

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO MULTISENSORIAL PARA LA REGULACIÓN EMOCIONAL Y RENDIMIENTO COGNITIVO A TRAVÉS DE RESPUESTAS CEREBRALES

Realizado por:
Ing. Juan Nava / Correo: navajuanp22@gmail.com
Ing. Fabrizio Pacheco / Correo: w_fabrizio_w@gmail.com
Ing. Amanda Valcárcel / Correo: bervarcarcel@gmail.com

Tutor Académico:
MSc. Junior González / Correo: jagonzalez9@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
Dra. Maribel Ordoñez / Correo: mordonez@urbe.edu.ve

A pesar de los avances en el entrenamiento cerebral, este enfrenta desafíos significativos, como la limitada precisión en la lectura de las respuestas cerebrales, un aspecto destacado por Fouad y otros en Correa (2019) en sus estudios sobre las Interfaces Cerebro-Computadora (BCI), especialmente en las de tipo no invasivo. Con el fin de superar estas limitaciones, se propone la construcción de un dispositivo electrónico que integre diferentes tipos de datos fisiológicos. La

combinación de sensores, como el electroencefalograma (EEG), la frecuencia cardíaca (ECG) y la oxigenación de la sangre (SpO2), puede proporcionar una visión más completa del bienestar emocional del usuario.

La VFC (Variabilidad en la frecuencia cardiaca) refleja cómo el sistema nervioso autónomo se adapta a diferentes estados emocionales. Una disminución en la VFC está relacionada con tensiones internas, mientras que un aumento indica relajación y bienestar. Por otro lado, la SpO2 es fundamental para la oxigenación de los tejidos; una respiración superficial puede reducir los niveles de oxígeno, afectando negativamente la función cognitiva. Así, la interacción entre estas variables fisiológicas ilustra cómo las emociones y la cognición influyen en el bienestar general, traduciéndose en cambios físicos observables y subrayando la importancia de reconocer y gestionar las respuestas emocionales.

En este sentido, es fundamental, la construcción del amplificador de EEG, partiendo de la elaboración de un circuito que incluya filtros pasa-bajos, pasa-altos, pasa banda y rechaza banda para eliminar el ruido y centrarse en las frecuencias relevantes. La respuesta amplificada se envía a un convertidor analógico-digital que transforma los datos analógicos en datos digitales. Para el procesamiento y la gestión de datos, se utilizan sistemas de control que permiten que la información se vea representada en computadores. Por lo anterior se emplean softwares de interfaz gráfica y cerebro-computadora, que extraen características relevantes para la monitorización de la actividad cerebral. Esta capacidad de capturar múltiples tipos de datos permite un análisis más profundo y contextualizado, lo que es fundamental para el entrenamiento cerebral efectivo.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo inicial de esta investigación, “Analizar la situación actual de los métodos empleados para la regulación emocional y el rendimiento cognitivo en usuarios”, se recurrió a una exhaustiva revisión de bibliografía especializada y recursos web relevantes, considerados fundamentales para el desarrollo de esta fase de la investigación. Adicionalmente, se realizaron entrevistas estructuradas a cuatro (4) profesionales, dos (2) del área de electromedicina y dos (2) del área de salud mental. Las preguntas formuladas durante estas entrevistas se diseñaron específicamente para abordar el objeto de estudio, y las respuestas

proporcionaron descripciones detalladas y valiosas que enriquecieron la comprensión del problema planteado.

En este apartado se busca establecer, con precisión técnica y fundamentación científica, las especificaciones de los componentes que resultan indispensables para el diseño y desarrollo del dispositivo, garantizando que cumpla con los estándares necesarios para su funcionalidad y eficacia.

Los electrodos Ag/AgCl se utilizan comúnmente en estudios neurofisiológicos para registrar la actividad eléctrica cerebral mediante electroencefalografía (EEG).



Figura 1. Electrodos AGL/AGLCL
Fuente: Amazon

El ADS1256 es un convertidor analógico-digital (ADC) de 24 bits, extremadamente bajo en ruido, desarrollado por Texas Instruments.

