

# Development of a mobile application for the management of neurosignals recorded through a brain-computer interface

## Desarrollo de aplicación móvil para la gestión de neuroseñales registradas a través de una interfaz cerebro computador

Mauricio Rojas Contreras, PhD.<sup>1</sup>, Cesar Augusto Peña Cortes, PhD.<sup>2</sup>, Nicolás Peñaloza Gamba, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, mrojas@unipamplona.edu.co

<sup>2</sup> Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, cesarapc@unipamplona.edu.co

<sup>3</sup> Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, nicolasgambact@gmail.com

*Abstract- The objective of this work is the development of a mobile application to manage the neurosignals of a person recorded through a headband-type brain-computer interface. The application visualizes the brain waves generated by a stimulus and processes them in order to identify the levels of emotional variables that allow establishing the mental and emotional state of a person in the performance of an activity. Specifically, the application records the electrical impulses generated by the neurons before a stimulus through the Emotiv Insight device and manages them through the Cortex API and the Python Flask library, finally the data is displayed in the mobile app through of the functionalities of the application. The result is a mobile application that allows visualizing the brain waves and the variables of interest, commitment, stress, relaxation, arousal and commitment of a person when performing a particular activity. In conclusion, the mobile application allows to identify the mental and emotional state of an individual before a stimulus or activity developed through the recorded emotional signals.*

*Key Words - neurosignals, emotional variables, mobile development, software development process, brain computer interface*

*Resumen – El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una aplicación móvil para gestionar las neuroseñales de una persona registradas a través de una interfaz cerebro computador de tipo diadema. La aplicación visualiza las ondas cerebrales generadas ante un estímulo y las procesa con el fin de identificar los niveles de variables emotivas que permiten establecer el estado mental y emocional de una persona en el desempeño de una actividad. En forma específica, la aplicación registra los impulsos eléctricos generados por las neuronas ante un estímulo a través del dispositivo Emotiv Insight y los gestiona por medio de la API Cortex y la librería Flask de Python, finalmente los datos son visualizados en la app móvil a través de las funcionalidades de la aplicación. El resultado es una aplicación móvil que permite visualizar las ondas cerebrales y las variables interés, compromiso, estrés, relajación, excitación y compromiso de una persona al ejecutar una actividad particular. En conclusión, la aplicación*

*móvil permite identificar el estado mental y emocional de un individuo ante un estímulo o actividad desarrollada a través de las señales emotivas registradas.*

*Palabras clave - neuroseñales, variables emotivas, desarrollo móvil, proceso de desarrollo de software, interfaz cerebro computador*

### I. INTRODUCCIÓN

Los avances en el campo de la neurociencia integrados a los desarrollos implementados a través de las ciencias computacionales han permitido mejorar los indicadores de investigación en los diferentes campos disciplinares. En forma específica, los avances en el desarrollo móvil han permitido implementar aplicaciones que permitan gestionar los datos generados en campos disciplinares como la neurociencia, permitiendo de esta manera optimizar los procesos de investigación aplicada. Adicionalmente, la comercialización de dispositivos electrónicos con sensores del tipo interfaz cerebro computador a precios accesibles ha permitido el registro de los impulsos eléctricos de las neuronas a través de procedimientos no invasivos[1].

Una interfaz cerebro computador (ICC) se define como un sistema de comunicación o control que se basa en ondas cerebrales (electroencefalograma - EEG) generadas conscientemente para controlar un mecanismo real o virtual[2]. Las ICC han evolucionado a través del tiempo y se puede acceder a estos dispositivos a precios razonables, entre los modelos que se encuentran en el mercado se encuentran MindFlex de Mattel[3], MindSet de NeuroSky[4], Muse de InteraXon[5] y el Emotiv Insight[6]. El dispositivo utilizado en esta investigación corresponde al Emotiv Insight, el cual registra las señales cerebrales medidas a través de los sensores y seis señales emotivas calculadas a través de las ondas cerebrales: Interés, Compromiso, Estrés, Relajación, Excitación y concentración[7].

