y': self.data['EEG.T7'].values},
    'eeg_af3': {'x': self.data['Timestamp'].values, 'y': self.data['EEG.AF3'].values},
    'eeg_af4': {'x': self.data['Timestamp'].values, 'y': self.data['EEG.AF4'].values},
    'eeg_t8': {'x': self.data['Timestamp'].values, 'y': self.data['EEG.T8'].values},
}
```

De este modo, solo resulta necesario especificar el nombre del sensor que se desea visualizar.

Figura 17

Gráfico de la lectura de un sensor específico obtenido en base al dataframe filtrado

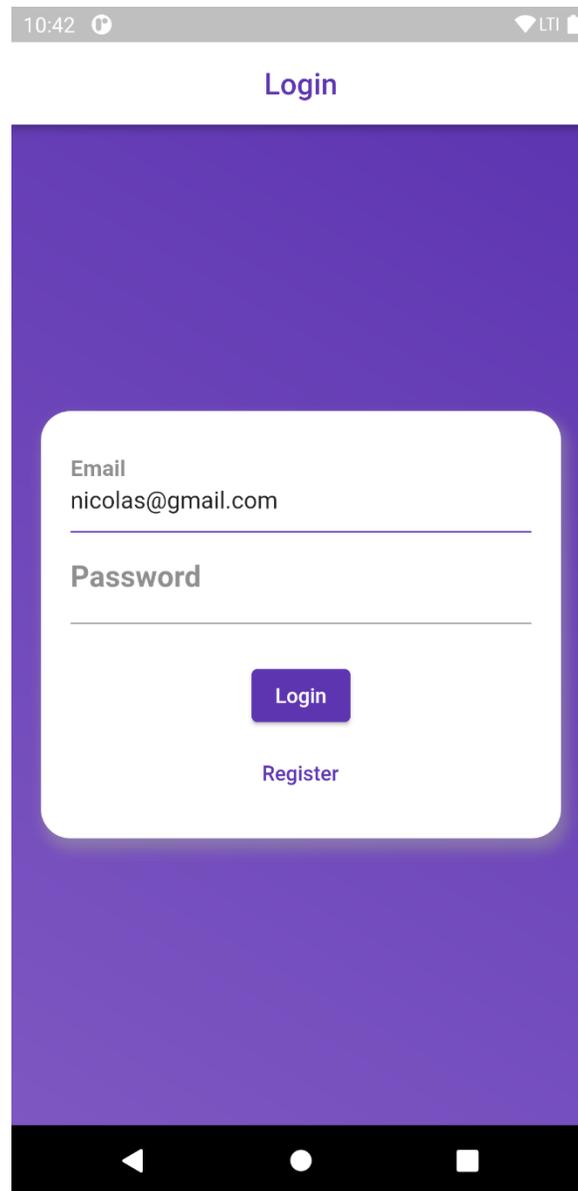


Aplicación móvil

A continuación, se muestran cada una de las pantallas pertenecientes a la app desarrollada para el proyecto junto a su respectiva descripción y funcionalidad.

Figura 18

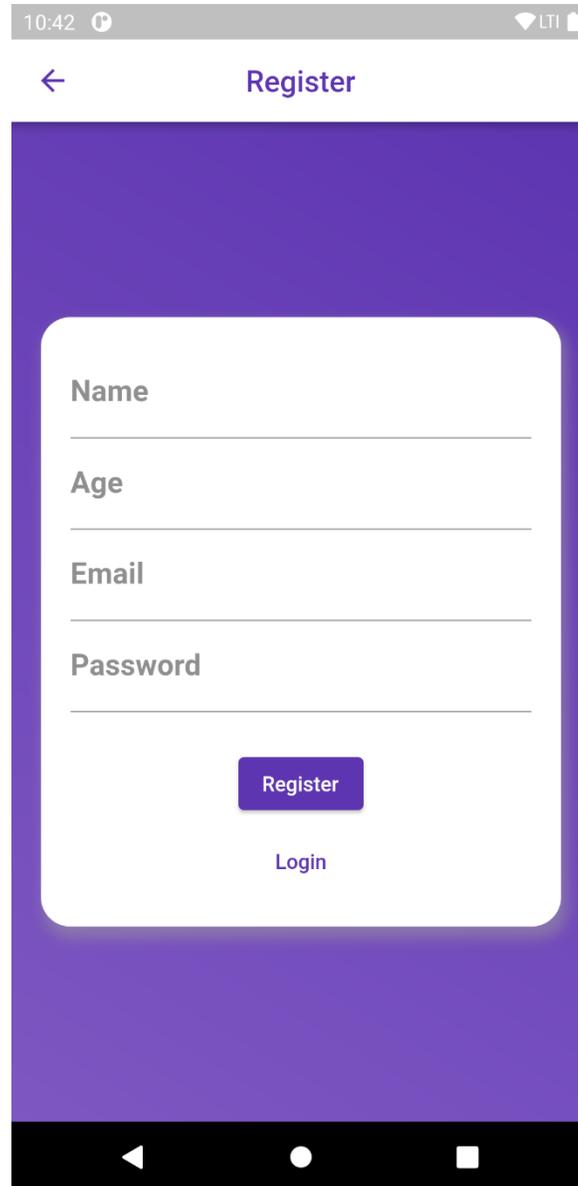
Pantalla para ingreso a la app



- **Login:** permite al usuario iniciar sesión en su cuenta.