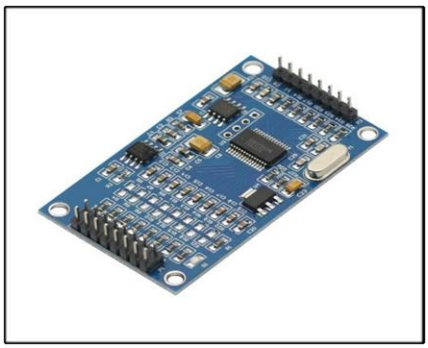

Figura 2. ADS1256
Fuente: Mercado Libre

El INA333 es un amplificador de instrumentación. Se basa en un diseño con tres amplificadores operacionales que permiten amplificar señales diferenciales con alta precisión y estabilidad.

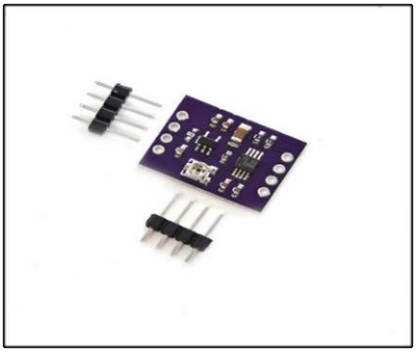

Figura 3. Módulo INA333
Fuente: Ubuy Ecuador

El LM2662 es un convertidor de voltaje por bomba de carga (charge pump) que permite invertir un voltaje positivo en el rango de 1.5 V a 5.5 V, generando así una salida de voltaje negativo correspondiente.

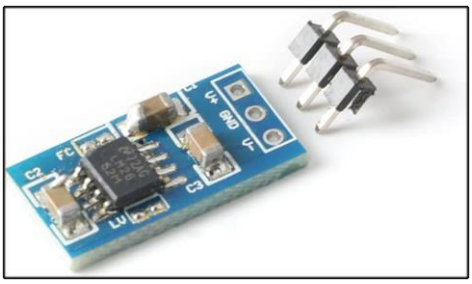

Figura 4. Módulo LM2662
Fuente: Amazon

El TPS63020 es un convertidor DC-DC buck-boost (reductor-elevador) de alta eficiencia y un solo inductor, desarrollado por Texas Instruments.

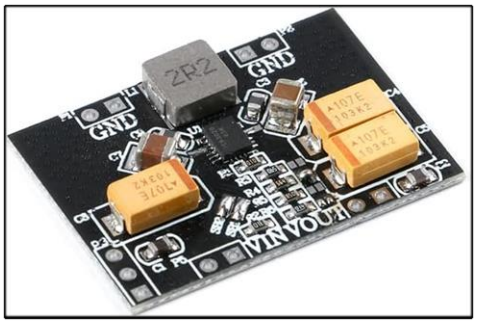

Figura 5. TPS63020
Fuente: Amazon

El MT3608 es un módulo elevador DC-DC que permite incrementar el voltaje de una fuente de corriente continua a un nivel superior, adaptándose a diferentes necesidades de alimentación en circuitos electrónicos.



Figura 6. Módulo MT3608
Fuente: Amazon

Este módulo convertidor de impulso DC-DC es un elevador de voltaje compacto diseñado para aumentar la tensión de entrada a un nivel superior, proporcionando una corriente de salida de hasta 400 mA.

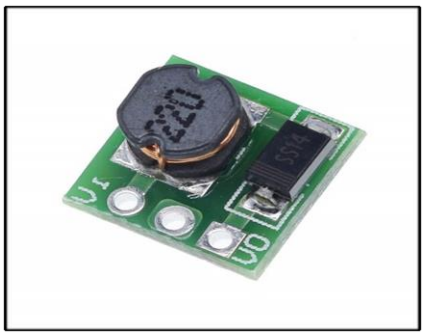

Figura 7. Módulo Hw 626
Fuente: AliExpress

Este módulo Buck DC-DC es un convertidor reductor que transforma un voltaje de entrada superior en una salida lineal y estable, operando a una alta frecuencia de conmutación.

