



ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

Tema:

SISTEMA PARA LA INTEGRACIÓN DE UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero de Sistemas y Computación

Línea de Investigación:

Tecnologías de la información y la comunicación

Autor:

Marcelo Elías López Feraud

Director:

Ing. Mg. Acurio Maldonado Santiago Alejandro

Ambato – Ecuador

Septiembre 2022

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE AMBATO
HOJA DE APROBACIÓN

Tema:

SISTEMA PARA LA INTEGRACIÓN DE UNA INTERFAZ CEREBRO -
COMPUTADOR

Línea de Investigación:

Tecnologías de la información y la comunicación

Autor:

Marcelo Elías López Feraud

Santiago Alejandro Acurio Maldonado, Mg.

CALIFICADOR

f. 

Enrique Xavier Garcés Freire, Mg.

CALIFICADOR

f. 

Darío Javier Robayo Jácome, Mg.

CALIFICADOR

f. 

Santiago Alejandro Acurio Maldonado, Mg.

DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

f. 

Hugo Rogelio Altamirano Villarroel, Dr.

SECRETARIO GENERAL PUCESA

f. 

 Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SECRETARÍA GENERAL
PROCURADURÍA

Ambato-Ecuador

Septiembre 2022

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo: **MARCELO ELÍAS LÓPEZ FERAUD** con CC. **080325443-2**, autor del trabajo de graduación intitulado: **SISTEMA PARA LA INTEGRACIÓN DE UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR**, previa a la obtención del título profesional de **INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**, en la **ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE Ambato, el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ambato, septiembre 2022

MARCELO ELÍAS LÓPEZ FERAUD

C.I. 080325443-2

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiar mi camino, a familia por estar a mi lado cuando más lo necesitaba, a mis profesores por instruirme y compartir su conocimiento conmigo, también agradezco a mis compañeros y amigos que de una u otra forma me extendieron su ayuda.

Gracias a todos ellos he podido culminar con mi tesis.

DEDICATORIA

Le dedicó este trabajo a mi familia por ser un gran soporte en mi vida y siempre me guían en mi vida, también le dedico este trabajo a todos mis profesores de la Universidad que siempre están allí cuando lo necesitas y te extienden una mano cuando se lo pides.

RESUMEN

El tema de investigación tiene como propósito desarrollar un sistema para la integración de una Interfaz Cerebro-Computador. Ante esto, la problemática principal detectada que afecta al desarrollo de los sistemas Interfaz Cerebro Computador son las diferentes áreas de conocimiento, lo cual, conlleva a que el desarrollo de este tipo de tecnología se genere una dificultad en el tratamiento de las ondas captadas para crear un programa informático que permita usar esas ondas con un fin específico, además, de los costos altos de los dispositivos para implementar esta tecnología y la interconexión del usuario con el equipo a controlar. Para el desarrollo de esta investigación se aplicaron los métodos empíricos y teóricos. Entre los resultados con la metodología Interfaz Cerebro-Computador se proponen las siguientes fases: Adquisición de señal, Procesamiento de señal, Aplicación, Configuración. De esta forma se desarrolla un sistema Interfaz Cerebro-Computador que genera como resultado el cumplimiento del objetivo principal del sistema informático.

Palabras clave: interfaz, cerebro, computador; señales electroencefalográficas; sensor *NeuroSky*

ABSTRACT

This research aims to develop a system for the integration of a Brain-Computer Interface due to it is known that the areas which carry the information are facing some difficulties, especially in the area of the network, which is used for specific purposes. On the other hand, the high cost of the devices used in the implementation of this technology and the interconnection of the user with the equipment, is increasing every day. To developed this research, the Empirical and Theoretical Methods were applied and based on the results obtained in the Brain-Computer Interface, some Signal acquisition, Signal processing, Application as well as Setting were proposed. In conclusion, a Brain-Computer Interface System was developed in order to fulfill the main objective of the mentioned computing program.

Key words: brain, computer interface, encephalographic signals; NeuroSky sensor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD Y RESPONSABILIDAD	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA.....	6
1.1. Interfaz Cerebro-Computador (BCI)	6
1.2. Actividad cerebral.....	13
1.3. Electroencefalografía (EEG).....	18
CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	24
2.1. Tipo de investigación.....	24
2.2. Enfoque de la investigación.....	24
2.3. Metodo teórico.....	25
2.4. Resultado de la entrevista	26
2.5. Metodologia de desarrollo	28
CAPÍTULO III. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.1. Fase I: Adquisición de señal.....	31
3.2. Fase II: Procesamiento de señales	32
3.3. Fase III: Aplicación	39
3.4. Fase I: Análisis de requisitos.....	39
3.5. Fase II: Diseño del sistema	42
3.6. Fase III: Codificación	49
3.7. Fase III: Configuración	52
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estados mentales.....	10
Tabla 2. Requisitos mínimos	34
Tabla 3. Plantilla ISO 9126.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Definiciones CBI	6
Cuadro 2. Tipos de Biopotenciales.....	9
Cuadro 3. Lóbulos del cerebro y sus partes.....	15
Cuadro 4. Lóbulo cerebral y letra asignada al electrodo	20
Cuadro 5. Luz del MindWave	32

ÍNDICE DE FIGUERAS

Figura 1. Esquema general de un sistema BCI	7
Figura 2. Cerebro humano y sus partes	14
Figura 3. El cerebro como sus hemisferios y funciones	14
Figura 4. Ubicación de los lóbulos del cerebro	15
Figura 5. Neurona	16
Figura 6. Iones Na ⁺ y K ⁺	17
Figura 7. Captación de señales EEG	19
Figura 8. Metodología cascada	30
Figura 9. Sistema en bloque de BCI.....	30
Figura 10. Auricular MindWave y sus partes	31
Figura 11. Creación y configuración de proyecto C#.....	35
Figura 12. Librería del proyecto C#	36
Figura 13. Importación de la clase NativeThinkgear64.cs	36
Figura 14. Imagen de pantalla del código.....	38
Figura 15. Nivel 0	42
Figura 16. Nivel 1	43
Figura 17. Formulario de conexión	45
Figura 18. Formulario de entrenamiento	46
Figura 19. Formulario del controlador.....	47
Figura 20. Diagrama de circuito	48
Figura 21. Diseño de placa.....	49
Figura 22. Funcionamiento del dispositivo externo	54
Figura 23. Circuito y conexión del controlador	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Rango de frecuencia y voltaje de señal biopotencial	10
Gráfico 2. Ondas en acción de la membrana	17
Gráfico 3. Ubicación de los electrodos	20
Gráfico 4. Señal EEG y ESN	21
Gráfico 5. Red neuronal	23

INTRODUCCIÓN

En los años 70 se realizaron muchas investigaciones de Interfaz Cerebro-Computador una de las investigaciones más reconocidas es la del Dr. Jacques J. Vidal, este fue el indicio de que múltiples investigadores se enfocaran en desarrollar y dar sus aportes a la comunidad científica en esta tecnología, según (Villegas, Lugo, Pacheco, & Villegas, 2008).

Estas interfaces en los últimos años han tenido múltiples aplicaciones, así, al ser tecnologías que se enfocan en la interacción de los humanos con equipos o dispositivos externos por medio de las señales neuronales, son muy utilizadas para implementar nuevos métodos terapéuticos para personas con discapacidad, según (García Quiroz, Villa Moreno, & Castaño Jaramillo, 2007).

Gracias a la facilidad de extraer señales directamente del cerebro, se realizan proyectos para personas con impedimentos físicos o que tienen alguna discapacidad; así, se han generado nuevos dispositivos terapéuticos como brazos robóticos, exoesqueletos, sillas de ruedas y otros dispositivos todos controlados por señales neuronales, según (Hornero, Corralejo, Álvarez, & Martín, 2013).

Otro gran avance de esta tecnología se ve en los videojuegos, en los cuales, se controlan a una persona o un objeto adentro del entorno gráfico. En la comunidad *Gamer*, la interfaz cerebro computador tiene una gran aceptación, por lo que siempre buscan nuevas experiencias para interactuar en los videojuegos. Así, actualmente, se han creado nuevos sensores que se utilizan en los sistemas para el control de los juegos, además, de mejoras en las técnicas para aprender a controlar las señales neuronales por parte del usuario, según (Vela Dávila, Velázquez Macías, & Veyna Lamas, 2017).

Empresas reconocidas a nivel internacional como *NeuroSky* (2015)¹ y *Emotiv*(s.f.)² especializadas en la creación de sensores para captar las señales neuronales, ofertan sus productos con soportes para el desarrollo, en cuanto a lenguajes de programación y facilidad de acoplarla con placas de microcontroladores de empresas reconocida como *Arduino*³ y *Raspberry*⁴ .

Si bien la interfaz cerebro computador es una tecnología nueva que ofrece un amplio campo de aplicación, su desarrollo se encuentra detenido y esto ocurre especialmente por los precios altos que tienen los equipos para el desarrollo lo que genera un obstáculo para la adquisición de posibles desarrolladores y posibles usuarios interesados en estas interfaces. Además, del precio, los métodos que normalmente se utilizan para estos tipos de desarrollo son muy complejos tanto para los desarrolladores como para los usuarios; lo que provoca una desconfianza al gastar tiempo y recursos en un desarrollo de un sistema de interfaz cerebro-computador que no funcionar.

Otro factor para tomar en cuenta es que esta tecnología utiliza diferentes áreas de conocimiento con alto grado de complejidad en cada una de ellas; este hecho suele presentar un reto para equipos de desarrollo de *software* pues la investigación se amplía a otras áreas como el tratamiento de señales cerebrales.

Por todas estas situaciones comentadas anteriormente, en el presente proyecto se busca aplicar, en el desarrollo de la solución con equipos de bajo costo que se encuentren disponibles a la fecha; y aplicar métodos de desarrollo de *software* que le faciliten la interacción del usuario.

¹NeuroSky, empresa especializada en desarrollo de biosensores.

²Emotiv, es una compañía de bioinformática que avanza en la comprensión del cerebro humano.

³Arduino, es el ecosistema de software y hardware de código abierto líder en el mundo.

⁴Raspberry, es una organización benéfica que trabaja para poner el poder de la computación y la creación digital en manos de personas de todo el mundo.

Además, que el principal factor que afecta al desarrollo de esta tecnología de Interfaces Cerebro-Computador es la dificultad que contiene en múltiples áreas de conocimiento; en cuanto al área informática se encuentran dificultades en el tratamiento de las ondas captadas, la interconexión del usuario con el equipo a controlar se pasó por el programa que los interconecta, el control del entrenamiento y la adaptación del sistema para el usuario final.

Para la investigación se han planteado varias preguntas científicas, las cuales, fueron respondidas en el proyecto a través del cumplimiento de los objetivos, una primera etapa de la investigación se orienta a definir:

1. ¿Qué fundamentos teóricos permiten comprender las señales neuronales del ser humano y las Interfaces Cerebro-Computador?
2. ¿Qué arquitectura de sistema permite la integración de la Interfaz Cerebro-Computador?
3. ¿Cómo se verifica la funcionalidad de la aplicación a través del control de un dispositivo externo con señales electroencefalográficas?

Frente a éstas interrogantes, para resolver la problemática se planteó como objetivo desarrollar un sistema para la integración de una Interfaz Cerebro-Computador, el mismo que fue alcanzado a través de la fundamentación teórica de las señales neuronales del ser humano y las interfaces cerebro-computador; por otra parte, a través de la implementación del sistema para la integración de la interfaz Cerebro-Computador y mediante la verificación de la funcionalidad de la aplicación a través del control de un dispositivo externo con señales electroencefalográficas.

Para el desarrollo del sistema, es necesario comprender que las tecnologías basadas en señales neuronales utilizan la metodología de igual nombre Interfaz Cerebro-Computador o *Brain-Computer Interface* (BCI) por sus siglas en inglés, la tecnología está basada en la extracción de señales neuronales para ser gestionadas, y para implementarlas en el sistema a desarrollar.

Se tiene en cuenta que para la implementación de la tecnología BCI se utilizan diferentes tipos de señales neuronales, la decisión de qué tipo de señal se va a utilizar tiene un efecto directo en el entrenamiento del usuario para controlar sus propias ondas neuronales a voluntad. Este entrenamiento cambia en el tiempo según cada usuario.

Para el desarrollo de la solución se va a aplicar un conjunto de fases metodológicas, las cuales, son: adquisición de señal, esta fase se enfoca en capturar la actividad cerebral por medio de un sensor especializado, con el fin de registrar las señales obtenidas por el usuario de una forma digital.

Por el objetivo del proyecto los tipos de señales que se busca capturar son los estados mentales de meditación y concentración, debido a que estas señales son muy utilizadas para el control de dispositivos externos en especial en aplicaciones domóticas. (Castillo García 2015).

Procesamiento de señal, con las señales digitalizadas obtenidas anteriormente se procede a convertirlas en los comandos necesarios para el control del dispositivo, traduce las señales neuronales a señales que un dispositivo electrónico entienda.

Aplicación, punto fundamental en el desarrollo de la solución, aquí se trabaja con la interconexión entre el dispositivo encargado en la adquisición de señales y el dispositivo externo a controlar. Además, de que se encarga de controlar las acciones necesarias para el correcto funcionamiento de un dispositivo externo y todas las demás funciones que sean necesarias implementar con el entrenamiento al usuario.

Configuración, esta etapa está encargada por un operador externo, el cual, mientras se realiza el entrenamiento del usuario va a ingresar y registrar los datos para ayudar que el sistema funcione perfectamente con las señales recibidas del usuario.

La ventaja de BCI es que se acopla con diferentes tecnologías y metodologías, depende de la necesidad del desarrollador, en este caso para el diseño de una interfaz cerebro computador que permita la manipulación de un dispositivo electrónico. Por esta razón, se seleccionó la metodología de Desarrollo de *Software* de Cascada como complemento a BCI.

Como se ha descrito, la comunicación cerebro-computador es una tecnología novedosa y muy útil debido a que se extraen señales del cerebro y se logra una interacción más cercana con el usuario, además, que al extraer estos tipos de señales directamente del cerebro se logra que se usen en muchas áreas en beneficio de la humanidad.

Las aplicaciones de esta tecnología son diversas y múltiples, sirven para control de videojuegos, control de aparatos electrónicos, computadores entre otros, pero su principal aplicativo es para el uso terapéutico para personas con discapacidad física.

En la actualidad se han creado nuevos sensores más económicos en el mercado y que, aunque no tiene la funcionalidad como los más costosos, si permiten realizar acciones sencillas pero útiles, las cuales, es de ayuda para muchas personas en caso de utilizar esta investigación y acoplarla para el beneficio de personas con discapacidad.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA

En esta parte se tiene información teórica de los temas relacionados con las Interfaces Cerebro-Computador su definición, estructura, sus tipos. Además, de la fisonomía del cerebro y su funcionamiento, y, por último, se explica las Señales Electroencefalográficas su definición, ubicación de los electrodos, arquitectura.