En cuanto a la conceptualización de las señales emotivas, se pueden definir de la siguiente manera: 1) Interés es el grado

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.505>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

de atracción o rechazo de la actividad que se está ejecutando. 2) Compromiso mide el grado de inmersión de un usuario en un experimento y está relacionado con la atención y la concentración. 3) Estrés mide el grado de comodidad de un individuo en un experimento. 4) Relajación es la capacidad que tiene el cerebro de alcanzar un estado tranquilo. 5) Excitación es el grado de entusiasmo emocional y de alerta que se presenta mental y físicamente. 6) Concentración es el grado de atención que se mantiene en una tarea fijamente[8].

Por otro lado, las ondas cerebrales registradas en un procedimiento de electroencefalografía (EEG) se clasifican de acuerdo a las bandas de frecuencia determinadas por los intervalos, en forma específica la onda Delta se identifica en rangos de frecuencia entre 0.5 a 3.5 Hz, la onda Theta se presenta en rangos de frecuencia entre 3.5 y 7.5 Hz, la onda Alpha maneja rangos de frecuencia entre 7.5 y 12.5 Hz, la onda Beta se caracteriza por manejar rangos de frecuencia entre 12.5 y 30 Hz, la onda Gamma maneja rangos entre 30 y 60 Hz[9]. En forma complementaria, de acuerdo con la tipología de señales eléctricas en el cerebro, se han identificado diferentes tipos de actividad asociados con la presentación de estímulos sensoriales. Particularmente, la categoría denominada actividad evocada se caracteriza porque muestra una correlación directa con la presentación de un estímulo presentando información importante para investigaciones experimentales en el campo disciplinar de la neurociencia[10].

El registro de las ondas cerebrales a través del dispositivo Emotiv Insight y particularmente las ondas EEG se utilizan como entrada para el aplicativo móvil, iniciando con la integración del software Cortex de Emotiv PRO y la librería de Python Flask, la cual desempeña funciones de intermediario, finalmente los datos procesados se envían a la aplicación en flutter con el fin de implementar las funcionalidades de la aplicación móvil

Este artículo describe el proceso de desarrollo de software de la aplicación móvil para la gestión de las señales emotivas registradas a través de ondas cerebrales captadas por medio del dispositivo Emotiv Insight[11];[12];[7]. En forma específica, describe las fases de ingeniería de requerimientos, diseño, implementación de la aplicación móvil de gestión de neuroseñales[13]. La aplicación móvil construida sirve de soporte para procesos de investigación en el campo de la neurociencia, permitiendo la visualización y análisis de las ondas cerebrales emitidas ante un estímulo con el fin de identificar patrones en las ondas que permitan identificar indicadores de variables emotivas como la alegría, el aburrimiento y la depresión.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se detallan los materiales y métodos empleados en el desarrollo de la aplicación móvil para la gestión de neuroseñales. En forma específica, las etapas desarrolladas en el proceso de investigación se muestran en la fig. 1, las cuales

se adaptan del modelo en cascada de la ingeniería del software[14];[15].

