



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

## Desarrollo de un Sistema de Comunicación Bluetooth para Interfaces Cerebro-Computador

*Trabajo Fin de Estudios*

**Titulación:** Grado en Ingeniería en Sistemas de  
Telecomunicación

**Alumno:** D. José Esparza Muñoz

**Director:** D. Juan Luis Pedreño Molina  
**Codirector:** D. Juan David Reverte Ors

Cartagena, Julio de 2019





<b>Autor</b>	José Esparza Muñoz
<b>E-mail del Autor</b>	jose.esparzam@outlook.com
<b>Director</b>	Juan Luis Pedreño Molina
<b>E-mail del Director</b>	juan.pmolina@upct.es
<b>Codirector</b>	Juan David Reverte Ors
<b>E-mail del Codirector</b>	jd.reverte@gmail.com
<b>Título del TFE</b>	Desarrollo de un Sistema de Comunicación Bluetooth para Interfaces Cerebro-Computador
<b>Descriptores</b>	BCI, Arduino, Bluetooth, Neurociencia
<b>Resumen</b>	
<p>En el presente proyecto se marcarán las pautas y procesos a seguir para desarrollar un sistema de comunicación bluetooth basado en la plataforma de software libre Arduino, ya que debido a su bajo coste y fácil manejo es una opción recomendable a la hora de implementarlo y adaptarlo a interfaces cerebro-computador, con el objetivo de que personas con movilidad reducida puedan disponer de un sistema domótico, que les permita realizar ciertas tareas en el hogar de forma remota y sin esfuerzo. El objetivo de este proyecto es hacer uso de una tecnología vanguardista que presenta un gran potencial en la industria actual, como son las interfaces cerebro-computador, o BCI, por sus siglas en inglés. Esta tecnología además de permitir realizar acciones de forma inmediata y solo con pensarlo, permite monitorizar el nivel de actividad cerebral de una persona y de este modo ayudar a prevenir diversas patologías asociadas a una actividad cerebral anómala. Se pretende, también, desarrollar un modelo de negocio para que los beneficios del proyecto se pongan a disposición de la sociedad.</p>	
<b>Titulación</b>	Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación
<b>Departamento</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<b>Fecha de Presentación</b>	Julio de 2019

## ***Agradecimientos***

*A Juan Luis y Juanda, por confiar en mí  
y ayudarme a crecer en este apasionante sector.*

*A mi familia, por apoyarme a lo largo de esta aventura.*

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Fases del proyecto.....	1
1.4	Estructura de la memoria.....	2
<b>2</b>	<b>Antecedentes .....</b>	<b>4</b>
2.1	Historia de la Neurociencia y la Bioingeniería.....	4
2.2	Sistema Nervioso Central.....	5
2.2.1	Anatomía genérica .....	6
2.2.2	Neuronas y procesos neuronales.....	7
2.2.3	Ondas cerebrales .....	8
<b>3</b>	<b>Desarrollo del dispositivo de comunicación .....</b>	<b>11</b>
3.1	Tecnologías utilizadas .....	11
3.1.1	Arduino.....	11
3.1.2	Bluetooth.....	14
3.1.3	Interfaz Cerebro Computador .....	16
3.2	Esquemáticos del sistema.....	21
3.3	Implementación y configuración.....	26
3.4	Desarrollo del software .....	33
<b>4</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>39</b>
4.1	Primeras pruebas de la BCI .....	39
4.2	Funcionamiento de los sistemas .....	43
4.2.1	Análisis del sistema con Arduino Uno .....	43
4.2.2	Análisis del sistema con Arduino Nano.....	47
4.3	Análisis de las diferencias entre los sistemas.....	51
4.4	Estudio de patrones en la actividad cerebral .....	53
4.5	Propuesta como sistema de control domótico .....	60
<b>5</b>	<b>Desarrollo del Modelo de Negocio .....</b>	<b>63</b>
5.1	Modelo de Negocio.....	63
5.2	Análisis de Mercado .....	65
5.2.1	Facturación de los fabricantes de sistemas domóticos e inmóticos .....	65
5.2.2	Resultados por tipo de producto .....	66
5.2.3	Tendencias del sector.....	67
5.2.4	Mercado específico.....	68

5.2.5	Competencia .....	70
5.2.6	DAFO del proyecto.....	72
5.2.7	I+D+i .....	72
5.2.8	Organización y Gestión .....	73
5.2.9	Certificación y normativa .....	74
5.2.10	Estructura legal de la empresa .....	74
<b>5.3</b>	<b>Plan de recursos humanos .....</b>	<b>74</b>
<b>5.4</b>	<b>Plan de Marketing .....</b>	<b>75</b>
<b>5.5</b>	<b>Plan económico-financiero.....</b>	<b>77</b>
5.5.1	Cuenta de Resultados.....	79
5.5.2	Flujos de Efectivo .....	80
5.5.3	Balance de Situación.....	81
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Trabajos Futuros .....</b>	<b>82</b>
6.1	Conclusiones.....	82
6.2	Trabajos Futuros.....	83
<b>7</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
8.1	Anexo I.....	85
8.2	Anexo II.....	85
8.3	Anexo III .....	86
8.4	Anexo IV.....	86
8.5	Anexo V .....	87
8.6	Anexo VI.....	87
8.7	Anexo VII.....	88
8.8	Anexo VIII.....	88
8.9	Anexo IX.....	89
8.10	Anexo X.....	90

# 1 Introducción

---

## 1.1 Motivación

---

El motivo principal por el que surge la idea y por consiguiente, el proyecto, es la necesidad que tiene un sector de la población de realizar ciertas acciones y actividades de forma fácil y sencilla. Esto es, por ejemplo, encender o apagar dispositivos electrónicos, regular la temperatura del hogar, controlar el nivel de iluminación de una habitación, etc. Para una persona que no sufre ningún tipo de problema de movilidad estas acciones no suponen ningún problema, pero para las personas que padecen algún tipo de deficiencia física, se incrementa notablemente la dificultad de realizar tareas cotidianas como las descritas anteriormente.

Ayudar a personas con movilidad reducida, y aportarles una mayor independencia. Ya sea porque han sufrido un traumatismo y les conlleva una lesión medular, o que padecen algún tipo de enfermedad neuromuscular, como la esclerosis. Esta es la principal razón de ser de este proyecto.

## 1.2 Objetivos

---

Los principales objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Analizar los diferentes tipos de ondas cerebrales que emite una persona, comparándolas con las ondas que emiten otras personas, para realizar un sistema universal.
- Desarrollar un sistema que permita al usuario interactuar con un entorno experimental de forma remota.
- Proponer un cambio en los sistemas domóticos, para adaptarlos especialmente a personas con movilidad reducida a través de interfaces cerebro-computador, para aportarles una mayor independencia en el hogar.
- Desarrollar un modelo de negocio viable analizando el mercado actual, y elaborando planes estratégicos para su puesta en marcha.

## 1.3 Fases del Proyecto

---

El presente proyecto se divide en las 5 fases que se exponen a continuación:

1. **Documentación:** en esta fase se analiza el proyecto desde el punto de vista de la bioingeniería y la neurociencia, recabando de esta forma toda la información posible acerca

de sistemas similares, estado de la tecnología, procesos cerebrales base, etc. Con el objetivo de realizar una implementación eficiente en fases posteriores.

2. **Desarrollo del sistema:** esta fase, a su vez, se divide en 2 subfases. La primera de ellas enfocada al planteamiento y diseño del sistema de comunicación, junto con la interfaz, con el fin de minimizar errores y facilitar la documentación del proceso. La segunda fase se centra principalmente en el prototipado y montaje del sistema de comunicación. Implementándolo en un entorno basado en Arduino.
3. **Configuración:** esta fase engloba la configuración del sistema bluetooth de la interfaz y del PC usado como enlace, y la configuración del IDE de Arduino, lo que nos permite el control y monitorización de la comunicación entre el sistema y la interfaz.
4. **Desarrollo del modelo de negocio:** una vez finalizado el desarrollo del proyecto de ingeniería se comienza a desarrollar un modelo de negocio viable, que tiene como objetivo desidealizar el dispositivo final, anteponiendo las necesidades del usuario/cliente al producto.
5. **Desarrollo de la memoria:** esta última fase tiene como objetivo plasmar en un documento todas las fases descritas anteriormente, de modo que cualquiera persona pueda comprender los procesos que se han seguido para el desarrollo del presente proyecto.

## 1.4 Estructura de la Memoria

---

Se ha dividido la memoria en 8 capítulos, donde el cuerpo principal de los mismos se corresponde con las fases descritas anteriormente. A continuación se expone un resumen de cada capítulo:

- **Capítulo I. Introducción:** en este primer capítulo se expondrán las bases y los motivos por los que se ha desarrollado el presente proyecto, describiendo brevemente los diferentes objetivos y fases que tiene el proyecto.
- **Capítulo II. Antecedentes:** en este segundo capítulo se pondrá en contexto los campos de la ciencia en los que se enmarca el proyecto, así como las tecnologías con las que se ha desarrollado el proyecto de ingeniería, y el recorrido que han tenido en los 2 últimos siglos. Se expondrá brevemente desde el punto de vista anatómico el concepto de onda cerebral, en el cual se sustenta el proyecto.



- **Capítulo III. Desarrollo del dispositivo de comunicación:** en este capítulo se detallará, tanto el diseño del sistema de comunicación, como el desarrollo del mismo.
- **Capítulo IV. Resultados:** en este capítulo se analizarán los resultados obtenidos tras realizar las pruebas pertinentes al dispositivo, y se realizará la proposición como sistema de control domótico universal.
- **Capítulo V. Desarrollo del modelo de negocio:** en este capítulo se detallarán todos los planes estratégicos, para de esta forma establecer un modelo de negocio viable y sostenible, proponiendo y especificando aplicaciones reales del proyecto.
- **Capítulo VI. Conclusiones y trabajos futuros:** este es el capítulo que da sentido a los resultados y propuestas recogidas en capítulos anteriores, estableciendo las conclusiones finales y el punto hacia el que se encaminan las tecnologías propuestas.
- **Capítulo VII. Bibliografía:** en este capítulo se recogerá un listado de todas las fuentes utilizadas para la consecución del proyecto.
- **Capítulo VIII. Anexos:** este último capítulo incluirá todas las tablas, esquemas, diagramas, códigos, etc., que por su extensión o forma sea mejor extraerlos del capítulo principal en el que se haga referencia.

## 2 Antecedentes

---

### 2.1 Historia de la Neurociencia y la Bioingeniería

---

La mente y el cerebro siempre ha sido tema de debate para el hombre, y ya en el siglo V a.C. encontramos las primeras descripciones sobre el sistema nervioso, y las primeras suposiciones acerca del pensamiento humano, así como las sensaciones en las que estamos inmersos. Estos primeros estudios, aunque pobres debido a carecer de la tecnología necesaria, comenzaron a sentar las bases de la neurociencia que conocemos actualmente. Pero no fue hasta el desarrollo del microscopio, y las técnicas de fijación de tejidos cuando la anatomía del sistema nervioso experimentó un notable avance que culminó con el descubrimiento de las neuronas por parte de Ramón y Cajal, utilizando la técnica anteriormente desarrollada por Camillo Golgi. En ese momento el concepto del sistema nervioso cambió radicalmente tomando la forma de un sistema compuesto por células independientes, las cuales conectaban entre sí lugares específicos.

No fue hasta el siglo XVIII cuando Luis Galvani descubrió que las células musculares producen electricidad. Posteriormente Hermann Von Helmholtz descubrió que la actividad eléctrica de las células musculares es la forma de transmitir información desde un extremo a otro de la célula, y también desde una célula a otra. Estos hechos comenzaron a formar una de las disciplinas fundamentales de la neurociencia. La neurofisiología. Lo que permitió que aumentase el interés en este campo y el número de investigadores comenzará a crecer, formalizando de esta manera todas las disciplinas que componen la neurociencia.

Tras el auge de la investigación, tanto anatómica como psicológica, del sistema nervioso y la mente, muchos científicos comenzaron a interesarse por la apreciable conexión entre el electromagnetismo y el sistema nervioso. En el siglo XIX Richard Caton usó un galvanómetro<sup>1</sup> para observar impulsos eléctricos en la superficie del cerebro vivo de algunos animales. Años más tarde Hans Berger consiguió registrar la actividad cerebral mediante electroencefalografía. Por primera vez Berger consiguió clasificar las diferentes ondas cerebrales, por ello las ondas Alfa (8-12Hz) también se denominan ondas Berger.

---

<sup>1</sup> Transductor analógico electromagnético que produce una deformación de rotación en un puntero en respuesta a la corriente eléctrica que fluye a través de su bobina, con lo que podemos medir la corriente eléctrica.

Hubo que esperar hasta la década de los setenta para que se iniciara la investigación de las primeras interfaces cerebro-computador, y no fue hasta los años noventa cuando dichas interfaces se volvieron de uso obligado en el ámbito médico.

Aunque esta tecnología se conoce desde hace más de 30 años, estaba retrasada en términos de capacidad tecnológica. No ha sido hasta la última década cuando este tipo de tecnología ha experimentado un incremento, tanto a nivel de interés, como de financiación (sobre todo en ámbitos ajenos al puramente medicinal) lo que ha provocado que se avance a gran velocidad. Esto hace que el esfuerzo investigador en los laboratorios sea muy intenso y obliga a estar siempre al corriente de lo que se realiza en otros laboratorios, al tiempo que se desarrollan y prueban rápidamente los nuevos prototipos, con el objetivo de producir herramientas que ayuden a mejorar la vida de las personas, donde uno de los objetivos finales sería la combinación de estas técnicas, con avanzados exoesqueletos<sup>2</sup> mecánicos de modo que una persona que haya sufrido algún tipo de pérdida de movilidad pueda disfrutar de su vida sin ningún tipo de impedimento.

Esta tecnología puede parecer una utopía, pero es algo que va a llegar a todos nosotros. Se volverá de uso común en nuestra vida diaria, al igual que ha ocurrido con otras tecnologías como la televisión o los smartphones. Tendremos que adaptarnos probablemente de forma independiente a nuestra capacidad económica, nuestra edad o nivel cultural.

## 2.2 Sistema Nervioso Central

---

Este apartado se ha centrado en detallar la anatomía del sistema nervioso del cuerpo humano, para comprender mejor el proceso que lleva a la formación de las ondas cerebrales. Para ello se ha realizado un estudio regresivo de los motores que promueven la generación de las denominadas ondas cerebrales, las cuales detallaremos posteriormente.

Antes de centrarnos exclusivamente en el sistema nervioso central es necesario conocer el conjunto del sistema nervioso, el cual se subdivide en el esquema que se muestra a continuación:

---

<sup>2</sup> Máquina móvil que lleva puesta una persona que proporciona al menos una parte de energía para el movimiento de los miembros.

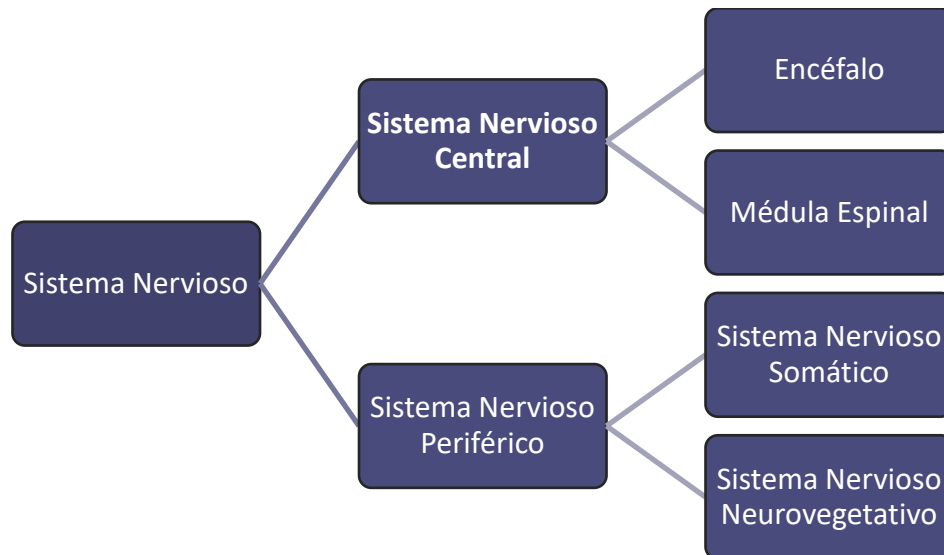


Figura 2.1. Divisiones del Sistema Nervioso

Como podemos ver el sistema nervioso está compuesto del sistema nervioso central y del sistema nervioso periférico. En este proyecto nos hemos centrado en el estudio del sistema nervioso central, ya que es dónde se originan los procesos electroquímicos que producen las ondas electromagnéticas que emite el cerebro.

### 2.2.1 Anatomía genérica

El sistema nervioso central, como ya hemos podido observar en el esquema anterior, se compone del encéfalo y la médula espinal. El encéfalo está formado por el cerebro, el cerebelo y el tallo cerebral, mientras que la médula espinal es una prolongación del encéfalo que se extiende por el interior de la columna vertebral.

- **Encéfalo:** formado por el cerebro, el cerebelo y el tallo cerebral, y protegido por el cráneo.
  - **Cerebro:** es la parte principal del encéfalo. Se divide en dos hemisferios, uno derecho y otro izquierdo. Cada uno de estos hemisferios posee varias cisuras<sup>3</sup> que dividen la corteza cerebral en lóbulos que procesan los impulsos nerviosos relacionados con funciones como la visión o el lenguaje. Existen cuatro lóbulos:
    - Lóbulo Frontal.
    - Lóbulo Parietal.
    - Lóbulo Occipital.
    - Lóbulo Temporal.

<sup>3</sup> Hendidura que divide el cerebro en diferentes partes dependiendo de su localización, como los hemisferios, o los lóbulos.

- **Cerebelo:** su principal función es agrupar las vías sensitivas y las vías motoras integrando toda la información recibida para precisar y controlar las órdenes que la corteza cerebral envía al aparato locomotor.
- **Tallo Cerebral:** cuya función principal es la comunicación entre el cerebro, la médula espinal y los nervios periféricos. También controla varias funciones como la respiración, el ritmo cardíaco, etc.
- **Médula Espinal:** es la encargada de llevar impulsos nerviosos a los nervios raquídeos, comunicando el encéfalo con el cuerpo. Por un lado llevando las sensaciones del tronco, cuello y extremidades, y por otro llevando las órdenes que emite el cerebro a los órganos correspondientes.

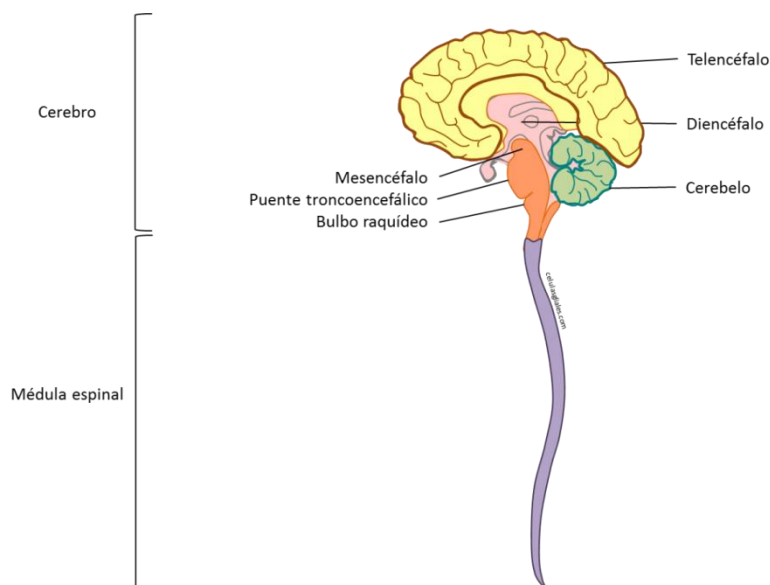


Figura 2.2. Sistema Nervioso Central

## 2.2.2 Neuronas y procesos neuronales

La neurona es la célula principal del sistema nervioso, cuya función principal es recibir, procesar y transmitir información a través de señales químicas y eléctricas. Reciben los estímulos y conducen los impulsos nerviosos mediante conexiones llamadas sinapsis<sup>4</sup>.

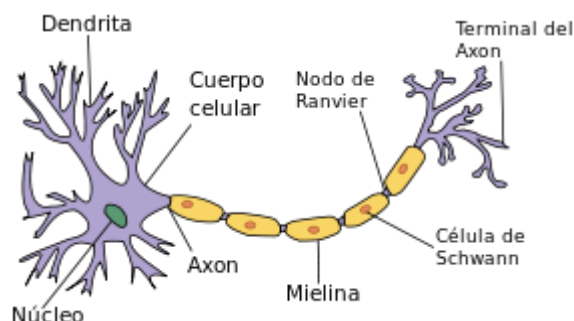


Figura 2.3. Morfología de una Neurona

<sup>4</sup> Son las regiones de comunicación entre la neurita o prolongación citoplasmática de una neurona y las dendritas o el cuerpo de otra.

La morfología de las neuronas presenta dos componentes principales: el soma donde encontramos el núcleo de la célula, y neuritas, las cuales se componen, generalmente, de un axón y varias dendritas.

Las neuronas transmiten ondas eléctricas originadas como un cambio transitorio de la permeabilidad en la membrana plasmática. Se propagan debido a la existencia de una diferencia de potencial (surge como consecuencia a distintas concentraciones de iones en ambos lados de la membrana) entre la parte interna y externa de la célula, de alrededor de  $-70$  mV. La carga de una célula inactiva se mantiene en valores negativos y varía dentro de un margen muy limitado. Cuando dicho potencial de membrana se despolariza, la célula genera un potencial de acción<sup>5</sup>.

A la hora de traducir la sinapsis neuronal a acciones concretas debemos introducir el concepto de proceso neuronal, el cual se refiere al tipo de pensamiento o actividad mental que la persona está realizando durante el uso de la interfaz cerebro-computador. Estos procesos son complicados de analizar y a día de hoy las interfaces no son capaces de decodificar cualquier pensamiento que esté realizando el usuario. Por lo que actualmente los usuarios no se concentran directamente en la tarea que lleva a cabo, sino que se diseña alguna tarea que utilice procesos cognitivos conocidos y que se saben medir, para que de su identificación se deduzca la intención del usuario.

### 2.2.3 Ondas Cerebrales

---

Por ondas cerebrales se puede entender la actividad eléctrica producida por el cerebro, y más concretamente como hemos visto anteriormente, por las neuronas. Estas ondas son de baja amplitud, del orden de microvoltios ( $\mu$ V) y no siempre siguen una sinusoide regular. Pueden ser detectadas mediante un electroencefalógrafo o en su defecto, por interfaces cerebro-computador. Las ondas cerebrales comprenden la principal fuente de información que mediremos con la interfaz, con el objetivo de generar acciones de valor. Estas ondas se clasifican en:

- **Ondas Delta:** estas ondas son el resultado de la representación de la actividad cerebral frente al tiempo. Estas, dada su naturaleza, presentan una periodicidad en el rango de frecuencias de 1 - 3 Hz, aunque también suelen oscilar entre un rango de 0.1 – 4 Hz. Normalmente están asociadas con etapas de sueño profundo.
- **Ondas Theta:** estas oscilaciones electromagnéticas en el rango de frecuencias de 3.5 y 7.5 Hz que se detectan en el cerebro humano normalmente están asociadas con las primeras

---

<sup>5</sup> Ciclo del orden de los milisegundos donde se produce un cambio en la polaridad de la membrana negativo-positivo-negativo.

etapas de sueño (fases 1 y 2). Se generan y tras la interacción entre los lóbulos temporal y frontal.

- **Ondas Alpha:** estas ondas comprendidas en un rango de frecuencias de 8 – 13 Hz surgen de la actividad eléctrica sincrónica y coherente de las neuronas del tálamo<sup>6</sup>. Estas ondas se originan sobre todo en el lóbulo occipital durante periodos de relajación, con los ojos cerrados, pero estando despierto. Representan la actividad de la corteza visual en un estado de reposo. Estas oscilaciones presentan la peculiaridad de enlentecerse al quedarse dormido y acelerarse al abrir los ojos, moverse o incluso con el simple hecho de pensar en moverse.
- **Ondas Beta:** estas oscilaciones electromagnéticas en el rango de las frecuencias de 12 – 30 Hz están asociadas a etapas de sueño nulo, donde se está despierto y consciente. Son las ondas más frecuentes en comparación con las descritas anteriormente.
- **Ondas Gamma:** estas ondas son un patrón de oscilación neuronal, cuya frecuencia oscila entre los 25 – 100 Hz, aunque habitualmente se representan a 40 Hz.