Figura 19

Pantalla para registrarse en la app



10:42

← Register

Name

Age

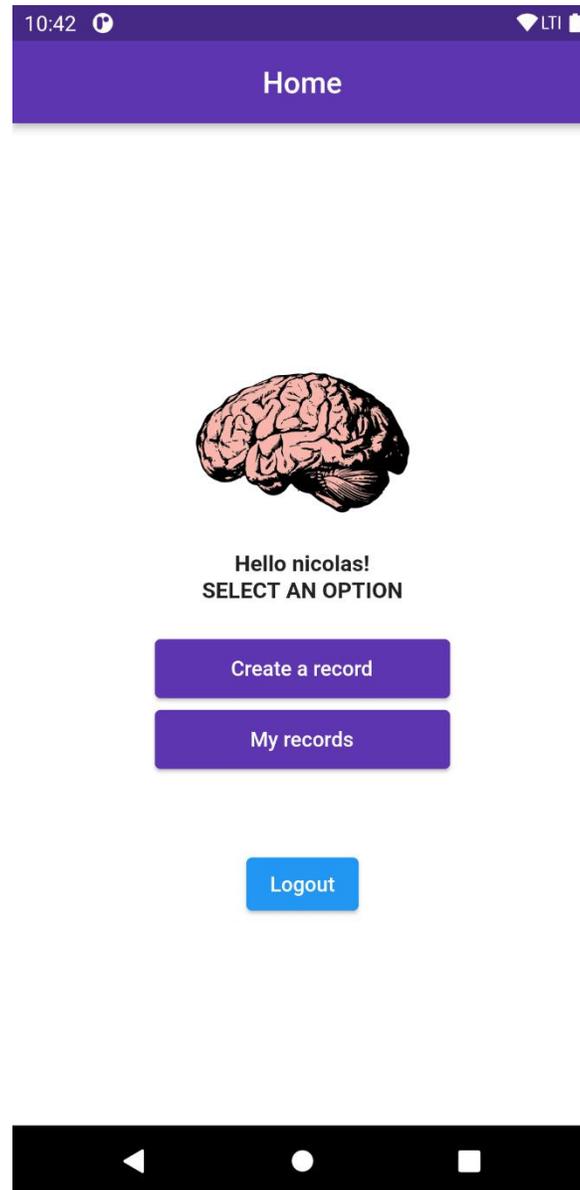
Email

Password

Register

Login

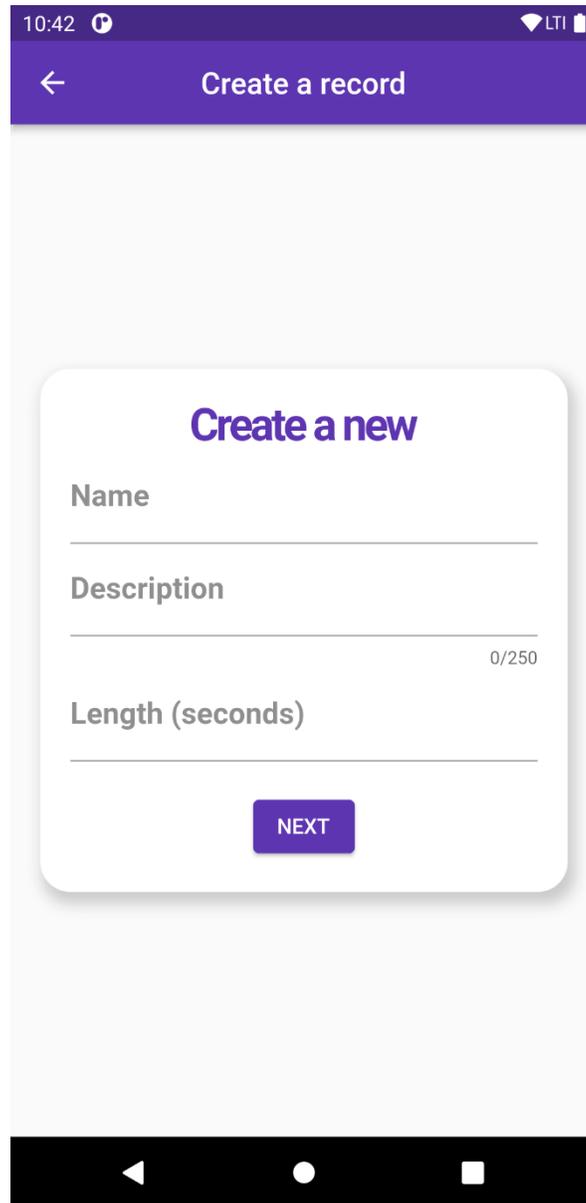
- **Register:** permite al usuario crear una nueva cuenta o registrarse por primera vez.

Figura 20*Pantalla principal*

- **Home:** es la pantalla principal de la app, permite seleccionar las opciones para:
 - Crear una grabación
 - Ver el listado de grabaciones
 - Cerrar sesión

Figura 21

Pantalla para la creación de una grabación

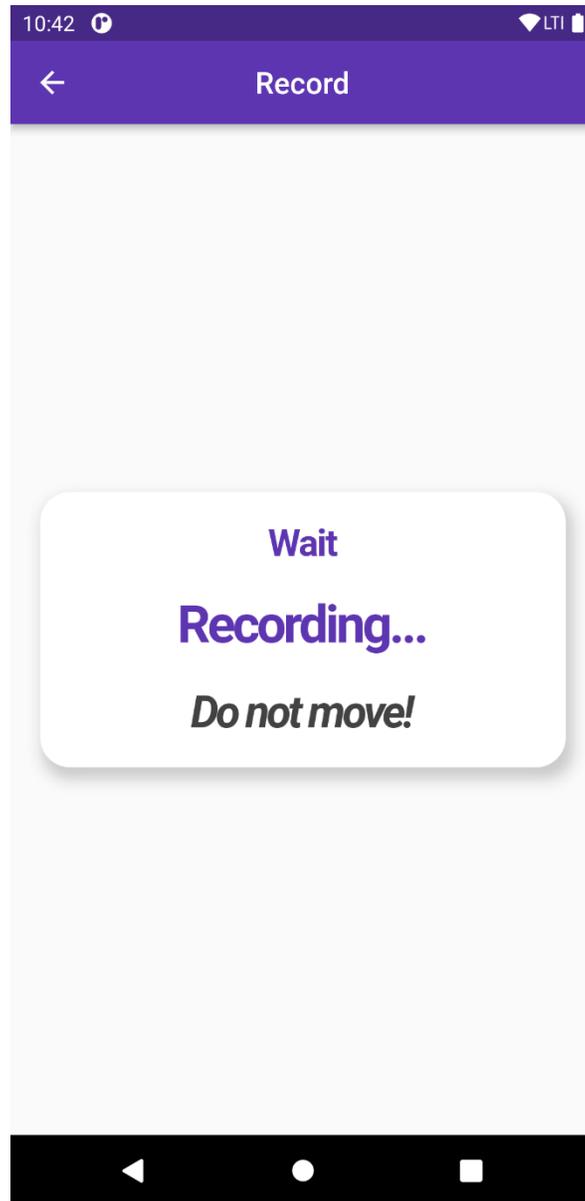


The screenshot shows a mobile application interface for creating a record. At the top, there is a purple header bar with a back arrow on the left and the text 'Create a record' in the center. Below the header, the main content area is white and contains a rounded rectangle with a purple shadow. Inside this rectangle, the text 'Create a new' is displayed in purple. Below this, there are three input fields: 'Name', 'Description', and 'Length (seconds)'. The 'Description' field has a character count '0/250' on the right side. At the bottom of the rounded rectangle, there is a purple button with the text 'NEXT' in white. The bottom of the screen shows the standard Android navigation bar with back, home, and recent apps icons.

