



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Desarrollo de una interfaz que envíe instrucciones mediante señales cerebrales a aparatos electrónicos

**PADILLA NEIRA JUAN PABLO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

**Desarrollo de una interfaz que envíe instrucciones mediante
señales cerebrales a aparatos electrónicos**

**PADILLA NEIRA JUAN PABLO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

**Desarrollo de una interfaz que envíe instrucciones mediante
señales cerebrales a aparatos electrónicos**

**PADILLA NEIRA JUAN PABLO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

HERNANDEZ ROJAS DIXYS LEONARDO

**MACHALA
2023**

Tesis de Padilla

por Juan Padilla

Fecha de entrega: 25-sep-2023 09:26a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2176436040

Nombre del archivo: DOC_para_TURNITIN_de_Padilla.pdf (2.22M)

Total de palabras: 10386

Total de caracteres: 55381

Tesis de Padilla

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 Submitted to Universidad Técnica de Machala 1%
Trabajo del estudiante

2 www.elcomercio.com 1%
Fuente de Internet

3 repositorio.utmachala.edu.ec < 1%
Fuente de Internet

4 hdl.handle.net < 1%
Fuente de Internet

5 www.coursehero.com < 1%
Fuente de Internet

6 www.gusat.org < 1%
Fuente de Internet

7 blog.seidor.com < 1%
Fuente de Internet

8 www.researchgate.net < 1%
Fuente de Internet

9 cienciadigital.org < 1%
Fuente de Internet

10	www.slideshare.net Fuente de Internet	< 1 %
11	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	< 1 %
12	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
13	docta.ucm.es Fuente de Internet	< 1 %
14	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
15	Elmer Caballero, Lilia Munoz, Vladimir Villarreal, Mel Nielsen, Miguel Chavarria. "Improving the sustainability of Irrigation Systems through Technology", 2022 17th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), 2022 Publicación	< 1 %
16	moam.info Fuente de Internet	< 1 %
17	1library.co Fuente de Internet	< 1 %
18	dewesoft.com Fuente de Internet	< 1 %

19 Bastian Carter–Thuillier, Víctor López–Pastor, Francisco Gallardo–Fuentes. "Teaching for understanding and school sport: a study in an intercultural context and situation of social risk / Enseñanza para la comprensión y deporte escolar: un estudio en contexto intercultural y situación de riesgo social", *Infancia y Aprendizaje*, 2018

Publicación

< 1 %

20 sotesexo30.weebly.com

Fuente de Internet

< 1 %

21 pesquisa.bvsalud.org

Fuente de Internet

< 1 %

22 www.jove.com

Fuente de Internet

< 1 %

23 preseea.cervantes1.org

Fuente de Internet

< 1 %

24 repositori.upf.edu

Fuente de Internet

< 1 %

25 www.axis.com

Fuente de Internet

< 1 %

26 www.manualslib.com

Fuente de Internet

< 1 %

27 "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos

< 1 %

Humanos, Volume 4 (1988)", Brill, 1991

Publicación

28	cumputadores2014.blogspot.com	< 1 %
<hr/>		
29	dspace.utb.edu.ec	< 1 %
<hr/>		
30	repository.uniminuto.edu	< 1 %
<hr/>		
31	www.f5.com	< 1 %
<hr/>		
32	www.gumtree.com	< 1 %
<hr/>		
33	www.immunize.org	< 1 %
<hr/>		
34	www.mobilecrusherchina.com	< 1 %
<hr/>		
35	www.repositori.uji.es	< 1 %
<hr/>		
36	aws.amazon.com	< 1 %
<hr/>		
37	doaj.org	< 1 %
<hr/>		
38	new.biblioteca.sistedes.es	< 1 %

39	repositorio.ug.edu.ec	< 1 %
<hr/>		
40	vsip.info	< 1 %
<hr/>		
41	www.ap.com	< 1 %
<hr/>		
42	www.ayto-cartagena.es	< 1 %
<hr/>		
43	www.cacic2016.unsl.edu.ar	< 1 %
<hr/>		
44	www.dropbox.com	< 1 %
<hr/>		
45	www.ecobachillerato.com	< 1 %
<hr/>		
46	www.infoformacion.com	< 1 %
<hr/>		
47	www.startup365.fr	< 1 %
<hr/>		
48	zagan.unizar.es	< 1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, PADILLA NEIRA JUAN PABLO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Desarrollo de una interfaz que envíe instrucciones mediante señales cerebrales a aparatos electrónicos, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



PADILLA NEIRA JUAN PABLO

0104574389



UTMACH

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**DESARROLLO DE UNA INTERFAZ QUE ENVÍE
INSTRUCCIONES MEDIANTE SEÑALES CEREBRALES A
APARATOS ELECTRÓNICOS.**

PADILLA NEIRA JUAN PABLO

**MACHALA
2023**

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado principalmente a mi madre, dado que, sin su ayuda, sacrificio y apoyo tanto emocional como económico, no hubiese podido establecerme en esta carrera. Ni que decir, de mi familia y amigos quienes estuvieron constantemente dándome su ánimo para poder llegar hasta este punto, esencialmente a mis compañeros de clase con quienes he compartido muy buenos momentos.

Padilla Neira Juan Pablo

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, y a mi madre quien me ha brindado su ayuda incondicional de todas las maneras posibles, sin ella yo no hubiera llegado hasta este punto. De igual manera, agradezco a mis compañeros con los cuales he compartido tanto conocimientos como experiencia que me han servido tanto en la vida diaria como la académica. También, una mención de agradecimiento especial hacia el Ing. Dixys Hernández quien estuvo dando su constante retroalimentación para garantizar el mejor trabajo posible, además de ayudarme a encontrar y corregir los errores que aparecían constantemente.

Padilla Neira Juan Pablo

RESUMEN

En el ámbito de Internet de las cosas (IoT) existen múltiples campos como la Domótica y Robótica, que permiten facilitar la vida de las personas, pero es indispensable la interacción humana, ya sea por medio del tacto o la voz, lo cual es un inconveniente para personas que presentan alguna discapacidad física. El presente trabajo plantea la creación de un prototipo basado en un neuro receptor, en este caso Mindflex, y un microcontrolador como lo es el ESP32, permitan accionar en conjunto, dispositivos electrónicos de manera remota utilizando señales encefalográficas (EEG). Se obtuvo una interfaz que evidenció en tiempo real la actividad cerebral, así como el control remoto de aparatos inteligentes en un hogar, mediante el uso de la metodología IoT Methodology, así como con el uso de InfluxDB, una base de datos orientada a IoT y Grafana, una plataforma que permita mostrar los datos en tiempo real mediante gráficos, se ha podido desarrollar una conexión estable entre el neuro receptor y el computador para recibir los datos de este, además de crear un prototipo de cómo será un sistema de Domótica pero que funcione mediante la tecnología de electroencefalografía, con pruebas que respaldan su funcionamiento, eficiencia y tiempo de respuesta, además de un análisis de los resultados en comparación con proyectos similares, pero más costosos.

PALABRAS CLAVE: Domótica, EEG, Internet de las cosas, Neuro receptor, Remote Control.

ABSTRACT

In the field of the Internet of Things (IoT), there are multiple areas such as Home Automation and Robotics that aim to enhance people's lives. However, human interaction is essential, whether through touch or voice, posing a challenge for individuals with physical disabilities. This work proposes the creation of a prototype based on a neuro receptor, in this case, Mindflex, and a microcontroller like the ESP32, to enable the remote operation of electronic devices using electroencephalographic (EEG) signals. The interface obtained real-time visualization of brain activity and remote control of smart devices in a home using the IoT Methodology and InfluxDB, an IoT-oriented database, along with Grafana, a platform for real-time data visualization through graphs. A stable connection was established between the neuro receptor and the computer to receive data, and a prototype was created to demonstrate a Home Automation system using electroencephalography technology. The system's functionality, efficiency, and response time were supported by tests, and the results were analyzed in comparison with similar but more expensive projects.

Keywords: Home Automation, EEG (Electroencephalography), Internet of Things, Neuro Receptor, Remote Control.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
GLOSARIO	10
INTRODUCCIÓN	11
i. Declaración y formulación del Problema.....	11
ii. Objeto de estudio y Campo de acción.....	12
iii. Objetivos	12
iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación	13
v. Justificación.....	14
vi. Organización del documento	14
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	16
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	16
1.2 Antecedentes históricos	19
1.3 Antecedentes Teóricos.....	20
1.3.1 Internet de las cosas	21
1.3.2 Electroencefalograma	26
1.3.3 IoT Methodology.....	27
1.4 Antecedentes Contextuales	32
1.4.1 Ámbito de aplicación.....	32
1.4.2 Establecimiento de requerimientos	32
CAPITULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO	34
2.1. Definición del prototipo	34
2.2. Metodología de desarrollo del prototipo.....	34
2.2.1. Enfoque, alcance y diseño de investigación.....	34
2.2.2. Unidades de análisis	35
2.2.3. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.....	35
2.2.4. Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados	35
2.2.5. Metodología o métodos específicos	36

2.2.6.	Herramientas y/o Materiales.....	36
2.3.	Desarrollo del prototipo.....	37
2.3.1.	Diseño del prototipo	37
2.4.	Ejecución del prototipo.....	43
CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO		48
3.1.	Plan de evaluación.....	48
3.1.1.	Objetivo.....	48
3.1.2.	Planificación de la evaluación de los resultados de su prototipo.....	48
3.1.3.	Metodología de evaluación.....	49
3.1.4.	Diagrama o estructura de los escenarios	49
3.2.	Resultados de la evaluación.....	50
3.2.1.	Prueba de Funcionalidad.....	50
3.2.2.	Prueba de Latencia.....	51
3.2.3.	Prueba de Eficiencia	53
3.2.4.	Análisis de resultados	54
CONCLUSIONES		57
RECOMENDACIONES		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		59
ANEXOS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conceptualización de hipótesis.....	13
Tabla 2. Operacionalización de las variables.....	14
Tabla 3. Preguntas de investigación	16
Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión.....	18
Tabla 5. Herramientas y/o materiales	36
Tabla 6. Responsables del desarrollo del prototipo	38
Tabla 7. Requisitos funcionales y no funcionales	38
Tabla 8. Planificación de pruebas.....	49
Tabla 9. Comparación de resultados con otros trabajos	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de árbol de problema	12
Figura 2. Proceso y resultados de búsqueda	18
Figura 3. Diagrama de cantidad de trabajos por año	19
Figura 4. Antecedentes teóricos	21
Figura 5. Arquitectura de tres y cinco capas.....	22
Figura 6. Ejemplo de Domain IoT Architecture	24
Figura 7. Sensor Mindflex.....	29
Figura 8. Servo motor SG90	29
Figura 9. Diodos led de 3mm	30
Figura 10. Pines del Arduino nano	30
Figura 11. ESP32	31
Figura 12. ESP32 Pin Layout (QFN 6*6, Top View).....	31
Figura 13. Raspberry Pi 3+ Pin Layout	32
Figura 14. Definición del prototipo general	34
Figura 15. Procesos de la Metodología	36
Figura 16. Diseño del prototipo.....	37
Figura 17. Arquitectura del proyecto.....	39
Figura 18. Arduino IDE	40
Figura 19. Código para la recolección datos por medio de Mindflex	41
Figura 20. Acceso a los pines para trabajar con Mindflex desde el computador	41
Figura 21. Código de la interfaz gráfica de Mindflex en Processing.	42
Figura 22. Configuración del flujo en Node-Red	43
Figura 23. Gateway	44
Figura 24. Prototipo	44
Figura 25. Datos numéricos obtenidos mediante Mindflex	45
Figura 26. Tabla de datos en InfluxDB	46
Ilustración 27. Dashboard en Grafana de los datos de onda y estado de los LEDs	47
Ilustración 28. Planificación de reuniones con el Tutor	48
Ilustración 29. Promedio del valor de la señal de concentración en diferentes escenarios	51
Ilustración 30. Intervalos de tiempo para medir la latencia.....	52
Ilustración 31. Diagrama del circuito RTC	52
Ilustración 32. Comparación de los intervalos de tiempo desde la consola hasta el Dashboard	53
Ilustración 33. Porcentaje de aciertos y fallos	54
Ilustración 34. Comparación de funcionalidad de onda Theta	55

GLOSARIO

Domótica: Agrupación de tecnologías que brindan automatización y control inteligente a un hogar.

Encefalograma: Registro de la función cerebral que almacena la actividad eléctrica del cerebro mediante factores como la concentración o la hiperventilación.

Internet de las Cosas: Red de sistemas o dispositivos conectados a través de internet que transfieren y reciben datos.

Microcontroladores: Son circuitos integrados programables, capaces de ejecutar ordenes según lo que tenga almacenado en su memoria, existen diversos tipos con sus propias subcategorías.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los dispositivos inteligentes toman un papel mucho más crucial dentro de los hogares permitiendo hacer la vida más fácil al automatizar ciertas actividades, o realizarlas sin la intervención física de las personas, en conjunto con el Internet de las Cosas (IoT). Ahora el panorama es mucho más amplio en cuanto al aprovechamiento de dichos dispositivos permitiendo la interconexión de estos a través de una sola red. Actualmente ha surgido un nuevo tipo de tecnología, conocida como encefalografía, que pretende ir un paso más allá, al permitir el control remoto de aparatos inteligentes, utilizando la actividad eléctrica que produce nuestro cerebro.

Este trabajo tiene como fin brindar un equipo que mediante el uso de un neuro receptor, registre datos para poder interactuar con ellos, eventualmente dando la oportunidad de enviar instrucciones específicas a dispositivos, sin ninguna intervención física.

i. Declaración y formulación del Problema

Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapitados en Ecuador a fecha de enero del 2022, se calculan que viven aproximadamente 471.205 personas discapacitadas en el país, de los cuales un 45.66% son discapacitados físicamente, 23.12% son discapacitados intelectualmente, un 14.12 % son discapacitados auditivamente, 11.54% son discapacitados visualmente y un 5.55% son discapacitados psicosocialmente, entre ellos un 54.16 % son personas de entre 25 a 64 años, es decir que casi la mitad de las personas discapacitadas son relativamente jóvenes y poseen alguna discapacidad física, como la pérdida de un brazo o una pierna [1].

Acorde al diario el Comercio, en el planeta, cada año, de 20 millones a 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, por accidentes de tránsito. Varios causan discapacidad, según la Organización Mundial de la Salud. Para el 2020 podrían ser la tercera causa de muerte y discapacidad. En Ecuador, los accidentes de tránsito constituyen la cuarta causa de discapacidad física, siendo alrededor de 11.145 personas las afectadas. Al ser una población tan reducida, sus opciones para poder llevar una vida mejor son escasas y pueden llegar a ser muy costosas.

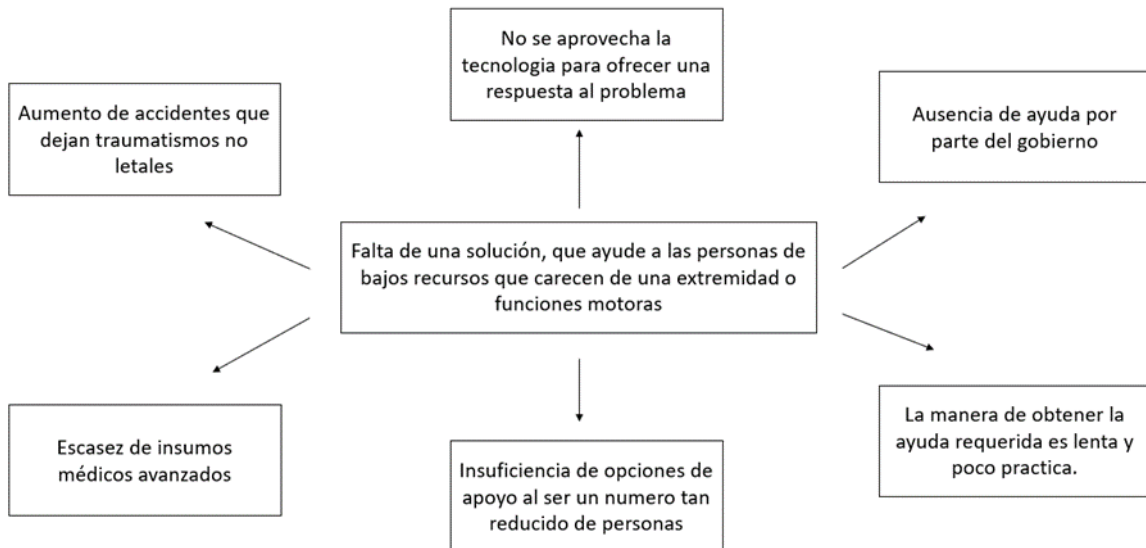


Figura 1. Esquema de árbol de problema

En la **Figura 1.** se describe una causa principal, seguido de los efectos negativos que conlleva. La existencia de la tecnología EEG, puede llegar a jugar un papel fundamental para ofrecer una opción a este grupo demográfico, solo que este país, aun no se ha explotado de la mejor manera, sin mencionar que la manera de recibir ayuda por parte del gobierno no es excesiva y no se cuenta con insumos médicos avanzados en el país, esto se suelen limitar únicamente a muletas o sillas de ruedas, cuya obtención además acarrea mucho papeleo burocrático, por lo cual tampoco es una solución sencilla y práctica.

ii. Objeto de estudio y Campo de acción

Objeto de estudio

- Identificación de señales encefalográficas para automatización de dispositivos electrónicos.

Campo de acción

- Internet de las cosas (domótica y encefalografía).

iii. Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar una interfaz inteligente que identifique señales encefalográficas por medio de un neuro receptor, para que se realicen acciones en dispositivos de manera remota, en el ámbito de IoT.

Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica para la elaboración del estado del arte y marco teórico asociado al objeto de estudio.
- Implementar una librería para la decodificación de las señales encefalográficas dentro del entorno de desarrollo.
- Fabricar un dispositivo IoT basado en ESP32 que capte las señales de un neuro receptor hacia dispositivos electrónicos, dentro de una arquitectura IoT.
- Ejecutar pruebas que permitan la validación del correcto funcionamiento del prototipo, a través de diferentes métricas.

iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación

Hipótesis

- Se pueden controlar dispositivos electrónicos inteligentes a través de una interfaz que envíe señales encefalográficas a dispositivos IoT.

Variables y dimensionamiento

Tabla 1. Conceptualización de hipótesis

Variable	Concepto
Variable Independiente: La construcción de una interfaz que envíe señales encefalográficas.	Una interfaz hace referencia a una arquitectura que cuenta con elementos que permiten interactuar al usuario con diversos sistemas. Las señales encefalográficas, son señales captadas a través de un sistema de encefalografía, que captan algún tipo de actividad cerebral
Variable Dependiente: Dispositivos IoT	Aparato que logra crear un ecosistema de servicios alrededor del mismo por medio de internet.

Tabla 2. Operacionalización de las variables

Variable	Categorías	Indicadores	Técnicas
Variable Independiente: La construcción de una interfaz que envíe señales encefalográficas.	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz gráfica (Dashboard) • Sistema de encefalografía. • Internet de las cosas aplicado a la domótica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados obtenidos con Neuro receptor EEG. • Señales encefalográficas para que ejecuten diversas acciones. • Visualización de los datos obtenidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Programación en lenguaje C. • Especificar señales encefalográficas • Aplicar Metodología IoT
Variable Dependiente: Dispositivos IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Electrónica analógica para la conexión de dispositivos. • Automatización de aparatos inteligentes. • Maneras de evaluar el prototipo, como medir la satisfacción del cliente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores del estado de los dispositivos. • Respuesta a la activación de los aparatos. • Comunicación estable entre dispositivo e interfaz emisora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación y estudio de datos obtenidos. • Uso de datasheet, resistencias y cables para la correcta conexión de dispositivos. • Empleo de entrevistas para medir la satisfacción que siente la gente al usar el prototipo.

v. Justificación

Existen múltiples maneras de controlar remotamente dispositivos electrónicos, sin embargo, la presente investigación plantea la integración de un neuro receptor a un sistema IoT que permite monitorear en tiempo real, la actividad cerebral del usuario, y además permite controlar de manera remota dispositivos electrónicos.

vi. Organización del documento

La estructura planteada para el presente documentos consta de tres etapas, las cuales se detallan a continuación:

Capítulo 1: En este primer capítulo se detalla el marco teórico, en el cual se enfatizan los aspectos necesarios para la comprensión de los términos y herramientas envueltas en el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2: En el segundo capítulo se especifica el proceso de desarrollo del prototipo, en conjunto con las definiciones del estudio, la metodología que se ha utilizado para el desarrollo del proyecto, su finalización y posterior funcionamiento.