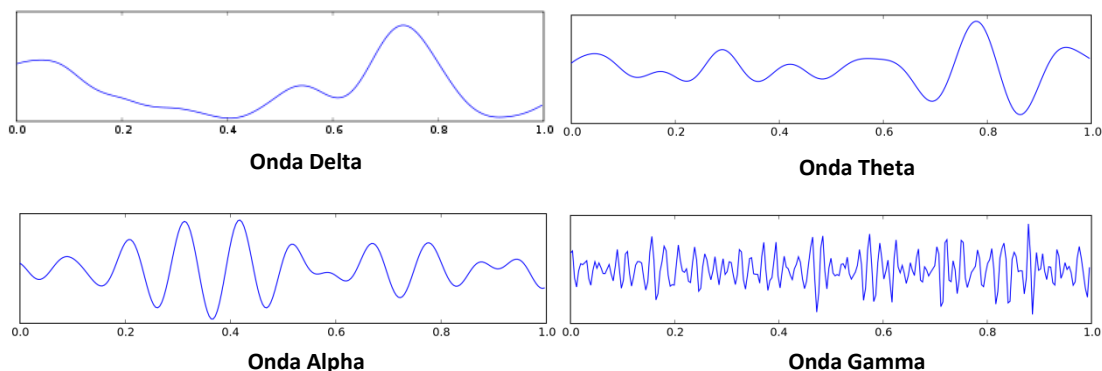


Figura 2.4. Representación de Ondas Cerebrales

Las ondas que se han tomado como referencia para este proyecto han sido las ondas alpha y beta, ya que son las principales ondas que emite el cerebro en un estado de consciencia activa, y son las ondas sobre las que se han efectuado todos los análisis con la interfaz.

<sup>6</sup> Estructura cerebral que se halla en el centro del cerebro, encima del hipotálamo, por donde transcurren todos los estímulos sensoriales a excepción del olfato.

## Referencias

- [1] **Santiago Ramón y Cajal (1897 – 1904)** *Historia del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados.*
- [2] **Camillo Golgi (1885)** *En la anatomía fina de los órganos centrales del sistema nervioso.*
- [3] **Luis Galvani (1791)** *Comentario sobre el efecto de la electricidad en la movilidad muscular.*
- [4] **Hermann Von Helmholtz (1847)** *Sobre la conservación de la fuerza.*
- [5] **Richard Caton (1875)** *Corriente eléctrica del cerebro.*
- [6] **Hans Barger (1929)** *Sobre el electroencefalograma humano.*



## 3 Desarrollo del Dispositivo de Comunicación

---

En ese capítulo se describirá todo el proceso de diseño, montaje y configuración que se ha llevado a cabo para el desarrollo del proyecto, con el objetivo de que todo quede documentado, para su análisis, estudio y mejora.

### 3.1 Tecnologías Utilizadas

---

A continuación se presentarán y detallarán todas las tecnologías que han hecho posible el desarrollo del prototipo. Así como otras tecnologías o procedimientos en los que se basa el proyecto.

#### 3.1.1 Arduino

---

Esta es la tecnología principal en la que está basado el proyecto. Se ha escogido esta tecnología como base, ya que el objetivo del proyecto es el desarrollo de un prototipo funcional que ofrezca una visión clara de las posibilidades, tanto presentes, como futuras de las interfaces cerebro-computador en nuestro día a día.

La mejor solución para el desarrollo de prototipos es el hardware libre, donde el hardware distribuido por Arduino ocupa un lugar especial por ser una de las primeras compañías en permitir el acceso público a todas las especificaciones, diagramas y esquemáticos de sus placas de desarrollo de hardware, para construir dispositivos digitales e interactivos que puedan detectar y controlar objetos del mundo real, facilitando de esta forma, el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios como el que contempla el presente capítulo.

Los diseños usan diversos microcontroladores<sup>7</sup> y microprocesadores<sup>8</sup>. En este caso se ha hecho uso de dos microcontroladores diferentes, Arduino Uno y Arduino Nano. El primero de ellos se usó como primera placa de pruebas y testeo del sistema, mientras que la función del segundo fue la de confeccionar un prototipo cerrado y portátil, gracias al reducido tamaño del mismo. A continuación se describirán ambos microcontroladores:

---

<sup>7</sup> Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.

<sup>8</sup> Es el circuito integrado central más complejo de un sistema informático. Es el encargado de ejecutar los programas, desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario.

- **Arduino Uno:** es una placa electrónica de código abierto que nos va a permitir realizar el primer montaje del prototipo y realizar las primeras pruebas y mediciones. Está basada en un microcontrolador ATmega328P, sus principales características son las siguientes: dispone 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas analógicas, un resonador cerámico, un conector USB tipo hembra, etc. El resto de especificaciones técnicas, así como la descripción de los pines de la placa se encuentran en el Anexo I y Anexo II respectivamente. La placa cuenta con un Jack de 2,1 mm para conectar un adaptador que se encuentre en los rangos especificados en el Anexo I. Tanto la dirección del voltaje para alimentar la placa a través del Jack, como la dirección del voltaje de entrada a través del USB, y todo el conexionado con el chip ATmega328P se encuentran en el esquema general de la placa electrónica Arduino Uno, que se incluye en el Anexo III.



Figura 3.1. Arduino Uno

Arduino Uno tiene todo lo necesario para manejar el controlador, y realizar la comunicación entre la interfaz cerebro-computador y el módulo bluetooth que describiremos en el siguiente punto. Con esta primera placa se ha trabajado directamente conectandola al PC por medio del USB.

- **Arduino Nano:** esta será la segunda placa electrónica que usaremos en el proyecto. Es la placa escogida para la segunda fase del desarrollo debido a su pequeño tamaño, lo que nos va a permitir realizar un prototipo portátil. Al igual que Arduino Uno es una placa electrónica de código abierto lo que hace posible una mayor versatilidad a la hora de implementar el

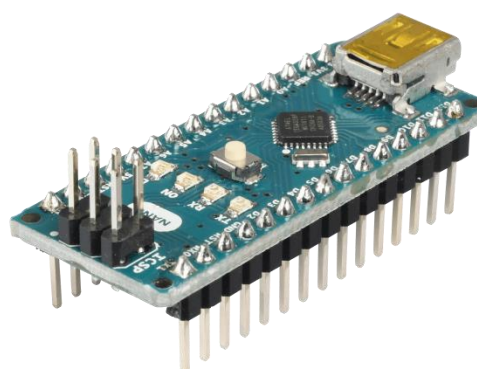


Figura 3.2. Arduino Nano

software, hacer pruebas y adaptarlo a la interfaz. Está basada en un microcontrolador ATmega328, sus principales características son las siguientes: dispone 22 pines de entrada/salida digital, 8 entradas analógicas, un conector Micro USB tipo hembra, etc. El resto de especificaciones técnicas, así como la descripción de los pines de la placa se encuentran en el Anexo IV y Anexo V respectivamente. La dirección del voltaje de

entrada a través del Micro USB, y todo el conexionado con el chip ATmega328 se encuentran en el esquema general de la placa electrónica Arduino Nano, que se incluye en el Anexo VI.

Arduino Nano y Arduino Uno son extremadamente similares en cuanto a características técnicas. Tanto que incluso se dice que Arduino Nano es la versión en miniatura de Arduino Uno, pero también existen ciertas diferencias entre ambos. La primera de ellas es que, a pesar de que ambas placas utilizan el mismo tipo de microcontroladores ATmega328, los encapsulados son diferentes, lo que hace que hayan diferencias entre el modelo de configuración de pines del chip ATmega328 utilizado por Nano, y el chip ATmega328 del Uno. En Arduino Nano, la configuración de pines corresponde a una cápsula TQFP<sup>9</sup>, y Arduino Uno usa la configuración de pines de cápsula PDIP<sup>10</sup>. Además, el convertidor de USB en el Arduino Uno es diferente del de Arduino Nano. En Arduino Uno es ATmega16U2 el que hace de convertidor, mientras que en Arduino Nano la función de convertidor USB está realizada por el controlador FTDI232.

- **Entorno de trabajo:** todo el desarrollo de software necesario para realizar el sistema de comunicación se hará a través del IDE<sup>11</sup> de Arduino, el cual consiste en un simple editor de código, un compilador, un depurador y una interfaz gráfica (GUI). Además, incluye herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash de la placa.

El código fuente del editor se lanzó bajo licencia GNU Licencia Pública General, continuando de esta forma con la filosofía de hardware y software libre. El IDE de Arduino soporta tanto el lenguaje C como C++ usando reglas específicas para la estructuración del código. Cuenta con librerías del proyecto *Wiring*, que proporciona muchos procedimientos comunes de entrada y salida. El código implementado solo requiere dos funciones básicas para iniciar, el cuerpo del programa y el bucle principal, que se compilan y enlazan bajo la subrutina comúnmente conocida como *main()*.

El IDE de Arduino emplea el programa *avrdude* para convertir el código ejecutable en un archivo de texto hexadecimal que se carga en el firmware de la placa con la que se esté trabajando.

---

<sup>9</sup> Thin Plastic Quad Flat Package (Cápsula Cuadrada Plástica Delgada)

<sup>10</sup> Plastic Dual In-Line Package (Cápsula Plástica de Doble Línea de Pines)

<sup>11</sup> Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)

### 3.1.2 Bluetooth

---

A la hora de desarrollar el dispositivo se ha tenido que escoger una tecnología común por la que todos los elementos del sistema se comunicarían entre sí. Esa comunicación se ha establecido a través del estándar bluetooth, ya que es una tecnología que está enfocada al tipo de funcionalidad que se desea establecer en este sistema.

Dado que el sistema se elabora con el fin de conseguir un producto final y construir un modelo de negocio sobre él, centrado en el sector domótico e inmótico, bluetooth es el estándar de comunicación que más encaja en el proyecto, debido a los siguientes motivos: facilita las comunicaciones entre equipos móviles; elimina los cables y conectores entre estos; ofrece la posibilidad de crear pequeños entornos inalámbricos, facilitando de esta forma la sincronización de datos entre diversos equipos.

Bluetooth es una especificación que define redes de área personal inalámbricas bajo el estándar IEEE 802.15.1. Esta especificación define el nivel físico y el control de acceso al medio. Este tipo de redes tienen por cometido la transferencia de información en distancias cortas entre un grupo privado de dispositivos. A diferencia de las LAN inalámbricas, están diseñadas para no requerir infraestructura alguna, o muy poca. Este protocolo está diseñado principalmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión, y que además se basan en transceptores<sup>12</sup> de bajo coste. Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro de su alcance. Dado que las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en distintas zonas del hogar si se está trabajando con la potencia suficiente. El nivel de radiofrecuencia está formado por el transceptor físico y sus componentes asociados. Utiliza la banda ISM<sup>13</sup> de uso no regulado a 2,4 GHz, lo que facilita la consecución de calidad en la señal y la compatibilidad entre transceptores. Además de este nivel de radiofrecuencia existen otros niveles enfocados a la detección y corrección de errores, establecimiento de conexión, autenticación de usuario, control de tráfico, etc.

Los dispositivos bluetooth se clasifican en diferentes clases dependiendo de la potencia de transmisión. En nuestro caso haremos uso de dispositivos de Clase 2, ya que este tipo de elementos nos va a permitir una mejor cobertura en relación con la ubicación de la persona que porte la interfaz, y la ubicación del sistema receptor.

---

<sup>12</sup> Dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que se encuentran dentro de la misma caja.

<sup>13</sup> Bandas de radio reservadas internacionalmente para para fines industriales, científicos y médicos.

Clase	Potencia máxima (mW)	Potencia máxima (dBm)	Alcance (m)
1	100	20	100
2	2,5	4	5 – 10
3	1	0	1
4	0,5	0	0,5

Tabla 3.1. Tipos de Dispositivos Bluetooth

Para poder establecer la comunicación entre la interfaz y el sistema, se ha hecho uso del dispositivo HC – 05, el cual es un módulo bluetooth compatible con Arduino que nos permite configurar la comunicación a través de un PC, hasta finalmente cargar el código correspondiente en la memoria de la placa.

- **Módulo HC-05:** este será el componente principal del sistema de comunicación, ya que es el encargado de establecer la comunicación bluetooth con la interfaz y el PC. Debido a su versatilidad para trabajar como Maestro o Esclavo<sup>14</sup>, además de contener una gran cantidad de parámetros de configuración, es una de las mejores opciones para el prototipado de sistemas bluetooth junto con el módulo HC-06.

El módulo se alimenta con una tensión de entre 3.3 y 6V. Dado que los pines de transmisión (TX) y recepción (RX) utilizan niveles de tensión de 3.3V no se pueden conectar directamente a las placas de 5V, por lo que se debe limitar la tensión por medio de resistencias como divisor de tensión para evitar daños en el módulo. El módulo tiene un LED incorporado que indica el estado de la

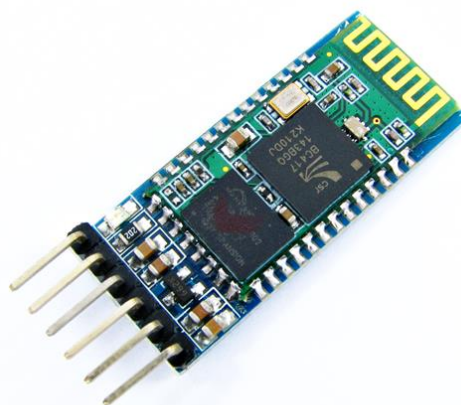


Figura 3.3. Módulo bluetooth HC-05

conexión, y si está emparejado o no en función de la velocidad del parpadeo. Cuenta con una potencia de transmisión de menos de 4 dBm, y utiliza una modulación GFSK<sup>15</sup>. El resto de características técnicas, así como los esquemáticos del conexionado con Arduino se incluyen en el Anexo VII y Anexo VIII.

La configuración de este tipo de módulos se realiza a través de comandos Hayes o AT. Estos comandos representan un estándar de comunicación, con el que se trabajará

<sup>14</sup> Modelo de comunicación por el que uno de los dispositivos (Maestro) posee un control unidireccional sobre uno o más dispositivos (Esclavo).

<sup>15</sup> Modulación donde un 1 lógico es representado mediante un incremento de la frecuencia de la onda portadora, y un 0 mediante un decremento de esta.

haciendo que el módulo HC – 05 entre en modo comandos AT, lo que conseguiremos mediante las diferentes conexiones que realicemos con la placa Arduino. Tanto las conexiones empleadas, como la configuración realizada mediante comandos AT se desarrollará los apartados posteriores del presente capítulo.

### 3.1.3 Interfaz Cerebro-Computador

---

En este apartado se introducirá y desarrollará el concepto de interfaz cerebro-computador que, junto con los elementos de Arduino, componen todo el hardware del proyecto.

#### 3.1.3.1 Introducción

---

Esta tecnología representa un sistema de interacción hombre-máquina capaz de traducir nuestras intenciones en interacción real con un mundo físico o virtual. El funcionamiento básico de una interfaz cerebro-computador es medir la actividad cerebral, procesarla para obtener las características de interés, y una vez obtenidas interaccionar con el entorno de la forma deseada por el usuario. Desde un punto de vista de interacción hombre-máquina, esta interfaz tiene dos características que la hacen única frente a todos los sistemas existentes. La primera de ellas es su potencial para construir un canal de comunicación natural con el hombre, la segunda su potencial acceso a la información cognitiva y emocional del usuario.

La interfaz cerebro-computador tiene la capacidad de construir un canal de comunicación natural para el hombre con la máquina dado que traduce las intenciones directamente en órdenes. Dado que la interfaz está basada en medir la actividad cerebral, la cual se asume que codifica todos estos aspectos, el reto científico-tecnológico está en decodificar esta información de todo el volumen de datos. La interfaz tiene por principio la capacidad de realizar una comunicación natural y tiene acceso a información cognitiva como ninguna otra interfaz tiene. Como ya se ha mencionado anteriormente, este tipo de tecnología representa el futuro de la interacción del ser humano con las máquinas.

#### 3.1.3.2 Métodos de adquisición de señales

---

Las interfaces cerebro-computador miden la actividad de las neuronas para obtener la señal que luego se procesará. Podemos diferenciar dos tipos de interfaces según el método por el que se obtiene la señal:

- **Dispositivos invasivos:** en este tipo de dispositivos la medición se realiza directamente desde el cerebro del usuario, para lo que es necesario realizar una intervención quirúrgica. En esta intervención se implanta un sensor que penetra en la corteza cerebral de forma que se mide la actividad eléctrica de las neuronas individuales, o bien, se coloca en la superficie del córtex para medir la actividad eléctrica de grupos de neuronas. La señal obtenida es muy clara, debido a que las medidas se han tomado directamente desde el cerebro. La utilización de este tipo de dispositivos supone un alto riesgo debido a la intervención quirúrgica. Es por esto que este procedimiento suele estar reservado a casos en los que se requiera obtener una señal muy nítida en pacientes con complicaciones médicas.
- **Dispositivos no invasivos:** en este tipo de dispositivos el sensor se coloca de manera que no se realiza ningún tipo de intervención sobre el cuerpo humano. Son los dispositivos más utilizados en la tecnología BCI, y que suponen menos riesgos para el usuario que los métodos invasivos debido a que no es necesario realizar ningún tipo de intervención quirúrgica. En este caso la actividad eléctrica se mide en la superficie del cuero cabelludo. La señal obtenida es la superposición de todas las neuronas del cerebro y tiene una resolución más pobre debido a que el cráneo del usuario reduce significativamente y distorsiona la calidad de las señales generadas por las neuronas. A pesar de que existen otras técnicas no invasivas de alta calidad, como la magnetoencefalografía (MEG), la tomografía por emisión de positrones (PET), o la imagen por resonancia magnética funcional (fMRI), en este caso se utilizará la electroencefalografía (EEG) no invasiva debido a que el resto de técnicas son muy costosas y requieren una gran preparación técnica. Esta técnica mide la actividad eléctrica y se utiliza de forma clínica para estudiar la tipología de las ondas en zonas del cerebro. Además, cuenta con una gran resolución temporal, fácil uso y portabilidad.

El hecho de utilizar un dispositivo no invasivo tiene sus ventajas e inconvenientes, los cuales, en parte, se han mencionado anteriormente, como es la ventaja de no suponer ningún perjuicio para el usuario, y el inconveniente de que la señal que se obtiene presenta una calidad muy inferior a la de los dispositivos invasivos.

### 3.1.3.3 Principio de funcionamiento y medida

El principio de funcionamiento básico de una BCI es medir la actividad cerebral, procesarla para obtener las características de interés de la señal, y una vez obtenidas, usarlas para





- Cancelación de artefactos: en esta primera etapa se eliminan los ruidos que provienen de otras actividades bioeléctricas como los movimientos musculares que distorsionan la señal. Algunos dispositivos consideran de utilidad las señales de los artefactos y no incluyen esta etapa. En nuestro caso la interfaz si cancelará la mayor parte de los artefactos que detecte.
- Obtención de características: en esta segunda etapa se transcribe la señal de entrada en un vector de características en relación al fenómeno neurológico asociado a la señal.
- Decodificación de características: en esta última etapa del procesado de la señal, se transforma el vector de características a una señal de control adecuada para el dispositivo que se quiere controlar.
- **Aplicación:** es el bloque en el que se recibe la señal de control y realiza las acciones correspondientes en el dispositivo a través del controlador del mismo.
- **Configuración:** este bloque refleja la configuración que se permite realizar al usuario para definir los parámetros del sistema.

#### 3.1.3.4 *Procesamiento de señal*

---

Actualmente las interfaces cerebro-computador tienen asociadas un motor de procesamiento de señal encargado de extraer el proceso neural de base de la señal cerebral. Este proceso es totalmente dependiente del tipo de sensor elegido, y es la parte más compleja del diseño, ya que el objetivo es que toda interfaz sea rápida y procese las señales con precisión. Este procesamiento es complicado debido a que debe ignorar todos los artefactos que se producen mientras se mide la actividad cerebral, esto es, movimientos oculares, de la lengua, músculos, etc. Además, se puede dar el caso de que la señal producida por estos artefactos sea lo suficientemente intensa como para eclipsar la señal cerebral que contiene la información que estamos midiendo.

Por otro lado, este procesado también es complejo debido a la naturaleza no estacionaria de la actividad cerebral, lo que hace que esta varíe en el tiempo para una misma persona durante el uso de la interfaz y entre diferentes sesiones. Esto dificulta enormemente las estrategias de procesamiento de señal que deben ser capaces de adaptarse en línea durante cada sesión, y recalibrarse antes de empezar una nueva sesión.

Otro de los aspectos que cabe destacar, y que dificulta el proceso de medición es el hecho de que todas las personas tenemos una actividad cerebral diferente en los dominios temporales, frecuenciales y espaciales. Las herramientas de señal que se utilizan han de tener la capacidad de aprender a identificar los patrones de cada persona, concretamente corrigiendo y adaptando este proceso de forma automática. Este es uno de los principales objetivos en los que se centran los estudios de cara a mejorar el procesado de las interfaces, donde se puede prever que tanto la inteligencia artificial y el Big Data serán claves para la democratización de las interfaces no invasivas.

Esta mejora en el procesamiento de las señales de las interfaces sólo es cuestión de tiempo, y más pronto que tarde estarán integradas en nuestro día a día, en los videojuegos, en la robótica, y sobre todo en la domótica.

### 3.1.3.5 Descripción de la BCI

---

La interfaz con la que se ha desarrollado el proyecto es la interfaz MindWave de NeuroSky, la cual fue cedida por la compañía en 2016 cuando se comenzó a trabajar en el proyecto. Esta interfaz, a pesar de no ser una de las interfaces más precisas y eficaces del mercado, como veremos en apartado posteriores, cumple a la perfección con el objetivo que se pretende conseguir con el prototipado del sistema.

La función principal de este dispositivo es la de monitorizar la actividad cerebral, a modo de electroencefalógrafo, con lo que los datos finales se presenten en forma de electroencefalograma.

NeuroSky MindWave nos permite realizar una conexión bluetooth con un PC, para poder ver todo el procesamiento de la actividad cerebral en tiempo real, recopilar datos concretos, desarrollar aplicaciones para el dispositivo, etc. La interfaz mide de forma segura las señales de las ondas cerebrales y controla los niveles de atención de las personas a medida que interactúan con una variedad de aplicaciones diferentes. Una de las principales ventajas del dispositivo es la integración que tiene con Arduino, lo que, gracias al hardware y software abierto de la plataforma, permite abrir el ámbito de bioingeniería a desarrolladores para que puedan diseñar e implementar sistemas, dispositivos y



Figura 3.5. NeuroSky MindWave

aplicaciones específicas para salud y bienestar, educación, entretenimiento, videojuegos, domótica, etc.

Esta interfaz mide y emite de forma segura los espectros de potencia EEG (ondas alfa, ondas beta, etc.), los sensores NeuroSky eSense (atención y meditación) y los parpadeos de los ojos, los cuales se pueden confundir con artefactos, pero lo que realmente ocurre es que el hecho de cerrar los ojos supone un cambio en la actividad cerebral (concretamente en las ondas alfa).

El dispositivo presenta una forma de “diadema”, que cuenta con una pinza para la oreja y el brazo principal con el sensor frontal. Los electrodos de referencia y de tierra de la interfaz se encuentran en el clip de la oreja, mientras que el electrodo EEG está situado en el extremo del brazo principal.

A continuación se van a exponer algunas de las características técnicas de la interfaz: la batería presenta una duración de ocho horas gracias a una batería AAA; utiliza el módulo TGAM1 que permite el emparejamiento inalámbrico automático; cuenta con un módulo bluetooth de modo dual BT/BLE (10 metros de alcance); presenta un ID de identificación único, lo que facilita el emparejamiento bluetooth; es compatible con Windows (XP/7/8/10), Mac (OSX 10.8 o posterior), iOS (iOS 8 o posterior) y Android (Android 2.3 o posterior). El resto de especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo IX.

