ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



PROTESIS ROBÓTICA CONTROLADA POR NEUROSEÑALES PARA LA INCLUSIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA EN EXTREMIDADES SUPERIORES

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

AUTOMATISMO Y APLICACIONES INTELIGENTES

ASESOR: MANUEL ROGELIO NEVAREZ TOLEDO

AUTOR: MARLON ALEXANDER CEDEÑO PANEZO

ABRIL, 2019

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de Tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE previo a la obtención del título de Ing. En Sistemas y Computación.

DIRECTOR DE DISERTACIÓN	Mgt. Manuel Rogelio Nevarez Toledo
PRIMER LECTOR	Mgt. Gustavo Chango Sailema
SEGUNDO LECTOR	Mgt. Eduardo Almeida Clavijo
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE SISTEMAS Y COMPUTACION	Mgt. Xavier Quiñonez Ku

AUTORÍA

Yo, **Cedeño Panezo Marlon Alexander,** con número de cédula de identidad **0802564765** declaro que mediante la presente investigación sobre el tema "**PROTESIS ROBÓTICA CONTROLADA POR NEUROSEÑALES PARA LA INCLUSIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA EN EXTREMIDADES SUPERIORES**" los resultados obtenidos como tesis de grado, previo a la obtención del título de "INGENIERO EN SISTEMAS Y COMPUTACIÓN" son totalmente personales, únicos y legítimos.

Al mismo tiempo declaro que todo el contenido incluyendo resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y otros efectos legales y académicos que se desglosan son y serán exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

_____

Marlon Cedeño Panezo
C.I. 0802564765

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres: Ramón Cedeño Álava y Isabel Panezo Cheme por ser un pilar fundamental en mi carrera estudiantil, que supieron de una manera u otro apoyarme en cada decisión que tome en mi trayectoria de adquisición de conocimientos.

A mi novia Pamela Bravo Toro, que me ha enseñado que todo esfuerzo tiene su recompensa, por sus palabras de apoyo, sus consejos cuando lo necesitaba durante los buenos y los malos momentos.

A mi hermano Ronald Cedeño Panezo que me ha demostrado que un hermano debe ser ejemplo del otro.

A mi familia y amigos que de una manera u otro aportaron en cada momento importante para cumplir mis metas estudiantiles

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme el privilegio de tener vida y utilizarla de manera más sabia posible para conseguir mis metas. Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, por enseñarme los valores fundamentales para poder conseguir cada meta que me proponga.

A mi novia, por acompañarme en este camino lleno de retos, le agradezco infinitamente su apoyo y su paciencia para ayudarme a conseguir mis logros y por supuesto su amor incondicional día a día con el que me sentí fortalecido.

A mis familiares y amigos les agradezco por sus consejos y su cariño desinteresado, que me ayudaron a tomar decisiones en mi vida y así nunca desfallecer.

Agradezco encarecidamente a mi asesor por la paciencia que me tuvo y por brindarme las herramientas necesarias para que este trabajo de investigación pueda culminarse.

Por último, agradezco a mis profesores por la paciencia en que cada clase y por el apoyo en momentos difíciles por ser guías y mentores en mi proceso académico.

CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO 10
1.1. BASES TEÓRICAS-CIENTÍFICA 10
1.1.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL 10
1.1.2. ELECTROENCEFALOGRAMAS (EEG) 12
1.1.3. TRATAMIENTO DE ELECTROENCEFALOGRAMAS (EEG) 13
1.1.4. ONDAS CEREBRALES 17
1.1.5. NEUROFEEDBACK 18
1.1.6. DISPOSITIVOS CAPTADORES DE ONDAS CEREBRALES 20
1.1.7. INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR 24
1.1.8. ROBÓTICA 27
1.1.9. PRÓTESIS Y SU RELACIÓN CON LA ROBÓTICA 29
1.1.10. MICROCONTROLADORES 33
1.1.11. BLUETOOTH 37
1.2. ANTECEDENTES 38
1.3. BASES LEGALES 40
1.3.1. PLAN DESARROLLO NACIONAL 40
1.3.2. FINES DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR- SECRETARÍA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR ECUADOR 2018 40
1.3.3. CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN 40
2. MATERIALES Y METODOS 42
2.1. TIPO DE ESTUDIO 42
2.2. DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES 43
2.3. MÉTODOS 43
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS 43
2.5. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO 44
3. RESULTADOS 45
3.1. COMPRACIÓN DE DISPOSTIVOS CAPTADORES DE ONDAS CERBRALES 45
3.2. DISEÑO DE BRAZO ROBÓTICO CON SOFTWARE SOLID WORKS 46
3.3. CONSTRUCCIÓN DE LA PRÓTESIS BRAZO ROBÓTICO 48
3.4. CONEXIÓN DE ARDUINO CON SERVOMOTORES Y MÓDULO BLUETOOTH 50
3.5. CONEXIÓN MAESTRO/ ESCLAVO BLUETOOTH PARA COMUNICACIÓN ENTRE MINDWAVE Y ARDUINO 51
3.6. PROGRAMACIÓN DE MICROCONTRALDOR PARA LA LECTURA DE ONDAS CEREBRALES 56
3.7. DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS EN LA PRÓTESIS ROBÓTICA MEDIANTE LECTURA DE ONDAS CEREBRALES 58
3.8. ANÁLISIS FUNCIONAL DEL PROYECTO 60
4. DISCUSIÓN 64
5. CONCLUSIONES 65
6. RECOMENDACIONES 67
REFERENCIAS 68

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Adquisición de señales cerebrales por FMRI [3] 10
Figura 2. Adquisición de señales cerebrales por PET [3] 11
Figura 3 MRS en una persona sana y otra con lesión [3] 11
Figura 4. Equipo para obtener una imagen por ultrasonidos 2D [3] 12
Figura 5. Registro EEG de una persona adulta [5] 12
Figura 6.EGG en el dominio del tiempo [7] [8]. 14
Figura 7. Paso del Dominio en el Tiempo a amplitud en Frecuencia TF 14
Figura 8. Comparación entre Transformada de Fourier (tiempo frecuencia) y el análisis de Fourier (tiempo-escala). 15
Figura 9. Estructura básica de la transformada discreta de wavelets [13]. 16
Figura 10. Bandas de frecuencias del EEG [14]. 16
Figura 11. Distribución de ondas cerebrales con descripción de actividad humana 18
Figura 12. Diagrama de funcionamiento de la técnica Neurofeedback 19
Figura 13. Ciclo de retroalimentación mediante neurofeedback [21] 20
Figura 14. Dispositivo Neurosky MindWave [24] 21
Figura 15. Visualización en tiempo real de Mindwave conectado a Mindwave Mobile 21
Figura 16. Visualización de ondas cerebrales con EEG Analyzer. 22
Figura 17. Muse Brain colocado en un usuario para medir actividad cerebral [25] 23
Figura 18. Dispositivo Emotiv EEG de la empresa EPOC 24
Figura 19. Distribución de sensores en Emotiv EEG para detección de señales 24
Figura 20. Estructura de un sistema interfaz-computador básico [28] 25
Figura 21. Interfaz cerebro-computadora para personas con discapacidad física. 26
Figura 22. Robótica con inteligencia artificial y sistema de movimientos articulados 28
Figura 23. Robótica aplicada a personas con discapacidad física 29
Figura 24. Prótesis aplicada a persona con discapacidad en extremidad superior. 30
Figura 25. Servomotor FT5313M Standard-Digitalservo 31
Figura 26. Anatomía interna de un servomotor [40] 31
Figura 27. Rotaciones de un servomotor de ángulos basados en el tiempo de traslado [40] 32
Figura 28. Conexión de un Servomotor a un microcontrolador Arduino. Realizado por el Autor 33
Figura 29. Partes del microcontrolador estándar 33
Figura 30. Representación esquemática de un microcontrolador. 34
Figura 31. Placa Arduino Uno, Arduino Inc. [43] 36
Figura 32. Dispositivos conectados mediante comunicación bluetooth 37
Figura 33. Diseño de la palma de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works 46
Figura 34. Diseño de la palma de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works 47
Figura 35. Diseño de los nudillos de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works 47
Figura 36. Diseño de los dedos de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works 47
Figura 37. Montaje de servomotores MG 996R para el control de los dedos de la mano 48
Figura 38. Moldes impresos con 3D para armazón de la mano para la prótesis robótica 48
Figura 39. Mano armada en su totalidad con 5 servomotores MG-995 49
Figura 40. Brazo robótico conectado con servomotores 49
Figura 41. Diagrama de conexión de arduino con 5 servomotres, batería recargable y modulo bluetooth. 50
Figura 42. Diagrama esquemática de conexión 51
Figura 43. Vista demostrativa para identificar la MAC del dispositivo Neurosky Mindwave 55
Figura 44. Monitor serie Arduino IDE, Nivel de atención del usuario 60
Figura 45. Ondas cerebrales en estado de concentración alto 61
Figura 46.Ondas cerebrales en estado de atención con nivel alto 61
Figura 47. Colocación de diadema Mindwave Neurosky en individuo de prueba 62
Figura 48. Pruebas funcionales en individuo que carece de la extremidad superior. 63

Tabla I 18
Tabla II. 30
Tabla III 35
Tabla IV 45
Tabla V. 59
Tabla VI 59

GLOSARIO

EEG: Electroencelafogramas, Análisis de la actividad cerebral mediante la captación de ondas cerebrales

FDM: Material filamento fundido, es un material que se utiliza en las impresiones en 3D

RMI: Medición por resonancia magnética

Neuroseñales: Señales emitidas por las neuronas del cerebro

Ondas Cerebrales: Señales características del cerebro sea el caso de ondas beta, alfa, gamma, delta, etc.

Prótesis: Dispositivo o instrumento capaz de reemplazar funcionalidades de alguna parte del cuerpo que carezca el individuo

Robótica: Ciencia que se encarga de estudio de robots

CAD: Archivo de salida en el diseño 3D el cual se envía a la impresora 3D para que imprima el molde.

Servomotores: es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición

Array: Cadena de caracteres los cuales pueden ser manejados o leídos por posición

Encefalógrafos: Dispositivo captadores de electroenfalogramas y entregarlos en valores.

Electroencefalografía: Ciencia que estudia el análisis ya condicionamiento de las ondas cerebrales

Arduino: Hardware y Software libre utilizado como actuador de dispositivos electrónico utilizando la programación en lenguaje C.

Serial: Puerto para recepción y emisión de datos puede ser usb, infrarrojo, bluetooth, etc

flexo-extensión: Movimiento que combina la flexión y la *extensión* de los músculos de una extremidad.

prono-supinación: se define por el conjunto de movimientos que facilitan la rotación de una parte de un miembro.

UART: Familias más populares de microcontroladores de 8 bits

RESUMEN

Las personas con discapacidades motoras, pueden utilizar la zona de su cerebro que controla la intención de movimiento o al menos imaginar la dirección del mismo, en esta investigación se pretendió, adquirir estas señales y clasificarlas según la dirección del mismo, utilizarla en el control de una prótesis impresa en 3D para poder probar en un individuo que carezca de su extremidad superior humana y reemplazarla por un extremidad robótica con el fin de realizar movimientos principales como son: abrir y cerrar el brazo siendo una investigación que involucra la Robótica, Neurociencia y la Inteligencia Artificial para su desarrollo, beneficiando a personas con discapacidad física en que permite la inclusión en la sociedad con una mejor calidad de vida.

Las tecnologías que se utilizaron en esta investigación fueron: MindWave, como dispositivo captador de señales cerebrales las mismas que permitieron dar movimientos limitados en la prótesis de brazo robótica. Así mismo se utilizó Arduino, que es un microcontrolador que permitió la comunicación del brazo robótico con el MindWave por el protocolo de comunicación bluetooth configurados para que la comunicación empiece al momento de encenderse, el mismo que permitió obtener los datos del MindWave y ejecutar comandos directos a la prótesis. También, se hizo uso de la tecnología 3D que permitió diseñar y crear una prótesis más realista, para que el individuo se sienta cómodo al momento de usarla. Para comprobar el funcionamiento del dispositivo se hizo uso de fichas de observación en las pruebas realizadas al individuo contemplando métricas correspondientes a la usabilidad, tiempo de respuesta, diseño, entre otras, con ponderaciones de 1 a 5 siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

Las ondas que emite el dispositivo Neurosky MindWave son ondas delta, alfa, beta, theta y gamma, con un enfoque que se dirige en el rango de atención que entrega el dispositivo, mediante el microcontrolador se ejecutaron comandos directos a la prótesis 3D de extremidad superior derecha estableciendo rangos para realizar movimientos básicos como son: abrir y cerrar, limitando así que en un rango de 0-50 obedecen a la orden de abrir la mano y en un rango de 50-100 a la orden de cerrar la mano , obteniendo los resultados esperados sin dejar de lado que el código empleado, puede ser usado para el análisis de las ondas y aplicarlas en futuras investigaciones basadas en el análisis cerebral.

Palabras claves: Electroencefalograma, neuroseñales, ondas cerebrales, prótesis, 3D.

ABSTRACT

People with motor disabilities, can use the area of their brain that controls the intention of movement or at least imagine the direction of it, in this research was intended, acquire these signals and classify them according to the direction of it, use it in the control of a 3D printed prosthesis to be able to test on an individual who lacks his human upper limb and replace it with a robotic limb in order to perform major movements as they are: to open and close the arm being an investigation that involves Robotics, Neuroscience and Artificial Intelligence for its development, benefiting people with physical disability in that it allows the inclusion in the society with a better quality of life.

The technologies that were used in this research were: MindWave, as a device to capture brain signals that allowed limited movements in the robotic arm prosthesis. Arduino was also used, which is a microcontroller that allowed the communication of the robotic arm with the MindWave by the bluetooth communication protocol configured so that the communication begins at the moment of turning on, the same one that allowed to obtain the data of the MindWave and to execute direct commands to the prosthesis. Also, 3D technology was used to design and create a more realistic prosthesis, so that the individual feels comfortable when using it. In order to check the functioning of the device, observation cards were used in the tests performed on the individual, contemplating metrics corresponding to usability, response time, design, among others, with weightings from 1 to 5, with 1 being the lowest rating and 5 the highest.

The waves emitted by the Neurosky MindWave device are delta, alpha, beta, theta and gamma waves, with an approach that is directed in the range of attention that the device delivers, through the microcontroller direct commands were executed to the right upper extremity 3D prosthesis establishing ranges to perform basic movements such as are: open and close, thus limiting that in a range of 0-50 obey the order to open the hand and in a range of 50-100 to the order to close the hand, obtaining the expected results without leaving aside that the code used, can be used for the analysis of the waves and apply them in other future investigations based on the cerebral analysis.

Keywords: Electroencephalogram, neuro signals, brain waves, prosthesis, 3D.

INTRODUCCIÓN

PRESENTACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

El Reglamento a la ley Orgánica de Discapacidades en Ecuador del año 2018 en el Art1. define a la persona con discapacidad a aquella persona que como consecuencia de deficiencias físicas, intelectuales, mentales o sensoriales, sin importa la causa del origen, ve restringida su capacidad biológica, asociativa y psicológica para realizar actividades cotidianas esenciales [1]. Dentro de este contexto, se debe incursionar en la creación de tecnologías que beneficien a la sociedad, como es la robótica, debido a que es un campo utilizado para resolver problemas del mundo real ayuda a facilitar tareas que para el ser humano tienden a ser peligrosas, tediosas o simplemente se pueden mejorar proceso, se han desarrollado varios robots, algunos de tipo manipuladores, pero con un grado de precisión baja puesto que funcionan con corriente continua y no con servomotores. Son algunas las investigaciones que se han desarrollado bajo la premisa de la Inteligencia Artificial, debido a la complejidad del desarrollo y al tipo de investigación que esta demanda, son importante este tipo de investigaciones, por el potencial que tiene para el futuro que puedan beneficiar al estilo de vida de las personas con discapacidad física del país.

Controlar dispositivos con la mente ha sido por mucho tiempo un tema recurrente en la ciencia ficción y mientras se continúe alimentando a la imaginación, es posible permitir que pacientes completamente paralizados puedan comunicarse e interactuar con el medio ambiente. La señal, captada en el cuero cabelludo, presenta una variación de amplitud en torno a las decenas de microvoltios y en el rango de frecuencia comprendido aproximadamente entre 0.1 y 60Hz. Si se consiguiera aprender rápidamente a controlar dichas características, la señal EEG podría presentar una nueva función cerebral y convertirse en una nueva señal de salida que permita comunicar los deseos de una persona a un dispositivo externo. Extrayendo características de la electroencefalografía humana se puede llevar a cabo interfaces cerebro-computadora. Se hace necesario llevar a cabo un entrenamiento de los datos para cada individuo. Al ser cada individuo diferente, se deberá analizar las señales adecuadamente y ajustar los parámetros convenientemente para lograr una buena clasificación de la señal y de esta manera incrementar el conocimiento e impulsar el desarrollo y perfeccionamiento de múltiples sistemas que

emulen o simulen movimiento de algunas partes del cuerpo humano con el estudio de las ondas cerebrales, con el fin de que realicen actividades que para el ser humano sea difícil de desarrollar, ya sea por limitaciones físicas, por la existencia de ambientes hostiles o por el manejo de sustancias peligrosas, que por supuesto ponen riesgo la integridad física de la persona. La investigación sobre estos sistemas obedece a la creación de mecanismos capaces de realizar tareas repetitivas y que cumplan con las expectativas de personas que lo requieran.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Algunas personas muestran diferencias en su cuerpo de una forma más concreta y visible, como las personas con discapacidad física, que tienen dificultades de movilidad o para alcanzar y manejar objetos, por ende necesitan facilidades para su movilidad y comunicación, pero para superar estas limitaciones deben utilizar ayudas biomecánicas, tales como muletas, andadores o sillas de ruedas, o bastones guías en el caso de los ciegos, pero ninguna de estas ayudas es suficiente si la ciudad no cuenta con las adecuaciones necesarias para superar las barreras y obstáculos físicos, o más aún, que existan ambientes hostiles los cuales no permitan una auto capacidad de realizar tareas diarias.

Las personas que poseen discapacidad física tienen más riesgo de caer en pobreza debido a múltiples dificultades que se le presentan como la falta de oportunidades laborales, dificultad al ejecutar actividades, discriminación, movilidad limitada, entre otras. Además de enfrentar su padecimiento, las personas con discapacidad afrontan barreras económicas y sociales. Al poder eliminarse estas barreras, las personas con discapacidad física pueden participar activamente en su sociedad y ser productivas.

JUSTIFICACIÓN

Con la creación de una prótesis robótica de una extremidad superior derecha controlada por actividad cerebral a través de dispositivo de adquisición de señales cerebrales de tipo no invasivo usando algoritmos de conversión y programación mediante comandos donde los beneficiarios directos de la investigación son las personas que carecen de sus

extremidades superiores y así permitir que tengan la factibilidad de utilizar una prótesis robótica para poder ejecutar sus tareas cotidianas, además contribuir al desarrollo de muchas aplicaciones para personas con discapacidad, donde, aparte de manipular objetos puedan mejorar su calidad de vida que da inicio a aplicaciones en otras modalidades de la robótica, por ejemplo, en áreas como la medicina, militar, exploración, agricultura, o muchas aplicaciones industriales; permitiendo que las personas con deficiencias físicas tengo un grado de inclusión mayor en la sociedad y por ende más oportunidades laborables para incrementar su nivel económico. Una de las líneas de investigación y de desarrollo muy interesante es la robótica, que es relativo a la Inteligencia Artificial, en ello no sólo se espera dotar de un computador con la capacidad de percibir, sino de reconocer, es decir de identificar lo percibido y posteriormente tomar decisiones, destinado a lograr mejoras en diversas áreas minimizando los costos de importación de tecnologías extranjeras. Se puede afirmar, que el desarrollo de un brazo robot controlado mediante actividad cerebral incentivará la investigación y tendría una influencia importante para el desarrollo de tecnología robótica en el país.