Capítulo 3: Por último, en este capítulo se presentan las evaluaciones y los resultados obtenidos, además de lo concluido y recomendaciones.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la Investigación

La revisión sobre cada tema de investigación de este trabajo se elaboró mediante el uso de la metodología de Revisión Sistemática de la Literatura, en donde el objetivo de cada una de las mencionadas investigaciones es identificar, evaluar y resumir resultados de trabajos pasados ayuden como aporte eficiente a la presente investigación que se realiza actualmente.

a) Preguntas de investigación

Tabla 3. Preguntas de investigación

Pregunta de investigación	Descripción y motivación
RQ1. ¿Cuáles son los dispositivos que permiten desarrollar un encefalograma?	El propósito de esta pregunta es identificar y analizar que tipos de dispositivos dan la posibilidad de hacer la realización de un encefalograma para así tener una idea básica de como empezar el proceso.
RQ1.1. ¿Cómo es posible establecer una comunicación con los dispositivos por medio del cerebro, sin comprometer la seguridad de los individuos?	Esta pregunta pretende explicar de la manera más detallada y sencilla posible el complejo proceso de transmitir instrucciones con la ayuda de sensores especializados, y una vez comprendido el proceso sea factible desarrollar una versión propia.
RQ1.2. ¿Cuáles son los programas que se pueden aplicar para realizar el estudio de la actividad cerebral gracias a la encefalografía?	Esta pregunta tiene como objetivo identificar que opciones de software se disponen para manipular la información captada por medio de las señales encefalográficas, investigar a profundidad cuales son los más adecuados para el desarrollo del estudio.
RQ1.3. ¿Qué artefactos o prototipos han sido desarrollados por ingenieros que logren establecer una correcta comunicación humano-máquina por medio la electroencefalografía?	El objetivo de esta pregunta es identificar diversos modelos que ya hayan sido creados por otros ingenieros y que sirvan como base para una investigación propia, de esta forma es posible adaptar otros trabajos hacia un nuevo enfoque, o extraer información valiosa de varios de ellos para solventar de mejor manera el desarrollo del proyecto.
RQ1.4. ¿Cuáles son las herramientas requeridas para trabajar con electroencefalograma?	Esta pregunta mapea los diversos materiales que se requieren para usar un EEG de manera óptima, para realizar una investigación de cuales herramientas están a la disposición y si es posible obtenerlas.
RQ1.5. ¿Cuáles son los beneficios que proporciona la tecnología de EEG?	El propósito de esta pregunta es analizar en qué aspectos facilita la electroencefalografía al momento del desarrollo de diversas actividades, en especial para personas que no cuenten con total movilidad en su cuerpo.

RQ2. ¿Qué contratiempos se presentan al momento de trabajar con la electroencefalografía y es factible trabajar con ella hoy en día?	Esta pregunta tiene como objetivo identificar cuáles son los principales problemas que se tienen al momento de trabajar con la tecnología EGG, si son peligrosos de alguna forma para la interacción humana, o diversos factores que pueden interrumpir por alguna razón la transmisión de datos.
--	---

b) Palabras claves y Cadena(s) de búsqueda

Una parte de la búsqueda de información se hizo de manera automática, aprovechando una cadena validada por expertos en las áreas de Ingeniería de Requisitos y criterios para la seguridad; y la otra parte fue una inclusión manual de artículos conocidos relacionados con el tema. Scopus, IEEE y Mdpi, fueran las bases de datos en línea seleccionadas y consultadas.

La cadena de búsqueda se detalló según los términos principales bajo investigación (sistemas críticos para la seguridad, ingeniería de requisitos, requisitos de seguridad e integración / comunicación). Se realizaron búsquedas principales para designar una cadena de búsqueda concreta. Descartando palabras clave cuya adición no proporciono artículos suplementarios en las indagaciones que se realizaron solas. Luego de múltiples averiguaciones, se delimito una cadena de búsqueda que se enfoca en buscar, en resumen, palabras claves, título de las fuentes:

- (“Control by neural signals” OR “control by neural signals” OR “Control by neural signal” OR “control by neural signal”) AND ("Encephalogram" OR "Encephalography" OR "EEG" OR "neural signals")

c) Criterios de inclusión y exclusión

Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión

#	Criterio de inclusión
1	Estudios relacionados con Ingeniería, Biomedicina y IoT
2	Trabajos que hayan sido publicados entre 2018 y 2023
3	Estudios que relacionan Encefalografía con domótica.
4	Estudios que relacionen las señales neuronales con el control de dispositivos electrónicos.
#	Criterio de exclusión
1	Artículos no muy largos (≤ 3 páginas)
2	Estudios repetidos (solo se agregó una copia de cada estudio)
3	Artículos escritos que no sean en inglés, español o portugués
4	Estudios que no se relacionen con el campo en cuestión.
5	Trabajos redundantes

d) Proceso y resultados de la búsqueda

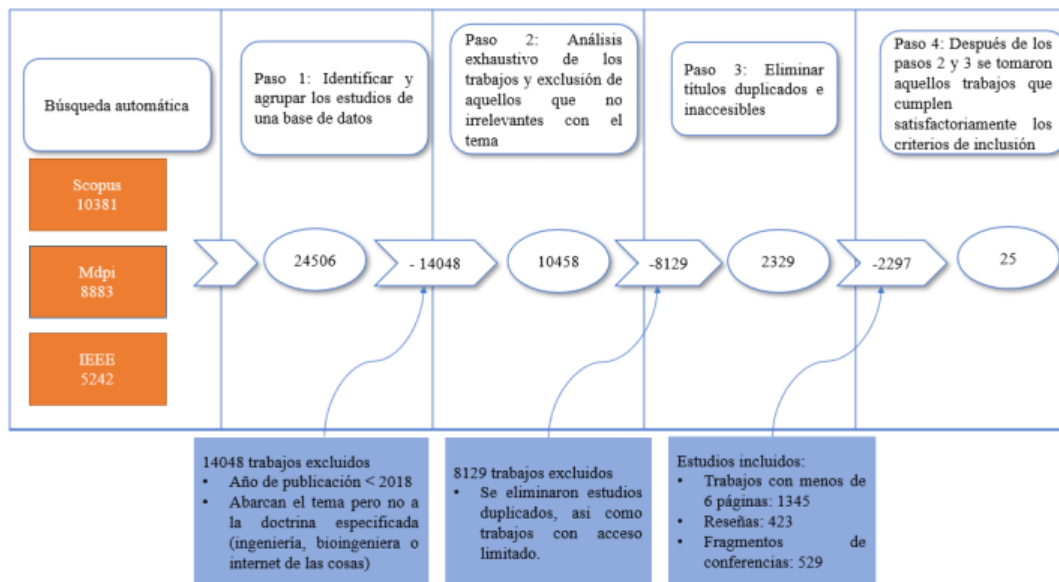


Figura 2. Proceso y resultados de búsqueda

La **Figura 2.** Explica detalladamente el transcurso y la consecuencia de la averiguación bibliográfica realizada, donde se especifican las bases de datos que fueron utilizadas para la elaboración del presente trabajo, que esencialmente son Scopus, IEEE, y Mdpi. En base a la revisión de bibliografías que se elaboró, se separaron y se organizaron diferentes estudios obtenidos de manera unánime con la ayuda del gestor Zotero. Más adelante se clasificaron los diferentes artículos en base a la relevancia que brindaban para este estudio en cuestión por lo cual al final se trabajó con 24 trabajos en total para el marco teórico.

- Cantidad de estudios por año

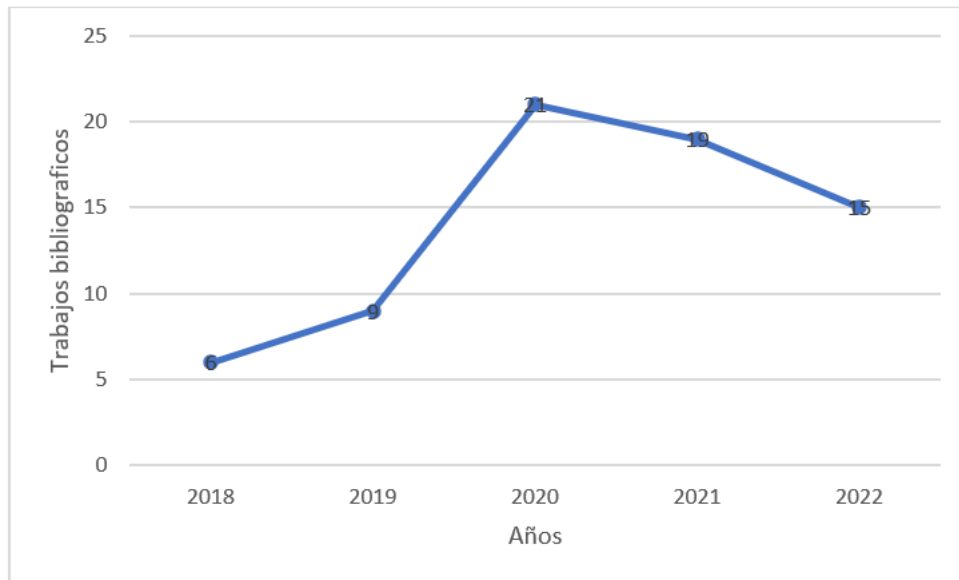


Figura 3. Diagrama de cantidad de trabajos por año

En la **Figura 3.** Se pone en evidencia la cantidad de trabajos publicados por un rango específico de años, para posteriormente los trabajos recolectados ser examinados y analizados que se citaran en el proyecto de investigación. La recolección utiliza un rango de 2018 a 2021, parámetro que se puede especificar en las bases de datos electrónicas.

1.2 Antecedentes históricos

El término Encefalograma viene desde 1929, cuando Hans Berger lo propone para explicar el registro de las oscilaciones eléctricas en el cerebro obtenidas por electrodos fijados al cuero cabelludo. A partir de ahí muchos investigadores han descubierto que se pueden hacer muchas cosas interesantes con dicha información, en el año 2018 por ejemplo debido a las deficiencias de los métodos existentes, para identificar la intención de movimiento humano para el control de una prótesis. Arata Jumpei et al [2]. Denotan que la tecnología de electroencefalografía EEG, es capaz de registrar señales eléctricas de la superficie del cráneo humano, y posteriormente usarlas para transportar información relacionable a los movimientos corporales del ser humano.

En 2019 además, es donde Pei, Patel y Burns decodifican los movimientos de una mano usando encefalografía (EEG), en donde mediante sensores especializados, detectan que hasta el más ligero movimiento de una mano transmite diversas señales las cuales así como se reciben, pueden transmitirse en un contexto diferente, uno dictado por el ser humano para que desempeñe un papel específico [3].

Múltiples interacciones entorno a la EEG se han desarrollado como es el caso del uso de la estereoelectroencefalografía, que estudia al cerebro con la implantación de microelectrodos que conducen cierta dosis de radiación, Yangjian Wang et al. Utilizaron esta tecnología como un estudio, para la planificación antes de una cirugía estereotáxica con el fin de automatizar la búsqueda de una zona afectada por tumores cerebrales, para facilitar el proceso quirúrgico y no comprometer la vida del paciente [4].

Pero en años más recientes se ha optado por incluso, usar en conjunto las señales EMG con el diseño y uso de una prótesis, donde se maximiza su efectividad por medio de servo motores e incluso Machine learning, donde se entrena un brazo prostético para que funcione de manera independiente, tal como lo detallan Plumming et al, quienes mediante el uso de dispositivos de medición inercial, es decir, dispositivos electrónicos que se encargan de medir la aceleración lineal, la velocidad angular, el campo magnético en tres ejes, y la aceleración resultante, logran integrar todos estos datos en una red neuronal, para que desarrolle acciones específicas [5]. Cabe recalcar que múltiples estudios se han hecho con el fin de calibrar los mas que se puedan las ondas EEG, para tener resultados más específicos, haciendo en muchos casos hasta 3 estudios distintos de un mismo caso, e ir descartado datos inconexos como es el caso de Ala et al [6].

1.3 Antecedentes Teóricos

En este apartado se describen los temas y subtemas de importancia que se utilizaran durante todo el proceso de elaboración del proyecto, destacan principalmente temas sobre Internet de las Cosas (Domótica) y Electroencefalograma (EEG).

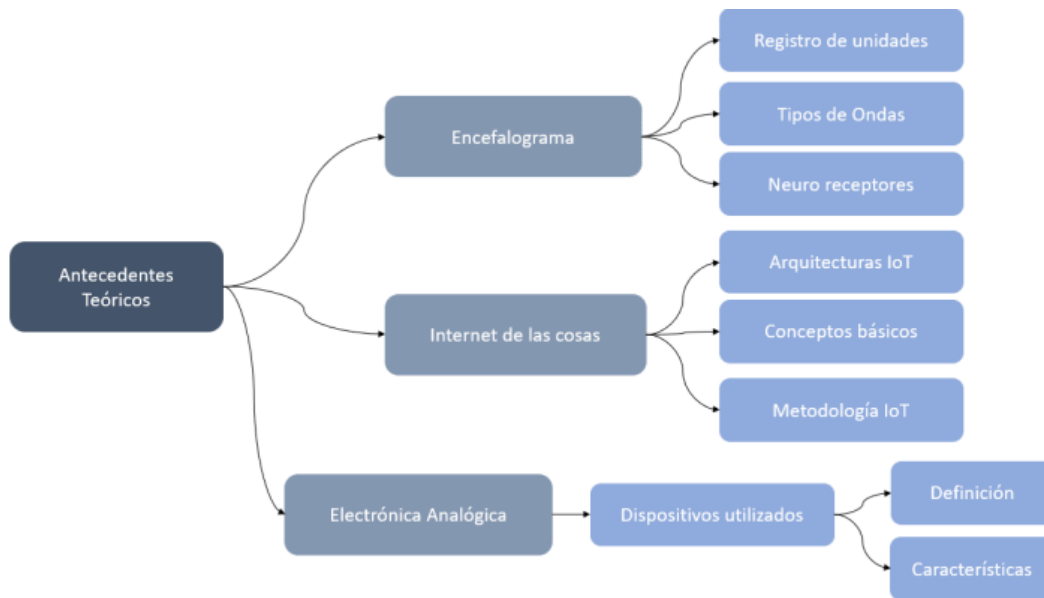


Figura 4. Antecedentes teóricos

1.3.1 Internet de las cosas

1.3.1.1 Conceptos básicos de Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas y sus tecnologías van evolucionando con el pasar del tiempo, proporcionando mayores beneficios para el desarrollo de soluciones a problemáticas para las cuales se pueden implementar su uso, siendo los dispositivos de internet de las cosas (IoT) los que tienen la capacidad de actuar, detectar, controlar, limitar energía con el mundo físico creándose interconexiones con sistemas [7].

En tal caso, complementando el concepto del internet de las cosas con el de tecnologías de la información, según otros autores [8], se puede decir que ---- a través de un conjunto de objetos inteligentes con excelentes capacidades de autorreconocimiento que pueden interactuar a distancia entre sí y con el resto de los artefactos esenciales enlazados a internet con un mínimo tiempo de espera, consiguen el control de dispositivos remotamente en un domicilio.

Arquitecturas IoT

Al momento de trabajar en el campo de IoT es imprescindible tener una arquitectura desde el inicio, ya que sirve como guía para el desarrollo del proyecto, estas arquitecturas obedecen a un patrón bien definido que permite mejor control de los dispositivos con los cuales se trabajen [9].

Existen múltiples arquitecturas definidas para el IoT, estas ayudan a entender mejor el funcionamiento de los diferentes dispositivos utilizados y como interactúan entre ellos, algunas de ellas convertidas en estándares son:

- “Three- and Five- Layer Architectures”

Como sus nombres lo indican, ambas son arquitecturas conformadas por varias capas, siendo la arquitectura de cinco capas una iteración de la de tres, solo que la última es usada en las primeras etapas de la investigación, mientras que la de cinco al utilizar un mayor número de capas, no solo aumenta su complejidad, sino que permite establecer una visión más profesional respecto a lo que se va a realizar [10].

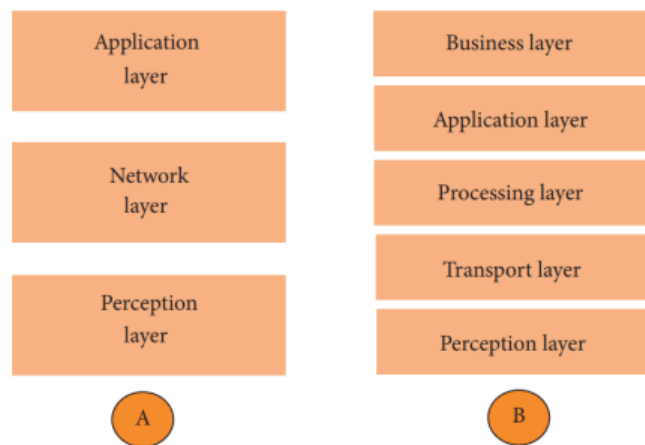


Figura 5. Arquitectura de tres y cinco capas

En la figura 5, se puede observar la diferencia entre las dos arquitecturas siendo la A la de tres, y la B la de cinco, ambas comparten las capas de percepción y aplicación, en la de tres se cuenta con la capa de red, mientras que en la de cinco esta es sustituida por las capas de procesamiento, transporte y negocios. A continuación, una explicación detallada de cada una de las capas.

- i. La “Perception Layer”: Está asociada con los sensores que interactúan con el entorno para obtener información.
- ii. La capa de red: Esta capa es responsable de conectar dispositivos inteligentes, servidores, etc. También se encargan de transmitir y procesar datos de los sensores.
- iii. La “Application Layer”: Entrega servicios muy concretos de la aplicación hacia el usuario, hay múltiples aplicaciones en que IoT puede integrarse, como en hogares, o espacios inteligentes.

- iv. La “Transport Layer”: transmite datos de un sensor a la Perception Layer hacia la “Processing Layer” y viceversa, mediante redes, tanto de conexión directa como inalámbricas.
 - v. “Processing Layer”: Esta capa guarda, procesa y da un análisis de desproporcionados montos de datos, que vienen de la Transport-Layer. Tiene la capacidad de brindar y organizar múltiples servicios a las capas que se encuentren por debajo de ella, utiliza además múltiples tecnologías, pueden ser bases de datos, o procesamiento big data.
 - vi. La capa de negocios: Esta capa se encarga de gestionar todo el sistema IoT, incluyendo aplicaciones, modelos de negocio y beneficios, y la privacidad de los usuarios.
- “Microservice-based Architecture”

Esta arquitectura es ideal al momento de trabajar con múltiples aplicaciones que se conectan de manera dispersa, trabajando en conjunto en la “nube”, esta Arquitectura es una de las que se han venido usando recientemente, suplantando a algunas más monolíticas al descomponer cualquier aplicación a un entorno de servicios independientes [11].
 - “QoE-Driven Architecture”

Crear servicios que tengan en cuenta la Experiencia de Usuario (QoE) en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) implica considerar diferentes enfoques en la estructura del sistema, como el diseño de una arquitectura que tenga en cuenta la QoE, la elaboración de modelos para medir la QoE, la exploración de tecnologías subyacentes relacionadas con la QoE y la administración eficiente de recursos que consideren la QoE. Estos temas siguen siendo objeto de investigación activa en la literatura. Por esta razón, este artículo analiza en profundidad los diseños que priorizan la QoE y el estado actual de los estudios en estas áreas [12].
 - “Domine IoT Architecture”

Esta arquitectura IoT cuenta con tres capas, siendo las de dominio, de red y de sensores, está directamente relacionada con Cloud Computing, así como la red de sensores (WSN).

 - i. Dominio de aplicación: Especifica el dominio de IoT en donde se va a desenvolver la arquitectura, como pueden ser la domótica.

- ii. Dominio de red: Este dominio registra diferentes datos los cuales permiten que diferentes dispositivos realicen acciones específicas, por medio de una conexión a internet.
- iii. Dominio de sensores: Este dominio está conformado por dispositivos que se encargan de recibir información la cual es enviada a un aparato como un Gateway o Router para que se ha utilizada por el usuario [13].

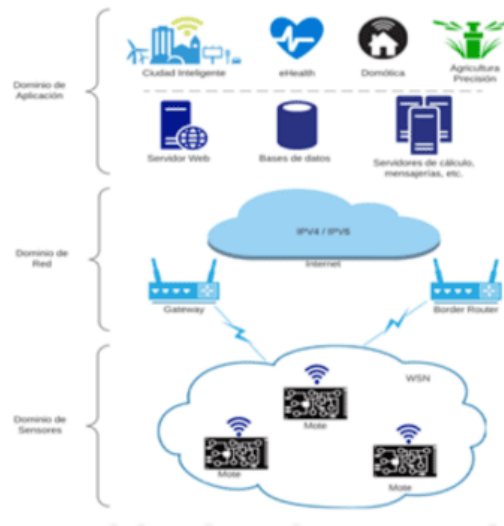


Figura 6. Ejemplo de Domain IoT Architecture

En resumen, casi toda la tecnología de IoT comprende tecnologías como nodos finales (end-node), borde (edge), niebla (fog), y computación en la nube (Cloud, las cuales aportan de inteligencia al proyecto que se trabaje. En términos generales, los sensores y circuitos de acondicionamiento de señales se conectan a los nodos finales; estos nodos se utilizan cuando la aplicación requiere implementar una gran cantidad de sensores de alta densidad para capturar los parámetros físicos del entorno, la nube para almacenar información, el borde como punto de inicio para capturar datos, y la niebla como el limbo entre los espacios donde se desarrolla la mayoría de las operaciones logísticas [14].