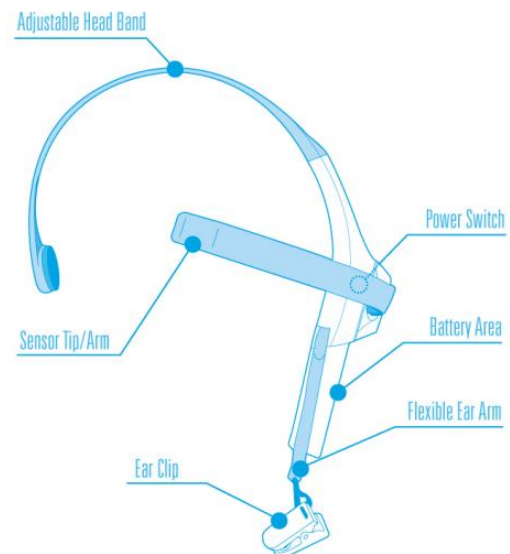


Figura 3.6. Descripción de NeuroSky MindWave

## 3.2 Esquemáticos del Sistema

A continuación se va a describir como se ha realizado el diseño del sistema de comunicación bluetooth, para lo cual se han realizado tres esquemáticos diferentes, cada uno de los cuales se corresponde directamente a una fase de la implementación. Podemos hacer una distinción entre los diferentes sistemas que se van a diseñar e implementar, de acuerdo a las siguientes fases:

- **Configuración del módulo bluetooth HC-05**
- **Implementación del sistema con Arduino Uno**
- **Implementación del sistema con Arduino Nano**

Todos los esquemas de conexión que se va a seguir se han diseñado con Fritzing. Fritzing es un programa de automatización de diseño electrónico que permite realizar prototipos de sistemas electrónicos, que cuenta con una gran librería de dispositivos con lo que trabajar. Se creó bajo los principios de Processing y Arduino, lo que hace que sea una aplicación idónea para documentar prototipos y crear esquemas de circuitos impresos para su posterior fabricación, contribuyendo al diseño de hardware libre y reduciendo los costes de fabricación.

En primer lugar se debe configurar el módulo bluetooth para que permita la conexión con la interfaz, para esto se debe interconectar únicamente el módulo HC-05 con la placa Arduino. Este módulo no se incluye por defecto en las librerías de Fritzing, por lo que debemos descargarlo y añadirlo a las librerías. Estos módulos presentan la extensión .fzz (Fritzing Application), lo que nos indica que podemos añadirlos al programa y trabajar con ellos de forma normal, como si se tratase de un dispositivo por defecto.

Una vez hemos añadido el módulo HC-05, podemos importar a la ventana *Protoboard* de Fritzing tanto el módulo anteriormente mencionado, como la placa Arduino Uno y realizar la conexión del cableado con los pines correspondientes, tal y como se muestra a continuación:

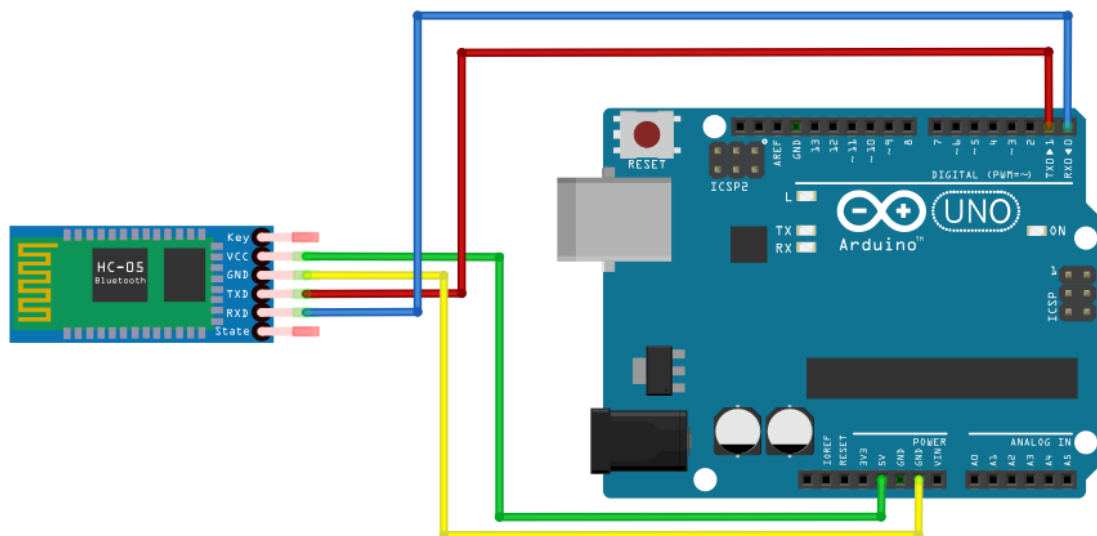


Figura 3.7. Esquema de conexión para configuración del HC-05

En este primer caso no incluiremos el esquemático de conexiones de la figura anterior, debido a que las conexiones se encuentran en el Anexo VIII.

Una vez hemos configurado el módulo bluetooth podemos realizar el primer sistema de comunicación basado en Arduino Uno. En este caso se mostrará tanto el primer diseño del prototipo

real con las conexiones necesarias, como el esquemático de conexiones que nos proporciona Fritzing del siguiente modo:

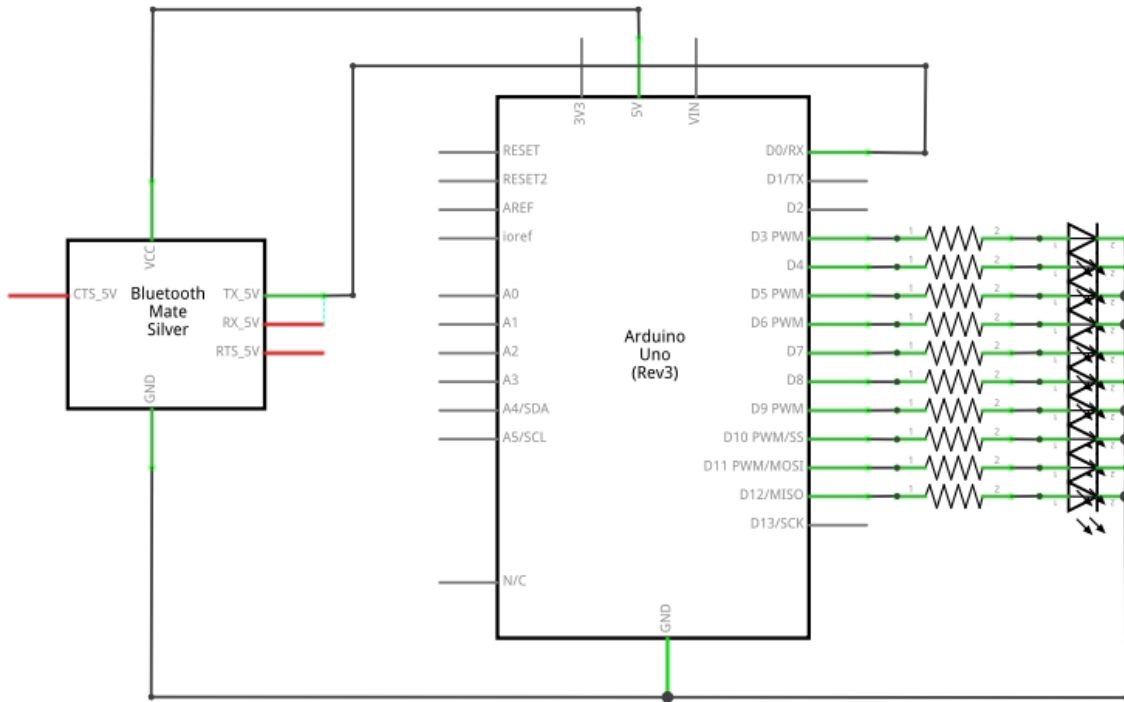


Figura 3.8. Esquemático sistema de comunicación bluetooth con Arduino Uno

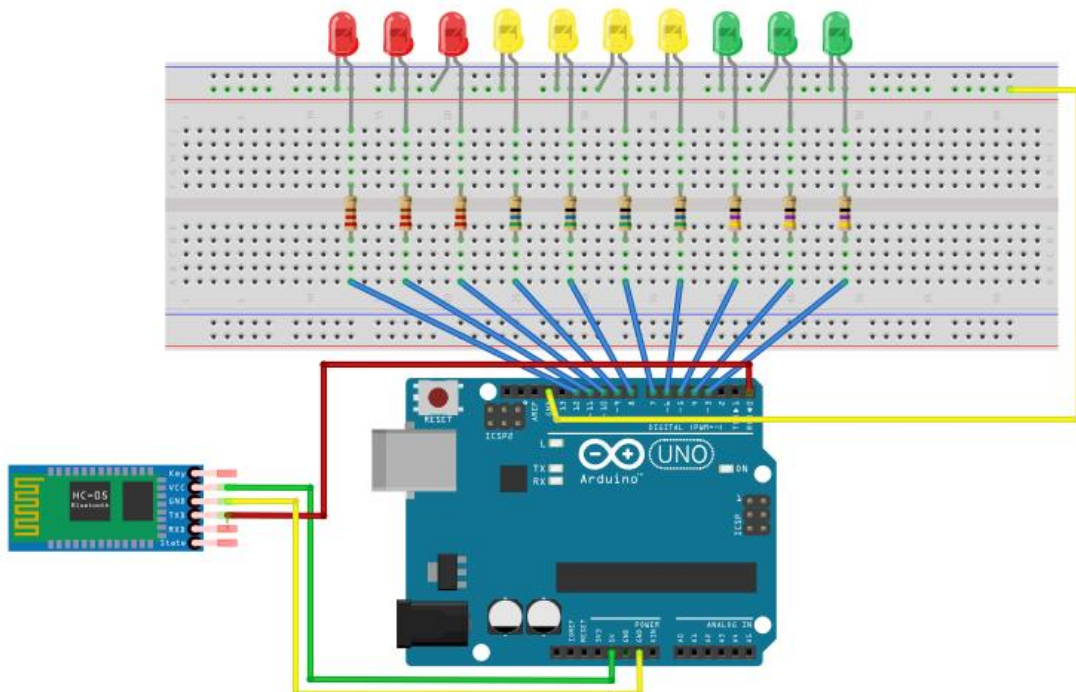


Figura 3.9. Prototipo sistema de comunicación bluetooth con Arduino Uno

Una vez realizado los estudios necesarios con el primer sistema, se implementará el segundo sistema que, como ya se ha mencionado anteriormente, está basado en el uso de Arduino Nano, con el fin de hacer un prototipo de menor tamaño que se acerque más a la imagen del producto final.

El procedimiento será el mismo que el descrito para el caso del diseño del sistema con Arduino Uno, gracias a que, tanto Arduino Nano, como Arduino Uno comparten multitud de similitudes. Por tanto, en este caso, se sustituye la placa Arduino Uno por Arduino Nano, se realiza la conexión del cableado con los pines correspondientes, obteniendo de esta forma el diseño del esquemático del sistema, y el diseño del prototipo final, tal y como se muestra a continuación:

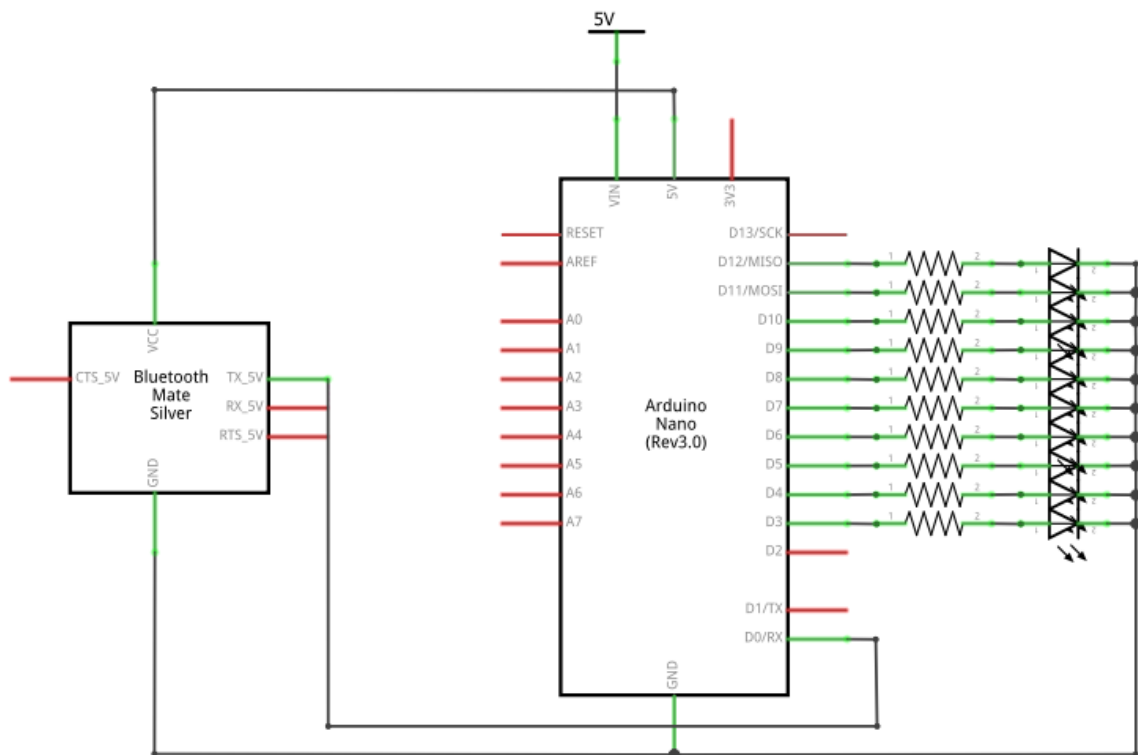


Figura 3.10. Esquemático sistema de comunicación bluetooth con Arduino Nano

Para este caso estamos teniendo en cuenta que el sistema se encontrará en primer lugar conectado a un PC, para poder subir el software al microcontrolador, pero, una vez el software se encuentre cargado podremos prescindir de la conexión con el PC convirtiendo, de este modo, el sistema en un sistema portátil, mediante la conexión directa de los componentes (eliminando la *Protoboard*), y externalizando la alimentación del sistema a través de, por ejemplo, una batería. En el caso de conectar una batería, se debe comprobar el nivel de tensión que esta posee, ajustando de nuevo las resistencias para evitar daños en los LEDs.

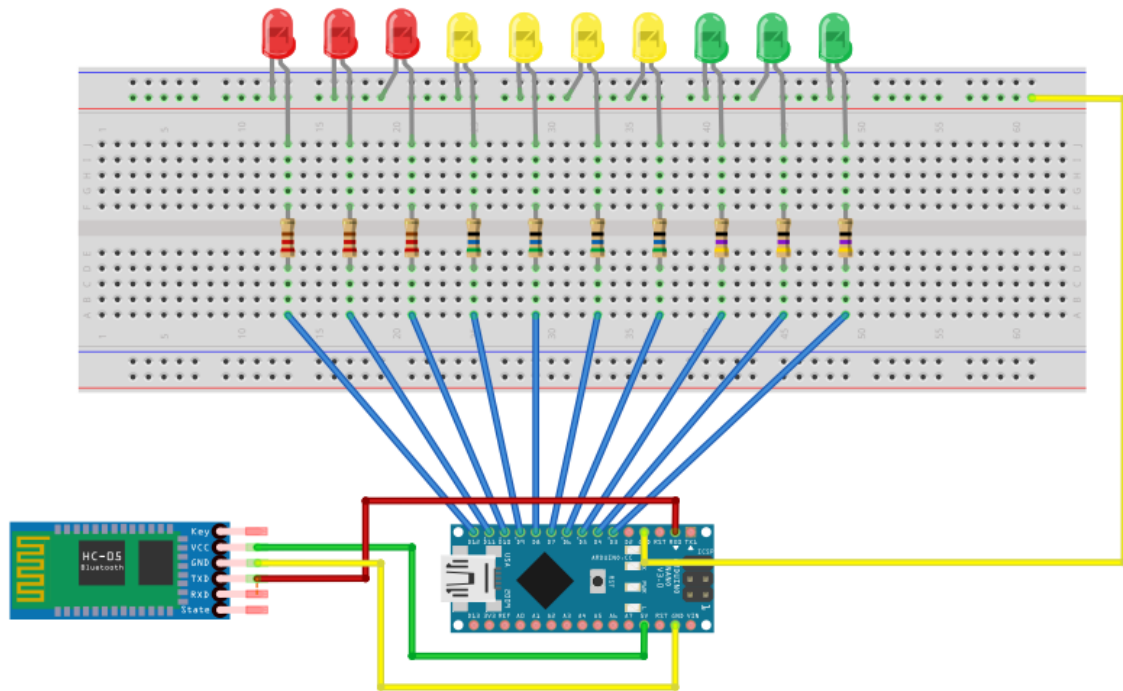


Figura 3.11. Prototipo sistema de comunicación bluetooth con Arduino Nano

Si finalmente se desea realizar un dispositivo portátil conectándolo a una batería externa, se deberá cambiar las resistencias, por otras de un valor acorde con la tensión de la batería. Este ajuste de las resistencias se realizará teniendo en cuenta que los LEDs necesitan distintos niveles de tensión dependiendo del color.

	Tensión	Longitud de onda
<b>Rojo</b>	1,8 V	633 nm
<b>Amarillo</b>	2,2 V	585 nm
<b>Verde</b>	3,2 V	555 nm

Tabla 3.2. Relación de la tensión y la longitud de onda de los LEDs

Por lo tanto, para calcular los nuevos valores de las resistencias aplicaremos la Ley de Ohm de la siguiente forma:

$$\text{Ley de Ohm} \rightarrow V = I \cdot R$$

$$V_{fuente} - V_{LED} = I \cdot R$$

$$R = \frac{V_{fuente} - V_{LED}}{I}$$

Con la expresión anterior podemos calcular el nuevo valor de resistencias que debemos utilizar para diferentes valores de tensión. Además, sabemos que los LEDs soportan una intensidad de 20 mA, dado que esta es la intensidad límite de los dispositivos todos los cálculos los realizaremos con un margen de seguridad de 3 mA, es decir, la intensidad máxima con la que trabajaremos serán 17 mA. Este margen de seguridad se podría haber escogido de un valor mayor, pero como la mayoría de pruebas se realizarán en condiciones diurnas, necesitaremos que los LEDs emitan un mínimo de lúmenes<sup>17</sup>, para poder visualizar el encendido y/o apagado de los mismos.

### 3.3 Implementación y Configuración

---

Una vez hemos realizado el diseño de los sistemas que vamos a implementar, procedemos, en primer lugar, a implementar y configurar el primero de los sistemas, es decir, el sistema que utiliza la placa Arduino Uno.

Para ello, el primer paso es conectar la interfaz (vía bluetooth) al PC, emparejándola con el sistema bluetooth que implementa el PC o, en caso de que el PC no cuente con conectividad bluetooth, se puede utilizar un módulo bluetooth USB que nos permitirá interconectar la interfaz al PC. Una vez hemos interconectado los sistemas, necesitamos obtener el identificador único de la interfaz, ya que será necesario a la hora de configurar el módulo HC-05. Este identificador lo podremos encontrar en las propiedades del dispositivo, una vez emparejado.

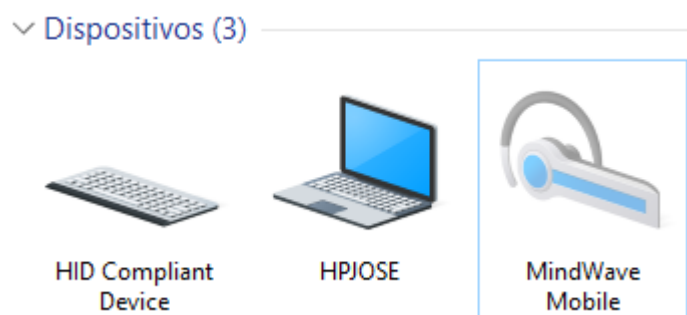


Figura 3.12. Dispositivos asociados al PC

<sup>17</sup> Unidad del sistema internacional que mide el flujo luminoso. Se define con la relación de la unidad de intensidad luminosa, la candela (cd) y la unidad de ángulo sólido, el estereorradián (sr).  $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$



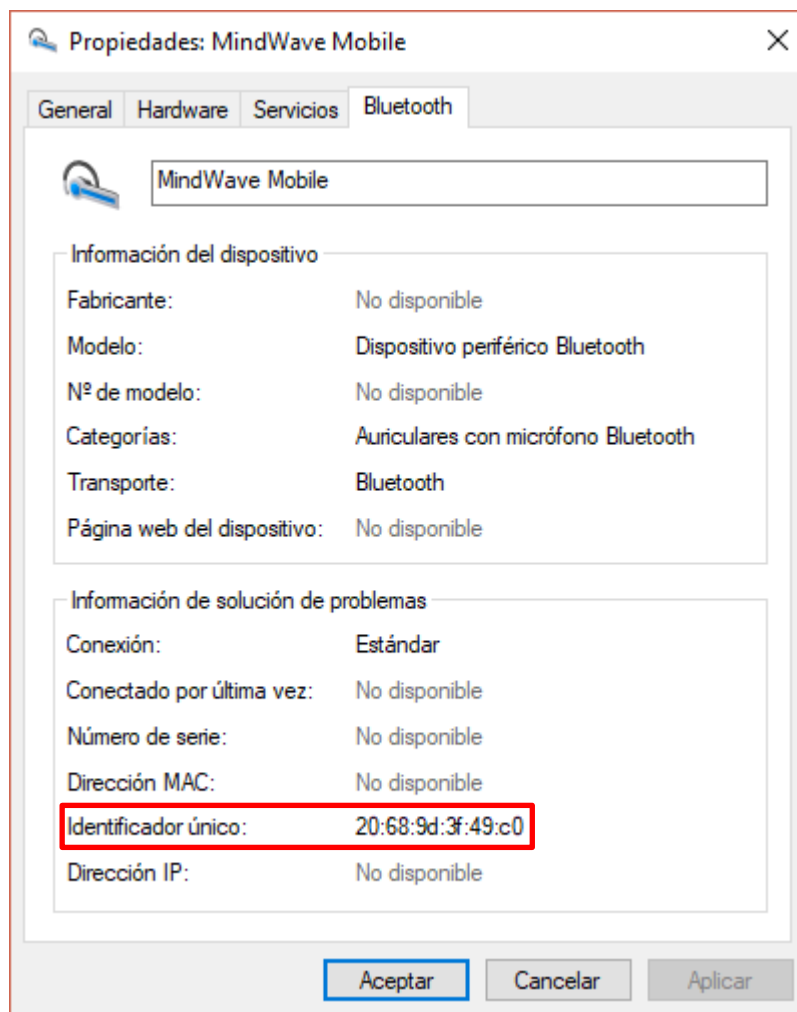


Figura 3.13. Identificador único de MindWave Mobile

Como se puede apreciar en la figura anterior la interfaz MindWave Mobile presenta el siguiente identificador: 20:68:9d:3f:49:c0. Esta será la identidad que asociaremos al módulo HC-05, para que este pueda reconocer a la interfaz.

