



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Desarrollo de un sistema de información para la adquisición y visualización de señales bioeléctricas

Development of an information system for the acquisition and visualization of bioelectrical signals

Jarillo-Silva, A.^{a*}, Santiago-Martínez, L.F.^a, Gómez-Pérez, V.A.^a, Hernández-Miguel, I.U.^a, Marín-Urías, L.F.^b

^a Instituto de Informática; Universidad de la Sierra Sur; CP 70805; Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

^b Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; Universidad Veracruzana; CP 94294, Boca del Río, Veracruz.
ajarillo0205@gmail.com*; cadeisluisxto22@gmail.com; applevig@hotmail.com; irving.u.h.m@gmail.com;
luisfelipe.marin@gmail.com

Innovación tecnológica: Software para la adquisición y visualización de señales bioeléctricas.

Área de aplicación industrial: Salud y educación, e-salud.

Recibido: 26 noviembre 2021

Aceptado: 07 agosto 2022

Abstract

Nowadays bioelectric signals take more and more importance in the development of apps. In the area of Human Computer Interaction (HCI) it is of great importance, for evaluating the user experience is necessary to know the cognitive and affective state of the users when interacting with a system. To determine the cognitive and affective state of a subject, techniques based on perception, physiological responses and subjectively are used. In the case of physiological responses, signals such as; heart rate, blood pressure, brain activity, skin activity, among others. However, one of the great challenges is the development of free software bioelectrical information systems, meaning the source code is available for study, modification, distribution and improvement. In addition to this, these systems must integrate bioelectric sensors of various open architecture technologies, on the other hand, the system must allow the processing, storage and visualization of bioelectric information. This paper describes the development of a bioelectrical information system, which on the one hand has the ability to condition different sensing

technologies, and on the other hand it is capable of conditioning, storing and displaying the information provided by them, in addition to generating reports. and record personal and clinical information of the test subjects. For the development of this proposal, the Model View Controller (MVC) software architecture was used, among the technologies for the development process are: Java, MySQL and C language. The results obtained establish that it is possible to develop an information system capable of conditioning bioelectric sensors of different technologies and allowing the visualization and storage of the signals of each sensor, in addition to integrating a report module and user file. Finally, the results of the preliminary tests to validate the functionality and usability show that the system is functional and usable. Therefore, it is concluded that by using a modular architecture and following the proposed methodology, it is possible to develop a bioelectrical information system that meets the needs of the scientific community.

Keywords: Bioelectric signals, data acquisition, software.

Resumen

Hoy en día las señales bioeléctricas toman más y más importancia en el desarrollo de aplicaciones. En el área de la Interacción Humano Computadora (IHC) es de gran importancia, ya que para evaluar la experiencia del usuario se requiere conocer el estado cognitivo y afectivo de los usuarios al interactuar con un sistema. Para determinar el estado cognitivo y afectivo de un sujeto se emplean técnicas basadas en la percepción, en respuestas fisiológicas y de manera subjetiva, en el caso de respuestas fisiológicas se consideran señales como; ritmo cardíaco, presión sanguínea, actividad del cerebro, actividad de la piel, entre otras. Sin embargo, uno de los grandes retos es el desarrollo de sistemas de información bioeléctrica de software libre, es decir que se encuentre disponible el código fuente para su estudio, modificación, distribución y mejoramiento. Además, estos sistemas deben integrar sensores bioeléctricos de diversas tecnologías de arquitectura abierta, por otra parte, el sistema debe permitir el procesamiento, almacenamiento y visualización de la información bioeléctrica. En este trabajo se describe el desarrollo de un sistema de información bioeléctrica, que por un lado tenga la capacidad de acondicionar diferentes tecnologías de sensado, y por otro sea capaz de acondicionar, almacenar y visualizar la información que proporcionan los mismos, además de generar reportes y registrar información personal y clínica de los sujetos de prueba. Para el desarrollo de esta propuesta se utilizó la arquitectura de software Modelo Vista Controlador (MVC), entre las tecnologías para el proceso de desarrollo están: Java, MySQL y lenguaje C. Los resultados obtenidos establecen que es posible desarrollar un sistema de información capaz de acondicionar sensores bioeléctricos de diferentes tecnologías y permitir visualizar y almacenar las señales de cada sensor, además de integrar un módulo de reportes y expediente de usuario. Finalmente, los resultados de las pruebas preliminares para validar la funcionalidad y usabilidad demuestran que el sistema es funcional y usable. Por lo tanto, se concluye que al emplear una arquitectura modular y siguiendo la metodología propuesta es posible desarrollar un sistema de información bioeléctrica que satisfaga las necesidades de la comunidad científica.

Palabras clave: Señales bioeléctricas, adquisición de datos, software.

1. Introducción

En el área de la salud es común encontrar procesos que se generan durante la ejecución de pruebas experimentales. Algunos de estos procesos requieren de la recolección y análisis de información bioeléctrica, por ejemplo, estudios sobre emociones, memoria cognitiva, demencia, neuromarketing por mencionar algunos de ellos. La problemática reside en que muchos de estos procesos se aplican de manera tradicional, por ejemplo, formularios, bitácoras, informes a lápiz y/o papel aumentando la probabilidad de cometer errores al momento de recolectar los datos, el tiempo de aplicación, la organización y el acceso a la información resulta ser un proceso lento. Sin embargo, al utilizar herramientas virtuales se genera una oportunidad en los ámbitos de investigación, de organización, de medición y evaluación, permitiendo el control de variables que no se podrían o que se complicarían controlar por medio de los formatos manuales.

Durante los últimos años se ha llevado a cabo, la integración y el monitoreo de diversas actividades fisiológicas del cuerpo humano durante el estudio de su comportamiento humano (Clémence & Dominique, 2016; Muthu, et al., 2013). La actividad electrodérmica ha sido ampliamente utilizada como una medida de activación del sistema nervioso autónomo. Las medidas de respuesta de conductancia de la piel (Skin Conductance Response) han ganado popularidad en estudios clínicos, neurocientíficos y lógicos sobre emociones, toma de decisiones y condicionamiento, orientación, atención y decepción (Steven, et al., 2013; Gatti, et al., 2018). El análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca es otro indicador que ha sido empleado para evaluar estados clínicos asociados al envejecimiento, enfermedad y estados psicológicos (Fuentes et al., 2020). El estudio de las señales del cerebro y el avance

de la tecnología ha permitido el tratamiento de estas señales en diferentes campos, desde el estudio de las emociones, modelos de reconocimiento, clasificación de señales, diagnóstico hasta el marketing y la educación (Al-Nafjan, et al., 2017; Lyon, et al., 2018).