1.3.1.2 Herramientas de monitorización y gestión de datos

Node-red

Node-red es una herramienta de desarrollo en base a el flujo de código abierto para la convergencia de aparatos IoT, API (Interfaces de programación de aplicaciones) y servicios en línea de IBM, [15] Milica Lekić y Gordana Gardasević en su investigación, mencionan que Node-RED es una herramienta gratuita basada en JavaScript, creada sobre Node.js el cual brinda un editor de flujo visual basado en un navegador. El sistema consta

de botones como por ejemplos los nodos y tiene varias funciones como el monitoreo, depuración, lectura y escritura utilizando los pines GPIO de la Raspberry PI [16]. Con Node-red se puede realizar variedad de tareas como el uso de protocolos de red, presentar datos de flujos realizados y agregar plugins como bases de datos.

Los protocolos que soporta esta herramienta son MQTT, Modbus, CoAP, BLE, y otros más que al ser almacenados, lo hacen mediante el formato json siendo favorable para la importación y exportación de estos además se puede utilizar para construir rápidamente lógica de procesamiento de datos y transportar de manera eficiente datos procesados a sistemas de nivel superior, como SQL, sistema de gestión corporativa, colector central de datos y servicio basado en la nube. En lugar de desarrollar una página web para mostrar distintos datos de sensores, el uso de Node-RED proporciona un Dashboard que permite al usuario construir una interfaz impresionante [17].

MQTT

MQTT es un protocolo de mensajería liviano diseñado para la comunicación entre dispositivos en redes de sensores y sistemas de IoT. Ha ido evolucionando constantemente, pero en general Utiliza un enfoque de publicación y suscripción, donde los dispositivos envían mensajes a temas (topics) específicos y otros dispositivos se conectan a esos temas para recibir mensajes relevantes [18]. Esta forma eficiente de comunicación es valiosa en entornos con recursos limitados, ancho de banda reducido y latencia, como en dispositivos con conexiones de red lentas. MQTT se emplea ampliamente en aplicaciones de monitoreo en tiempo real, automatización del hogar y telemetría industrial.

Mosquitto Broker

Mosquitto, un broker MQTT de código abierto, funge como un intermediario en la interacción de dispositivos IoT. Facilita la transferencia eficaz de mensajes entre dispositivos a través del protocolo MQTT, asegurando una conectividad fluida y confiable en redes de sensores y sistemas de Internet de las Cosas. Cabe recalcar que no solo existe este broker, existen varios de ellos, pero el cual se utilice, depende del proyecto en el cual se trabaje, Paho es otro de los varios ejemplos que existen [19].

Grafana

Grafana es un sistema de código abierto que permite análisis y visualización interactiva en diversas plataformas. Ofrece soporte para múltiples fuentes de datos y convierte datos de TSDB en atractivas gráficas y efectos visuales, además de permitir la creación de paneles de monitoreo avanzados mediante su generador de consultas interactivo y sistema de complementos [20].

InfluxDB

Para lograr el almacenamiento de datos, es posible utilizar InfluxDB, una base de datos de series temporales de código abierto desarrollada por InfluxData en el MIT. InfluxDB también se basa en el lenguaje “Go” y ofrece capacidades de almacenamiento y recuperación en la nube con alta disponibilidad para el monitoreo de datos de IoT y otras analíticas en tiempo real [21]. Una característica distintiva de InfluxDB, que es esencial para la elaboración del proyecto es su capacidad de registrar automáticamente la hora y la fecha (timestamp) en los datos almacenados.

Debian

Debian es un sistema operativo de código abierto ampliamente preferido, especialmente al momento de trabajar con Raspberry Pi. Destacado por su estabilidad y una comunidad de desarrollo activa, proporciona una diversidad de herramientas y software para diversas aplicaciones, además similar a Windows, implementa el protocolo de Capa de Sockets Seguros (SSL) para finalizar el proceso de negociación con servidores y lograr la actualización del sistema de manera inalámbrica [22].

Brain library

Brain hace referencia a una librería de Arduino IDE que permite analizar datos de un neuro receptor EEG basada en la tecnología Neurosky, está adaptado para funcionar con el juguete Mindflex de Mattel, con el cual es posible simplificar mandar de una cadena ASCII de datos desunidos por comas en un string, lo cual permite ingresar al Monitor Serial para ver la información recolectada por el neuro receptor [23].

1.3.2 Electroencefalograma

El electroencefalograma (EEG) hace referencia al estudio de la actividad cerebral del cerebro, que registra la bioelectricidad que desprende el mismo en condiciones específicas (como la concentración o la estimulación luminosa) mediante un equipo de electroencefalografía [24].

1.3.2.1 Ondas EEG

Son ondas generadas por el cerebro que pueden captarse por un receptor de señales encefalográficas, desprenden valores numéricos que van desde 0 hasta más de los 50 Hz, cada una de ellas responde a un rango específico y se clasifican de acuerdo al mismo [25].

1.3.2.2 Tipos de ondas

El Mindflex proporciona ocho valores que representan la cantidad de actividad eléctrica a diferentes frecuencias. Estos datos se filtran/amplifican en gran medida, por lo que mientras que un EEG de grado médico convencional le daría valores de voltaje absolutos para cada banda, Neurosky en cambio brinda medidas relativas que no se asignan fácilmente a unidades del mundo real. Sigue un resumen de las frecuencias involucradas, junto con un resumen extremadamente simplificado de los estados mentales asociado [26]. Los tipos de ondas se clasifican según un estado en particular, estos son:

- Onda-Delta (Que va de uno a tres Hz): dormido
- Onda-Theta (Que va de cuatro a siete Hz): Meditando.
- Onda-Low Alpha (Que va de ocho a nueve Hz): sin abrir los ojos, relajado.
- Onda-High Alpha (Que va de uno a tres Hz): concentrado.
- Onda-High Beta (Que va de dieciocho a treinta Hz): estimulación
- Concentración (Que va desde 0 hasta 100 Hz).
- Meditación (Que va desde 0 hasta 100 Hz)

1.3.3 IoT Methodology

La presente investigación se desarrollará con la implementación de la metodología IoTM o también IoT Methodology cual es una metodología de tipo iterativa creada por Consultancy for Internet of Things team en donde se clasifica de 3 fases principales siendo su ciclo de vida y cada uno contiene 3 sub-fases [27].

1.3.3.1 Brainstorm

- **Cocreación:** Integrantes del proyectos y más interesados se reúnen a discutir los problemas reales que experimentan, definir el dominio del problema y se proponen soluciones creativas mediante una lluvia de ideas haciendo uso de las diferentes tecnologías y recursos disponibles.

- **Idear:** Se comienza a formar nociones en conceptos reales que demuestran a los creadores un medio para deconstruir y describir realmente el potencial y el valor de la idea.
- **Validar:** Medición y comparación de las diferentes formas que se puede avanzar para así asegurar dependiendo de las habilidades, es decir, la aplicabilidad de este. Además, se definen los roles de acuerdo con las habilidades de cada integrante del equipo.

1.3.3.2 Build

- **Arquitectura:** Se elabora una arquitectura apropiada para el proyecto IoT, teniendo en cuenta los riesgos que puedan suceder y las oportunidades para un crecimiento sostenido.
- **Implementar:** Construcción del prototipo cual tiene que ser probado y medido para certificar el funcionamiento y usabilidad.
- **Desplegar:** Lanzamiento de la versión final y también de futuras actualizaciones. Cabe recalcar que este punto no se tomará en cuenta porque se va a realizar un prototipo.

1.3.3.3 Tune

- **Identificar:** Identificación de problemas en el prototipo y posibles problemas que puedan ocurrir en el mismo.
- **Clasificar:** Clasificación de los problemas o fallas de acuerdo con un orden clasificador o nivel de riesgo como, por ejemplo: Muy alto, Alto y Bajo.
- **Actuar y ajustar:** De acuerdo con la clasificación de riesgos se actúa en la corrección de estos y ajustes necesarios para prevenir que estos vuelvan aparecer.

1.3.3.4 Componentes del prototipado

Neuro receptor

Sensor Mindflex



Figura 7. Sensor Mindflex

Mindflex, en esencia es un juguete que permite el control de una pelota propulsada por aire el cuál se guía midiendo el grado de concentración del cerebro, este neuro receptor una vez este ubicado en la cabeza de un individuo medirá las ondas EEG que el cerebro produzca, se comunica además una base que viene incluida, que dispone de un ventilador conectado a un sensor que detecta la intensidad de las ondas de nuestro cerebro, a mayor intensidad, el ventilador ubicado debajo de la base dará aire a mayor velocidad permitiendo que una pelota levite sobre la misma [28].

Su funcionamiento utiliza un tipo de chipset instalado en uno de los laterales, este posee dos cables con salidas metálicas que se conectan en la parte de debajo de ambas orejas, permitiendo tener un panorama más amplio de toda la corteza cerebral de la persona que esté utilizando el neuro receptor, funciona mediante tres baterías, y es posible tener acceso a los componentes internos y conectar un microcontrolador como puente entre el neuro receptor y un computador, todo con el fin de ver en tiempo real los datos que registra el dispositivo [29].

Servomotor Sg90



Figura 8. Servo motor SG90

El SG90 es un motor con una alta calidad de dimensiones minúsculas, sin mencionar que no es costoso. Trabaja con una gran cantidad de dispositivos electrónicos, como microcontroladores, y aunque la fuerza de movimiento que genera no es alta, sirve para dar una demostración del prototipo de hogar inteligente [30].

Diodos led



Figura 9. Diodos led de 3mm

Un diodo LED es un aparato que, mediante la continua suministración de energía, polarizada de manera correcta, emite un destello de luz, viene de diferentes colores, y casi siempre es necesario de una resistencia de al menos 220 Ohmios para garantizar su funcionamiento o evitar que se quemen [31].

Arduino Nano



Figura 10. Pines del Arduino nano

El Arduino Nano es una versión reducida y minimalista del Arduino UNO, con ligeras diferencias, entre ellas que cuenta con pines de salida y ya no de entrada, aunque esto ayuda a que sea más fácil de usar, cuenta una salida USB Mini, que permite programar mediante un hardware externo y que sirve para alimentar de energía a la placa [32].

Gracias a su versatilidad este Microcontrolador es capaz de adaptar mucha información de distintos tipos, pero esto no lo hace por sí solo, sino que cuenta con su propio IDE, es

decir interfaz que permite mediante código escrito en lenguaje C, trabajar de múltiples maneras al poder programarlo tal y como el usuario desee [33].

ESP32



Figura 11. ESP32

ESP32 es una placa de desarrollo que integra el microcontrolador ESP32. Este brinda el control hacia diferentes de dispositivos, activadores y sensores por medio de conexiones inalámbricas, que es útil en el desarrollo por medio proyectos con Internet de las cosas (IoT) de una manera que sea más eficiente y menos costosa. Además, posee una entrada USB que sirve tanto como suministro de energía, como para empezar a trabajar mediante el computador, el modelo en concreto para la elaboración del proyecto es un NodeMCU-32S [34].

Y para el funcionamiento tiene su estructura de uso mediante los pines que se lo representa mediante la siguiente figura:

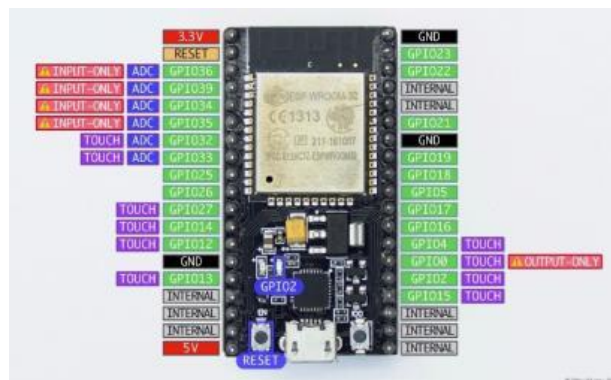


Figura 12. ESP32 Pin Layout (QFN 6*6, Top View)

Fuente: ESP home [34]

Raspberry Pi 3+

Es un pequeño computador que mediante una arquitectura basada en Linux permite conocer las bases de un PC más avanzado, que ejecuta acciones sencillas por sí solo pero

que permite la interconexión de otros dispositivos para generar algún tipo de proyecto más exigente, pero que además interactúe con el entorno de manera más directa

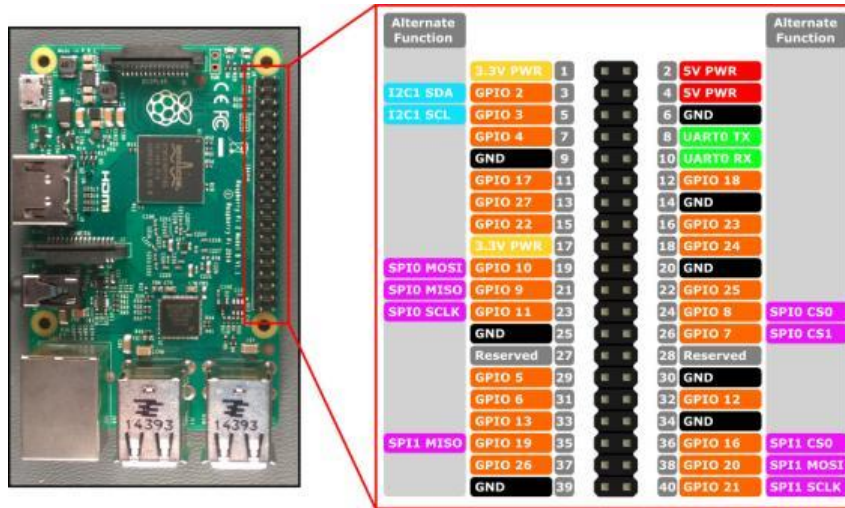


Figura 13. Raspberry Pi 3+ Pin Layout

Fuente: Microsoft Learn [35]

1.4 Antecedentes Contextuales

El proyecto de investigación está enfocado en el monitoreo de la actividad cerebral que realice una o varias personas, en diferentes ambientes, puesto que diversos factores pueden alterar como se manejan los datos, si la persona está concentrada o distraída, o si se presenta algún tipo de estímulo, como el sonoro o la foto sináptica [36].

1.4.1 Ámbito de aplicación

Realizar la recolección y monitoreo de los datos del neuro receptor, es decir, los parámetros de las distintas ondas que detecte el cerebro, Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma que responden al nivel de concentración de una persona en concreto para manipular aparatos electrónicos remotamente. Mediante el uso de un prototipo modelado y construido por los autores del presente trabajo de titulación utilizando neuro receptores y dispositivos IoT [37].

1.4.2 Establecimiento de requerimientos

El monitoreo sobre las señales encefalográficas recibidas a través del uso de un neuro receptor en un prototipo de internet de las cosas, este monitoreo hace la entrega de datos

numéricos que pueden ser enviados desde el prototipo hacia un microcontrolador. Los datos a su vez permiten interpretar dichas señales, para posteriormente accionar algún dispositivo específico [38].

CAPITULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

2.1. Definición del prototipo

El desarrollo del prototipo esta dividido en 3 partes donde se utilizan las tecnologías de Internet de las cosas, que nos ayuda con la recolección de los datos mediante los neuro receptores que se integren, Domótica para crear un esquema y tener una visión amplia de cómo se podrá utilizar este proyecto en la vida diaria. Finalmente, el desarrollo de una estructura que mediante internet pueda tener acceso a aparatos electrónicos de manera remota:

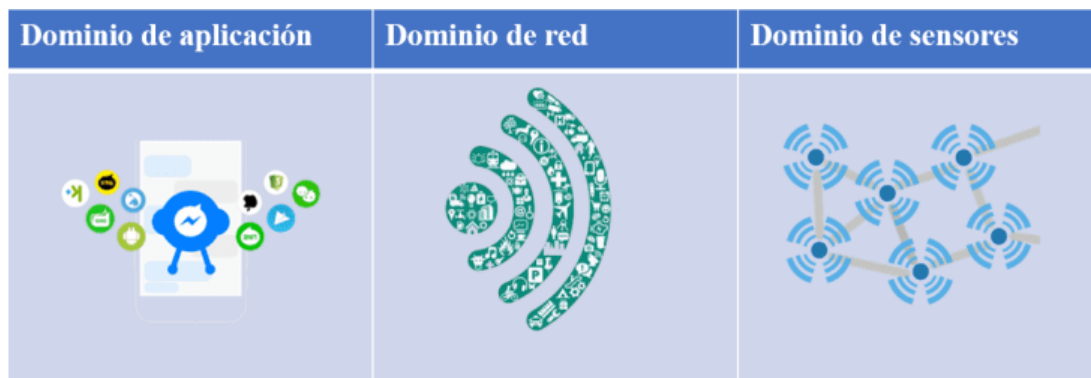


Figura 14. Definición del prototipo general

Este prototipo contará con tres tipos de dominio, las cuales son:

Dominio de aplicación: en este aspecto es donde se implementa un dispositivo de internet de las cosas que consta con un módulo de Arduino en conjunto de un neuro receptor para recolectar los datos esenciales.

Dominio de red: en la capa de red se encuentra la comunicación de todos los dispositivos, donde actúa Node-red para gestionar los dispositivos a los que se les envía la información.

Dominio de sensores: los datos serán trabajos mediante un esquema de domótica, es decir que múltiples dispositivos se encenderán o apagarán en función a la información que se les envié por medio del neuro receptor.

2.2. Metodología de desarrollo del prototipo

2.2.1. Enfoque, alcance y diseño de investigación

Enfoque del estudio

La dirección del enfoque de la investigación perteneciente a este trabajo será cuantitativa ya que se realizará la recopilación de datos a partir de la medición de un neuro receptor

permitiendo la evaluación de los mismo a través de la implementación de un Dashboard, el cual mostrará la información obtenida en tiempo real, además de transcribir estas señales, para utilizarlas a conveniencia del usuario.

Alcance de la investigación

El alcance de la investigación fue descriptivo, porque se estudiaron características que conlleva a calificar la actividad cerebral con algunas variables y todo mediante el uso del prototipo con neuro receptores que posteriormente fueron puestos bajo análisis.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será cuasiexperimental, dado que la elección del sujeto de estudio es planeada, se lo selecciona de forma preliminar al inicio de la investigación, en el caso del presente trabajo el sujeto son los diferentes aspectos que se evalúan para las ondas encefalográficas del cerebro.

2.2.2. Unidades de análisis

Población

La población utilizada en la siguiente investigación será los datos que van a proporcionar el neuro receptor, es decir la frecuencia que captan las ondas encefálicas, y como estas se desempeñen al momento de accionar dispositivos a distancia con ellas, teniendo en cuenta factores como: velocidad de respuesta, correcto recibimiento de los datos, y ratio de fallos.

Muestra

No se obtendrá una muestra para el presente trabajo.

2.2.3. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Las técnicas e instrumentos que serán utilizados en este trabajo son la observación (ver Anexos) y el análisis de datos (ver Anexos), ejecutándose de forma estratégica en los procesos de pruebas, receptando los datos arrojados por parte del prototipo finalizado, de forma que esos datos serán analizados en base al instrumento pertinente.

2.2.4. Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados

Luego de realizar la revisión bibliográfica de estudios previamente realizados que guardan relación con la presente investigación, posteriormente se concluyó que el método

con mayor conveniencia para procesar los datos es el aprendizaje supervisado dirigido a la interfaz basada en electroencefalografía para accionar dispositivos remotamente, en concreto se usara el aprendizaje estocástico basado en la dirección y objetivo del proyecto.

2.2.5. Metodología o métodos específicos

Para la actual investigación se empleará la metodología IoTM o también conocida como IoT Methodology, La metodología está constituida por 3 etapas cuyas etapas contienen 3 subetapas que son las siguientes:

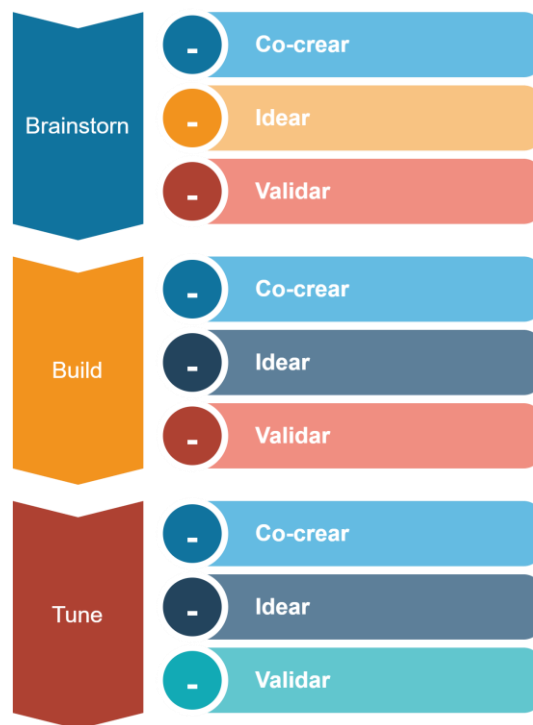


Figura 15. Procesos de la Metodología

2.2.6. Herramientas y/o Materiales

Tabla 5. Herramientas y/o materiales

Categoría	Herramientas y/o materiales
Software	<ul style="list-style-type: none"> • Node-Red • Arduino IDE • Processing
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Neuro Receptor Mindflex • Raspberry PI 3+ • Diodos LED • Servomotores sg90 • Resistencias de 220 Ohms.