Una vez disponemos del identificador único de la interfaz podemos implementar el sistema, siguiendo el diseño mostrado en el apartado anterior, para lo que necesitaremos los siguientes elementos:

- Placa Arduino Uno
- Módulo Bluetooth HC-05
- Cables
- Conector USB

Para esta fase sólo serán necesarios los elementos anteriores, puesto que el objetivo de esta fase es configurar el módulo bluetooth HC-05. Trabajaremos con el siguiente esquema:

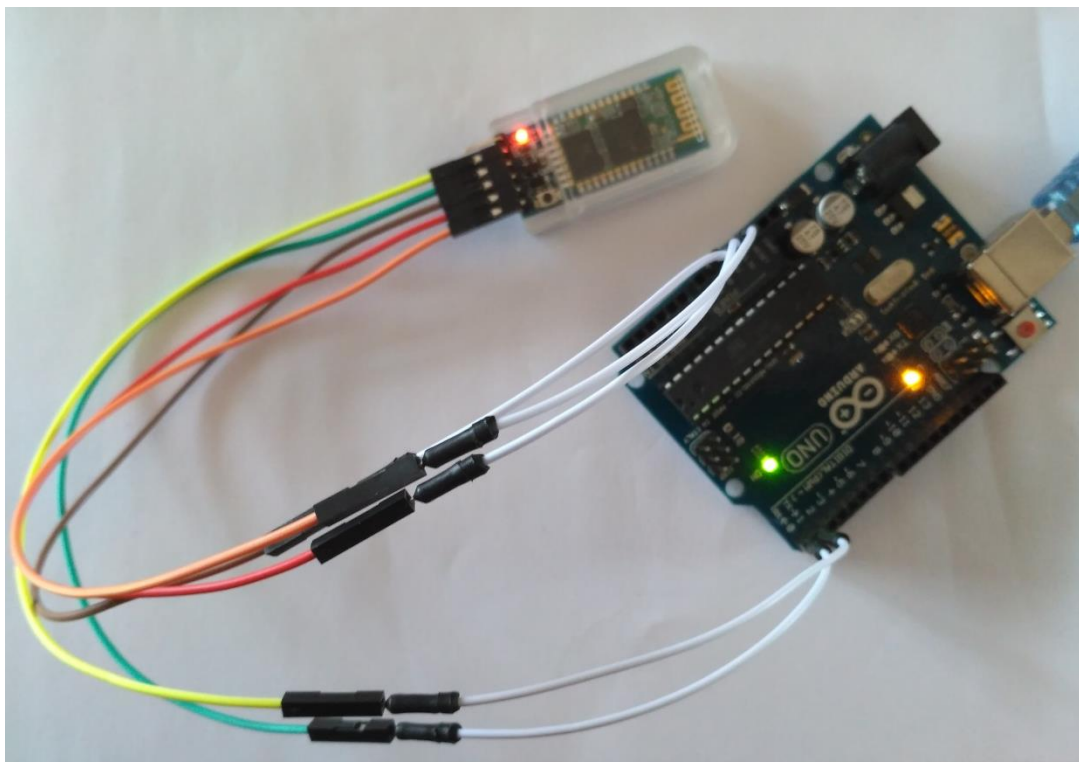


Figura 3.14. Configuración del módulo HC-05

Para la configuración del módulo se han interconectado los siguientes pines de cada módulo:

Pines Módulo HC-05	Pines Arduino Uno
VCC	5 V
GND	GND
EN	3,3 V
TX	TX
RX	RX

Tabla 3.3. Conexión de los pines para la configuración del módulo bluetooth

Esto nos permitirá acceder al modo de configuración por comandos AT del módulo bluetooth. Podemos comprobar que el dispositivo se encuentra en este modo de trabajo, ya que el LED que este incluye parpadeará lentamente (en intervalos de 1 segundo). En este modo el dispositivo trabaja a una velocidad de 38400 baudios, que tendremos que tener en cuenta a la hora de realizar la configuración mediante los comandos AT. Por otro lado, en el modo de trabajo, el LED parpadeará rápidamente (el doble de velocidad que en el modo de configuración).

Como ya hemos mencionado anteriormente, la configuración se realizará mediante comandos AT, a través del propio terminal serie que implementa el IDE de Arduino, al que debemos indicar la velocidad de trabajo de nuestro dispositivo (38400 baudios), además de los caracteres de control de la codificación ASCII, es decir, el retorno de carro junto con el salto de línea.

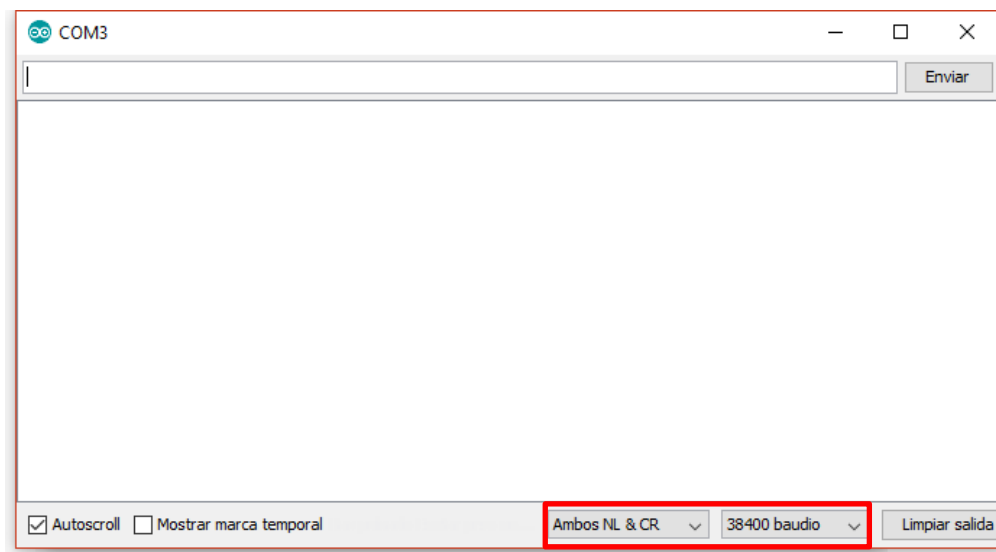


Figura 3.15. Configuración del monitor serie para el módulo HC-05

Esta configuración se realiza introduciendo en el terminal los comandos que describimos a continuación:

- **AT:** este será el primer comando que introduzcamos en el terminal, y que nos permitirá comprobar si el módulo se encuentra en el modo de configuración, ya que deberemos obtener un **OK**, confirmando que la instrucción se ha recibido correctamente.
- **AT+NAME=HC05:** con este comando cambiamos el nombre al dispositivo a “HC05”, este será el nombre con el que será visible respecto a otros dispositivos bluetooth.
- **AT+UART=57600,0,0:** este comando nos permite cambiar la velocidad de comunicación, así como definir el bit de parada y el bit de paridad. El primer parámetro especificado en la instrucción se corresponde con la velocidad de transmisión, el segundo con el bit de parada y el tercero con el bit de paridad.
- **AT+ROLE=1:** como este comando podemos intercambiar el *role* del dispositivo entre “maestro” y “esclavo”. En nuestro caso el módulo tendrá la función de maestro.
- **AT+PSWD=0000:** este comando nos permite interponer un código de vinculación con el dispositivo, a modo de pin. Dado que en este caso queremos que tanto la interfaz como el módulo HC-05 se emparejen automáticamente, implementaremos un código de vinculación de cuatro ceros.
- **AT+CMODE=0:** esta configuración sólo aplica cuando el módulo está trabajando como maestro, ya que su función es especificar si se desea que se conecte a un dispositivo específico o, por el contrario, a todos los dispositivos disponibles. Con el modo ‘0’ estamos indicando que el módulo deberá conectarse a otro dispositivo con una dirección específica.

- **AT+BIND=2068,9D,3F49C0:** como anteriormente hemos configurado el módulo como maestro y hemos especificado que se debe conectar a una dirección específica (CMODE=0), con este comando podremos especificar la dirección a la cual el módulo HC-05 se va a conectar. En este caso la dirección especificada se corresponde con el ID único obtenido anteriormente de la interfaz.
- **AT+IAC=9E8B33:** con este comando especificamos el código de acceso de la interfaz, el cual podemos encontrar en el manual del usuario.
- **AT+CLASS=0:** con este comando especificamos la clase del dispositivo con el que se va a emparejar el módulo. En este caso dejamos este parámetro a cero.
- **AT+INQM=1,9,48:** este comando cuenta con tres parámetros, el primero de ellos especifica el modo de peticiones que va a utilizar el dispositivo, en este caso lo configuramos como modo RSSI<sup>18</sup>. El segundo parámetro nos indica el número máximo de dispositivos bluetooth a los que se dará respuesta. Por último, el tercer parámetro nos indica el *Timeout* del módulo (48 s).

Una vez hemos introducido los comandos, se comprobará que la configuración del módulo es la correcta mediante esos mismos comandos, pero en este caso incluyendo una interrogación al final de la instrucción, como en el siguiente ejemplo: **AT+NAME?** Si todo se ha realizado correctamente el dispositivo nos devolverá la información referente al parámetro que le hemos solicitado, junto con una confirmación respuesta **OK**, como se muestra a continuación:

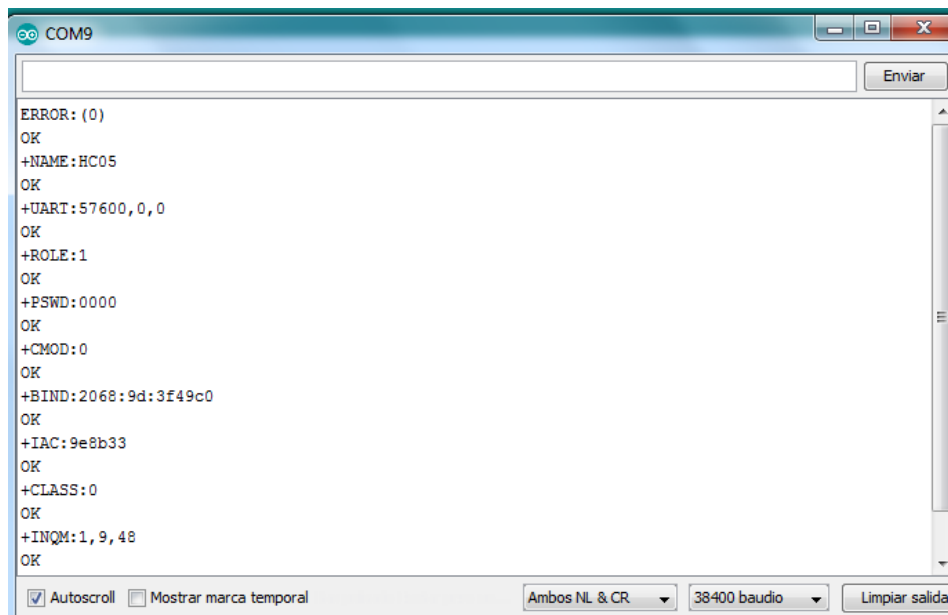


Figura 3.16. Configuración del módulo mediante comandos AT

<sup>18</sup> El Indicador de Fuerza de Señal Recibida (Received Signal Strength Indicator) es una escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas.

Una vez hemos realizado la configuración anterior podemos emparejar la interfaz y el módulo HC-05. Para ello, en primer lugar encendemos la interfaz y mantenemos pulsado el botón de encendido unos 3 segundos hacia la posición de *pair/on*, de este modo el led azul comenzará a realizar parpadeos dobles lo que nos indica que se encuentra en modo emparejar. Tras esto, volvemos al monitor serie e introducimos lo siguiente:

- **AT+LINK=2068,9D,3F49C0:** este comando nos permite emparejar ambos dispositivos, indicando la dirección del dispositivo a emparejar.

Si todo se ha realizado correctamente y no ha habido problemas, ambos dispositivos quedarán emparejados y el LED azul de la interfaz permanecerá fijo.

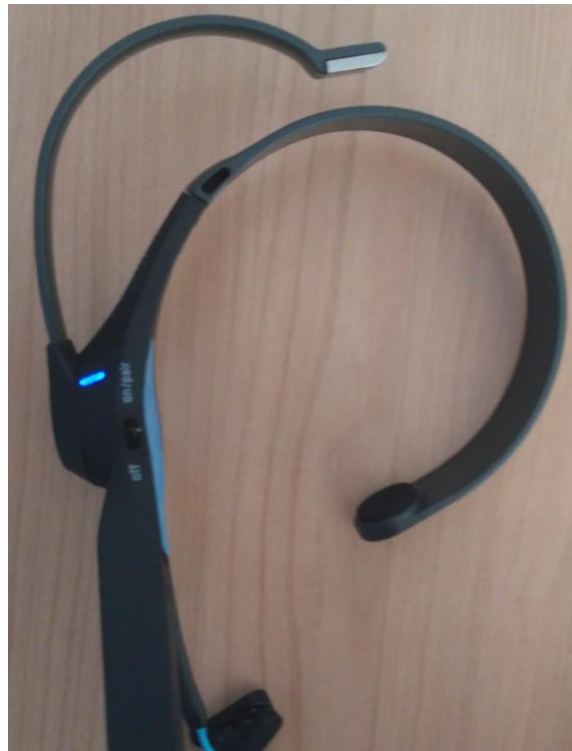


Figura 3.17. Interfaz pareada con el módulo bluetooth

Una vez hemos configurado el módulo bluetooth y emparejado la interfaz, procedemos a montar el primer circuito utilizando la placa Arduino Uno y a conectarlo a un PC vía USB con el fin de cargar en el microcontrolador el software necesario.

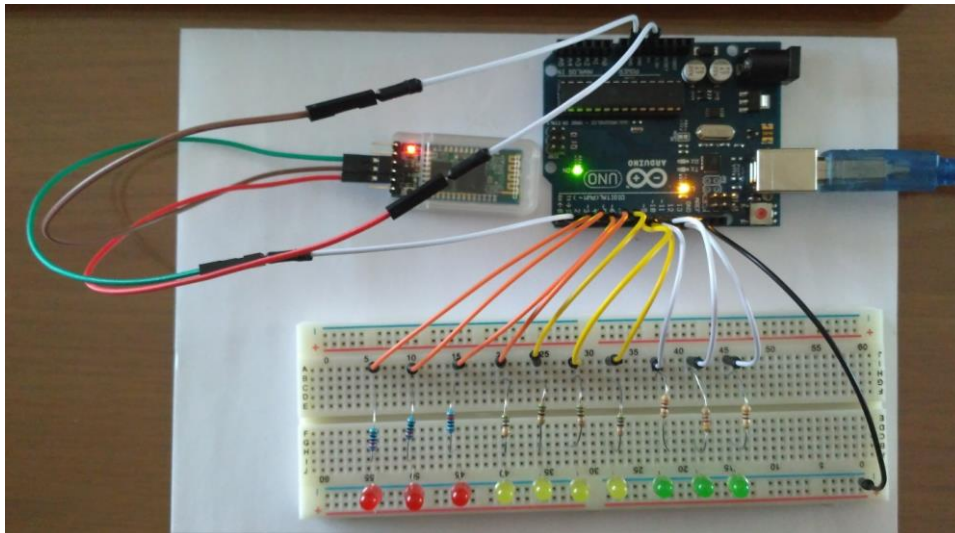


Figura 3.18. Sistema de comunicación bluetooth con Arduino Uno

Una vez hemos implementado el sistema y cargado el software, que describiremos en el siguiente apartado, podremos comenzar a utilizar la interfaz para encender los diferentes LEDs que hemos incluido. De esta forma podremos realizar las primeras pruebas, tanto de la conexión, la calidad de la señal, y el propio funcionamiento. Todo este proceso se detallará en el siguiente capítulo en el que, además, se realizará una comparativa con la implementación y funcionamiento del sistema utilizando como elemento común, la placa Arduino nano.

Como ya hemos mencionado en apartados anteriores, a continuación del sistema de comunicación bluetooth con Arduino Uno, se implementará el mismo sistema utilizando Arduino nano y del mismo modo que para el sistema con Arduino Uno, lo conectaremos a un PC vía USB para poder cargar al microcontrolador el software que gestionará la comunicación entre la interfaz y el sistema.

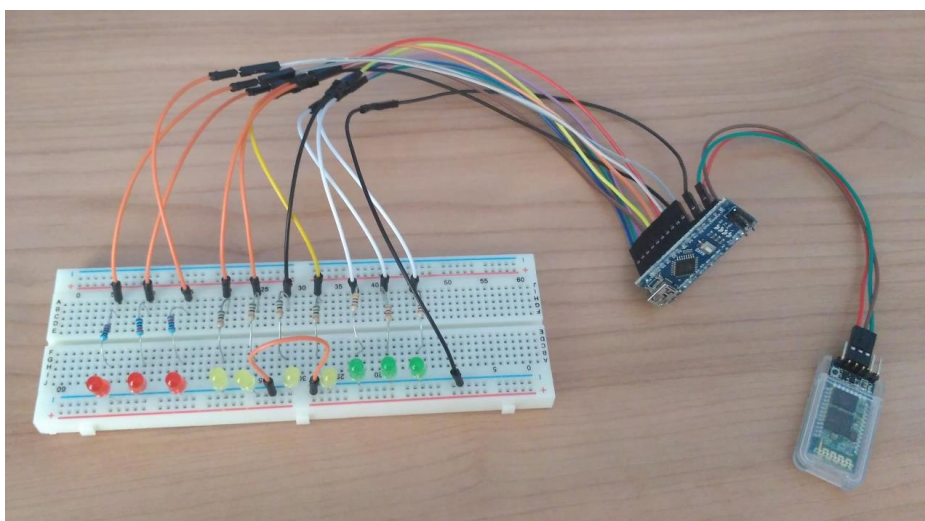


Figura 3.19. Sistema de comunicación bluetooth con Arduino nano

Tras implementar el sistema podremos, al igual que con el sistema que utilizaba Arduino Uno, realizar las primeras pruebas de conexión, calidad de la señal recibida en la placa, y el propio funcionamiento del sistema. Esta será la última etapa de la implementación experimental, y tras esto podremos dar paso a la implementación del prototipo final, con el que conseguiremos reducir significativamente el tamaño, y adaptarlo a cualquier tipo de dispositivos que funcionen a baja tensión.

### 3.4 Desarrollo del Software

---

En este último apartado del capítulo se detallará el software que permitirá la correcta comunicación entre la interfaz y el sistema, permitiéndonos conocer en todo momento tanto el nivel de calidad de la señal, la intensidad de la misma y el tiempo transcurrido desde la recepción del último paquete, a través del monitor serie que incluye el IDE de Arduino.

Lo primero que haremos será definir las constantes del sistema, las cuales engloban los pines de los LEDs, el control de potencia, los parámetros asociados a la comunicación bluetooth, etc.

```
//Constantes del sistema
#define ControlPotencia 10
#define VelTrans 57600
#define Salida 0
#define Led 13

#define LedRojo1 10
#define LedRojo2 11
#define LedRojo3 12
#define LedAmarillo1 6
#define LedAmarillo2 7
#define LedAmarillo3 8
#define LedAmarillo4 9
#define LedVerde1 3
#define LedVerde2 4
#define LedVerde3 5
```

Una vez hemos definido las diferentes constantes del sistema, definiremos todos los parámetros asociados a la funcionalidad del software como variables de control y variables del sistema.

```
// Variables de control
int LongitudCarga = 0;
byte DatosCarga[64] = {
    0};
byte CalidadBaja = 0;
byte Concentracion = 0;
byte Relajacion = 0;
```

```
byte SumaTotal = 0;
byte Suma = 0;

// Variables del sistema
long UltimoPaquete= 0;
boolean PaqueteH = false;
```

Tras definir el conjunto de parámetros que formará el núcleo principal de nuestro sistema procedemos a configurar como entradas o salidas los diferentes pines de la placa. En este caso todos los pines serán pines de salida puesto que conectaremos diferentes LEDs.

```
void setup() {

    pinMode(LedRojo1, OUTPUT);
    pinMode(LedRojo2, OUTPUT);
    pinMode(LedRojo3, OUTPUT);
    pinMode(LedAmarillo1, OUTPUT);
    pinMode(LedAmarillo2, OUTPUT);
    pinMode(LedAmarillo3, OUTPUT);
    pinMode(LedAmarillo4, OUTPUT);
    pinMode(LedVerde1, OUTPUT);
    pinMode(LedVerde2, OUTPUT);
    pinMode(LedVerde3, OUTPUT);

    pinMode(Led, OUTPUT);
    Serial.begin(VelTrans);

}
```

Del mismo modo configuramos la lectura de datos UART para que el microprocesador pueda interpretar la información que envía la interfaz.

```
byte LeerUnByte() {
    int ByteLeido;

    while(!Serial.available());
    ByteLeido = Serial.read();

    #if DEBUGOUTPUT
        Serial.print((char)ByteLeido);
    #endif

    return ByteLeido;
}
```

Una vez hemos configurado tanto el comportamiento de los pines del microcontrolador, como los parámetros básicos de configuración, procedemos a implementar el bucle principal de nuestro sistema. Este bucle se puede dividir en cuatro partes, las cuales se identifican con una de las siguientes funciones: verificar la longitud de los datos, así como la comprobación de estos; la carga



de las variables correspondientes; la muestra de información del proceso por el monitor serie; y por último el encendido de los LEDs conectados al microcontrolador.

En primer lugar se implementa todo el proceso de verificación de los datos. Se comprueba su longitud, se cargan los datos en las variables correspondientes, y se verifica su semejanza con otras variables con el fin de conocer si los datos se están recibiendo con la calidad suficiente.

```
void loop() {  
  
    // Buscamos los bytes de sincronización  
    if(LeerUnByte() == 170) {  
        if(LeerUnByte() == 170) {  
  
            LongitudCarga = LeerUnByte();  
            if(LongitudCarga > 169)  
                return;  
  
            SumaTotal = 0;  
            for(int i = 0; i < LongitudCarga; i++) {  
                DatosCarga[i] = LeerUnByte();  
                SumaTotal += DatosCarga[i];  
            }  
  
            Suma = LeerUnByte();  
            SumaTotal = 255 - SumaTotal;  
  
            if(Suma == SumaTotal) {  
  
                CalidadBaja = 200;  
                Concentracion = 0;  
                Relajacion = 0;
```

Tras comprobar que las variables “Suma” y “SumaTotal” no son iguales damos paso a la carga de los de los datos almacenados en “DatosCarga” en su variable correspondiente.

```
        for(int i = 0; i < LongitudCarga; i++) {  
            switch (DatosCarga[i]) {  
                case 2:  
                    i++;  
                    CalidadBaja = DatosCarga[i];  
                    PaqueteH = true;  
                    break;  
                case 4:  
                    i++;  
                    Concentracion = DatosCarga[i];  
                    break;  
                case 5:  
                    i++;  
                    Relajacion = DatosCarga[i];  
                    break;  
                case 0x80:  
                    i = i + 3;
```

```

        break;
    case 0x83:
        i = i + 25;
        break;
    default:
        break;
    }
}

```

Una vez configurados todos los parámetros y datos necesarios para el funcionamiento del sistema implementaremos un sistema de seguimiento basado en el monitor serie, que nos permitirá controlar el correcto funcionamiento del sistema, gracias al visionado de información en tiempo real de la calidad, concentración y tiempo entre paquetes.

```

if(PaqueteH) {
    if(CalidadBaja == 0)
        digitalWrite(Led, HIGH);
    else
        digitalWrite(Led, LOW);
    Serial.print("Calidad de Señal Baja: ");
    Serial.print(CalidadBaja, DEC);
    Serial.print(" Nivel de Concentración: ");
    Serial.print(Concentracion, DEC);
    Serial.print(" Tiempo desde el último paquete recibido: ");
    Serial.print(millis() - UltimoPaquete, DEC);
    UltimoPaquete = millis();
    Serial.print("\n");
}

```

Por último, implementamos el encendido de los LEDs dependiendo del nivel de concentración que alcance el usuario. Se pueden distinguir hasta nueve estados de encendido diferentes, desde un único LED encendido (todavía no se reciben datos correctos), dos LEDs encendidos (se comienzan a recibir los primeros datos con una concentración muy baja), hasta todos los LEDs encendidos (se corresponde con el estado de máxima concentración).

```

switch(Concentracion / 10) {
    case 0:
        digitalWrite(LedRojo1, LOW);
        digitalWrite(LedRojo2, LOW);
        digitalWrite(LedRojo3, LOW);
        digitalWrite(LedAmarillo1, LOW);
        digitalWrite(LedAmarillo2, LOW);
        digitalWrite(LedAmarillo3, LOW);
        digitalWrite(LedAmarillo4, LOW);
        digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde2, LOW);
        digitalWrite(LedVerde3, LOW);
        break;
    case 1:
        digitalWrite(LedRojo1, LOW);
        digitalWrite(LedRojo2, LOW);
}

```

```
digitalWrite(LedRojo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo1, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo2, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo4, LOW);
digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
digitalWrite(LedVerde3, LOW);
break;
case 2:
digitalWrite(LedRojo1, LOW);
digitalWrite(LedRojo2, LOW);
digitalWrite(LedRojo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo1, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo2, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo4, LOW);
digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
break;
case 3:
digitalWrite(LedRojo1, LOW);
digitalWrite(LedRojo2, LOW);
digitalWrite(LedRojo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
digitalWrite(LedAmarillo2, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo4, LOW);
digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
break;
case 4:
digitalWrite(LedRojo1, LOW);
digitalWrite(LedRojo2, LOW);
digitalWrite(LedRojo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
digitalWrite(LedAmarillo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo4, LOW);
digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
break;
case 5:
digitalWrite(LedRojo1, LOW);
digitalWrite(LedRojo2, LOW);
digitalWrite(LedRojo3, LOW);
digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
digitalWrite(LedAmarillo3, HIGH);
digitalWrite(LedAmarillo4, LOW);
digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
break;
case 6:
digitalWrite(LedRojo1, LOW);
digitalWrite(LedRojo2, LOW);
digitalWrite(LedRojo3, LOW);
```

```

        digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo4, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
        break;
    case 7:
        digitalWrite(LedRojo1, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo2, LOW);
        digitalWrite(LedRojo3, LOW);
        digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo4, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
        break;
    case 8:
        digitalWrite(LedRojo1, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo2, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo3, LOW);
        digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo4, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
        break;
    case 9:
        digitalWrite(LedRojo1, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo2, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo4, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
        break;
    case 10:
        digitalWrite(LedRojo1, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo2, HIGH);
        digitalWrite(LedRojo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo1, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo2, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo3, HIGH);
        digitalWrite(LedAmarillo4, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde1, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde2, HIGH);
        digitalWrite(LedVerde3, HIGH);
        break; }
    }
    PaqueteH = false;
}
else {}
} } } }

```

## 4 Resultados

---

Como vimos, en el capítulo anterior se desarrolló el dispositivo de comunicación, y tras el montaje de los sistemas con cada una de las placas de Arduino, en este capítulo se va a comprobar y analizar tanto el funcionamiento de los sistemas implementados, como de la propia interfaz.