En el mercado de software existen herramientas que permiten la captura, análisis, almacenamiento y procesamiento de información de señales bioeléctricas, por ejemplo, electroencefalograma (EEG), electrocardiograma (ECG), temperatura corporal, presión sanguínea y conductancia de la piel. La empresa Emotiv ha desarrollado un software llamado Emotiv Pro, el cual permite interactuar con el dispositivo Emotiv EPOC+, otorga una visualización en tiempo real de las secuencias de datos del casco Emotiv, que incluyen las señales de cada electrodo, métricas de rendimiento, datos de movimiento, adquisición y pérdida de paquetes de datos y calidad de contacto de cada electrodo. También es posible almacenar la información de cada uno de los experimentos, dicha información se encuentra accesible en la nube, donde se tiene la opción de reproducirlos nuevamente o exportarlos para un análisis en específico (Empresa Emotiv, 2022). Otro sistema es ConsensysPRO el cual integra diferentes tipos de sensores. Este software agrega características significativas a su interfaz en tiempo real, por ejemplo, la visualización de datos y la disponibilidad de dispositivos desde un electrocardiógrafo hasta un sensor de conductancia de la piel. Está diseñado para la recopilación de datos personales y clínicos, experimentos repetibles a gran escala y gestión general de sensores múltiples (Shimmer, 2022). Sin embargo, la adquisición de este tipo de software implica un costo que en muchas ocasiones es elevado o bien, únicamente se permite el uso de formatos específicos o de funciones limitadas. Algunas instituciones de educación

han desarrollado sistemas que integran algunas de estas actividades fisiológicas, con el objetivo de llevar a cabo estudios relacionados con el desarrollo de sistemas cerebro máquina, estudio de emociones, experiencia de usuario, estudio de estados cognitivos, etc.

En la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), se desarrolló un sistema que emplea un dispositivo Emotiv EPOC+, el cual tiene como finalidad incorporar la automatización a los procesos realizados en las pruebas de usuarios y en la captura de datos. En el laboratorio Labhuman de la UPV se realizó una serie de experimentos con ayuda del software y el electroencefalógrafo mencionado, con los sensores del casco algunos marcadores automáticos eran activados por los mismos usuarios (Alegre-Marzo, 2013). Una de las limitaciones de este sistema es que solo emplea la lectura del EEG y no se consideraron otras señales, como el pulso cardíaco o la conductancia eléctrica de la piel.

En 2017 en la Universidad de Oulu, Finlandia, se implementó un electroencefalógrafo, que evalúa la activación cognitiva y emocional cuando se codifica en diferentes lenguajes de programación, en ese trabajo de tesis se planteó un estudio piloto y un experimento controlado para recopilar y evaluar los datos que proporciona el dispositivo junto con los informes que brinda el software para obtener resultados estadísticos significativos e interpretar la actividad emocional y cognitiva de los participantes. La parte central del proyecto consistió en la planificación y elaboración de un experimento de laboratorio, involucró a diferentes participantes en tareas predefinidas (Ragendra-Desai, 2017). Su limitación es que se contempló solo el EEG como dispositivo de sensado.

En España se desarrolló un sistema portátil para la medición en tiempo real del nivel de estrés, basado en el sistema RABio w8, el cual consiste en la adquisición de bioseñales, inalámbrico de ocho canales (RABio, 2022). El desarrollo de la interfaz de usuario de este sistema fue desarrollado empleando el software Laboratorio de Matrices (MATLAB por sus siglas en inglés), el sistema le permite al usuario visualizar en tiempo real señales EEG, ECG, electromiograma (EMG) y sensor de respuesta galvánica (GSR por sus siglas en inglés). Sin embargo, una de las desventajas de este sistema es que no implementa el uso de software libre (Minguillon, 2013). No es el único caso donde se intenta generar una alternativa tecnológica de arquitectura abierta, pero conservan un software privativo tal es el caso de Chin-Ten, et al., (2021), donde proponen una arquitectura abierta de adquisición y acondicionamiento de bioseñales, sin embargo, para el desarrollo de interfaces de usuario se emplea software comercial, faltando una propuesta integral de hardware-software totalmente abierta y modular que pueda ser utilizado para la realización de experimentos de esta índole. Un intento de generar un sistema de arquitectura abierta se describe en Hernández-Miguel, et al. (2017) donde emplean el dispositivo Emotiv Epoc+ y abren su arquitectura para la adquisición de datos. Las áreas de investigación que se desarrollan en el campo del procesamiento de señales bioeléctricas van en aumento, y éstas requieren sistema de información a la medida, o que pueda ser modificado según las necesidades de cada campo, y que sea de acceso libre.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de información bioeléctrica, que permita la integración de múltiples sensores de arquitectura abierta, es decir que se tenga la posibilidad de incorporar elementos de desarrollo propios que garanticen la compatibilidad. Además, el sistema es

escalable de manera vertical, es decir en caso de ser necesario emplear nuevos dispositivos de sensado las aplicaciones que están funcionando bajo la arquitectura de los dispositivos de sensado anteriores no sufren con la migración, el impacto en el código es mínimo. Se presenta el diseño de interfaces de usuario (IU), las cuales corresponden al módulo de la Vista de la arquitectura de software MVC. Al implementar la propuesta, los principales beneficiados son la comunidad interesada en planificar pruebas experimentales, que necesiten de la adquisición de señales bioeléctricas. Llevando a cabo la automatización en la recolección de datos se potencializa y complementa el alcance que tienen las pruebas en formato tradicional.

2. Materiales y equipo

Para desarrollar la propuesta se requiere de equipo de sensado y de tecnologías de diseño y desarrollo de software. Para medir la actividad del cerebro se utilizó el dispositivo Emotiv EPOC+ de la empresa Emotiv. El casco mostrado en la Figura 1 está diseñado para el estudio del cerebro humano escalable y contextual, así como para aplicaciones avanzadas de interfaz cerebro-computadora, además brinda acceso a datos cerebrales de grado profesional con un simplificado de usar, frecuencia de muestreo es de 128 Hz con una resolución de 16 bits y lectura de 14 electrodos (Emotiv, 2022).