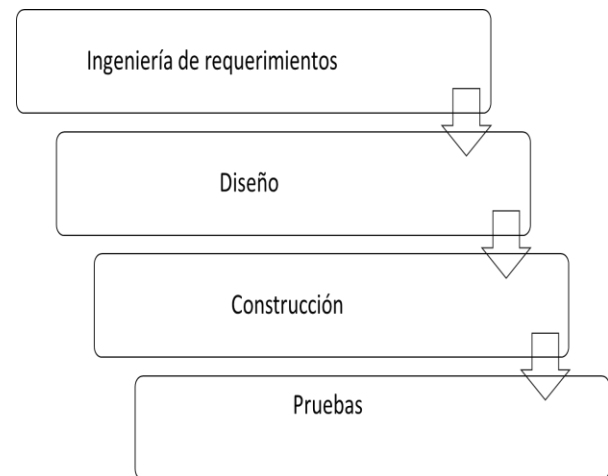


Fig. 1. Proceso de desarrollo de software app móvil gestión neuroseñales

La etapa de ingeniería de requerimientos tiene por alcance la identificación de los requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación móvil[13]. Particularmente, entre los requerimientos no funcionales relevantes para la aplicación se especifica que el registro de neuroseñales se debe realizar a través del dispositivo Emotiv Insight y la API Cortex que genera la data de cada registro como se muestra en la fig. 2[8].

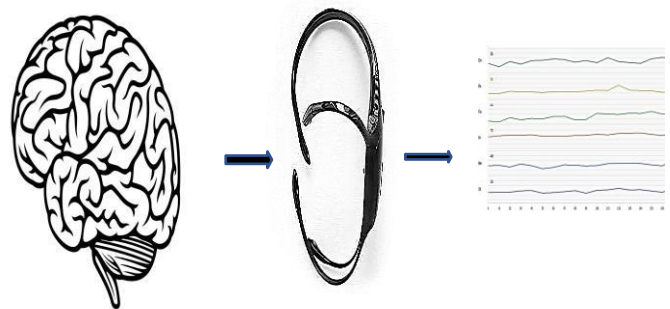


Fig. 2. Registro de ondas cerebrales a través de Emotiv Insight

La etapa de diseño genera la arquitectura de software del producto, la cual especifica los módulos o subsistemas que van a integrar el producto final.

La etapa de construcción tiene por alcance implementar los modelos generados en las etapas previas del proceso de software y construir cada uno de los módulos especificados en la arquitectura de software. En forma complementaria, en esta etapa se llevó a cabo el proceso de integración de los módulos.

En la etapa de pruebas se ejecutaron las pruebas unitarias y las pruebas de integración del sistema. Adicionalmente, se llevó a cabo un experimento con individuos interactuando con un videojuego con el fin de validar los datos registrados a través del dispositivo Emotiv Insight.

En cuanto a los materiales para el desarrollo del Proyecto se utilizó la diadema Insight de la empresa Emotiv, la cual permite el registro de ondas electroencefalográficas a través de los sensores incorporados. El dispositivo permite identificar la actividad eléctrica cerebral en cinco canales específicos de acuerdo a sus electrodos (AF3, AF4, T7, T8, Pz). El método de muestreo utilizado por el dispositivo es secuencial y tiene un tasa de muestreo de 128 SPS (2048 Hz interno). Adicionalmente, el dispositivo incorpora un muestreo de movimiento de 64 Hz.

### III. RESULTADOS

La aplicación móvil para la gestión de neuroseñales responde a requerimientos de usabilidad y amigabilidad. En forma específica, en el proceso de desarrollo de software en la etapa de Ingeniería de requerimientos se identificaron los requerimientos funcionales: Iniciar sesión, Registrar usuario, Crear registro de neuroseñales (grabación), listar grabaciones de neuroseñales, Cerrar sesión de acuerdo al diagrama de casos de uso de la fig. 3. Los casos de uso especifican las funcionalidades a las cuales tiene acceso el actor dentro la aplicación móvil y adicionalmente indican que puede hacer un actor en el sistema o producto software.