1.1. Interfaz Cerebro-Computador (BCI)

Definición

Para comprender que es una interfaz cerebro computador, en el cuadro 1 se presentan una serie de definiciones de varios autores:

Cuadro 1. Definiciones CBI

Autor	Definición
Gutiérrez & Martínez (2013).	Es la comunicación que tienen las personas entre sí, traducida a la comunicación entre las personas hacia algún mecanismo o dispositivo externo.
Villegas, Lugo, Pacheco, & Villegas (2008).	Es el reflejo de las actividades neuronales, las cuales, son extraídas del cerebro para ser utilizadas en el computador
Jurado & Vinicio (2014).	Es una tecnología que básicamente se encarga de extraer señales neuronales y de esa forma implementarlas en el computador.

Fuente: Elaboración propia.

Se define el BCI como una tecnología que se encarga de extraer señales producidas por el cerebro para ser introducidas hacia el computador con el fin de ser utilizadas posteriormente.

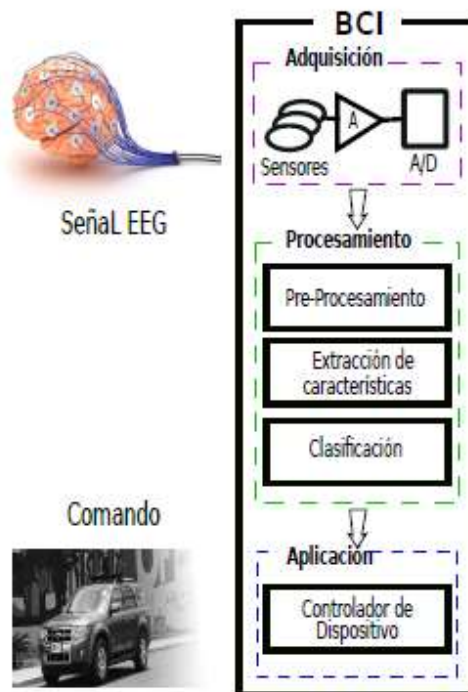
La existencia de las BCI es gracias a Hans Berger en el siglo XX, al realizar un mecanismo capaz de registrar y captar las señales cerebrales del ser humano. Este sistema fue bautizado como electroencefalografía (EEG), según Villegas, Lugo, Pacheco, & Villegas (2008). Convirtiéndose en uno de los métodos de extracción de señales neuronales y marca un inicio de una tecnología, la cual, está más cercana a

las órdenes de ser humano como son las BCI. Además, de que las señales neuronales no son aleatorias, por lo cual, permite un gran control en los dispositivos a manejar y usarlos a voluntad.

Estructura

El BCI al ser una tecnología que aplica muchas áreas del conocimiento se adapta a las necesidades de los desarrolladores, los cuales, aplican el BCI en diferentes tipos de aplicaciones informáticas, el BCI tiene un esquema general, que se muestra en la figura 1, en el cual, se basa cualquier desarrollo y se acople como se lo mencionó anteriormente.

Figura 1. Esquema general de un sistema BCI



Fuente: Castillo García (2015)

En este esquema se identifica varias secciones que se las conoce como bloques, los cuales, dividen el trabajo que conlleva el desarrollo de los BCI en múltiples partes, los bloques se describen, a continuación:

Adquisición, está relacionada a todo lo que tiene que ver con el sensor, el cual, cumple la función de captar las señales producidas por el cerebro y convertirlas en digitales.

El procesamiento se enfoca en la clasificación y gestión de las señales captadas por el sensor para tener control de las señales ingresadas.

Y la aplicación, la cual, se enfoca en la interconexión de las señales neuronales y el dispositivo a controlar. Este bloque es el que permite controlar el dispositivo, depende de la configuración que se desee.

Tipos de BCI

La tecnología de los BCI es múltiple y diverso por lo que el mencionar a todos es demasiado complejo, se mencionan los más importantes y relevantes.

La principal forma en la que se dividen los tipos de BCI es por la forma o el método de extracción de las señales neuronales, las cuales, son clasificadas en dos: los invasivos y no invasivos, (García, 2015).

Los métodos no invasivos como el magneto encefalografía (MEG) o la Electroencefalografía (EEG), los dos son sistemas tópicos por lo que no son introducidos en el cuerpo humano por cirugía, pero su calidad de señal no es tan alta.

Los métodos invasivos como el Electroencefalografía (ECoG), mejora potencialmente la calidad de la señal captada, pero con una gran desventaja, se tiene que implantar electrodos directamente en el cráneo. Esto es algo riesgoso, además, que excesivamente costoso, por lo cual, esta tecnología solo lo poseen los hospitales y universidades con carreras de medicina, pero solo para uso totalmente experimental y casos extremadamente críticos.

Otra de las formas, en las cuales, se diferencia los sistemas BCI es con los Biopotenciales: en el cuerpo humano se generan diferencias entre los potenciales externos e internos de las células por medio de la membrana celular, (Paulo Andrés, Gomez, & Hector, 2016).

Depende del organismo y la célula que genere este tipo de señales se producen diferentes tipos de biopotenciales, los más conocidos se muestran en el cuadro 2.

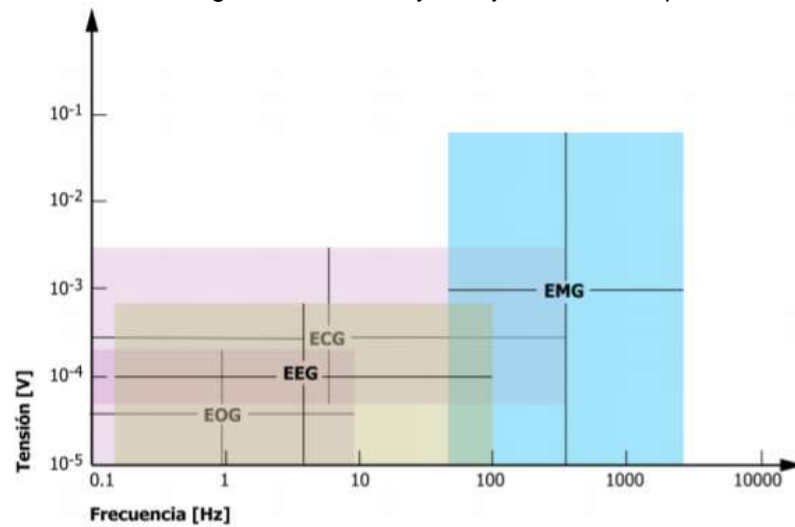
Cuadro 2. Tipos de Biopotenciales

Biopotenciales	Mide	Voltaje
ECG (ELECTROCARDIOGRAMA)	Actividad eléctrica del corazón.	milivoltios.
EEG (ELECTROENCEFALOGRAMA)	Actividad eléctrica del cerebro.	microvoltios.
EMG (ELECTROMIOGRAFIA)	Actividad eléctrica de los músculos, utilizada para el control de prótesis.	milivoltios.
EGG (ELECTROGASTROGRAMA)	Cambios eléctricos que se producen en la musculatura del estómago.	milivoltios.
EOG (ELECTROOCULOGRAFIA)	Potenciales eléctricos generados debido al movimiento de los globos oculares.	milivoltios.

Fuente: Adaptado de Paulo Andrés, Gomez, & Hector (2016).

Como se puede apreciar cada tipo de señal biopotencial tiene un rango de voltaje de función específico, además, posee un rango de frecuencia específica como se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1. Rango de frecuencia y voltaje de señal biopotencial



Fuente: Haberman (2016).

Otra forma de clasificar los BCI es por señales electroencefalográficas, las cuales, se clasifican en **estados mentales** según la frecuencia que es producida por el estado mental del usuario, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Estados mentales

Onda	Señal	Frecuencia	Características
Delta	10 a 50 microvoltios	0,2 a 3,5 Hz.	Estado hipnótico y ubicado en el hemisferio cerebral derecho en plena actividad.
Theta	50 a 100 microvoltios	3,5 a 7,5 Hz	Estado de vigilia y ubicado en el hemisferio izquierdo y derecho.
Alfa	100 a 150 microvoltios	7,5 a 13 Hz	Estado de relajación, tranquilidad, creatividad y ubicado en el hemisferio izquierdo y desconexión del hemisferio derecho.
Beta	150 a 200 micro voltios	13 a 28 Hz	Estado de alerta máxima, vigilante, miedo, es la situación normal.

Fuente: Adaptado de Paulo Andrés, Gomez, & Hector (2016).

Además, de los estados mentales mostrados anteriormente; que son los más utilizados en BCI, existe otros estados, los cuales, no son tan explotados, sin embargo, dentro de este grupo destaca la onda *gamma*.

La onda *Gamma*, la cual, tiene una frecuencia de 30Hz hacia arriba. Se interpreta que esta onda muestra el mecanismo subyacente de la conciencia. Se ha demostrado que

esta onda se encarga de la sincronización entre las distintas zonas neuronales, los procesos de comunicación y el *feedback* (es el entrenamiento que se realiza en los BCI para que el usuario controle un sistema correctamente), (Paulo Andrés, Gomez, & Hector, 2016).

Cabe recalcar que algunos autores describen los estados mentales como ondas de control como es el caso de Haberman (2016). Un aspecto importante, por el cual, también se clasifica una BCI es el tipo de señal que se va a utilizar para el control del sistema a realizar. Se clasifican en dos tipos exógeno y endógeno, (García, 2015).

En los sistemas con el tipo exógeno se produce un estímulo externo al usuario de tal forma que solo se estimula una parte específica de la actividad neuronal lo que permite una mayor facilidad al momento de crear y controlar un sistema. Uno de los estímulos más usados es el estímulo visual, también conocido como VEP o *potencial visual evocado*.

Otro son los sistemas con el tipo endógeno, en este control el usuario no recibe ningún estímulo, por lo cual, tiene que aprender de forma propia como producir voluntariamente un patrón específico para ser captado y de esta forma controlar el sistema.

Los entrenamientos en el método endógeno son más largos que en exógeno, aunque no se puede dar un tiempo específico porque el entrenamiento, depende del usuario y su capacidad para adaptarse al sistema.

Debido a la gran desventaja del tiempo de entrenamiento muchos desarrolladores no utilizan el método endógeno, pero tiene una gran ventaja, el usuario tiene total control del interfaz sin necesidad de tener algún estímulo externo, además de que es muy usada para personas con alto grado de discapacidad, al no necesitar de estímulos externos; que el usuario posiblemente no sienta por su condición, el control se realiza únicamente con sus señales neuronales, (Paulo Andrés, Gomez, & Hector, 2016).

A continuación, se muestran las señales de control que se usan comúnmente: con base a (Haberman, 2016)

- Ritmos cerebrales: Son ondas periódicas, las cuales, se las identifica en diferentes frecuencias, por lo general se las localiza en la corteza cerebral, y aumenta, disminuye, sincroniza y desincroniza todo depende de la actividad que se realiza; las ondas son alfa, beta, gama etc. Las cuales, se mencionaron anteriormente en el apartado de estados mentales.
- P300: Es una onda extraída específicamente de EEG, captada en la corteza centro-parietal. Se representa con una división positiva de señales, que oscila entre los 250 a 300 milisegundos, después de recibir algún estímulo externo; aunque existen muchas formas de estimular el sistema neuronal el más común y utilizado en la BCI es el visual.
- Potenciales Evocados Visuales De Estado Estacionario (SSVEP): También conocido como *Steady State Visual Evoked Potentials*, según sus siglas en inglés. Son ondas extraídas por EEG, en la corteza visual que se origina, la onda se produce al recibir un estímulo visual y con una característica única que la frecuencia de la onda es siempre similar al estímulo que recibe, depende de la intensidad de luz que observa el usuario.

Con todos los tipos de BCI y como se clasifican, los cuales, demandan mucho de las frecuencias emitidas a lo que el cerebro realiza acciones específicas, se aprecia en el tipo de señal que más conviene para un sistema específico además de que todos los tipos están interconectados unos con otros por lo que, aunque la teoría es extensa se tiene una gran facilidad de selección.

1.2. Actividad cerebral

Fisonomía del cerebro

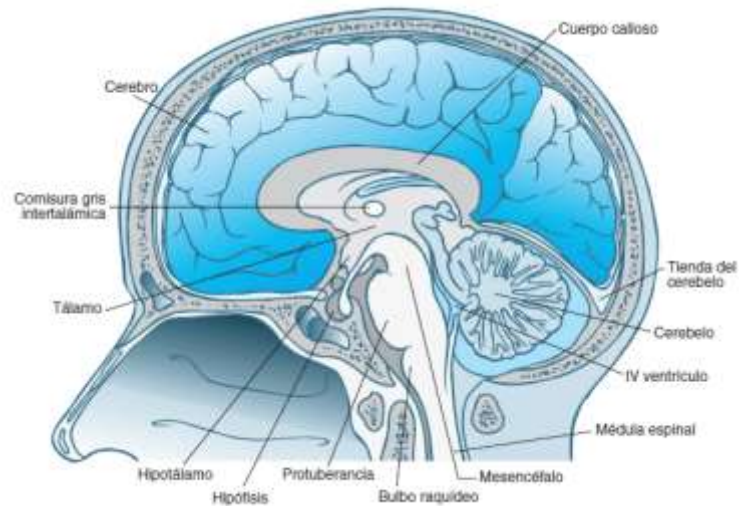
El órgano más complejo es el cerebro humano, contiene de 100 billones de nervios que se comunican con millones de conexiones (sinapsis), (Hassan Alnemari, 2017). Para entender la función que realiza el cerebro es mejor dividir por partes el sistema nervioso; que es en donde se encuentra ubicado el cerebro, y donde se puede demostrar su función específica de forma sencilla; solo se mencionan las partes esenciales del sistema nervioso.

Primero el cerebro se compone de los hemisferios izquierdo y derecho. El cerebro es responsable de funciones tales como tacto, visión, audición, discurso, razonamiento, aprendizaje, emoción y control del movimiento. Otra parte del sistema es el cerebelo es más pequeño que el cerebro y se encuentra debajo de él. Es el responsable de funciones como la coordinación de movimientos musculares, la postura mantenida y el equilibrio, (Hassan Alnemari, 2017).

Y, por último, el tronco cerebral que actúa como un centro de relevo que conecta el cerebro y el cerebelo a la médula espinal. Es responsable de las funciones atómicas como la respiración, la temperatura corporal, ciclos de vigilia y sueño, digestión, estornudos, frecuencia cardíaca y deglución.