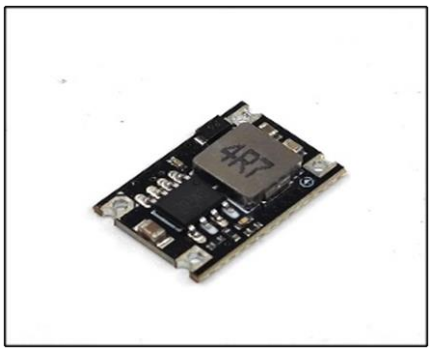

Figura 8. Buck DC-DC
Fuente: Mercado Libre

El MP1584EN es un módulo regulador DC-DC tipo buck que permite reducir un voltaje de entrada más alto a un voltaje de salida menor y estable, optimizando el consumo energético y manteniendo una corriente adecuada para diversas aplicaciones.

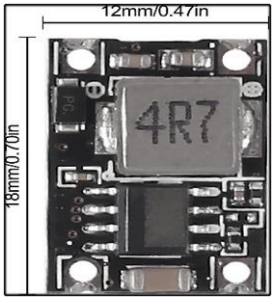

Figura 9. Módulo MP1584EN
Fuente: Amazon

El módulo TP4057 es un controlador de carga diseñado para baterías de ion-litio o polímero de litio, que garantiza una carga segura y eficiente con una corriente máxima de 1.2 A.



Figura 10. Módulo TP4057
Fuente: Amazon

El Teensy 4.1 es un microcontrolador avanzado basado en el procesador ARM Cortex. Su diseño compacto incluye una gran cantidad de pines de entrada/salida, soporte para múltiples interfaces de comunicación y opciones de expansión como ranura para tarjeta SD y Ethernet integrado, lo que lo hace ideal para aplicaciones en audio digital, robótica, IoT y procesamiento de señales.

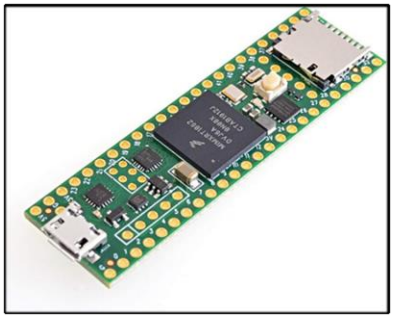

Figura 11. Teensy 4.1
Fuente: Amazon

El MAX30102 es un sensor óptico de pulso que combina LEDs y fotodiodos para medir de forma no invasiva la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en sangre (SpO2) mediante fotopletismografía (PPG). Integra dos LEDs (rojo e infrarrojo) y un fotodetector, junto con circuitos especializados para filtrar la luz ambiental y procesar las señales, lo que permite obtener mediciones precisas y confiables.

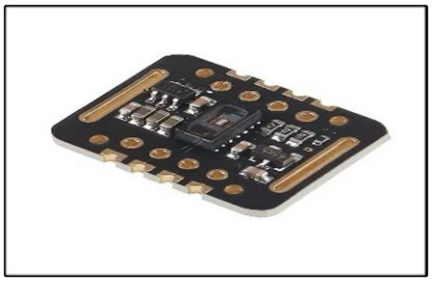

Figura 12. MAX30102
Fuente: Amazon

El dispositivo es un reloj inteligente basado en el microcontrolador ESP32-S3, que integra una pantalla LCD táctil de 1.69 pulgadas con resolución de 240 × 280 píxeles y 262 mil colores, ofrece conectividad Wi-Fi 2.4 GHz y Bluetooth 5.0 LE con antena integrada.



Figura 13. Reloj Esp32
Fuente: Amazon

El conector USB del módulo Waveshare con ESP32 y pantalla integrada permite la alimentación, programación y acceso como servidor web local, facilitando la comunicación y control del dispositivo. Cuenta con 512 KB de SRAM, 384 KB de ROM, 16 MB de memoria flash y 8 MB de PSRAM, junto con una pantalla LCD de 1.47 pulgadas con resolución de 172 × 320 píxeles y 262K colores.



Figura 14. Usb Esp32
Fuente: Amazon

El MPR121 es un sensor táctil capacitivo de 12 canales que permite detectar toques o proximidad en múltiples electrodos, ideal para crear interfaces táctiles personalizadas con diversos materiales como cobre, nailon metálico o incluso madera.