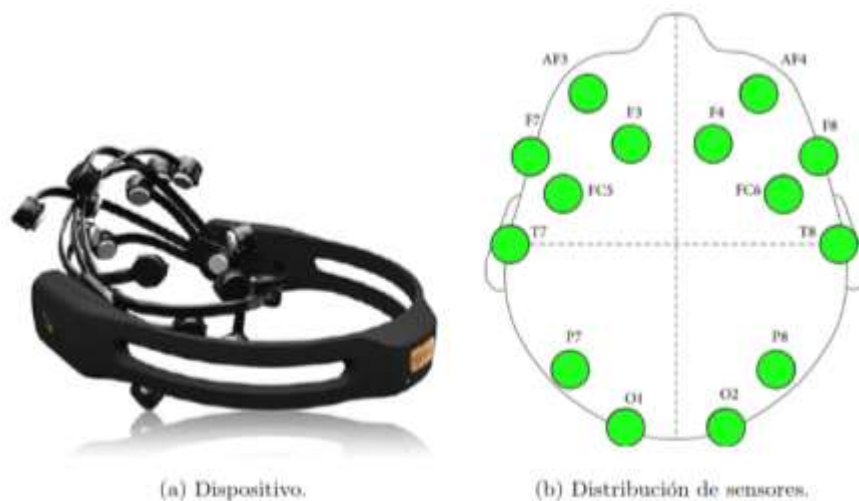


Figura 1. Casco Emotiv EPOC (Emotiv, 2022).

Para la medición de la actividad del corazón se hace uso del sensor de ritmo cardíaco (SRC) de la marca TRES D PRINT modelo XD-58C, el cual se observa en la Figura 2 a). Para sensar la actividad de la conductividad de la resistencia de la piel se utilizó el sensor GROVE-GSR, el cual se muestra en la Figura 2 b). Ambos sensores son compatibles con tecnología Arduino, por lo tanto, parte del desarrollo se llevó a cabo con las herramientas Monitor Serie y Serial Plotter de

IDE de Arduino. No obstante, es importante mencionar que se eligieron estos dispositivos para validar la arquitectura del software, pero que es posible utilizar cualquier dispositivo de sensado bioeléctrico con arquitectura abierta, es decir que se tenga acceso libre a la información que entregan. Por otra parte, el dispositivo de lector de huella dactilar utilizado es el U.are.U 4500 Reader es un dispositivo que utiliza tecnología biométrica con una interfaz USB (Universal Serial Port).



a) Sensor de ritmo cardíaco



b) Sensor de respuesta galvánica

Figura 2. Sensores de ritmo cardíaco y respuesta galvánica.

Para el diseño del sistema se hizo uso de las técnicas de diagramas de lenguaje unificado del modelado (UML por sus siglas en inglés), prototipos de baja y alta fidelidad y análisis de usuarios. En el desarrollo se implementó el lenguaje de programación Java, ya que tiene un enfoque orientado a objetos, el lenguaje C por su versatilidad para el manejo de instrucciones en alto y bajo nivel. Para el almacenamiento de la información y gestión de datos se hace uso de My Structured Query Language (MySQL). Para implementar el sistema se requiere de dos computadoras, una con el sistema operativo Windows 10 y otra con Ubuntu 18.04.

3. Métodos experimentales

Se integra un sistema informático basado en una arquitectura modular, que permite el manejo de tecnologías libres de sensado bioeléctrico, del diseño y desarrollo de cada módulo. Durante las diversas iteraciones se evalúan requisitos de funcionalidad. El sistema se desarrolla bajo el concepto de Modelo Vista Controlador (MVC) y la metodología evolutiva incremental.

Requisitos funcionales

A continuación, se enlistan los requisitos funcionales generales del sistema:

- 1.- El sistema debe tener un módulo específico que permita comunicarse con los sensores y que acondicione la información entregada por cada uno de ellos.
- 2.- El sistema debe permitir conexiones de comunicación tipo serial y Bluetooth provenientes de los sensores.
- 3.- El sistema debe permitir iniciar sesión empleando un sensor biométrico o con usuario y contraseña.
- 4.- El sistema debe contar con un módulo aislado de la adquisición de las señales bioeléctricas, que permita el almacenamiento y tratado de la información.
- 5.- El sistema debe permitir el control de información generada durante cada experimento, para su edición, almacenamiento, exportación, consulta y eliminación.
- 6.- El sistema debe almacenar información personal y clínica de los sujetos de prueba.
- 7.- El sistema debe permitir visualizar las señales de cada sensor conectado, así como su estado de conexión y funcionamiento.
- 8.- El sistema debe permitir el inicio de sesión de tres diferentes tipos de usuarios; administrador que tendrá un control y acceso total del sistema, el normal que no tendrá acceso a la administración de usuarios y el invitado que no tendrá acceso a la administración de usuarios ni podrá exportar reportes de información clínica.

Arquitectura del sistema

En la Figura 3 se presenta la arquitectura del sistema de información, la cual se divide en cuatro módulos.

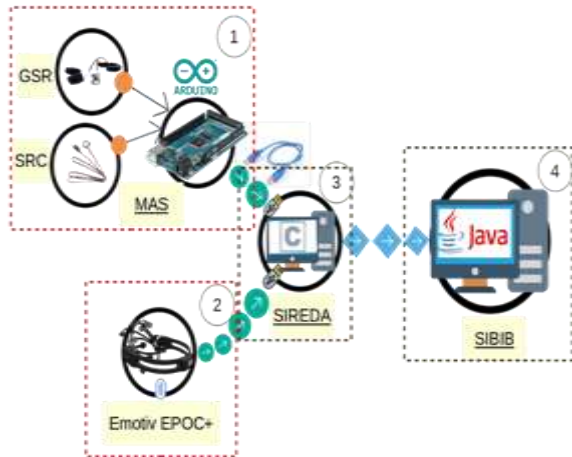


Figura 3. Arquitectura funcional del sistema.

El módulo 1 se denomina Módulo de Acondicionamiento de Señales (MAS), en el cual los sensores GSR y SRC se comunican con la tarjeta Arduino. MAS acondiciona las señales de los sensores, para ser enviadas al módulo del Sistema de Recolección de Datos (SIREDA). En el módulo 2 el dispositivo Emotiv EPOC+ se conecta con SIREDA por medio de la tecnología Bluetooth. En el módulo 3 se encuentra SIREDA, el cual recibe información del MAS y el dispositivo.