A continuación, en la figura 2 se muestra una gráfica del cerebro humano con sus partes con el fin de obtener una mejor comprensión de lo explicado anteriormente.

Figura 2. Cerebro humano y sus partes

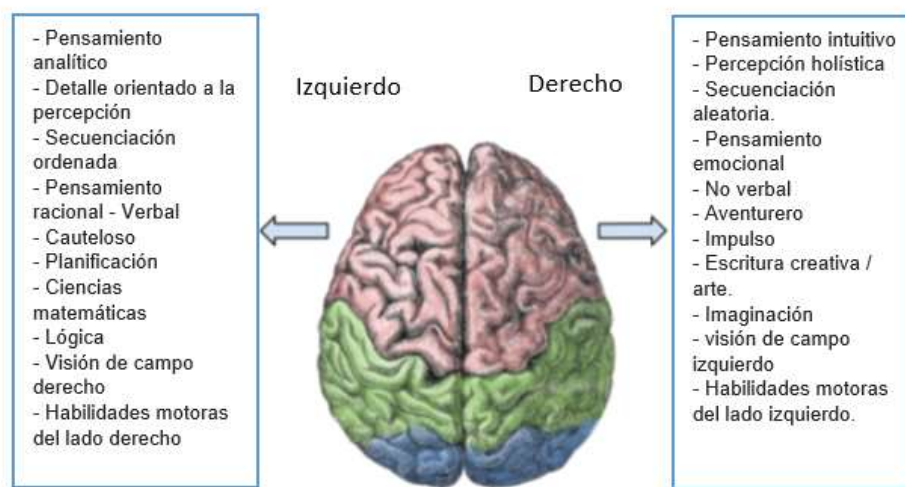


Fuente: Escudero, Sánchez, Borrás, & Serrat (2002).

Hemisferio derecho e izquierdo

Los dos hemisferios se les unen el cuerpo caloso, que es un paquete de fibra responsable para entregar mensajes de un lado a otro. El hemisferio izquierdo controla: analítica, aritmética, lógica y escritura. El hemisferio derecho controla la creatividad, la artística y la habilidad musical, (Hassan Alnemari, 2017). En la figura 3 se representa de forma gráfica los hemisferios y sus funciones respectivas.

Figura 3. El cerebro como sus hemisferios y funciones



Fuente: Adaptado de Hassan Alnemari (2017).

Lóbulos del cerebro

Cada hemisferio tiene cuatro lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital, en el cuadro 3 se identifican las principales funciones de los lóbulos del cerebro, (Hassan Alnemari, 2017).

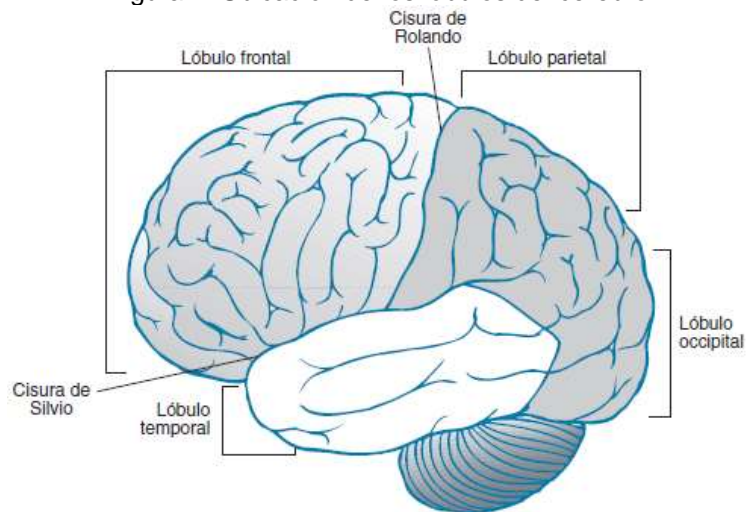
Cuadro 3. Lóbulos del cerebro y sus partes

Lóbulo	Función
Lóbulo frontal	<ul style="list-style-type: none"> - Resolución de problemas, Juicio - Movimiento corporal - Concentración, autoconciencia. - Discurso: hablar y escribir. - Comportamiento, emociones, personalidad.
Lóbulo parietal	<ul style="list-style-type: none"> - Sensación, dolor - Percepción espacial y visual. - Interpretación de lenguaje y palabras.
Lóbulo occipital	<ul style="list-style-type: none"> - Procesamiento visual del cerebro
Lóbulo temporal	<ul style="list-style-type: none"> - Comprensión del lenguaje - Memoria y audición

Tabla: Hassan Alnemari (2017).

Cada lóbulo está especializado en diferentes áreas y cada uno realiza una función específica y por eso los lóbulos no hacen cosas que no sean propias de ellos, se reafirma la teoría que el cerebro no produce señales al azar. En la figura 4 se muestra una representación gráfica de la ubicación de los lóbulos del cerebro.

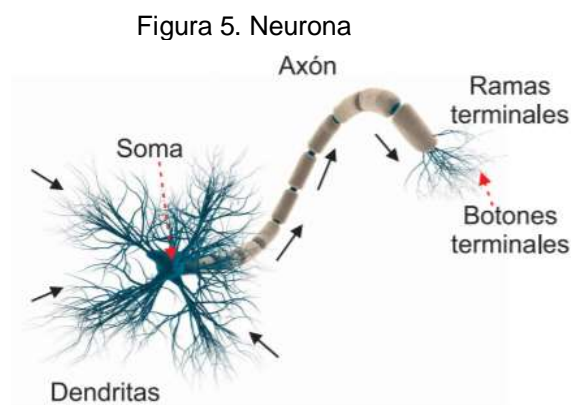
Figura 4. Ubicación de los lóbulos del cerebro



Fuente: Escudero, Sánchez, Borrás, & Serrat (2002).

Neuronas

Las neuronas son células que están compuestas por dendritas, axones, terminaciones nerviosas además de un sistema celular o soma. Por medio de las dendritas se produce las entradas de las neuronas, las cuales, reciben información de unas 10000 neuronas aproximadamente, (Sarmiento Vela, 2015). En la figura 5 se puede ver las partes que componen las neuronas.



Fuente: Sarmiento Vela (2015)

La forma en la que funciona la neurona es con relación a la membrana celular, debido a que el exterior de la neurona tiene iones Na^+ (iones de sodio) y el interior contiene iones K^+ (iones de potasio), el interior se carga negativamente y el exterior se carga positivamente. En el momento que se recibe información por las dendritas se produce una despolarización y se conduce esa señal por el axón.

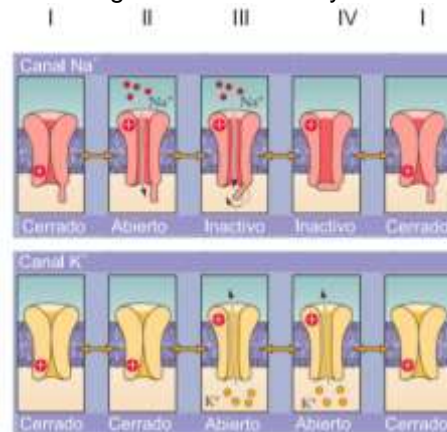
Por lo general las neuronas tienen unos -70 mV (milivoltios), el mecanismo que produce el potencial de acción es debido al bombeo de sodio y potasio, a lo que ocurre el bombeo, la neurona se encuentra en el umbral de -70 mV a -50 mV, los canales de sodio permiten pasar los iones Na^+ , lo que cambia la polaridad de la neurona y alcanza un valor aproximado de 30 mV.

Pero los canales de sodio no siempre están abiertos, la neurona tiene que regresar a su estado original, el cual, es negativo, para que esto ocurra se cierra el canal de sodio

y se abre el canal de potasio. Con esta acción la neurona deja salir los iones K^+ o, también, se lo conoce como repolarización, debido a esto alcanzan valores aproximados de -90 mV a este proceso se lo llama hiperpolarización, en este estado la neurona está bloqueada e impide recibir estímulos.

Para que la neurona vuelva a recibir estímulos, se bombea un poco de sodio, lo cual, permite que el voltaje este entre unos -70 mV, el voltaje ideal para esperar al siguiente estímulo. A continuación, en la figura 6 se muestra de forma gráfica como se produce el bombeo de la membrana neuronal y visualizar como los iones Na^+ y K^+ .

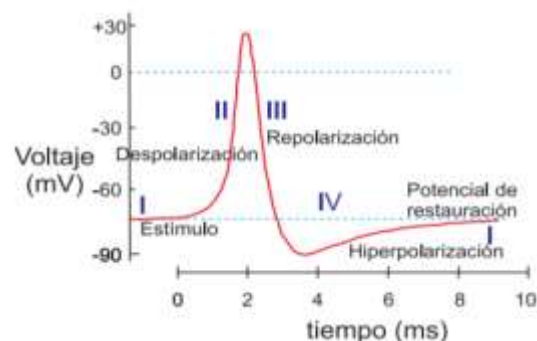
Figura 6. Iones Na^+ y K^+



Fuente: Sarmiento Vela (2015)

En la gráfico 2 se muestra la onda producida por el funcionamiento de las membranas neuronales con base en la polarización de los iones mencionada anteriormente.

Gráfico 2. Ondas en acción de la membrana



Fuente: Sarmiento Vela (2015)

1.3. Electroencefalografía (EEG)

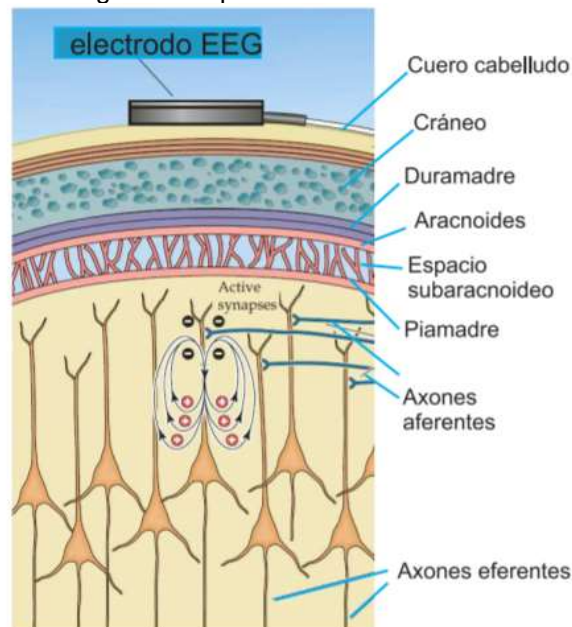
Señal EEG

EEG es la medida de la actividad eléctrica en el cerebro. La primera medida para el EEG fue grabada por Has Berger en 1924 utilizó un galvanómetro, produjo el comienzo de esta tecnología que evolucionó, (Hassan Alnemari, 2017). Basado en el comportamiento interno del cerebro o estímulo externo, el EEG varía en amplitud y frecuencia de la onda. En la actualidad hay empresas que han desarrollado nuevos sistemas que usan un auricular EEG, para receptar señales neuronales, como el caso de *NeuroSky*.

La forma en que estos nuevos sistemas captan señales, es través de la corteza cerebral, la cual, está conformada por neuronas piramidales, las señales EEG son las ondas de actividades sinápticas producidas por la sincronización de este tipo de neuronas. Toda esa sincronización se realiza por las dendritas que poseen las neuronas, según (Sarmiento Vela, 2015).

A continuación, en la figura 7 se muestra las neuronas piramidales, y la ubicación del electrodo. Se tiene en cuenta que las señales EEG son captadas por electrodos no invasivos por eso se ubica en el cuero cabelludo.

Figura 7. Captación de señales EEG



Fuente: Sarmiento Vela (2015)

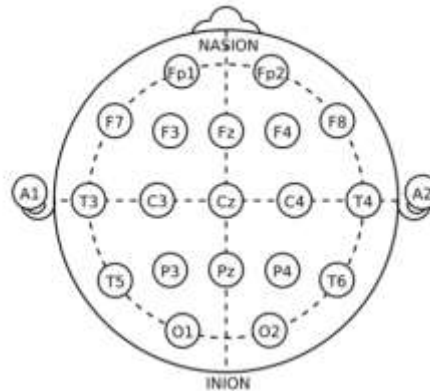
Comprender el funcionamiento de las neuronas permite conocer cómo se producen los pulsos eléctricos del cerebro, los cuales, al ponerlos en una línea de tiempo se visualizan como una onda que es captada, esa onda es la que se utiliza para realizar los sistemas BCI.

Colocación del electrodo

El método más utilizado son los números 10 y 20 en el sistema 10/20 se refieren a la distancia entre los electrodos adyacentes, que es el 10% o 20% de la distancia total de la parte frontal anterior o derecha-izquierda del cráneo. El sistema 10/20 tiene en total 21 electrodos. Existen dos hitos para posicionar el EEG.

En la figura 8 se muestra la ubicación de los electrodos de acuerdo a lo explicado anteriormente, se toma en cuenta que la información explicada es uno de los estándares más conocidos para la ubicación de los electrodos.

Gráfico 3. Ubicación de los electrodos



Fuente: Hassan Alnemari (2017).

Se tiene en cuenta, cual, es el lóbulo del que se desea extraer la señal para conectar los electrodos. En el siguiente cuadro se muestra el nombre de los lóbulos y la letra que representa cada uno de ellos, debido a que muchos autores utilizan esta nomenclatura.

Cuadro 4. Lóbulo cerebral y letra asignada al electrodo

Electrodo	Lóbulo
F	Frontal
T	Temporal
C	Central
P	Parcial
O	Occipital
A	Lóbulo de oreja

Fuente: Adaptado de Hassan Alnemari (2017).

Al combinar los diferentes tipos de BCI se determinan las ubicaciones de los sensores EEG, además del conocimiento de la fisonomía del cerebro sus partes y funcionamiento, se puede empezar a tener una noción de qué tipo de señal usar para elaborar el sistema que desea crear.

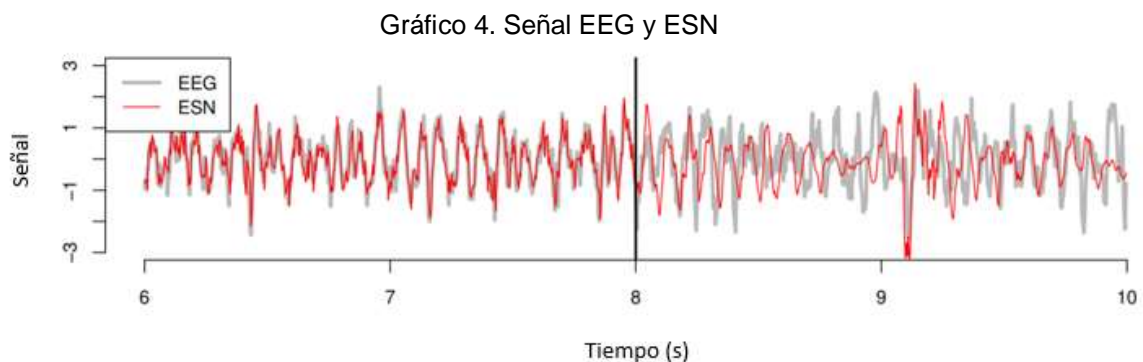
La colocación de los electrodos depende del sistema que se utiliza para ubicar los puntos específicos, en los cuales, se extraen las señales, por eso mientras más puntos de extracción se utilizan mejora la calidad de ondas conseguidas del usuario.