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar un prototipo de prótesis robótica para emular movimientos de una extremidad superior humana, mediante la adquisición de neuroseñales.

Objetivos Específicos

- Identificar las características principales de dispositivos captadores de neuroseñales que permitan interactuar con ondas cerebrales para el diseño de una interfaz cerebro computador.
- Elaborar un esquema que permita relacionar pulsos cerebrales provenientes de un dispositivo captador de ondas cerebrales, con los movimientos de una extremidad superior humana.
- Diseñar una prótesis robótica electromecánica que emule movimientos de una extremidad superior humana accionada por un dispositivo captador de ondas cerebrales.
- Determinar el comportamiento de la prótesis robótica manipulada por las señales cerebrales adquiridas en condiciones físicas reales.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. BASES TEÓRICAS-CIENTÍFICA

1.1.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL

Para la adquisición de datos cerebrales existen múltiples métodos los cuales hasta la actualidad son utilizados por los especialistas en neurociencia, mediante la adquisición de datos cerebrales se pueden detectar enfermedades o atrofias en el cerebro. Existen métodos de adquisición de neuroseñales los cuales son invasivos y no invasivos.

Los métodos invasivos son aquellos que se requiere de cirugía para poder colocar emisores o receptores en lugares claves del cerebro, los cálculos son exactos, pero son cirugías muy complicadas y para ello se requiere de personal altamente profesional y calificado [2]. Los métodos no invasivos toman medidas sin necesidad de cirugías. Entre los principales métodos no invasivos se tiene: imágenes por resonancia magnética funcional (FMRI), tomografía de emisión de positrones (PET), resonancia magnética espectroscópica (MRS), tomografía cerebral por computación activa de microondas (EMIT), imagen por ultrasonidos en 2 dimensiones (2D UI), electroencefalografía (EEG). Actualmente, también se están utilizando interfaces BCI, que hacen uso de sensores fisiológicos no invasivos, usan una serie de electrodos para leer señales eléctricas en el cuero cabelludo causadas por la actividad cerebral y este tipo de BCI no invasiva, se puede conseguir como una opción viable para el control de dispositivos y aplicaciones mediante la interpretación de las señales cerebrales; que son relativamente más accesible que sus contrapartes médicas [3]. El FMRI es aquella que utiliza la resonancia magnética para medir la respuesta de los flujos sanguíneos que se producen durante la actividad neuronal en el cerebro (Ver Figura 1).

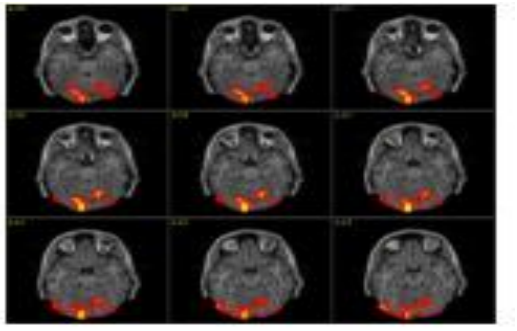


Figura 1. Adquisición de señales cerebrales por FMRI [3]

El PET es una técnica que permite observar en una parte del cerebro el flujo de la sangre o del metabolismo (Ver Figura 2). Se suministra al sujeto una sustancia radioactiva, la cual es perceptible en las áreas más activas del cerebro.

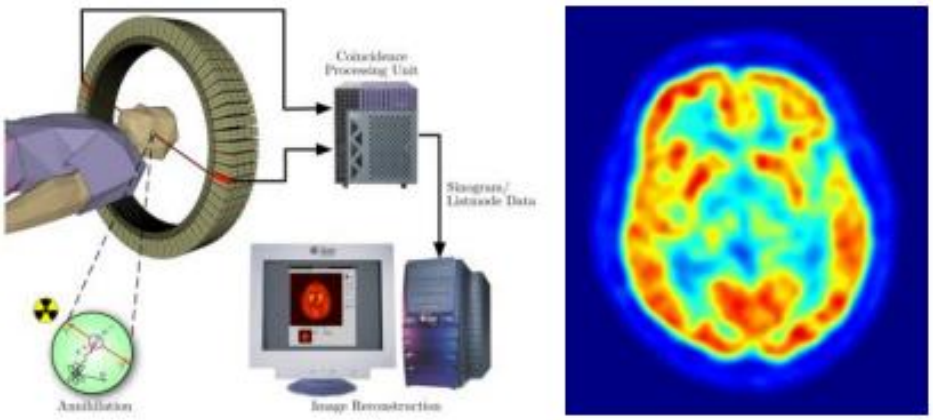


Figura 2. Adquisición de señales cerebrales por PET [3]

El MRS es una técnica que se basa en procesos de valoración de las funciones del cerebro vivo. Existen dos tipos de experimentos: con imanes de altas prestaciones y con equipos más básicos, que producen señales de menor calidad, y mayormente utilizados en ámbitos clínicos. En la Figura 3 se indica los resultados de un MRS aplicado a una persona sana y a otra con lesión cerebral.

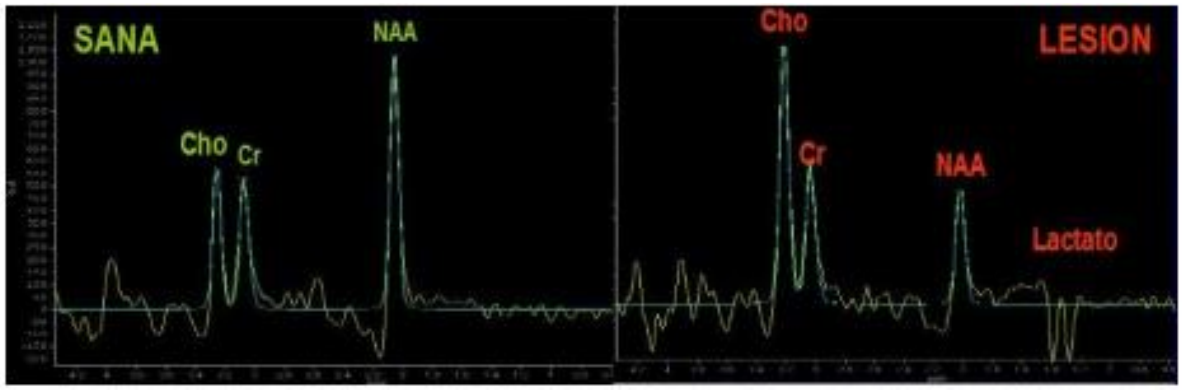


Figura 3 MRS en una persona sana y otra con lesión [3]

EMIT Permite medir las propiedades fisiológicas de los tejidos y órganos en tiempo real, basado en la diferenciación de las propiedades dieléctricas de los tejidos.

Imagen por ultrasonidos - 2D es que utiliza la generación de imágenes en 2D por ultrasonidos en tiempo real, capaz de medir y visualizar el comportamiento del metabolismo (ver Figura 4).



Figura 4. Equipo para obtener una imagen por ultrasonidos 2D [3]

1.1.2. ELECTROENCEFALOGRAMAS (EEG)

El electroencefalograma o EEG se define como una prueba que se usa para determinar el funcionamiento de sistema nervioso central, específicamente la actividad de la corteza del cerebro esto consiste en obtener las corrientes eléctricas que se forman en las neuronas cerebrales utilizando electrodos especiales siendo estas las bases del funcionamiento de un sistema nervioso.

Las señales que produce el cerebro se generan por la diferencia de potencial en la membrana celular de las neuronas siendo este proceso la base del funcionamiento de nuestro sistema nervioso esto se conoce como Electroencefalograma (EEG) existe un lenguaje propio de comunicación de las neuronas que se produce por las variaciones de la actividad cerebral, basándose en investigaciones y en algoritmos los cuales realizan procesamiento de señales (ver Figura 5) que aportan en el significado de las señales EEG, se han creado múltiples aplicaciones clínicas y tecnológicas que hace mucho tiempo parecían imposibles [4].

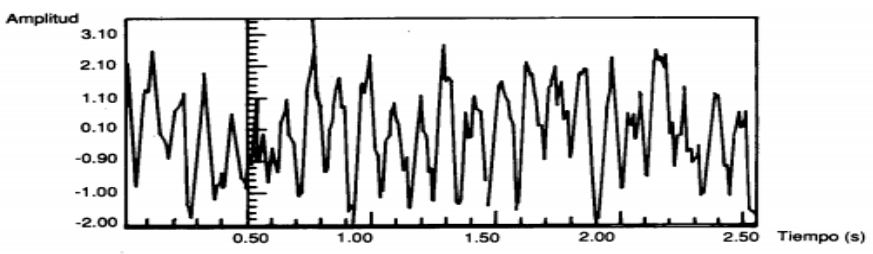


Figura 5. Registro EEG de una persona adulta [5]

Las ondas electroencefalográficas, son señales de bajo nivel de voltaje por lo que pueden ser afectadas por el ruido en cuanto a su forma y frecuencia, contienen características según su ubicación lo cual las permite accesibles para el uso en aplicaciones interfaz cerebro-computador, puesto que, si se lo logra extraer las características claves estas puedan ser empleadas como ordenes o comandos para tener el control de equipos electrónicos.

1.1.3. TRATAMIENTO DE ELECTROENCEFALOGRAMAS (EEG)

Estas señales, que no son generadas en el cerebro, pero que están presentes en el EEG, son llamadas Artefactos y son generados principalmente por parpadeo, efectos musculares y vasculares y por brillo cinético. La detección de la emoción se altera por la presencia de estos ruidos, por lo que es necesario eliminarlos, y así trabajar solamente con la porción de información útil de la señal. De esta forma, la eliminación de ruido inhibe la parte inútil de la señal y la restaurar utilizando solo la parte útil [6].

El EEG en cada derivación (figura 1A) representa una mezcla de frecuencias las cuales pueden ser separadas mediante el procedimiento matemático conocido como Análisis de Fourier. Por medio del mismo, el EEG en cada derivación se transforma del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y, en lugar de tener oscilaciones de voltaje en función del tiempo, se tendrán valores de potencia en función de la frecuencia (figura 6B), los cuales surgen de elevar al cuadrado los valores de amplitud de cada una de las ondas en que se ha descompuesto la actividad correspondiente a cada derivación. A partir de ellos se calcula el espectro de potencia que es una gráfica de la potencia en función de la frecuencia y de donde se derivan las diferentes medidas espectrales (figuras 6C y 6D). En la figura 6C se ejemplifica el espectro de potencia de «banda estrecha» correspondiente a una derivación hipotética. Este tipo de espectro se obtiene cuando se utilizan las potencias correspondientes a cada una de las frecuencias en que se ha descompuesto la actividad de la derivación. Sin embargo, en la práctica, la tendencia ha sido agrupar las potencias de la banda estrecha en los rangos de las bandas clásicas de la electroencefalografía («análisis de banda ancha»): δ, θ, α, β (figura 6D). En la fila superior, a la izquierda (A), aparece un esquema donde se representa al EEG en el dominio del tiempo (EEG tradicional) en 19 derivaciones del Sistema Internacional 10-20 y, a la derecha (B), otro esquema con los espectros que se obtienen en cada una de

esas derivaciones después de aplicar el análisis de Fourier (A.F.). En la fila inferior se ejemplifican los espectros de potencia correspondiente a una derivación hipotética: a la derecha (C) el de banda estrecha y a la izquierda (D) el de banda ancha. [7] [8].

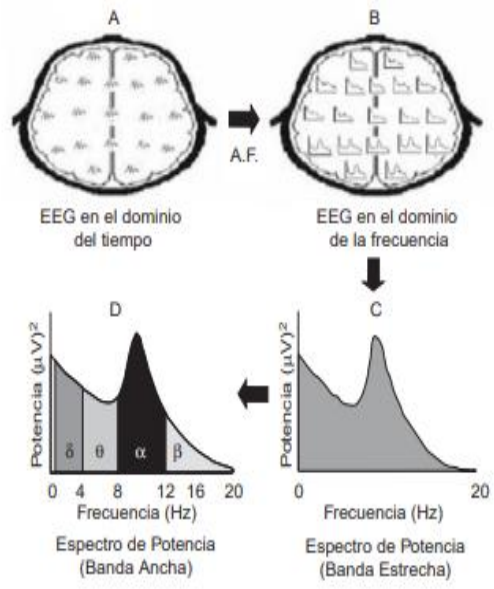


Figura 6.EGG en el dominio del tiempo [7] [8].

Para eliminar estos ruidos de la señal se recurre a técnicas de procesamiento digital. La técnica más común en el filtrado del ruido es la transformada de Fourier, la cual por definición es el prisma matemático que descompone una función en las frecuencias que le forman [9]. En el procedimiento se expande la señal por triangulación de base de senos y cosenos, expresando una señal con sus diferentes frecuencias a través de la superposición lineal de las funciones armónicas. Aunque Fourier permite representar una señal en sus frecuencias, no tiene una resolución en tiempo, por lo que no funciona para análisis local; se pueden conocer los componentes principales de la frecuencia, pero no saber en qué momento ocurrió.

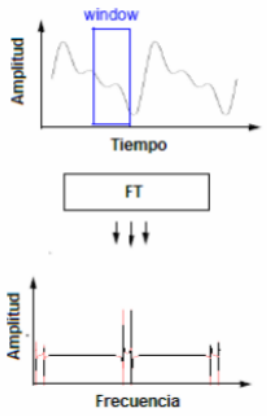


Figura 7. Paso del Dominio en el Tiempo a amplitud en Frecuencia TF

Sin embargo, esto se puede solucionar recurriendo a la Transformada Corta de Fourier (FFT), la cual calcula la transformada por segmentos, teniendo una representación tiempo-frecuencia de la señal que permite conocer sus armónicas en la ubicación del tiempo como se observa en la figura 7. Sin embargo, el uso de la transformada de Fourier es útil solo para señales periódicas en estado estacionario, y no sirve para procesamiento de señales neuronales, pues la mayoría de las señales biológicas son no estacionarias [10], lo cual quiere decir que su espectro varía con el tiempo. Para lograr una localización temporal de los componentes espectrales se utilizan otras transformadas, que sí permiten una representación tiempo-frecuencia de la señal. La transformada que permite procesar señales no estacionarias obtenidas en el EEG, es la Transformada Discreta Wavelet (DWT), la cual provee la representación tiempo frecuencia de la señal, y, además, analiza la señal con distintas resoluciones para las diferentes frecuencias como se muestra en la figura 8. Cuando las frecuencias son altas, se tiene buena resolución en el tiempo, pero mala en la frecuencia. Contrariamente, se tiene buena resolución de frecuencia y mala resolución de tiempo en las bajas frecuencias la transformada Wavelet combina las dimensiones tiempo y frecuencia permitiendo la extracción de los detalles y de las aproximaciones de la señal; resultado que no puede ser logrado con la transformada rápida de Fourier ni por la transformada Corta de Fourier [11].

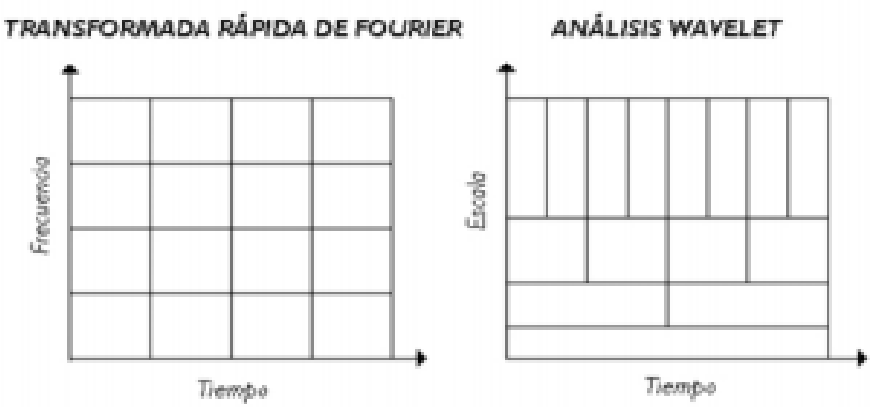


Figura 8. Comparación entre Transformada de Fourier (tiempo frecuencia) y el análisis de Fourier (tiempo-escala)

La transformada Wavelet es un análisis tiempo-frecuencia y refleja el estado de la función f(t) en la escala (frecuencia) y en la posición (tiempo). El análisis de multiresolución de la transformada Discreta Wavelet permite descomponer la señal en varios niveles. Dentro de cada nivel se utiliza un par de filtros que cortan el dominio de la frecuencia a la mitad. Para el proceso de multiresolución se comienza dividendo la señal original en coeficientes

de aproximación (CA) y coeficientes de detalle (CD). Después, los coeficientes de aproximación son nuevamente divididos en nuevos coeficientes de aproximación y detalle. Se sigue realizando lo anterior hasta obtener el conjunto de coeficientes de aproximación y detalle para el nivel de resolución requerido [12]. La Figura 9 muestra el funcionamiento de la DWT (Transformada discreta de Wavelets) para el primer nivel [13]

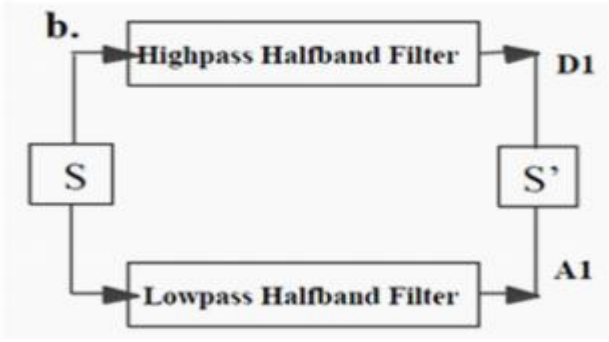


Figura 9. Estructura básica de la transformada discreta de wavelets [13].

Para la extracción de características se vuelve a recurrir a la DWT para separar según sus frecuencias, pues normalmente las características básicas presentes en las señales del EEG se detectan al separarla en diversas bandas de frecuencia. Las ondas cerebrales están conformadas por diferentes rangos de frecuencias, como se vislumbra en la Figura 10 [14].

Se observa en la figura 10 que existen 5 bandas:

» Ondas Delta, frecuencias entre 0,5 y 3,5 Hz.

» Ondas Theta, se encuentran entre 3 a 7 Hz.

» Ondas Alpha, se encuentran en un rango de frecuencia de 8 a 13 Hz

» Ondas Beta, están entre 14 a 30 Hz.

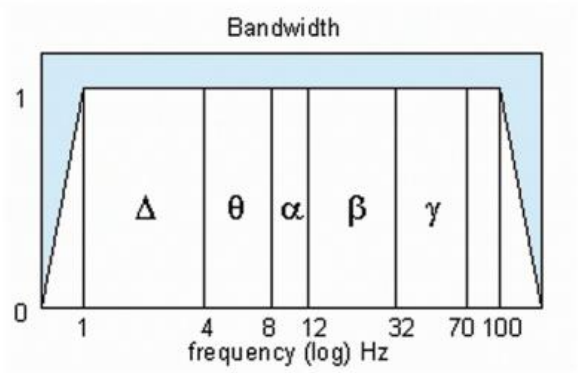


Figura 10. Bandas de frecuencias del EEG [14].