### 4.1 Primeras Pruebas de la BCI

---

En este primer apartado se comprobará la adaptación de la interfaz a la fisionomía de una persona y se realizarán las primeras pruebas de funcionamiento de la interfaz, con el fin de obtener los primeros datos de una electroencefalografía rudimentaria, con un dispositivo no invasivo.

Como hemos mencionado anteriormente en primer lugar se analizará la ergonomía de la interfaz mediante una prueba en primera persona, la cual documentaremos mediante las siguientes fotografías:



Figura 4.1. Interfaz sin extender (Izquierda)



Figura 4.2. Interfaz extendida (Derecha)



Figura 4.3. Lado izquierdo de la interfaz



Figura 4.4. Lado derecho de la interfaz

Como se puede observar en las fotografías la interfaz se adapta correctamente la fisionomía media de una persona, y no resulta ser incómoda salvo en el caso en el que la portemos durante más de 10 minutos, en ese caso empezaremos a sentir algo de molestia en la pinza de tierra que se encuentra sujeta en el lóbulo de la oreja izquierda. Esta ergonomía se consigue gracias a la parte superior de la interfaz, la cual presenta un “brazo” extensible, además de una gran flexibilidad lo que permite que se adapte a la mayoría de las personas.

Una vez hemos analizado la ergonomía de la interfaz podemos comenzar a realizar las primeras pruebas de captación de señales. Como ya se comentó en el capítulo anterior, para poder establecer comunicación entre la interfaz y un PC debemos emparejar ambos dispositivos, y tras esto podremos comenzar a capturar las diferentes ondas cerebrales que emite nuestro cerebro en estado de activación. Para esta primera captura de señales se ha utilizado el software de prueba de proporciona NeuroSky, dado que el objetivo de estas primeras pruebas es comprobar el correcto funcionamiento del sensor de la interfaz, la etapa de procesado de señales, y la conexión entre esta y el PC. A continuación se irán mostrando las diferentes imágenes obtenidas de la primera prueba realizada con el software de NeuroSky, y las iremos describiendo junto con las acciones que se estaban llevando a cabo por el usuario, para comprobar el nivel de calidad de las señales obtenidas.

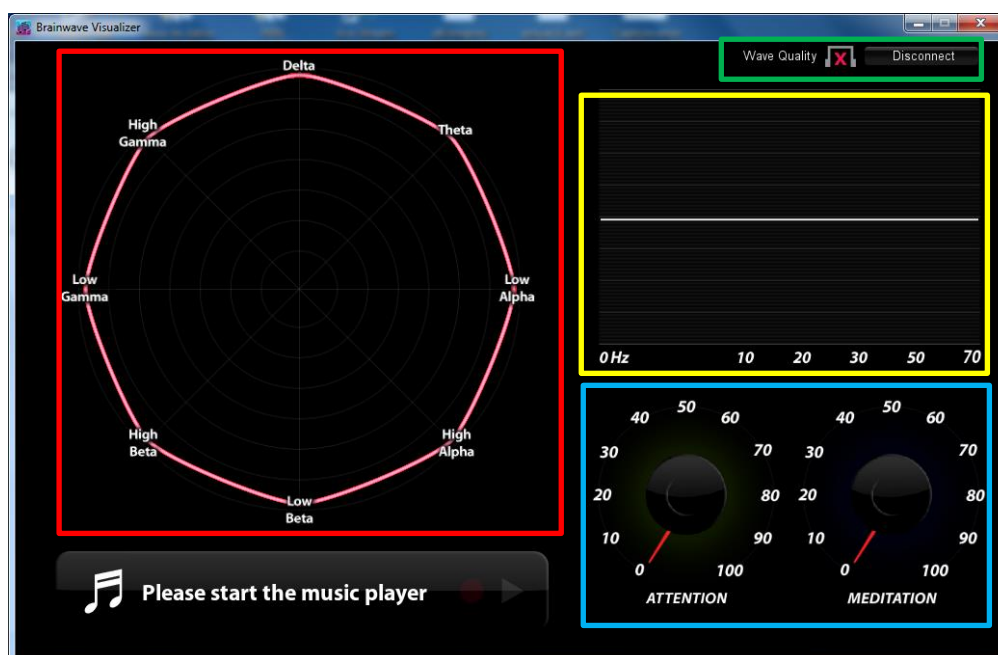


Figura 4.5. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) del software de NeuroSky

La imagen mostrada corresponde a la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) del software de NeuroSky. En la interfaz podemos distinguir cuatro partes principales:

- Nivel de señal de las ondas cerebrales (Rojo).
- Estado de conexión de interfaz BCI con el PC (Verde).

- Gráfica de electroencefalograma (Amarillo).
- Niveles de concentración y relajación del usuario (Azul).

Además, el software incluye un reproductor de ruido blanco con el fin de evaluar el comportamiento de las personas a dichos estímulos.



Figura 4.6. Respuesta cerebral en estado natural

Esta primera imagen corresponde a la respuesta cerebral de una persona en un estado natural, tanto de activación, cómo de relajación. Se puede observar como el diagrama de ondas cerebrales aún no muestra datos relevantes, ya que esta primera imagen se corresponde con el establecimiento de la comunicación entre la interfaz y el software, lo cual se puede comprobar con el icono verde la esquina superior derecha, que nos indica que se están recibiendo los datos recabados por la interfaz de forma correcta. Por otro lado podemos observar como el electroencefalograma tampoco aporta datos relevantes, debido al estado de reposo de la persona. Las pequeñas variaciones que se observan (artefactos) son debidas a la propia respiración del usuario, y a los pequeños movimientos que este pueda realizar inconscientemente. Por último, evaluaremos la concentración y la relajación del usuario en un rango 1 – 10. En este caso se observa como el usuario presenta una concentración de aproximadamente un nivel 3, y un estado de relajación de nivel 7.



Figura 4.7. Respuesta cerebral ante un parpadeo

En la imagen anterior observamos como al parpadear se produce un pico de intensidad media superior a la media de la señal. Podemos comprobar como los niveles de las ondas cerebrales comienzan a variar atendiendo al estado del usuario. Los niveles de concentración y relajación en este caso se encuentran en 7.9 y 4.4 respectivamente.



Figura 4.8. Respuesta cerebral en un estado activado

En esta última imagen se puede observar en el electroencefalograma, tanto la huella correspondiente a un parpadeo, como la respuesta cerebral a un estado de activación (movimientos musculares, diálogo, etc.). Como vemos, el hecho de que el usuario de la interfaz se encuentre un



estado de activación no impide el correcto funcionamiento de la interfaz, ya que como se ha mencionado anteriormente esta incluye un filtro para prevenir interferencias de artefactos. Además vemos como este estado de activación se corresponde con una excitación de las ondas gamma y alfa, tal y como se aprecia en el diagrama. Por último podemos concluir que el hecho de que el usuario se encuentre en un estado de activación o reposo no afecta a los niveles de concentración y/o relajación, puesto que en este caso presentan unos valores intensidad de 7.5 y 6 respectivamente.

## 4.2 Funcionamiento de los Sistemas

---

Este apartado tiene como objetivo documentar el funcionamiento del sistema con Arduino Uno, y el sistema con Arduino Nano, ya que a pesar de las semejanzas y diferencias tanto físicas como electrónicas de ambos dispositivos, como vimos en capítulos anteriores, existen una serie de diferencias de funcionamiento entre ambos, las cuales expondremos a continuación:

### 4.2.1 Análisis del sistema con Arduino Uno

---

Tras realizar el montaje descrito en el capítulo anterior y cargar el software podemos comprobar el funcionamiento del dispositivo. Para ello, en primer lugar conectaremos el sistema al PC vía USB, con el fin de alimentarlo y monitorear la calidad de la señal, el tiempo entre paquetes, y la concentración alcanzada por el usuario. Tras conectar el sistema, procedemos a encender la interfaz BCI y la pondremos en *pairing mode* para que se conecte automáticamente con el módulo bluetooth HC-05. Una vez hecho esto el podremos comenzar a observar los datos que aporta la interfaz al sistema a través del monitor serie que incluye el IDE de Arduino. El sistema necesita unos segundos para comenzar a identificar las señales procedentes del cerebro y transmitir las a la placa Arduino, con el fin de poder recibir información acerca del todo el proceso, y poder detectar errores. A continuación se muestran la primera serie de datos recibidos por la interfaz, los cuales como ya hemos comentado serán erróneos.

```
Nivel de Calidad Baja: 54 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 113015
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 998
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 992
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 992
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 998
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 992
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 997
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 1000
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 997
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 988
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 989
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 998
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 993
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 996
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 996
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 997
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 989
```

Figura 4.9. Primera serie de datos recibidos de la interfaz

Los errores que se puedan producir los subsanaremos aplicando una metodología de corrección de errores desarrollada específicamente para evitar la posible ineficiencia en la fase de pruebas, que consta de las siguientes fases:

**1. Comprobación de la colocación de la interfaz.**

- a. Ajustar extensión del brazo superior de la interfaz.
- b. Ajustar sensor en la frente para que haga contacto.
- c. Ajustar pinza de tierra en el lóbulo de la oreja.

**2. Comprobación de la conexión entre la interfaz y el módulo bluetooth.**

- a. LED azul fijo.

**3. Comprobación de los baudios predeterminados en el monitor serie.**

- a. 57600 baudios.

**4. Comprobación de las conexiones del sistema.**

- a. Comprobación de que cada pin está conectado con el que corresponde.
- b. Tierra única en todo el circuito. Si se alimenta con un sistema diferente al USB (baterías, fuente de alimentación, etc.), se debe mantener la tierra física de la placa Arduino y del módulo bluetooth.
- c. Comprobación de la tensión de la placa.

### 5. Reinicio de la placa.

- a. Presionar el botón de *Reset* que incluye la placa.
- b. Volver a cargar el software al microprocesador.

### 6. Cambio de componentes.

Durante todo el desarrollo y la fase de pruebas en ningún momento se ha alcanzado a llegar al punto seis, ya que de lo contrario si el problema no se solventa siguiendo los cinco primeros puntos, la probabilidad de que la placa Arduino o el módulo estén produciendo fallos es muy alta. Esto implicaría el cambio de los componentes y el montaje de un nuevo sistema.

Tanto si todo ha ido bien desde el primer momento, como si se ha producido algún fallo y este se ha corregido, una vez la interfaz se establezca comenzaremos a recibir los primeros datos con información útil y por tanto el sistema comenzará con el encendido de los LED conforme nos vayamos concentrando en encenderlos.

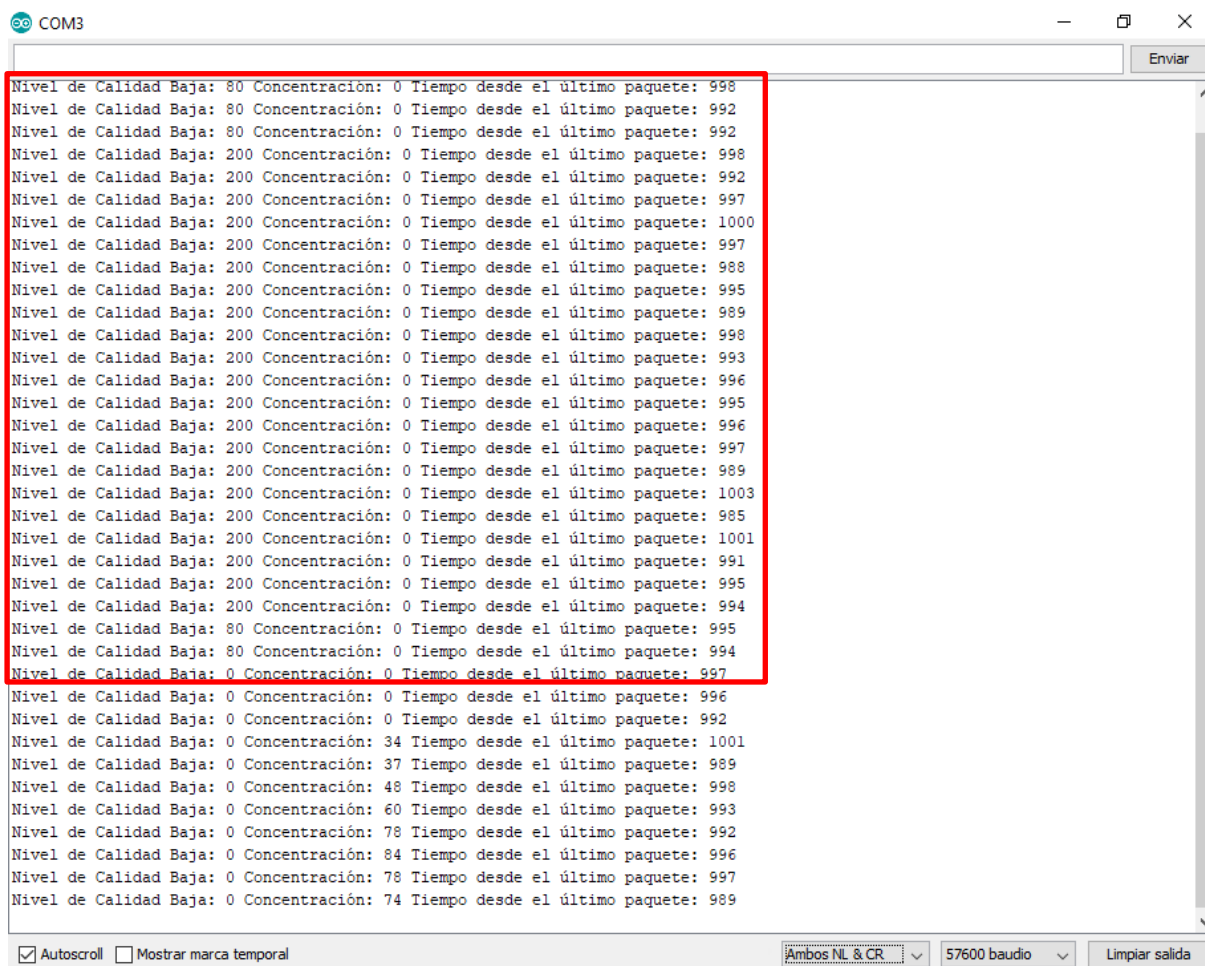


Figura 4.10. Series de datos recibidos por la interfaz con Arduino Uno

Como se puede observar se diferencia claramente la fase de establecimiento de la interfaz con la fase de funcionamiento. La serie de datos señalada en el recuadro rojo se refiere a la fase de

establecimiento. En esta fase, como ya hemos comentado el sensor y el sistema de procesado de la interfaz se están estabilizando con el fin de ajustarse de la mejor forma posible a las características de la señales obtenidas y transmitir las con la mayor fiabilidad.

Además, como se aprecia en la imagen, el valor máximo que se puede alcanzar en el apartado de “Nivel de Calidad Baja” es de 200 puntos, lo que indica que en ese instante no se está recibiendo datos (fase de establecimiento). Por otro lado, los valores de concentración varían entre 0 y 100 puntos, donde el 0 equivale a la ausencia de datos (fase de establecimiento), y el 100 al mayor nivel de concentración alcanzado para encender los LEDs.

Para comprobar que el sistema funciona correctamente se incluyen 10 LEDs, en representación de los distintos niveles de concentración alcanzados, lo que implica que si la concentración que tenemos es baja sólo se encenderán los primeros LEDs (rojos), y por el contrario si alcanzamos un nivel mayor de concentración se irán encendiendo los LEDs progresivamente hasta alcanzar el máximo, representado por los LEDs verdes, tal y como se aprecia en la siguiente imagen:

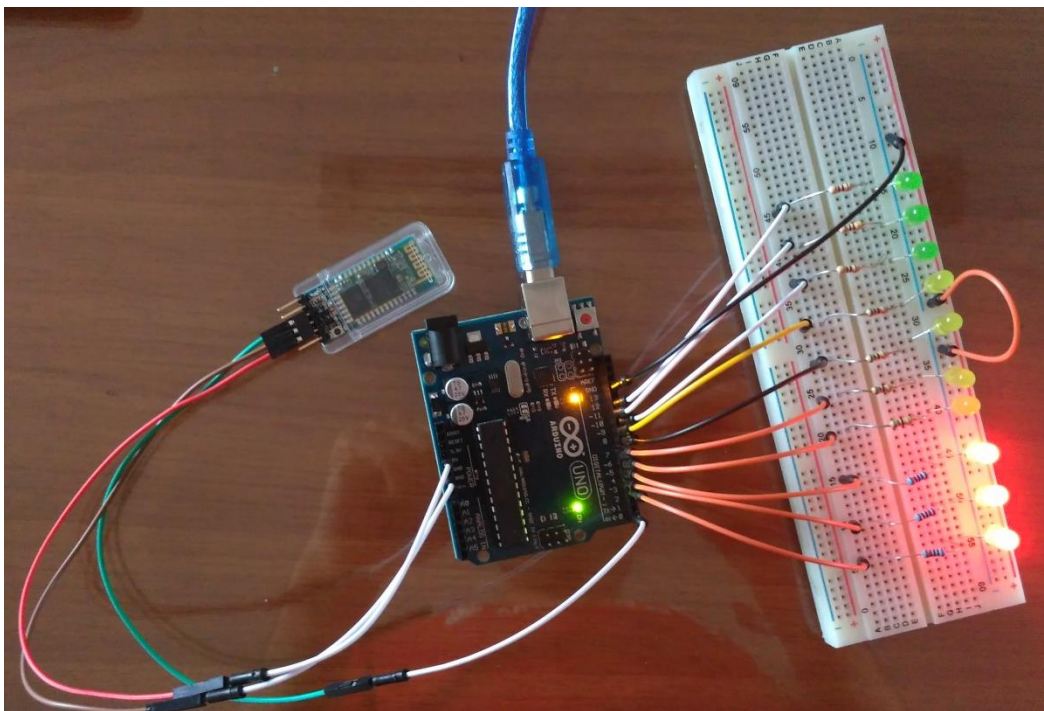


Figura 4.11. Funcionamiento del sistema de comunicación con Arduino Uno

Como el primer LED rojo se corresponde con el nivel más bajo de concentración (0 – 10), siempre estará encendido, dado que incluso en la fase de establecimiento de la interfaz, donde el nivel de concentración es 0, este entra dentro del rango definido. Esto nos sirve también para identificar si el sistema funciona correctamente antes incluso de recibir datos, puesto que si el primer LED no está encendido el sistema no está funcionando correctamente. A continuación se

muestra una tabla resumen de la correspondencia entre el encendido de los LEDs y la concentración alcanzada.

LEDs	Color	Rango de Concentración
1	Rojo	0 – 10
2		10 – 20
3		20 – 30
4	Amarillo	30 – 40
5		40 – 50
6		50 – 60
7		60 – 70
8	Verde	70 – 80
9		80 – 90
10		90 – 100

Tabla 4.1. Relación LEDs – Concentración

#### 4.2.2 Análisis del sistema con Arduino Nano

El procedimiento que se ha seguido es el mismo que el que se ha utilizado para el sistema con Arduino Uno, pero en este caso el montaje se realizará utilizando la placa Arduino Nano, tal y como vimos en el capítulo anterior.

En este caso además de visualizar la concentración del usuario a través de los LEDs, también se analizará que es lo que ocurre a nivel de señal para que se enciendan cada uno de los LEDs, es decir, tomaremos una imagen del monitor serie a la vez que otra imagen del sistema con los LEDs encendidos, con el fin de observar el instante exacto en el que el usuario alcanza el nivel de concentración que enciende el último de los LEDs.

De la misma forma que la descrita anteriormente, al conectar la interfaz y colocarla sobre la cabeza del usuario, comenzaremos a recibir información sobre la intensidad de las diferentes ondas cerebrales que conforman el electroencefalograma, tras el tiempo de establecimiento del sistema con la interfaz, como muestra la siguiente imagen:

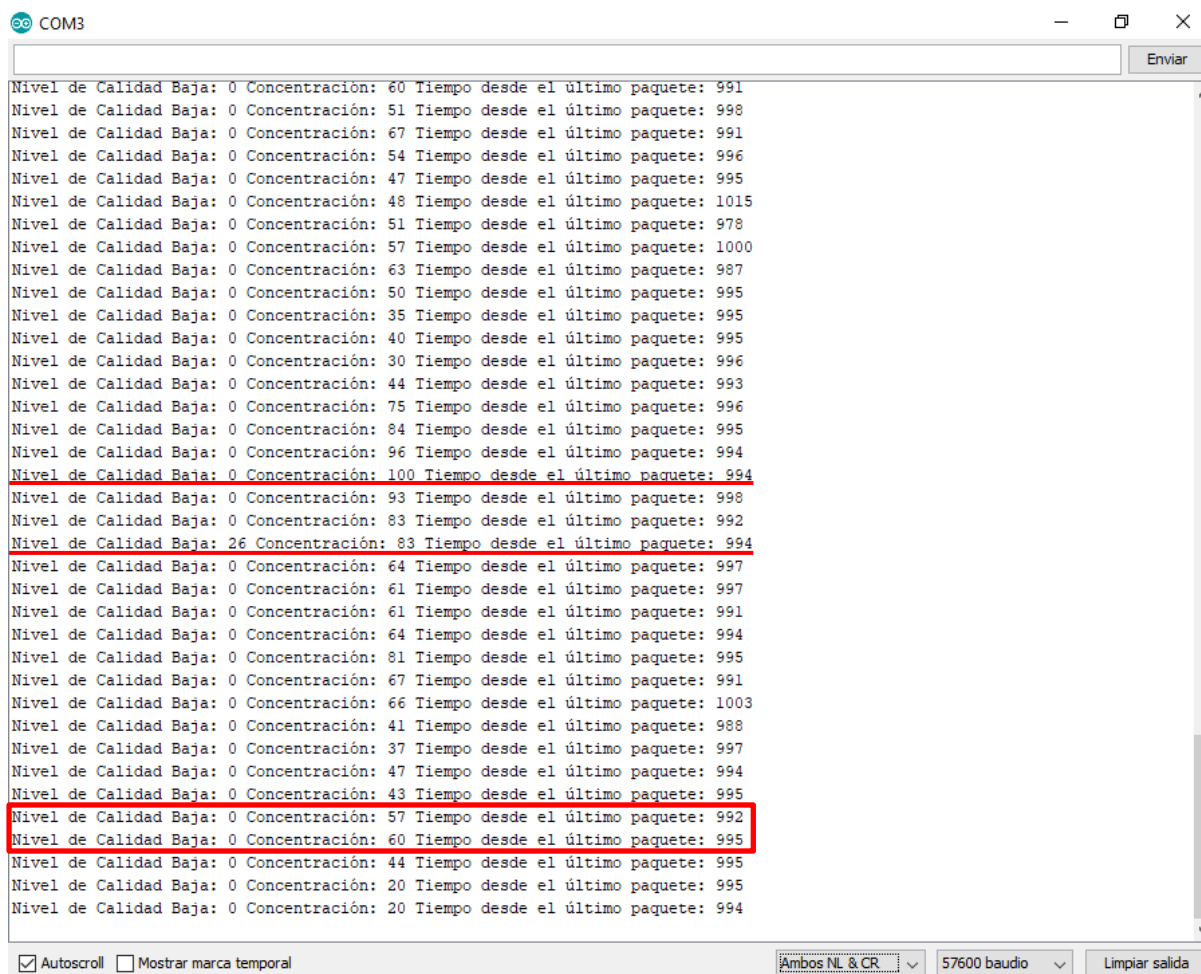


Figura 4.12. Series de datos recibidos por la interfaz con Arduino Nano

Tras analizar la imagen anterior podemos destacar tres eventos relacionados con el nivel de concentración del usuario, la calidad de la señal, y por último con el número de LEDs encendidos del sistema. En primer lugar destacamos el instante en el que el usuario alcanza el nivel máximo de concentración que podemos registrar con el sistema. Como vemos la concentración no es algo lineal, sino que su funcionamiento se registra en fases donde existen valles y picos, como es este caso. El hecho de alcanzar los 100 puntos de concentración equivale al encendido de todos los LEDs, incluyendo el último LED verde.