Modelado y pronóstico de señales EEG

Una de la forma, en las cuales, se controlan las ondas EEG es por medio de una arquitectura de red recurrente rápida y potente conocida como Redes de echo de estados o *Echo State Networks* (ESN), (Forney, Anderson, Gavin, & Davies, 2013).

Los ESN son capaces de modelar con precisión las señales EEG. Esto se hace por medio de entrenamiento a un ESN para que pronostique una señal de EEG para dar un paso adelante en el tiempo, con solo el valor de la señal como entrada. Cuando se aplica a una señal EEG de 8 canales con una frecuencia de muestreo de 256 Hz y un ancho de banda de 4–100 Hz, esta técnica logra un error cuadrático medio tan bajo como el 7% del rango de la señal.

En el gráfico 4 se muestra de forma visual como el ESN predice las señales EEG en 8 segundos, de esta forma se puede ver claramente que la señal ESN es similar al EEG.



Fuente: Adaptado de Forney, Anderson, Gavin, & Davies (2013)

Para respaldar la afirmación de que el ESN captura la dinámica del EEG, se coloca un circuito de retroalimentación desde las salidas a las entradas de un ESN capacitado para que produzca señales artificiales de forma autónoma. En el gráfico 4, se observa la transición de la previsión, antes de la marca de 8 segundos, a una señal autónoma, después de la marca de 8 segundos.

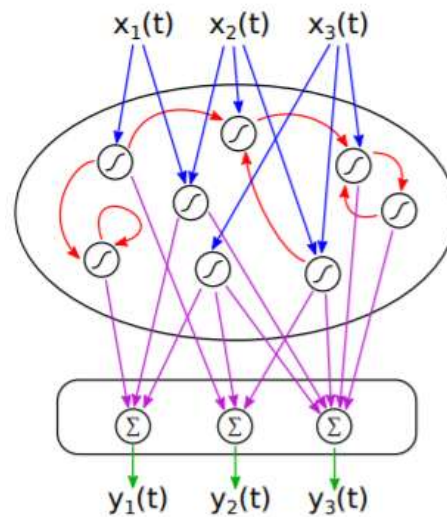
Estas señales autónomas tienen una dinámica rica que no es claramente periódica. Un análisis espectral confirma que contienen frecuencias transitorias que generalmente coinciden con las del EEG subyacente. La arquitectura ESN tiene grandes ventajas para corregir posibles fallos de sistemas BCI, debido a que el sistema se anticipa a las ondas EEG que son producidas por el usuario, y mejorar el control del sistema.

Arquitectura

Los ESN tienen una arquitectura de dos capas. La primera capa, denominada reservorio, consiste en neuronas artificiales con funciones de transferencia sigmoideal. Las neuronas en el reservorio tienen conexiones ponderadas desde las entradas de la red, así como conexiones recurrentes ponderadas con un solo retardo de paso de tiempo. La segunda capa, denominada lectura, consta de neuronas con conexiones de alimentación directa y funciones de transferencia lineal, (Elliott M, y otros, 2015).

Esta arquitectura ESN es muy utilizada y fácil de comprender, en comparación a otras arquitecturas que son más complejas, pero cada onda a captar tiene que ser analizada y controlada de forma individual, por lo que controlar demasiadas ondas es complejo para gestionar todas ellas aumenta la dificultad. A continuación, en el gráfico 5 se muestra la forma en como está estructurada la red neuronal anteriormente mencionada.

Gráfico 5. Red neuronal



Fuente: Elliott M, y otros (2015)

Con base a lo explicado anteriormente se identifica que las señales que son enviadas por el usuario, tienen que ser controladas por un sistema de red neuronal, el cual, permite el control de las ondas ingresadas para el desarrollo del sistema BCI.

Otra arquitectura usada es el Análisis Discriminante Lineal o *Linear Discriminant Analysis* (LDA) es un método para encontrar una combinación lineal de características, de manera que dos (o más clases) estén separadas idealmente en términos de esas características. Visualmente, se imagina trazar una línea sobre, la cual, se proyectan los elementos de las clases. LDA encuentra la línea que logra la mejor separación posible entre las clases en esa línea. (Patrick, 2015).

CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

Este capítulo se divide en dos partes: la primera, describe la metodología, además del enfoque y el tipo de investigación, a su vez muestra su aplicación durante el proceso de desarrollo del trabajo. La segunda describe la metodología de desarrollo del sistema propuesto, sus fases con la descripción de cada una de ellas.

2.1. Tipo de investigación

Análisis-síntesis

El análisis y la síntesis se aplican a cosas y a conceptos. En el análisis se ve el acenso de las causas y efectos, a diferencia de que la síntesis se ve el descenso de las causas y efectos, (Palacios, 2005). Se utilizó esta herramienta para comprobar si el proyecto cumple con la solución del problema mencionado.

Método inductivo-deductivo

Este método de investigación se basa en la forma de razonamiento de casos particulares y comunes a forma general, para de esta manera llegar a una conclusión, (Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto, 2017). Por consiguiente, con este método se analizó la información de sistemas BCI y todo lo que contiene.

2.2. Enfoque de la investigación

Cualitativo

Tiene un enfoque metodológico y epistemológica con un orden descriptivo orientado a estructuras teóricas dado el origen y el objetivo de la investigación, (Tamayo & Tamayo, 2004). De esta forma, se recolecto la información necesaria para el desarrollo del sistema propuesto, se cumplió con los objetivos del proyecto.

Entrevista

Se la define como una técnica cualitativa de información, persigue un objetivo definido, (Ildefonso Grande & Elena Abascal, 2017). De esta forma se pudo obtener información de un desarrollador de Ecuador en cuanto a los sistemas BCI, ver anexo 1.

2.3. Metodo teórico

Busqueda bibliográfica

Es resolver una duda o preguntado de forma documental y limitada a la busqueda, (Amezcuca, 2015). Con base a lo dicho anteriormente, se realizó la busqueda de articulos científicos y libros en sitios web como Scielo, ResearchGate, Latindex, Google académico, a demas de bibliotecas físicas y en la página web de *NeuroSky*.

Metodo empirico

Se refiere a la experiencia, la cual, se obtiene a través de los cinco sentidos desde la observación de objetos y fenómenos como en la experimentación o manipulación física, (Klaus, 2003). Por consiguiente, con este metodo se relizó la experimentación de proyecto.

Observacion

Permite obtener datos además de identificar al problema a estudiar, y es una de las principales bases de la investigación científicas, (Ibáñez Peinado, 2015). Con los indicado anteriormete se pudo observar en ferias de tecnología nacionales e internacionales estos sistemas BCI con diferentes funciones unos más complejos que otros y aunque tiene un gran potencial su desarrollo es poco explotado.

2.4. Resultado de la entrevista

La entrevista se la realizo a una sola perosna debido a la dificultad de encontrar a desarrolladores de esta tecnologia, el Ing. Angel Yaguana es la unica persona que contesto a la entrevista.

- **¿Conoce usted equipos para extraer señales neuronales?**

Entre los dispositivos comerciales se conocen los dispositivos de emotiv, neurosky y openeeg, existen además los dispositivos desarrollados en universidades de medicina, estos dispositivos no son comerciales.

- **¿Cuáles son los costos referenciales de los equipos para extraer señales neuronales?**

Entre los 200 a 5000 dólares americanos o más, depende de las características del dispositivo y los sensores de captación de señales.

- **¿Conoce los tipos de señales neuronales que se extraen en el cerebro?**

Electroencefalografías, resonancias electromagnéticas, entre otras.

- **¿Qué tipos de señales normalmente son captadas por los dispositivos mencionados anteriormente?**

Comúnmente señales EEG, pero los experimentales hechos en universidades de medicina o de bioingeniería utilizan señales más eficientes.

- **¿Qué tipos de aplicaciones puede darse al conectar el cerebro a un computador?**

Las aplicaciones que se realizan en este campo por lo general son para controlar mouse o teclados virtuales y también el control de dispositivos externos como sillas de ruedas, drones, brazos robóticos entre otros.

- **¿Considera usted que las señales captadas por los dispositivos pueden ser utilizados para conectarse con un computador?**

Si, como se menciono anteriormente.

- **¿Conoce usted que es la interfaz cerebro computador?; ¿Puede describirlas?**

Es la conexión de las señales del cerebro por medio de un computador para controlar un dispositivo.

- **¿Para hacer una aplicación cerebro computador que condiciones son necesarias respecto a las señales que se toman?**

Identificar lo que se va a controlar, los tipos de ondas, los estímulos que se va a utilizar y los estados emocionales.

- **¿Qué características debería tener un programa de computador que permita el entrenamiento de las señales neuronales?**

Por medio de estímulos el ser humano puede aprender a controlar los estados emocionales, tiene que interactuar de forma fácil con el programa.

- **¿Con una conexión adecuada entre cerebro computador que aplicaciones se pueden realizar?**

La aplicación que se realizan es para personas con discapacidad, aunque el campo de acción esta totalmente abierto por lo que es una tecnología novedosa y poco explotada.

- **¿Qué tan importante considera usted tener un manual o guía del funcionamiento del sistema informatizado cerebro computador anteriormente mencionado?**

Con un manual adecuado puede hacer que cualquier persona sea capaz de utilizar el programa de una forma fácil, y pueda aprender a controlarlo de forma adecuada.

Diagnóstico

Con los datos recopilados de la entrevista se pudo identificar que el desarrollo de esta tecnología es posible, debido a los diferentes tipos de señales a captar y de dispositivos existentes en el mercado. Otro factor a tomar en cuenta son las diferentes aplicaciones que se utilizan con esta tecnología.

2.5. Metodología de desarrollo

Interfaz Cerebro Computador (BCI)

Una definición sencilla de los BCI es que tiene una entrada y de una a varias salidas, todo vinculado a un algoritmo que permite transformar las señales de entrada y arrojar los resultados necesarios.

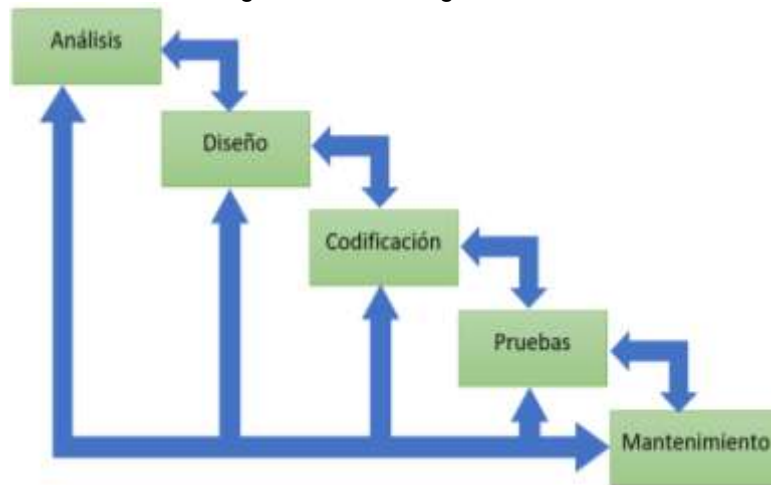
La entrada consiste en captar las señales del cerebro. El algoritmo de vínculo; de estas señales, varía por la necesidad del desarrollo, por lo cual, se utilizan ecuaciones lineales o no lineales, inteligencia artificial, entre otros. Y la salida serán de forma virtual y/o de forma física; como por ejemplo el control de un dispositivo electrónico, (Villegas, Lugo, R. Pacheco, & Villegas, 2008). Por ello es que el BCI no tiene una estructura rígida a seguir y se puede adaptar con otras metodologías que ayuden a su desarrollo.

Las fases BCI según Mason & Birch (2004) y Curto & Prades (2012) son:

- **Adquisición de señal:** Es captar las señales producidas por el usuario, las cuales, son recibidas por el sensor para su uso en el sistema.
- **Procesamiento de señal:** Las señales neuronales son amplificadas y digitalizadas, luego se procesan y filtran para conseguir ondas adecuadas para clasificarlas. El sistema desarrollado detecta la forma de ondas y el tipo onda exógena u endógena; otra función que realiza es corregir fallas en la onda captada.
- **Aplicación:** Es el programa informático que muestra la salida del sistema BCI. Esta salida se representa a través de medios informáticos tradicionales en un computador, o interpretado por dispositivos electrónicos micro programados que transforman la señal digital en analógica (movimiento, sonido, luz, entre otros).

Para esta fase se utiliza también, la metodología de desarrollo de *software* cascada, la que está diseñada de forma secuencial. Para continuar entre fases se tiene que haber terminado la fase anterior, pero en caso de que se encuentre con un error en la fase anterior se retrocede para corregir el error y continuar con su avance, (Cabot Sagrera, 2013). Con esta metodología se obtuvo un producto, el cual, cumple con el objetivo principal de la investigación. Entre las fases de la metodología cascada consta el análisis, diseño, codificación, pruebas, mantenimiento (figura 8).

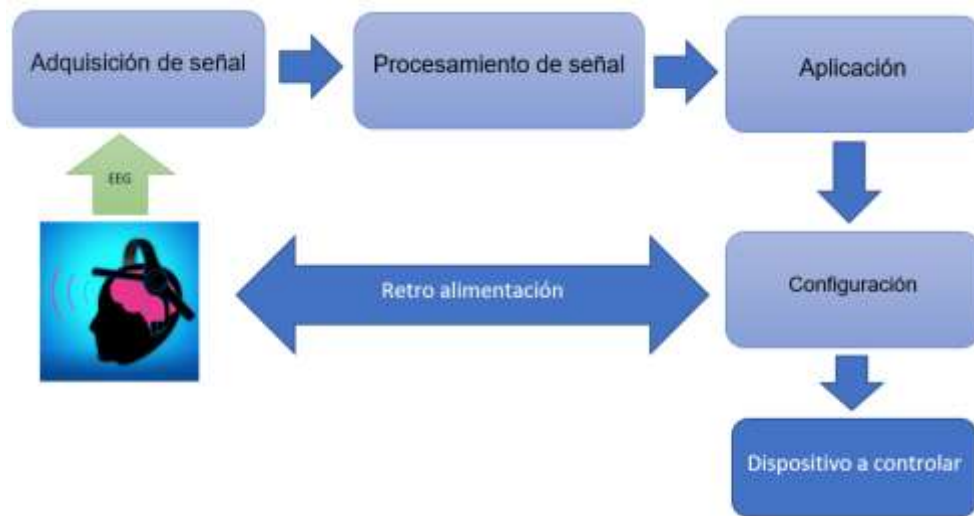
Figura 8. Metodología cascada



Fuente: Cabot Sagrera (2013).