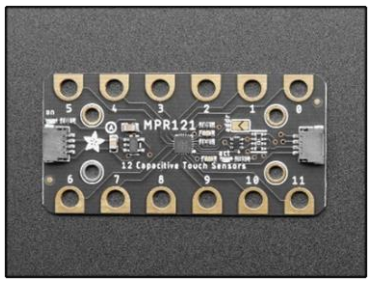

Figura 15. Sensor Táctil MPR121
Fuente: Amazon

El módulo ESP32-C6 con pantalla OLED de 1.47 pulgadas es una placa de desarrollo que integra un microcontrolador ESP32-C6, el primero de Espressif con Wi-Fi 6 y Bluetooth 5.0, basado en un procesador RISC-V de un solo núcleo a 160 MHz. La pantalla LCD ofrece una resolución de 172 × 320 píxeles y 262K colores.



Figura 16. Pantalla ESP32-C6
Fuente: Amazon

El TL082 es un amplificador operacional dual con entrada JFET que ofrece bajo ruido y bajo consumo de energía, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren un procesamiento preciso y eficiente de señales analógicas.

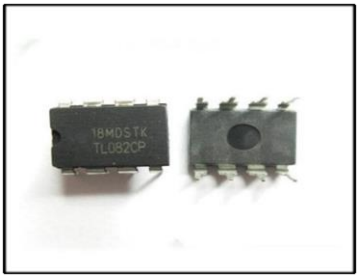

Figura 17. Amplificador operacional TL082
Fuente: Amazon

Los cables TENS de 0.138 pulgadas son conductores diseñados para transmitir señales eléctricas entre el dispositivo TENS y los electrodos colocados sobre la piel.

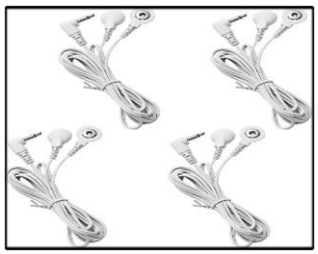

Figura 18. Cables de electrodo Tens 0.138
Fuente: Amazon

La presente etapa de la investigación, se materializa en la elaboración de un diagrama de bloques que representa el flujo de procesamiento de los componentes del sistema.

Sensores (DIADEMA EEG): Esta etapa constituye el punto de inicio del sistema, donde se emplean electrodos Ag/AgCl para la captación de señales eléctricas cerebrales (EEG).

Etapa de procesamiento (DIADEMA EEG): En esta sección, la señal captada por los sensores es primero amplificada mediante un circuito de ganancia alta (típicamente 1000x), lo que permite elevar la amplitud de la señal EEG a niveles adecuados para su posterior digitalización.

Interfaz de usuario (DIADEMA EEG): La interacción con el usuario se gestiona a través de un display LED, que permite la visualización de información básica del sistema, y botones capacitivos, que facilitan el control de funciones esenciales sin necesidad de contacto físico directo.

Alimentación: El sistema se alimenta mediante una batería LiPo y batería 3000 mAh gracias a su alta densidad energética y capacidad de recarga. Un módulo TP4057 gestiona la carga segura

de la batería, mientras que un módulo buck regula el voltaje descendente para alimentar componentes sensibles a 3.3 V y un módulo boost eleva el voltaje cuando es necesario.