La extracción de los coeficientes Wavelet provee una representación que muestra la distribución de la energía de la señal EEG en tiempos y frecuencias de una manera más vistosa las mismas que ya se pueden definir y ser utilizadas para investigaciones en este campo.

El análisis de Fourier ha cambiado la forma en que la ciencia y la ingeniería han percibido el mundo, puesto que ha facilitado el florecimiento del tratamiento digital de señales con sus amplias aplicaciones en las comunicaciones, la compresión de datos y el análisis de los mismos. Debido a su limitación en el análisis tiempo frecuencia, su detalle de ruido y los eventos que pudieran presentarse como lo son los spikes, el análisis de Fourier resulta limitadamente apropiado por lo que se presenta la aparición natural de nuevas y más sofisticadas herramientas como son las Wavelets.

1.1.4. ONDAS CEREBRALES

Las ondas cerebrales son actividades eléctricas que el cerebro produce de manera constante por diversos factores. Estas ondas son de muy baja amplitud se miden en micro voltios (mv) estas ondas pueden ser captadas por dispositivos encefalógrafos. Las áreas corticales del cerebro producen frecuencias de diferentes tipos, que son observados como señales desde un registro electrónico o EEG. Estas señales se clasifican en:

Delta es la onda asociado con el sueño, se presenta en estados de relajación muscular. De esta manera resulta fácil la detección, cuando se produce un estiramiento o calentamiento siendo el rango de medida de 1 a 4 Hz [15].Las ondas se distribuyen de la siguiente manera: Theta esta onda se relaciona directamente con el estado emocional que depende de la ansiedad, de manera más precisa con las emociones positivas su rango de medida es de 4 a 8 Hz [16]. Alpha 8-12 Hz permite el enfoque, filtrando las distracciones, pensamientos y emociones [17].Beta 13-30 Hz son las ondas de mayor velocidad, asociadas a estados de vigilia y actividad mental, los estados de alerta y concentración activa (ver Tabla 1). Su estimulación directa puede causar cambios importantes en el estado emocional [17].

Tabla I

Distribución de ondas en frecuencias(Hz) y microvolts (µV)

Banda	***Frecuencia (Hz)***	***Amplitud (µV)***
Delta	0-3	100-200
Theta	4-7	50-100
Alfa	8-13	20-50
Beta	14-30	10-20

Tabla de distribución de ondas cerebrales según su rango de frecuencia y la medidad de amplitud en microvoltios en donde los (Hz) corresponden a la frecuencia en el dominio del tiempo y (uV) corresponde al ancho de la amplitud de la onda.

Las ondas cerebrales son aquellas que permiten entender el proceso mental, sobre las emociones, actividades y dinámica las cuales generan energía en nuestro cerebro (ver Figura 11).



Figura 11. Distribución de ondas cerebrales con descripción de actividad humana

1.1.5. NEUROFEEDBACK

La palabra neurofeedback se deriva de los siguientes significados feedback que quiere decir retroalimentación y neuro sobre la actividad neuronal, esta técnica se logra por medio del electroencefalograma (EEG). El registro que emite se utiliza para medir las variables de voltaje y frecuencia del cerebro y así determinar cuál su estado mental ideal o en otros casos cual es patrón de interacción neuronal en casos patológicos [18].

Neurofeedback es un comportamiento neuro comportamental destinado a la adquisición de patrones cerebrales de autocontrol de la vida diaria. Esta técnica es inofensiva y nada

invasiva, se utiliza el cerebro para medir su comportamiento y obtener información del mismo sin causar ningún tipo de daño.

Esta técnica se sitúa desde el año 1884 a partir de los estudios encefalográficos, en los inicios de la neuropsicología computarizada. Reymond realizo hallazgos sobre las señales eléctricas emitidas por los impulsos nerviosos, anteriormente ya se habían hecho experimento en animales como los monos y conejos en 1875 [19].

El objetivo de esta técnica consiste en determinar el mejor rendimiento de las mediciones registradas en el EEG y los estados de concentración para obtener un patrón de ondas en cuanto a los estados emocionales como se muestra en la Figura 12; dependiendo cual sea el estado del sujeto las ondas pueden tener mayor amplitud y voltaje [20].

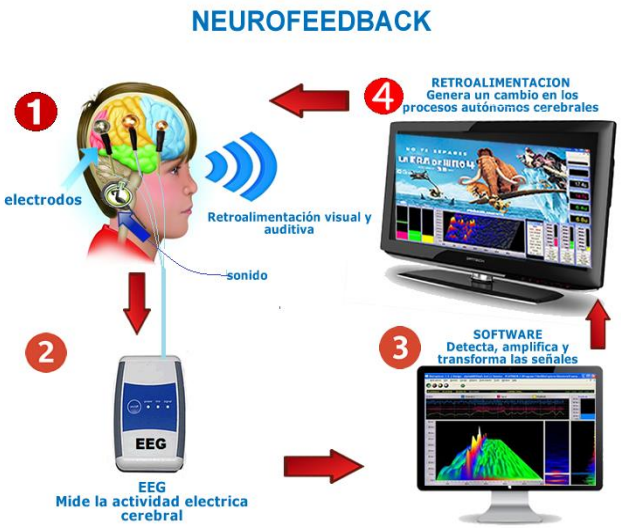


Figura 12. Diagrama de funcionamiento de la técnica Neurofeedback

La importancia de obtener la información cerebral radica en la posterior justificación del cambio logrado, a partir de la información esclarecida por neurofeedback, acerca del funcionamiento de cada una de las ondas cerebrales las cuales permiten el control de cualquier tipo de dispositivo. Este entrenamiento que se realiza sirve para poder programar la interfaz o dispositivo cerebro-computador de una manera más óptima para su funcionamiento específico de esta manera se tendrá el control total del dispositivo o software con las señales emitidas por el EEG.

La actividad electroencefalografía es registrada a través del cuero cabelludo del paciente y posteriormente es digitalizada y transformada en una interfaz gráfica dinámica y amigable como se muestra en la Figura 13.

El paciente deberá interactuar con esta interfaz dependiente de un modelo tecnológico conocido como interfaz cerebro-computador, derivado de su denominación en inglés: Brain Computer Interface (BCI) [21] [22]. Mediante este sistema, una persona recibe información visual y/o auditiva acerca de sus propias frecuencias cerebrales con el propósito de que pueda actuar sobre estas y modificarlas.



Figura 13. Ciclo de retroalimentación mediante neurofeedback [21]

A la programación de las frecuencias que se pretenden manipular (normalizar) y de los estímulos que se proporcionarán al paciente cada vez que lo consiga dentro de un rango temporal, se le denomina protocolo de entrenamiento neurofeedback y suele llevar asociado el nombre de la o las frecuencias que integra. Así, por ejemplo, se habla del protocolo alfa/delta al protocolo que contempla la manipulación de las frecuencias alfa y delta respectivamente.

1.1.6. DISPOSITIVOS CAPTADORES DE ONDAS CEREBRALES

1.1.6.1. NEUROSKY MINDWAVE

Es una diadema que recoge la actividad cerebral y divide las señales según la frecuencia. Esta medida se realiza situando el sensor de contacto en el FP1 y el nodo de referencia con el clic, que se puede observar en la figura, en la oreja. La mayoría de las aplicaciones a realizar con este dispositivo son de uso práctico y no muy complejas, ya que solo tenemos un sensor, por lo tanto, un solo canal a medir. El Mindwave es capaz de medir, principalmente, los estados de relajación y atención. Neurosky, contiene un algoritmo

llamado eSense, que mide los niveles de atención y relajación en una escala de 0 a 100. Todo esto a través de los ritmos cerebrales: alfa, beta, gamma, entre otros.

Este dispositivo se basa en la tecnología de un circuito conocido como thinkgear, el mismo que permite realizar la lectura de un canal de EEG a su vez los filtra y amplifica entregando valores correspondientes a la atención y la relajación, este dispositivo contiene su interfaz propietaria a la cual denominan MINDSET. El dispositivo posee un único canal que mide la actividad electroencelográfica de la frente y un sensor de referencia que tenemos que colocar en el lóbulo de la oreja izquierda (ver Figura 14) [23].



Figura 14. Dispositivo Neurosky MindWave [24]

Además, gracias a un módulo Bluetooth y un microcontrolador se puede establecer la comunicación con MindWave y se puede analizar la secuencia de salida. La secuencia de salida analizada se puede usar para realizar diversas tareas, como controlar la velocidad de un motor, encender leds, y para controlar la posición de un servomotor, etc. Mindwave tiene apps que permiten visualizar la actividad cerebral como es la Mindwave Mobile la misma que a través de la conexión vía bluetooth permite en tiempo real observación el comportamiento neuronal de nuestro cerebro como se muestra en la (Figura 15).

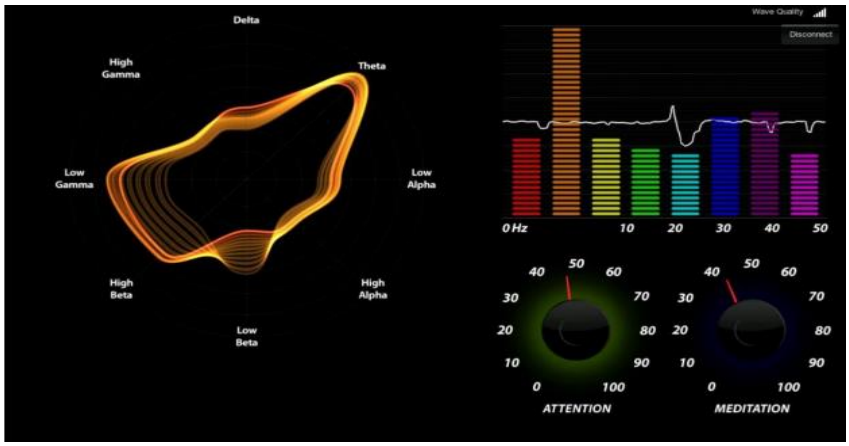


Figura 15. Visualización en tiempo real de Mindwave conectado a Mindwave Mobile

También existe otra como es EEG Sensor Analyzer que da en valores enteros las medidas de las ondas cerebrales en tiempo real conectado también mediante vía bluetooth como se muestra en la Figura 16.

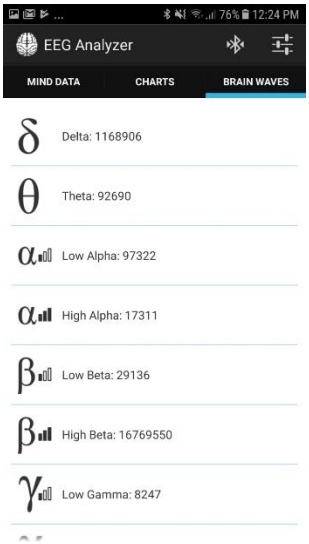


Figura 16. Visualización de ondas cerebrales con EEG Analyzer.

1.1.6.2. MUSE

Es un dispositivo EEG de grado de investigación que detecta de forma pasiva la actividad cerebral y la traduce a los sonidos guía del tiempo para ayudarlo a mantenerse tranquilo y concentrado, es un dispositivo de meditación multisensor que proporciona información en tiempo real sobre la actividad cerebral, la frecuencia cardíaca, la respiración y los movimientos del cuerpo para ayudarlo a desarrollar una práctica de meditación constante. Es un dispositivo de EEG ampliamente utilizado por investigadores de neurociencias de todo el mundo. Utiliza el procesamiento avanzado de señales para interpretar tu actividad mental y guiarte. Cuando tu mente está tranquila y estable, oyes un clima tranquilo. ¿Mente ocupada? A medida que su atención se desplaza, escuchará un clima tormentoso que lo indicará para que vuelva su atención a su respiración. Los 7 sensores cerebrales EEG finamente calibrados de Muse (2 en la frente, 2 detrás de las orejas y 3 sensores de referencia) detectan y miden la actividad de su cerebro como se muestra en la Figura 17 [25].



Figura 17. Muse Brain colocado en un usuario para medir actividad cerebral [25]

Muse 2 ha agregado los sensores de respiración de oximetría PPG y pulso y corazón que se encuentran en la parte delantera, derecha de la frente. Los sensores del cuerpo del giroscopio y del acelerómetro se encuentran detrás de las orejas. Muse no usa estimulación eléctrica: es una herramienta PASIVA que le brinda información precisa y en tiempo real sobre lo que está sucediendo en su cerebro además detecta una variedad de actividades eléctricas cerebrales y las transforma en experiencias fácilmente comprensibles. Muse es un sistema EEG de vanguardia que utiliza algoritmos avanzados de procesamiento de señales para capacitar a meditadores principiantes e intermedios en el control de su enfoque. Muse detecta una variedad de actividades eléctricas cerebrales y las transforma en experiencias fácilmente comprensibles.

1.1.6.3. EMOTIV EPOC

Es un dispositivo no invasivo que realizan un electroencefalograma de alta resolución contiene 14 canales con sus referencias según el sistema internacional 10-20 con más 2 canales , tiene un giroscopio de 2 ejes, Es un dispositivo inalámbrico y tiene un batería con una duración para 12 horas continuas (Ver Figura 18), la comunicación es de tipo USB mediante el cual recibe señales y las envía a su software propietario de detección a través de expresiones de rostro, estados de ánimo o incluso pensamientos cognitivos, esta señales pueden ser procesador por un SDK (Software Development Kit), que permite consumir APIs (Application Programming Interface) para el desarrollo de software que interactúen con otros y está disponible para diferentes lenguajes de programación [26].



Figura 18. Dispositivo Emotiv EEG de la empresa EPOC

En la figura 19 se observa de mejor manera la distribución de los sensores del Emotiv EEG, se encuentran ubicados en zonas claves para poder obtener porcentajes óptimos para la interacción hombre-ordenador. Estos sensores se encuentran ubicados en la corteza frontal por lo que es más factible detectar gestos faciales y ondas neuronales dependiendo el estado de concentración del usuario los sensores utilizados para referencias son el P3 (CMS) y el P4(DLR).

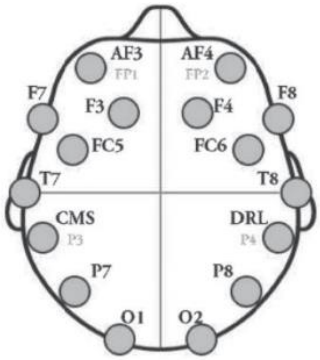


Figura 19. Distribución de sensores en Emotiv EEG para detección de señales

1.1.7. INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR

La interfaz cerebro computador conocida como ICC, es un dispositivo que analiza las neuroseñales de la actividad cerebral y las transforma en acciones [27]. Este tipo de comunicación permite al usuario tener el control de un dispositivo únicamente desde su registro cerebral ver Figura 20. Se puede indicar que de este modo se asemeja a dispositivos que se utilizan con frecuencia como son un mouse, un sistema de huellas dactilares, un teclado, sistema de reconocimiento de comandos de voz, entre otros; esta

tecnología se utiliza con el propósito de facilitar la interacción con el entorno a personas con discapacidad físicas motoras.

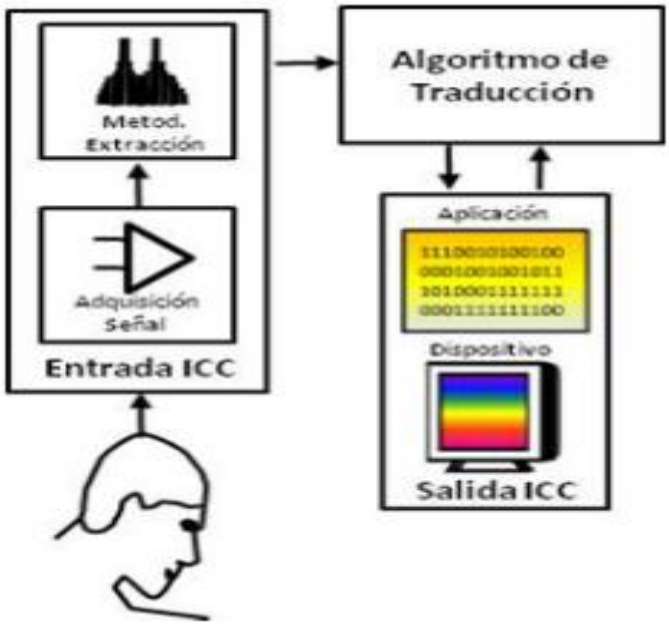


Figura 20. Estructura de un sistema interfaz-computador básico [28]

En un sentido muy general, una ICC tiene una entrada, una(s) salida(s) y un algoritmo de traducción que las vincula. Este algoritmo involucra análisis en el dominio del tiempo, de la frecuencia o de ambos. La entrada es una señal característica o grupo de ellas, que guarda relación con algún fenómeno, proceso o actividad neurofisiológica del individuo junto con la metodología requerida para su extracción. Cada ICC utiliza un algoritmo particular para traducir su entrada en señales de control, este puede incluir ecuaciones lineales o no lineales, redes neuronales artificiales u otros métodos, pudiendo ser adaptativo o no. La salida de una interfaz cerebro-computador puede ser el movimiento de un cursor en una pantalla, la selección de letras o iconos u otro tipo de dispositivos de control. Esta salida provee de retroalimentación que el usuario y la ICC pueden usar tanto para adaptarse como para optimizar la comunicación [27].

La idea principal en cuanto a la ICC, se basa al comportamiento que tengan las señales receptadas por el EEG ya que son un reflejo de la actividad cerebral consciente del usuario las mismas que son utilizadas para la interacción con el computador. Este estudio se efectuó a principios del siglo XX de la mano de Hans Berger cuando se realizan las primeras mediciones de las actividades del cerebro y se empleó la palabra electroencefalograma para designarla a dicho registro [29]. Este tipo de tecnología no

tiene como fin solo lograr la interacción con el ordenador, sino más bien, utilizar al ordenador para interactuar con el mundo y así de este modo mejorar su calidad de vida.

En un sentido muy general, una ICC tiene una entrada, una(s) salida(s) y un algoritmo de traducción que las vincula. Este algoritmo involucra análisis en el dominio del tiempo, de la frecuencia o de ambos. La entrada es una señal característica o grupo de ellas, que guarda relación con algún fenómeno, proceso o actividad neurofisiológica del individuo junto con la metodología requerida para su extracción. Cada ICC utiliza un algoritmo particular para traducir su entrada en señales de control, este puede incluir ecuaciones lineales o no lineales, redes neuronales artificiales u otros métodos, pudiendo ser adaptativo o no. La salida de una interfaz cerebro-computador puede ser el movimiento de un cursor en una pantalla véase (Figura 21), la selección de letras o iconos u otro tipo de dispositivos de control. Esta salida provee de retroalimentación que el usuario y la ICC pueden usar tanto para adaptarse como para optimizar la comunicación [30].



Figura 21. Interfaz cerebro-computadora para personas con discapacidad física.

Existen varios sistemas los cuales permiten mejorar la calidad de vida de las personas y ayudan a tener avances de la tecnología de los cuales se pueden destacar los siguientes:

- **Sistemas Alternativos y Aumentativos de Acceso a la Información s**on ayudas para personas con discapacidad visual y/o auditiva. Entre ellas se pueden destacar: Tecnologías del Habla, Sistemas multimedia interactivos, Comunicaciones avanzadas, Rehabilitación cognitiva.
- **Sistemas de Acceso s**on interfaces adaptativos que permiten a las personas con discapacidad física o sensorial utilizar una computadora como son: Sintetizador

Braille, Teclado de conceptos, Sobreteclados, Ratones, Pizarras electrónicas, Pantallas táctiles, Bastones digitales, entre otros.