	<ul style="list-style-type: none"> • Esp32 • Laptop Lenovo Yoga 6 (AMD Ryzen 5 5500U, 8 GB de RAM, 256GB SSD)
Lenguajes	<ul style="list-style-type: none"> • C/C++
Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Señales encefalográficas obtenidas
Servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Electricidad • Internet

2.3.Desarrollo del prototipo

2.3.1. Diseño del prototipo

El desarrollo del prototipo que se realizó se divide en dos capas que son capas de hardware, de análisis de datos y de presentación, para lo cual se utilizaron las siguientes metodologías para cada una respectivamente: Metodología IoTM y Metodología IA.

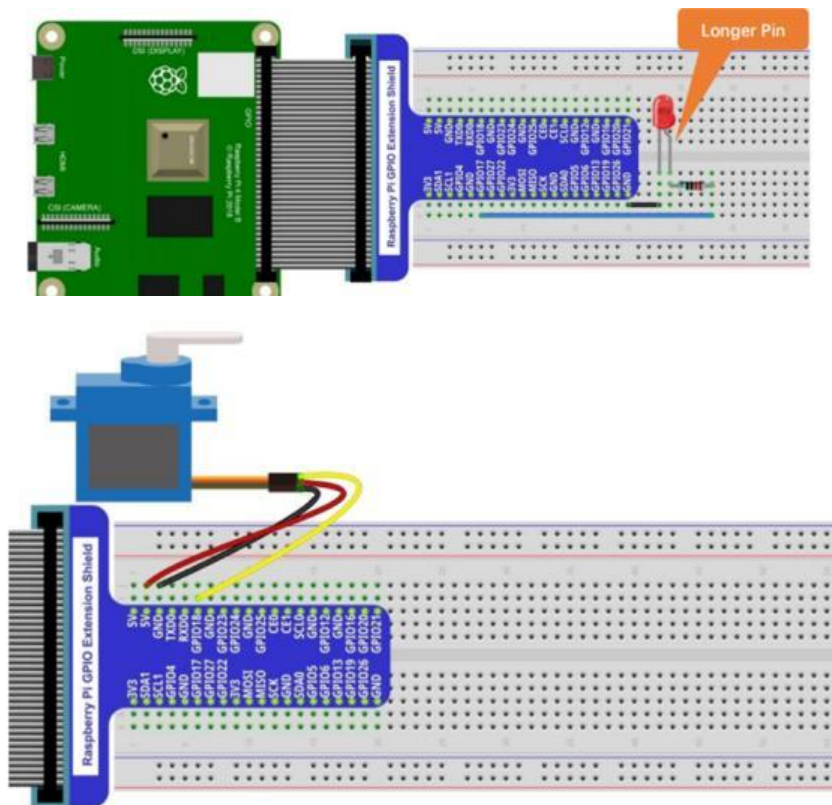


Figura 16. Diseño del prototipo

En la **Figura 16.** Se muestra de forma gráfica los principales dispositivos que se ejecutan en la infraestructura de domótica planteada, los cuales son 3 diodos LED, y dos servomotores, la conexión para los otros es la misma, lo único que cambia son los números de los pines GPIO.

2.3.1.1.Capa de hardware

I. Brainstorm

Cocrear

Como primer paso, se realizaron ciertas actividades cuyos propósitos fueron idear y validar un caso a ser resuelto a través de la aplicación de las tecnologías anteriormente mencionadas, dando como resultado un prototipo funcional, justo a ello se establecieron el personal que será involucrado en todo el proceso de construcción. En la tabla 6. Se mencionan los nombres y sus roles de los responsables del desarrollo.

Tabla 6. Responsables del desarrollo del prototipo

Nombre	Rol
Ing. Hernández Rojas Dixys Leonardo	Supervisor
Padilla Neira Juan Pablo	Desarrollador

Además, en este paso se determinaron los requisitos funcionales, de igual manera los no funcionales del prototipo por desarrollar. En la tabla 9. La lista de los requisitos funcionales y no funcionales.

Tabla 7. Requisitos funcionales y no funcionales

Requisitos Funcionales	Requisitos no funcionales
Conexión MQTT mediante un Broker	Diseño ergonómico y pulcro
Tener una Arquitectura IoT definida	Latencia baja
Uso de un Dashboard	Dashboard Simétrico
Caracterización y pruebas	

Idear

En este paso se desarrolló un boceto del prototipo de forma gráfica, dando como resultado la definición de implementación de un dispositivo IoT en un maquetado pequeño de un hogar inteligente, este modelo está conformado por 3 diodos led y 2 servomotores. El conjunto de dispositivos estará integrado únicamente en un dispositivo, el cual es un Raspberry Pi 3, las instrucciones serán dirigidas hacia Node-Red, quien se encargará de realizar el proceso de encendido/apagado dirigiéndose al dominio de sensores.

Validar

En este paso se realizó la validación a través de reuniones en conjunto con los encargados del trabajo de investigación, estando presentes el tutor y el desarrollador, el cual cada

cierto tiempo presentaba los bocetos elaborados del prototipo en la etapa actual, obteniendo el aprobado del boceto dando fin a esta etapa de la metodología.

II. Build

Arquitectura

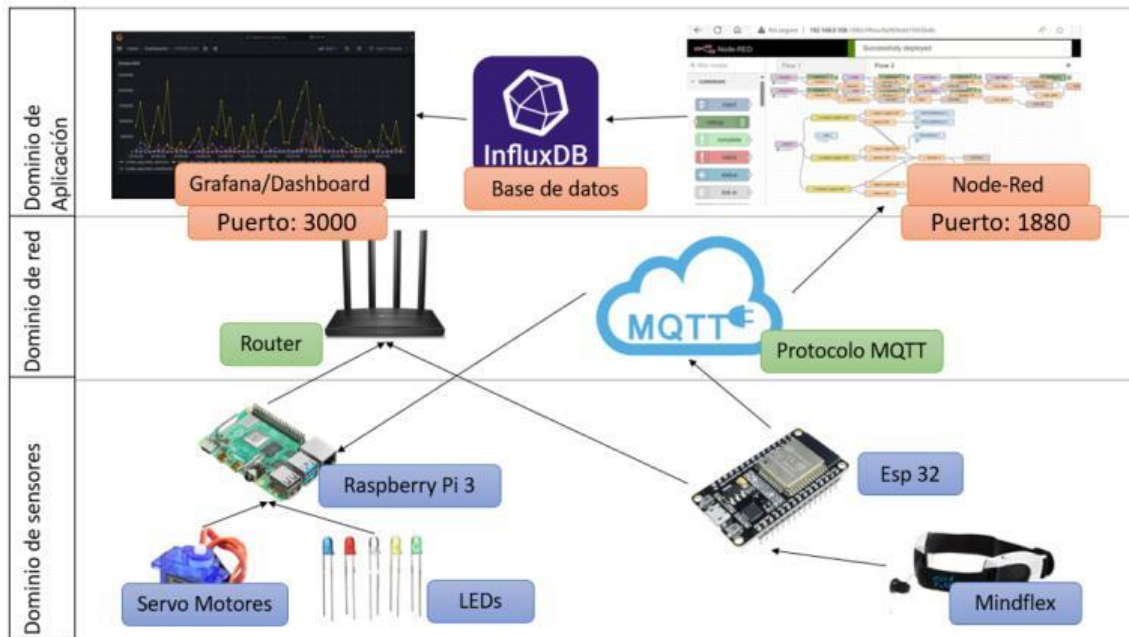


Figura 17. Arquitectura del proyecto

Implementar

Arduino IDE

Para la programación del NodeMCU-32S y calibración del neuro receptor, se utilizó el software Arduino IDE, pero es importante contar con las librerías para la placa de esp32, para ello se necesitó realizar la instalación a través del administrador de extensiones en el “Board Manager”, descargando gracias a una URL el archivo Espressif. Se selecciono este software debido a su gran capacidad de depuración y facilidad de uso.

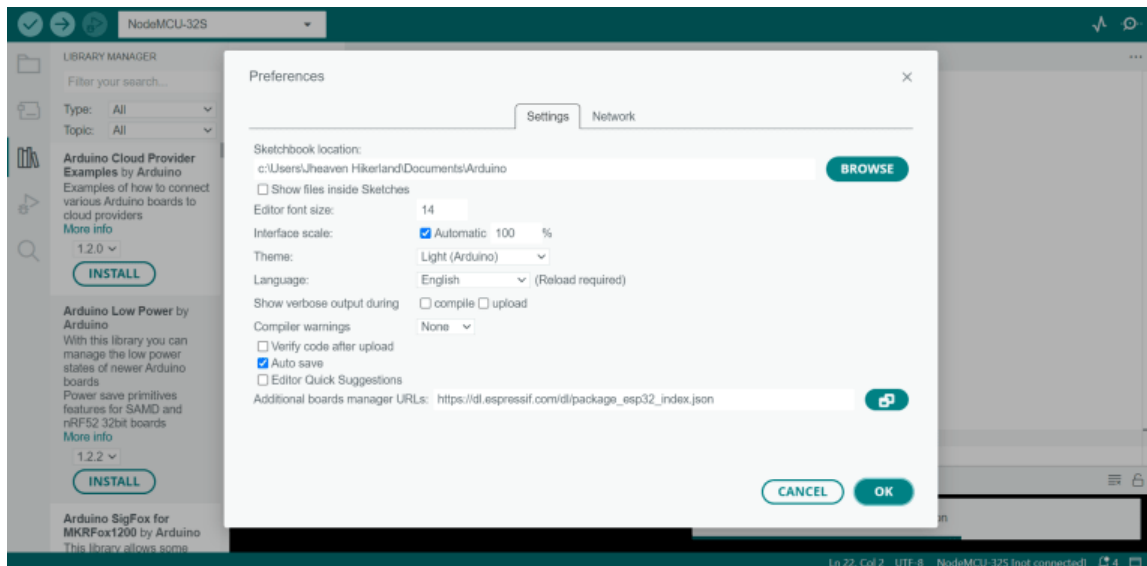


Figura 18. Arduino IDE

En la **Figura 18**. Se muestra dentro el software Arduino IDE, y como se necesita identificar la librería necesaria para trabajar con Esp32 a partir del administrador de tarjetas.

Desplegar

En la subfase de desplegado, se construyeron los aspectos que permiten la recolección de datos, donde el actor principal es el neuro receptor, su programación, desarrollo del backend en el Gateway Node-red y configuración de los dispositivos a través de Raspberry PI.

Programación del neuro receptor Mindflex

Como punto de partida de la programación del neuro receptor, se revisó con detenimiento el chipset dentro de Mindflex, obteniendo información acerca de sus pines, voltajes de entrada, salida de datos, etc. Además, se utilizaron librerías alojadas en GitHub, facilitando ciertos aspectos al momento de calibrar el neuro receptor y procesar sus datos.

Para la programación y recolección de los datos de Mindflex se utilizó una librería que permite recolectar los datos respectivos de forma rápida y sencilla, la librería se conoce como Brain, se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub: <https://github.com/kitschpatrol/Brain> . Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías que posee Arduino IDE. En la **Figura 17**. Se evidencia la codificación realizada para empezar a trabajar con el neuro receptor Mindflex.

```
1
2 #include <Brain.h>
3
4 // Configura el analizador cerebral, establece el serial del objeto que se desea escuchar.
5 Brain brain(Serial);
6
7 void setup() {
8     // Empieza a trabajar con el serial del hardware.
9     Serial.begin(9600);
10 }
11
12 void loop() {
13     // Espera a recibir los paquetes, uno por.
14     // La función .readCSV() regresa un string (onda, onda, *)
15     // Escucha los datos del neuro receptor acorde al siguiente formato:
16     // "señal fuerte, atención, meditación, delta, theta, low alpha,
17     // high alpha, low beta, high beta, low gamma, high gamma"
18     if (brain.update()) {
19         Serial.println(brain.readErrors());
20         Serial.println(brain.readCSV());
21     }
22 }
23
```

Figura 19. Código para la recolección datos por medio de Mindflex

También es necesario soldar ciertos cables para permitir la comunicación directa con del hardware, así el computador, en concreto solo son dos el pin T que es el que registra exclusivamente las ondas cerebrales, y la entrada a tierra GND, para que el dispositivo reciba energía, tal como se muestra en la figura 20, donde se muestra el antes y el después de haber tenido acceso a los pines respectivos y soldarlos de manera correcta.

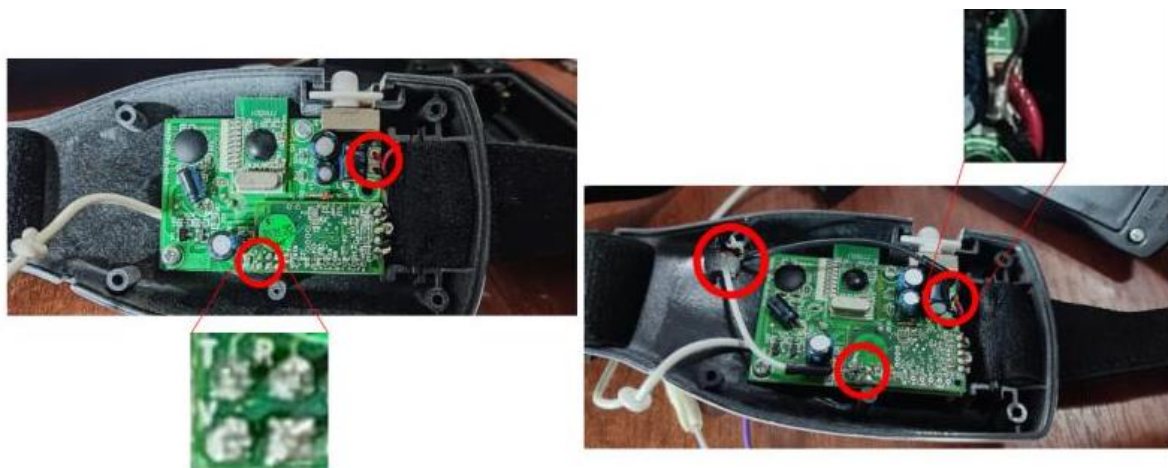
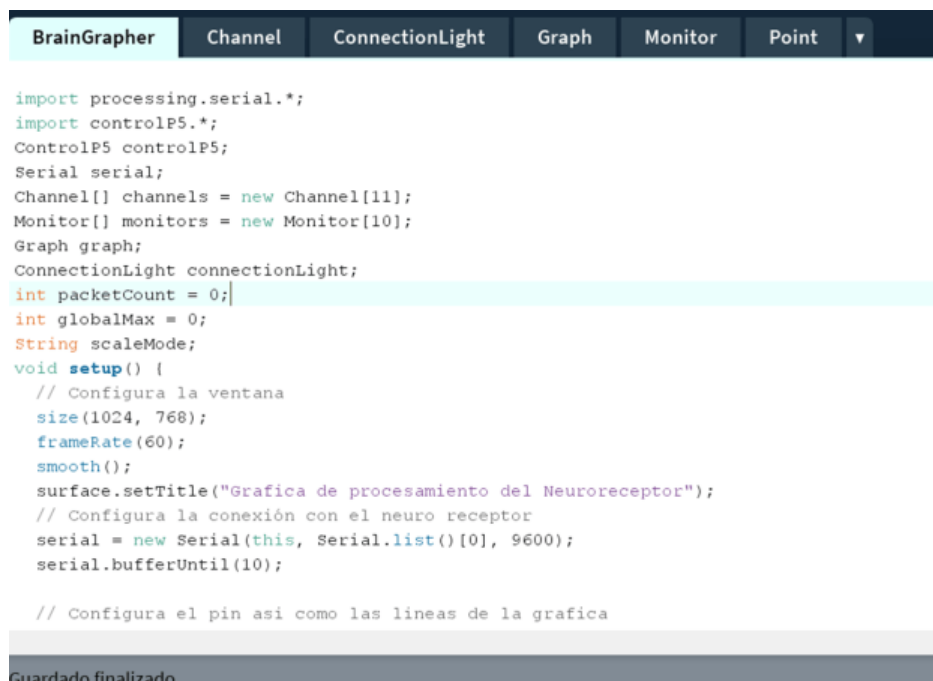


Figura 20. Acceso a los pines para trabajar con Mindflex desde el computador

Programación de la interfaz gráfica con Processing

Para la programación y demostración de una interfaz gráfica, se planteó utilizar otro software especializado al diseño, este se conoce como Processing, y a pesar de que sus archivos cuentan con una extensión distinta, se parece mucho a Arduino IDE, de igual manera necesita además utilizar su propia versión de la librería Brain para empezar a trabajar con los datos que se reciban. Se encuentra disponible su codificación en el repositorio de GitHub: <https://github.com/kitschpatrol/BrainGrapher>. Para la integración de esta librería se utilizó el administrador de librerías ofrecido por Processing. En la **Figura 21**. Se evidencia el uso de dicha librería, así como otros ejemplos para brindar más detalle a la interfaz.



```
BrainGrapher Channel ConnectionLight Graph Monitor Point ▼

import processing.serial.*;
import controlP5.*;
ControlP5 controlP5;
Serial serial;
Channel[] channels = new Channel[11];
Monitor[] monitors = new Monitor[10];
Graph graph;
ConnectionLight connectionLight;
int packetCount = 0;
int globalMax = 0;
String scaleMode;
void setup() {
  // Configura la ventana
  size(1024, 768);
  frameRate(60);
  smooth();
  surface.setTitle("Grafica de procesamiento del Neuroreceptor");
  // Configura la conexión con el neuro receptor
  serial = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
  serial.bufferUntil(10);

  // Configura el pin así como las líneas de la grafica
}
Guardado finalizado
```

Figura 21. Código de la interfaz gráfica de Mindflex en Processing.

Configuración de Debian

Antes de empezar a trabajar con el Gateway, es decir con Raspberry Pi, es importante instanciar un SO en él, existen varios, pero como la instalación y el uso de Node-Red es bastante sencillo se optó por trabajar con Debian, que mediante un comando sencillo instala Node-red y todos los programas necesarios para empezar a trabajar con él.

Configuración de Node-red

Una vez se haya instalado Node-Red en el Raspberry Pi, se planteó diseñar un diseño de hogar inteligente, bastante básico por el momento pero que servirá para tener una visión clara de lo que será el producto final, donde existen nodos de entrada, que esperan una instrucción, y de salida que entregan la instrucción finalizada.

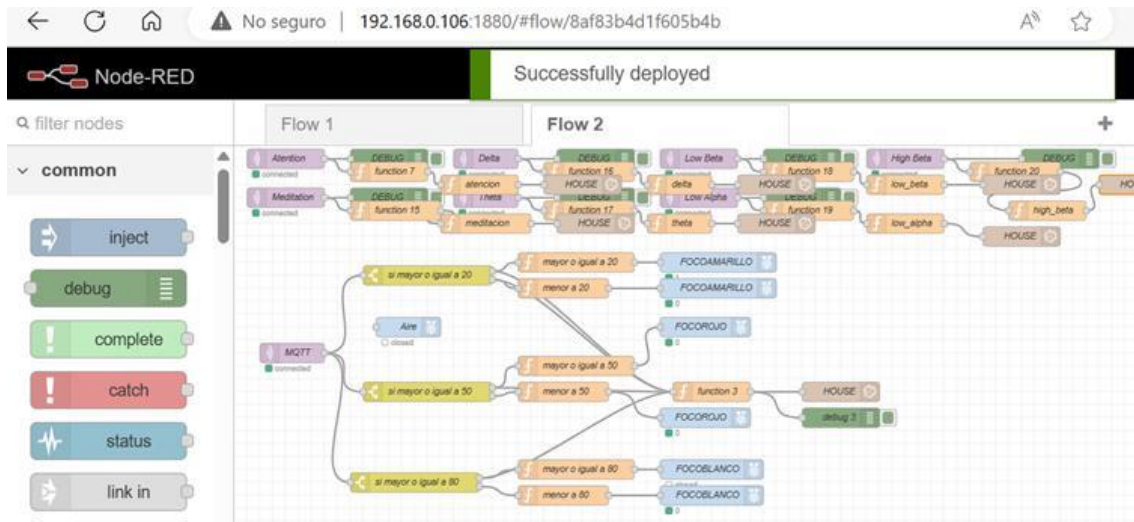


Figura 22. Configuración del flujo en Node-Red

Función de los nodos del flujo:

- **Rpi-GPIO in:** Este nodo cumple la función de recibir únicamente dos tipos de datos 1 y 0, siendo encendido y apagado respectivamente, adicional a ello, existen valores para los servomotores que van desde el valor 0, 3, 9 y 15, lo cual ayuda a que el servomotor gire respectivamente 0° , 90° , 30° y 360° grados respectivamente siendo este último un prototipo de ventilador, es decir que gire constantemente
- **Rpi-GPIO out:** Este nodo dependiendo de la instrucción que se le mande se encarga de enviar la señal indicada al dispositivo para que reaccione de manera adecuada a lo que el usuario le asigne.
- **MQTT in:** Este nodo recibe los datos que vienen desde el Esp 32.
- **InfluxDB Out:** Este nodo almacena los datos según la señal correspondiente en una base de datos.
- **Change:** Clasifica la onda para enviar un valor de 1 (encendido) o 0 (apagado) según la intensidad de la señal y el rango que el usuario especifique.
- **Function:** Este nodo se encarga de convertir los valores (string) a valores numéricos (float) para que el Dashboard (Grafana) los interprete de manera correcta.