Finalmente, en el módulo 4 se encuentra el SIBIB, el cual tiene como objetivo mantener la interacción entre el usuario final y el sistema en general. Es importante aislar las etapas de sensores, procesamiento de la información, análisis de los datos y representación de los mismos. Esto permite que exista una independencia funcional entre cada módulo y en consecuencia una adaptabilidad, y acoplamiento entre ellos. Por ejemplo, en caso de presentarse fallas tales como de conexión, configuración, renderización, entre otras, es posible realizar

un diagnóstico de manera oportuna y eficiente.

En la siguiente sección, se describe de manera detallada cada uno de los módulos que integran la arquitectura.

Módulo MAS

MAS se encarga de obtener y procesar la información de los sensores GSR y SRC a través de un microcontrolador ATmega328P empleando una plataforma de desarrollo Arduino. Es importante mencionar que el módulo permite integrar cualquier microcontrolador que cumpla con los requisitos de configuración y comunicación. La información entregada por el sensor SCR es en latidos por minuto a una frecuencia de 128 Hz al igual que el sensor GSR.

Cuando ocurre un error de comunicación o la presencia de una falla de conexión en alguno de los sensores GSR o SCR, el sistema MAS no interrumpe la comunicación con SIREDA, solo envía la activación de una bandera indicando que el sensor ha dejado de operar o presenta fallas. Esto garantiza continuidad del experimento.

Módulo SIREDA

SIREDA fue desarrollado bajo el lenguaje de programación C y se ejecuta desde una terminal bajo el sistema operativo Ubuntu aunque es posible ejecutarlo en cualquier distribución de Linux. SIREDA recibe información directa de los sensores del dispositivo Emotive EPOC+ y los sensores GSR y SCR. Este módulo integra la información entregada por MAS a través del puerto serie y la del casco Emotiv EPOC + a través del puerto Bluetooth.

En la Figura 4 se muestran las etapas de SIREDA, las cuales van desde la apertura de un puerto serial para iniciar la comunicación, hasta la visualización de información en la

terminal. SIREDA comienza con la apertura de un puerto de conexión para recibir la información que envía el MAS. Una vez abierto, el puerto abre un socket en una red local para realizar la comunicación con SIBIB. SIREDA se encuentra en espera hasta recibir una verificación de conexión válida. Cuando SIREDA comienza a recibir información del dispositivo Emotiv EPOC+ entonces se genera una trama de información para enviar a SIBIB.

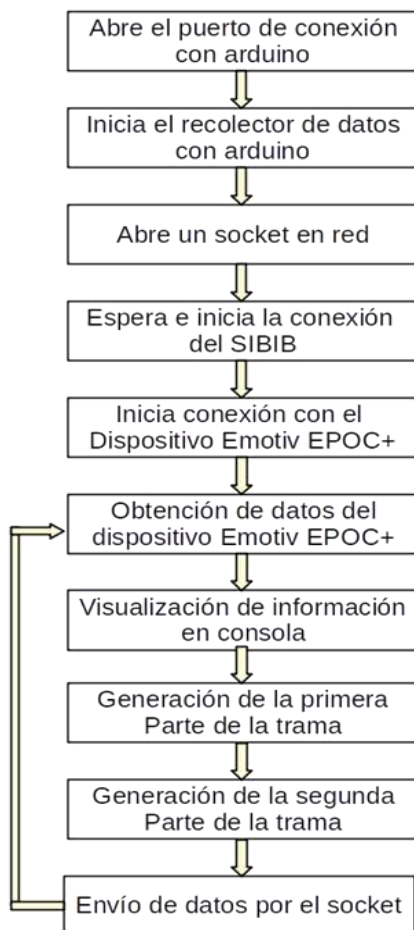


Figura 4. Etapas de SIREDA.

Una vez que SIREDA despliega la información, misma que valida las conexiones entre los módulos, se genera la

primera parte de la trama de la posición uno a la 30 que corresponde al dispositivo Emotiv EPOC+, enseguida se completa la segunda parte de la trama de la posición 31, 32 y 33 que corresponde a los datos recibidos por MAS. Finalmente, la trama se envía y comienza el ciclo de envío y recepción de información hasta que la comunicación sea interrumpida. Una de las razones al elegir lenguaje de programación en C y el sistema operativo Linux en este caso Ubuntu, es que permite un mejor aprovechamiento del recurso computacional en el uso de la memoria y procesador. Además de incluir valores hexadecimales y trabajar a nivel de lenguaje máquina.

Módulo SIBIB

En este módulo se recibe la información de los sensores entregada por SIREDA y se genera la capa de la vista siguiendo con el modelo MVC. A través del diseño de una serie de interfaces de usuario (IU) basadas en el estilo de interacción de diálogo secuencial al usuario se le presentan las herramientas para realizar diferentes tareas. El núcleo del módulo fue desarrollado en el lenguaje de programación basado en instrucciones C, que permite operar en tiempo real. Por otra parte, las IUs fueron desarrolladas en Java, las cuales permiten una interacción más simple con el gestor de la base de datos MySQL, el intercambio de información entre SIBIB y SIREDA se lleva a cabo por medio de sockets bajo el protocolo Transmission Control Protocol (TCP). En la Figura 5 se muestra la integración del SIBIB. Cada uno de los elementos representa una IU donde el usuario interactúa y es retroalimentado de manera visual y auditiva. Para el diseño de cada uno de los elementos se empleó la técnica de prototipado de baja y alta fidelidad basados en los requisitos funcionales.

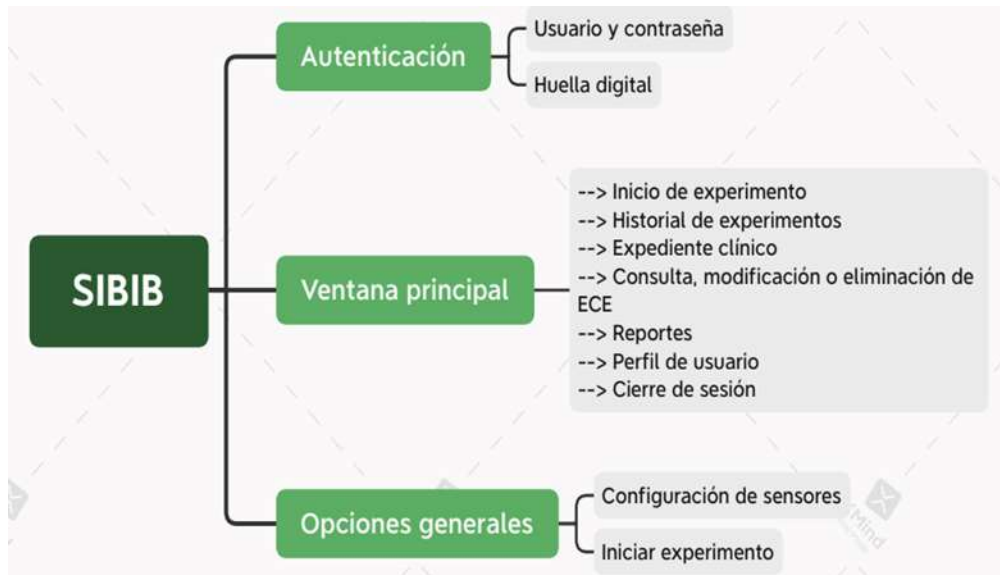


Figura 5. Integración de SIBIB. Fuente: Elaboración Propia.