- **Create a record:** permite al usuario crear una nueva grabación al completar los campos solicitados.

Figura 22

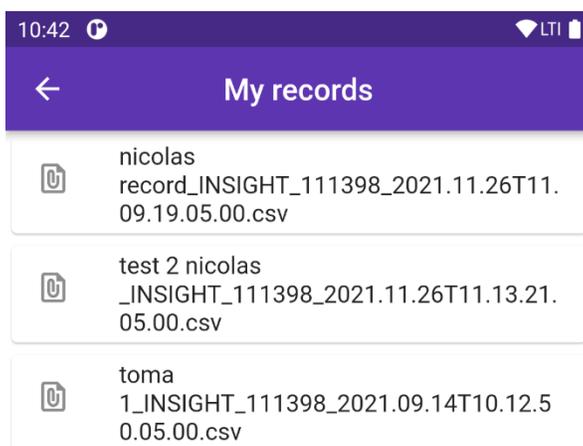
Pantalla de espera durante la grabación



- **Record:** esta pantalla se muestra cuando se inicia la grabación de las lecturas EEG por medio de la diadema Emotiv Insight, al terminar la grabación redirige al usuario a la pantalla del listado de grabaciones *My Records*.

Figura 23

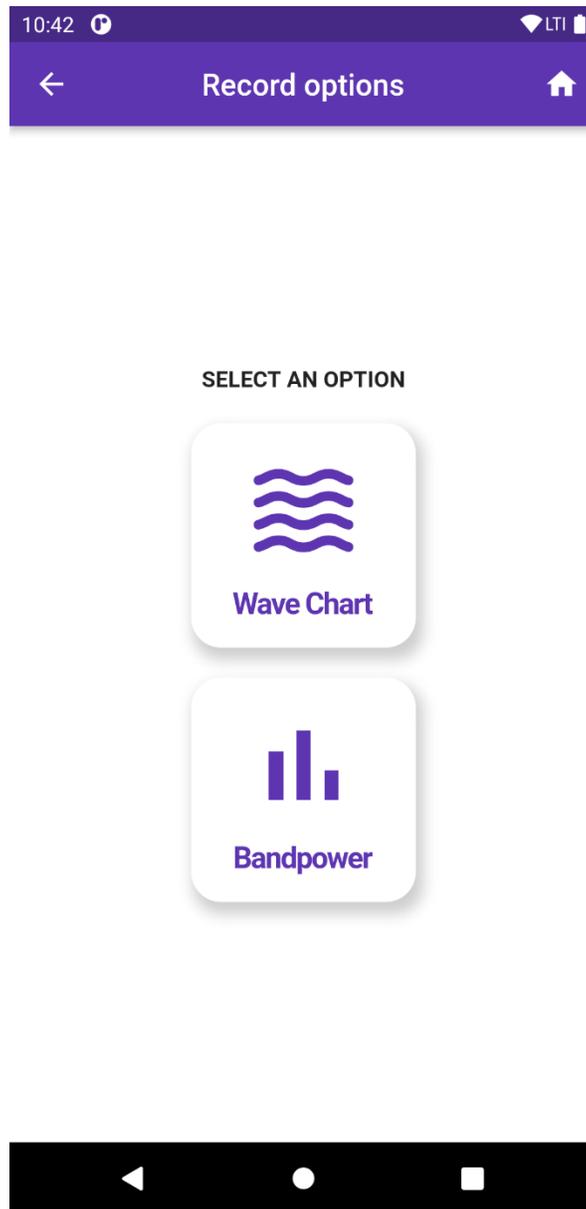
Pantalla para visualizar la lista de grabaciones del usuario



- **My records:** permite al usuario visualizar el listado de grabaciones que ha realizado, además le permite escoger una de ellas para ver datos específicos.