2.4.Ejecución del prototipo

Para la ejecución del prototipo, se cargó el código en el esp32 para que empiece a recibir datos, también es necesario encender el Raspberry y activar Node-red, es importante verificar que ambos dispositivos estén conectados a la misma red Wi-fi, de lo contrario no funcionara, una vez hecho esto los dispositivos deben activarse acorde al nivel de

concentración de la persona, en este caso se lo probó con 3 individuos, en la **Figura 25**, se puede ver más a detalle los datos obtenidos de uno de ellos en una fracción de 5 segundos, en tres escenarios distintos.

Establecimiento de roles de cada dispositivo

En el diseño del prototipo se establece la función de cada dispositivo como lo es el Gateway cual se encarga de recibir los datos y se envía al Node-Red, y este a su vez a los dispositivos interconectados a la infraestructura de domótica.

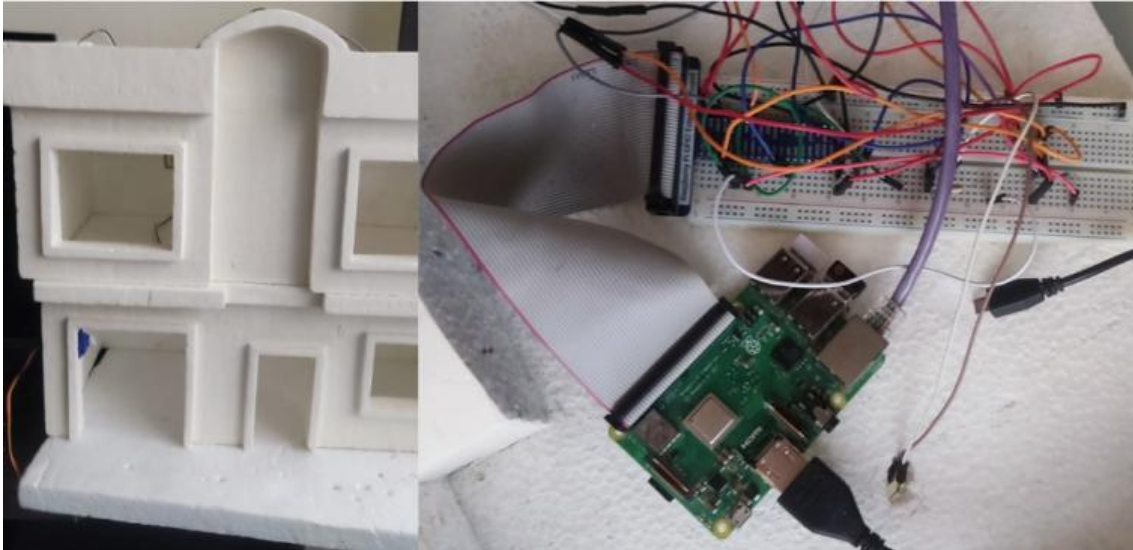


Figura 23. Gateway



Figura 24. Prototipo

Comunicación entre el neuro receptor y el computador

Cuando se ejecuta el programa, a través del monitor serial de Arduino IDE, se pueden observar los diferentes datos que transmite el cerebro, por supuesto estos datos fluctúan constantemente, de hecho si la persona se quita el Neuro receptor estos bajan hasta llegar a 0 pero aun entrega datos, esto debido al ruido que existe en el ambiente, aun así, se llegan a ver como se establecen los valores acorde a los diferentes tipos de señales que

transmite el cerebro, todas ellas se posicionan según un número de frecuencia específico, que van de la mano con la concentración de quien lo usa, sin embargo el dispositivo no está calibrado para leer los datos de todas las ondas, solo puede interpretar de manera adecuada las señales de meditación y concentración.

Escenario 1: Soportar un elevado Peso con una mano.

Tiempo/On da EEG	Low beta	delta	theta	Low alpha	High beta	attention	meditation
Seg 1	619	55142	2639	53	5123	100	27
Seg 2	3633	127699	42727	9265	29013	100	29
Seg 3	1467	36064	6720	1850	3301	100	40
Seg 4	12390	1446846	45098	6994	93050	100	27
Seg 5	19594	637417	96843	37401	84784	100	51

Escenario 2: Ver un video que no aporte nada constructivo.

Tiempo/On da EEG	Low beta	delta	theta	Low alpha	High beta	attention	meditation
Seg 1	4688	358613	25926	1818	5123	37	60
Seg 2	6361	588794	85389	85389	16555	23	54
Seg 3	2785	161204	41588	7718	2990	26	41
Seg 4	6161	568658	23707	19838	2736	21	57
Seg 5	3806	190908	23976	1012	1514	24	48

Escenario 3: Estar concentrado.

Tiempo/On da EEG	Low beta	delta	theta	Low alpha	High beta	attention	meditation
Seg 1	8372	395011	63289	15724	34051	96	29
Seg 2	5941	903227	161664	46049	60474	90	54
Seg 3	21313	798452	146074	31975	201112	91	37
Seg 4	4354	774425	27648	1337	22319	90	47
Seg 5	40921	1144798	140376	17771	227044	94	51

Figura 25. Datos numéricos obtenidos mediante Mindflex

Conexión con InfluxDB

Para realizar la vinculación con el SGBD o gestor de base de datos de InfluxDB, es necesario primero crear desde el Raspberry Pi, la base de datos en este caso se la nombro “HOUSE” en ella ademas, es necesario crear la tabla o “measurement” (en este caso) que contenga los datos de las ondas, el measurement se lo dictamino como “ondas_eeg” y se instancio siete valores de tipo “float”, uno por cada onda, con sus nombres correspondientes, a partir de ahí, el nodo de InfluxDB de Node-red pide los valores tanto del nombre del measurement, asi como del título de la tabla (es decir la onda), si se hizo todo correctamente los valores deberían llegar siempre y cuando la conexión MQTT entre el Raspberry Pi y el Esp32 sea optima, se puede hacer uso de un nodo adicional de color verde conocido como “debug” para llevar a cabo un mejor control, ya que este muestra por consola los datos en tiempo real que se reciben desde el Esp32, más propiamente del neuro receptor de Mindflex.

```

7376
SELECT * FROM ondas_eeg LIMIT 200
name: ondas_eeg
time                atencion delta    high_beta low_alpha low_beta meditacion theta
-----
689655927352017819 0          0          0          0          0          0
689656079645366680 0
689656079729210157
689656079729536875          354
689656079730602342
689656079730830206          49
689656079732616348          29
689656079733274889          17

```

Figura 26. Tabla de datos en InfluxDB

Lo bueno de InfluxDB es que mantiene un registro de la hora y fecha exacta cada vez que se inserta un dato nuevo, sin embargo, al menos en el registro de la consola en Raspberry Pi los siete datos se insertan de manera individual, aunque esto no es un problema tan grave, puesto que al momento de la visualización en Grafana los datos 7 datos se inyectan en una fracción de 1 seg, pero en micro segundos diferentes, es necesario hacer este paso, puesto que la interfaz visual de Grafana necesita conectarse a una base de datos obligatoriamente para empezar a trabajar.

Configuración con Grafana para visualizar la información

Para tener una visión mejor detallada de cómo funcionan las ondas EEG captadas por el cerebro, se propuso realizar una interfaz gráfica en Grafana que cambie a tiempo real según de cómo es el nivel de concentración del sujeto, se denotan dos gráficas, una de barras y una tabla que muestra los estados de los leds, donde se ven los incrementos de

los niveles en la segunda, y los cambios en los estados de los focos. Para ello es importante establecer la instrucción “Query” o consulta a la base de datos correspondiente, siendo en este caso la que está en InfluxDB.



Ilustración 27. Dashboard en Grafana de los datos de onda y estado de los LEDs

CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

3.1. Plan de evaluación

3.1.1. Objetivo

- Evaluar el prototipo mediante la comparación con los resultados de investigaciones anteriores y comprobación del envío de datos con su respectiva respuesta, en forma del encendido/apagado de un dispositivo.

3.1.2. Planificación de la evaluación de los resultados de su prototipo

Para la ejecución del plan de actividades, se resolvió en realizar pruebas con sus respectivas métricas para el neuro receptor, para comprobar que cada uno de los dispositivos funcionan de forma correcta.

Para lo cual, se dispuso la siguiente planificación de actividades, mismas que se van a realizar con el tutor del proyecto cada semana.

Semana 10	
Fecha: 14 de agosto – 18 de agosto de 2023	
Actividades: <ul style="list-style-type: none">- Establecer objetivo y propósito del plan.- Definir las métricas de evaluación.- Definir arquitectura de pruebas.- Establecer como se van a evaluar las métricas	Resultados: <ul style="list-style-type: none">- Analizar resultados de las métricas a evaluar.- Establecer las diferentes pruebas que se harán con el prototipo.

Semana 11	
Fecha: 21 de agosto – 25 de agosto de 2023	
Actividades: <ul style="list-style-type: none">- Evaluar la funcionalidad de la aplicación mediante diferentes pruebas en distintos escenarios.- Evaluar la fiabilidad mediante una evaluación.	Resultados: <ul style="list-style-type: none">- Comprobar los tiempos de respuestas bajo distintas cargas de trabajo.- Ajustar el umbral del modelo teniendo en cuenta diversas condiciones como el movimiento, para reducir errores.

Semana 12	
Fecha: 28 de agosto – 01 de septiembre de 2023	
Actividades: <ul style="list-style-type: none">- Evaluar la usabilidad de la aplicación mediante la opinión de distintos usuarios.- Evaluar la eficiencia de la aplicación en términos de tiempos, comparando el tiempo que se toma entre leer la onda y ejecutar la acción correspondiente.	Resultados: <ul style="list-style-type: none">- Comprobar la satisfacción del usuario.- Corroborar el analisis de tiempos.

Semana 13	
Fecha: 04 de agosto – 08 de septiembre de 2023	
Actividades: <ul style="list-style-type: none">- Documentar los resultados obtenidos del plan de evaluación en el capítulo III.	Resultados: <ul style="list-style-type: none">- Comprobar hipótesis y determinar una conclusión de la misma

Ilustración 28. Planificación de reuniones con el Tutor

3.1.3. Metodología de evaluación

A continuación, en la Tabla 8 se declaran los tipos de prueba, su objetivo y los resultados esperados por cada prueba:

Tabla 8. Planificación de pruebas

No.	Tipo de prueba	Objetivo de la prueba	Resultados Esperados	Métrica de evaluación (Como se va a evaluar)
1	Funcionalidad	Comprobar que los datos recolectados por los sensores sean correctos y activen los dispositivos respectivos.	Graficas donde se compruebe la veracidad de las mediciones de las ondas captadas por el neuro receptor.	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Graficas de líneas (Amplitud vs Tiempo)
2	Latencia	Medir la latencia total del prototipo.	Resultados de latencia desde la recolección de datos hasta la clasificación.	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de tiempo
3	Eficiencia	Comprobar que la clasificación de los datos satisfaga lo requerido.	Someter el modelo entrenado a pruebas con una tabla de datos evidenciando los porcentajes de satisfacción.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo y comparación de datos.

3.1.4. Diagrama o estructura de los escenarios

Escenario 1 – Veracidad de datos medidos

En esta prueba se realizará una comparación de diversos datos obtenidos del neuro receptor, se estableció un Dashboard que muestra graficas precisas, así como Tablas donde se registran los datos exactos que se tuvieron en un tiempo específico, se planteó además probarlo con al menos tres personas, y someterlas a todos a los mismos

escenarios, como lo son estrés, distracción y concentración para ver si los dispositivos se encienden como es debido.

Escenario 2 – Latencia

En el segundo escenario que comprende a la latencia o tiempo de respuesta de la captura, transporte y recepción de datos del prototipo. Para la adquisición de los datos de respuesta se determinaron varios intervalos que determinarían una latencia total. Los intervalos establecidos son los siguientes:

- **Encendido del dispositivo – Obtención de datos**

Iniciando desde el encendido del prototipo cuyo propósito es tomar el tiempo desde que se abastece con electricidad hasta cuando realiza las primeras captaciones de datos, eso incluye el tiempo en el que el dispositivo se conecta a la red Wi-fi designada así como al broker MQTT.

- **Envío de datos – Clasificación**

En este intervalo se mide el tiempo que se transcurre desde que realiza la prima obtención de datos hasta que se envían hacia los dispositivos que se planean encender a distancia (específicamente LEDs y servomotores)

Escenario 3 – Eficiencia

En este escenario se va a evaluar los resultados obtenidos mediante una matriz, se va a obtener resultados de éxito, es decir, la cantidad de veces que el prototipo cumplió con lo establecido de manera seguida, y cuantas veces fallo, todo para determinar su eficiencia relacionada con un número de intentos específico.

3.2. Resultados de la evaluación

3.2.1. Prueba de Funcionalidad

Para medir el correcto funcionamiento del dispositivo se realizaron 300 intentos en diferentes escenarios, 100 por cada uno, para identificar el cambio que se produce en el usuario en diferentes entornos, siendo estos:

- Escenario 1: Estrés, el usuario se somete a soportar un elevado peso para aumentar su concentración.
- Escenario 2: Somnolencia, el usuario al tener sueño o estar desconcentrado hace que sus niveles de concentración bajen drásticamente

- Escenario 3: Concentración leve, el usuario cuando está tranquilo simplemente pensando en algo concreto, hace que los niveles de concentración se mantengan en un rango medio, sin cambios muy notorios

Todos esos escenarios se llevaron a cabo en un tiempo muy concreto, todas las pruebas se realizaron en intervalos de 10 segundos, pero justo a la mitad desde el segundo 4 al 6 aproximadamente es donde los escenarios empiezan a actuar, se anotó todos los valores acordados al segundo exacto que estos se recibían por medio del neuro receptor, luego se promediaron todos utilizando Excel para dar con un valor más preciso tal como se detalla a continuación:

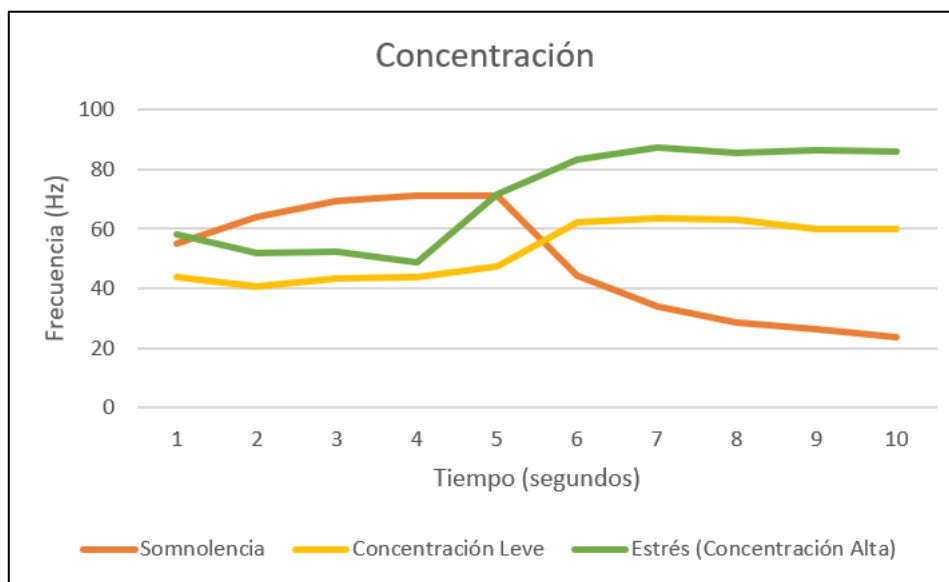


Ilustración 29. Promedio del valor de la señal de concentración en diferentes escenarios

En el gráfico, se puede observar claramente, que dentro del rango descrito ocurre un cambio drástico, esto es debido al cambio de mentalidad que se realiza cuando el sujeto está utilizando el dispositivo así, se puede comprobar que el prototipo está funcionando de manera correcta.

3.2.2. Prueba de Latencia

Se realizaron 100 iteraciones, en las cuales se anotó el tiempo en el cual se registra la entrada de datos hacia el prototipo, y el tiempo que le toma mostrar dicha data en el Dashboard, por lo cual se planteó de 2 intervalos de tiempo, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Ilustración 30. Intervalos de tiempo para medir la latencia

Para dar un tiempo muy preciso se utilizó un RTC, DS3231 conectado al ESP32, que se encarga de mostrar un tiempo en Arduino IDE, y utilizando la base de datos InfluxDB, se obtiene un timestamp automático de todos los registros realizados, solo se tuvo que restar ambos tiempos para dar con el valor exacto.

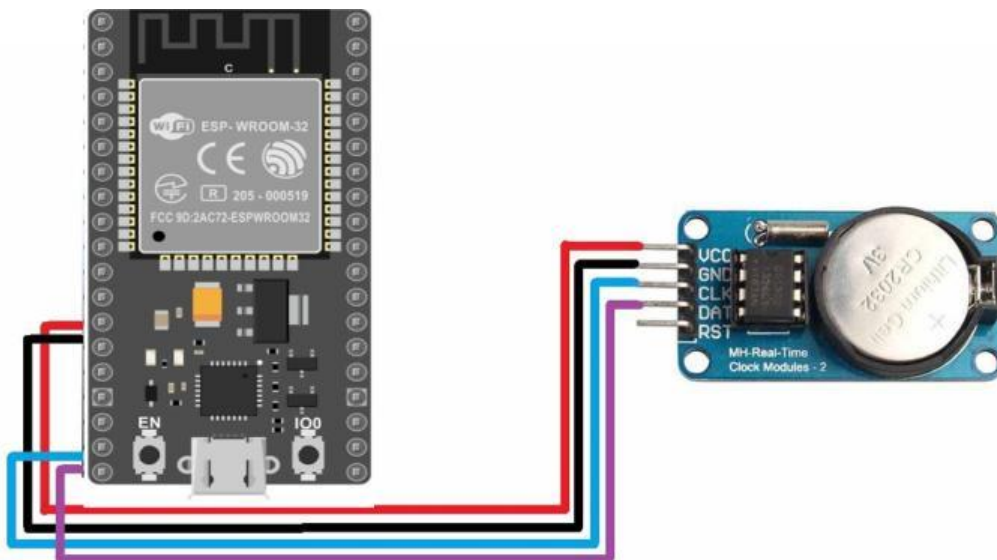


Ilustración 31. Diagrama del circuito RTC

Una vez obtenidos los T1 y T2 de todas las iteraciones realizadas se procedió a hacer su debido calculo en Excel, lo cual permitió facilitar todo el conteo para llegar con el promedio del tiempo de respuesta, que le toma al prototipo realizar sus acciones correspondientes siendo este de 1.138614 segundos, por lo cual se puede establecer que la latencia del prototipo es aceptable.