En la etapa de autenticación se diseñó un módulo que permite el uso de un dispositivo de datos biométricos en lugar de contraseña con la finalidad de proteger y personalizar la seguridad. Una vez que el usuario entra al sistema se le presenta una IU con diferentes opciones de acuerdo con las tareas que va a realizar. Por ejemplo, cuando el usuario quiera iniciar con una prueba, pero que requiere del almacenamiento de las señales bioeléctricas, entonces el sistema debe mostrar una IU, que le permita visualizar el estado de los sensores y la configuración de la prueba. Si el usuario desea modificar o eliminar el registro de un sujeto de prueba, puede hacerlo desde la IU de información de sujetos de prueba.

Almacenamiento

A partir del diseño de Entidad-Relación se desarrolla la base de datos central con el gestor SGBD MySQL Server 8.0.17. La base de datos se encuentra instalada en un servidor local, por lo que las pruebas pueden migrar a un Host. Los usuarios podrán acceder a la información dependiendo la autorización o jerarquía otorgada, en este caso puede ser administrador, normal e invitado. El usuario administrador tiene acceso total al sistema, el

acceso, la manipulación de la información y funciones extra, tales como: creación de usuarios y eliminación de usuarios. Por otro lado, el usuario normal tiene acceso a todas las tareas excepto a crear o manipular los perfiles de otros usuarios y finalmente el usuario invitado tiene acceso a las mismas tareas que el usuario normal excepto editar y exportar expedientes de los sujetos de prueba, reportes de idioma y de enfermedades.

Plan de pruebas para el sistema

El objetivo del plan de pruebas es obtener información sobre los errores, inconsistencias o fallas que presenta el sistema con respecto a sus requisitos funcionales. En la Figura 6 se muestra la metodología que se siguió para evaluar la funcionalidad del sistema. La matriz de trazabilidad tiene requisitos que evalúan características como; validación de campos, vista gráfica de señales generadas durante el experimento, validación de la información en la base de datos, generación de reportes, comunicación de sensores, retroalimentación visual del usuario durante la interacción, etc. Se diseñaron cuatro planes de pruebas con sus respectivas condiciones iniciales, que van desde la verificación del nivel de carga del dispositivo Emotiv EPOC

hasta la validación de comunicación entre los módulos que integran el sistema, es decir verificar conexiones alámbricas e

inalámbricas entre los módulos de acuerdo a sus especificaciones de comunicación.

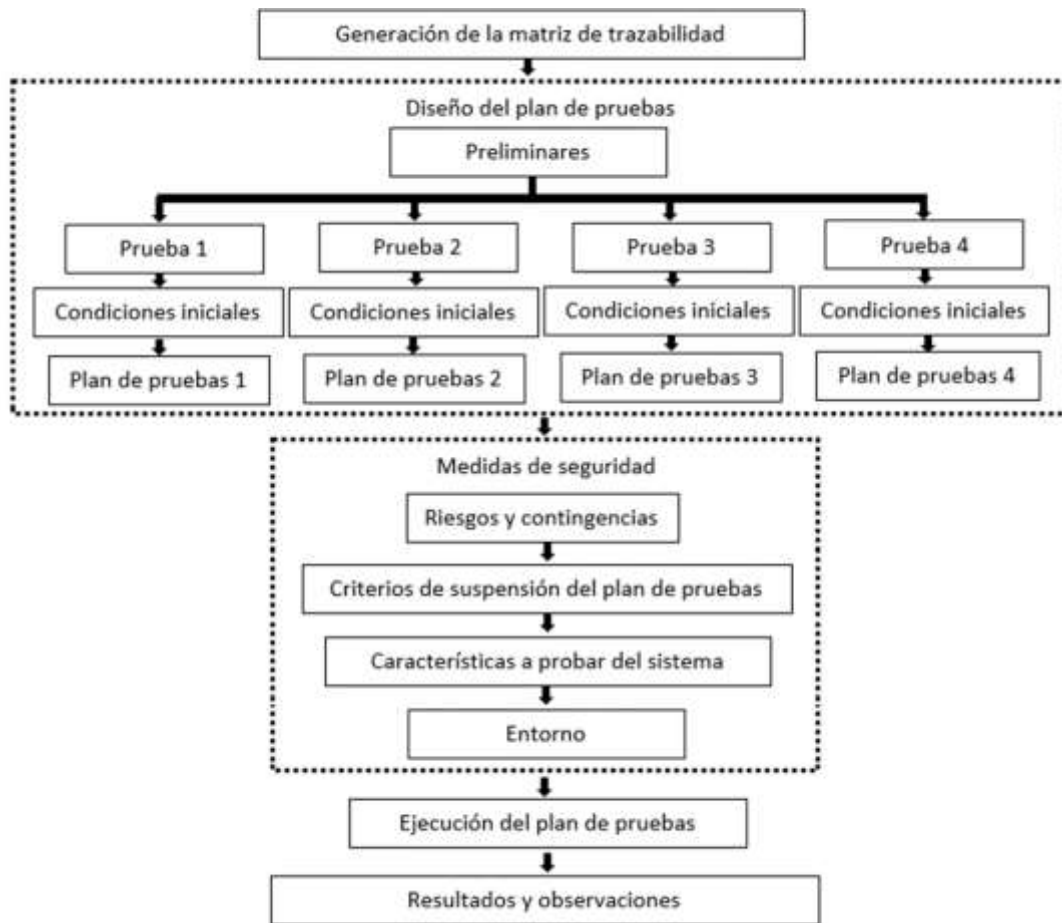


Figura 6. Configuración de experimento. Fuente: elaboración propia.