- **Sistemas Alternativos y Aumentativos de comunicación, so**n sistemas para personas con discapacidad verbal de comunicación.
- **Comunicación Alternativa:** forma de comunicación distinta del habla empleada por una persona en contextos de comunicación cara a cara.
- **Comunicación Aumentativa:** comunicación de apoyo o ayuda. Se pueden clasificar en: sistemas con ayuda y sistemas sin ayuda
- **Sistemas de Movilidad** son aquellos relacionados a la movilidad personal y las barreras arquitectónicas. Ejemplos son: brazos o soportes articulados, conmutadores adosados a sillas de ruedas, emuladores de ratones, varillas, micro-robots, etc. Dos casos de búsqueda alternativas específicas son: Chip para parapléjicos y el "Phantom" o dedo-robot para ciegos.

1.1.8. ROBÓTICA

La robótica es la ciencia que se encarga del estudio del desarrollo y aplicaciones de robots, utiliza actividades como el estudio, diseño, construcción y operación de aparatos electrónicos, para que aquellas aplicaciones se cumplan debe tener la intervención de otras disciplinas como son: Electricidad, Electrónica, Computación, Neurociencia, Física, Matemática, entre otras, todo depende del enfoque en que se emplee. Además, permite la creación de mecanismos similares al compartimiento de extremidades humanas (ver Figura 22).

Los robots se encuentran clasificados de acuerdo a su aplicación y la estructura, entre ellos se encuentran:

- **Androides**: Actúan como seres humanos, imitando procesos y actúan con inteligencia artificial.
- **Móviles**: Son diseñados con ruedas o patas que hacen posible su movilidad todo depende de la programación.
- **Industriales**: Son mecánicos y electrónicos y están destinados a procesos automatizados como fabricación o manipulación.
- **Médicos prótesis:** Son aquellos que se adaptan al cuerpo humano con sistemas de mando o control para personas con carencia física.

- **Teleoperadores**: se controlan remotamente por un operador humano.
- **Poli-articulados**: Son básicamente sedentarios con diferentes características controlados por diferentes maneras.
- **Híbridos**: Son aquellos que su estructura se basa en la combinación de los mencionados anteriormente.

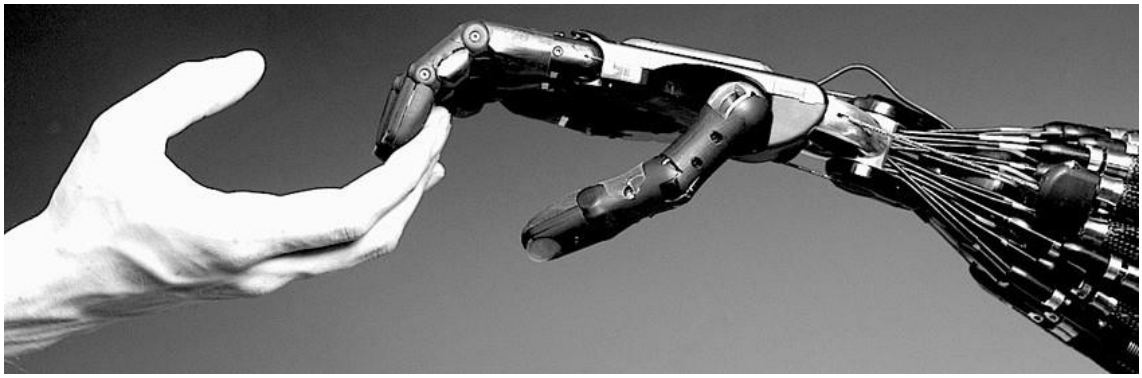


Figura 22. Robótica con inteligencia artificial y sistema de movimientos articulados

En este sentido, la robótica ha cobrado un gran auge en el área de las industrias manufactureras ya que al automatizar la mayoría de los sistemas ha permitido que se beneficie la empresa como también los empleados de la misma, debido a que este permite que exista una reducción laboral, incremento de la utilización de las máquinas, flexibilidad productiva, mejoramiento de la calidad, disminución de pasos en el proceso de producción, mejoramiento de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales, mayor productividad, ahorro de materia prima, energía y flexibilidad total. La informática provee de los programas necesarios para poder lograr la coordinación mecánica que se requieren para que el robot tenga los movimientos adecuados, es decir, que utilicen cierto grado de inteligencia con mayor adaptabilidad y autonomía con capacidades interpretativas y correctivas partiendo de este hecho se han realizado avances tecnológicos en donde la robótica ha llegado a lugares inaccesibles y haciendo que las tareas encomendadas se cumplan con mayor precisión.

Las leyes fundamentales de la robótica son [31]:

- Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son emitidas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda ley.

La robótica, en este contexto, puede jugar un rol crucial debido a que está a su alcance el ofrecer soluciones a aquellos ciudadanos con capacidades o necesidades especiales como, por ejemplo, una persona con necesidades especiales motrices.

Sea el caso de una persona que necesite una silla de ruedas para poderse desplazar en cuanto a la parte médica, determinamos que es totalmente diferente que el paciente pudiese mover la silla mediante comandos o dirigidas por joystick u otro tipo de mecanismo eléctrico debido a que sufre parálisis en sus brazos entonces es allí donde la robótica juega un papel muy importante en la sociedad y en el campo de la medicina creando dispositivos mediante los cuales se pueda ofrecer diseños que mejoren la calidad de vida de las personas generando comandos de movimiento que el paciente desee para su movilidad (ver Figura 23).



Figura 23. Robótica aplicada a personas con discapacidad física

Esta área de la robótica dispuesta a mejorar la calidad de vida de las personas, es un campo de investigación, y ello hace que los avances sean hechos a ritmos más desacelerados que otras líneas de investigación y desarrollo dentro del mismo campo.

1.1.9. PRÓTESIS Y SU RELACIÓN CON LA ROBÓTICA

Las prótesis son aquellos dispositivos y productos de aplicación externa cuyo objetivo es ayudar a personas que tiene carencias físicas o limitaciones funcionales a mejorar y aumentar su calidad de vida de una manera sana, productiva, independiente o digna. Una prótesis es un dispositivo que se usa como reemplazo total o parcial de algún miembro del cuerpo humano sea brazo o pierna depende el caso (ver Figura 24). [32].



Figura 24. Prótesis aplicada a persona con discapacidad en extremidad superior.

En la elección de la prótesis apropiada desempeña un papel fundamental el nivel de amputación dependiendo de los requerimientos de cada paciente, se decide el tipo de dispositivo que mejor se adapte a las características de esta. En la Tabla 2 se describen las diferentes categorías de prótesis de mano que se han desarrollado según el tipo de actuador empleado.

Tabla II.

Tipos de prótesis de mano según el tipo de material utilizado

Mecánica	Las prótesis de mano mecánicas son dispositivos que se usan con la función de cierre o apertura a voluntad, controlados por medio de un arnés que se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y del brazo. Solo pueden ser utilizados para el agarre de objetos relativamente grandes y redondos debido a la poca precisión del mecanismo **[33]**
Eléctrica	Utilizan motores eléctricos en los dispositivos terminales, muñeca y codo, con una batería recargable. Es posible controlarlas de varias formas: servo control, un botón pulsador o un interruptor con arnés. El precio de adquisición es elevado. Existen además otras desventajas inherentes al mantenimiento más complejo, la baja resistencia a medios húmedos y el peso [34]
Neumática	a Accionadas por medio de ácido carbónico comprimido, que proporciona una gran cantidad de energía. Aunque, presenta como inconveniente las complicaciones de sus aparatos y accesorios, y el riesgo en el uso del ácido carbónico. Su desarrollo fue interrumpido debido a las dificultades técnicas presentadas [34]
Híbrida	Combinan la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad. Este concepto es ampliamente utilizado en las prótesis transhumerales (amputación por encima del codo), donde por lo general el codo es accionado por el cuerpo y el dispositivo terminal (gancho o mano) es de accionamiento mioeléctrico [35].

Las prótesis son dispositivos los cuales son creadas con diferentes materiales los cuales permiten que estas tengan una función o múltiples funciones.

La mano del hombre es una herramienta capaz de ejecutar innumerables acciones gracias a sus funciones de presión, pinza y además por el hecho de ser un receptor sensorial por excelencia [36]. Este importante órgano puede perderse por la presencia de alguna enfermedad congénita, tumores malignos, infecciones, accidentes o como consecuencia de heridas que comprometan el miembro [37], y generan la necesidad de amputarlo. Las amputaciones de extremidades superiores, constituyen un grave problema de salud

pública, ya que estas personas evolucionan con diversos grados de discapacidad, habitualmente en un periodo de la vida laboralmente activa [38].

Los servomotores son dispositivos muy utilizados en aplicaciones industriales, como es el caso de la robótica, en la creación de máquinas de control numérico, sistemas para el posicionamiento de radares, movimiento de ejes, control de vehículos autónomos, creación de prótesis robóticos, entre otros véase (Figura 25). Son dispositivos muy comunes para la creación de esquemas de control en los cuales se empleen movimientos que sean controlados de manera automatizada [39].



Figura 25. Servomotor FT5313M Standard-Digitalservo

Los servomotores son dispositivos electromecánicos que consisten en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo confinado dentro de una carcasa de plástico. La característica principal de estos motores es que la gran mayoría no están hechos para dar rotaciones continuas, algunos sí lo hacen, pero se hablarán de ellos más adelante- ya que principalmente son dispositivos de posicionamiento en un intervalo de operación. En esta ocasión se tratará exclusivamente de servomotores para modelismo, excluyendo los servomotores industriales [40]. Contienen una anatomía muy simple con un mecanismo dirigido mediante ángulos los cuales se convierten en rotaciones empleadas en un tiempo programado mediante los microcontroladores para entender de mejor manera la anatomía interna véase la (Figura 26).

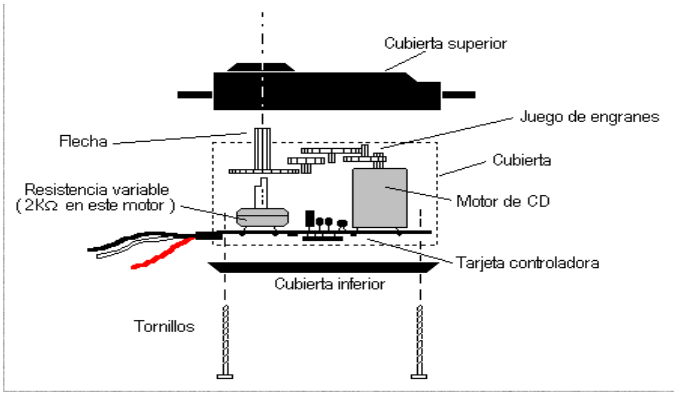


Figura 26. Anatomía interna de un servomotor [40]

Los servomotores funcionan por medio de modulación de ancho de pulso –*pulse-width modulation* (PWM)- Para los servos para modelismo, la frecuencia usada para mandar la secuencia de pulsos al servomotor es de 50 Hz -esto significa que cada ciclo dura 20 ms- Las duraciones de cada pulso se interpretan como comandos de posicionamiento del motor, mientras que los espacios entre cada pulso son despreciados [40]. En la mayoría de los servomotores los anchos de pulso son de 1 ms a 2 ms, que cuando son aplicados al servomotor generan un desplazamiento de -90° a +90° por lo que, de una manera más sencilla, el ángulo de giro está determinado por el ancho de pulso; si el ancho de pulso fuera de 1.5 ms, el motor se posicionará en la parte central del rango a 0° como se muestra en la Figura 27. Por ende, los servomotores se utilizan como salidas digitales en los microcontroladores debido a que son accionados mediante pulsos digitales.

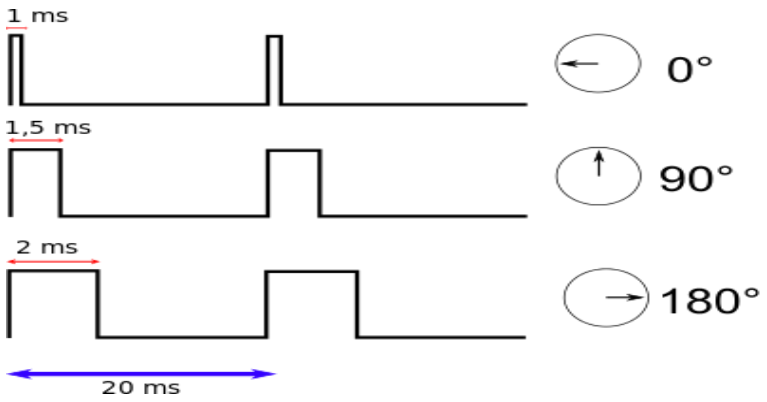


Figura 27. Rotaciones de un servomotor de ángulos basados en el tiempo de traslado [40]

Dado que muchos de los microcontroladores tienen pines asignados para usar la modulación por ancho de pulso PWM y pueden conseguirse fácilmente, son los elementos empleados para el control de las secuencias de pulsos para los servomotores, aunque éstos pueden ser substituidos por un temporizador. En otros casos, pueden emplearse tarjetas controladoras que tengan conexión USB para que por medio de ella el servo pueda ser controlado a través de la computadora empleando mediante código programado movimientos más específicos dando así de esta manera mayor sencillez en el uso de los mismos. Existen múltiples microcontroladores capaces de accionarlos mediante simple líneas de código y la conexión del hardware que se emplea es muy sencilla como se muestra en la Figura 28. Al interconectar dispositivos que permiten el accionamiento de servomotores de una manera sencilla y a su vez poder ser empleados para diferentes investigaciones en los cuales se requieran ya sea movimiento de robots, vehículos, reactores, etc.

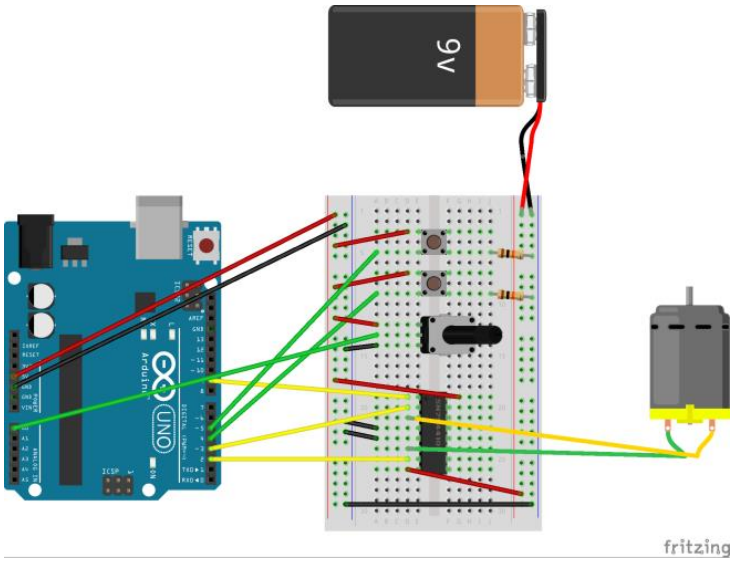


Figura 28. Conexión de un Servomotor a un microcontrolador Arduino. Realizado por el Autor

1.1.10. MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una determinada tarea y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo que él gobierna contiene entradas y salidas analógicas /digitales. Esta última característica es la que le confiere la denominación de "controlador incrustado" como se indica en la Figura 29 [41].

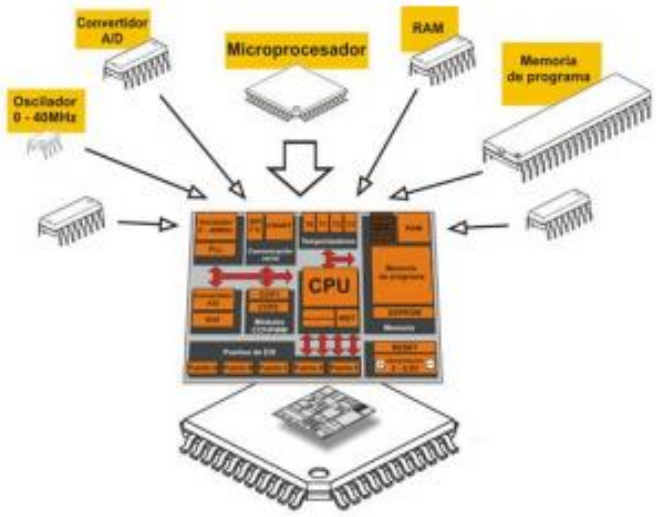


Figura 29. Partes del microcontrolador estándar

En su memoria solo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada / salida soportan el conexionado de sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez programado el microcontrolador ejecuta solamente tareas específicas como se observa en la figura 30. La programación de los microcontroladores se realiza en lo que llaman lenguaje ensamblador, más cercano a la máquina y que es propio del microcontrolador o el fabricante.

Los códigos programados en lenguaje ensamblador optimizan el tamaño de la memoria que ocupan y su ejecución es muy rápida. Los lenguajes de alto nivel más empleados con microcontroladores son el C y el Basic [42].



Figura 30. Representación esquemática de un microcontrolador.

Características AVR vs PIC

- Comprar placas del Arduino con un micro con 128k de flash, 8 de SRAM y 4 de EEPROM, además de varios de periféricos.
- Los AVR son placas con chip FTDI (Future Technology Devices International) para comunicarse con el usb del pc, reguladores de tensión, y documentación completa que hace que sea ideal para empezar.
- En cuanto al AVR, la memoria no está en bancos como en el PIC.
- El stack de AVR no está limitado a 8 palabras como en los pics, si no que esta en la memoria directamente.
- AVR tiene 32 registros de trabajo frente a 1 del PIC.
- AVR tiene muchos vectores de ISR, cada interrupción salta directamente a su vector, mientras que en los PIC hay muchos menos.
- En AVR el compilador optimiza el código bastante bien y es mucho más cómodo programar en C para el AVR que para los PICs.

Los microcontroladores con técnlogía AVR contienen la conexión Usarts(Transmisor-Receptor Asíncrono Universal) pueden trabajar con un puerto serie flexible y contienen las siguientes características:

- Funcionamiento Full Dúplex, permite transmisión y recepción independientes y simultáneas.
- Funcionamiento síncrono y asíncrono.
- Modo maestro o esclavo en caso de funcionamiento síncrono.
- Generador de tasas de transmisión de alta resolución.
- Soporta tramas serie de 5,6,7,8,9 y a 1,2 bits de stop.
- Generador de paridad par o impar y chequeo de paridad del hardware.
- Detección de pérdida de datos.
- Detección de error de entramado.
- Modo de comunicación multiprocesador.
- Doble velocidad en modo de comunicación asíncrona.

Existen numerosos modelos de microcontroladores que contienen diferentes tamaños de memoria y otras características como conexión UART como se muestra en la tabla 3.

Tabla III

Familias más populares de microcontroladores de 8 bits

COMPAÑÍA	DISPOSITIVO	MEMORIA INTERNA	OTRAS CARACTERÍSTICAS
ATMEL CORP	ATtiny11	1-kbyte flash	Timer de 8-bits, comparador analógico, watchdog, oscilador interno, una interrupción externa
HITACHI	H8/3640	8-kbyte ROM 512 byte RAM	Tres times de 8-bits, un timer de 16-bits, un timer PWM de 14-bits, watchdog, dos puertos SCI, ocho ADC's de 8-bits, generador de 32-kHz
MICROCHIP	PIC16CR54C	768-byte ROM 25-byte RAM	12 pines I/O, timer de 8-bits, alta corriente para el manejo directo de LED's, watchdog timer, oscilador RC
MOTOROLA	68HC705KJ1	1240-byte OTP 64-byte RAM	Timer multifunción de 15 etapas, oscilador interno, reset de bajo voltaje, watchdog, interrupción por teclado, puertos I/O de alta corriente

Se detallan las familias más conocidas de microcontroladores de 8 bits con cada modelo, tamaño de memoria entre otras características.