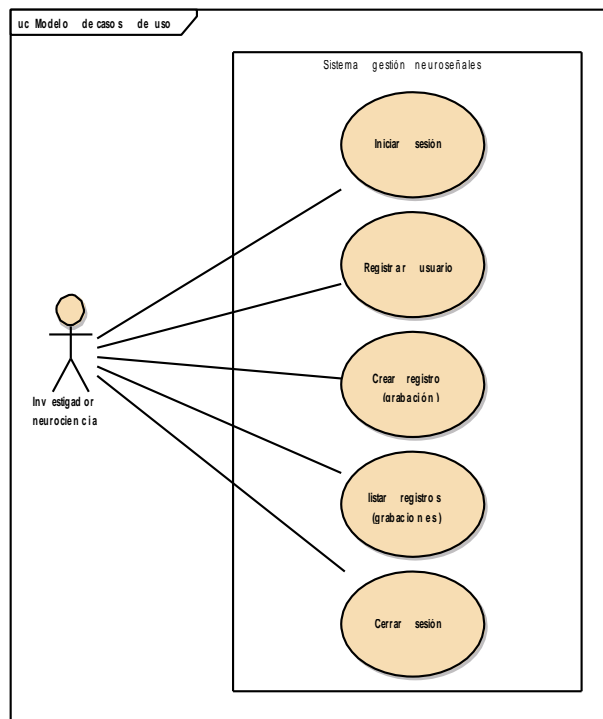


Fig. 3. Requerimientos funcionales Sistema gestión neuroseñales

En referencia a los requerimientos no funcionales, se especificó que el dispositivo Emotiv Insight se debe someter a un proceso de calibración previo al registro de las ondas cerebrales de un experimento y se debe garantizar valores

superiores al 80% en la calidad de contacto de los sensores con el fin de garantizar mayor confiabilidad en el registro y visualización de las ondas cerebrales.

La etapa de diseño generó como producto principal la arquitectura de software del sistema, teniendo como alcance final reducir el nivel de complejidad en la construcción del sistema y mejorar los procesos de estimación de tiempos y costos en la gestión del producto software. En forma específica, la arquitectura de software para el Sistema de gestión de neuroseñales está especificada en 5 capas; en primera instancia está la capa física de registro de neuroseñales a través de un dispositivo electrónico de tipo diadema de 5 sensores de referencia Emotiv Insight; en segunda instancia, se encuentra la capa de gestión de neuroseñales a través de la API Cortex suministrada por la casa comercial Emotiv [16]; en tercera instancia, se encuentra la capa de procesamiento del Row Data, la cual se implementó por medio de la librería Flask de Python [17,18]; en cuarta instancia, se especificó la capa de funcionalidades la cual se implementó a través de Flutter [19] y finalmente la capa de persistencia se implementó a través de Firebase como se visualiza en la fig. 4. La comunicación entre capas se especifica a través de servicios que ofrece una capa a la otra y se implementan a través de interfaces.

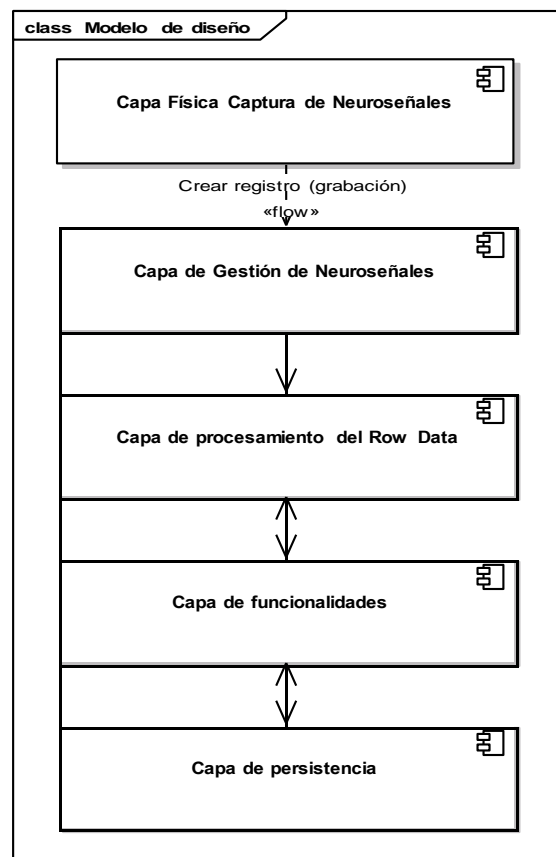


Fig. 4 Arquitectura de software Sistema gestión de neuroseñales

La etapa de construcción tiene como alcance la implementación de cada uno de los módulos especificados en la arquitectura de software y al mismo tiempo llevar a cabo el proceso de integración en la aplicación móvil. Particularmente, se muestran en la fig. 5 las maquetas de pantalla implementadas para la aplicación de acuerdo a la especificación del Sistema. En forma complementaria, se implementan las interfaces que permiten la comunicación entre capas a través de las tecnologías especificadas en la etapa de diseño.