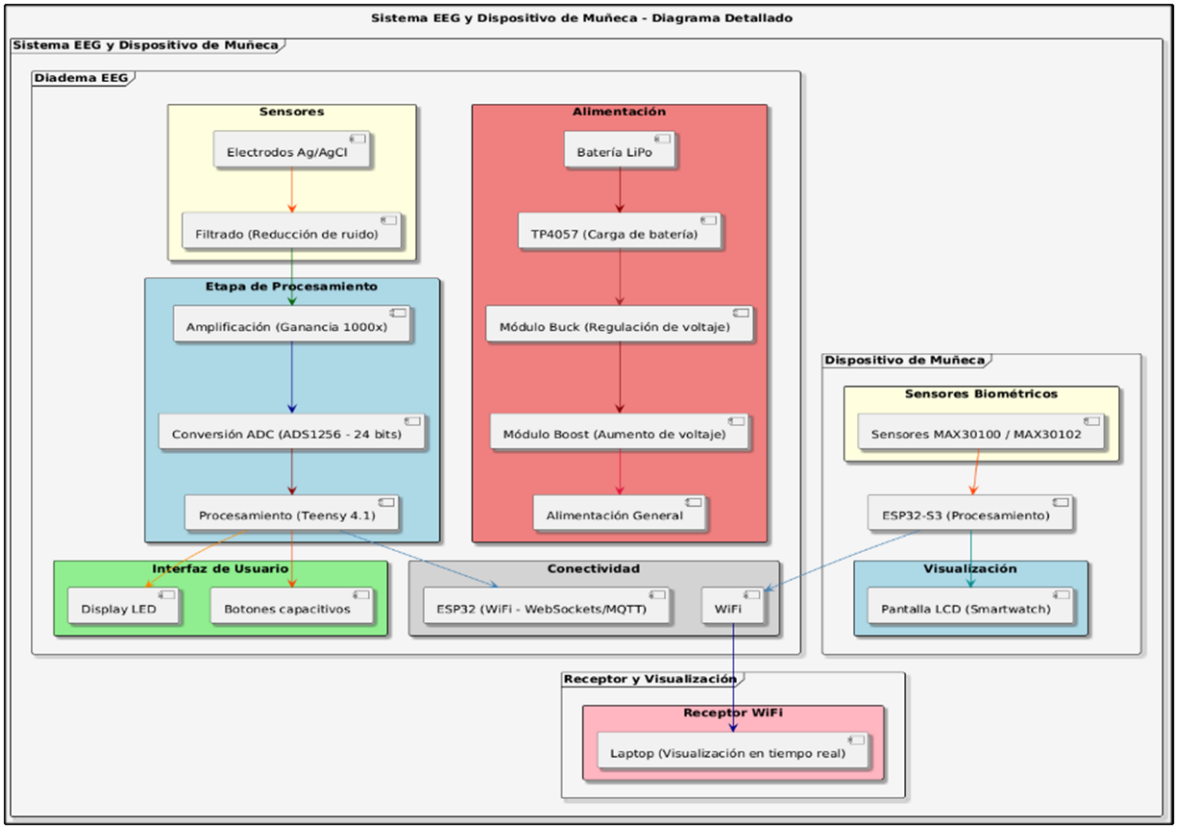

Figura 19. Diagrama de bloques Etapas de funcionamiento
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

Conectividad: La conectividad inalámbrica se implementa a través de un módulo ESP32, que soporta protocolos como WiFi, WebSockets y MQTT.

Dispositivo de muñeca: Esta unidad complementaria incorpora sensores biométricos (MAX30100/MAX30102) para la medición de parámetros fisiológicos como frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno en sangre (SpO2).

Receptor y visualización: El receptor WiFi, una laptop o estación de monitoreo, recibe los datos transmitidos por el ESP32 y los presenta en tiempo real mediante una interfaz gráfica.

A continuación, se presentan los tres diagramas de conexión que complementan el diagrama de bloques general del sistema.