1.1.10.1. ARDUINO

Es una plataforma electrónica de código abierto con software y hardware de fácil uso, estas placas contienen entradas/salidas analógicas y digitales posee una memoria EEPROM que es una memoria no volátil que dispone el microcontrolador de Arduino que nos permite guardar datos. Se pueden realizar distintas acciones enviadas a través de un conjunto de instrucciones al microcontrolador con el software Arduino IDE (ver Figura 31).

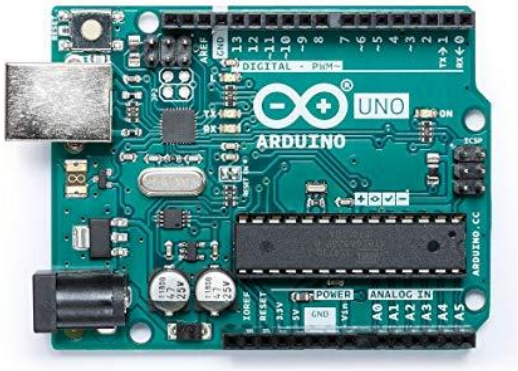


Figura 31. Placa Arduino Uno, Arduino Inc. [43]

Arduino se puede utilizar para crear elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuar tanto con el hardware como con el software. Es utilizado tanto para controlar un elemento, pongamos por ejemplo un motor que nos suba o baje una persiana basada en la luz existente es una habitación, gracias a un sensor de luz conectado al Arduino, o bien para leer la información de una fuente, como puede ser un teclado o una página web, y convertir la información en una acción como puede ser encender una luz y escribir por un display lo tecleado [43].

Microcontrolador: ATmega328

Voltaje Operativo: 5v

Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v

Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)

Pines de Entradas Análogas: 6

EEPROM: 1 KB (ATmega328)

Velocidad del Reloj: 16 MHZ.

1.1.11. BLUETOOTH

Es básicamente un estándar para comunicaciones inalámbricas. Su tecnología elimina la necesidad de utilizar los numerosos e incómodos cables que habitualmente conectamos a nuestros PCs, teléfonos celulares, laptops y a todo tipo de equipos de mano. Un pequeño microchip Bluetooth, que incorpora un radio transmisor, es introducido en los dispositivos digitales, entonces, la tecnología Bluetooth se encarga de realizar todas las conexiones de forma inmediata, sin utilizar ni un solo centímetro de cable como se muestra en la Figura 32 se interpreta cómo pueden interconectarse todo tipo de dispositivos inalámbricos, ya sea en el hogar o en la oficina, utilizando una conexión de corto alcance [44].



Figura 32. Dispositivos conectados mediante comunicación bluetooth

Las conexiones son instantáneas y se mantienen incluso cuando los dispositivos no están dentro de su radio de acción. Esta es quizás, una de las características más relevantes que tiene bluetooth. Además, habrá otros módulos de software, que constituirán la pila de protocolos, y garantizarán la interoperabilidad entre aplicaciones alojadas en diferentes dispositivos Bluetooth.

1.2. ANTECEDENTES

El desarrollo de software o hardware controlados mediante el uso de ondas cerebrales es un tema de carácter curioso e interesante puesto que el poder captar las neuroseñales emitidas por el cerebro de hecho es logro bastante importante, es por ello, que los ingenieros a razón de potenciar el uso de esta tecnología han creado sistemas en los cuales se emplee el cerebro como herramienta principal como es el caso en donde se desarrolló una interfaz cerebro-computador la cual realiza reconocimientos faciales y pensamientos cognitivos utilizando el dispositivo Emotiv EEG como captador de señales electroencefalográficas y C# como lenguaje de programación, estos gestos y pensamientos son traducidos en movimientos de control los cuales se ejecutaran mediante un robot Lego Mindstorms con el fin de verificar el correcto funcionamiento del dispositivo Emotiv para tener el control sobre dispositivos [45].

De la misma manera en otra investigación se expuso al cerebro al contacto de factores físicos y determinaron que las ondas Beta y Alfa están relacionadas de manera directa con el estado de alerta del individuo, este estudio se realizó con la intención de evaluar el comportamiento cerebral al estar influenciado por la temperatura y humedad mientras se realiza una determinada tarea. Para ello se realizan un conjunto de pruebas de laboratorio en diferentes ambientes térmico de 18 ºC - 40% RH (en frío) y 35 ºC - 80% RH (caliente), se verificó que las ondas Alfa aumentan la concentración en el ambiente térmico caliente, mientras las ondas Beta su actividad es mayor en ambientes frío [46] . Al tener el conocimiento de las ondas cerebrales que emite el cerebro desarrollaron software que son capaces mediante las neuroseñales tener el control de un computador como es el caso en donde se diseñó e implementó un prototipo interfaz cerebro-computador modular controlador por actividad cerebral con la funcionalidad de manipular un mando a distancia. Este sistema se basó en analizar los espectros que emite la actividad cerebral al momento de realizar tareas sencillas.

Para la realización de módulos se utilizó los controles de ActiveX en donde cada control de ActiveX realiza una tarea de procesamiento y al momento de combinarlas permite establecer el modelo ICC. Para clasificar los patrones en cuanto a la tarea realizada fue necesario utilizar redes neuronales de tipo perceptrón multicapa. Este sistema permite operar dispositivos de uso diario como son los electrodomésticos mediante la actividad

cerebral [28] en la misma línea de investigación se desarrolló un dispositivo comercial de bajo costo para capturar neuroseñales, con el fin de registrar expresiones de un usuario de material multimedia. Todas las personas adoptan diversos tipos de expresiones al ver televisión, películas, comerciales u otros textos. Ejemplos de estas expresiones son: apretar los dientes en escenas de suspenso; mover la cabeza hacia atrás cuando se da la sensación de arrojar un objeto hacia fuera de la pantalla en películas 3D; desviar la mirada en las escenas de terror; sonreír en comerciales emotivos; dar carcajadas en escenas de humor, e incluso quedarse dormido por el desinterés. La idea general de este sistema es capturar todas estas expresiones en conjunto, con señales motivas tales como el nivel de atención, frustración y meditación, para que los expertos en creación del material multimedia puedan realizar un análisis y mejorar sus productos [47].

El desarrollo de sistemas que emulen o simulen alguna parte del cuerpo han sido un punto clave de investigación debido a que a más de crear dispositivos que beneficien a la sociedad se crean sistemas los cuales utilizan Inteligencia Artificial y hacen que cada vez se potencie más el uso de tecnologías capaces de realizar acciones de manera autónoma es por ello que en una investigación se elaboró una prótesis de mano de manera virtual simulada utilizando una interfaz basada en una interfaz cerebro computador (ICC), con lo cual se plantea un nuevo paradigma para manipular una prótesis de mano para poder manipular la prótesis se utiliza información de la señales encefalográficas (EEG) adquiridas por el dispositivo EMOTIV, el cual cuenta con 14 electrodos que se distribuyen el cráneo del usuario, luego se produce una fase de entrenamiento para así poder implementar ordenes sencillas al software de esta manera se muestra el funcionamiento de la mano virtual mediante las señales emitidas por el cerebro para realizar movimiento de agarre, cilíndricos, esféricos y tipo pinza [48], de esta manera también sin necesidad de emplear las neuroseñales para el control de prototipos los ingenieros desarrollan prototipos capaces de ser controlados de manera electromecánica como es el caso en donde se realizó el diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres, el prototipo de mano es una mano de tres dedos artificiales que presenta 6 motores DC incrustados en su estructura manteniendo de esta forma una dimensión comparable con la mano humana. La mano tiene 6 grados de libertad, los dedos pueden realizar movimientos de flexo-extensión y además el dedo pulgar puede realizar movimientos de prono-supinación. La mano está equipada de sensores de fuerza y de posición [49].

1.3. BASES LEGALES

1.3.1. PLAN DESARROLLO NACIONAL

En este contexto, se aprobó el documento "Política de Ciencia, Tecnología e Innovación "2017– 2021, en el que se sostiene:

- "La infraestructura productiva, la tecnología y el conocimiento son elementos fundamentales para fortalecer los circuitos comerciales solidarios".
- "El uso de tecnologías aplicadas al incremento de la productividad sea social o ambiental".
- "Que la ciencia y la tecnología y el conocimiento derivado y aplicado en innovación, deben impulsar sus metas y objetivos propuestos… e iniciar el camino de una transformación con equidad basada en el impulso tecnológico".

1.3.2. FINES DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR- SECRETARÍA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR ECUADOR 2018

Art. 8.- Serán Fines de la Educación Superior.

e) Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional.

Art. 137.- Entrega de información a la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. - Las instituciones del Sistema de Educación Superior obligatoriamente suministraran a la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación la información que le sea solicitada.

1.3.3. CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN

Art. 276.- de la Constitución prevé que el régimen de desarrollo tendrá por objetivos, entre otros, mejorar la calidad y esperanza de vida, y aumentar las capacidades y potencialidades de la población.

Art. 387 de la Constitución prevé que será responsabilidad del Estado facilitar e impulsar la incorporación a la sociedad del conocimiento para alcanzar los objetivos del régimen

de desarrollo; promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica.

Art. 388 de la Constitución prevé que el Estado destinará los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la formación científica.

Art. 25 de la Constitución establece que las personas tienen derecho a gozar de los beneficios y aplicaciones del progreso científico y de los saberes ancestrales.

Art. 350 de la Constitución de la República manifiesta: "El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo".

CAPITULO II

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. TIPO DE ESTUDIO

La metodología que se implementó en la construcción del prototipo robótico manipulado mediante neuroseñales, consiste en una metodología exploratoria con un enfoque bibliográfico debido a que se analizaran datos de estudios anteriores y se utilizará la información más relevante acerca de las ondas cerebrales y su uso para ejecutar comandos mediante la adquisición de las mismas a través de un microcontrolador interconectado con el dispositivo, además se realizaron pruebas que fueron comprobadas a través de fichas de observación para determinar el funcionamiento y la factibilidad de la prótesis robótica, para cumplir este propósito se llevaron a cabo 4 etapas:

En primer lugar, se encuentra la etapa de análisis, donde utilizando conocimientos teóricos sobre la actividad cerebral se realizó el análisis de ondas cerebrales captadas por diferentes dispositivos. En este esquema se definió aspectos en cuanto a la captación de ondas y otras características relevantes para la investigación y de esta manera se eligió el dispositivo más conveniente para la investigación.

En la segunda etapa se encuentra la etapa de diseño, donde mediante las características del dipositivo seleccionado se realizó un esquema de relación entre movimiento y transmisión de pulsos, además se realizó un diagrama de la estructura del sistema con las conexiones necesarias y un plano con las dimensiones del brazo robótico, consistió en el armado de la estructura, montaje de piezas, fijación de sistemas de generación y transmisión de movimiento y pruebas básicas de funcionamiento basados en motores actuados por el microcontrolador.

La tercera etapa consistió en la estimación de los valores emitidos por el dispositivo, su tratamiento y uso con los comandos definidos para la movilidad de la prótesis robótico y mediante la simulación se determinaron posibles fallas en el diseño, limitaciones, precisión y capacidad real del movimiento.

En la última etapa se realiza la automatización del sistema; al programar los comandos necesarios para que el brazo robótico tenga la capacidad de tomar ciertas decisiones de funcionamiento. Esto luego de una interacción con el medio en el que esté ubicado, la

cual se realiza a través de los comandos directos enviados de forma remota en este caso ondas cerebrales. Estas decisiones deben considerar la capacidad del sistema y así no pretender que éste realice movimientos que se encuentran fuera de su alcance o que sobrepasen sus limitaciones.

2.2. DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

Para determinar el funcionamiento de las ondas cerebrales se realizó una prótesis robótica de una extremidad superior derecha impresa en modelo 3d que consta de una mano con 5 servos que permitieron realizar movimientos básicos como es abrir y cerrar la mano para que sea más realista al momento de ser usada, la misma que fue controlada mediante el dispositivo de adquisición de señales cerebrales MindWave que es un dispositivo que permite la captación de las ondas cerebrales las amplificas y entrega valores para que puedan ser utilizados para luego ejecutar comandos directos al microcontrolador siendo este capaz de interpretar y convertir señales en funciones permitiendo la movilidad de la prótesis robótica, es decir, nos permitió la comunicación del cerebro con la prótesis determinando así la factibilidad de la investigación la misma que se convertirá en pionera para futuras investigaciones en donde se empleen conocimientos sobre las neuronales emitidas por el cerebro y desarrollar tecnología que beneficien a la sociedad y contribuir en la mejora de calidad de vida de las personas.

2.3. MÉTODOS

Se utilizó una metodología exploratoria con un enfoque bibliográfico debido a que se analizaron datos de estudios anteriores en donde se utilizó las ondas cerebrales para investigación las mismas que permitieron tener más características que permitieron definir con mejor conocimiento el dispositivo que se adapte a las necesidades de la investigación. Adicionalmente se utilizó la metodología exploratoria para determinar el funcionamiento de la prótesis realizando pruebas con una persona la cual carezca de la extremidad superior derecha.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

En esta investigación se utilizaron fichas de observación para determinar mediante métricas el funcionamiento del prototipo. Estas métricas fueron analizadas y escogidas de investigaciones anteriores en las cuales evaluaban aspectos claves que determinan el

correcto funcionamiento de un prototipo la ficha con la que se realizaron las pruebas se pueden observar en el aparto de Anexos C.

Las métricas utilizadas para evaluar el comportamiento del prototipo en condiciones físicas reales fueron las siguientes:

Adaptabilidad: si el dispositivo se adapta a las condiciones reales de un brazo.

Usabilidad: Beneficio al usar el prototipo.

Diseño de la prótesis: Para determinar si el diseño cumple con los requisitos del usuario.

Flexibilidad: Que tan ergonómico es el prototipo para el usuario.

Funcionamiento del dispositivo: Si la prótesis cumple con el objetivo.

Tiempo de respuesta: El tiempo que se demora en ejecutar las acciones.

Portabilidad: Que tan manipulable es el dispositivo y si se puede llevar de un lado a otro.

Eficiencia: La cantidad de recursos utilizados.

Coordinación motriz: Se adapta a los movimientos de un brazo real.

Tiempo de conexión: Tiempo de conexión entre bluetooth maestro y esclavo.

Estabilidad de conexión: Si la conectividad se mantiene de manera continuo.

Confort: Si el usuario se siente a gusto.

Acoplamiento: si las medidas son parecidas a un brazo real.

2.5. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO

Se utilizaron fichas evaluativas como se muestra en el ANEXO C con métricas de observación con las cuales se determinó el nivel de factibilidad y el funcionamiento del hardware y software resaltando puntos clave de mejoras en cada prueba realizada al evaluar el comportamiento de la prótesis robótica. Para la evaluación de la prótesis fue sometido a pruebas un individuo el cual tenía discapacidad de una extremidad superior el mismo por el que se determinó el comportamiento, verificando errores y fallos del dispositivo hasta que cumpla con las características y movimientos previamente establecidos y así se obtuvieron resultados con criterio y veracidad.

CAPITULO III

3. RESULTADOS

El diseño y elaboración del prototipo controlado mediante ondas cerebrales involucró una serie de ciencias las cuales tuvieron intervención para poder llevarla a cabo. Este capítulo tiene como objetivo dar a conocer la forma detallada de los resultados que se obtuvieron en la investigación los cuales permitieron de manera satisfactoria cumplir con los objetivos planteados.

3.1. COMPRACIÓN DE DISPOSTIVOS CAPTADORES DE ONDAS CERBRALES

Para determinar el mejor dispositivo se tomaron en cuenta varias características las cuales permitieron escoger el dispositivo que se adaptara a la investigación para así poder cumplir con los fines como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV.

Tabla comparativa de los diferentes dispositivos electroencefalográficos.

DISPOSITIVOS CAPTADORES DE NEUROSEÑALES			
CARÁCTERISTICAS	**MUSE 2**	**EMOTIV EPOC**	**NEUROSKY MINDWAVE**
			
PORTABILIDAD	Si	No	Si
CONEXIÓN	Bluetooth 5Ghz	Bluetooth 2.4 Ghz	Bluetooth 2.4 GHz
CANALES	1	14	1
USO DE BATERÍA	5h	12 h	8 h
PLATAFORMAS SOPORTADAS	Compatibilidad de aplicaciones Muse (iOS, Android)	Windows: 7,8,10; 8GB RAM; 500MB available disk space MAC: OS X; 8GB RAM; 500MB available disk space iOS: 9 or above; iPhone 5+, iPod Touch 6, iPad 3+, iPad mini Android: 4.43+ (excluding 5.0); device with Bluetooth Low Energy	Windows (XP/7/8/10), Mac (OSX 10.8 or later), iOS (iOS 8 or later) and Android (Android 2.3 or later)
PESO	80 g	120 g	90g
REGIÓN ELÉCTRICA	50 hz	50-60hz	60 hz
IMPORTACIÑON ACCESIBLE	Si	No	Si
ADAPATABLE PARA MICROCONTROLADORES	No	Si	Si
OPEN SOURCE	No	Si	Si
METRICAS DE RENDIMIENTO	Actividad mental, ritmo cardíaco, respiración y movimientos corporales	Emoción, compromiso, relajación, interés, estrés, enfoque Expresiones faciales: parpadeo, guiño L / R, sorpresa, fruncir el ceño, sonreír, apretar, reír, sonreír	Actvidad mental ondas alfa, beta, delta, gamma, theta. Además de valores de 0 a 100 en meditación y reljación
PROGRAMACIÓN ACCESIBLE	No	Si	Si
COSTO	250	$799.00	$200

Los dispositivos electroencefalográficos contienen características que permiten su uso dependiendo el tipo de investigación, para analizar el mejor dispositivo se evaluaron características como: La región eléctrica, peso, open source, costo, canales, conexión, entre otras.

En esta investigación se utilizó el dispositivo Neurosky Mindwave por las siguientes razones:

Costo más accesible: debido a la naturaleza de la investigación, puesto que, está orientada a la parte social y en este caso se debe realizar prototipos e investigación que ayuden a la inclusión con equipos que su costo sea más bajo, pero que cumplió con los requisitos para realizar la investigación.

Importación: El dispositivo Neurosky MindWave es uno de los dispositivos más comerciales y con mayor salida internacional del mercado, es decir, de fácil compra para ello se convierte en un dispositivo más accesible para investigaciones

Conectividad: La conectiva frente a sus competidores lo hace ser más programable y destinado a realizar investigaciones que aporte de manera más rápida, ya que contiene conexión vía bluetooth, de esta manera logra mantener comunicación con los microcontroladores de una manera más efectiva

Open Source: Es un dispositivo que contiene una comunidad la cual está en proceso de crecimiento con múltiples aportes se ha posesionado como un dispositivo más investigado en el ámbito neural, permitiendo a diversos programadores reutilizar y crear código a partir de las ondas que emite.

3.2. DISEÑO DE BRAZO ROBÓTICO CON SOFTWARE SOLID WORKS

Para realizar el diseño del brazo robótico se utilizó el sistema CAD SolidWorks para trabajos de impresión en 3D con material FDM para que tenga un aspecto más robusto.