Figura 24

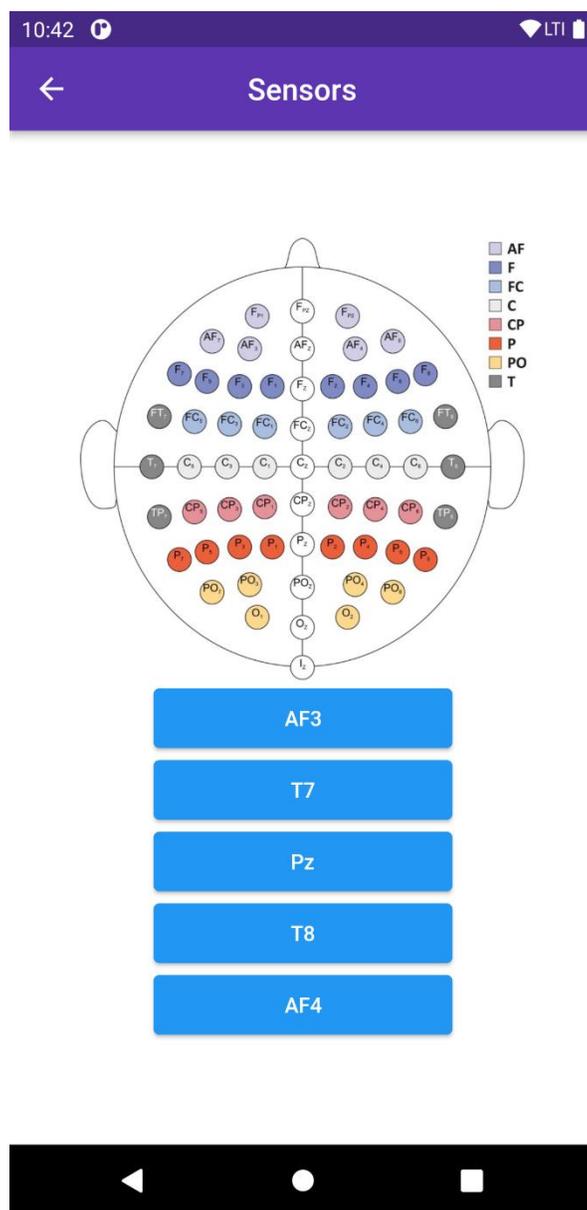
Pantalla de opciones para una grabación



- **Record options:** esta pantalla se muestra cuando el usuario selecciona una grabación del listado, allí están las opciones de:
 - Wave chart
 - Bandpower

Figura 25

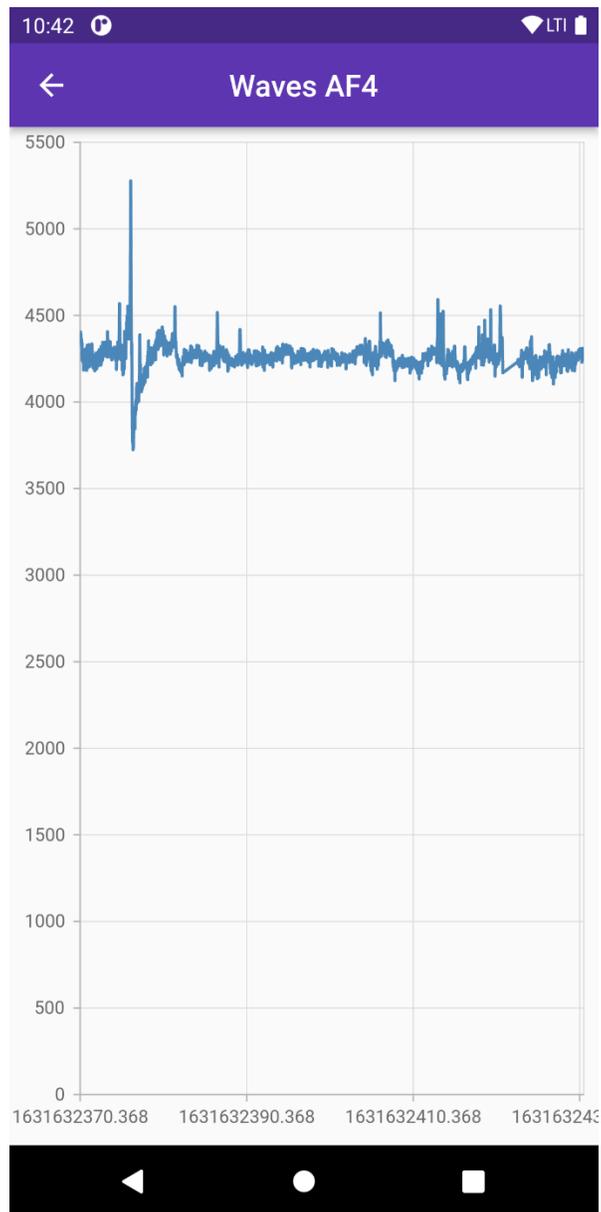
Pantalla para visualizar la lista de sensores



- **Sensors:** esta pantalla se muestra después de que el usuario haya escogido alguna de las opciones en la pantalla *Record options*, le permite seleccionar uno de los cinco sensores que incorpora el dispositivo Insight.