Configuración: En esta etapa se considera el entrenamiento del usuario para controlar el sistema, por medio de la clasificación de las señales cerebrales. Este trabajo se lo realiza a través de los patrones de las señales que determinan un estado particular del sujeto, como son: atención o meditación. La figura 9 muestra una representación gráfica en bloque del funcionamiento de las fases BCI.

Figura 9. Sistema en bloque de BCI



Fuente: elaboración propia

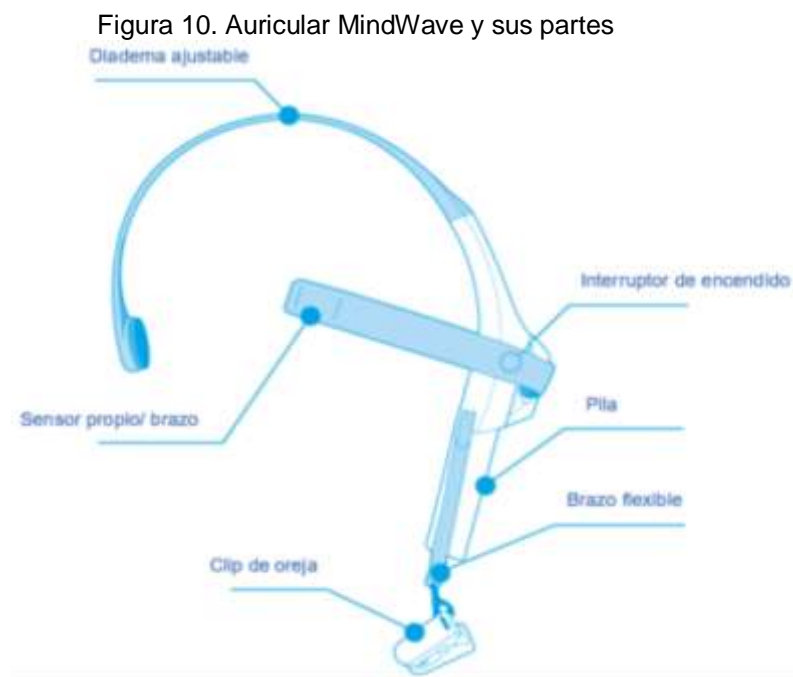
CAPÍTULO III. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos a través de la aplicación de la metodología BCI, para la solución del problema; y de la metodología de desarrollo de *software* de cascada para el sistema propuesto.

3.1. Fase I: Adquisición de señal

MindWave

Para la captación de las señales producidas por el cerebro del usuario se utilizó el auricular *MindWave* de *NeuroSky*, que es un sensor que capta las señales delta, theta, alfa, beta y gamma las que son enviadas por medio de Bluetooth al computador (NeuroSky D. , 2014), el auricular *MindWave* se utilizó como receptor de señal. La figura 10 muestra el auricular *MindWave* con sus partes correspondientes.



Fuente: NeuroSky (2011)

Los valores de la onda sin procesar son de 128Hz o 512Hz, las métricas de las ondas son pobres (NeuroSky D. , 2014), en comparación a otros dispositivos neurológicos de

características similares, pero de costos muy elevados. La luz led del *MindWave* tiene dos colores, azul y rojo depende del color el auricular indica algunos estados se muestran en el cuadro 5:

Cuadro 5. Luz del MindWave

Color de luz	Parpadeo	<i>MindWave</i> Estado
Apagado		Apagado
Rojo	No	Encendido, pero sin conexión
Azul	No	Encendido y conectado
Rojo o azul	Si	Pila baja de energía

Fuente: tomado a partir de (NeuroSky, 2011)

Este dispositivo tiene una gran facilidad al uso, al ser un auricular, permite mantener el sensor adecuadamente colocado en la frente del usuario, la almohadilla cerca de la pila se coloca detrás de la oreja. Además que, el auricular tiene un circuito integrado pequeño que permite procesar todos los datos. Los sensores *ThinkGear* operan una gran gama de personas extremadamente amplia de condiciones personales y ambientales (Neurosky, 2017).

3.2. Fase II: Procesamiento de señales

Medidor eSense

Según (Neurosky, 2017), para los diferentes tipos de mediciones de atención y meditación se utilizan valores que están en el rango 1 hasta 100 Hz, el sensor *ThinkGear* determina valores neutrales entre 40 hasta 60 Hz, los valores ligeramente elevados entre son entre 60 hasta 80 Hz y valores entre 80 a 100 Hz se consideran elevados.

Los valores que no se han mencionado están al otro extremo de la escala entre 20 a 40 Hz son niveles reducidos y de 1 a 20 Hz son niveles muy bajos, estos niveles se producen por estados de distracción agitación o anormalidad, todo lo opuesto de la atención y meditación. El valor 0 es un valor especial que indica que el *ThinkGear* no

calcula los niveles de atención y meditación ocasionado por ruido o interferencia de la señal.

El motivo del amplio margen en las señales medias es debido al algoritmo de adaptación lenta que se ajusta a los flujos de tensiones naturales del usuario, se tiene presente que las EEG del ser humano están sujetas a variación y fluctuación. Para efecto de esta investigación, se utiliza los rangos más comunes, que se han expuesto anteriormente, sin embargo, para estudios más detallados de las señales EEG (estudios de orden clínico) se recomienda modificar el rango de referencia para que se ajuste a cada necesidad.

Atención eSense

Indica un estado de atención o enfoque del usuario, el cual, es convertido en bytes, este estado ocurre durante la concentración intensa y la actividad mental dirigida pero estable. La falta de concentración o la ansiedad produce una baja señal de este estado mental, según (Neurosky, 2017).

Meditación eSense

Este medidor indica un estado de calma o relajación, este estado mental no tiene relación con el cuerpo, por lo que relajar los músculos del cuerpo no producen un buen nivel de meditación, pero para algunas personas al relajar los músculos cuerpo les ayuda a lograr un estado de relajación, otra forma de ayudar a lograr la meditación es cerrar los ojos, esto ayuda a reducir las actividades en el cerebro lo que está relacionada la meditación. Las distracciones, los pensamientos errantes y los estímulos externos, son formas que reduce la meditación (Neurosky, 2017).

Control *ThinkGear*

Este servicio que permite la comunicación entre el dispositivo *ThinkGear* y el *MindWave* que está conectado al computador. Se ejecuta en segundo plano no interfiere con el funcionamiento del computador y mantiene abierto un *socket*, para recibir información del dispositivo *ThinkGear* conectado. De esta forma se utiliza en diversos lenguajes de programación como ActionScript3 de Flash y otros lenguajes de scripting.

El programa *ThinkGear* se instala en múltiples equipos, pero para el desarrollo de este trabajo de investigación, se utilizó el instalador para computador, el cual, sirve para *Windows* y *Mac*, según (NeuroSky, 2011). En la tabla 2 se muestran los requisitos mínimos para instalar el *ThinkGear*.

Tabla 2. Requisitos mínimos

	Windows	Mac
Sistema Operativo	<i>Windows Vista/7/8/8.1/10</i>	<i>Mac OS X 10.5.8 or later</i>
Procesador	CoreDuo o superior	
Memoria	1GB o más	
Video	DirectX 9.0 o superior	Intel GMA900 o superior
Hard disk	1 GB de espacio del disco libre	
USB	Un puerto USB disponible	

Fuente: tomado a partir de (NeuroSky, 2011).

SDK

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el lenguaje de desarrollo C# en *Microsoft Visual Studio Community 2017* y el Kit de Desarrollo de Software o *Software Development Kit* (SDK) según sus siglas en inglés, el que se descargó de la página oficial de *NeuroSky*.

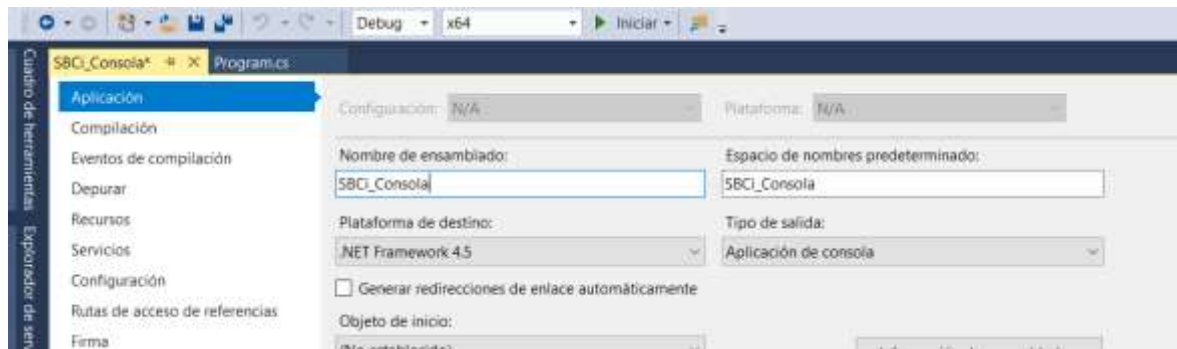
Para la instalación y configuración del entorno de desarrollo se realizaron los siguientes pasos:

- Se creó y configuró el proyecto nuevo en *Visual Studio*.
- Se realizó la instalación de las librerías.
- Se realizó un código para probar la conexión y uso de las librerías.

Creación del proyecto

Se crea un nuevo proyecto en C# en modo consola, en la plataforma de destino se utilizó *.Net Framework 4.5* y en la plataforma de compilación se configuró a x64, según como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Creación y configuración de proyecto C#

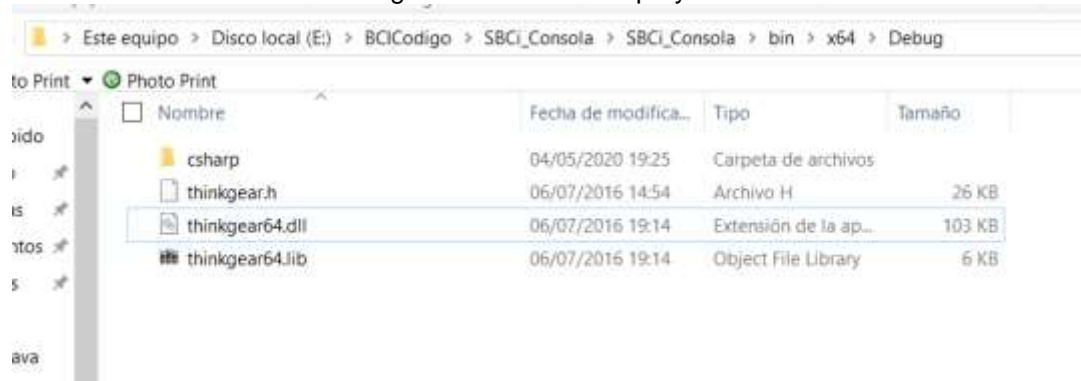


Fuente: elaboración propia.

Instalación Librería

Del paquete *Windows Developer Tools 3.2* se utilizó el paquete de librerías *Stream SDK for PC*, las librerías utilizadas están en la carpeta x64; se copian todos los archivos de la carpeta y se pegan en la dirección `Capetadelproyecto\Nombredelproyecto\bin\x64\Debug`, como se muestra en la siguiente figura 12.

Figura 12. Librería del proyecto C#

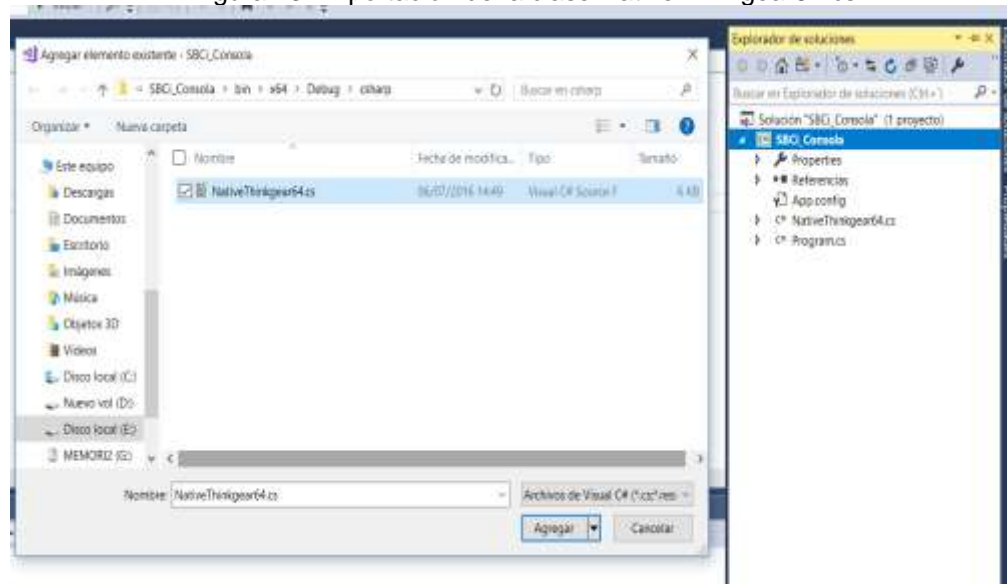


Fuente: elaboración propia.

Código de prueba

Antes de utilizar las librerías se tiene que agregar la clase *NativeThinkgear64.cs*, para hacer eso, en la ventana Explorador de Soluciones del proyecto se pulsa clic derecho en el nombre del proyecto, se dirige a agregar y con botón izquierdo se selecciona la opción Elemento existente; se dirige a la ruta \bin\x64\Debug mencionada anteriormente e ingresa a la carpeta *csharp*, con el botón izquierdo da un clic en *NativeThinkgear64.cs* y con el botón izquierdo da un clic en Agregar, con se muestra en la siguiente 18.

Figura 13. Importación de la clase NativeThinkgear64.cs



Fuente: elaboración propia.

Para empezar con la programación se tiene que llamar las librerías *using System.Threading.Tasks;* y *using libStreamSDK;* A continuación, se muestra fragmentos de código que se utilizó para las pruebas de la conexión entre el dispositivo auricular *MindWave* y el programa de prueba de conexión.