Durante la ejecución de un plan de pruebas existen riesgos que pueden cancelar parcial o totalmente una prueba, y por lo tanto medidas de seguridad que pueden minimizar esos riesgos. Entre los riesgos se identifica por mencionar algunos; pérdida de comunicación con los sensores, desconexión entre los módulos o pérdida de comunicación con el sensor de huella. Para cada riesgo se cuenta con un protocolo de contingencia de manera que no impida continuar con las pruebas de validación.

Por otra parte, las medidas de seguridad verifican los elementos que intervienen en las comunicaciones entre los módulos antes de

iniciar una prueba. Dentro de las características que no se van aprobar está la validación de las señales bioeléctricas entregadas por los sensores, ya que se asume que dichas señales son entregadas correctamente. Finalmente, las pruebas se desarrollan en la cámara de Gessel del laboratorio de Interacción Humano Computadora (IHC) de la Universidad de la Sierra Sur.

4. Resultados y discusión

SIBIB es el módulo donde el sistema le permite a los usuarios administrador, normal o invitado interactuar. SIBIB está integrado de interfaces gráficas, que juegan un papel

importante para realizar con éxito cada una de las tareas que el usuario realice. En la Figura 7 se muestra la IU para ingresar al sistema, en ella el usuario puede ingresar colocando su contraseña o colocando su huella en el lector. En la Figura 8 se muestra la IU donde el usuario se capacitará para configurar los sensores o iniciar con un experimento.



Figura 7. Pantalla principal. Fuente: elaboración propia.



Figura 8. Configuración de dispositivos. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 9 se presenta la IU donde se muestra en línea la información obtenida de los sensores. En caso de que un sensor presenta fallas de comunicación o de inicialización, se mostrará un mensaje de advertencia para indicar su estado actual. Además, el usuario puede llevar a cabo diferentes tareas como: iniciar o detener una prueba, iniciar el guardado de datos, finalizar un experimento, consultar el tiempo del experimento, el estado de conexión de los

sensores, así mismo seleccionar que electrodos del EEG desea visualizar únicamente en la pantalla de despliegue. Por otra parte, se observa la información del sensor GSR y SRC. En el botón de “marcador” el usuario puede agregar los marcadores que sean necesarios durante la prueba, además de anexar información de cada uno de ellos. También el usuario controla el momento en que la prueba ha terminado al presionar el botón “finalizar”.

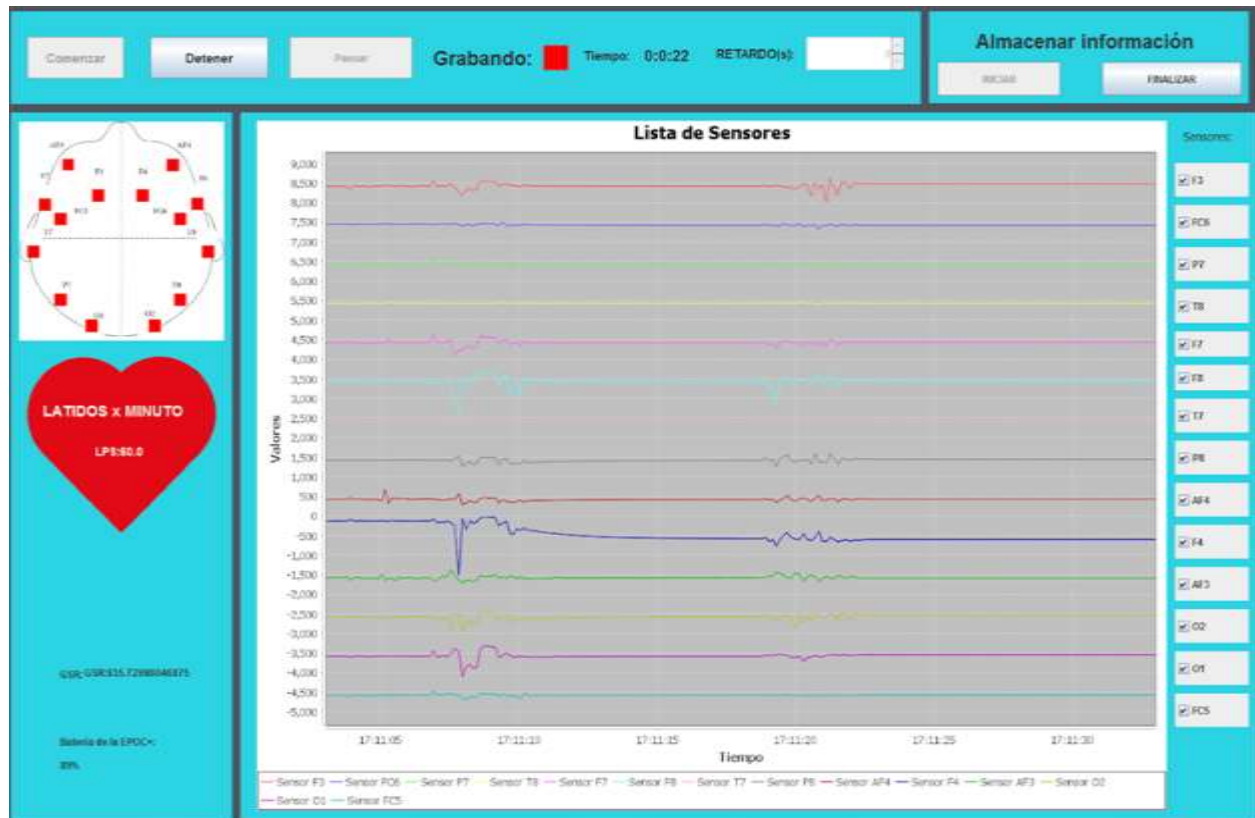


Figura 9. Configuración de dispositivos. Fuente: elaboración propia.

La información bioeléctrica generada durante la grabación del experimento se almacena en una carpeta exclusiva, que contiene dos archivos con las siguientes características:

- `data_signals.csv`: Este archivo contiene la información recolectada de todos los sensores distribuida de la siguiente manera: tiempo, F3, FC6, P7, T8, F7, F8, T7, P8, AF4, F4, AF3, O2, O1, FC5, Ciclo actual, N.C F3, N.C FC6, N.C P7, N.C T8, N.C F7, N.C F8, N.C T7, N.C P8, N.C AF4, N.C F4, N.C AF3, N.C O2, N.C O1, N.C FC5, GSR, Latidos/minuto, Marcador.

- `marcadores.txt`: durante la visualización y almacenamiento de señales el usuario puede insertar marcas que son de ayuda para identificar eventos. En este archivo se almacenan los comentarios acerca del significado de las marcas que el usuario insertó.