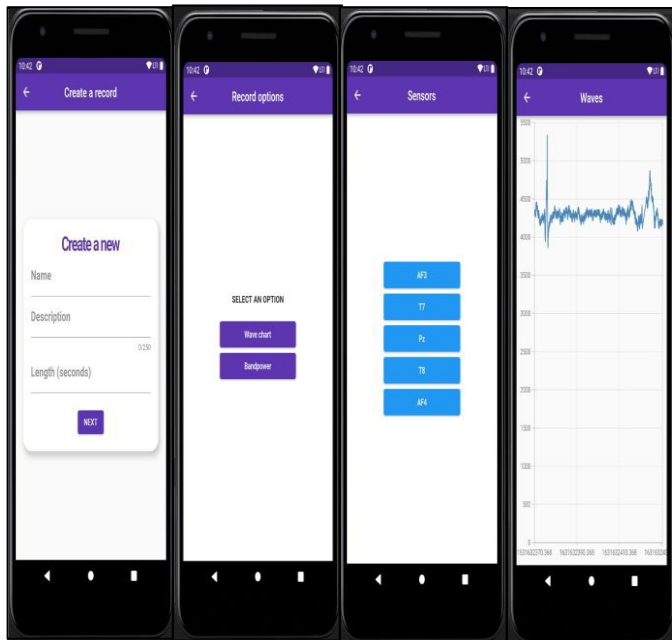


Fig. 5. Secuencia de interfaces de la aplicación móvil

En la fase de pruebas, se diseñaron casos de prueba para cada una de las funcionalidades de la aplicación móvil con el fin de encontrar diferencias entre el comportamiento planeado en la especificación del Sistema y el comportamiento observado en la ejecución de cada una de las funcionalidades implementadas. En forma específica, se ejecutaron casos de prueba para las funcionalidades Iniciar Sesión, Registrar Usuario, grabar registro, visualizar onda, visualizar bandas, listar registros.

Con el fin de comprobar el nivel de asertividad de los registros y los indicadores de las variables emotivas proporcionadas por la aplicación móvil se llevó a cabo un experimento, el cual consistió en tomar los registros de las ondas cerebrales de tres individuos con características similares en cuanto a edad y nivel de formación ante un estímulo de interacción con un nivel particular de un videojuego. Posteriormente, se aplicó un instrumento de

percepción, en el cual se le solicitó a los individuos que indicaran el nivel de las variables emotivas Interés(In), Compromiso(En), Estrés(St), Relajación(Re), Excitación (Ex) y concentración (Fo) que creían haber percibido ante el estímulo del experimento. Los indicadores de las variables emotivas registrados en el experimento se visualizan en la tabla 1.

Tabla 1. Comparativo de señales emotivas

	Resultados App Móvil						Resultados Instrumento					
	En	Ex	Fo	In	Re	St	En	Ex	Fo	In	Re	St
I1	59	63	35	54	61	45	70	70	50	70	70	30
I2	44	59	29	57	33	36	70	70	70	50	50	50
I3	70	13	34	54	21	30	90	70	90	70	90	10

El proceso de comparar los resultados obtenidos a través de la aplicación móvil y los obtenidos a través del instrumento de percepción permitió establecer una diferencia promedio del 23% en los indicadores de las variables emotivas. El uso de la interfaz cerebro computador en los experimentos permitió identificar algunos problemas en el registro de las señales emotivas, entre las cuales se pueden enunciar las fluctuaciones en la calidad del contacto de los sensores del dispositivo, pérdida de calidad en la lectura de las señales debido al tiempo de uso prolongado de los sensores y en forma complementaria en el momento de configuración y calibración del dispositivo presenta algunos problemas de conectividad de los sensores en personas con abundante cabello.