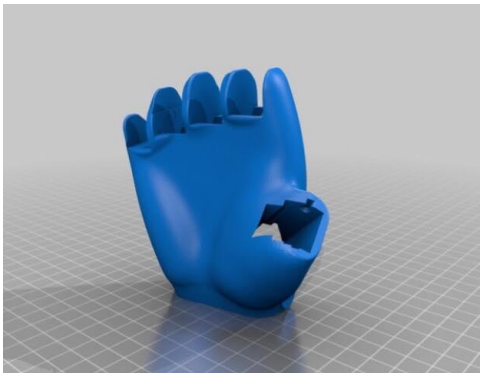


Figura 33. Diseño de la palma de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works

Esta imagen es la capa de la mano sin dedos ni nudillos, es decir el dorso y la muñeca para luego ser impresa.

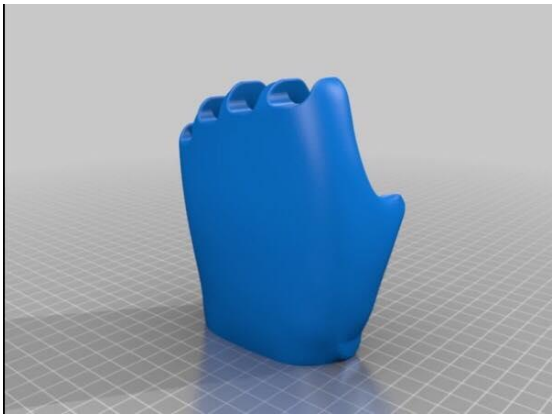


Figura 34. Diseño de la palma de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works

En esta imagen se observa la capa de impresión para los nudillos de la mano del prototipo.

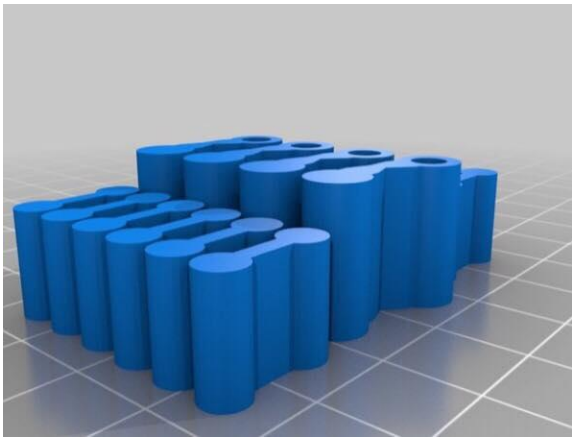


Figura 35. Diseño de los nudillos de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works

En la siguiente imagen se observa la capa la cual contiene los dedos y las yemas.

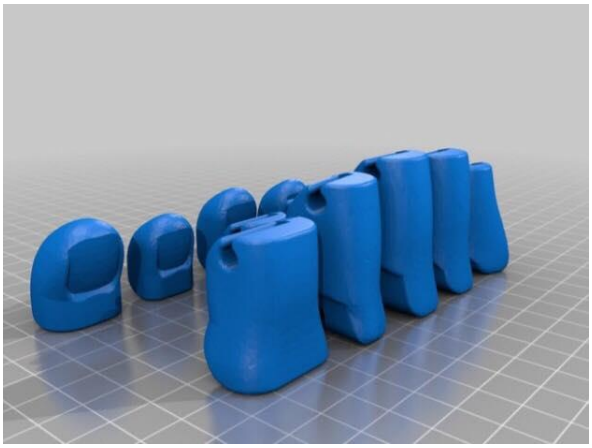


Figura 36. Diseño de los dedos de la mano para la prótesis robótica realizada en Solid Works

Este procedimiento se llevó a cabo con medidas de una mano humana real de una persona adulta en la cual se realizaron las pruebas, además el material y la tecnología que se empleó para la elaboración de la mano robótica fue FDM dando, así como resultado un prototipo más resistente y con mayor percepción de realidad.

3.3. CONSTRUCCIÓN DE LA PRÓTESIS BRAZO ROBÓTICO

En la siguiente imagen se observa el armado del antebrazo del brazo robótico con servomotores MGR995 los cuales poseen un torque de 2.5kg, es decir 5 libras, así mismo el antebrazo esa elaborado de playwood y ayudó en la conexión de los servomotores con los dedos impresos en 3D mediante nylon para mayor flexibilidad.



Figura 37. Montaje de servomotores MG 996R para el control de los dedos de la mano

En esta imagen se observa como quedaron las piezas impresas en 3D, como el modelado realizado en SolidWorks.

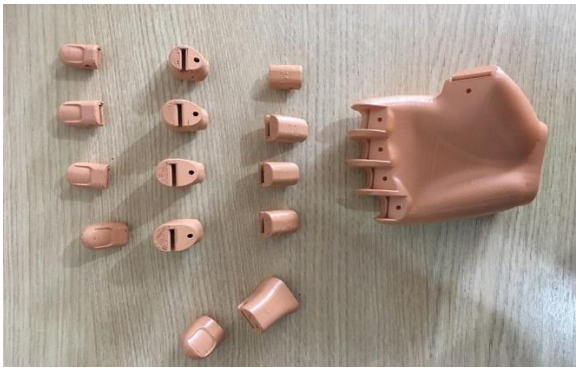


Figura 38. Moldes impresos con 3D para armazón de la mano para la prótesis robótica

Luego se realizó el amarre respectivo interno con el nylon desde la yema de los dedos hasta la muñeca para que luego se puedan conectar a los servomotores.



Figura 39. Mano armada en su totalidad con 5 servomotores MG-995

Finalmente, este es el resultado de la prótesis con la mano realizada en impresión 3D con 5 servomotores que funcionan de manera independiente para cada dedo.



Figura 40. Brazo robótico conectado con servomotores

3.4. CONEXIÓN DE ARDUINO CON SERVOMOTORES Y MÓDULO BLUETOOTH

Para la elaboración del esquema se utilizó Fritzing, que es un software libre para elaboración de esquemas de proyectos electrónicos, este a su vez permite apreciar de mejor manera los componentes electrónicos para personas con poco conocimiento de electrónica, a su vez, permite visualizar un diagrama esquemático de conexión. Fritzing es una herramienta muy poderosa y utilizada por una comunidad muy grande de creadores de proyectos electrónicos. Así mismo para la conexión se utilizó Arduino como microcontrolador debido a las ventajas que posee al ser de tecnología AVR con memoria EEPROM y por el tipo de conectividad UART que permite recepción y transmisión de datos en tiempo real permitiendo que la prótesis robótica interactúe con el Neurosky MindWave mediante bluetooth serial.

En la figura 41 se visualiza la conexión de los componentes necesarios para esta investigación, para que el código empleado funcione correctamente, el diagrama fue realizado con Fritzing y muestra la conexión a los pines necesarios en el microcontrolador Arduino.

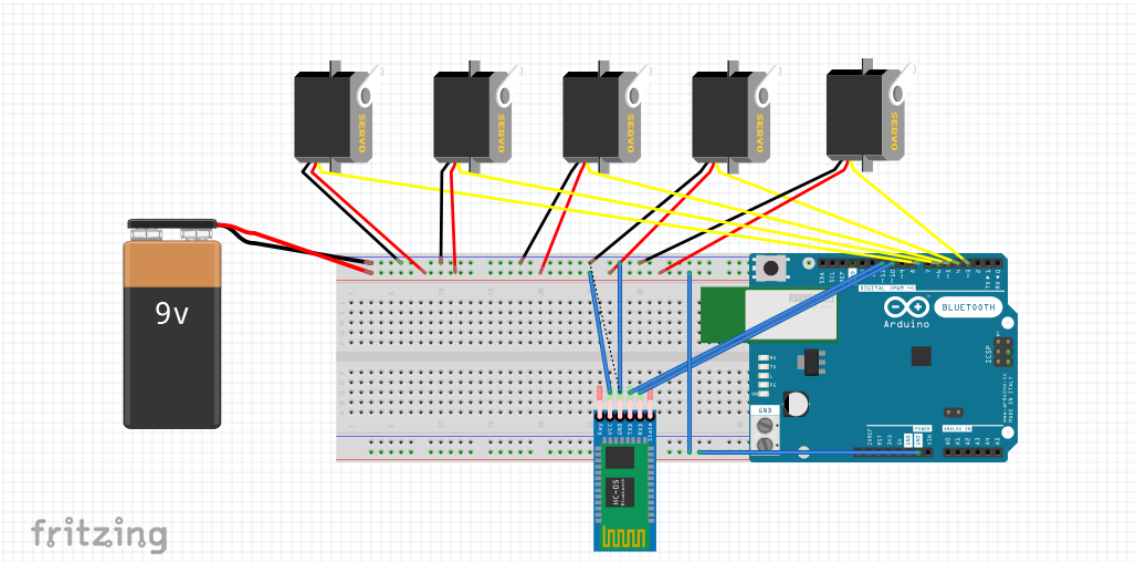


Figura 41. Diagrama de conexión de arduino con 5 servomotres, batería recargable y modulo bluetooth.

En la siguiente figura 42 se encuentra el diagrama de conexión de el modulo bluetooth HC-05 con 5 servotores MG995 de 4.0 kg de torque además de una alimentación externa para el uso de los servomotores.

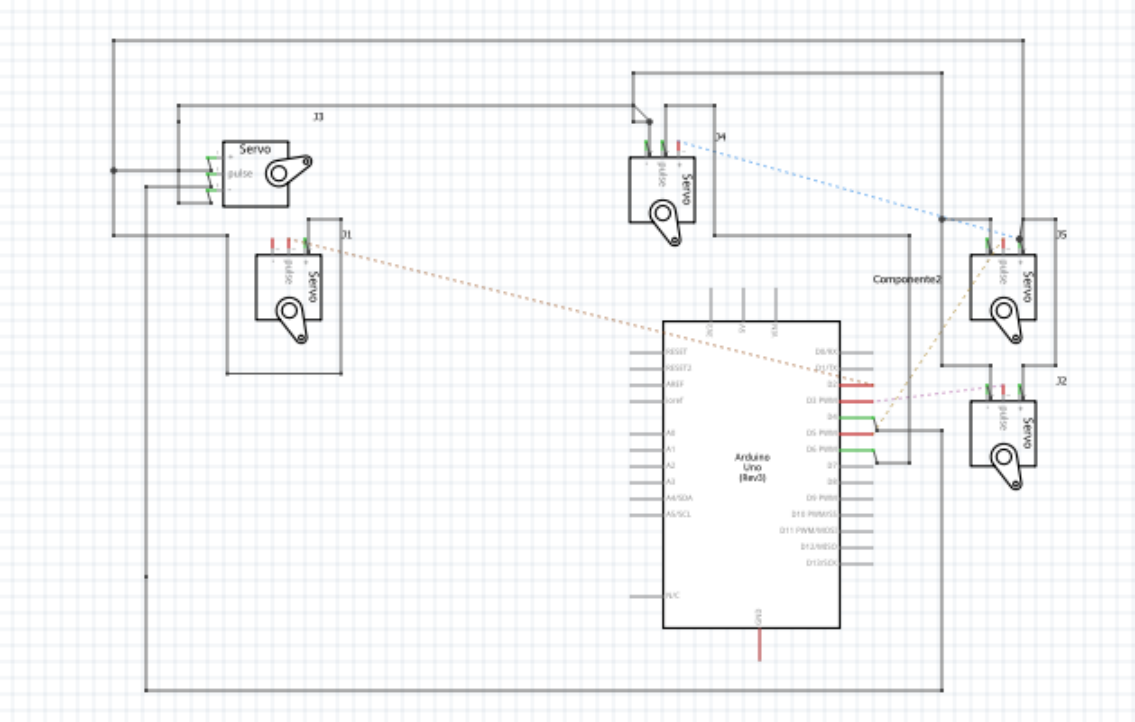


Figura 42. Diagrama esquemática de conexión

Este diagrama es el esquemático que muestra de manera interna la conexión antes realizada

Los materiales que se utilizaron para la creación de la prótesis robótica fueron:

- Arduino UNO
- Servomotres mg995 torque 4.0 kg
- Modulo bluetooth HC-05
- Cables de 1 pin
- Alimentador de pilas externas

3.5. CONEXIÓN MAESTRO/ ESCLAVO BLUETOOTH PARA COMUNICACIÓN ENTRE MINDWAVE Y ARDUINO

Existen varios modelos y versiones para el módulo HC-05, el que usaremos es el que se muestra en las siguientes imágenes, que como vemos tiene un pulsador, el que nos servirá para entrar en Modo AT y configurarlo.

El modulo Bluetooth HC-05 viene configurado de fábrica como Esclavo, pero se puede cambiar para que trabaje como maestro, además al igual que el hc-06, se puede cambiar el nombre, código de vinculación velocidad y otros parámetros más.

Modulo bluetooth hc-05 como Maestro:

En este modo, EL HC-05 es el que inicia la conexión. Un dispositivo maestro solo se puede conectarse con un dispositivo esclavo. Generalmente se utiliza este modo para comunicarse entre módulos bluetooth. Pero es necesario antes especificar con que dispositivo se tiene que comunicar, esto se explicará más adelante.

El módulo HC-05 viene por defecto configurado de la siguiente forma:

- Modo o role: Esclavo

- Nombre por defeco: HC-05

- Código de emparejamiento por defecto: 1234

- La velocidad por defecto (baud rate): 9600

Modo AT 1

Para entrar a este estado después de conectar y alimentar el modulo es necesario presionar el botón del HC-05. En este estado, podemos enviar comandos AT, pero a la misma velocidad con el que está configurado. EL LED del módulo en este estado parpadea rápidamente igual que en el estado desconectado.

Modo AT 2

Para entrar a este estado es necesario tener presionado el botón al momento de alimentar el modulo, es decir el modulo debe encender con el botón presionado, después de haber encendido se puede soltar y permanecerá en este estado. En este estado, para enviar comandos AT es necesario hacerlo a la velocidad de 38400 baudios, esto es muy útil cuando nos olvidamos la velocidad con la que hemos dejado configurado nuestro modulo. EL LED del módulo en este estado parpadea lentamente.

La conexión del módulo bluetooth se puede evidenciar en la Figura 41.

El siguiente código se cargó al arduino para poder ejecutar los comandos AT en el bluetooth:

```
#include <SoftwareSerial.h>   // Incluimos la librería  SoftwareSerial
SoftwareSerial BT(10,11);    // Definimos los pines RX y TX del Arduino conectados
al Bluetooth

void setup()
{
  BT.begin(9600);       // Inicializamos el puerto serie BT (Para Modo AT 2)
```

```
  Serial.begin(9600);   // Inicializamos  el puerto serie
}

void loop()
{
  if(BT.available())     // Si llega un dato por el puerto BT se envía al monitor
serial
  {
    Serial.write(BT.read());
  }

  if(Serial.available())  // Si llega un dato por el monitor serial se envía al puerto
BT
  {
     BT.write(Serial.read());
  }
}
```

Cambiar nombre a módulo HC-05

Por defecto nuestro bluetooth se llama "HC-05" esto se puede cambiar con el siguiente comando AT

Enviar**:** AT+NAME=<Nombre> Ejm: AT+NAME=Neurosky

Respuesta**:** OK

Cambiar Código de Vinculación

Por defecto viene con el código de vinculación (Pin) "1234", para cambiarlo debido a que Mindwave utiliza como clave "0000" con el siguiente comando AT

Enviar: AT+PSWD=<Pin> Ejm: AT+PSWD=0000

Respuesta: OK

Se puede saber cuál es el pin actual de nuestro modulo, para eso hay que enviar el siguiente comando: AT+ PSWD?

Configurar la velocidad de comunicación:

La velocidad por defecto es de 9600 baudios, con Stop bit =0 (1 bit de parada), y sin Paridad, para cambiar estos parámetros, se hace uso del siguiente comando AT:

Enviar: AT+UART=<Baud> ,< StopBit>,< Parity>

Respuesta: OK

< Baud > equivale a una velocidad, los valores pueden ser: 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 23400, 460800, 921600 o 1382400.

< StopBit> es el Bit de parada, puede ser 0 o 1, para 1 bit o 2 bits de parada respectivamente, Para aplicaciones comunes se trabaja con 1 bit por lo que este parámetro normalmente se lo deja en 0.

< Parity> Es la paridad, puede ser 0 (Sin Paridad), 1 (Paridad impar) o 2 (Paridad par). Para aplicaciones comunes no se usa paridad, por lo que se recomienda dejar este parámetro en 0.

Para ello Neurosky funciona en un valor de baudios, parada y paridad de 57600,0,0 Ejemplo:

Enviar: AT+UART=57600,0,0
Respuesta: OK
Se puede saber cuál es la configuración actual, para eso hay que enviar el siguiente comando: AT+UART?

Configurar el Role: para que trabaje como Maestro o Esclavo

Por defecto nuestro HC-05 viene como esclavo, el Siguiente comando nos permite cambiar esto:

Enviar: AT+ROLE=<Role> Ejm: AT+ROLE=1
Respuesta: OK
Donde:<Role>

0 -> Esclavo

1 -> Maestro

Para saber cuál es la configuración actual, enviar el siguiente comando: AT+ ROLE?

Configurar el modo de conexión (cuando se trabaja como maestro)

Esta configuración aplica para cuando el modulo está trabajando como maestro, el modulo necesita saber si se va a conectar con un dispositivo en particular o con cualquiera que esté disponible.

Enviar: AT+CMODE=<Mode> Ejm: AT+CMODE=1
Respuesta: OK
Donde:

0 Conectarse a un dispositivo con la dirección especificada.

1 conectar el módulo a cualquier dirección disponible(aleatorio).

Enviar el siguiente comando para averiguar el modo actual de conexión: AT+ CMODE?

Especificar la dirección del dispositivo al cual nos vamos a conectar

Esta configuración aplica cunado nuestro modulo está configurado como maestro, y a la vez el modo de conexión está en 0 (CMODE=0) el cual indica que nos vamos a conectar al dispositivo esclavo en particular. Para especificar la dirección al cual nos vamos a conectar se usa el siguiente comando AT:

Enviar:AT+BIND=<Address>
Respuesta**:** OK

Donde: < Address > Es la dirección del dispositivo la cual se utilizó para conectar, la dirección se envía de la siguiente forma: **1234,56,ABCDEF** la cual equivale a la dirección 12:34:56:AB:CD:EF que es la dirección MAC del Neurosky Mindwave que pues bien lo puedes encontrar al vincularlo con el celular o la pc allí en las propiedades o en la caja del dispositivo en este caso la MAC utilizada fue:

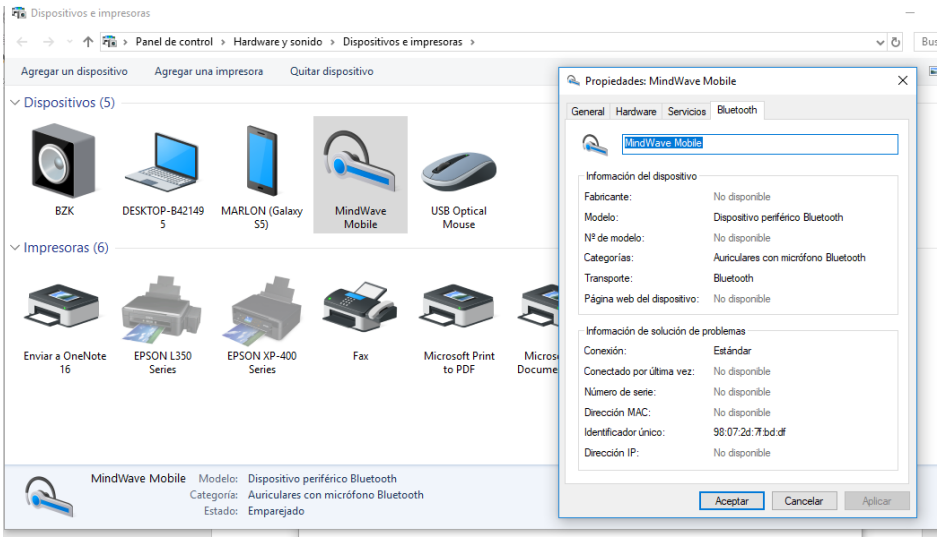


Figura 43. Vista demostrativa para identificar la MAC del dispositivo Neurosky Mindwave

MAC o Identificador único: 98:07:2D:7F:BD:DF (ojo las letras deben estar en mayúscula), para ello, se ejecutó el comando AT:

Enviar: AT+BIND=9807,2D,7FBDDF
Respuesta: OK
Para ver la dirección actual en este parámetro hay que enviar el siguiente comando: AT+ BIND?