Para leer la versión del controlador

Para usar la librería entregada por el *SDK* de *NeuroSky* se lo utiliza por medio de una clase.

- */* llamado de la clase NativeThinkgear*/*
NativeThinkgear thinkgear = new NativeThinkgear();

Se visualiza la versión de controlador del que se utiliza para la conexión entre el sensor y la librería que se utiliza.

- */*Imprime el numero de la versión del controlador */*
Console.WriteLine("Version: " + NativeThinkgear.TG_GetVersion());

Para obtener el identificador de conexión

El identificador de conexión se utiliza conexión de la librería y el sensor.

- */*Obtener un identificador de conexión para ThinkGear */*
int
idconexion=NativeThinkgear.TG_GetNewConnectionId();Console.WriteLine("I
ddeConexió:"+idconexion);

Conexión y puerto serial

El sensor utiliza un puerto serial tipo COM para conectar y recibir las señales enviadas por el cerebro.

- ```

int CodError = 0;
.....
/*Identificador de conexión a puerto serial COM##*/
string NombrePuertoSerial = "COM4";
CodError = NativeThinkgear.TG_Connect(idconexion,
NombrePuertoSerial,
NativeThinkgear.Baudrate.TG_BAUD_57600,
NativeThinkgear.SerialDataFormat.TG_STREAM_PACKETS);
.....

```

En la figura 14 se muestra la pantalla del código que se realizó para probar la conexión y visualizar la señal ingresada.

Figura 14. Imagen de pantalla del código

```

E:\SBCICodigo\SBCI_Console\SBCI_Console\bin\yel4\Debug\SBCI_Console.exe
Version: 3
Id de Conexión: 0
Codigo de TG_SetStreamLog : 0
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: 564
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: -35
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: -322
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: -418
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: -489
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: 505
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: 1208
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: -545
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: -258
TG_ReadPackets retorna: 1
Nueva fila de valor: 729

Comienzo de la prueba de lectura automática:
04:05_setFilterType llamada:0
Se detuvo el auto test 0
Pulse una tecla para salir.

```

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Fase III: Aplicación**

En esta fase se aplicó la metodología de desarrollo de *software* cascada para la creación del programa y cumplir con el objetivo del proyecto.

### **3.4. Fase I: Análisis de requisitos**

#### **Resultados de las entrevistas**

Mediante la entrevista realiza a un desarrollador de BCI, se identificó que los dispositivos para la extracción de señales neuronales que se encuentra de forma comercial usan señales electroencefalográficas, y el costo de dichos dispositivos varían por las características y la cantidad de señales que extrae, otro motivo es el paquete de desarrollo que es de pago o libre.

Se identificó que las señales captadas se usan para controlar dispositivos externos como sillas de ruedas, luces, drones, brazos robóticos entre otros; además de entornos virtuales como teclados, mouse, personajes de videojuegos y demás; todo depende de las cantidades de las señales que se captan y de la preparación del usuario para usar el sistema BCI.

#### **Requisitos según el estándar IEEE830**

- **Introducción**

Para especificar y documentar los requerimientos del sistema se utilizó el estándar IEEE830 para el desarrollo del proyecto: Sistema para la integración de una Interfaz Cerebro-Computador.

- **Propósito**

El fin de este documento es explicar los requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema, se cumplió con el objetivo principal del proyecto.

- **Ámbito del sistema**

El sistema se llama SBCi, el mismo que tiene las siguientes funciones:

- Funciones que realiza el sistema:
  - Permite la conexión del sensor que capta las señales del cerebro y las envía a la computadora.
  - Capta la señal de meditación y concentración.
  - Permite el entrenamiento del Usuario.
  - Envía las señales captadas al dispositivo externo por USB.
  
- Funciones que no realiza el sistema:
  - Si la señal a controlar es baja el dispositivo externo no realiza ninguna acción.
  - El sistema solo controla el dispositivo externo en forma bidireccional.
  - Solo se usan las señales que el dispositivo *MindWave* capta.

- **Descripción General**

### **Perspectiva del Producto**

El sistema informatizado permite la interacción de las señales producidas por el cerebro por medio de un sensor a un dispositivo externo, para el control con las señales captadas.

## **Funciones del Producto**

El sistema informatizado recibe las señales captadas por el sensor de *NeuroSky*, las señales son clasificadas y enviadas al controlador que permite acoplar las señales enviadas del computador al dispositivo externo.

El entrenador que tiene el sistema le permite al usuario aprender a controlar los estados mentales por medio de estímulos visuales, los que sirven como retroalimentación.

## **Características de los usuarios**

Debido a que el sistema informatizado se lo desarrolló desde cero con información de la empresa *NeuroSky* e información documental investigada, el usuario no tiene que tener problemas del sistema nervioso o alguna discapacidad que afecte la actividad cerebral.

## **Requerimientos**

Se necesita un sistema operativo *Windows* 8 o 10 de una arquitectura de 64 bits, bluetooth, puerto USB.

## **Suposiciones y Dependencias**

Para el funcionamiento correcto del sistema se utiliza el auricular *MindWave* 1.5.

## **Interfaces Externas**

El sistema para su funcionamiento cuenta de tres formularios, el formulario principal muestra las características básicas de la conexión de la librería *ThinkGear* con el auricular *MindWave* y confirma si existe conexión. Tiene un área para visualizar una

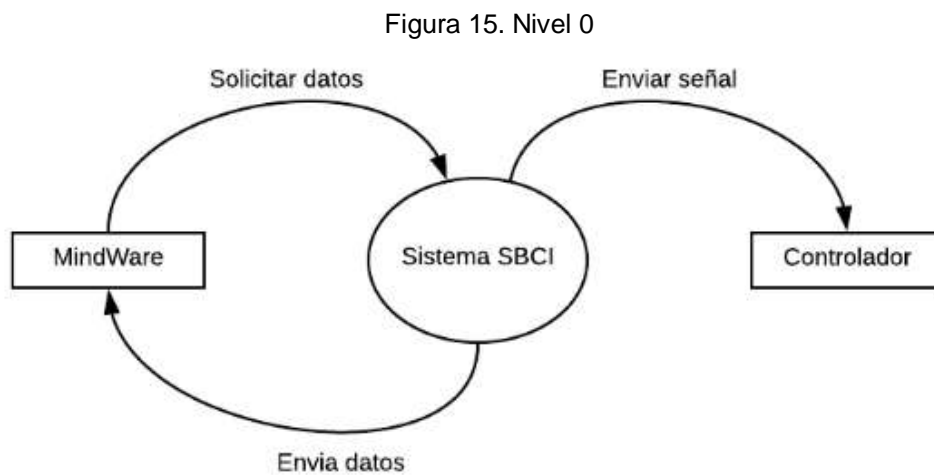
prueba sencilla de lectura de señales neuronales. En el segundo formulario se escoge el tipo de estado mental a entrenar se visualiza por una barra de progreso si la señal es buena o mala para clasificar las señales se usa la métrica *eSence* de *NeuroSky*.

El formulario del controlador identifica las ondas y envía las señales por USB al dispositivo que actúa como decodificador de digital a analógico para el control del dispositivo externo.

### 3.5. Fase II: Diseño del sistema

#### Modelado DFD

#### Nivel 0



Fuente: elaboración propia.

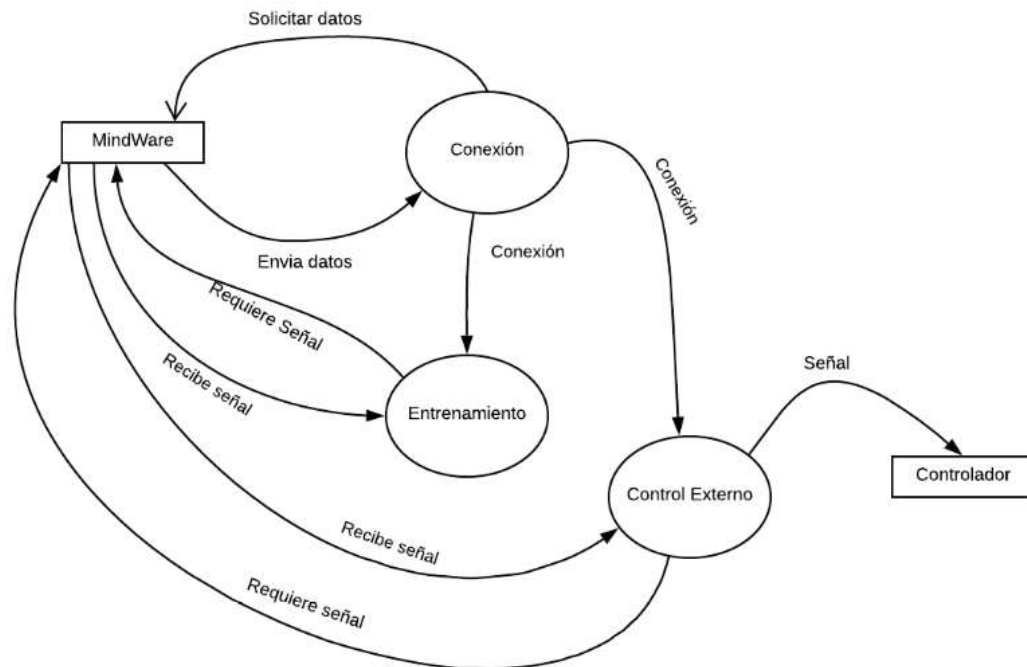
Funcionamiento Nivel 0:

- *MindWave* es el sensor envía datos solicitados.
- Sistema SBCI se encarga de la conexión del *MindWave* y el controlador del dispositivo externo.

- Controlador permite decodificar la información del sistema y el dispositivo externo.

## Nivel 1

Figura 16. Nivel 1



Fuente: elaboración propia.

### Funcionamiento Nivel1:

- Conexión devuelve la variable de conexión y lo envía a los otros formularios.
- Entrenamiento recibe las señales neuronales y la conexión y por medio de forma visual se demuestra la onda.
- Control Externo recibe las señales neuronales y la conexión. Las señales son recibidas se envían al controlador para usar el dispositivo externo.

## Diseño Interfaz

### Pantalla Conexión

En la parte superior se encuentra un menú con cuatro opciones; la primera carga el formulario de Conexión, la segunda carga el formulario de Entrenamiento, la tercera carga el formulario del Control Externo y el último formulario Acerca de muestra datos del desarrollo.

En el formulario la parte superior izquierda se ubica un grupo de texto, que muestra la versión, el identificador de conexión, registro de secuencia, número de datos, además de dos *combobox* que tienen los puertos *COM* para que el usuario escoja y en caso de un error de conexión muestra el error y en caso contrario se visualiza el mensaje de Conexión correcta.

En la parte inferior izquierda se visualiza una imagen con una x en caso de existir error, por el contrario, se visualiza un visto en caso de conexión exitosa.

En el lado derecho superior del formulario existe un listado de las 10 últimas ondas captadas por el sensor *MindWave*. Este listado se visualiza cuando se da clic en el botón inferior Leer, el botón inferior Conectar realiza la conexión entre el sensor y el programa. En la figura 17, se muestra de forma visual el formulario de conexión.

Figura 17. Formulario de conexión

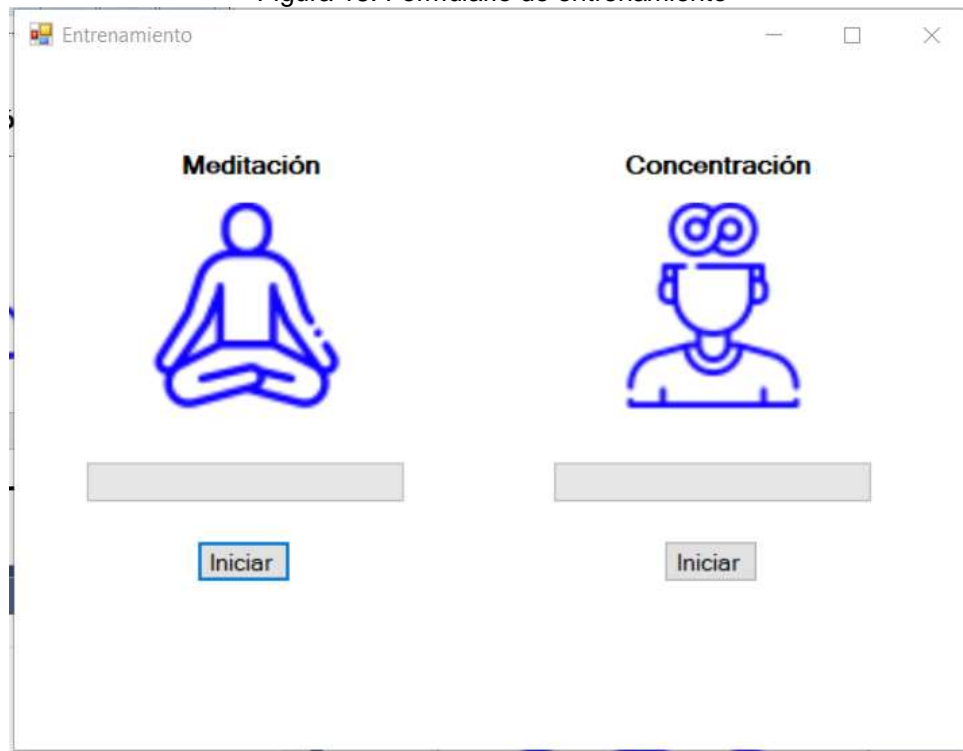


Fuente: elaboración propia.

## Pantalla de Entrenamiento

En la parte central izquierda, se visualiza la sección de meditación, con el título respectivo más abajo una imagen representativa, una barra de progreso que se visualiza la lectura de la meditación del usuario, se suma o resta, depende del flujo de las ondas captadas, de la misma forma el lado derecho, pero con la onda de concentración.