#### IV. CONCLUSIONES

El análisis de las ondas cerebrales registradas a través de interfaz cerebro computador (ICC) ha permitido el desarrollo de procesos de investigación en diferentes áreas del conocimiento. Particularmente, en el campo de los estados mentales, el registro de las ondas cerebrales a través de interfaz cerebro computador de tipo Emotiv Insight ha permitido identificar los indicadores de variables emotivas de personas ante un estímulo a partir de las impulsos eléctricos cerebrales generados por la persona en reacción a un evento.

El análisis de las señales eléctricas generadas por el cerebro ante un estímulo y registradas a través de interfaz cerebro computador ha permitido identificar indicadores de variables emotivas de las personas ante un estímulo por medio del tratamiento de señales y la utilización de algoritmos de las ciencias computacionales; particularmente, se ha podido acceder a indicadores de variables como el interés, el compromiso, el estrés, la relajación, la excitación y la concentración en experimentos de diferentes campos disciplinares del conocimiento[11];[20].

La integración de tecnologías emergentes como el desarrollo móvil con campos disciplinares como el tratamiento digital de señales permite avanzar en el análisis de las ondas cerebrales ante estímulos del tipo experimentos de otros

campos disciplinares. Adicionalmente, permite el análisis de las ondas cerebrales con el fin de diseñar algoritmos que permitan identificar los indicadores de otras variables emotivas como la alegría, el aburrimiento y la depresión ante estímulos en diferentes experimentos.

La utilización de aplicaciones móviles en campos como la electroencefalografía permite aumentar la portabilidad y la usabilidad de información relacionada con la visualización de las ondas cerebrales y los tipos de ondas frecuentes ante estímulos de diferentes tipos en campos disciplinares de diferentes áreas del conocimiento, lo cual se convierte en una herramienta valiosa para proyectos de investigación interdisciplinares.