En segundo lugar destacamos una disminución de la calidad de la señal, previsiblemente debido a una interferencia electromagnética momentánea. A pesar de haber obtenido datos procedentes de la señal cerebral del usuario, la disminución de la calidad de la señal hace que no sean datos válidos a nivel de electroencefalografía, ya que esto se traduciría en la gráfica como un efecto parasitario que podría confundir a la hora de realizar un análisis de la actividad cerebral de la persona.

Por último destacamos el instante en el que se ha tomado la fotografía del sistema que, de acuerdo a la tabla incluida en el apartado anterior, que relaciona los LEDs con el nivel de

concentración deben de encenderse los seis primeros LEDs a excepción del último amarillo correspondiente a un nivel de intensidad superior, junto con los tres últimos verdes.

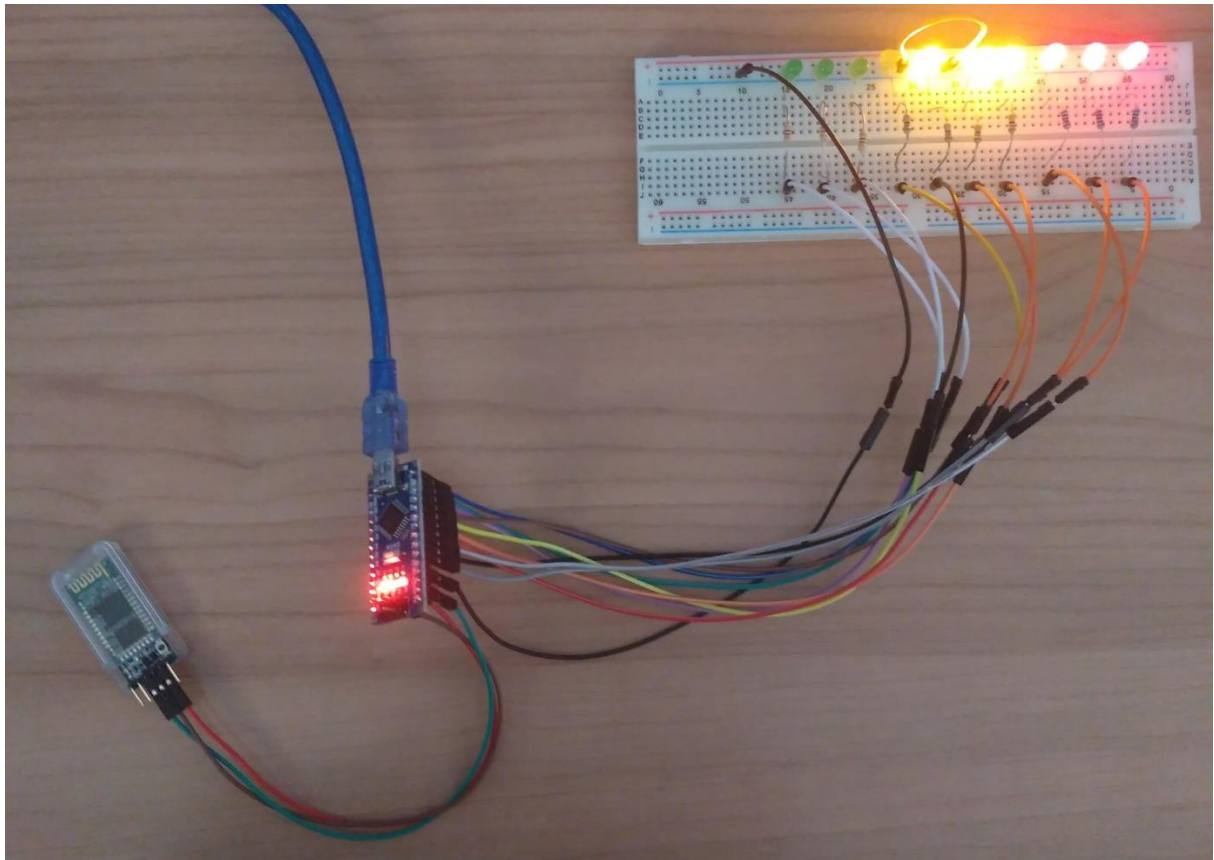
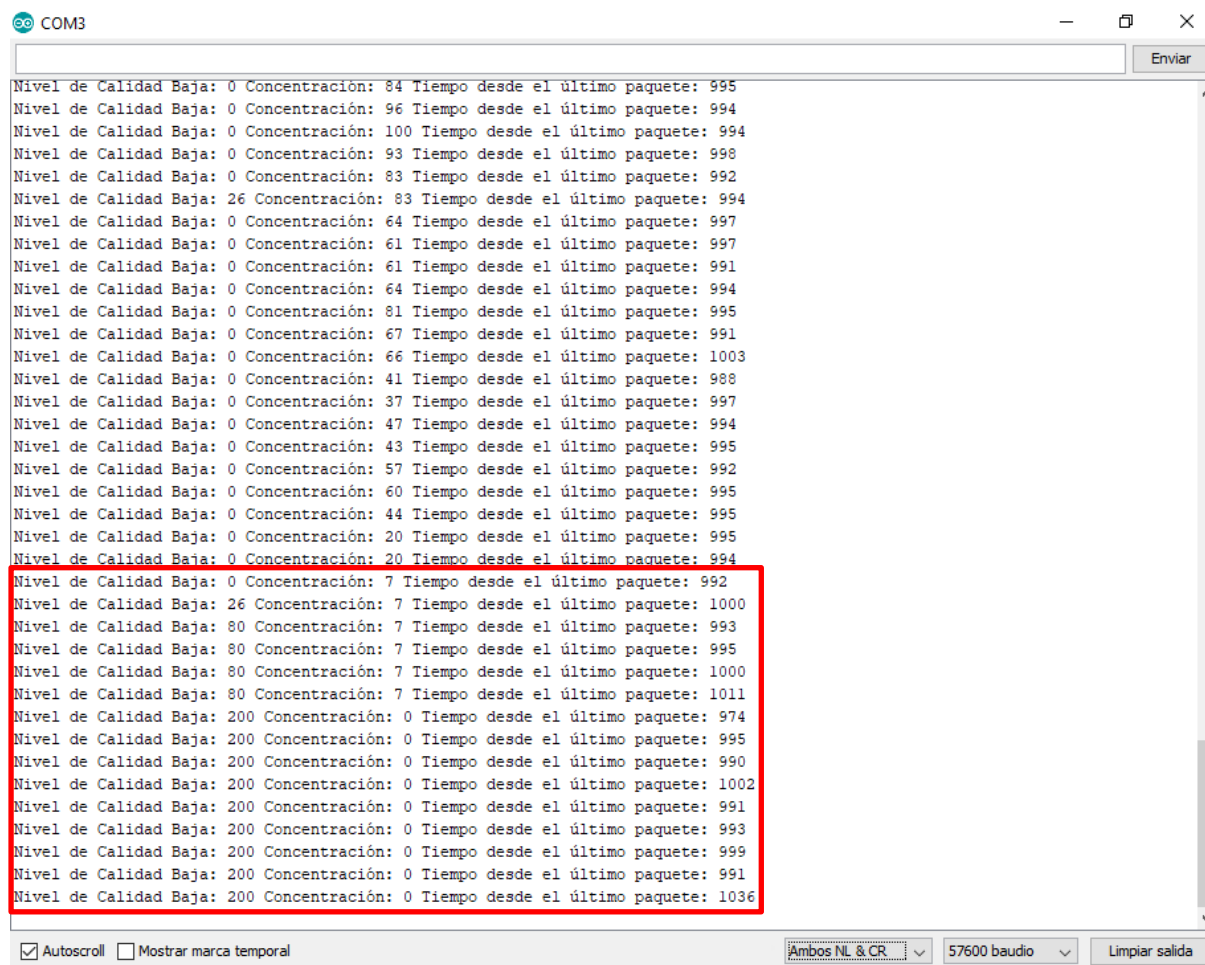


Figura 4.13. Funcionamiento del sistema de comunicación con Arduino Nano

Como se puede apreciar los LEDs encendidos en el sistema se corresponden con los niveles de concentración reflejados en el monitor serie.

Tras esto podemos comprobar el comportamiento, a nivel de señal, que tiene el sistema si simplemente retiramos la interfaz de la cabeza del usuario, pero esta sigue estando conectada y se encuentra enviando datos de forma constante. Para observar esto se incluye la siguiente imagen, que procedemos a analizar:



```

COM3
Enviar
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 84 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 96 Tiempo desde el último paquete: 994
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 100 Tiempo desde el último paquete: 994
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 93 Tiempo desde el último paquete: 998
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 83 Tiempo desde el último paquete: 992
Nivel de Calidad Baja: 26 Concentración: 83 Tiempo desde el último paquete: 994
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 64 Tiempo desde el último paquete: 997
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 61 Tiempo desde el último paquete: 997
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 61 Tiempo desde el último paquete: 991
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 64 Tiempo desde el último paquete: 994
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 81 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 67 Tiempo desde el último paquete: 991
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 66 Tiempo desde el último paquete: 1003
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 41 Tiempo desde el último paquete: 988
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 37 Tiempo desde el último paquete: 997
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 47 Tiempo desde el último paquete: 994
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 43 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 57 Tiempo desde el último paquete: 992
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 60 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 44 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 20 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 20 Tiempo desde el último paquete: 994
Nivel de Calidad Baja: 0 Concentración: 7 Tiempo desde el último paquete: 992
Nivel de Calidad Baja: 26 Concentración: 7 Tiempo desde el último paquete: 1000
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 7 Tiempo desde el último paquete: 993
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 7 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 7 Tiempo desde el último paquete: 1000
Nivel de Calidad Baja: 80 Concentración: 7 Tiempo desde el último paquete: 1011
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 974
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 995
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 990
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 1002
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 991
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 993
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 999
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 991
Nivel de Calidad Baja: 200 Concentración: 0 Tiempo desde el último paquete: 1036
Autoscroll [x]  Mostrar marca temporal [ ]  Ambos NL & CR [v]  57600 baudio [v]  Limpiar salida [b]
  
```

Figura 4.14. Series de datos enviados por la interfaz de forma aislada al usuario

Tal y como se puede observar cuando el usuario se quita la interfaz esta vuelve al estado inicial mostrado en el apartado anterior, es decir, comienza a aumentar el nivel de calidad baja hasta llegar al máximo posible y el nivel de concentración disminuye hasta alcanzar el nivel mínimo.

Tras el análisis realizado podemos concluir que el sistema funciona correctamente, tanto de forma aislada al usuario reportando la ausencia de datos útiles, como con un uso eficiente, reflejando correctamente los niveles de concentración del usuario y transmitiéndolos al sistema de comunicación, para su procesado y uso.

Este correcto funcionamiento es uno de los factores principales para conseguir implementar un prototipo final de tamaño reducido, que permita comprobar el potencial de esta tecnología destinada a personas con movilidad reducida, en el ámbito domótico.



## 4.3 Análisis de las Diferencias entre los Sistemas

---

En este apartado analizaremos las diferencias entre los sistemas desarrollados, centrándonos principalmente en los siguientes aspectos:

- Estructura de la electroencefalografía captada
- Precisión del procesado de señal
- Facilidad en la manipulación del sistema
- Sensibilidad frente a interferencias

Para analizar en profundidad ambos sistemas se enfocarán los aspectos anteriores tanto en el sistema basado en Arduino Uno, como el sistema basado en Arduino Nano.

- 1. Estructura de la electroencefalografía captada:** este aspecto, a pesar de corresponder principalmente a la interfaz cerebro-computador, el sistema que lo gestiona es el microcontrolador, por lo que, tanto los datos mostrados a través del monitor serie, como de forma visual con los LEDs proceden de la placa Arduino, la cual, dependiendo de las especificaciones técnicas reflejadas en el Anexo I, puede interpretar de una forma u otra los datos recibidos de la interfaz.

En este caso, la placa Arduino Uno es una placa electrónicamente robusta, por lo que las señales procesadas presentan una relación señal-ruido muy favorable. Esto permite asilar de la mejor forma posible la señal frente a los artefactos producidos de forma natural al dialogar, o realizar movimientos rutinarios.

Sin embargo durante la fase de pruebas con Arduino Nano se pudieron apreciar algunas anomalías en cuanto al funcionamiento del sistema, tal y como se puede apreciar en la Figura 4.12., donde existen saltos entre máximos de concentración y tramos de peor calidad de la señal. Lo que implica que, del mismo modo que esa pérdida de señal se aprecia en el monitor serie, esto se reflejará a lo hora de tomar medidas de una electroencefalografía, disminuyendo la fiabilidad de esta.

- 2. Precisión del procesado de señal:** la precisión del procesado de señal en este caso está relacionada con la capacidad del sistema de interpretar con fiabilidad las señales emitidas por el cerebro. Esto lo podemos comprobar gracias al sistema de LEDs implementado y a la información aportada por el monitor serie en cuanto a “Nivel de Calidad Baja” y al tiempo desde el último paquete. En este caso, tal y como se aprecia en la Figura 4.10. una

vez se ha superado la fase de establecimiento de la interfaz no se vuelve a observar ningún tipo de disminución de la señal, al contrario que ocurre con el sistema que trabaja sobre Arduino Nano.

Por otro lado, se ha observado que alcanzar una mayor cantidad de LEDs encendidos se consigue con mayor facilidad en el sistema con Arduino Uno, que en el sistema con Arduino Nano, llegando incluso a mantener todos los LEDs encendidos durante una importante cantidad de tiempo, tal y como se observa en la siguiente imagen:

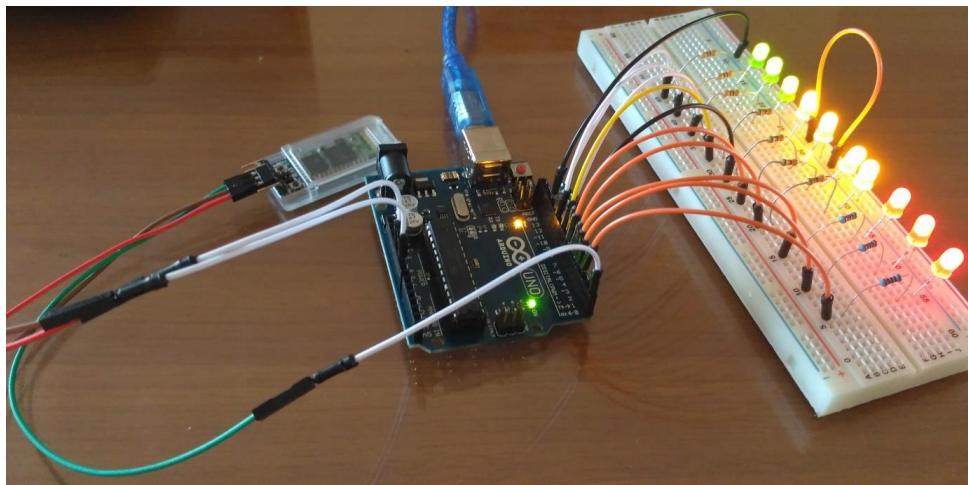


Figura 4.15. LEDs encendidos en el sistema de comunicación con Arduino Uno

- 3. Facilidad en la manipulación del sistema:** en cuanto a la manipulación del sistema, lo que se valora es la facilidad que presenta el sistema en cuanto a montaje, comprobación de errores, realización de pruebas, etc. En este caso es evidente que debido al tamaño que presenta este dispositivo, la manipulación resulta mucho más sencilla en el caso de Arduino Uno, y por tanto también lo es la comprobación de errores relacionados con las conexiones del sistema.

La manipulación para el caso del sistema basado en Arduino Nano resulta ser mucho más tediosa, ya que al tratarse de un dispositivo compacto se debe de ser mucho más precavido con las conexiones, puesto que cualquier conexión errónea puede provocar un corto circuito que queme la placa.

- 4. Sensibilidad frente a interferencias:** en este caso valoramos la robustez del sistema frente a interferencias electromagnéticas. Hemos podido realizar estudios del comportamiento del sistema en un entorno con una importante carga electromagnética, entornos con fuentes de alimentación suministrando alto voltaje, motores en

funcionamiento, dispositivos digitales, comunicaciones inalámbricas (radio, bluetooth, WiFi, etc.), y el comportamiento de ambos dispositivos ha sido muy favorable, llegando por momentos a no presentar ningún tipo de anomalía.

## 4.4 Estudio de Patrones en la Actividad Cerebral

Para el estudio de los patrones que aparecen en la actividad cerebral de diferentes usuarios, se ha monitoreado a tres usuarios distintos mientras realizaban acciones concretas predeterminadas, con el fin de analizar las similitudes, entre la información proporcionada por las electroencefalografías tomadas.

En primer lugar vamos a describir la interfaz gráfica del software utilizado para este análisis, el cual nos permitirá realizar el estudio de los patrones que se manifiestan en las electroencefalografías. Por otro lado también se mostrará la electroencefalografía base de una persona en estado de reposo, para poder compararla posteriormente con las electroencefalografías tomadas mientras los usuarios realizan las siguientes acciones:

- Parpadeo ocular
- Inhalación profunda de aire
- Risa

A continuación se describirá la aplicación utilizada para el estudio de las electroencefalografías:

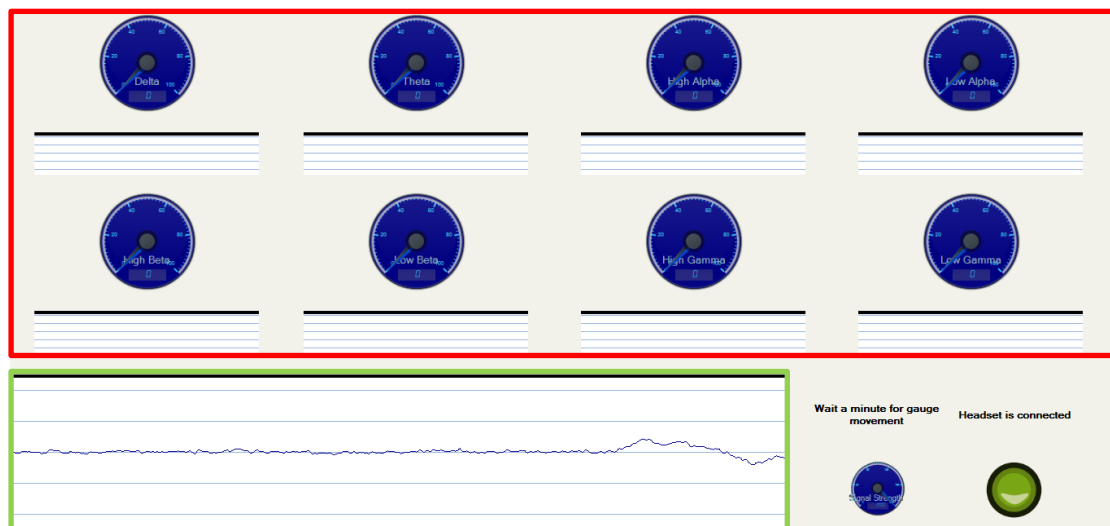


Figura 4.16. Aplicación para el análisis de las electroencefalografías

En la aplicación se pueden apreciar dos partes. La primera de ellas (rojo) presenta ocho gráficas destinadas a cada una de las ondas cerebrales que emite el cerebro, estas son: Delta, Theta, Alpha (alta y baja frecuencia), Beta (alta y baja frecuencia), Gamma (alta y baja frecuencia). Esta parte nos mostrará la evolución de las ondas cerebrales desde el punto de vista eléctrico y frecuencial, a modo de electroencefalograma sesgado.

La segunda parte de la aplicación nos mostrará un electroencefalograma genérico. Este electroencefalograma será similar al capturado en el primer apartado del presente capítulo “Primeras pruebas”, pero en este caso el eje temporal se encuentra más expandido por lo que previsiblemente la señal obtenida no será tan aguda como la obtenida con la aplicación de NeuroSky.

A continuación podemos observar el electroencefalograma base de una persona en estado de reposo, el cual presenta un comportamiento prácticamente plano, donde no existen cambios bruscos de intensidad. A pesar de no aportar información relevante a nivel de electroencefalografía general, se podría comenzar a extraer datos de los diferentes espectros de las ondas cerebrales.

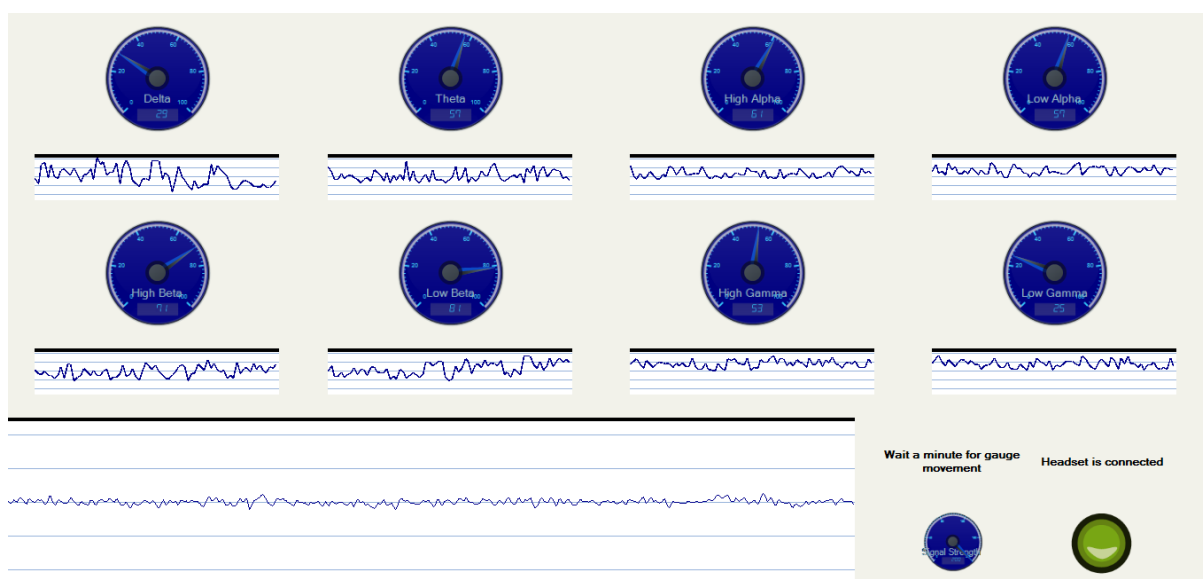


Figura 4.17. Electroencefalograma base de una persona en reposo

Una vez hemos presentado la herramienta que vamos a utilizar para analizar las electroencefalografías de los usuarios, procedemos a mostrar los datos obtenidos para cada persona, destacando la información relevante que se va a comparar en todos los participantes. Con el fin de organizar la información se comentará cada una de las imágenes correspondientes a la actividad cerebral de un usuario, para una vez realizado el estudio de estas, concluir el apartado con los puntos que consideraremos patrón de actividad cerebral, puesto que la probabilidad de que ese proceso neuronal se repita en los usuarios será alta.

En primer lugar incluiremos las imágenes que reflejan la acción de parpadear para cada usuario, y las compararemos entre sí en busca de tramos relevantes que se adecuen a un comportamiento similar. Esto puede ser máximos y mínimos absolutos y relativos, duración de la actividad cerebral, intensidad de la señal, etc. Para clarificar el proceso de análisis se marcarán en rojo todos los tramos anteriormente descritos para cada usuario, y se observará también el número de tramos coincidentes para cada imagen. En este caso si dos imágenes presentar el mismo número de tramos relevantes, y estos presentan las mismas características de intensidad, duración, etc. diremos que ambos usuarios presentan una respuesta neuronal similar para una misma acción, lo que reforzará la elaboración de nuestro patrón. Si por el contrario los usuarios presentan un número distinto de tramos, o estos tramos presentan unas características muy diferentes diremos que ambos usuarios presentan una respuesta neural distinta para una misma acción.