Fecha: 2023/9/1 Hora: 01:20:18 Delta = 393188

Theta = 121962

Low Alpha = 24549

Low Beta = 9917

High Beta = 31351

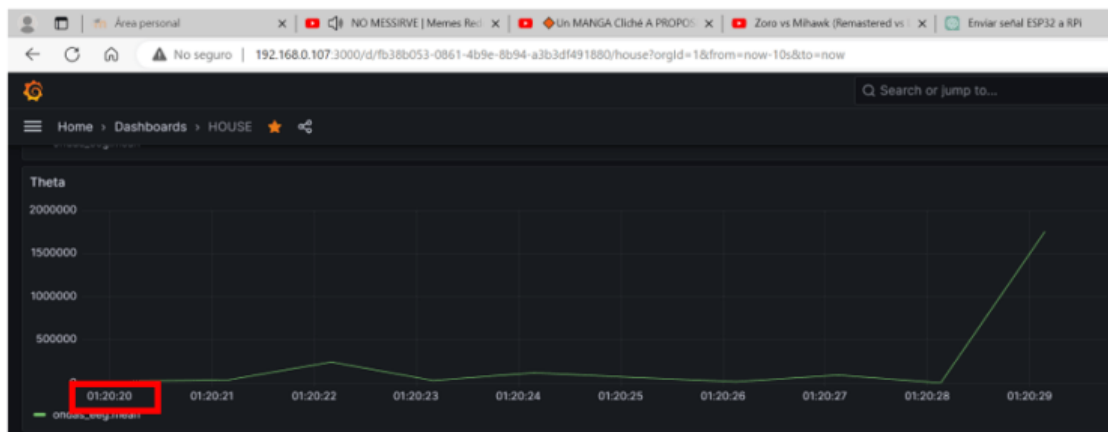


Ilustración 32. Comparación de los intervalos de tiempo desde la consola hasta el Dashboard

3.2.3. Prueba de Eficiencia

En esta prueba se partió con una muestra de 100, se anotaron todas las veces que el dispositivo funciono de manera correcta y las veces que presento algun problema, entre los problemas más comunes que se presentaron en las pruebas se encuentran:

- Los datos siempre muestran valor de 0.
- La ejecución de Node-RED presenta un problema en el arranque.
- Los datos no obedecen a los escenarios presentados.

Todos estos inconvenientes supusieron un reinicio inmediato al equipo, puesto que no posee la capacidad de reiniciarse automáticamente, sin embargo, es capaz de mostrar mensajes de error, en cada una de las etapas de su inicio para ver con exactitud qué es lo que está funcionando mal, los resultados luego de las cien pruebas fueron los siguientes:

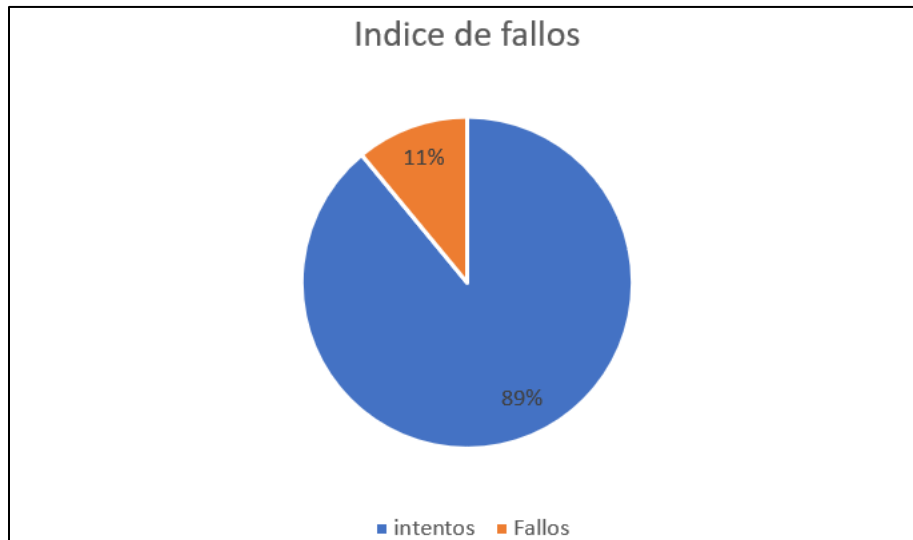


Ilustración 33. Porcentaje de aciertos y fallos

Se dio con un 89% de aciertos y un 11% de fallos, lo cual garantiza una efectividad de casi el 90% bastante aceptable teniendo en cuenta que el prototipo está armado con dispositivos no muy costosos, debido a ello es casi factible decir que el prototipo presentará una falla de cada diez veces que se ejecute.

3.2.4. Analisis de resultados

Para ver que tan efectivos fueron los resultados obtenidos en el presente trabajo se compara con uno parecido que al menos utiliza una tecnología igual [39], en dicho trabajo se mide las ondas encefalográficas para crear una alarma que se encienda cuando se detecte sueño en el conductor para prevenir accidentes, para ello se muestra como las ondas bajan o suben de una manera desproporcionada y muy rápida. A continuación, se muestran unos ejemplos de las comparaciones de ambos trabajos:

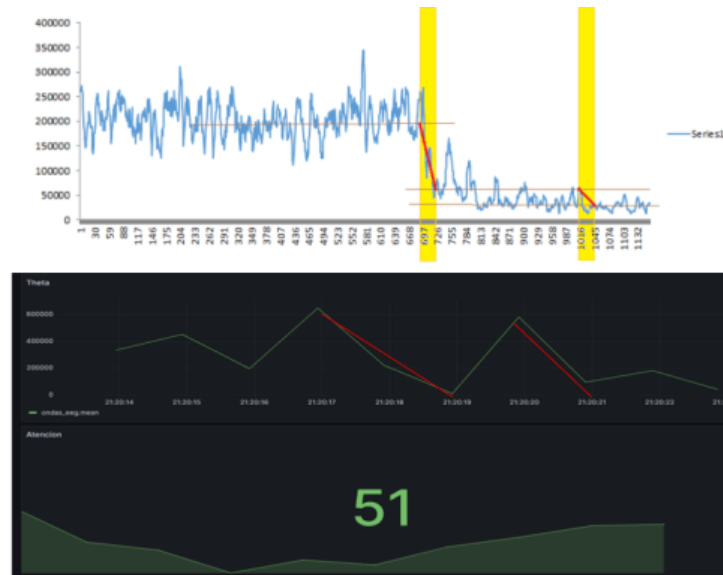


Ilustración 34. Comparación de funcionalidad de onda Theta

Así pues en el escenario de somnolencia se puede detectar que los valores bajan, los valores de Theta se encargan de medir más propiamente el sueño, pero se puede corroborar además que los niveles de concentración también bajan, así pues se puede ver que los valores tienen coherencia y correlación lo cual indica que el prototipo cumple con las expectativas que se tenían de él.

Tabla 9. Comparación de resultados con otros trabajos

Trabajo	Latencia	Eficiencia	Neuro-Receptor	Costo estimado de materiales	Aplicación
Propio	1.138614 s	89%	Mindflex	200\$	Encendido o apagado de dispositivos un hogar inteligente
[39]	1.15378 s	91%	Mindflex	230\$	Alarma para el auto que detecta somnolencia
[40]	2 – 2.5 s	98%	fNIRS	+2000\$	Un sistema híbrido de

					monitoreo cerebral totalmente aislado basado en electrodos
--	--	--	--	--	--

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 10, se puede decir que el punto fuerte de este proyecto está en que se ha construido el prototipo con un costo muy bajo, en comparación con proyectos similares donde, si bien se manejan mejores equipos, que brindan múltiples datos y son más precisos, el costo del proyecto es exageradamente alto, teniendo en cuenta que, en todos los proyectos que se han comparado, toman como base la medición de ondas de un neuro receptor, y se aplican las mismas pruebas, aunque claro la aplicación de cada uno es diferente.

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado una interfaz inteligente que identifique señales encefalográficas que mediante Mindflex, hace envíos de datos hacia dispositivos de manera remota.
- Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva de múltiples fuentes validadas por revistas científicas de alto nivel, para la elaboración del marco teórico asociado al objeto de estudio.
- Mediante el uso de la librería Brain se pudo decodificar las señales obtenidas, de tal forma que ahora son datos numéricos con los que se pueden trabajar.
- Se diseñó la arquitectura del prototipo, en concreto de un dispositivo IoT basado en ESP32 que enciende 3 leds dependiendo del nivel de concentración del usuario.
- Se ejecutaron pruebas de funcionalidad, eficiencia y tiempo de respuesta, que validaron el correcto funcionamiento del prototipo y a través de diferentes métricas se verificó que la hipótesis se cumple.

RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante el uso de un gestor de referencias bibliográficas, como Zotero o Mendeley puesto que facilitan mucho llevar un control de la bibliografía, además de datos específicos como la fuente, el autor, y el año de publicación.
- ✓ Antes de empezar a trabajar con circuitos en Arduino es necesario identificar bien las librerías que se van a utilizar, ya que, al momento de intentar utilizar nuevos dispositivos, se presentaran errores, debido al hecho de que no son reconocidos.
- ✓ Es preciso tener mucho cuidado al momento de hacer las conexiones de los dispositivos en el área de domótica, además de programarlos adecuadamente, hay que tener claro que muchas veces pueden existir versiones desactualizadas, de manuales o instrucciones respecto a programas o bases de datos, sobre como instalarlos o utilizarlos, por lo cual se debe utilizar como referencia, los archivos mas actuales, problemas asi se dieron bastante sobre al momento de utilizar el SGBD de InfluxDB, o Node-RED.
- ✓ Se recomienda al momento de hacer las pruebas tener al menos cien de ellas, por cada escenario al que se someta al prototipo, no solo facilita sacar un promedio de los resultados, sino que permite el esfuerzo detrás de querer demostrar que es un prototipo competente.
- ✓ Es aconsejable que, para proyectos futuros, se haga uso de inteligencia artificial, para generar una red neuronal que ayude a la decodificación de señales complejas, ya que el neuro receptor utilizado, al ser un dispositivo tan básico, solamente puede codificar y hacer uso de dos de las señales, habiendo muchas más, las otras señales brindan datos aleatorios que podrían ser utilizados, habiendo entrenado una red que los identifique.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades.” <https://www.consejodiscapacidades.gov.ec/estadisticas-de-discapacidad/> (accessed Aug. 03, 2023).
- [2] D. S. V. Bandara, J. Arata, and K. Kiguchi, “Towards Control of a Transhumeral Prosthesis with EEG Signals,” *Bioengineering*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2018, doi: 10.3390/bioengineering5020026.
- [3] D. Pei, V. Patel, M. Burns, R. Chandramouli, and R. Vinjamuri, “Neural Decoding of Synergy-Based Hand Movements Using Electroencephalography,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 18155–18163, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2895566.
- [4] L. Xiao *et al.*, “Automatic Localization of Seizure Onset Zone From High-Frequency SEEG Signals: A Preliminary Study,” *IEEE J. Transl. Eng. Health Med.*, vol. 9, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1109/JTEHM.2021.3090214.
- [5] G. Ding, A. Plummer, and I. Georgilas, “Deep learning with an attention mechanism for continuous biomechanical motion estimation across varied activities,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 10, p. 1021505, 2022, doi: 10.3389/fbioe.2022.1021505.
- [6] T. S. Ala *et al.*, “Alpha Oscillations During Effortful Continuous Speech: From Scalp EEG to Ear-EEG,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 70, no. 4, pp. 1264–1273, Apr. 2023, doi: 10.1109/TBME.2022.3214428.
- [7] Dr. Y. Perwej, M. Omer, O. Sheta, H. Harb, and M. Adrees, “The Future of Internet of Things (IoT) and Its Empowering Technology,” vol. Volume 9, p. Pages 20192-20203, Mar. 2019.
- [8] S. Barrezueta Unda and D. Villaseñor, “Obtención de datos en sistemas agropecuarios,” 2018.
- [9] H. Washizaki, S. Ogata, A. Hazeyama, T. Okubo, E. B. Fernandez, and N. Yoshioka, “Landscape of Architecture and Design Patterns for IoT Systems,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 10, pp. 10091–10101, Oct. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3003528.
- [10] P. Sethi and S. Sarangi, “Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,” *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017, pp. 1–25, Jan. 2017, doi: 10.1155/2017/9324035.
- [11] K. Alanezi and S. Mishra, “Utilizing Microservices Architecture for Enhanced Service Sharing in IoT Edge Environments,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 90034–90044, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3200666.
- [12] B. Saovapakhiran, W. Naruephiphat, C. Charnsripinyo, S. Baydere, and S. Özdemir, “QoE-Driven IoT Architecture: A Comprehensive Review on System and Resource Management,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 84579–84621, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3197585.
- [13] S. Kr and F. Carrez, “Designing IoT Architecture(s),” 2014.
- [14] S. N. Swamy and S. R. Kota, “An Empirical Study on System Level Aspects of Internet of Things (IoT),” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 188082–188134, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3029847.
- [15] “Node-RED Programming Guide - Node RED Programming Guide.” <https://noderedguide.com/> (accessed Aug. 04, 2023).
- [16] M. Lekić and G. Gardašević, “IoT sensor integration to Node-RED platform,” in *2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, Mar. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345544.
- [17] J. K. Adarsh, V. T. Sreedevi, and D. Thangavelusamy, “Product Review System With BERT for Sentiment Analysis and Implementation of Administrative Privileges on Node-RED,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 65968–65976, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3275738.
- [18] B. Mishra and A. Kertesz, “The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 201071–201086, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035849.

- [19] S. Pawar, N. Panigrahi, A. P. Jyothi, M. Lokhande, D. Godse, and D. B. Jadhav, "Evaluation of Delay Parameter of MQTT Protocol," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 71, no. 3, pp. 227–235, 2023, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V71I3P223.
- [20] Y.-W. Chan, H. Fathoni, H.-Y. Yen, and C.-T. Yang, "Implementation of a Cluster-Based Heterogeneous Edge Computing System for Resource Monitoring and Performance Evaluation," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 38458–38471, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3166154.
- [21] J. Okwuibe, J. Haavisto, E. Harjula, I. Ahmad, and M. Ylianttila, "SDN Enhanced Resource Orchestration of Containerized Edge Applications for Industrial IoT," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 229117–229131, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3045563.
- [22] J. Cai *et al.*, "A Handshake Protocol With Unbalanced Cost for Wireless Updating," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 18570–18581, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2820086.
- [23] E. Mika, "kitschpatrol/Brain." Jul. 29, 2023. Accessed: Aug. 04, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/kitschpatrol/Brain>
- [24] A. Samavat, E. Khalili, B. Ayati, and M. Ayati, "Deep Learning Model With Adaptive Regularization for EEG-Based Emotion Recognition Using Temporal and Frequency Features," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 24520–24527, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3155647.
- [25] Z. A. A. Alyasseri, A. T. Khader, M. A. Al-Betar, A. K. Abasi, and S. N. Makhadmeh, "EEG Signals Denoising Using Optimal Wavelet Transform Hybridized With Efficient Metaheuristic Methods," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 10584–10605, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962658.
- [26] "How to Hack Toy EEGs | Frontier Nerds." <https://frontiernerds.com/brain-hack> (accessed Aug. 04, 2023).
- [27] "IoT Methodology – The Internet of Things project lifecycle guide for creative, technical and business people." <http://www.iotmethodology.com/> (accessed Aug. 04, 2023).
- [28] "Mindflex Duel inst No Vol.pdf." Accessed: Aug. 04, 2023. [Online]. Available: https://service.mattel.com/instruction_sheets/Mindflex%20Duel%20inst%20No%20Vol.pdf
- [29] L. Á. Moreno Cueva, C. A. Peña Cortés, M. Maestre Delgado, S. B. Caicedo, and A. Pardo García, "Registro de neuro señales con una Interfaz Cerebro-Computador para estimar el nivel estrés en un estudiante durante una clase," *INGE CUC*, vol. 13, no. 2 (Julio-Diciembre), pp. 95–101, 2017.
- [30] "SG90 Servo Datasheet pdf - Micro Servo. Equivalent, Catalog." <https://datasheetspdf.com/pdf/791970/TowerPro/SG90/1> (accessed Feb. 21, 2023).
- [31] "03-arduino-teoria-componentes.pdf." Accessed: Aug. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/dtrugar/files/2020/01/03-arduino-teoria-componentes.pdf>
- [32] "Nano | Arduino Documentation." <https://docs.arduino.cc/hardware/nano> (accessed Aug. 04, 2023).
- [33] V. Bolshev, A. Vinogradov, M. Jasiński, T. Sikorski, Z. Leonowicz, and R. Gono, "Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Voltage Deviations at Both Sides of Switching Devices," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 137174–137184, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3011836.
- [34] "ESP32 pdf, ESP32 Download, ESP32 Description, ESP32 Datasheet, ESP32 view :: ALLDATASHEET ::" <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html> (accessed Aug. 04, 2023).
- [35] CamSoper, "Use GPIO for binary input," Apr. 08, 2023. <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/iot/tutorials/gpio-input> (accessed Aug. 04, 2023).
- [36] Y. Wang *et al.*, "EEG-Based Emotion Recognition Using a 2D CNN with Different Kernels," *Bioengineering*, vol. 9, no. 6, Art. no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/bioengineering9060231.
- [37] B. He *et al.*, "Electrophysiological Brain Connectivity: Theory and Implementation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 66, no. 7, pp. 2115–2137, Jul. 2019, doi: 10.1109/TBME.2019.2913928.

- [38] S. Ahmed, A. R. J. Almusawi, B. Yilmaz, and N. Dogru, "Design and multichannel electromyography system-based neural network control of a low-cost myoelectric prosthesis hand," *Mech. Sci.*, vol. 12, pp. 69–83, Feb. 2021, doi: 10.5194/ms-12-69-2021.
- [39] D. M. T. Pereira and J. D. V. Toro, "INGENIERO ELECTRÓNICO".
- [40] S. Lee, Y. Shin, A. Kumar, M. Kim, and H.-N. Lee, "Dry Electrode-Based Fully Isolated EEG/fNIRS Hybrid Brain-Monitoring System," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 66, no. 4, pp. 1055–1068, Apr. 2019, doi: 10.1109/TBME.2018.2866550.

ANEXOS

Anexo 1 – 100 Intentos en el escenario 2 (Somnolencia)

1	Tiempo en segundos	Valor	2	Tiempo en Valor	3	Tiempo en Valor	4	Tiempo en Valor	5	Tiempo en Valor	Segundos	Promedio	
	1	86		1	87		1	89		1	85	1	53.74
	2	80		2	83		2	77		2	83	2	63.38
	3	76		3	88		3	76		3	87	3	69.25
	4	90		4	77		4	65		4	78	4	70.32
	5	76		5	76		5	38		5	62	5	72.04
	6	18		6	32		6	12		6	33	6	42.48
	7	10		7	33		7	10		7	17	7	34.37
	8	14		8	22		8	19		8	14	8	29.36
	9	11		9	19		9	23		9	9	9	27.17
	10	9		10	11		10	30		10	6	10	23.89
6	Tiempo en segundos	Valor	7	Tiempo en Valor	8	Tiempo en Valor	9	Tiempo en Valor	10	Tiempo en Valor			
	1	31		1	80		1	82		1	69	1	84
	2	17		2	89		2	76		2	63	2	77
	3	18		3	75		3	81		3	50	3	65
	4	12		4	75		4	80		4	43	4	45
	5	28		5	69		5	56		5	36	5	30
	6	15		6	39		6	17		6	21	6	21
	7	24		7	25		7	14		7	19	7	19
	8	10		8	22		8	16		8	18	8	24
	9	14		9	16		9	10		9	26	9	18
	10	26		10	11		10	11		10	13	10	13
11	Tiempo en segundos	Valor	12	Tiempo en Valor	13	Tiempo en Valor	14	Tiempo en Valor	15	Tiempo en Valor			
	1	80		1	9		1	22		1	21	1	25
	2	82		2	27		2	11		2	78	2	21
	3	77		3	22		3	26		3	84	3	28
	4	79		4	10		4	29		4	89	4	26
	5	78		5	21		5	22		5	86	5	76
	6	11		6	89		6	28		6	86	6	76
	7	33		7	75		7	26		7	30	7	75
	8	18		8	77		8	26		8	20	8	86
	9	9		9	84		9	32		9	19	9	80
	10	24		10	75		10	9		10	20	10	17
16	Tiempo en segundos	Valor	17	Tiempo en Valor	18	Tiempo en Valor	19	Tiempo en Valor	20	Tiempo en Valor			
	1	14		1	28		1	75		1	24	1	12
	2	84		2	17		2	84		2	30	2	25
	3	83		3	34		3	85		3	13	3	29
	4	80		4	30		4	77		4	15	4	9
	5	78		5	87		5	83		5	79	5	31
	6	84		6	75		6	31		6	77	6	86
	7	24		7	88		7	15		7	84	7	88
	8	15		8	82		8	23		8	85	8	83
	9	31		9	81		9	15		9	90	9	83
	10	10		10	28		10	29		10	26	10	90
21	Tiempo en segundos	Valor	22	Tiempo en Valor	23	Tiempo en Valor	24	Tiempo en Valor	25	Tiempo en Valor			
	1	15		1	76		1	28		1	75	1	13
	2	17		2	86		2	29		2	76	2	15
	3	88		3	80		3	9		3	82	3	10
	4	76		4	86		4	16		4	79	4	83
	5	85		5	81		5	88		5	77	5	79
	6	78		6	28		6	85		6	32	6	86
	7	76		7	13		7	28		7	9	7	86
	8	11		8	33		8	88		8	19	8	87
	9	11		9	17		9	78		9	28	9	30
	10	16		10	35		10	32		10	30	10	12
26	Tiempo en segundos	Valor	27	Tiempo en Valor	28	Tiempo en Valor	29	Tiempo en Valor	30	Tiempo en Valor			
	1	18		1	33		1	21		1	29	1	77
	2	79		2	14		2	23		2	85	2	84
	3	78		3	86		3	32		3	88	3	75
	4	77		4	80		4	28		4	77	4	89
	5	84		5	82		5	18		5	76	5	78
	6	76		6	86		6	20		6	80	6	22
	7	24		7	85		7	32		7	27	7	10
	8	12		8	21		8	16		8	17	8	9
	9	29		9	25		9	26		9	28	9	29
	10	17		10	28		10	22		10	16	10	35