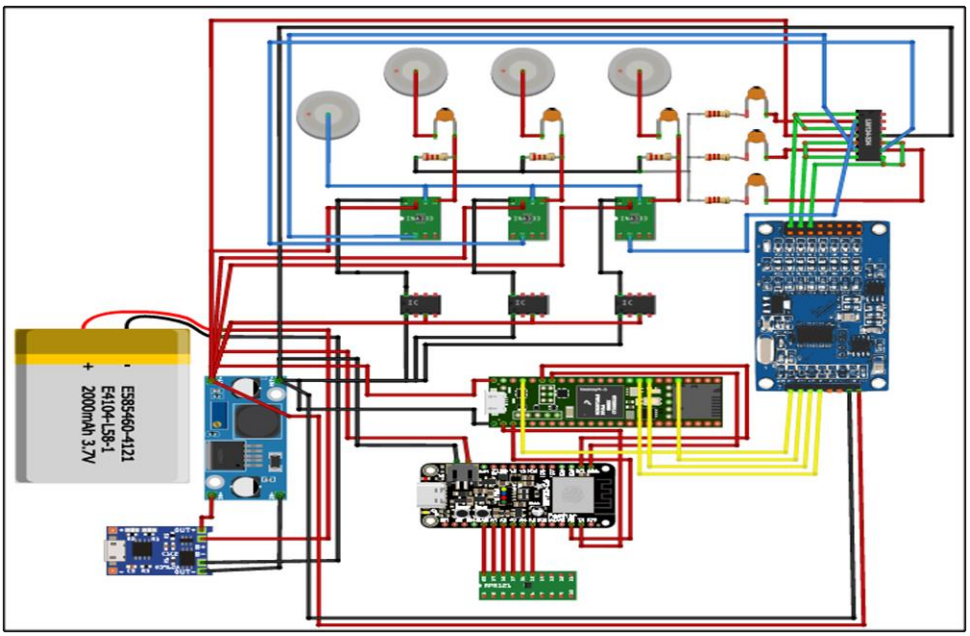

Figura 20. Diagrama de conexión de Diadema para adquisición de señales electroencefalográficas
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

Etapa de captación: Los electrodos de EEG captan las señales bioeléctricas cerebrales, las cuales son direccionadas inicialmente a filtros pasa alto para eliminar componentes de corriente continua y artefactos de baja frecuencia que puedan comprometer la calidad de la señal.

Etapa de amplificación: Las señales filtradas ingresan a amplificadores de instrumentación INA333, que proporcionan una amplificación diferencial de alta precisión.

Etapa de filtrado: La salida de los amplificadores se conecta a filtros pasa bajo implementados con amplificadores operacionales TP084, cuya función es eliminar componentes de alta frecuencia y ruido no deseado, acondicionando la señal para la conversión analógico-digital.

Conversión y procesamiento: Las señales acondicionadas son dirigidas a los canales de entrada del convertidor analógico-digital ADS1256, seleccionado por su resolución de 24 bits que garantiza una cuantificación precisa de las variaciones de amplitud de las señales EEG. La salida digital del ADS1256 se conecta al microcontrolador Teensy, que se encarga del procesamiento inicial y la gestión de datos.

Comunicación y visualización: El Teensy establece comunicación con el módulo ESP32-C6, equipado con display LED, que gestiona la transmisión inalámbrica WiFi, la visualización de datos y las funciones de configuración del sistema.

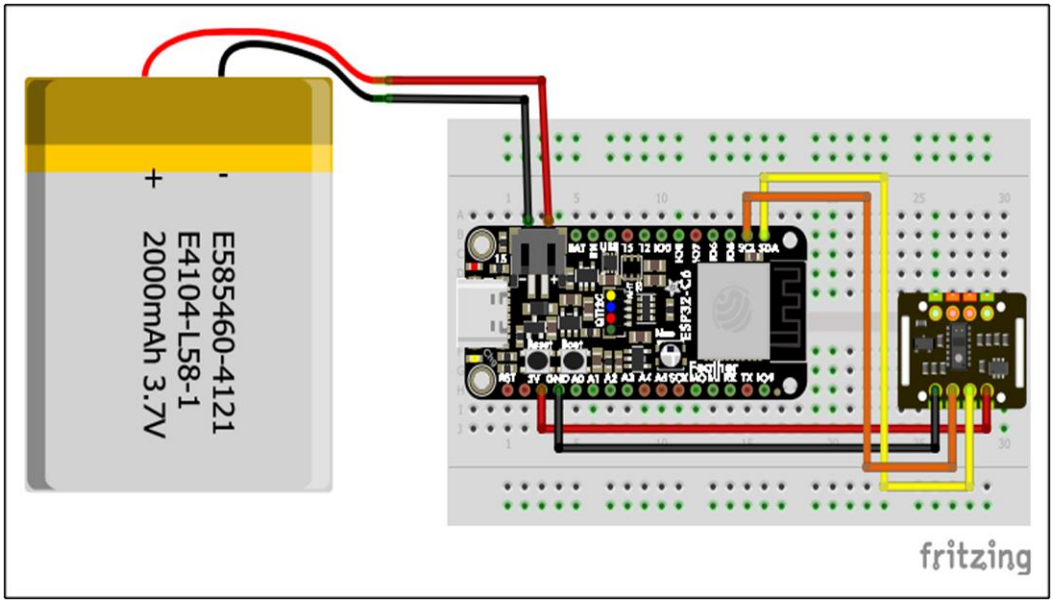

Figura 21. Diagrama de conexión de reloj inteligente con sensor biométrico
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

El diagrama de conexión presentado ilustra la arquitectura de un subsistema portátil de monitoreo biométrico basado en un microcontrolador ESP32 con pantalla integrada.