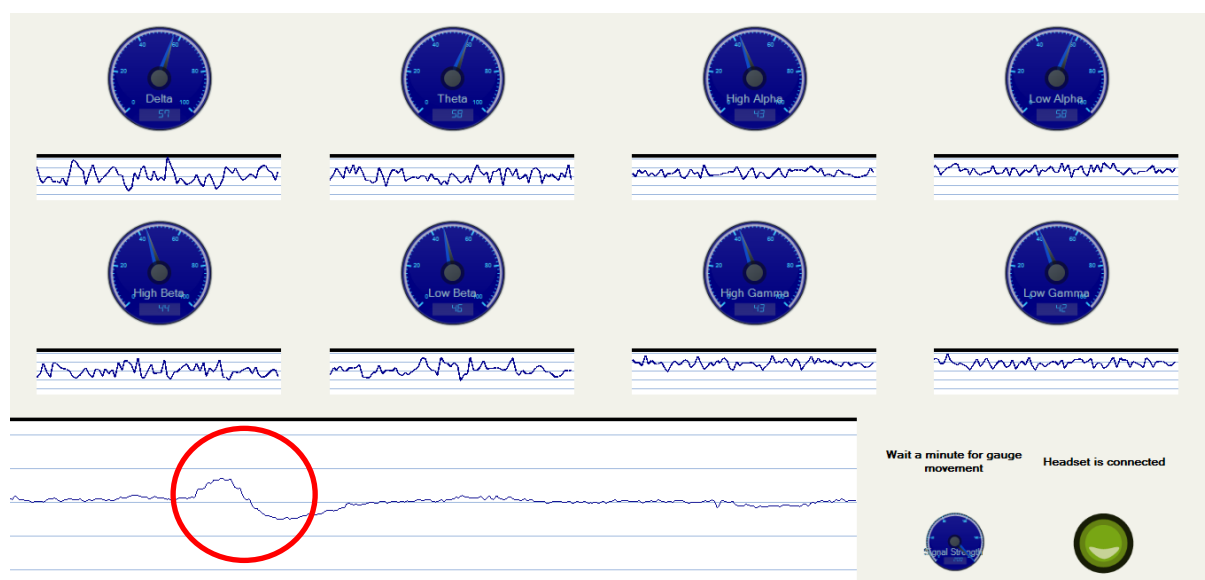


Figura 4.18. Actividad cerebral asociada a la acción de parpadear del primer usuario

Dado que el la herramienta gráfica no nos muestra el valor de los ejes de abscisas y ordenadas, aprovecharemos la división del eje de ordenadas estableciendo el segmento de base la señal en  $0\mu\text{V}$  y cada división con un valor de  $50\mu\text{V}$ . Por lo que el máximo y el mínimo se encontrarán en  $+100$  y  $-100\mu\text{V}$  respectivamente.

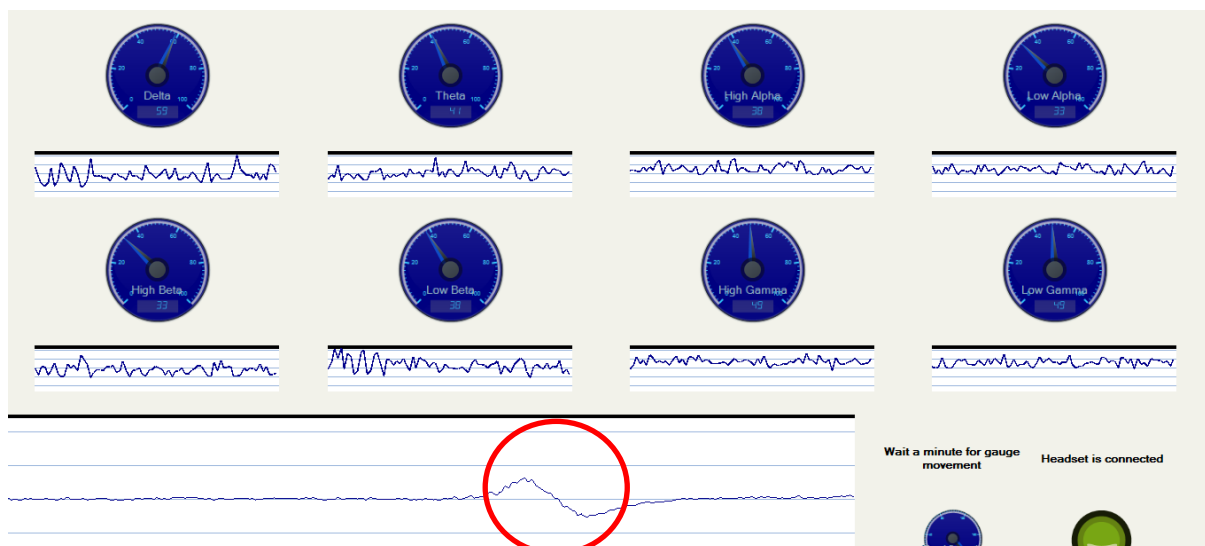


Figura 4.19. Actividad cerebral asociada a la acción de parpadear del segundo usuario

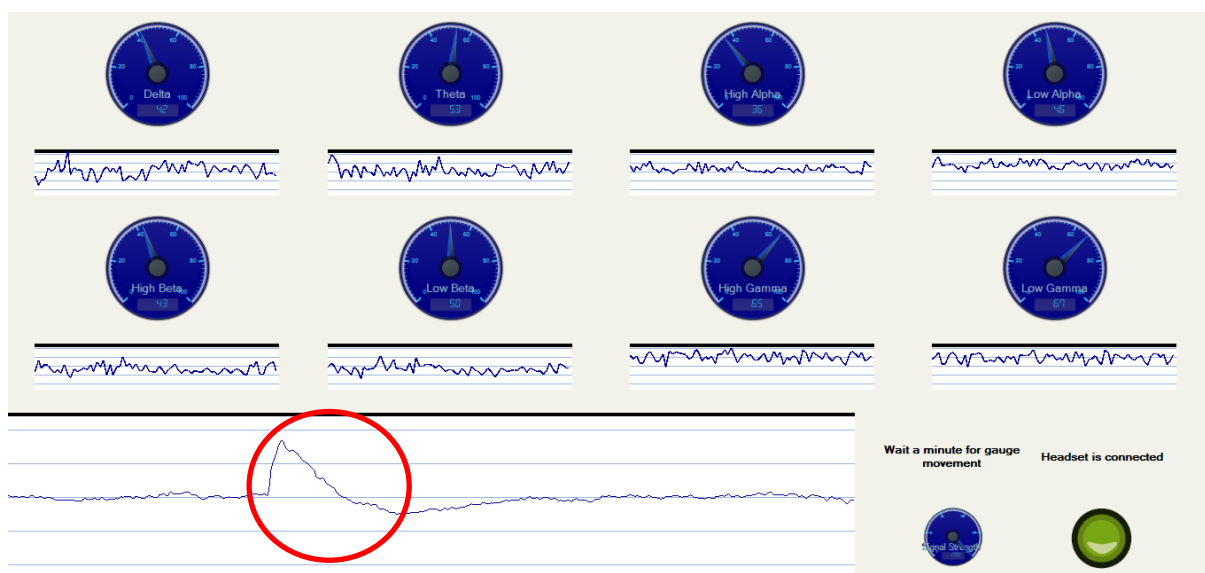


Figura 4.20. Actividad cerebral asociada a la acción de parpadear del tercer usuario

Tal y como se aprecia en las imágenes la respuesta obtenida de los diferentes usuarios, para la acción de parpadear presenta ciertas similitudes en cuanto a forma y frecuencia, pero con distintos matices.

La primera imagen nos muestra una respuesta con una suave transición<sup>19</sup> ascendente y descendente con unos valores máximos y mínimos de  $+40\mu\text{V}$  y  $-25\mu\text{V}$ .

<sup>19</sup> Proceso por el cual la señal pasa de un estado base de actividad cerebral de  $0\mu\text{V}$ , hasta el primer máximo o mínimo absoluto o relativo.

La segunda imagen nos muestra una respuesta muy similar con respecto a la primera imagen, presentando una transición ascendente suave y una transición descendente algo más brusca que en el primer caso. Además, esta señal presenta un voltaje más bajo con respecto a la primera señal, puesto que, en este caso, los valores varían entre los  $+25\mu\text{V}$  y los  $-25\mu\text{V}$ .

Por último, en la última imagen se puede apreciar una señal mucho más abrupta que en las otras dos ocasiones. La primera transición presenta una pendiente muy elevada, que culmina en un máximo absoluto, que además es el valor más alto de los tres casos de estudio. Luego de alcanzar el máximo, la señal sufre una transición suave hasta estabilizarse en el nivel base. Los valores de esta señal varían entre los  $+75\mu\text{V}$  y los  $-25\mu\text{V}$ .

A continuación analizaremos las diferentes respuestas obtenidas en referencia a la acción de inhalar aire profundamente.

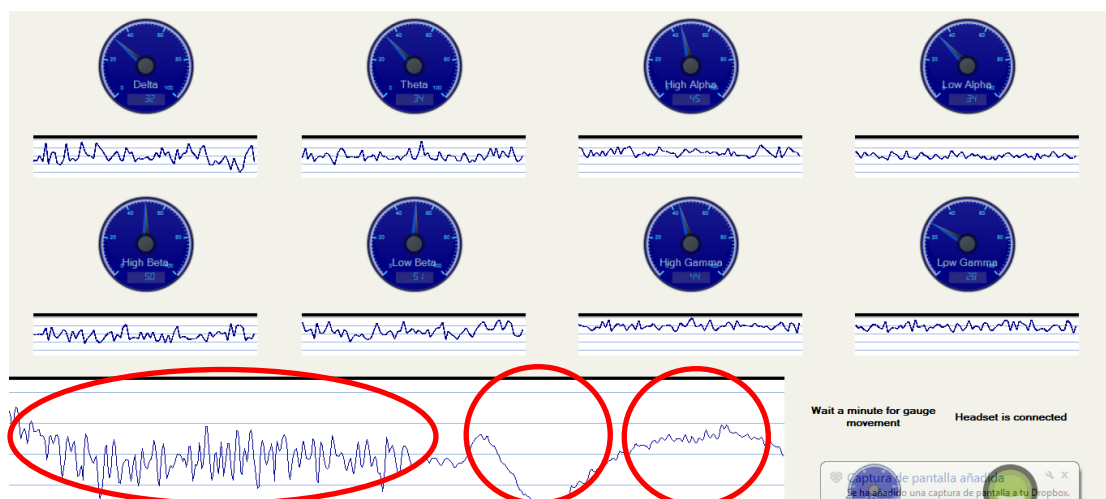


Figura 4.21. Actividad cerebral asociada a la inhalación profunda de aire del primer usuario

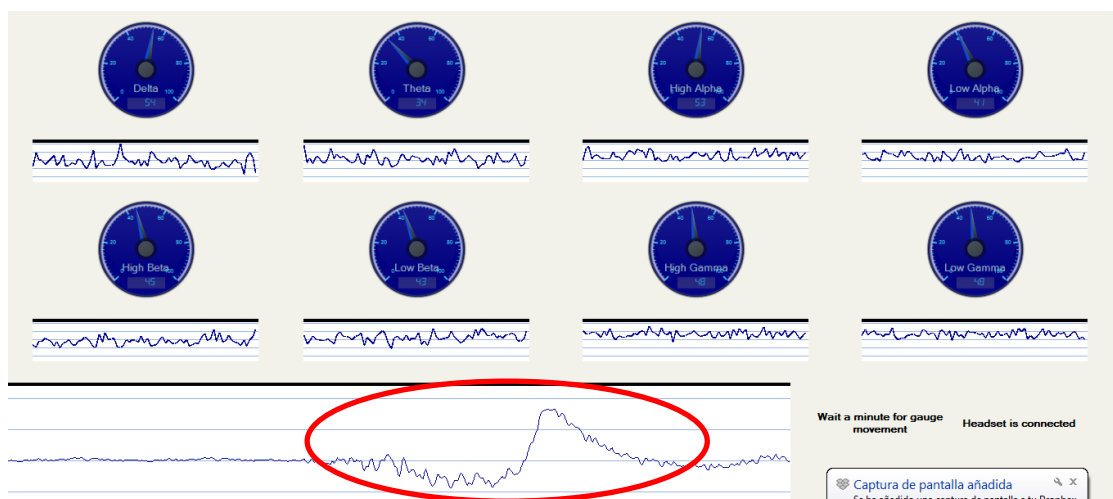


Figura 4.22. Actividad cerebral asociada a la inhalación profunda de aire del segundo usuario

Tal y como se aprecia en las dos imágenes, la misma acción en diferentes usuarios presenta una respuesta muy diferente, por lo que en un primer análisis, y a falta de analizar la respuesta obtenida por el tercer usuario, podemos suponer que la acción de inhalar aire profundamente es una acción con una respuesta individual condicionada a la fisiología del usuario, como puede ser la estatura, peso, capacidad pulmonar, etc. Este tipo de respuestas no pueden ser extrapoladas a la elaboración del patrón de actividad cerebral, debido a que estas no se repiten para una muestra pequeña de usuarios. Del mismo modo comprobamos la respuesta obtenida del tercer usuario.



Figura 4.23. Actividad cerebral asociada a la inhalación profunda de aire del tercer usuario

Tal y como hemos supuesto anteriormente las respuestas obtenidas para la acción de inhalar aire profundamente presentan una gran cantidad de diferencias entre sí, por lo que los datos que obtenidos de estos procesos no son válidos para el patrón, quedando este proceso descartado.

A continuación realizamos el mismo proceso para el análisis de la actividad cerebral registrada cuando el usuario se está riendo.

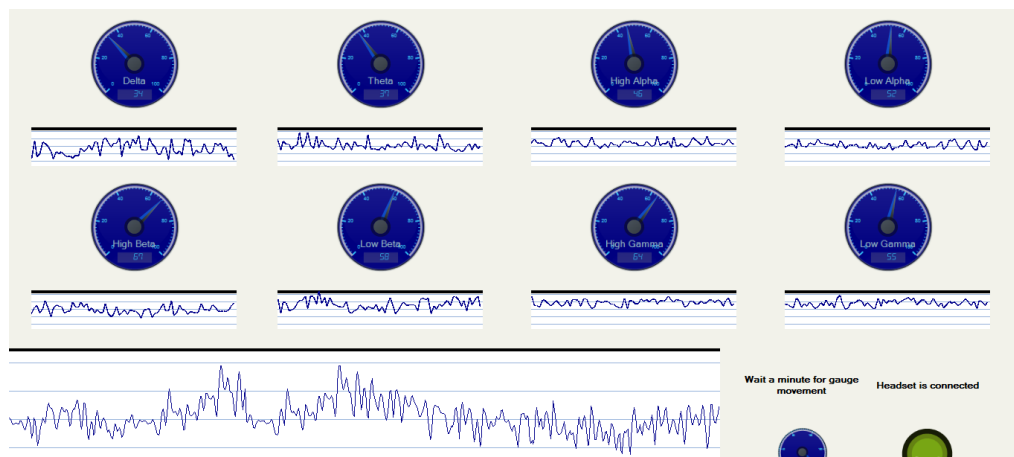


Figura 4.24. Actividad cerebral asociada a la risa del primer usuario



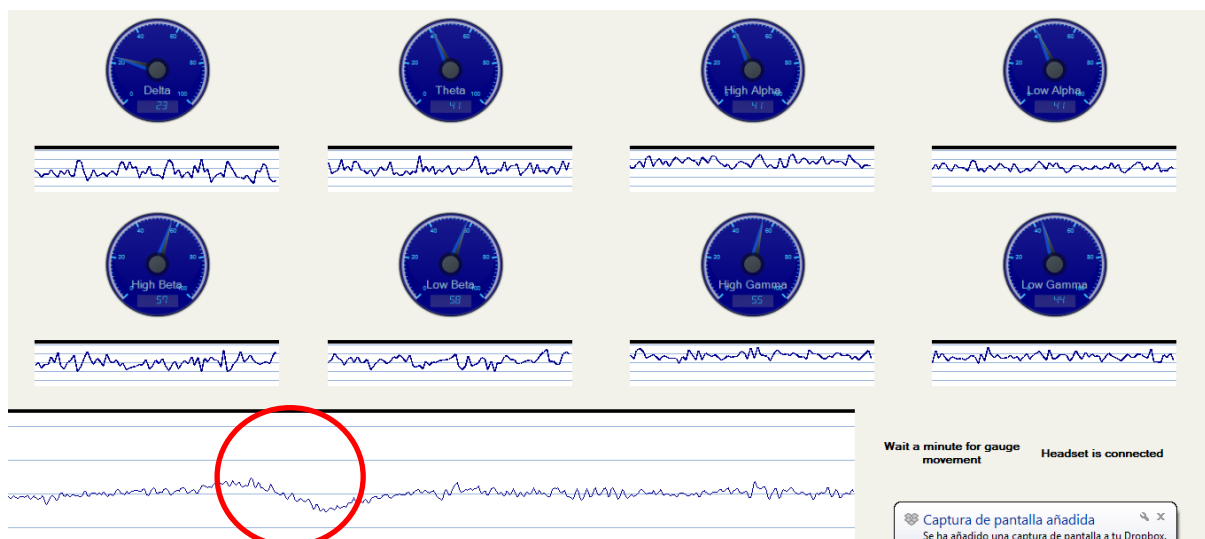


Figura 4.25. Actividad cerebral asociada a la risa del segundo usuario

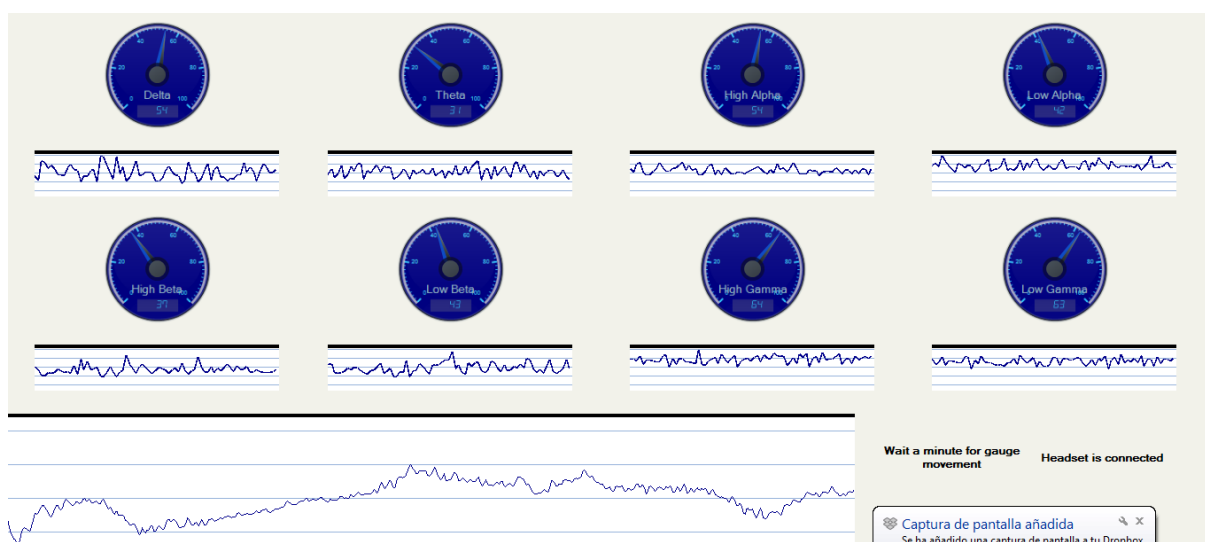


Figura 4.26. Actividad cerebral asociada a la risa del Tercer usuario

Observando los resultados obtenidos para el caso de la risa podemos concluir lo mismo que en el segundo caso, este proceso presenta valores muy dispares para cada uno de los usuarios, hasta el punto de no poder destacar eventos relevantes en dos de las tres imágenes, y el único evento destacado se corresponde a la acción de parpadear del segundo usuario. Del mismo modo que en el caso anterior, la acción de reírse depende principalmente de la fisiología de la persona, donde un pequeño cambio en las cuerdas vocales, estructura mandibular, estructura del sistema respiratorio, etc., supone un proceso único difícil de caracterizar.

Por estas razones podemos concluir que el único proceso que se podría caracterizar con el fin de elaborar un patrón de actividad cerebral sería la acción de parpadear. Pudiendo usarse dicha

caracterización para un uso eficaz de las interfaces cerebro-computador, ya sea aprovechando el cambio de intensidad y frecuencia que producen para un fin concreto, o simplemente aislando (con el mismo tratamiento que el ruido) este efecto de las electroencefalografías realizadas a la mayoría de la población, evitando de esta forma efectos parasitarios cuando se busca un tramo con unas características concretas, o una adición innecesaria de información.

## 4.5 Propuesta como Sistema de Control Domótico

---

En este apartado se analizará la compatibilidad del sistema de comunicación con el área domótica e inmótica.

En primer lugar debemos conocer que es la domótica. Para ello tomaremos como referencia la definición que proporciona el CEDOM (Asociación Española de Domótica e Inmótica), que es la siguiente: “La domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema”.

En nuestro caso el sistema de comunicación estará enfocado al control y automatización inteligente de la vivienda, con el fin de aportar confort a las personas con movilidad reducida, ya que uno de los principales aspectos que la domótica pretende mejorar en la vivienda es la accesibilidad de este colectivo. Este es uno de los motivos por los que surge el movimiento design for everyone, el cual tiene como objetivo crear la sensibilidad necesaria para que al diseñar un producto o servicio se tengan en cuenta las necesidades de todos los posibles usuarios, incluyendo las personas con diferentes capacidades o discapacidades, es decir, favorecer un diseño accesible para la diversidad humana. La domótica aplicada a favorecer la accesibilidad es un reto ético y creativo pero sobre todo es la aplicación de la tecnología al servicio de las personas, para suplir limitaciones funcionales de estas, incluyendo las personas discapacitadas o de avanzada edad. El objetivo no es que este colectivo con discapacidad motora pueda acceder a estas tecnologías, porque las tecnologías en si no son un objetivo, sino un medio. El objetivo de estas tecnologías es favorecer la autonomía personal.

Esta mejora en la accesibilidad de la vivienda se consigue gracias al desarrollo de tecnologías, que a través de sensores y actuadores permiten la automatización de procesos mecánicos en la vivienda, como por ejemplo, la monitorización de persianas, climatización e iluminación.

Si realizamos una comparación entre los diferentes sensores y actuadores que forman parte de una vivienda domotizada, y el sistema de comunicación bluetooth desarrollado podemos diferenciar claramente el sensor principal y del actuador. Donde el sensor que se incorpora al hogar es la propia interfaz cerebro-computador, mientras que el actuador se corresponde con el diseño circuital final, que consta de los siguientes elementos:

- Tamaño de la placa 10x10 cm.
- Módulo bluetooth HC-05.
- Arduino Nano (véase Anexo IV y V).
- Resistencias de 220, 56 y 47  $\Omega$ .
- Entrada directa de tensión.
- 10 salidas. Ampliables hasta 17.

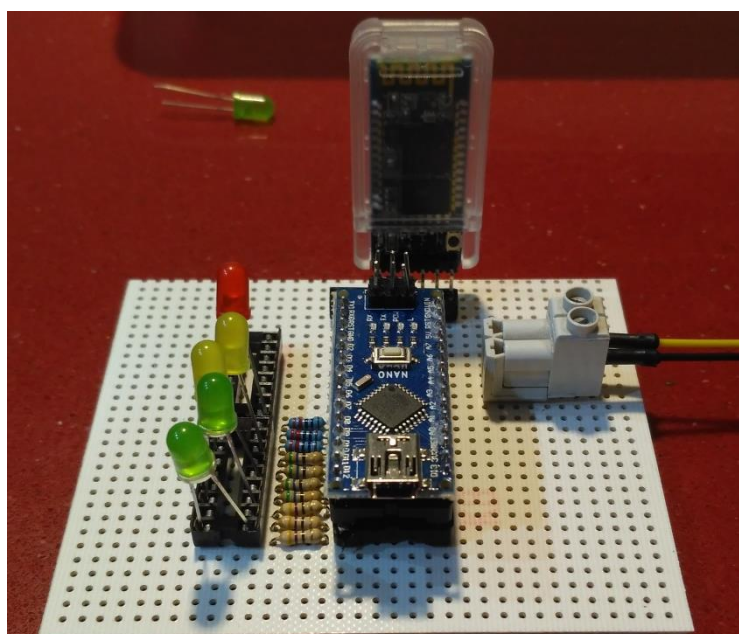


Figura 4.27. Prototipo final del sistema de comunicación bluetooth

El principal interés del sistema radica en que es un sistema modular donde las salidas no se encuentran condicionadas a los LEDs, la fuente de alimentación es extraíble, así como el módulo bluetooth y el microcontrolador. Esto permite que el sistema evolucione y mejore sus características en el futuro, aprovechando mejor el espacio, realizado el montaje en un circuito con pistas impresas y utilizando elementos de menor tamaño (como pines individuales). El hecho de que sea un sistema modular construido con zócalos permite variar el modelo del microcontrolador y el dispositivo bluetooth, siempre y cuando se respeten tanto los pines máximos que el circuito permite, como la posición de estos.