31	Tiempo en segundos	Valor	32	Tiempo en Valor	33	Tiempo en Valor	34	Tiempo en Valor	35	Tiempo en Valor	
	1	85		1	78		1	86		1	82
	2	80		2	86		2	77		2	89
	3	85		3	75		3	86		3	80
	4	81		4	89		4	90		4	90
	5	90		5	85		5	77		5	81
	6	19		6	29		6	28		6	27
	7	22		7	33		7	32		7	30
	8	12		8	29		8	31		8	14
	9	11		9	30		9	24		9	21
	10	13		10	22		10	17		10	20
36	Tiempo en segundos	Valor	37	Tiempo en Valor	38	Tiempo en Valor	39	Tiempo en Valor	40	Tiempo en Valor	
	1	9		1	30		1	9		1	29
	2	30		2	28		2	15		2	34
	3	19		3	13		3	25		3	10
	4	28		4	25		4	22		4	25
	5	28		5	30		5	11		5	18
	6	24		6	33		6	14		6	11
	7	27		7	21		7	29		7	9
	8	30		8	35		8	31		8	22
	9	27		9	35		9	21		9	35
	10	12		10	34		10	25		10	12
41	Tiempo en segundos	Valor	42	Tiempo en Valor	43	Tiempo en Valor	44	Tiempo en Valor	45	Tiempo en Valor	
	1	79		1	78		1	29		1	76
	2	90		2	82		2	32		2	79
	3	83		3	81		3	33		3	89
	4	76		4	89		4	35		4	81
	5	90		5	88		5	22		5	75
	6	22		6	27		6	31		6	20
	7	28		7	18		7	9		7	9
	8	35		8	12		8	28		8	12
	9	18		9	24		9	24		9	29
	10	31		10	22		10	29		10	32
46	Tiempo en segundos	Valor	47	Tiempo en Valor	48	Tiempo en Valor	49	Tiempo en Valor	50	Tiempo en Valor	
	1	78		1	84		1	89		1	90
	2	84		2	83		2	82		2	86
	3	89		3	80		3	77		3	86
	4	78		4	90		4	78		4	81
	5	88		5	82		5	82		5	84
	6	29		6	14		6	34		6	23
	7	34		7	29		7	24		7	15
	8	9		8	32		8	26		8	14
	9	19		9	21		9	23		9	14
	10	17		10	16		10	29		10	18
51	Tiempo en segundos	Valor	52	Tiempo en Valor	53	Tiempo en Valor	54	Tiempo en Valor	55	Tiempo en Valor	
	1	87		1	85		1	82		1	88
	2	81		2	89		2	90		2	77
	3	81		3	90		3	87		3	85
	4	77		4	89		4	83		4	77
	5	76		5	85		5	89		5	85
	6	28		6	28		6	24		6	10
	7	27		7	27		7	21		7	21
	8	30		8	30		8	26		8	24
	9	28		9	25		9	33		9	27
	10	10		10	35		10	24		10	30
56	Tiempo en segundos	Valor	57	Tiempo en Valor	58	Tiempo en Valor	59	Tiempo en Valor	60	Tiempo en Valor	
	1	21		1	29		1	9		1	13
	2	14		2	83		2	30		2	78
	3	82		3	90		3	29		3	76
	4	75		4	81		4	75		4	88
	5	80		5	76		5	78		5	86
	6	85		6	27		6	77		6	83
	7	80		7	12		7	75		7	12
	8	9		8	24		8	20		8	19
	9	12		9	15		9	24		9	24
	10	24		10	15		10	31		10	14
61	Tiempo en segundos	Valor	62	Tiempo en Valor	63	Tiempo en Valor	64	Tiempo en Valor	65	Tiempo en Valor	
	1	90		1	35		1	84		1	10
	2	86		2	34		2	81		2	85
	3	78		3	86		3	82		3	84
	4	85		4	78		4	81		4	83
	5	85		5	90		5	83		5	29
	6	20		6	86		6	33		6	88
	7	20		7	89		7	33		7	22
	8	19		8	11		8	18		8	18
	9	14		9	25		9	23		9	23
	10	29		10	30		10	29		10	21

66	Tiempo en segundos	Valor	67	Tiempo en	Valor	68	Tiempo en	Valor	69	Tiempo en	Valor	70	Tiempo en	Valor
	1	35		1	87		1	23		1	31		1	21
	2	12		2	88		2	84		2	28		2	19
	3	76		3	85		3	84		3	77		3	15
	4	85		4	81		4	83		4	77		4	14
	5	83		5	81		5	75		5	83		5	15
	6	78		6	9		6	83		6	85		6	10
	7	81		7	28		7	30		7	89		7	89
	8	30		8	32		8	10		8	35		8	89
	9	21		9	20		9	15		9	18		9	84
	10	18		10	31		10	20		10	31		10	81

71	Tiempo en segundos	Valor	72	Tiempo en	Valor	73	Tiempo en	Valor	74	Tiempo en	Valor	75	Tiempo en	Valor
	1	82		1	89		1	85		1	85		1	21
	2	85		2	78		2	80		2	80		2	89
	3	77		3	80		3	84		3	79		3	76
	4	85		4	83		4	85		4	87		4	76
	5	78		5	87		5	81		5	87		5	88
	6	20		6	20		6	13		6	19		6	78
	7	18		7	25		7	35		7	29		7	17
	8	15		8	31		8	32		8	12		8	9
	9	13		9	32		9	25		9	31		9	31
	10	34		10	22		10	20		10	12		10	11

76	Tiempo en segundos	Valor	77	Tiempo en	Valor	78	Tiempo en	Valor	79	Tiempo en	Valor	80	Tiempo en	Valor
	1	18		1	89		1	77		1	18		1	19
	2	86		2	86		2	89		2	14		2	31
	3	84		3	89		3	82		3	26		3	76
	4	82		4	75		4	78		4	75		4	75
	5	90		5	76		5	80		5	79		5	82
	6	87		6	25		6	28		6	82		6	89
	7	22		7	34		7	9		7	80		7	89
	8	13		8	10		8	13		8	81		8	21
	9	10		9	17		9	18		9	33		9	12
	10	9		10	31		10	14		10	20		10	12

81	Tiempo en segundos	Valor	82	Tiempo en	Valor	83	Tiempo en	Valor	84	Tiempo en	Valor	85	Tiempo en	Valor
	1	12		1	82		1	78		1	82		1	86
	2	76		2	82		2	78		2	80		2	85
	3	81		3	78		3	89		3	81		3	77
	4	76		4	82		4	90		4	90		4	88
	5	80		5	80		5	87		5	86		5	78
	6	85		6	18		6	22		6	27		6	23
	7	14		7	35		7	25		7	18		7	20
	8	11		8	30		8	11		8	32		8	27
	9	19		9	13		9	13		9	10		9	13
	10	27		10	18		10	20		10	22		10	35

86	Tiempo en segundos	Valor	87	Tiempo en	Valor	88	Tiempo en	Valor	89	Tiempo en	Valor	90	Tiempo en	Valor
	1	81		1	85		1	9		1	34		1	33
	2	88		2	86		2	89		2	90		2	24
	3	89		3	76		3	87		3	85		3	10
	4	80		4	88		4	76		4	78		4	90
	5	82		5	89		5	89		5	76		5	78
	6	25		6	9		6	85		6	83		6	86
	7	23		7	10		7	29		7	13		7	87
	8	16		8	35		8	11		8	10		8	82
	9	18		9	17		9	28		9	25		9	19
	10	12		10	35		10	13		10	27		10	21

91	Tiempo en segundos	Valor	92	Tiempo en	Valor	93	Tiempo en	Valor	94	Tiempo en	Valor	95	Tiempo en	Valor
	1	80		1	76		1	29		1	34		1	83
	2	82		2	78		2	77		2	31		2	83
	3	88		3	84		3	83		3	82		3	75
	4	90		4	88		4	80		4	78		4	75
	5	82		5	83		5	77		5	85		5	90
	6	15		6	12		6	75		6	90		6	14
	7	25		7	31		7	32		7	87		7	10
	8	32		8	11		8	12		8	21		8	9
	9	35		9	22		9	14		9	27		9	12
	10	29		10	10		10	28		10	24		10	21

96	Tiempo en segundos	Valor	97	Tiempo en	Valor	98	Tiempo en	Valor	99	Tiempo en	Valor	100	Tiempo en	Valor
	1	11		1	27		1	80		1	14		1	86
	2	35		2	19		2	83		2	88		2	79
	3	88		3	33		3	88		3	80		3	87
	4	89		4	20		4	84		4	78		4	75
	5	77		5	24		5	75		5	79		5	79
	6	81		6	89		6	11		6	77		6	13
	7	77		7	86		7	18		7	15		7	14
	8	27		8	84		8	9		8	30		8	9
	9	21		9	76		9	27		9	18		9	15
	10	15		10	82		10	30		10	20		10	17

Anexo 2 – 100 Intentos en el escenario 3 (concentración leve)

1	Tiempo	er	Valor	2	Tiempo	er	Valor	3	Tiempo	er	Valor	4	Tiempo	er	Valor	5	Tiempo	er	Valor	Segundos	Promedio (escenario 3)
	1		23		1		54		1		24		1		20				1	44.23	
	2		33		2		61		2		35		2		26				2	41.33	
	3		21		3		53		3		67		3		33				3	44.22	
	4		20		4		37		4		35		4		23				4	45.69	
	5		29		5		50		5		51		5		24				5	47.83	
	6		34		6		45		6		37		6		48				6	62.36	
	7		45		7		35		7		56		7		60				7	63.26	
	8		61		8		21		8		57		8		56				8	63.63	
	9		41		9		29		9		47		9		47				9	59.9	
	10		63		10		34		10		50		10		36				10	59.26	
6	Tiempo	er	Valor	7	Tiempo	er	Valor	8	Tiempo	er	Valor	9	Tiempo	er	Valor	10	Tiempo	er	Valor		
	1		36		1		60		1		38		1		57				1	58	
	2		24		2		21		2		34		2		14				2	52	
	3		22		3		32		3		25		3		43				3	61	
	4		20		4		32		4		24		4		34				4	59	
	5		30		5		30		5		24		5		33				5	30	
	6		34		6		22		6		24		6		34				6	32	
	7		54		7		56		7		21		7		34				7	20	
	8		53		8		61		8		55		8		33				8	28	
	9		54		9		49		9		62		9		35				9	27	
	10		65		10		38		10		48		10		53				10	55	
11	Tiempo	er	Valor	12	Tiempo	er	Valor	13	Tiempo	er	Valor	14	Tiempo	er	Valor	15	Tiempo	er	Valor		
	1		67		1		41		1		60		1		57				1	31	
	2		28		2		28		2		21		2		35				2	24	
	3		29		3		30		3		24		3		79				3	28	
	4		28		4		27		4		25		4		75				4	23	
	5		30		5		27		5		30		5		83				5	24	
	6		32		6		77		6		77		6		88				6	71	
	7		52		7		75		7		60		7		81				7	84	
	8		41		8		88		8		64		8		62				8	81	
	9		52		9		76		9		49		9		60				9	71	
	10		66		10		77		10		51		10		51				10	72	
16	Tiempo	er	Valor	17	Tiempo	er	Valor	18	Tiempo	er	Valor	19	Tiempo	er	Valor	20	Tiempo	er	Valor		
	1		31		1		22		1		34		1		20				1	23	
	2		20		2		28		2		29		2		30				2	33	
	3		26		3		25		3		30		3		24				3	34	
	4		27		4		22		4		27		4		33				4	23	
	5		33		5		26		5		26		5		32				5	30	
	6		39		6		37		6		69		6		50				6	41	
	7		42		7		50		7		53		7		69				7	62	
	8		65		8		60		8		45		8		64				8	42	
	9		36		9		62		9		52		9		54				9	57	
	10		37		10		57		10		62		10		53				10	65	
21	Tiempo	er	Valor	22	Tiempo	er	Valor	23	Tiempo	er	Valor	24	Tiempo	er	Valor	25	Tiempo	er	Valor		
	1		34		1		25		1		28		1		27				1	29	
	2		28		2		34		2		27		2		24				2	27	
	3		32		3		33		3		27		3		28				3	22	
	4		20		4		34		4		32		4		31				4	22	
	5		29		5		28		5		23		5		25				5	25	
	6		66		6		41		6		67		6		55				6	38	
	7		55		7		37		7		37		7		55				7	45	
	8		48		8		59		8		43		8		48				8	47	
	9		41		9		60		9		63		9		36				9	38	
	10		51		10		55		10		47		10		43				10	69	
26	Tiempo	er	Valor	27	Tiempo	er	Valor	28	Tiempo	er	Valor	29	Tiempo	er	Valor	30	Tiempo	er	Valor		
	1		54		1		20		1		62		1		45				1	30	
	2		30		2		32		2		38		2		33				2	21	
	3		33		3		34		3		41		3		20				3	23	
	4		23		4		25		4		20		4		29				4	29	
	5		25		5		20		5		24		5		25				5	28	
	6		30		6		64		6		22		6		24				6	42	
	7		53		7		52		7		30		7		52				7	63	
	8		67		8		49		8		33		8		52				8	46	
	9		42		9		38		9		55		9		66				9	57	
	10		43		10		67		10		63		10		50				10	40	
31	Tiempo	er	Valor	32	Tiempo	er	Valor	33	Tiempo	er	Valor	34	Tiempo	er	Valor	35	Tiempo	er	Valor		
	1		55		1		32		1		20		1		33				1	31	
	2		35		2		31		2		25		2		33				2	25	
	3		25		3		21		3		22		3		22				3	22	
	4		26		4		34		4		33		4		33				4	30	
	5		30		5		21		5		20		5		22				5	29	
	6		28		6		43		6		67		6		39				6	58	
	7		39		7		60		7		43		7		66				7	54	
	8		67		8		56		8		58		8		48				8	44	
	9		48		9		69		9		69		9		55				9	62	
	10		68		10		40		10		46		10		65				10	39	

36	Tiempo	er	Valor	37	Tiempo	er	Valor	38	Tiempo	er	Valor	39	Tiempo	er	Valor	40	Tiempo	er	Valor
	1		29		1		20		1		33		1		31		1		29
	2		35		2		28		2		21		2		24		2		20
	3		29		3		25		3		33		3		24		3		23
	4		20		4		30		4		32		4		23		4		23
	5		28		5		28		5		23		5		31		5		27
	6		40		6		50		6		63		6		61		6		62
	7		42		7		38		7		60		7		58		7		63
	8		69		8		45		8		69		8		60		8		36
	9		52		9		61		9		58		9		52		9		45
	10		54		10		60		10		43		10		68		10		65

41	Tiempo	er	Valor	42	Tiempo	er	Valor	43	Tiempo	er	Valor	44	Tiempo	er	Valor	45	Tiempo	er	Valor
	1		25		1		27		1		32		1		22		1		31
	2		27		2		31		2		23		2		27		2		24
	3		23		3		33		3		33		3		20		3		33
	4		33		4		28		4		22		4		22		4		26
	5		33		5		21		5		29		5		21		5		22
	6		61		6		67		6		57		6		66		6		36
	7		63		7		64		7		64		7		41		7		43
	8		53		8		65		8		64		8		69		8		64
	9		58		9		59		9		57		9		60		9		45
	10		50		10		58		10		46		10		56		10		50

46	Tiempo	er	Valor	47	Tiempo	er	Valor	48	Tiempo	er	Valor	49	Tiempo	er	Valor	50	Tiempo	er	Valor
	1		22		1		64		1		36		1		29		1		27
	2		27		2		33		2		23		2		22		2		20
	3		23		3		33		3		22		3		29		3		29
	4		27		4		28		4		28		4		31		4		34
	5		29		5		22		5		28		5		29		5		23
	6		42		6		35		6		33		6		37		6		57
	7		42		7		43		7		40		7		47		7		47
	8		53		8		40		8		48		8		43		8		55
	9		42		9		52		9		56		9		40		9		51
	10		49		10		40		10		50		10		48		10		52

51	Tiempo	er	Valor	52	Tiempo	er	Valor	53	Tiempo	er	Valor	54	Tiempo	er	Valor	55	Tiempo	er	Valor
	1		37		1		43		1		45		1		60		1		64
	2		67		2		55		2		45		2		64		2		40
	3		60		3		41		3		37		3		44		3		43
	4		48		4		43		4		42		4		66		4		40
	5		44		5		50		5		64		5		43		5		64
	6		87		6		50		6		47		6		43		6		67
	7		62		7		69		7		66		7		68		7		58
	8		55		8		62		8		44		8		62		8		36
	9		37		9		57		9		48		9		47		9		69
	10		55		10		55		10		58		10		63		10		38

56	Tiempo	er	Valor	57	Tiempo	er	Valor	58	Tiempo	er	Valor	59	Tiempo	er	Valor	60	Tiempo	er	Valor
	1		63		1		38		1		48		1		63		1		60
	2		44		2		69		2		37		2		37		2		46
	3		60		3		40		3		64		3		62		3		43
	4		41		4		40		4		56		4		48		4		65
	5		64		5		62		5		59		5		61		5		67
	6		73		6		42		6		52		6		41		6		43
	7		70		7		37		7		67		7		63		7		63
	8		71		8		57		8		47		8		44		8		65
	9		86		9		64		9		36		9		44		9		58
	10		72		10		63		10		67		10		50		10		54

61	Tiempo	er	Valor	62	Tiempo	er	Valor	63	Tiempo	er	Valor	64	Tiempo	er	Valor	65	Tiempo	er	Valor
	1		51		1		46		1		65		1		67		1		45
	2		69		2		41		2		74		2		66		2		42
	3		70		3		69		3		71		3		45		3		58
	4		83		4		71		4		90		4		80		4		61
	5		70		5		70		5		79		5		90		5		41
	6		85		6		75		6		84		6		73		6		78
	7		71		7		84		7		78		7		73		7		89
	8		82		8		87		8		71		8		76		8		84
	9		74		9		79		9		83		9		80		9		73
	10		80		10		90		10		83		10		90		10		70

66	Tiempo	er	Valor	67	Tiempo	er	Valor	68	Tiempo	er	Valor	69	Tiempo	er	Valor	70	Tiempo	er	Valor
	1		37		1		50		1		67		1		60		1		68
	2		36		2		62		2		60		2		54		2		67
	3		62		3		43		3		62		3		37		3		67
	4		47		4		49		4		54		4		41		4		59
	5		47		5		69		5		82		5		54		5		85
	6		86		6		84		6		85		6		79		6		78
	7		79		7		73		7		85		7		85		7		74
	8		86		8		89		8		87		8		89		8		72
	9		80		9		90		9		84		9		76		9		75
	10		71		10		75		10		88		10		75		10		86

71	Tiempo	er	Valor	72	Tiempo	er	Valor	73	Tiempo	er	Valor	74	Tiempo	er	Valor	75	Tiempo	er	Valor
	1		61		1		38		1		67		1		51		1		51
	2		69		2		55		2		67		2		62		2		52
	3		71		3		74		3		66		3		59		3		62
	4		85		4		84		4		72		4		42		4		60
	5		80		5		86		5		75		5		85		5		42
	6		82		6		88		6		81		6		89		6		71
	7		71		7		90		7		87		7		76		7		84
	8		44		8		65		8		77		8		72		8		86
	9		66		9		52		9		49		9		82		9		88
	10		45		10		39		10		63		10		36		10		76

76	Tiempo	er	Valor	77	Tiempo	er	Valor	78	Tiempo	er	Valor	79	Tiempo	er	Valor	80	Tiempo	er	Valor
	1		41		1		36		1		39		1		58		1		56
	2		56		2		88		2		45		2		48		2		37
	3		37		3		87		3		50		3		65		3		64
	4		87		4		74		4		46		4		88		4		66
	5		70		5		89		5		81		5		90		5		51
	6		76		6		77		6		86		6		87		6		90
	7		74		7		62		7		90		7		77		7		73
	8		73		8		64		8		81		8		76		8		74
	9		47		9		63		9		75		9		41		9		76
	10		66		10		69		10		40		10		56		10		83