Figura 26

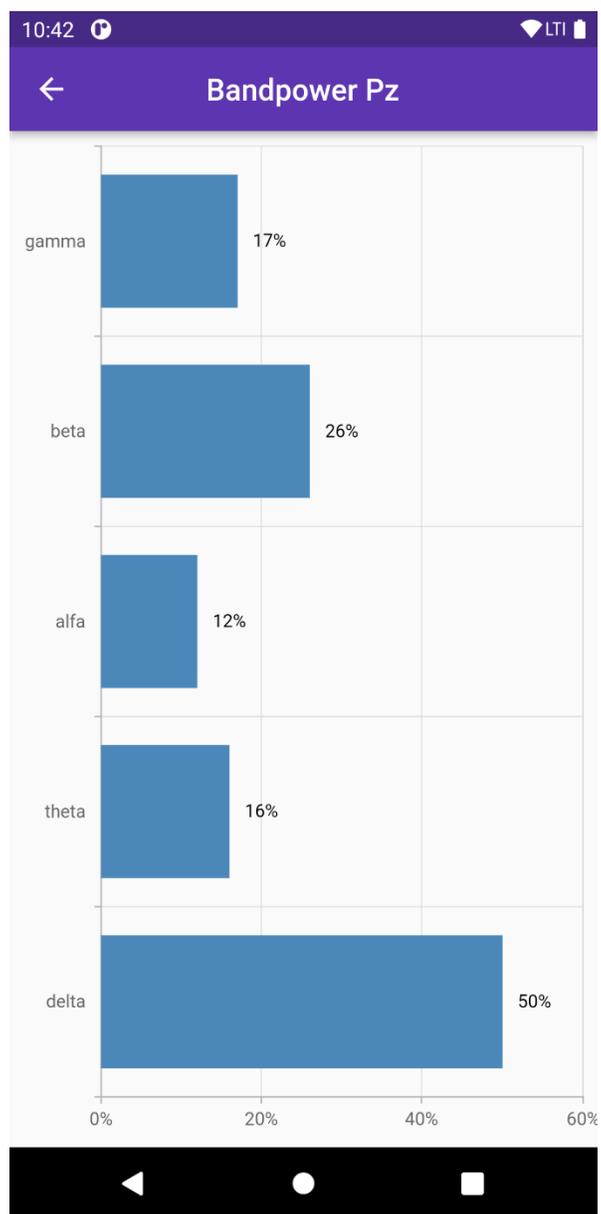
Pantalla para la visualizar las ondas de un sensor



- **Waves:** esta pantalla le permite al usuario visualizar la lectura de las ondas EEG tomada por un sensor en específico.

Figura 27

Pantalla para visualizar las bandas de frecuencia de un sensor



- **Bandpower:** esta pantalla le permite al usuario visualizar las bandas de frecuencia o tipos de ondas presentes en la lectura de un sensor en específico.

Conclusiones

- Con base en los objetivos planteados para el presente proyecto, se desarrolló el prototipo de una app móvil en Flutter que permite la visualización de información relevante acerca de lecturas EEG proporcionadas por el dispositivo Emotiv Insight. De igual forma, se logró determinar e identificar los tipos de ondas cerebrales presentes en cada lectura EEG, para cada uno de los sensores.
- Con la manipulación de la Raw data se logró identificar información que es el punto de partida para análisis y estudios más complejos referentes a las ondas EEG.
- Se determinó que el procesamiento digital de ondas es un proceso clave en cualquier estudio del campo de la neurociencia, ya que ofrece un gran abanico de funciones y modelos matemáticos que permiten extraer información valiosa de una señal.
- Se diseñó una arquitectura básica pero funcional para llevar a cabo la comunicación entre todos los componentes o actores necesarios para el ecosistema del proyecto (aplicación móvil).
- Con base en las comparaciones realizadas entre los resultados obtenidos por el procesamiento manual de las ondas en Python contra la información proporcionada por el software EmotivPRO es evidente que factores como el ‘ruido’ afectan en gran medida los análisis y resultados finales.