En la Figura 10 se presenta la IU donde el usuario puede realizar diversas tareas, que van desde la consulta, modificación y eliminación de expedientes de sujetos hasta la configuración de conexión con el sistema de recolección de datos SIREDA.

Id	Fecha	Sujeto	Nombre de experimento	Editar	Eliminar	Guardar ID
148	Mon Nov 11 11:32:48 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	FINAL Tiempo 0:1:50	Editar	Eliminar	Almacenar
149	Mon Nov 11 11:36:05 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	Tiempo 0:1:15	Editar	Eliminar	Almacenar
150	Mon Nov 11 12:29:33 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	Tiempo 0:51:55	Editar	Eliminar	Almacenar
151	Mon Nov 11 13:03:40 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	Tiempo 0:33:48	Editar	Eliminar	Almacenar
152	Mon Nov 11 15:51:41 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	Tiempo 1:31:43	Editar	Eliminar	Almacenar
153	Mon Nov 11 15:54:31 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	Tiempo 0:1:5	Editar	Eliminar	Almacenar
154	Mon Nov 11 16:01:23 CST 2019	14) LUIS FERNANDO SANTIAGO MARTIN.	Tiempo 0:5:12	Editar	Eliminar	Almacenar

Figura 10. Configuración de experimento. Fuente: elaboración propia.

Una prueba de software es un proceso por medio del cual se evalúa la funcionalidad de un sistema y se intentan identificar posibles errores. Con el objetivo de identificar problemas de interacción y de funcionalidad del sistema informático, se diseñan y desarrollan cuatro pruebas. Dichas pruebas se desarrollaron en el laboratorio de interacción humano computadora de la Universidad de la Sierra Sur (UN SIS) con el apoyo de dos técnicos y dos aplicadores.

El objetivo de la primera prueba fue la validación de los campos de expedientes de información clínica, la segunda prueba fue validación de experimentos, en la tercera la validación de generación de nuevos usuarios y en la prueba cuatro se llevó a cabo la validación de modificación de información de usuarios. Las características que se pusieron a prueba fueron: seguridad lógica, validación de campos, visualización de las señales de los sensores, almacenamiento y modificación de información clínica, generación de reportes, exportación de información, retroalimentación del estado del sistema al usuario y comunicación entre los módulos.

Las características que no se probaron son: configuración de la base de datos, cifrado en los campos de usuario y contraseña, accesibilidad del sistema, validación de la comunicación TCP y problemas de ergonomía.

Dentro de los riesgos y contingencias se considera como riesgo la pérdida de comunicación entre SIREDA y el dispositivo Emotiv EPOC+, como medida de seguridad es verificar el nivel de batería, el cual debe superar el 50% antes de iniciar las pruebas. Otro riesgo es la pérdida de comunicación con el sensor biométrico y SIBIB, se debe verificar que no exista otra aplicación en paralelo utilizando este dispositivo. Como parte de los resultados del plan de pruebas, se determinó que el sistema cumple con los requisitos funcionales y de diseño. Durante la ejecución de cada prueba no se presentaron motivos de suspensión.

Finalmente, el sistema presenta ventajas en comparación con algunos sistemas comerciales, las cuales se presentan en la Tabla 1. Una de las ventajas principales en

comparación con sistemas similares es que SIBIB puede ser ejecutado en los sistemas operativos Windows o Linux.

Tabla 1. Comparación entre sistemas de visualización de información bioeléctrica.

Característica	EmotivPro	ConsensysPro	RaBio w8	SIBIB
Incluye EEG	si	no	si	si
Incluye SRC	no	si	si	si
Incluye GSR	no	si	si	si
Código abierto	no	no	no	si
Sistema Operativo	Windows	Windows	Windows	Windows/Linux
Permite integrar sensores de diferente proveedor	no	no	no	si
Información clínica	no	no	no	si

Otra ventaja es la disponibilidad del código, lo que permite que el sistema sea independiente de la tecnología. Además, de que se promueve la innovación tecnológica induciendo que las comunidades de software realicen cambios y mejoras. En la Figura 11 se observa la IU de SIBIB que permite editar

o eliminar información clínica del sujeto de pruebas, misma que fue solicitada por investigadores del área de la salud de la UNSIS, sin embargo, esta interfaz puede ser modificable en caso de que se requiera información adicional.

Editar o Eliminar usuario de Expediente clínico

Seleccione la persona que desea editar: 1) NOE SALINAS

Nombre: NOE

Apellido Paterno:

Apellido Materno: SALINAS

Fecha de Nacimiento: 2018-07-26

Carrera: Informática

Religión: Católico

Estado Civil: Soltero

CURP: SAML960728HOCNRS01

Sexo: Hombre Mujer

Lengua Materna: Español

Otro idioma: Inglés

Padece alguna de las siguientes enfermedades:

TCE ACV Epilepsia Sst. Nerv.

Ha consumido drogas

Si No

Figura 11. Edición o eliminación de información clínica de los sujetos de pruebas. Fuente: elaboración propia.

A partir de los requisitos funcionales recolectados en las primeras fases de diseño, fue posible desarrollar un plan de pruebas para la validación de cada uno de estos requisitos. El plan de pruebas debe ser desarrollado y ejecutado por un equipo externo al equipo de desarrollo. Sin embargo, en esta ocasión se diseñó y ejecutó bajo la supervisión de un especialista en pruebas de la UNSIS. Los resultados determinan que se cumplen cada uno de los requerimientos

funcionales del sistema, todo esto se debe en gran al conjunto de metodologías y técnicas utilizadas en cada paso del desarrollo. No obstante, se recomienda que la etapa de evaluación final sea dirigida por un equipo totalmente externo para evitar conflicto de intereses. Para evaluar la usabilidad del sistema se utilizó el método de evaluación heurística. Los principios heurísticos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Principios heurísticos.

Id	Descripción
PH1	Visibilidad del estado en el que se encuentra el sistema
PH2	Correspondencia entre producto de software y el mundo real
PH3	Control y libertad de usuario
PH4	Consistencia y cumplimiento de estándares
PH5	Prevención de errores
PH6	Interacción basada más en el reconocimiento que en el recuerdo
PH7	Flexibilidad y eficiencia de uso
PH8	Diseño estético y minimalista
PH9	El tratamiento de la privacidad en el software
PH10	Portabilidad y extensibilidad

Los evaluadores fueron tres especialistas en el diseño y desarrollo de sistemas. Los resultados se presentan en la Figura 12.