81	Tiempo	er	Valor	82	Tiempo	er	Valor	83	Tiempo	er	Valor	84	Tiempo	er	Valor	85	Tiempo	er	Valor
	1		59		1		59		1		63		1		45		1		37
	2		42		2		66		2		42		2		56		2		67
	3		65		3		52		3		54		3		64		3		37
	4		58		4		55		4		65		4		63		4		61
	5		43		5		69		5		44		5		53		5		47
	6		86		6		88		6		85		6		88		6		75
	7		86		7		85		7		72		7		75		7		71
	8		84		8		83		8		86		8		90		8		70
	9		73		9		84		9		71		9		76		9		81
	10		71		10		77		10		71		10		89		10		74

86	Tiempo	er	Valor	87	Tiempo	er	Valor	88	Tiempo	er	Valor	89	Tiempo	er	Valor	90	Tiempo	er	Valor
	1		58		1		44		1		68		1		67		1		67
	2		63		2		54		2		68		2		51		2		39
	3		45		3		62		3		51		3		54		3		63
	4		66		4		85		4		89		4		58		4		44
	5		55		5		70		5		88		5		87		5		75
	6		85		6		84		6		79		6		79		6		72
	7		84		7		81		7		82		7		89		7		75
	8		83		8		89		8		76		8		70		8		82
	9		88		9		60		9		65		9		86		9		77
	10		82		10		39		10		69		10		39		10		63

91	Tiempo	er	Valor	92	Tiempo	er	Valor	93	Tiempo	er	Valor	94	Tiempo	er	Valor	95	Tiempo	er	Valor
	1		50		1		69		1		41		1		48		1		36
	2		42		2		48		2		53		2		47		2		45
	3		75		3		56		3		61		3		71		3		59
	4		88		4		47		4		87		4		77		4		56
	5		85		5		38		5		72		5		76		5		53
	6		90		6		90		6		74		6		84		6		74
	7		86		7		78		7		88		7		85		7		71
	8		68		8		80		8		80		8		62		8		87
	9		38		9		90		9		65		9		37		9		85
	10		69		10		90		10		49		10		51		10		90

96	Tiempo	er	Valor	97	Tiempo	er	Valor	98	Tiempo	er	Valor	99	Tiempo	er	Valor	100	Tiempo	er	Valor
	1		64		1		38		1		54		1		37		1		60
	2		41		2		69		2		46		2		42		2		58
	3		60		3		38		3		54		3		81		3		69
	4		50		4		49		4		65		4		77		4		44
	5		56		5		78		5		72		5		77		5		83
	6		88		6		79		6		84		6		80		6		87
	7		85		7		72		7		73		7		73		7		72
	8		86		8		77		8		89		8		64		8		85
	9		71		9		74		9		76		9		41		9		73
	10		71		10		68		10		66		10		36		10		57

Anexo 3 – 100 Intentos en el escenario 1 (Estrés - concentración alta)

1	Tiempo	er	Valor	2	Tiempo	er	Valor	3	Tiempo	er	Valor	4	Tiempo	er	Valor	5	Tiempo	er	Valor	Segundos	Promedio (escenario 1)
1	1		46	1	1		32	1	1		76	1	1		91	1	1		88	1	60.48
2	2		33	2	2		59	2	2		61	2	2		93	2	2		88	2	52.64
3	3		54	3	3		67	3	3		57	3	3		75	3	3		34	3	50.75
4	4		41	4	4		56	4	4		52	4	4		86	4	4		31	4	50.17
5	5		49	5	5		75	5	5		76	5	5		67	5	5		56	5	71.64
6	6		98	6	6		82	6	6		45	6	6		76	6	6		24	6	83.14
7	7		90	7	7		99	7	7		98	7	7		40	7	7		63	7	86.5
8	8		87	8	8		91	8	8		80	8	8		32	8	8		96	8	86.67
9	9		91	9	9		100	9	9		99	9	9		45	9	9		94	9	87
10	10		98	10	10		100	10	10		87	10	10		23	10	10		75	10	86.23
6	1		84	7	1		46	8	1		98	9	1		51	10	1		24		
2	2		45	2	2		45	2	2		74	2	2		37	2	2		47		
3	3		60	3	3		72	3	3		80	3	3		45	3	3		30		
4	4		33	4	4		56	4	4		34	4	4		35	4	4		67		
5	5		45	5	5		73	5	5		41	5	5		76	5	5		76		
6	6		22	6	6		76	6	6		44	6	6		85	6	6		75		
7	7		80	7	7		95	7	7		91	7	7		96	7	7		98		
8	8		83	8	8		78	8	8		89	8	8		80	8	8		95		
9	9		83	9	9		87	9	9		82	9	9		85	9	9		96		
10	10		89	10	10		86	10	10		77	10	10		88	10	10		87		
11	1		68	12	1		52	13	1		52	14	1		62	15	1		20		
2	2		35	2	2		51	2	2		51	2	2		76	2	2		21		
3	3		37	3	3		45	3	3		68	3	3		54	3	3		53		
4	4		52	4	4		52	4	4		79	4	4		71	4	4		54		
5	5		39	5	5		45	5	5		57	5	5		79	5	5		69		
6	6		77	6	6		99	6	6		89	6	6		77	6	6		98		
7	7		100	7	7		85	7	7		91	7	7		79	7	7		97		
8	8		86	8	8		82	8	8		81	8	8		87	8	8		75		
9	9		96	9	9		82	9	9		84	9	9		81	9	9		86		
10	10		99	10	10		87	10	10		87	10	10		81	10	10		92		
16	1		88	17	1		86	18	1		100	19	1		100	20	1		90		
2	2		90	2	2		85	2	2		93	2	2		84	2	2		96		
3	3		83	3	3		89	3	3		93	3	3		77	3	3		87		
4	4		93	4	4		75	4	4		100	4	4		88	4	4		94		
5	5		81	5	5		80	5	5		81	5	5		100	5	5		93		
6	6		95	6	6		100	6	6		96	6	6		92	6	6		97		
7	7		87	7	7		92	7	7		98	7	7		92	7	7		87		
8	8		94	8	8		76	8	8		97	8	8		94	8	8		85		
9	9		90	9	9		75	9	9		90	9	9		79	9	9		89		
10	10		77	10	10		86	10	10		83	10	10		78	10	10		93		
21	1		58	22	1		58	23	1		35	24	1		80	25	1		61		
2	2		46	2	2		54	2	2		20	2	2		78	2	2		49		
3	3		62	3	3		76	3	3		62	3	3		22	3	3		67		
4	4		40	4	4		79	4	4		32	4	4		72	4	4		22		
5	5		22	5	5		49	5	5		54	5	5		69	5	5		34		
6	6		83	6	6		89	6	6		76	6	6		94	6	6		85		
7	7		86	7	7		82	7	7		84	7	7		77	7	7		99		
8	8		100	8	8		99	8	8		92	8	8		75	8	8		78		
9	9		89	9	9		89	9	9		92	9	9		87	9	9		75		
10	10		77	10	10		83	10	10		85	10	10		87	10	10		92		
26	1		43	27	1		81	28	1		91	29	1		39	30	1		91		
2	2		23	2	2		12	2	2		88	2	2		34	2	2		16		
3	3		34	3	3		22	3	3		13	3	3		46	3	3		31		
4	4		18	4	4		45	4	4		42	4	4		35	4	4		45		
5	5		90	5	5		39	5	5		10	5	5		79	5	5		17		
6	6		84	6	6		98	6	6		39	6	6		91	6	6		81		
7	7		82	7	7		91	7	7		100	7	7		90	7	7		81		
8	8		89	8	8		97	8	8		75	8	8		91	8	8		90		
9	9		91	9	9		100	9	9		89	9	9		94	9	9		80		
10	10		78	10	10		98	10	10		97	10	10		92	10	10		96		
31	1		48	32	1		96	33	1		29	34	1		35	35	1		100		
2	2		25	2	2		11	2	2		49	2	2		36	2	2		14		
3	3		39	3	3		26	3	3		45	3	3		18	3	3		18		
4	4		19	4	4		27	4	4		24	4	4		38	4	4		10		
5	5		96	5	5		10	5	5		83	5	5		93	5	5		22		
6	6		80	6	6		97	6	6		91	6	6		90	6	6		82		
7	7		92	7	7		77	7	7		84	7	7		92	7	7		83		
8	8		99	8	8		92	8	8		97	8	8		89	8	8		99		
9	9		76	9	9		95	9	9		94	9	9		87	9	9		87		
10	10		76	10	10		100	10	10		98	10	10		86	10	10		82		

36	Tiempo	er	Valor	37	Tiempo	er	Valor	38	Tiempo	er	Valor	39	Tiempo	er	Valor	40	Tiempo	er	Valor
	1		27		1		23		1		94		1		38		1		18
	2		46		2		17		2		43		2		22		2		44
	3		46		3		25		3		15		3		44		3		15
	4		30		4		41		4		47		4		17		4		28
	5		81		5		99		5		43		5		75		5		89
	6		90		6		92		6		95		6		78		6		95
	7		88		7		97		7		81		7		77		7		78
	8		93		8		83		8		100		8		88		8		87
	9		79		9		91		9		100		9		94		9		93
	10		91		10		85		10		81		10		79		10		99

41	Tiempo	er	Valor	42	Tiempo	er	Valor	43	Tiempo	er	Valor	44	Tiempo	er	Valor	45	Tiempo	er	Valor
	1		47		1		89		1		22		1		95		1		87
	2		25		2		91		2		14		2		89		2		22
	3		44		3		88		3		17		3		79		3		21
	4		26		4		50		4		48		4		81		4		25
	5		100		5		22		5		91		5		100		5		19
	6		78		6		34		6		78		6		79		6		77
	7		92		7		50		7		99		7		15		7		90
	8		98		8		87		8		97		8		25		8		94
	9		98		9		78		9		76		9		39		9		79
	10		98		10		99		10		75		10		42		10		91

46	Tiempo	er	Valor	47	Tiempo	er	Valor	48	Tiempo	er	Valor	49	Tiempo	er	Valor	50	Tiempo	er	Valor
	1		20		1		20		1		41		1		25		1		94
	2		48		2		38		2		44		2		44		2		82
	3		37		3		27		3		32		3		38		3		91
	4		24		4		19		4		21		4		36		4		98
	5		85		5		89		5		76		5		89		5		79
	6		84		6		75		6		93		6		86		6		84
	7		77		7		98		7		95		7		89		7		83
	8		99		8		88		8		99		8		95		8		82
	9		100		9		85		9		79		9		100		9		78
	10		88		10		76		10		90		10		84		10		90

51	Tiempo	er	Valor	52	Tiempo	er	Valor	53	Tiempo	er	Valor	54	Tiempo	er	Valor	55	Tiempo	er	Valor
	1		88		1		19		1		30		1		19		1		48
	2		42		2		46		2		25		2		39		2		17
	3		15		3		36		3		43		3		15		3		11
	4		10		4		14		4		22		4		46		4		40
	5		33		5		94		5		83		5		88		5		93
	6		100		6		98		6		89		6		82		6		80
	7		83		7		91		7		100		7		88		7		80
	8		95		8		83		8		92		8		97		8		100
	9		77		9		85		9		87		9		94		9		86
	10		91		10		79		10		92		10		92		10		83

56	Tiempo	er	Valor	57	Tiempo	er	Valor	58	Tiempo	er	Valor	59	Tiempo	er	Valor	60	Tiempo	er	Valor
	1		77		1		95		1		77		1		89		1		80
	2		90		2		85		2		96		2		93		2		85
	3		91		3		90		3		87		3		99		3		97
	4		86		4		94		4		84		4		81		4		82
	5		89		5		98		5		85		5		80		5		89
	6		88		6		85		6		80		6		94		6		84
	7		89		7		93		7		75		7		100		7		80
	8		93		8		77		8		80		8		95		8		80
	9		86		9		98		9		83		9		96		9		82
	10		91		10		98		10		87		10		100		10		82

61	Tiempo	er	Valor	62	Tiempo	er	Valor	63	Tiempo	er	Valor	64	Tiempo	er	Valor	65	Tiempo	er	Valor
	1		91		1		80		1		77		1		91		1		77
	2		80		2		82		2		92		2		98		2		100
	3		96		3		85		3		86		3		100		3		83
	4		93		4		86		4		78		4		75		4		98
	5		77		5		86		5		75		5		91		5		82
	6		81		6		89		6		81		6		89		6		86
	7		78		7		91		7		99		7		99		7		85
	8		97		8		79		8		95		8		77		8		88
	9		79		9		82		9		100		9		97		9		100
	10		77		10		81		10		75		10		82		10		81

66	Tiempo	er	Valor	67	Tiempo	er	Valor	68	Tiempo	er	Valor	69	Tiempo	er	Valor	70	Tiempo	er	Valor
	1		98		1		76		1		87		1		93		1		93
	2		90		2		93		2		88		2		95		2		75
	3		84		3		95		3		94		3		83		3		82
	4		85		4		91		4		93		4		90		4		91
	5		91		5		87		5		94		5		76		5		89
	6		100		6		96		6		81		6		94		6		96
	7		99		7		95		7		82		7		77		7		89
	8		78		8		95		8		78		8		88		8		80
	9		81		9		91		9		78		9		82		9		76
	10		93		10		100		10		84		10		96		10		79

71	Tiempo	er	Valor	72	Tiempo	er	Valor	73	Tiempo	er	Valor	74	Tiempo	er	Valor	75	Tiempo	er	Valor
	1		35		1		37		1		22		1		29		1		38
	2		24		2		15		2		46		2		23		2		28
	3		23		3		22		3		49		3		25		3		43
	4		23		4		16		4		22		4		23		4		24
	5		84		5		90		5		89		5		97		5		86
	6		97		6		92		6		85		6		90		6		83
	7		98		7		95		7		81		7		86		7		87
	8		88		8		89		8		76		8		81		8		81
	9		83		9		97		9		93		9		99		9		87
	10		92		10		81		10		89		10		82		10		93

76	Tiempo	er	Valor	77	Tiempo	er	Valor	78	Tiempo	er	Valor	79	Tiempo	er	Valor	80	Tiempo	er	Valor
	1		50		1		39		1		40		1		18		1		25
	2		28		2		47		2		13		2		13		2		18
	3		22		3		33		3		23		3		48		3		13
	4		23		4		16		4		35		4		48		4		30
	5		88		5		94		5		81		5		87		5		89
	6		89		6		95		6		90		6		75		6		94
	7		78		7		81		7		83		7		85		7		88
	8		91		8		76		8		92		8		87		8		87
	9		92		9		85		9		75		9		100		9		76
	10		88		10		79		10		81		10		82		10		76

81	Tiempo	er	Valor	82	Tiempo	er	Valor	83	Tiempo	er	Valor	84	Tiempo	er	Valor	85	Tiempo	er	Valor
	1		77		1		17		1		48		1		22		1		37
	2		87		2		49		2		18		2		31		2		13
	3		13		3		10		3		12		3		19		3		10
	4		10		4		18		4		28		4		19		4		36
	5		48		5		77		5		84		5		82		5		78
	6		23		6		80		6		100		6		93		6		91
	7		97		7		75		7		76		7		84		7		96
	8		91		8		97		8		86		8		91		8		83
	9		95		9		89		9		76		9		92		9		83
	10		77		10		89		10		100		10		75		10		84

86	Tiempo	er	Valor	87	Tiempo	er	Valor	88	Tiempo	er	Valor	89	Tiempo	er	Valor	90	Tiempo	er	Valor
	1		100		1		20		1		33		1		19		1		49
	2		15		2		29		2		32		2		46		2		44
	3		34		3		44		3		19		3		11		3		43
	4		35		4		49		4		32		4		32		4		48
	5		13		5		36		5		75		5		78		5		83
	6		78		6		88		6		88		6		86		6		78
	7		77		7		80		7		99		7		87		7		89
	8		84		8		80		8		92		8		89		8		86
	9		82		9		82		9		91		9		98		9		88
	10		97		10		97		10		95		10		86		10		90

91	Tiempo	er	Valor	92	Tiempo	er	Valor	93	Tiempo	er	Valor	94	Tiempo	er	Valor	95	Tiempo	er	Valor
	1		100		1		89		1		92		1		99		1		98
	2		81		2		75		2		100		2		92		2		91
	3		88		3		85		3		93		3		98		3		95
	4		86		4		75		4		83		4		96		4		100
	5		78		5		76		5		77		5		88		5		91
	6		82		6		77		6		80		6		94		6		81
	7		75		7		97		7		89		7		97		7		83
	8		75		8		87		8		80		8		87		8		88
	9		88		9		86		9		80		9		85		9		93
	10		92		10		100		10		76		10		93		10		99

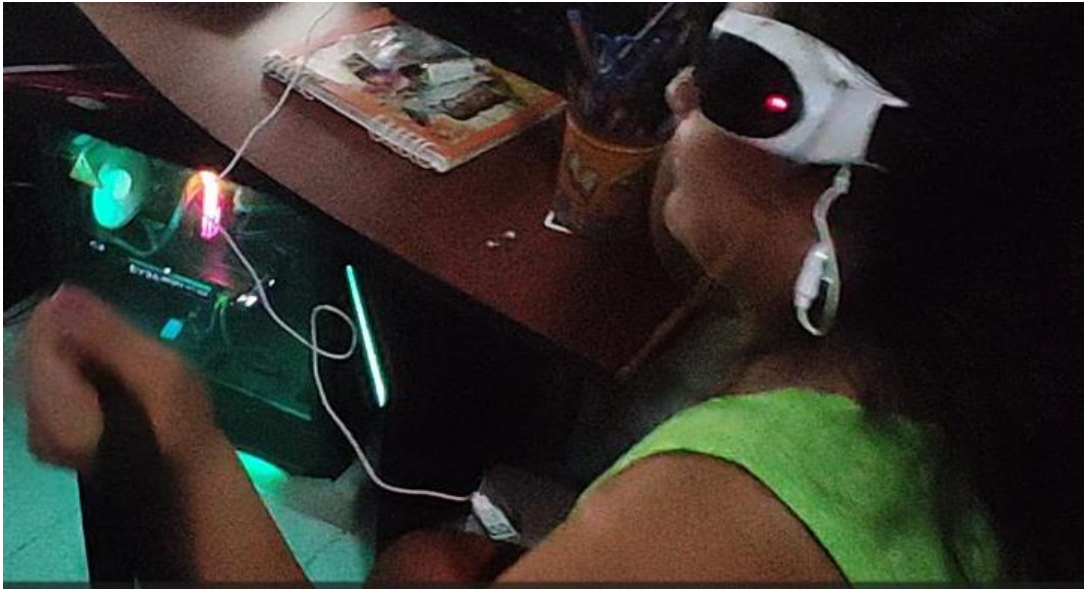
96	Tiempo	er	Valor	97	Tiempo	er	Valor	98	Tiempo	er	Valor	99	Tiempo	er	Valor	100	Tiempo	er	Valor
	1		80		1		21		1		77		1		77		1		36
	2		47		2		31		2		85		2		23		2		21
	3		47		3		23		3		27		3		47		3		24
	4		27		4		45		4		41		4		24		4		46
	5		25		5		92		5		29		5		41		5		86
	6		94		6		99		6		32		6		97		6		85
	7		87		7		100		7		77		7		99		7		84
	8		92		8		96		8		80		8		85		8		78
	9		91		9		98		9		99		9		87		9		82
	10		99		10		83		10		76		10		82		10		79

Anexo 5 – 100 Intentos para la medición de la Efectividad (Aciertos y fallos)

N° de Intentos	Aciertos	Fallos
1	1	
2	1	
3	1	
4	1	
5	1	
6	1	
7	1	
8	1	
9	1	
10	1	
11		1
12	1	
13	1	
14	1	
15	1	
16	1	
17	1	
18	1	
19		1
20	1	
21	1	
22	1	
23	1	
24	1	
25	1	
26	1	
27	1	
28	1	
29	1	
30	1	
31	1	
32	1	
33		1
34	1	
35	1	
36	1	
37	1	
38	1	
39	1	
40		1
41	1	
42	1	
43	1	
44	1	
45	1	
46	1	
47	1	
48	1	
49	1	
50	1	
51	1	
52	1	
53		1
54	1	
55	1	

56	1	
57	1	
58	1	
59	1	
60	1	
61	1	
62	1	
63		1
64	1	
65	1	
66	1	
67		1
68	1	
69	1	
70	1	
71	1	
72	1	
73	1	
74	1	
75	1	
76	1	
77	1	
78	1	
79	1	
80	1	
81		1
82	1	
83	1	
84	1	
85	1	
86	1	
87	1	
88		1
89	1	
90	1	
91	1	
92	1	
93	1	
94	1	
95	1	
96	1	
97	1	
98		1
99		1
100	1	
Total	89	11

Anexo 6 – Prueba de intento en el escenario 1 (Estrés – Concentración Alta)



Anexo 7 – Prueba de intento en el escenario 2 (Somnolencia - Distracción)



Anexo 8 – Prueba de intento en el escenario 3 (Concentración Leve)