- Desde la perspectiva de la investigación un dispositivo como el Emotiv Insight resulta siendo una herramienta muy útil a nivel de hardware ya que permite

interactuar e identificar señales EEG sin la necesidad de utilizar equipos sofisticados o enfocados solo en el entorno de la medicina.

- Tomando el resultado final es factible tomar dicho prototipo de aplicación como base para algo más robusto y con más funcionalidades. Se da el primer paso al lograr conectar el dispositivo Emotiv Insight con un software independiente para visualizar y procesar la información que la diadema proporciona.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos se recomienda considerar o tomar en cuenta los siguientes aspectos de cara a futuros proyectos o investigaciones de la misma línea:

- Explorar la posibilidad de manejar la autenticación hacia las cuentas de Emotiv desde la misma aplicación.
- Integrar más funcionalidades referentes al procesamiento digital de las ondas, permitiendo así que el usuario tenga un abanico de opciones más amplio y dinámico.
- Implementar algoritmos de inteligencia artificial para facilitar los procesos de procesamiento y análisis de las neuroseñales.
- Agregar más capas a la arquitectura de la app para lograr una escalabilidad más óptima.

Bibliografía

- Corredor Camargo, J. A., Peña Cortés, C. A., & Pardo García, A. (2019). Evaluación de las emociones de usuarios en tareas con realimentación háptica utilizado el dispositivo Emotiv Insight. *INGE CUC*. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5595/Evaluaci%3%b3n%20de%20las%20emociones%20de%20usuarios%20en%20tareas%20con%20realimentaci%3%b3n%20h%3%a1ptica%20utilizado%20el%20dispositivo%20Emotiv%20Insight.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Digital55*. (s.f.). Obtenido de <https://www.digital55.com/desarrollo-tecnologia/que-es-firebase-funcionalidades-ventajas-conclusiones/>
- Emotiv Insight*. (s.f.). Obtenido de <https://emotiv.gitbook.io/insight-manual/>
- García Domínguez, A. E. (2015). Análisis de ondas cerebrales para determinar emociones a partir de estímulos visuales. (*Tesis de maestría*). Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46639/GarciaDominguezAna.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gonzales Wong, E. J. (2019). Clasificación de visualizaciones motoras utilizando señales de un EEG, basado en algoritmos de aprendizaje profundo. (*Tesis de maestría*). Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chihuahua, México. Obtenido de <http://repositorio.uach.mx/215/1/TESIS-%20GONZALEZ%20WONG%20EVELYN%20JANETH.PDF>

Neurofeedback. (24 de Julio de 2019). Obtenido de <https://www.neurofeedback.cat/que-son-las-ondas-cerebrales/>

NTI Audio. (s.f.). Obtenido de <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft>

Ortega Loaiza, C. E. (2021). Reconocimiento de emociones en humanos mediante procesamiento de señales EEG y estimulación auditiva. (*Tesis de maestría*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Bogotá DC, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79832/1015400969.2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Peña Cortés, C. A. (2015). Integración de un sistema de neuroseñales para detectar expresiones en el análisis de material multimedia. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/272165416_Integracion_de_un_sistema_de_neurosenales_para_detectar_expresiones_en_el analisis_de_material_multimedia

Python Basics. (s.f.). Obtenido de <https://pythonbasics.org/what-is-flask-python/>

Python.org. (s.f.). Obtenido de <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>

Rojas Contreras, M., & Cañas, S. M. (2020). Method for the construction of AR books and usability record through neuroseigns. *LACCEI*. Obtenido de http://www.laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP570.pdf

Torres, F., Sánchez, C., & Palacio-Baus, K. (2016). Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo MindWave. *Revista científica Maskana*. Obtenido de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/540/465>

Triglia, A. (s.f.). *Psicología y Mente*. Obtenido de

<https://psicologiaymente.com/neurociencias/lobulos-del-cerebro-funciones>

Villegas Méndez, B., & Rojas Fernández, M. (2019). Interfaz cerebro ordenador BCI mediante el uso de Emotiv Insight. *Scielo*. Obtenido de

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892019000100002

Zabcikova, M. (2019). Visual and Auditory Stimuli Response, Measured by Emotiv Insight

Headset. *MATEC Web of Conferences*. Obtenido de [https://www.matec-](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/41/mateconf_csc2019_01024.pdf)

[conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/41/mateconf_csc2019_01024.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/41/mateconf_csc2019_01024.pdf)