Figura 12. Resultados de la evaluación heurística: Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la evaluación heurística demuestran que el sistema propuesto de información bioeléctrica presenta niveles de usabilidad por encima del 70%, lo que significa que el sistema no presenta problemas críticos de usabilidad.

5. Conclusiones

Al proponer un sistema con una arquitectura de flujo de datos se induce modularidad, es decir, al tratarse de servicios independientes, se pueden desarrollar y desplegar de forma independiente. Otra ventaja es la escalabilidad, dado que es un sistema modular, se puede escalar horizontalmente cada módulo según sea necesario, aumentando el escalado de los módulos que tengan un mayor procesamiento. La versatilidad al usar diferentes tecnologías y lenguajes de programación permite adaptar cada funcionalidad a la tecnología más adecuada y rentable. El mantenimiento resulta viable al poder hacerse mejoras en un solo módulo y no tener que intervenir en toda la estructura.

El usuario final del sistema requiere de la visualización, gestión y administración de la información generada durante un experimento, para ello, el SIBIB permite la autenticación de usuarios, generación de información clínica, generación de reportes y ejecución de pruebas experimentales. Permitiendo al usuario hacer uso de un sistema libre que tengan como meta recopilar información bioeléctrica de un sujeto de pruebas. Sin embargo, el usuario final debe tener conocimientos acerca de la ejecución de aplicaciones tanto en GNU Linux como en Windows, así como del uso de algunos comandos desde la terminal.

Una ventaja es la no uniformidad en el equipo tecnológico, y que se disponen de diferentes sensores y tecnologías de comunicación, en caso de no gestionarse correctamente puede

conducir a un diseño y arquitectura uniforme. Como trabajo a futuro se requiere de un módulo de encriptación de los datos de manera que no puedan ser interceptados o manipulados por entes externos. Otro módulo sería el de análisis de los resultados de cada experimento, de tal manera, que en el mismo sistema se puedan obtener resultados de cada experimento o de un conjunto de ellos.

6. Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por PRODEP en la convocatoria de fortalecimientos de cuerpos académicos 2018.

7. Referencias

- [1] Isaac, C., and Januel, D. (2016). "Neural correlates of cognitive improvements following cognitive remediation in schizophrenia: a systematic review of randomized trials", *Socioaffective neuroscience & psychology*, vol.6, no 1, 17th Marzo 2016, p 30054. DOI: <https://doi.org/10.3402/snps.v6.30054>
- [2] Mookiah, M. R. K., Acharya, U. R., Chua, C. K., Lim, C. M., Ng, E. Y. K., and Laude, A. (2013). "Computer-aided diagnosis of diabetic retinopathy: A review". *Computers in biology and medicine*, vol 43, no 12, December 2013, p. 2136-2155, DOI: <https://doi.org/10.1166/jmihi.2013.1210>
- [3] Green S, Kragel P, Fecteau M. and LaBar K. (2015). "Development and validation of an unsupervised scoring system (Autonamate) for skin conductance response analysis", *International Journal of Psychophysiology*, vol 91, no 3, 1 Marzo 2015, pp. 186-193. DOI: [10.1016/j.ijpsycho.2013.10.015](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.10.015)
- [4] Gatti, Elia, et al (2018), "Emotional ratings and skin conductance response to visual, auditory and haptic stimuli." *Scientific data*, vol. 5, no 1, June/2018, pp. 1-12. Doi: [10.1038/sdata.2018.120](https://doi.org/10.1038/sdata.2018.120).

- [5] Barria, H. F, Wong, C. G., Cerda, S. U., Vera-Aguirre, V., and Eguia, R. A. (2020). "Actividad física y variabilidad del ritmo cardíaco en pacientes con síndrome metabólico. Revisión narrativa", *PODIUM-Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*. Vol 15, no 3, 2020, pp. 694-704.
- [6] Lyon A, Mincholé A, Martínez JP., Laguna O. and Rodriguez B. (2018). "Computational techniques for ECG analysis and interpretation in light of their contribution to medical advances" *Journal of The Royal Society Interface*, vol 15, no 138, 10 January 2018, pp. 1-18. DOI: 10.1098/rsif.2017.0821
- [7] Al-Nafjan A, Hosny M, Al-Ohali Y. and Al-Wabil (2017), "Review and classification of emotion recognition based on EEG brain-computer interface system research: a systematic review", *Applied Sciences* vol. 7, no. 12, 1 December 2017, pp. 2-34. DOI: <https://doi.org/10.3390/app7121239>
- [8] Página oficial de la empresa emotive [Internet]. 2020; Disponible: <https://www.emotiv.com/>
- [9] Página oficial de Shimmer Discovery in Motion [Internet]. 2021; Disponible: <https://www.shimmersensing.com/products/consensys>
- [10] Alegre R. Interfaz mental para el control de aplicaciones [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia, 2013.
- [11] Desai, A. R. EEG-based evaluation of cognitive and emotional arousal when coding in different programming languages [Master]. University of Oulu; 2017.
- [12] Official website of RABio w8 [Internet]. 2021; [cited 2021 May 15] Available from: <https://rabiow.wixsite.com/rabio>
- [13] Minguillon J, Perez E, Lopez-Gordo M A, Pelayo F. and Sanchez-Carrion M J (2018), "Portable system for real-time detection of stress level", *J Sens*, vol 18, no 8, 1 Agosto 2018, pp. 2504-2519. Available from: <https://doi.org/10.3390/s18082504>
- [14] Chin-Ten Lin et al (2021). "Wearable, Multimodal, Biosignal Acquisition System for Potential Critical and Emergency Applications". *Emergency Medicine International*, vol. 202, no 1, 11 June 2021, pp. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9954669>
- [15] Kumar, K., Subramanian, V., Gowtham, M. and Prasad, J. (2014), "A Versatile Cost Effective Biosignal Acquisition System" *International Journal of Engineering & Technology (IJERT)* vol 3, no 1, January 2014, pp 3396-3399.
- [16] Roccagliolo, P. et al. (2007) "Biomedical Signal Acquisition, Processing and Transmission using Smartphone", *Journal of Phphysics: Conference Series. Ser*, vol 90, no 1, 2007 pp. 1-9, DOI: 10.1088/1742-6596/90/1/012028
- [17] Miguel, I. U. H, Silva, A. J., and Pérez, V. A. G. (2018), "Integración de un Sistema Cerebro Computadora Empleando Software Libre", *Pistas Educativas*, vol. 39, no. 128, septiembre 2018 pp. 699-715.