Otros comandos AT de utilidad:
Obtener la versión del firmware:

Enviar: AT+VERSION?
Respuesta: +VERSION<Versión> Resp Ej: +VERSION:2.0-20100601

Obtener la dirección de nuestro modulo bluetooth

Enviar: AT+ADDR?

Respuesta: +ADDR:<dirección> Resp Ej: +ADDR: 98d3:31:2052e6

Resetear nuestro Modulo, después de hacer esto salimos del MODO AT

Enviar: AT+RESET
Respuesta: OK

Restablecer valores por defecto.

Enviar: AT+ORGL
Respuesta: OK
Y así se tiene configurado el bluetooth como maestro para que al momento de encenderse el Arduino el módulo HC-05 busque al Neurosky y se vincule directamente.

3.6. PROGRAMACIÓN DE MICROCONTRALDOR PARA LA LECTURA DE ONDAS CEREBRALES

MindWave es un dispositivo que emite las ondas cerebrales enviando un array de valores mediante el bluetooth como medio de comunicación Serial los cuales deben ser debidamente analizados para su tratamiento general. Sabiendo esto se procedió a realizar una revisión bibliográfica profunda sobre el dispositivo determinando que el dispositivo emite un vector y la lectura debe realizarse carácter a carácter. El código ejecutado se puede descargar desde un repositorio en GitHub: https://github.com/Marlon1995/ondas-cerebrales

La siguiente función del código en Arduino responde a aquello:

```
void read_waves(int i) {
  delta_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  theta_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  low_alpha_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  high_alpha_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
```

```
   low_beta_wave = read_3byte_int(i);
   i+=3;
   high_beta_wave = read_3byte_int(i);
   i+=3;
   low_gamma_wave = read_3byte_int(i);
   i+=3;
   mid_gamma_wave = read_3byte_int(i);
 }
```

En el setup se llama la función de la siguiente manera:

```
read_waves(i+1);
```

Siendo el parámetro el que recorrerá desde la posición inicial hasta la posición final el vector de valores.

Las ondas delta serían las 3 primeras posiciones que emite el Mindwave de esta manera al hacer la lectura de lo que emite el serial se identificarían como las 3 primeras posiciones, seguidas de ellas las siguientes 3 posiciones obedecen a las ondas theta, y las siguientes 3 a las ondas bajas alfa, consecuentemente las siguientes 3 a las ondas altas alfa, posteriormente las siguientes 3 posiciones son las ondas baja beta y las otras 3 las ondas alta beta. Por ultimo las ultimas 6 posiciones corresponden, 3 a las ondas bajas gamma y 3 a las ondas alta gamma. De esta manera se identificaron las posiciones de los valores que emite el sensor para luego ser tratados y acondicionados para el funcionamiento de la prótesis robótica.

Además, el dispositivo es capaz de emitir valores en el rango de 0 a 100 en cuanto a la meditación o atención, la misma cadena de valores realiza un filtrado correspondiente a los valores de las ondas y realiza una transformación interna; para realizar la captación de esos valores existe una trama aparte de la emitida llamda

Longitud de carga útil en donde en cada posición de esa carga emite valores tales como:

```
switch (payloadData[i]) {
          case 02:
            i++;
            poorQuality = payloadData[i];
            bigPacket = true;
            break;
          case 04:
            i++;
            attention = payloadData[i];
            break;
          case 05:
            i++;
            meditation = payloadData[i];
            break;
          case 0x80:
            i = i + 3;
            break;
          case 0x83:                          // ASIC EEG POWER INT
```

```
  i++;
  brainwave = true;
  byte vlen = payloadData[i];
 // Serial.print(vlen, DEC);
///  Serial.println();
  read_waves(i+1);
  i += vlen; // i = i + vlen
  break;
}
```

Basados en el código expuesto esos valores se definen de la siguiente manera:
Case 02: valores nulos o de valores de mala calidad.

Case 04: Valores correspondiente a la atención.

Case 05: Valores correspondiente a la meditación

Case 0x83: Cualquier valor después es un valor de una onda cerebral y allí se utiliza la función readWaves() para analizar las ondas.

De esta manera se analizaron las ondas cerebrales captadas por el dispositivo electroencefalográfico Neurosky Mindwave dándonos como resultados la captación de ondas cerebrales y los valores correspondientes a la meditación y atención en el Anexo B se encentra todo el código empleado en la investigación. Al subir el sketch en el Arduino y teniendo la comunicación vía bluetooth evidenciamos los valores como se muestra en la Figura 37.

3.7. DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS EN LA PRÓTESIS ROBÓTICA MEDIANTE LECTURA DE ONDAS CEREBRALES

Las diademas de ondas cerebrales pueden enviar diferentes tipos de información sea el caso de Mindwave, los paquetes de datos que emiten se detallan de la siguiente manera:

- POOR SIGNAL Quality (Calidad de la señal), es un paquete de señales que describe el nivel de señal recibida se encuentra en un rango de 0 a 255, mientras la señal es más alta se dectecta una mayor frecuencia. Si el valor es de 200 indica que no existe un buen contacto del sensor con la frente del usuario.
- ATTENTION eSense (nivel de concentración), es un byte sin signo que contiene los niveles de concentración, atención del usuario que utiliza el dispositivo de la diadema. El rango de este nivel es de 0 a 100. Cuando el valor es de 1 a 40 indica que el nivel de concentración es muy bajo, nivel entre 40 y 60 es neutral, cuando esta entre 60 y

80 se considera un poco elevado y valores entre 80 y 100 son considerados elevados, esta señal se transmite cada segundo.

- MEDITATION eSence (nivel de calma), es un byte sin signo, este dato indica los niveles de calma y relajación, los valores de medida de estas señales son de 0 a 100 y son transmitidas cada segundo.
- RA Wave Value (Muestra de onda cerebral), es un valor que consiste en dos bytes, su valor se encuentra en una variable de 16 bits con signo, su rango va en el intervalo de -32768 a 32767. Esta señal transmitida por la diadema se da 512 veces por segundo.

Tabla V.

Resumen de datos enviados por diadema Mindwave

Nombre	N° de Byte	Rango de Valores	Tasa de envío
POOR_SIGNAL	Unsigned byte	0-255	1 x segundo
ATTENTION	Unsigned byte	0-100	1 x segundo
MEDITATION	Unsigned byte	0-100	1 x segundo
RAW WAVE VALUE	2 Signed byte	-32768 a 32767	512 x segundo

La diadema Neurosky MindWave emite valores en paquetes los mismo que al ser desempaquetados quedaría dividas 4 cada uno en su rango de valores y su tasa de envío.

Mediante la lectura de las ondas cerebrales emitidas por el Neurosky MindWave se realizaron movimientos básicos en la prótesis robótica para evidenciar que sean actuados mediante el cerebro, los movimientos básicos fueron: abrir y cerrar como se muestra en la tabla anterior se definió que dentro de las ondas beta y alfa que corresponden a las ondas en estados de concentración en la tabla 6 se muestras los movimientos relacionados con el nivel de atención del individuo.

Tabla VI.

Movimientos relacionados con el nivel de atención del usuario

Movimientos	**Ondas Involucradas**	**Nivel de Atención (%)**	**Error (%)**
Abrir	Alfa	0-50	0,05
Cerrar	Beta	50-100	0,05

Determinación de movimientos básicos de una extremidad superior humana basados en un rango de atención y las ondas involucradas captadas por el dispositivo Neurosky MindWave.

Están relacionadas con acciones que requieren permanecer en un cierto estado de alerta y de gestión ágil de la atención. Así pues, este tipo de ondas cerebrales está vinculado a un manejo ágil del foco de la atención por ello también en la tabla anterior se definieron estados de atención, dado que el dispositivo emite valores en un rango de 0 a 100. Por lo tanto, en el rango de 0-50 para abrir y de 50-100 para cerrar.

En el siguiente código se muestra la programación de los servomotores controladores por los rangos definidos de la lectura del dispositivo.

3.8. ANÁLISIS FUNCIONAL DEL PROYECTO

Se observó el comportamiento de la prótesis robótica, mediante métricas muy puntuales las misma que permitirán verificar el correcto funcionamiento, además del diseño y el confort del individuo para adaptarse a la prótesis creada. La ficha de observación que se utilizó se encuentra anexada al documento.

Por medio del monitoreo se consigue apreciar en el monitor serial la trama de transmisión de datos, la cual proviene del sensor seco ubicado en parte frontal del usuario, en la figura 44 se observa la transmisión de datos emitidas por el monitor serie del Arduino IDE.

La lectura de las señales es numérica dependiendo de los niveles de atención del usuario, lo cual se determinó, que con un poco de atención se realizara la apertura o cierre de la prótesis robótica, siendo de 0-50 el rango de apertura, es decir, bajo nivel de atención y de 50-100 el rango de cierre con mayor nivel de atención.

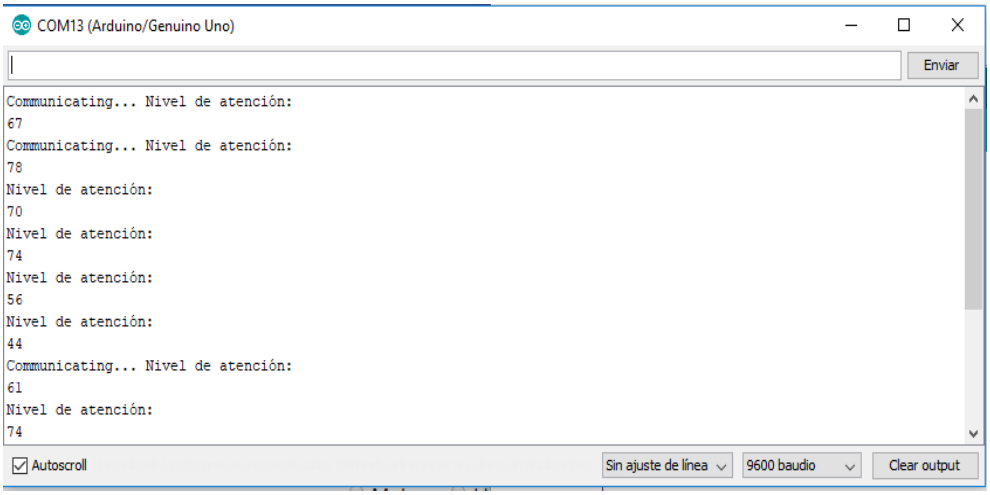


Figura 44. Monitor serie Arduino IDE, Nivel de atención del usuario

Brain Grapher es una aplicación de procesamiento simple para graficar cambios en las ondas cerebrales a lo largo del tiempo. Está diseñado para leer datos de un audífono

MindWave EEG conectado a través de USB. Es principalmente una prueba de concepto, que muestra cómo analizar los paquetes seriales de la Biblioteca de Arduino Brain, monitorear la intensidad de la señal, etc. Puede descargar el repositorio de: https://github.com/kitschpatrol/BrainGrapher, la cual utiliza ténica de Wavelets y Fourier para clasificación y tratamiento de las ondas cerebrales.

Es posible que necesite modificar el valor del índice en la línea serial = new Serial (this, Serial.list () [0], 9600); dentro del archivo de función setup () de la aplicación, según el puerto serie / USB al que esté conectado su Arduino. Y al ejecutar el archivo de ControlP5 se muestran las ondas en tiempo real. En este caso en la Figura 45 se muestran las ondas cuando el estado de meditación es alto por ende la onda theta tiende a subir y la alpha baja. En la Figura 46 se muestras un estado de atención alto caso contrario la onda alpha sube y la onda theta baja.

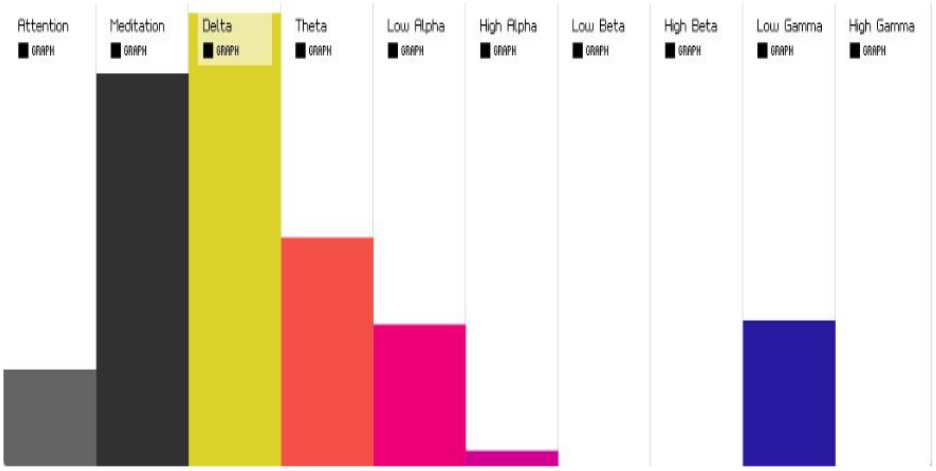


Figura 45. Ondas cerebrales en estado de concentración alto

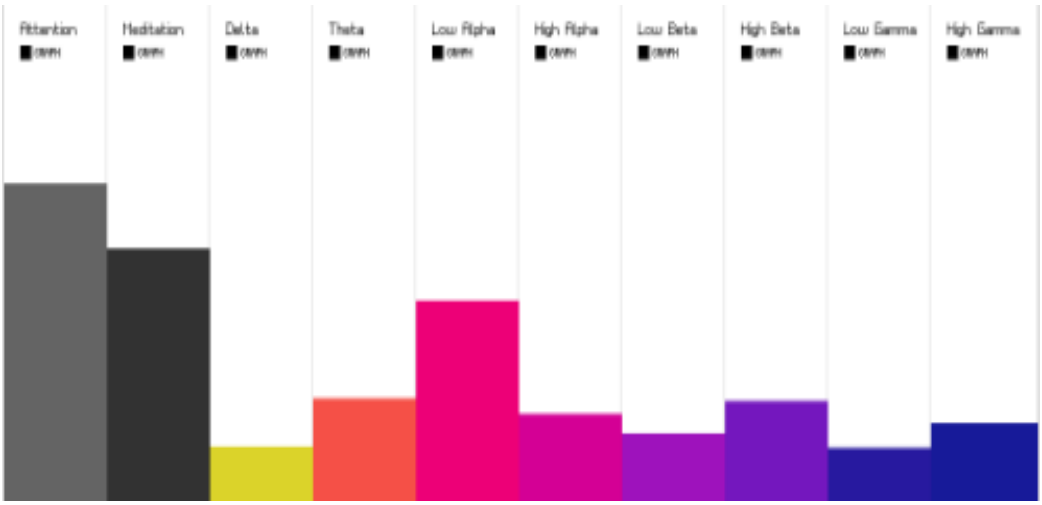


Figura 46.Ondas cerebrales en estado de atención con nivel alto.

Las pruebas del funcionamiento del prototipo de control de lectura de actividad cerebral, permitieron verificar que el sistema cumple con las características propuestas en la presente investigación. El proyecto de investigación está diseñado para que sea agradable al usuario y totalmente inalámbrico, la figura 46 se observa la correcta colocación de la diadema y la figura 46 el prototipo final utilizado por el usuario.



Figura 47. Colocación de diadema Mindwave Neurosky en individuo de prueba

Las pruebas realizadas para la captación de la actividad cerebral ayudaron a verificar los diferentes niveles de atención de respuesta del individuo a las pruebas sobre el control del prototipo. El anexo A, muestra las métricas que se evaluaron para el correcto funcionamiento de la prótesis robótica.

Analizando las características se determinó que el tiempo de conexión entre el bluetooth es inmediato, además que el tiempo de respuesta entre la señal emitida y el accionar de la prótesis robótica es un tiempo considerable entre los 2 a 3 segundos por reloj; se constató que la estabilidad de conexión es constante.

En cuanto a la estabilidad, diseño y usabilidad se puede indicar que se necesitaron realizar mejoras debido a que el prototipo debía contener un mayor grado de usabilidad para obtener mejores resultados en el Anexo C se puede observar la ficha calificada del individuo evaluado. Se realizaron varias pruebas en el individuo a estudiar para que el funcionamiento pudiera ser evidenciado en ambientes físicos reales emulando movimiento de una extremidad humana como se muestra en la Figura 47.



Figura 48. Pruebas funcionales en individuo que carece de la extremidad superior.

Es decir que, la prótesis robótica desarrollada en esta investigación y el acondicionamiento de las ondas cerebrales para el control de la misma se ejecutaron de manera correcta, determinando un funcionamiento calificado como bueno, de la misma manera se determinó el uso de tecnologías interviniendo la neurociencia y la robótica como ciencias principales para llevar a cabo el proyecto y obtener resultados satisfactorios en el Anexo D se evidencian las pruebas realizadas al individuo, además de la explicación del correcto uso de la Diadema MindWave.

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN

En investigaciones previas se desarrolló una interfaz cerebro-computador que realiza reconocimientos faciales y pensamientos cognitivos utilizando el dispositivo Emotiv EEG como captador de señales electroencefalográficas y C# como lenguaje de programación, estos gestos y pensamientos son traducidos en movimientos de control los cuales se ejecutaran mediante un robot Lego Mindstorms con el fin de verificar el correcto funcionamiento del dispositivo Emotiv para tener el control sobre dispositivos [45] esto se utilizó como base para la adquisición de señales y creación de la prótesis robótica en la investigación actual. Existen prótesis robóticas de mano funcional adaptada a varios agarres que son controladas de forma electromecánica [49], un prototipo de mano puede contener tres dedos artificiales con 6 motores DC incrustados en su estructura manteniendo de esta forma una dimensión comparable con la mano humana, con 6 grados de libertad, los dedos pueden realizar movimientos de flexo-extensión y además el dedo pulgar puede realizar movimientos de prono-supinación. Puede estar equipada de sensores de fuerza y de posición.

Para el desarrollo de investigación se presenta una prótesis construida en 3D, la misma utiliza ondas cerebrales captadas por el Neurosky Mindwave como dispositivo controlador, monitorea niveles de atención y relajación siendo partícipes las ondas alfa y beta que están relacionadas a estados cerebral de las personas, siendo este dispositivo más accesible que el Emotiv EEG utilizado en otras investigaciones. Además, la prótesis fue probada en ambientes físicos reales con personas que carecían de su extremidad superior derecha, haciendo movimientos básicos pero imprescindibles en el uso humano como sujetar y soltar objetos, la mano está impulsada por 5 servomotores, uno para cada dedo.