Figura 18. Formulario de entrenamiento



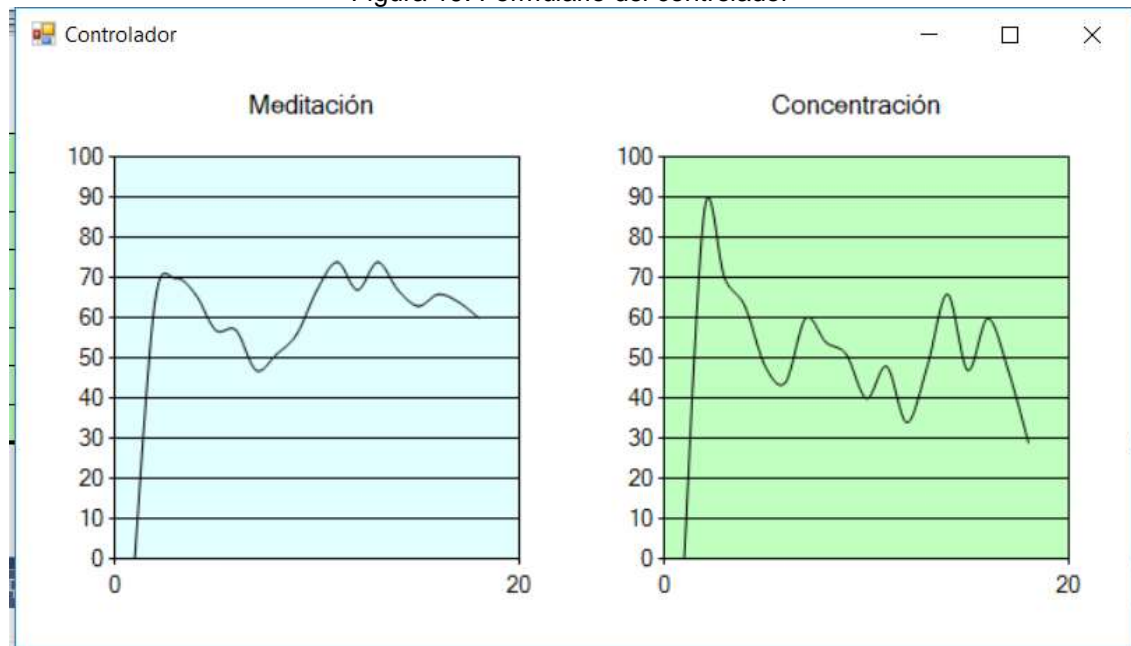
The image shows a software window titled "Entrenamiento" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window is divided into two main sections. The left section is labeled "Meditación" and contains a blue line-art icon of a person sitting in a meditative lotus position. Below the icon is a grey rectangular bar and a blue "Iniciar" button. The right section is labeled "Concentración" and contains a blue line-art icon of a person's head with two circular symbols above it, representing concentration. Below the icon is a grey rectangular bar and a grey "Iniciar" button.

Fuente: elaboración propia.

### **Pantalla de conexión**

En este formulario se muestra en la parte central izquierda la señal de meditación en forma visual y en lado derecho la concentración, los dos gráficos de las señales se visualizan al momento.

Figura 19. Formulario del controlador



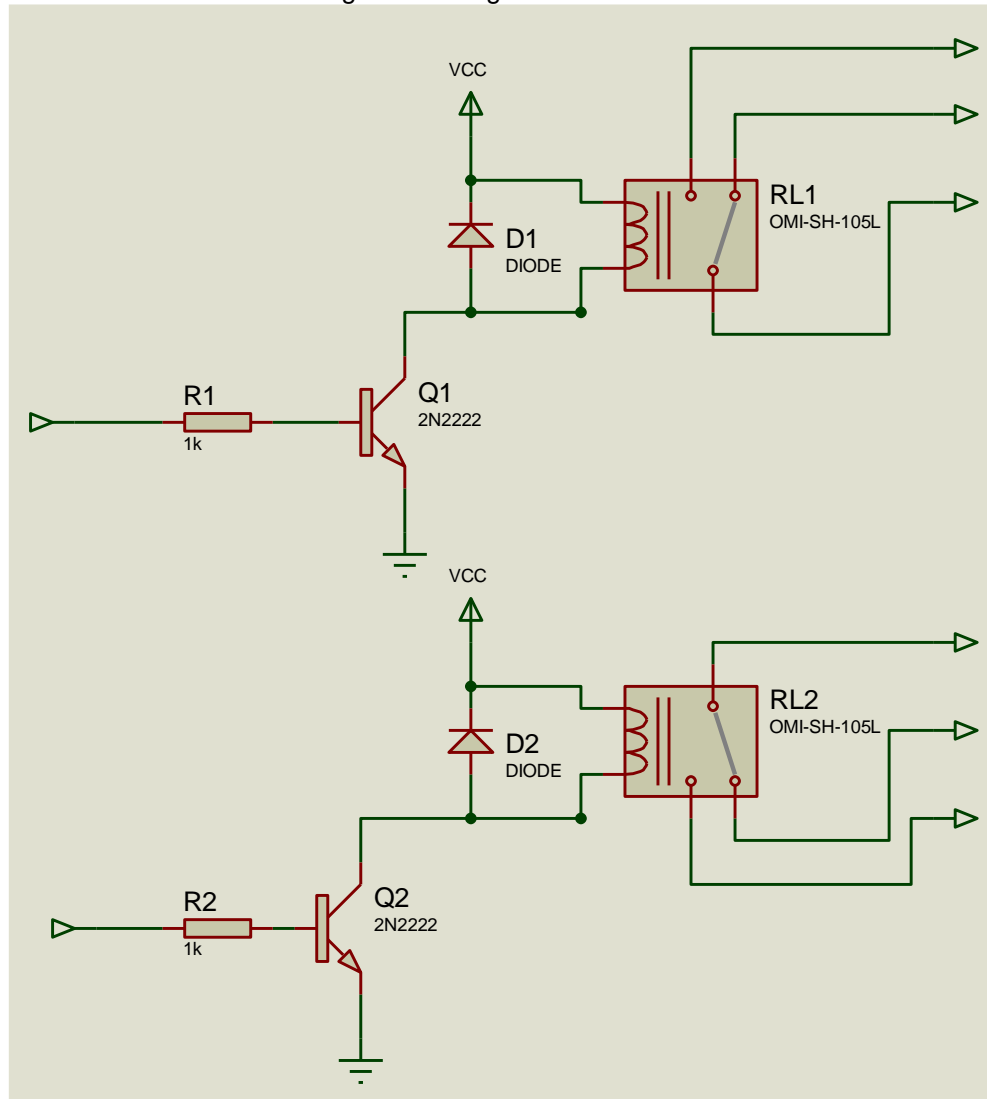
Fuente: elaboración propia.

## Diseño del hardware

### Diagrama del circuito

Las dos entradas digitales que son recibidas por la tarjeta *Arduino One*, en cada línea de entrada tiene un indicador de conexión de señal compuesto por una resistencia, para la salida de cada línea se usa un *relay* de 5 voltios, para acoplar la señal con el *relay* usa una resistencia, un transistor y un diodo rectificador; los *relays* tienen una salida común y una salida abierta.

Figura 20. Diagrama de circuito

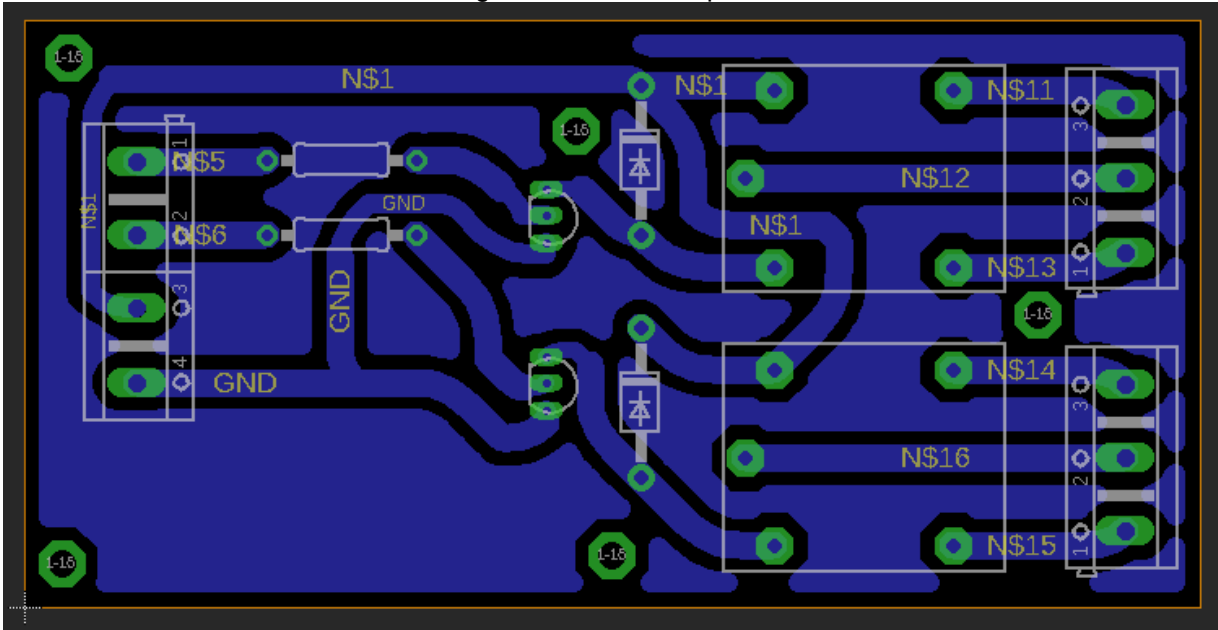


Fuente: elaboración propia.

### Diseño de circuito

El circuito está diseñado en una capa, con dos terminales de entrada de señal uno para la meditación y otro para la concentración, los otros dos terminales de entrada son para el voltaje positivo y negativo del circuito. La salida se compone de 3 terminales de salida por cada *relay*, para permitir una facilidad de conexión depende de la necesidad que es requerida en ese momento.

Figura 21. Diseño de placa



Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Fase III: Codificación

#### Código en *Visual Studio C#*

Para la lectura de los estados mentales producidas por el cerebro se usa la línea de código `NativeThinkgear.TG_ReadPackets(idconexion, 1)`, lee el número de paquete a recibir, de esta forma se identifica que tipo de señal se utiliza. Para una señal que no necesita un procesamiento especial se usa un 1. En caso de que devuelva 1 se indica que el paquete se pudo leer.

La siguiente línea de código `NativeThinkgear.TG_GetValueStatus(idconexion, NativeThinkgear.DataType.TG_DATA_RAW)` sirve para actualizar la lectura de los datos del sensor. En caso de ser diferente de 0 actualiza el dato de lectura de la señal, la siguiente línea de código `NativeThinkgear.TG_GetValue(idconexion, NativeThinkgear.DataType.TG_DATA_RAW)` devuelve el valor de la señal leída.

El dato *idconexion* es el identificador de una conexión válida, indicado en la fase adquisición de señal. El comando *DataType* se usa para identificar el tipo señal, el tipo *TG\_DATA\_RAW* pide señales sin identificar de manera brusca, es el tipo de señal que se usa en el proyecto para indicar la conexión.

A continuación, se muestra el código indicado.

- ```

while (PaqueteLeidos < 20)
{
  /*Intenta leer un paquete de datos de la conexión*/
  CodLeer = NativeThinkgear.TG_ReadPackets(idconexion, 1);
  /*Si fue capaz de leer un paquete completo de datos TG_ReadPackets()*/
  if (CodLeer == 1)
  {
    PaqueteLeidos++;
    /*si la señal se actualizado*/
    if(NativeThinkgear.TG_GetValueStatus(idconexion,NativeThinkgear.DataType
    TG_DATA_RAW) != 0)
    {
      /*Obtenga e imprima el valor de la señal actualizado*/
      listBoxLectura.Items.Add(Convert.ToString((int)NativeThinkgear.TG_GetValue(
      idconexion, NativeThinkgear.DataType.TG_DATA_RAW)));
    }
  }
}

```

Para la lectura de las señales meditación y concentración se modifica la lectura del paquete 1 por -1, de esta forma, se indica que se utilizan todos los tipos de ondas, en el momento que se lee el paquete solo en caso de que devuelva valores mayores a 0 se indica que el paquete fue leído.

Para identificar el tipo de onda a leer se utiliza *DataType* seguido de *TG_DATA_MEDITATION* para la meditación y *TG_DATA_ATTENTION* para la atención.

Envío de dato de C# a *Arduino*

Primero se declara la clase *System.IO.Ports.SerialPort* con un nombre en este caso *Arduino*. Para configurar la comunicación se modifican parámetros como el *PortName*, *Baud Rate* y se abre el puerto con *Open*, como se muestra, a continuación.

- ```

public Controlador(int idconexion) {
 InitializeComponent();
 this.idconexion = idconexion;
 Arduino = new System.IO.Ports.SerialPort();
 Arduino.PortName = "COM5";
 Arduino.BaudRate = 9600;
 Arduino.Open();
}

```

Para el envío de un dato se usa la instrucción datos en forma de *Arduino.Write ("1")*, en medio de las comillas se indica el dato a enviar. Para el proyecto se envía datos en forma de caracteres.

## Código en *Arduino*

Para indicar la entrada de señal y la velocidad de sincronización se utiliza el comando *Serial.begin(9600)* el valor 9600 es el recomendado. El comando *Serial.available()>0* permite valorar si se recibe un dato del computador y se declara una variable de la siguiente forma *int MyCharacter=Serial.read()* para guardar el valor recibido del computador. A continuación, se muestra como esta implementado el código en el *Arduino*.

- ```

const int PIN_AT=13;
const int PIN_ME=12;
void setup() {
// put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600);
pinMode(PIN_AT,OUTPUT);
pinMode(PIN_ME,OUTPUT);
}
void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
if(Serial.available(>0)
{
int MyCharacter=Serial.read();
if(MyCharacter=='0')
{
digitalWrite(PIN_AT,LOW);
digitalWrite(PIN_ME,LOW);
}
Else
{
if(MyCharacter=='1')
{
digitalWrite(PIN_AT,HIGH);
digitalWrite(PIN_ME,LOW);
}
else
{
if(MyCharacter=='2')
{
digitalWrite(PIN_AT,LOW);
digitalWrite(PIN_ME,HIGH);
}
}
}
}
}
}

```

3.7. Fase III: Configuración

Para el correcto funcionamiento del *software* se tiene que configurar dos puertos COM, uno para la entrada de señal del sensor *MindWave* y otro para la salida del *software* y la entrada del *Arduino* uno.

También se configuró la métrica de las señales a controlar, en este caso como se mencionó anteriormente que se utilizó las métricas recomendadas por *NeuroSky* que se mencionaron anteriormente.

Validación

Para la validación del *Software* se utilizó el estándar de calidad ISO 9126, debido a que este estándar permite evaluar *software* con métricas, de esta forma se facilita realizar la evaluación de los *softwares*, (Macías Rivero, Victoria Guzmán, & Martínez Suárez, 2009). En la Tabla 3 se muestra los valores resultantes del estándar ISO 9126, basado en el documento del autor mencionado.

Tabla 3. Plantilla ISO 9126

Criterios	P. Máximo	P. Evaluado
Funcionalidad	10	8.6
Confiabilidad	10	10
Usabilidad	10	8
Eficiencia	10	8.5
Capacidad de mantenimiento	10	7
Portabilidad	10	9
Eficacia	10	5.9
Productividad	10	9
Satisfacción	10	10
Seguridad	10	4
Total	100	80

Fuente: elaboración propia

El valor resultante con la aplicación del estándar es de un 80 puntos se demuestra que el *software* es totalmente funcional.