El microcontrolador ESP32, que integra capacidades de procesamiento, comunicación inalámbrica y visualización de datos, actúa como unidad central de control. A través de su interfaz I2C, el ESP32 establece comunicación directa con el sensor MAX30102, encargado de la medición de los parámetros fisiológicos, oxígeno en sangre (SpO2) y frecuencia cardíaca

Seguidamente, se procedió a la implementación física del dispositivo electrónico multisensorial orientado a la mejora de la regulación emocional y el rendimiento cognitivo a través de respuestas cerebrales. Esta fase comprende el ensamblaje, integración y verificación de todos los módulos y subsistemas previamente definidos en la etapa de diseño, asegurando la correcta interacción entre los distintos componentes electrónicos, sensores biométricos y plataformas de procesamiento.

El proceso inició con la preparación y verificación de todos los componentes electrónicos y materiales requeridos, desde los electrodos Ag/AgCl tipo copa y sensores biométricos, hasta los microcontroladores, módulos de alimentación y pantallas. Se diseñaron las carcasas y embestiduras de la diadema EEG, el reloj cardíaco y el servidor central utilizando software de modelado 3D, para posteriormente fabricarlas mediante impresión 3D con filamento PLA de alta resistencia.

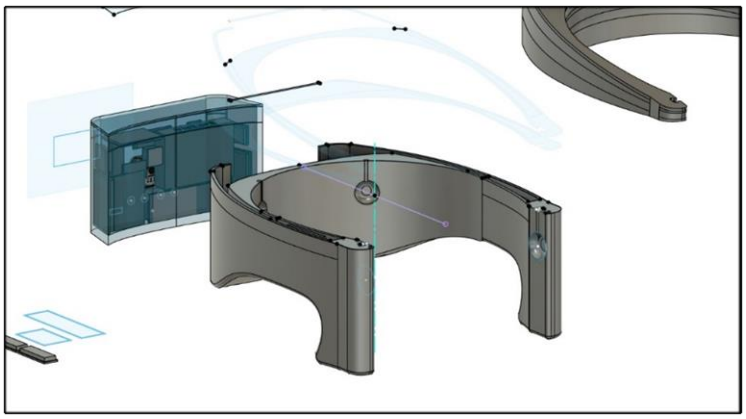

Figura 24. Modelado 3d diadema electroencefalográfica
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

La construcción del módulo diadema EEG comenzó con el ensamblaje de la etapa de alimentación. Se conectó la batería LiPo de 3.7V al cargador TP4057, asegurando la protección contra sobrecarga y descarga profunda. A partir de este punto, se derivaron líneas de alimentación para las secciones digital y analógica, empleando reguladores y convertidores de voltaje para obtener los niveles de 3.3V y 5V necesarios. El inversor LM2662 se utilizó para generar el voltaje negativo requerido por los amplificadores de instrumentación INA333, que fueron montados en la placa junto al filtro pasa alto RC encargado de eliminar artefactos de baja frecuencia.

Posteriormente, se integró el filtro pasa bajo activo basado en el TL084CN, seguido de la conexión de la salida amplificada al conversor analógico-digital ADS1256. La comunicación entre el ADS1256 y el microcontrolador Teensy 4.1 se estableció mediante bus SPI, y se programaron rutinas para la adquisición y procesamiento digital de las señales EEG, incluyendo filtrado digital, análisis espectral y extracción de métricas.



Figura 25. Armado de diadema electroencefalográfica
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

En la siguiente etapa, se ensambló el módulo de visualización y comunicación, integrando el ESP32-C6 con pantalla LCD y botones capacitivos MPR121, conectados por I2C. El ESP32-C6 fue programado para recibir datos del Teensy 4.1 mediante UART, visualizarlos en tiempo real y retransmitirlos inalámbricamente al servidor central a través de WiFi. Se implementaron algoritmos de gestión de energía y modos de bajo consumo para maximizar la autonomía del sistema.