Se han encontrado varias investigaciones en las cuales se emplea ondas cerebrales como controlador de interfaces, capaces de ejecutar múltiples acciones, en esta investigación se analizaron captadores de señales cerebrales no invasivos para controlar el movimiento de una prótesis robótica, con ello se contribuye de manera significativa para futuras investigaciones en beneficio de personas con problemas de discapacidad.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- Neurosky MindWave como dispositivo captador, permite registrar de forma efectiva las ondas cerebrales y aprovechar las mismas para el desarrollo de tecnologías capaces de ser controladas sin emplear ningún esfuerzo físico cumpliendo así con los fines investigativos y los requerimientos funcionales para la construcción de la prótesis robótica basándose en las características más relevantes.
- Neurosky Mindwave emite ondas alpha, theta, delta, beta, gamma, además de variables como la atención y meditación, las mismas con las cuales se realizó un esquema pulso-transición para realizar movimientos básicos en la prótesis robótica.

- El diseño estructural de la prótesis robótica en modelado 3D y el diseño electrónico cumplieron los requisitos de la investigación para ejecutar las acciones emitidas por el cerebro.
- Las pruebas realizadas al individuo, determinaron que el uso de ondas cerebrales mediante MindWave para variables como la atención y relajación, permitieron abrir y cerrar la mano robótica para valores superiores e inferiores al 50% respectivamente.
- Utilizar tecnologías para mejorar la calidad de vida de los seres humanos debe convertirse en un reto social, los nuevos avances tecnológicos permiten que personas con limitaciones físicas o mentales puedan realizar tareas habituales sin ayuda y así obtener mayor inclusión social.
- Las impresoras 3D para la creación de prototipos que benefician a las personas con discapacidades deben convertirse en una rama de investigación, puesto que existen múltiples prototipos los convierten en personas autosuficientes al realizar actividades cotidianas y repetitivas.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Considerar esta investigación como una investigación pionera que contiene un campo amplio de futuras investigaciones a desarrollar en el ámbito social y científico.
- El desarrollo de dispositivos o prótesis debería convertirse en un reto social debido a la gran cantidad de personas vulnerables las cuales necesitan de la creación de tecnología para su autosuficiencia
- Determinar los mejores dispositivos y las mejores herramientas para una futura investigación, puesto que no es la de mayor costo la mejor si no la que se adapte a lo que se quiere desarrollar.
- Para la lectura de las ondas electromagnéticas, se recomienda colocar de manera correcta el sensor en la parte frontal de la cabeza de la persona investigada, ya que de aquello dependerá la posibilidad de adquirir las señales y su fiabilidad de uso.
- Considerar otros tipos de patrones existentes sea patrones de voz, huella dactilar, expresiones faciales, entre otros, para la creación de investigaciones, puesto que, existen personas que más de una discapacidad.

REFERENCIAS

[1] G. P. C. D. a. L. R. L. Moreno, «Reglamento a La Ley Organica De Discapacidades,» *CONADIS,* nº 194, p. pp. 1–10, 2017.

[2] R. H. P. Santini, La cartografía del cerebro, México, 2013.

[3] C. M. O. H. J. Muñoz, «Diseño de una Estación de Trabajo para Personas con Discapacidad Computador,» *Tecno Lógicas,* 2013.

[4] R. J. H. N. a. N. N. Mohd, «Alpha and Beta Brainwave,» *IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications,* 2013.

[5] J. A. D. R., «Análisis del electroencefalograma con transformada de Fourier y modelos paramétricos,» *Ingeniería e Investigación.*

[6] J. Guerrero, «Procesado Digital de Bioseñales [Documento en línea].,» 2010.

[7] R.-G. J., «Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de frecuencias para el estudio del Trastorno por Déficit de Atención.,» *Salud Mental ,* vol. 27, nº 1, pp. 22-27, 2004.

[8] G. y. V. G. Ricardo-Garcell J, «El Trastorno por Déficit de Atención:un enfoque multidisciplinario,» *Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje, número monográfico («Electrofisiología y Cognición»),* vol. 6, nº 2B, pp. 247-270, 2004.

[9] J. C. H. &. C. J. Cortés, «Del análisis de Fourier al las Wavelets: Análisis de Fourier,» *Scientia et Technica,XIII,* vol. 34, nº 133-138, 2007.

[10] H. &. M. J. Agretti, «Análisis espectral de electrocardiograma,» 2001.

[11] S. G. Mallat, «A theory for multi-resolution signal decomposition: The Wavelet representation,» *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* vol. 11, nº 7, pp. 674-693, 1989.

[12] P. &. C. M. Chethan, «Frequency characteristics of wavelets,» *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 17, nº 3, pp. 800-804., 2002.

[13] L. Fugal, «Conceptual wavelets in digital signal procesing,» *Space & Signals Technologies,* 2009.

[14] M. N. R. &. Y. Murugappan, «Classification of human emotion from EEG using discrete Wavelet transform,» *Journal of Biomedical Science and Engineering,* vol. 3, nº 4, pp. 390-396, 2010.

[15] L. (. Behncke, «Mental skills training for sports,» *Athletic Insight Journal of Sport Psychology,* vol. 6, nº 1, pp. 1-12, 2004.

[16] T. S. T. R. T. L. J. &. G. J. Thompson, «EEG applications for sport and performance,» *Methods, Department of Psychology,* vol. 3, nº 45, pp. 279-288, 2008.

[17] M. H. R. &. B. P. Beauchamp, «An Integrated Biofeedback and Psy - chol ogical Kills Training Program for Ca- nada's Olympic Short-Track Speedskating Team,» *Journal of Clinical Sport Psychology. Science Direct,* vol. 6, pp. 67-84, 2012.

[18] V. Menon, «Large-scale brain networks and psychopathology: A unifyingtriple network,» *Trends in Cognitive Neuroscience,* nº 15, pp. 483-506, 2011.

[19] T. B. H. E. J. &. A. -. n. A. Budzynski, «Introduction to quantitative EEG and neurofeedback,» *Academic Press is an im - print of Elsevier,* 2009.

[20] L. L. N. &. R. M. Sherlin, «Devel - oping a performance brain training TM Ap- proach for baseball: A process analysis with descriptive data,» *Applied Psychophysiology and Biofeedback,* vol. 38, pp. 29-44, 2013.

[21] R. J. M. Z. N. E.-G. S. &. H. C. S. Huster, « Brain-computer interfaces for EEG neurofeedback: Peculiarities and solutions,» *International journal of psychophysiology,* vol. 91, nº 1, pp. 36-45, 2014.

[22] D. S. N. A. &. S. (. s. Tan, «Brain-computer interfaces applying our minds to human-computer interaction».

[23] P. A. VÉLEZ Á., H. SALDARRIAGA V. y H. LOAIZA C., «TECNICAS DE CLASIFICACION PARA NEUROSEÑALES,» *Scientia Et Technica,* vol. XVII, nº 46, pp. 153-156, 2010.

[24] N. s. [. línea], «Disponible en http://store.neurosky.com/pages/mindwave».

[25] Muse 2018, «Muse,» [En línea]. Available: https://choosemuse.com/. [Último acceso: 17 11 2018].

[26] EMOTIV, «Emotiv Epoc,» [En línea]. Available: https://www.emotiv.com/epoc/. [Último acceso: 17 11 2018].

[27] J. e. a. Wolpaw, «Brain–computer in- terfaces for communication and control,» *Clin neurophysiol,* vol. 113, p. 767–791, 2002.

[28] e. a. R. José, «Interfaz cerebro computador modular basada en la interpretación del electroencefalograma (EEG) mediante RNA para el control de dispositivos electrónicos,» *Rev. Ing. Uc,,* vol. 15, pp. 52-60, 2008.

[29] J. D. Bronzino, «Principles of Electroen- cephalography,» *The Bio- medical Engineering Handbook,* pp. 201-212, 1995.

[30] J. e. a. Wolpaw, «Brain-computer interface research at the Wadsworth Center,» *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering,* vol. 8, nº 2, p. 222–226, 2000.

[31] I. Asimov, Yo , robot, 1950.

[32] O. M. d. l. Salud, Spanish Prosthetics for Orthotics Standards & Implementation Guide, 2017.

[33] J. M. y. R. P. Dorador, « Robótica y Prótesis inteligentes,» *Revista Digital Universitaria,* vol. 6, pp. 1-15, 1067-6079. , 2004.

[34] J. C. D. J. M. Diaz, «Mecanismos de transmision y actuadores utilizados en protesis de mano,» *Memorias del congreso XV anual se la SOMIM. UNAM,* pp. 335-343, 2009.

[35] L. y. M. H. Puglisi, «Prótesis Robóticas,» *Revista del Departamento de Automática e Informática Industrial,* pp. 1-2, 2006.

[36] A. I. Kapandji, «Fisiología articular Tomo 1. Hombro, codo, pronosupinación, muñeca, mano.,» *Medica Panamericana,* 2006.

[37] L. C. P. G. M. S. T. W. a. F. n. O. Deirdre M Desmond, «Oxford Handbook of Rehabilitation Psychology, chapter Limb Amputation,» *Oxford University Press,* pp. 351-367, 2012.

[38] S. M.-L. D. N. L. M. C.-C. a. R. G. N. J. Contreras-Bizama, «Amputacion de extremidades superiores: caracteriza cion epidemiológica,» *Revista Chilena de Salud Pública,* p. 417–463, 2010.

[39] F. Chang-Mumañ y I. Mazaira-Morales, «CONTROL DE UN SERVOMOTOR DE CD. UN ENFOQUE ALGEBRAICO DIFERENCIAL,» *Ciencia en su PC,* nº 3, pp. 1-10, 2010.

[40] C. Platt, «Encyclopedia of Electronics Components,» *Power Sources & Conversion,* vol. I, pp. 201-207.

[41] I. A. J.M. Angulo, Microcontroladores PIC, McGraw Hill, 2da Edición, 1999.

[42] O. ARBELÁEZ SALAZAR, J. A. MENDOZA VARGAS y J. A. MURIEL ESCOBAR, «IMPLEMENTACIÓN DE UN MICROCONTROLADOR PIC CON EL MÉTODO GRAFCET,» *Scientia Et Technica,* vol. XIV, nº 39, pp. 11-116, 2008.

[43] A. Home.

[44] G. Lorefice Sparacino, «Tecnología inalámbrica Bluetooth sobre los servicios de comunicaciones en los ámbitos social y,» *Télématique,* vol. 2, nº 2, pp. 36-49, 2003.

[45] D. P. Sebastián M., «Control de movimiento robótico con detección cognitiva y,» *Revista chilena de ingeniería,* vol. 23, nº 4, pp. 496-504, 2015.

[46] E. Q.-C. a. J. S.-B. E. Tiago-Costa, « Changes in EEG amplitude (Alpha and Beta waves) with Thermal environment,» *Dyna,* vol. 83, nº 197, p. 87, 2016.

[47] L. Á. Moreno-Cueva, C. A. Peña-Cortés y H. González-Sepúlveda, «Integración de un sistema de neuroseñales para detectar expresiones en el análisis de material multimedia,» *Revista Facultad de Ingeniería, Colombia,* vol. 24, nº 38, pp. 29-40, 2015.

[48] K. C. A. a. A. V. Albán, «Prótesis de mano virtual movida por señales encefalograficas – EEG Virtual hand prosthesis moved by encephalographic signals,» *Grup. Investig. en Automática Ind. AI,* vol. 14, nº 2, p. 99–110, 2016.

[49] C. A. Q. Burgos, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PROTESIS ROBOTICA DE MANO FUNCIONAL ADAPTADA A VARIOS AGARRES,» Colombia, 2010.

[50] A. E. Society, «Guideline thirteen: Guidelines for standard,» *Journal of Clinical Neurophysiology,* pp. 25:111-113, 1994..

[51] Emotiv, «EEG Specifications,» 2012.

[52] J. e. a. Wolpaw, «Brain-Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting,» *IEEE Trans Rehab Eng,* vol. 8, nº 2, p. IEEE Trans Rehab Eng, 2000.

[53] R. B. Navarro, «Electroencefalografía,» *Instrumentación Biomédica.*

[54] Tombesi, Análisis de Electroencefalograma con, 2012.

[55] I. A. J.M. Angulo, Microcontroladores PIC, McGraw Hil 2da Edición 1999, 1998.

[56] Autodesk, «Autodesk Lationamerica,» [En línea]. Available: https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing. [Último acceso: 29 Octubre 2018].

[57] H. J. M. Flores, «Ventajas y Desventajas de la impresoras 3D,» *Revista Tecnológica,* vol. 14, nº 18, pp. 30-34, 2016.

[58] H. S. V. L. C. PAULO ANDRÉS VÉLEZ Á., «TECNICAS DE CLASIFICACION PARA NEUROSEÑALES,» *Scientia et Technica Año XVII,* nº 46, pp. 153-154, 2010.

ANEXOS

ANEXO A

Formato de ficha de observación para evaluar funcionamiento de la prótesis robótica

Nombre de participante:						
Fecha:						
Lugar:						
INDICADORES	**VALORACIÓN**					**OBSERVACIÓN**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	
Adaptabilidad						
Usabilidad						
Diseño de la prótesis						
Flexibilidad						
Funcionamiento del dispositivo						
Tiempo de respuesta						
Portabilidad						
Eficiencia						
Coordinación motriz						
Tiempo de conexión						
Estabilidad de conexión						
Confort						
Acoplamiento						

ANEXO B

Código utilizado para la captación de ondas cerebrales y el accionar de la prótesis robótica.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>
int BAUDRATE = 57600;

SoftwareSerial Serial1(10,11);
// checksum variables
byte payloadChecksum = 0;
byte CalculatedChecksum;
byte checksum = 0;              //data type byte stores an 8-bit unsigned number, from 0 to 255
int payloadLength = 0;
byte payloadData[64] = {0};
byte poorQuality = 0;
byte attention = 0;
byte meditation = 0;
Servo servoMotor;
Servo servoMotor2;
Servo servoMotor3;
Servo servoMotor4;
 Servo servoMotor5;
// system variables
long lastReceivedPacket = 0;
```

```
boolean bigPacket = false;
boolean brainwave = false;
void setup() {
  Serial1.begin(57600);       // Bluetooth
  delay(500);
  Serial.begin(9600);      // soft ware serial
  delay(500);
 servoMotor.attach(3);
   servoMotor2.attach(4);
    servoMotor3.attach(5);
     servoMotor4.attach(6);
     servoMotor5.attach(7);
 Serial.print("Communicating... ");

}
byte ReadOneByte() {
   int ByteRead;
  // Wait until there is data
  while(!Serial1.available());
  //Get the number of bytes (characters) available for reading from the serial port.
  //This is data that's already arrived and stored in the serial receive buffer (which holds 64 bytes)
  ByteRead = Serial1.read();

  return ByteRead; // read incoming serial data
  }

unsigned int delta_wave = 0;
unsigned int theta_wave = 0;
unsigned int low_alpha_wave = 0;
unsigned int high_alpha_wave = 0;
unsigned int low_beta_wave = 0;
unsigned int high_beta_wave = 0;
unsigned int low_gamma_wave = 0;
unsigned int mid_gamma_wave = 0;

void read_waves(int i) {
  delta_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  theta_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  low_alpha_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  high_alpha_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  low_beta_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  high_beta_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  low_gamma_wave = read_3byte_int(i);
  i+=3;
  mid_gamma_wave = read_3byte_int(i);
}
int read_3byte_int(int i) {
  return ((payloadData[i] << 16) + (payloadData[i+1] << 8) + payloadData[i+2]);
}
void loop() {
  // Byte order: 0xAA, 0xAA, payloadLength, payloadData,
  // Checksum (sum all the bytes of payload, take lowest 8 bits, then bit inverse on lowest
if(ReadOneByte() == 0xAA) {
if(ReadOneByte() == 0xAA) {
payloadLength = ReadOneByte();
if(payloadLength > 169) //Payload length can not be greater than 169
return;
payloadChecksum = 0;
      for(int i = 0; i < payloadLength; i++) {      //loop until payload length is complete
        payloadData[i] = ReadOneByte();             //Read payload
        payloadChecksum += payloadData[i];
      }
      checksum = ReadOneByte();                     //Read checksum byte from stream
      payloadChecksum = 255 - payloadChecksum;      //Take one’s compliment of generated
checksum
      if(checksum == payloadChecksum) {
        poorQuality = 200;
        attention = 0;
        meditation = 0;
```

```
}
    brainwave = false;
    for(int i = 0; i < payloadLength; i++) { // Parse the payload
         switch (payloadData[i]) {
         case 02:
           i++;
           poorQuality = payloadData[i];
           bigPacket = true;
           break;
         case 04:
           i++;
           attention = payloadData[i];
           break;
         case 05:
           i++;
           meditation = payloadData[i];
           break;
         case 0x80:
           i = i + 3;
           break;
         case 0x83:                          // ASIC EEG POWER INT
           i++;
           brainwave = true;
           byte vlen = payloadData[i];
          // Serial.print(vlen, DEC);
         ///  Serial.println();
           read_waves(i+1);
           i += vlen; // i = i + vlen
           break;
         }                                   // switch
       }                                     // for loop
       if(bigPacket) {
         if(poorQuality == 0){
         }
         else{                               // do nothing
          }
        }
           if(brainwave && attention > 0 && attention < 100) {
           Serial.println("Nivel de atención:");
           Serial.println(attention);
     if(attention > 50 && attention < 90)
     {
//pulgar
servoMotor.write(0);
// meñique
  servoMotor2.write(0);
// indice
    servoMotor3.write(180);
    // anular
      servoMotor4.write(0);
      //medio
         servoMotor5.write(0);
     }
     else
    {  servoMotor.write(180);
  servoMotor2.write(180);
    servoMotor3.write(0);
     servoMotor4.write(180);
      servoMotor5.write(180);

     }
          }
       }
       }
    }
```

ANEXO C

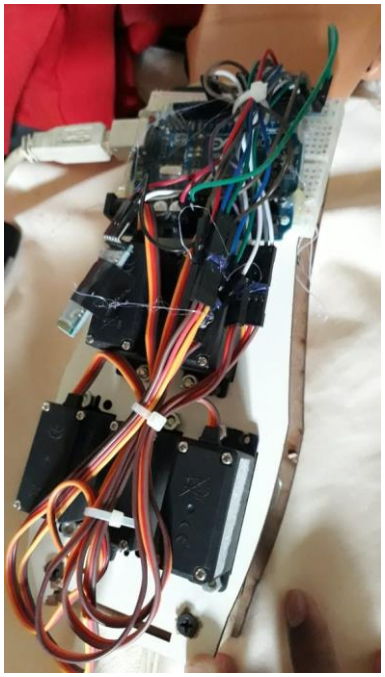
Ficha de observación con calificación del individuo evaluado.

Nombre de participante: Jorge Lucas Estupiñan						
Fecha: 4/12/2018						
Lugar: San Rafael						
INDICADORES	**VALORACIÓN**					**OBSERVACIÓN**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	
Adaptabilidad					**x**	
Usabilidad				**x**		
Diseño de la prótesis			**x**			
Flexibilidad				**x**		
Funcionamiento del dispositivo				**x**		
Tiempo de respuesta					**x**	
Portabilidad				**x**		
Eficiencia			**x**	**x**		
Coordinación motriz				**x**		
Tiempo de conexión				**x**		
Estabilidad de conexión					**x**	
Confort			**x**			
Acoplamiento			**x**			

ANEXO D

Prototipo final de la prótesis robótica de una extremidad superior derecha y conexiones internas con el microcontrolador





Pruebas realizadas al sujeto estudiado, con previa enseñanza de uso.