Pruebas

Prueba de instalación

Para facilitar el uso del programa se decidió crear un ejecutable portable, de esa forma lo único que necesita es que el usuario cumpla con los requisitos que se indicaron anteriormente.

Prueba de funcionamiento del *software*

El programa se ejecutó de forma correcta sin ningún inconveniente, se probó el funcionamiento del sensor y la lectura de las ondas captadas por el sensor, además de probar las funcionalidades del programa.

Prueba del controlador

La última prueba que se realizó fue con el controlador para comprobar que el dispositivo externo en este caso un carro de control remoto funcione de forma correcta. La forma en cómo funciona el carro de control remoto depende de la manera en cómo se conecte, se mueve adelante cuando se concentra y retrocede cuando se desconcentra el usuario. En la figura 22 se muestra el funcionamiento del dispositivo externo.

Figura 22. Funcionamiento del dispositivo externo



Fuente: elaboración propia

En la figura 23 se muestra la conexión y el circuito del controlador para realizar las pruebas.

Figura 23. Circuito y conexión del controlador



Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

- La investigación en artículos científicos, tesis doctorales y de maestrías, libros e información encontrada en la página web de *NeuroSky* permitió la elaboración de los fundamentos teóricos que soportan los documentos fundamentales que se aplican a esta tesis. Entre los más importantes los estados mentales, frecuencia y voltaje de las señales neuronales, uso de librerías dinámicas del sensor *NeuroSky*, tipos de sensores para captar señales electroencefalográficas, estándar de ubicación de electrodos electroencefalográficos, definición y funcionamiento de la fisonomía y funcionamiento del cerebro y las neuronas.
- La arquitectura de sistema permite la integración de la Interfaz Cerebro-Computador, se relaciona con el código abierto que tiene *NeuroSky* y manual de referencia permitió la creación del sistema en C# al facilitar una serie de comandos para: a) La conexión del sensor *NeuroSky* con el computador; b) la captación de las señales electroencefalográficas con los estados mentales solicitados; c) identificador de las señales electroencefalográficas; d) la digitalización de las señales electroencefalográficas.
- La verificación de la funcionalidad en la aplicación, a través del control de un dispositivo externo con señales electroencefalográficas, se manifiesta en la variedad de ondas que son captadas por el sensor *NeuroSky*, se procesan a través de un algoritmo, que permite determinar dos estados mentales bien diferenciados; atención (aplicación voluntaria a una actividad mental) y meditación (aplicación voluntaria a un estado de calma y tranquilidad). Estos estados mentales se comparan con valores porcentuales; cuando superan el 60% el sistema envía una señal por el puerto serial para controlar las acciones de un dispositivo externo.
- La herramienta de desarrollo *Visual Studio C#* permite acoplar las librerías de *NeuroSky* con otras tecnologías como el manejo de la comunicación serial. La

utilización de un puerto de comunicación (COM) resulta de vital importancia para el envío de la información a una placa de hardware libre *Arduino*. El código almacenado en este dispositivo permite discriminar el carácter enviado desde el programa ejecutable y a su vez activar una salida digital específica, la cual, permite controlar un dispositivo electrónico externo.

- El concepto de interfaz humano computador resulta ser una línea de investigación que tiene una gran cantidad de aplicaciones prácticas. De forma particular el manejo de dispositivos con el uso de los estados mentales tienen aplicaciones que aún no han sido explorados en nuestro medio.
- La metodología aplicada en el desarrollo de este trabajo de investigación muestra ventajas significativas que combinada con metodologías de desarrollo *software* permite que el *software* desarrollado se adapte a las necesidades propias de un sistema Interfaz Humano Computador.

RECOMENDACIONES

- Al ser una tecnología de enfoque para adquirir información de expertos de la tecnología BCI y especialistas neurólogos especializados, se recomienda una exploración más profunda de las características de las señales cerebrales de forma que se determinen otros estados mentales que en este trabajo de investigación no se han explorado.
- Técnicamente una vez que una placa *Arduino* recibe una señal y es capaz de interpretarla digitalmente, cualquier dispositivo electrónico sería controlado por esta tecnología, se recomienda una investigación más profunda en los diversos tipos de dispositivos electrónicos a controlar como sillas de ruedas, drones, teclados, entre otros.
- Se recomienda analizar otros tipos de tarjetas de adquisición de datos y comunicación con un computador (*Raspberry*, FPGA, entre otros), de forma que se diversifique significativamente las aplicaciones de la tecnología estudiada.
- Modificar o utilizar el sistema informatizado desarrollado en esta investigación para darle otras aplicaciones específicas en diferentes ámbitos del quehacer humano.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Osuagwu, B. (2015). *Neurorehabilitation of hand functions using Brain Computer Interface. Tesis doctoral*. University of Glasgow, Glasgow. Obtenido de <http://theses.gla.ac.uk/7245/1/2015Osuagwuphd.pdf>
- Alvarez Herrera, P. (2017). *Influencia de la retroalimentación visual en el control de una interfaz cerebro computador mediante imaginación motora. Tesis de Magister*. Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima.
- Amezcuca, M. (2015). *La Búsqueda Bibliográfica en diez pasos*. Index de Enfermería, 1-2. doi:<http://dx.doi.org/10.4321/S1132-12962015000100028>
- Cabot Sagrera, J. (2013). *Ingeniería del software*. Barcelona: UOC.
- Castillo Garcia, J. F. (agosto de 2015). *Interfaz Cerebro Computador Adaptativa, basada en agentes software para la discriminación de cuatro tareas mentales*. Tesis doctoral. Cali: Universidad del Valle. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/10290>
- Curto, G., & Prades, R. (2012). *Aprendizaje y acceso a la red: la tecnología para los mayores*. Universitat Jaume I. doi: <http://dx.doi.org/10.6035/IIJornadasMayores>. 2012
- Elliott M, F., Charles W, A., William J, G., Patricia L, D., Marla C, R., & Brittany K, T. (2015). *Echo State Networks for Modeling and Classification of EEG Signals in Mental-Task Brain-Computer Interfaces*. Colorado State University, Colorado. Obtenido de http://www.cs.colostate.edu/eeg/publications/forney_techrep2015.pdf

Emotiv. (s.f.). *Develop with Emotiv*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://www.emotiv.com/developer/>

Escudero, E., Sánchez, J., Borrás, F., & Serrat, J. (2002). *Estructura y Función del cuerpo humano*. Madrid: McGraw-Hill.

Forney, E., Anderson, C., Gavin, W., & Davies, P. (2013). *A Stimulus-Free Brain-Computer Interface Using*. Colorado State University, Colorado. doi:10.3217/978-3-85125-260-6-148

García Quiroz, F., Villa Moreno, A., & Castaño Jaramillo, P. (mayo de 2007). *Interfaces neuronales y sistemas máquina-cerebro: fundamentos y aplicaciones. Revisión*. Revista Ingeniería Biomédica, 14-22. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rinbi/v1n1/v1n1a04.pdf>

García, M. (2015). *Diseño y control de un robot mediante cerebro-máquina usando la tecnología SSVEP. Tesis de doctoría*. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Gutiérrez-Martínez, J., Cantillo-Negrete, J., Cariño-Escobar, R., & Elías-Viñas, D. (Agosto de 2013). *Los sistemas de interfaz cerebro-computadora: una herramienta para apoyar la rehabilitación de pacientes con discapacidad motora*. Investigación en Discapacidad, 62-69.

Haberman, M. (2016). *Procesamiento de señales aplicado a dispositivos de ayuda para personas con discapacidades motoras (Tesis de doctorado)*. Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

Hassan Alnemari, M. (2017). *Integration of a Low Cost EEG Headset with The Internet of Thing Framework. Tesis de maestría*. University of California, Irvine, Irvine.

- Hornero, R., Corralejo, R., Álvarez, D., & Martín, L. (2013). *Diseño, desarrollo y evaluación de un sistema Brain Computer Interface (BCI) aplicado al control de dispositivos domóticos para mejorar la calidad de vida de las personas con graves discapacidad*. Trauma Fund MAPFRE, 117-125.
- Ibáñez Peinado, J. (2015). *Métodos, técnicas e instrumentos de la investigación criminológico*. Madrid: DYKINSON.
- Ildefonso Grande, E., & Elena Abascal, F. (2017). *Fundamentos y técnicas de investigación comercial*. Madrid: Esic editorial. Obtenido de [https:// books.google. es/ books? hl= es& lr= &id= zbaaDgAAQBAJ&oi= fnd&pg= PA19&dq= metodo+ de+ investigacion+ encuesta& ots= U1UK-QHLYh&sig= pQNkFqgo_ m8554hjTwUaBS4C7os#v=onepage&q=entrevista&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zbaaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=metodo+de+investigacion+encuesta&ots=U1UK-QHLYh&sig=pQNkFqgo_m8554hjTwUaBS4C7os#v=onepage&q=entrevista&f=false)
- Jurado, P., & Vinicio, J. (2014). *Implementación de una interface cerebro - computador para la detección de posición con la ayuda de las señales eeg*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8057>
- Klaus, H. (2003). *Introducción a la Metodología de la investigación empírica en las ciencias del deporte*. Barcelona: Paidotribo.
- Mason, G., & Birch, G. (2004). *A general frame-work for brain-computer interface design*. *IEEE transactions on neural systems and rehabi-litation engineering*, 70-85.
- Navini , D. (2014). *Generative topographic mapping of Electroencephalography (EEG) data*. *Tesis de maestria*. Colorado State University, Fort Collins. Obtenido de http://www.cs.colostate.edu/eeg/publications/navini_thesis.pdf

Neurosky, D. (01 de 01 de 2017). *Guía de transmisión en serie de ThinkGear*. Obtenido de [http:// developer. neurosky. com/ docs/ doku. php? id= thinkgear_ communications_ protocol&s\[\]=esense](http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol&s[]=esense)

NeuroSky, D. (05 de 05 de 2014). *ThinkGear*. Obtenido de [http:// developer. neurosky. com/docs/doku.php?id=what_is_thinkgear](http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=what_is_thinkgear)

NeuroSky. (2011). *MindWave User Guide*. NeuroSky.

NeuroSky. (2015). *Body and Mind Quantified*. Recuperado el Noviembre de 2018, de ThinkGear™ AM: <http://neurosky.com/biosensors/eeg-sensor/biosensors/>

Palacios, L.-E. (2005). *El análisis y la síntesis*. Madrid: Ediciones encuentro.

Patrick, T. (2015). *Designing a Brain Computer Interface Using an Affordable EEG Headset*. Tesis de maestría. Free University Berlin, Berlin. Obtenido de [https:// www. inf. fu- berlin. De/ inst/ ag-ki/ rojas_ home/ documents/ Betreute_ Arbeiten/ Master-Teich.pdf](https://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-ki/rojas_home/documents/Betreute_Arbeiten/Master-Teich.pdf)

Paulo Andrés, V., Gomez, J., & Hector, G. (2016). *Hardware para interfaz cerebro computador. Scientia et Technica Año XXI, 93-97*. Obtenido de [https:// www. redalyc.org/como/articulo.oa?id=84950584013](https://www.redalyc.org/como/articulo.oa?id=84950584013)

Rehab Bahaaddin , A. (2015). *EEG Subspace analysis and classification using principal angles for Brain-Computer Interface*. Tesis doctoral. Colorado State University, Fort Collins.

Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. *EAN*, 179-200. doi: [https:// doi. org/ 10. 21158/01208160.n82.2017.1647](https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647)

- Sarmiento Vela, L. (2015). *Reconocimiento del habla silenciosa con señales electroencefalográficas (EEG) para interfaces cerebro-computador. Tesis doctoral*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá . Obtenido de [http:// www.bdigital.unal.edu.co/52813/1/luiscarloossarmientovela.2015.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/52813/1/luiscarloossarmientovela.2015.pdf)
- Soukup, M. (2014). *Brain-Computer Interface in control. Tesis de maestría*. Norwegian University of Science and Technology.
- Tamayo, M., & Tamayo. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Vela Dávila, J., Velázquez Macías, J., & Veyna Lamas, M. (Junio de 2017). *Researchgate*. Obtenido de Videojuegos basados en BCI (Interface cerebro computadora): Revisión Sistemática Literaria: [https:// www.researchgate.net/publication/ 324506899_ Videojuegos_ basados_ en_ BCI_ Interface_ cerebro_ computadora_ Revision_ Sistematica_ Literaria](https://www.researchgate.net/publication/324506899_Videojuegos_basados_en_BCI_Interface_cerebro_computadora_Revision_Sistematica_Literaria)
- Villegas, A., Lugo, E., Pacheco, J., & Villegas, H. (2008). *Interfaz cerebro computador modular basada en la interpretación de electroencefalograma (EEG) mediante RNA para el control de dispositivos electrónicos. Revista INGENIERÍA UC, 52-60*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70712715007>
- Villegas, A., Lugo, E., R. Pacheco, J., & Villegas, H. (2008). *Interfaz cerebro computador modular basada en la interpretación del electroencefalograma (EEG) mediante RNA para el control de dispositivos electrónicos. INGENIERÍA UC*. doi:<http://dx.doi.org/10.4304/risti.11.93-106>

ANEXOS

Anexo1



Objetivo: Esta entrevista tiene como fin la recopilación de datos, la cual, servirá para el desarrollo del proyecto de investigación de grado: “Sistema para la integración de una Interfaz Cerebro-Computador”.

Por favor sírvase libre en contestar las preguntas siguientes, y Gracias por su tiempo.

1. ¿Conoce usted equipos para extraer señales neuronales?

2. ¿Cuáles son los costos referenciales de los equipos para extraer señales neuronales?

3. ¿Conoce los tipos de señales neuronales que se extraen en el cerebro?

4. ¿Qué tipos de señales normalmente son captadas por los dispositivos mencionados anteriormente?

5. ¿Qué tipos de aplicaciones pueden darse al conectar el cerebro a un computador?

6. ¿Considera usted que las señales captadas por los dispositivos pueden ser utilizados para conectarse con un computador?

7. ¿Conoce usted que es la interfaz cerebro computador?; ¿Puede describirlas?

8. ¿Para hacer una aplicación cerebro computador que condiciones son necesarias respecto a las señales que se toman?

9. ¿Qué características debería tener un programa de computador que permita el entrenamiento de las señales neuronales?

10. ¿Con una conexión adecuada entre cerebro computador que aplicaciones se pueden realizar?

11. ¿Qué tan importante considera usted tener un manual o guía del funcionamiento del sistema informatizado cerebro computador anteriormente mencionado?