El uso particular de la aplicación móvil en el contexto de la investigación permite registrar las señales EEG de individuos ante estímulos diferentes que permiten emprender proyectos de investigación aplicada en campos disciplinares que necesiten del análisis de señales EEG. En forma complementaria, la aplicación permite aumentar el dominio de registros almacenados en la estrategia de persistencia de la aplicación y también minimiza una debilidad que consiste en aumentar el tiempo de grabación de las señales registradas en los experimentos.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Y. Tejedor-Morales, D. Valdes-Guevara, and J. Mendoza-Rodriguez, "Modelo de interfaz cerebro-computador de bajo costo como medio para mejorar la calidad de vida de las personas de la tercera edad," *Rev. Iniciación Científica*, vol. 4, no. 2, pp. 19–25, Apr. 2019, doi: 10.33412/rev-ric.v4.2.2145.
- [2] K. Holewa and A. Nawrocka, "Emotiv EPOC neuroheadset in brain - computer interface," in *Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, May 2014, pp. 149–152, doi: 10.1109/CarpathianCC.2014.6843587.
- [3] J. Katona, I. Farkas, T. Ujbanyi, P. Dukan, and A. Kovari, "Evaluation of the NeuroSky MindFlex EEG headset brain waves data," in *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi)*, Jan. 2014, pp. 91–94, doi: 10.1109/SAMI.2014.6822382.
- [4] M. Eid and A. Fernandez, "ReadGoGo!: Towards real-time notification on readers' state of attention," in *2013 XXIV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT)*, Oct. 2013, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICAT.2013.6684047.
- [5] W. A. Dijk, W. van der Velde, W. J. M. Kolkman, H. J. G. M. Crijns, and K. I. Lie, "Integration of the Marquette ECG management's system into the Department Information System using the European SCP-ECG Standard," in *Computers in Cardiology 1995*, pp. 397–400, doi: 10.1109/CIC.1995.482669.
- [6] S. Saganowski, "Bringing Emotion Recognition Out of the Lab into Real Life: Recent Advances in Sensors and Machine Learning," *Electronics*, vol. 11, no. 3, p. 496, Feb. 2022, doi: 10.3390/electronics11030496.
- [7] J. A. Corredor Camargo, C. A. Peña Cortés, and A. Pardo García, "Evaluación de las emociones de usuarios en tareas con realimentación háptica utilizado el dispositivo Emotiv Insight," *INGE CUC*, vol. 15, no. 1, pp. 9–16, Mar. 2019, doi: 10.17981/ingecuc.15.1.2019.01.
- [8] M. Rojas Contreras, C. A. Peña Cortés, and L. A. Moreno Cuevas, "Análisis De Variables Emotivas Con Interfaz Cerebro-Computador Correlacionadas Con Indicadores De Sueño En La Escritura Científica En Educación Superior," 2021, doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.467.
- [9] D. Calderón Martínez, "Procesamiento de ondas cerebrales con microprocesador ARM para control de coche teledirigido," Universidad de Sevilla, Sevilla, 2016.
- [10] C. S. . G. M. . & B. N. A. Herrmann, *11 eeg oscillations and wavelet analysis*. 2005.
- [11] M. Rojas-Contreras, C. A. Peña-Cortés, and S. M. Cañas-Rodríguez, "Measurement of emotional variables through a brain-computer interface in the interaction with books with augmented reality in higher education," in *Journal of Physics: Conference Series*, Dec. 2020, vol. 1674, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/1674/1/012016.
- [12] L. A. Moreno-Cueva, C. A. Peña Cortés, and H. González, "Integración de un sistema de neuroseñales para detectar expresiones en el análisis de material multimedia," *Rev. Fac. Ing.*, vol. 24, no. 38, pp. 29–40, 2015.
- [13] B. Bruegge and A. Dutoit, *Ingeniería de software orientado a objetos*. 2002.
- [14] S. Sánchez, M. Á. Sicilia, and D. Rodríguez, *Ingeniería del software. Un enfoque desde la guía SWEBOK*. 2012.
- [15] C. Máñez-carvajal, J. Francisco, U. Católica, D. V. San, V. Mártir, and S. Corazón, "Desarrollo de aplicación móvil para niños con dificultades de aprendizaje de la lectura y escritura Development of a mobile application for children with reading and writing learning difficulties," vol. 33, no. 1, pp. 271–278, 2022.
- [16] D.-M. Ancau, M. Ancau, and M. Ancau, "Deep-learning online EEG decoding brain-computer interface using error-related potentials recorded with a consumer-grade headset," *Biomed. Phys. Eng. Express*, vol. 8, no. 2, p. 025006, 2022, doi: 10.1088/2057-1976/ac4c28.
- [17] "flask-sqlalchemy." <https://flask->

- sqlalchemy.palletsprojects.com/en/2.x/quickstart/.
- [18] L. Tung Lun, T. Swee Chin, M. K. Ishak, and M. S. Mohd Asaari, "CLOUD-BASED TEMPERATURE MONITORING MECHANISM FOR COVID-19 PANDEMIC TRACKING," *J. Teknol.*, vol. 84, no. 1, pp. 241–247, 2021, doi: 10.11113/jurnalteknologi.v84.17116.
- [19] J. Ala-aho and O. Karjalainen, "DEVELOPMENT OF A FLUTTER MOBILE APPLICATION USING."
- [20] M. R. Contreras, C. A. P. Cortes, and L. A. Moreno, "Analysis of emotional variables with Brain-Computer Interface correlated with sleep indicators in scientific writing in higher education," in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, 2021, vol. 2021-July, doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.467.