Figura 26. Módulo de visualización de comunicación
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

En este orden, se procedió a la construcción del reloj cardíaco, utilizando un ESP32-S3 con pantalla táctil y el sensor MAX30102 para la medición continua de la variabilidad de frecuencia cardíaca y SpO2. El sensor se conectó al microcontrolador mediante I2C, y se desarrolló una interfaz gráfica intuitiva para la visualización de los parámetros biométricos en tiempo real. Al igual que en los otros módulos, la carcasa del reloj fue diseñada y fabricada mediante impresión 3D, asegurando un ajuste ergonómico y protección adecuada de los componentes internos.



Figura 27. Reloj Esp32-S3 con Sensor Max30102
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

Finalmente, se ensambló el servidor central sobre la base del módulo ESP32-S3 USB LCD, integrando la electrónica en una embestidura impresa en 3D, diseñada para facilitar la ventilación y el acceso a los puertos de comunicación.



Figura 28. Integración funcional
Fuente: **Elaboración propia (2025)**

Se realizaron pruebas sistemáticas sobre cada módulo y función del dispositivo. Estas evaluaciones se guiaron mediante una lista de verificación, permitiendo constatar la correcta adquisición y procesamiento de señales, la medición de parámetros fisiológicos y la estabilidad operativa del sistema en condiciones reales de uso, asegurando así el cumplimiento de los requerimientos establecidos.

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió analizar, diseñar y construir un dispositivo electrónico multisensorial orientado a la mejora de la regulación emocional y el rendimiento cognitivo, integrando señales cerebrales y biométricas en una arquitectura robusta y portátil. En la primera etapa, el análisis del estado del arte y la consulta a especialistas permitieron identificar las limitaciones de los dispositivos existentes y la necesidad de una solución que integrara múltiples fuentes de información fisiológica en tiempo real.

Se definieron los requerimientos técnicos del sistema, priorizando la selección de sensores de alta precisión (electrodos Ag/AgCl para EEG y sensor MAX30102 para biometría), así como una cadena de procesamiento eficiente y confiable. Se establecieron criterios estrictos para la adquisición, reducción de ruido y transmisión de datos, asegurando la integridad de la información recogida.

Se desarrollaron bloques funcionales diferenciados: la diadema EEG con su etapa de sensores, amplificación, conversión analógico-digital (ADS1256, 24 bits) y procesamiento (Teensy 4.1), el módulo de alimentación basado en batería LiPo y circuitos de regulación (TP4057, Buck y Boost), y la interfaz de usuario compuesta por display LED y botones capacitivos. La conectividad inalámbrica, implementada mediante ESP32 y protocolos WiFi (WebSockets/MQTT), permitió la transmisión eficiente de datos hacia el dispositivo de muñeca y la laptop de visualización.

Se procedió al ensamblaje e integración de los módulos, incluyendo el dispositivo de muñeca equipado con sensores biométricos y pantalla LCD, procesado por el ESP32-S3. Se verificó la interoperabilidad entre la diadema EEG, el dispositivo de muñeca y el receptor WiFi, garantizando la visualización en tiempo real de las señales en una laptop.

Se realizaron pruebas funcionales y de validación, estas pruebas incluyeron retroalimentación de los indicadores biológicos mediante juegos interactivos, lo que permitió observar la respuesta del usuario en tiempo real y ajustar dinámicamente la experiencia. La participación de especialistas aportó una valoración experta sobre la precisión, utilidad y aplicabilidad del dispositivo en contextos clínicos y educativos, validando su capacidad para monitorear y procesar información relevante para la regulación emocional y el rendimiento cognitivo de manera eficaz.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Floyd, TL (2008). **Dispositivos electrónicos** (8ª ed.). Pearson Educación.

Gallardo Vázquez, S. (2019). **Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones** (2.ª ed.). Madrid: Editorial Paraninfo.

Gross, J. J., & Thompson, R. A. (2007). **Emotion regulation: Conceptual foundations**. Guilford Pre.

Haykin, S. (2001). **Comunicación de Sistemas** (4ª ed.). Wiley.

Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2002). **Fundamentals of human neuropsychology**. Worth Publishers.

Koelsch, S. (2009). **A neuroscientific perspective on music therapy.** Annals of the New York Academy of Sciences, 1169, 374-384.

Parra Reynada, L. (2012). **Dispositivos electrónicos**. Editoral Tercer Milenio Rojo

Romano, J. (2017). **Neuropirámide, base del neuromarketing**. Editorial LID Mexicana.