El objetivo tecnológico a corto plazo es la obtención de un sistema circuital, que mejore las conexiones, amplifique la tensión máxima permitida y reduzca un 50% su tamaño. Otro aspecto

importante en la mejora del prototipo es la inclusión de un mecanismo que detecte la intensidad recibida por proximidad de modo que podamos delimitar el rango de actuación del sistema, con un emparejamiento automático al dispositivo más cercano al usuario.

Una vez el sistema se encuentre dentro de las características descritas anteriormente, este se podrá integrar en un hogar digital para su uso cambiando, en primer lugar, el actuador del proceso objeto por el actuador desarrollado, y se conecta la salida de tensión a los motores, relés o interruptores que implementa el artefacto, manteniendo la toma de tierra común. Si la tensión requerida es mayor que la máxima permitida por el sistema, se incluirá un sistema externo de alimentación que permita la obtención de la potencia necesaria para el funcionamiento del conjunto.

## 5 Desarrollo del Modelo de Negocio

---

### 5.1 Modelo de Negocio

---

Como ya se ha mencionado en ocasiones anteriores, uno de los principales objetivos del proyecto es la comercialización del sistema de comunicación bluetooth, para lo cual se va a construir una entidad denominada NeuroInnovaX, bajo la cual se comercializarán los diversos modelos del sistema.

A la hora de definir cómo va a funcionar NeuroInnovaX seguiremos la estructura del modelo “Canvas”. De esta forma comenzaremos definiendo el segmento de clientes al que se van a dirigir tanto las acciones que se realicen, como el producto final que se comercialice. En este caso podemos identificar tres tipos de clientes potenciales, por un lado se va a dirigir el producto a personas que sufran algún tipo de defecto de movilidad, ya sea por enfermedad, traumatismo o por edad. Así pues, dentro de este tipo, nos centraremos en las personas que sufran algún tipo de discapacidad física, como puede ser paraplejia o tetraplejia. Por otro lado identificamos a las personas mayores que tengan dificultades a la hora de realizar alguna acción física y que por tanto necesiten a una persona que les ayude en su día a día. Si nos alejamos de este tipo de clientes encontramos un segmento muy diferente al mencionado anteriormente. En este caso, el cliente potencial sería una persona que quiera ‘domotizar’ electrónica y digitalmente su vivienda, de modo que pueda establecer una conexión constante entre la mayor parte de sus dispositivos electrónicos, es decir, un cliente al que le interese encender y apagar electrodomésticos, regular el nivel de luminosidad de una habitación, etc.

Como anteriormente hemos definido los dos segmentos principales de clientes, a continuación se explicará que tipo de relación existirá entre cada segmento, ya que dependiendo del mismo se necesitará un trato distinto. Tanto para el cliente que pretende mantener interconectados la mayor parte de sus dispositivos, al que denominaremos cliente tecnológico, debido a su perfil innovador con respecto a la tecnología, como para una persona discapacitada podemos establecer un trato directo mediante diversos eventos como ferias o indirecto a través de la web, por el cual pueda adquirir el producto, y tras su recepción utilizarlo con total libertad sin ningún tipo de configuración compleja. Además, podría establecer una relación a través de correo electrónico o teléfono para ayuda y soporte especializado, de modo que podamos interactuar con el cliente y resolver cualquier tipo de duda o consulta que surja. También es conveniente llevar a cabo una monitorización, para poder detectar cualquier anomalía o comportamiento cerebral inusual, es por esto por lo que se ha desarrollado un producto que se adapte a sus necesidades. Aparte de este control y seguimiento de actividad de la

persona, este producto incluiría un servicio de alarma que alertaría a emergencias en caso de detectar una actividad cerebral inusual, que pueda ocasionar algún tipo de daño en la persona.

Los canales que utilizaremos para llegar al cliente serán, por un lado las distintas ferias del sector, y por otro la organización de charlas divulgativas para poder explicar detalladamente cómo funciona el producto. Una vez logrado los primeros clientes, el canal principal será la web de la empresa, así como otras webs de venta. Por último se podrá comercializar el producto en tiendas especializadas, una vez tengamos una buena agenda de clientes, teniendo la posibilidad de usar el medio más conveniente.

Es fácil observar que la fuente de ingresos principal está directamente relacionada con la propuesta de valor, de modo que los ingresos que podamos obtener serán los conseguidos de la venta del producto.

Las actividades clave que desarrollaremos serán, por un lado el diseño de los productos y su correspondiente producción que será llevada a cabo junto con la empresa NeuroSky, la cual nos proporcionará un producto final, a falta del software. Por último nos encargáramos de la comercialización de los mismos. Es por eso que nuestra propuesta de valor será el diseño, producción (estamos presentes en la parte de hardware y software) y comercialización de productos capaces de interactuar con nuestro entorno, y que nos permita controlar de forma fácil diversos dispositivos, sin ningún tipo de esfuerzo.

Los recursos que necesitaremos, además de los económicos, serán los dispositivos que proporcionaremos al cliente, así como todo lo que conlleva una página web, como pueden ser dominios y espacios de hosting, esto nos define la estructura de costes (sin contar impuestos) que la empresa va a llevar asociada. En este caso, los costes principales a los que nos enfrentáramos serían la fabricación del producto, los costes de personal, y el mantenimiento de una página web con su respectivo soporte.

Es por esto por lo que necesitaremos socios que apoyen el proyecto y en algunos casos colaboren con el mismo. Por ello dentro del proyecto debemos de tener en cuenta que los socios que nos apoyen lo harán a través de garantías tecnológicas, como puede ser el grupo Ilunion y la fundación Tecnalia Research & Innovation. Otro grupo que tenemos que tener muy en cuenta es el grupo de los proveedores, ya que el precio de nuestro producto dependerá en gran medida del coste que tenga producir el dispositivo, para de esta forma obtener beneficio. El último grupo principal de socios es el de los expertos en neurociencia, los cuales estarán focalizados en la parte de mejora y de I+D+i, lo que supone una parte fundamental en el desarrollo y mejora del producto.

Adjuntamos el lienzo del modelo Canvas en el Anexo X.

## 5.2 Análisis de Mercado

---

El primer paso a la hora de realizar un estudio de mercado es identificar el sector en el que nos encontramos, en nuestro caso nos centramos en el sector de la domótica. Dicho sector se define normalmente como un conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, además de aportar seguridad, confort, y comunicación entre el usuario y el sistema. Si aplicamos dicha definición a edificios como hoteles, centros comerciales, colegios y hospitales, se denomina inmótica. En el caso de nuestro proyecto nos centraremos en la parte de la automatización inteligente de la vivienda, y la comunicación entre el usuario y el sistema.

Antes de comenzar a evaluar clientes realizaremos un análisis general del mercado, y después nos centraremos en el tamaño de mercado referido a clientes, así como sus necesidades.

Lo primero que debemos de tener presente es que el rumbo de actuación del proyecto estará marcado por la normativa que expone AENOR, más concretamente por el informe que se aprobó en 2014 AENOR UNE-CLC/TR 50491-6-3 IN “Requisitos generales para sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios (BACS). Parte 6-3: instalaciones HBES. Evaluación y definición de niveles”.

### 5.2.1 Facturación de los fabricantes de sistemas domóticos e inmóticos

---

Se ha avanzado mucho en la integración de sistemas para que funcionen con protocolos de comunicaciones distintos o para ampliarlos según las necesidades del cliente. Todos estos progresos han generado que los sistemas domóticos e inmóticos se puedan instalar en cualquier tipo de vivienda o edificio. Mejorando considerablemente la capacidad de los fabricantes a la hora implantar estos sistemas en el hogar, tal y como se muestra a continuación:

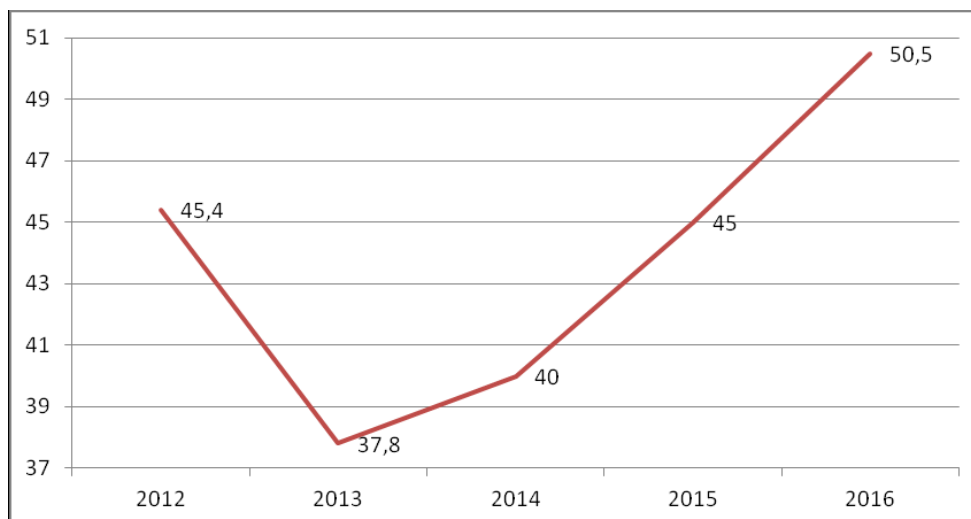


Figura 5.1. Facturación de los fabricantes de sistemas domóticos e inmóticos

Como podemos ver en el gráfico anterior se muestra la evolución de la facturación de los fabricantes de sistemas domóticos e inmóticos en el periodo que va de 2012 a 2016. Vemos como la tendencia a partir de 2013 es creciente.

## 5.2.2 Resultados por tipo de producto

Los productos más vendidos son los sensores e interfaces. Dentro de este segmento de productos se incluyen los teclados codificadores, llaves electrónicas, detectores de inundación, dispositivos de detección de intrusos como cámaras o circuitos cerrados de televisión, detectores de gases, de fuego, de presencia, sirenas, sensores de temperatura, o luxómetros.

Los siguientes en volumen de ventas son los actuadores, es decir, aquellos productos encargados de realizar las acciones físicas que ordena el sistema de control. Por ejemplo, electroválvulas de corte de agua o gas, simuladores de presencia, motores de persianas y toldos, reguladores de intensidad luminosa, conexión/desconexión de la iluminación.

En estas dos familias de productos y en los productos para visualización (pantallas, monitores, consolas) no se observan grandes variaciones en los volúmenes de venta de los tres últimos años; donde sí que ha habido un descenso es en los productos auxiliares, englobando esta categoría los módulos de intercomunicación o contactos de ventanas y/o impactos, por ejemplo.



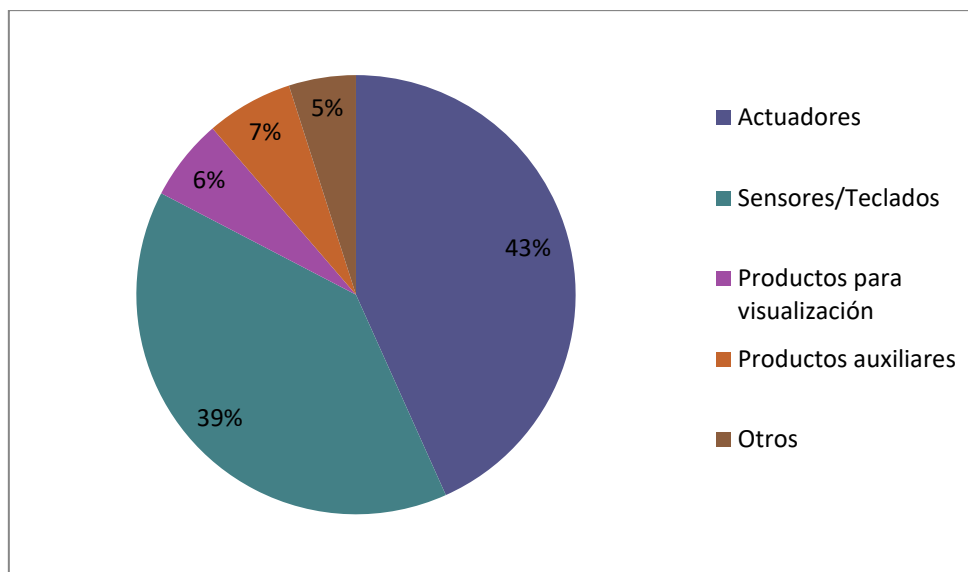


Figura 5.2. Distribución de productos vendidos en el Año 2016

### 5.2.3 Tendencias del sector

Las tendencias que exponemos a continuación están basadas en las tendencias encontradas en diversos análisis de mercado realizados por otros organismos. En consecuencia, las conclusiones de la información recopilada sólo se pueden presentar como tendencias de mercado, ya que no podemos determinar de forma exacta que es lo que va a ocurrir:

- La mayor parte de los proyectos realizados corresponden al sector residencial, principalmente a nueva construcción seguidos de los proyectos relacionados con la rehabilitación. También se observa que los proyectos llevados a cabo en el sector terciario han ido perdiendo peso en los últimos años.
- Por lo que respecta a las funciones demandadas de los sistemas de control, siguen en cabeza aquellas relacionadas con el confort, observándose que las relacionadas con la gestión de la energía tienen una demanda similar a las funciones relacionadas con la seguridad.
- En los últimos años se ha observado que la demanda de sistemas de control y automatización está experimentando un cambio destacable: si tradicionalmente las funciones de los sistemas de control y automatización que más demandaba el cliente estaban relacionadas con el confort o la seguridad, actualmente se están empezando a

demandar otras funciones que permiten la obtención de ahorros energéticos, aunque todavía están lejos del nivel que ofrecen los sistemas de control y automatización.

## 5.2.4 Mercado específico

- **Discapacidad:** En este punto nos vamos a centrar en el estudio del sector o sectores específicos a los que está enfocada nuestra actividad. En nuestro caso nos centraremos en dos sectores principales, el sector de personas que presentan problemas de movilidad y por otro lado, el sector al que hemos denominado compradores tecnológicos.

En primer lugar vamos a desarrollar el segmento de la población que presentan problemas de movilidad, para ello hemos realizado un estudio poblacional a través de la página web del INE, por el que podemos concluir que el número total de personas que declara tener alguna discapacidad en hogares españoles asciende a 3.847.900, lo que supone aproximadamente un 8,5% de la población. El primer factor afectado es la movilidad para personas de 6 y más años, resultando que del 8,5% anterior un 6% corresponde a problemas de movilidad, lo que tiene como resultado unas 2.600.000 personas que tienen dificultades móviles en su día a día.

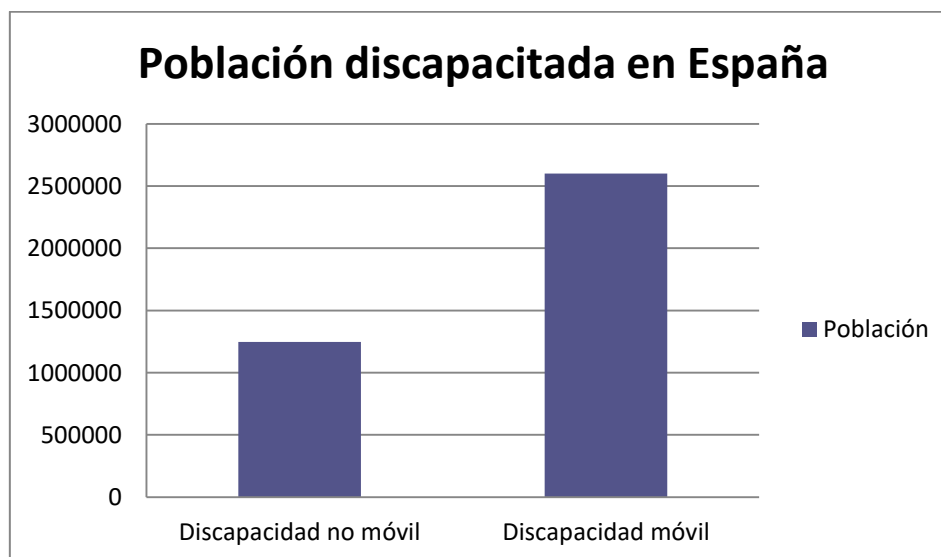


Figura 5.3. Población discapacitada en España

- **Comprador Tecnológico:** Tomando como referencia los valores que nos proporciona el INE sobre usuarios intensivos de tecnología, los cuales suponen un 17,4% de la población española, y dado que el dispositivo es de uso familiar (familia de 4 miembros) hemos considerado oportuno contabilizar a los clientes por familias, ya que con un dispositivo por hogar es suficiente. Este conjunto de datos considerando la población española como

46.000.000 de habitantes, nos supone una población objetivo de 2.001.000 personas, que a pesar de que pueda parecer poco si lo comparamos con los usuarios de Smart TV en España, siguiendo el informe sobre la televisión publicado por IAB, estos usuarios ascienden hasta 2.300.000, esto supone que nuestra población objetivo supone casi un 87% de la cuota de mercado de las Smart TV.

A la hora de validar la idea, una de acciones que realizamos fue la elaboración de una encuesta para ver como respondía el cliente, de la que pudimos concluir que el sector más interesado se encuentra en una franja de edad de entre 10 y 50 años, lo que supone un 56% de la población española. Por lo tanto, si aplicamos este último porcentaje a nuestro estudio poblacional obtenemos que para el problema de la discapacidad, la población objetivo resulta de 1.456.000 personas, mientras que para los compradores tecnológicos supondría una población de 1.120.560 personas.

Una vez hemos determinado nuestra población objetivo, debemos de encontrar a nuestro cliente específico para ello también nos apoyamos en la encuesta elaborada, a continuación se muestran los resultados finales de dicha encuesta, con respecto al interés mostrado:

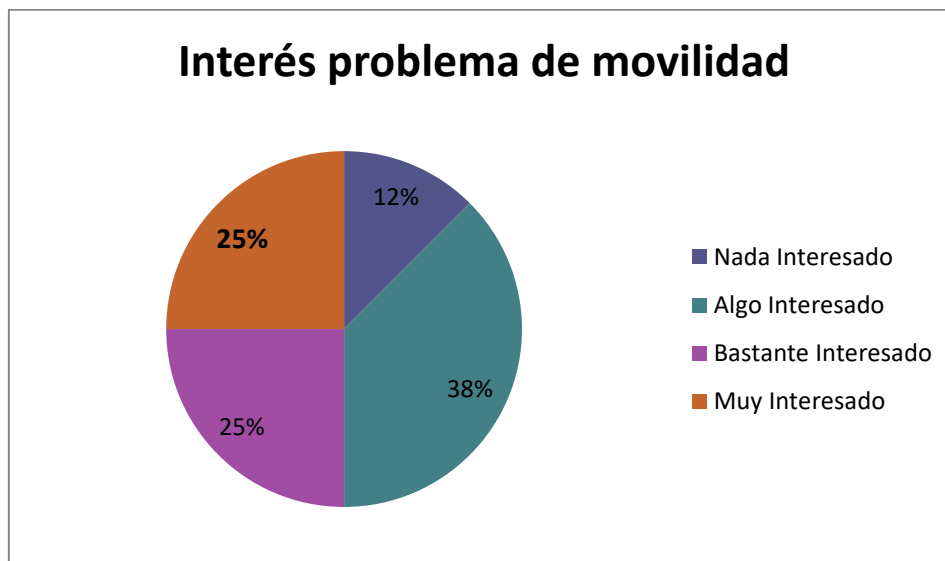


Figura 5.4. Resultados de la encuesta realizada para el sector movilidad

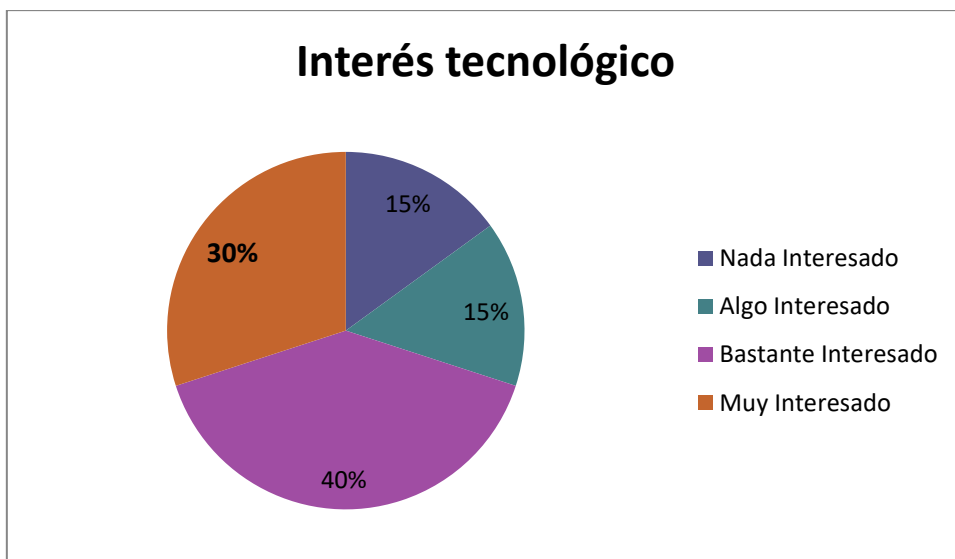


Figura 5.5. Resultados de la encuesta realizada para el sector tecnológico

Vemos como en la encuesta sobre discapacidad obtuvimos un 25% de interés y en la encuesta tecnológica obtuvimos un 30%. Teniendo en cuenta los datos anteriores podemos estimar la población objetivo sobre la que calcularemos las ventas.

	Tamaño del mercado	Población objetivo
<b>Discapacidad</b>	2.600.000	1.456.000
<b>Tecnología</b>	2.001.000	1.120.560

Tabla 5.1. TAM y SAM objetivo del proyecto

## 5.2.5 Competencia

Actualmente no se dispone de mucha competencia en el ámbito de las interfaces cerebro-computador, y aún menos en Europa. Aunque sí que es cierto que existen 2 empresas estadounidenses que fabrican y comercializan este mismo tipo de dispositivos, la primera de la que hablaremos es OpenBCI.

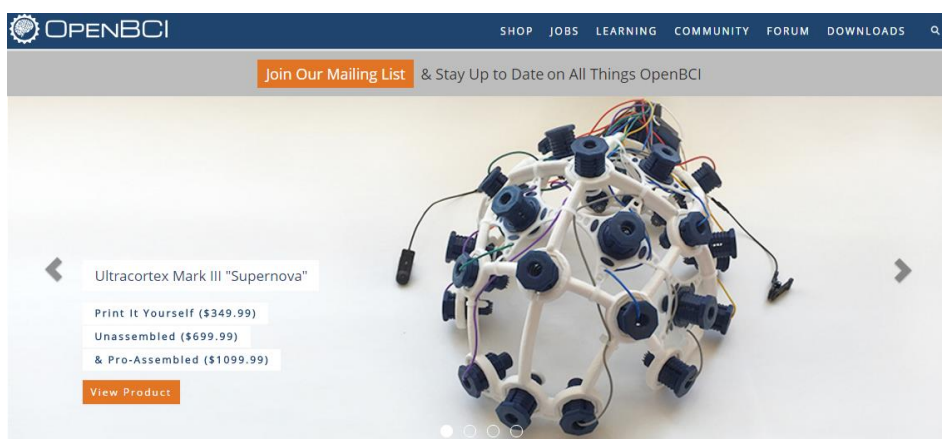


Figura 5.6. Plataforma de la compañía OpenBCI

Esta empresa tiene como objetivo poner en manos de cualquier persona una interfaz-cerebro-computador, con el objetivo de que desarrolladores e investigadores puedan trabajar y desarrollar aplicaciones, además destaca por ser de las pioneras en el hardware libre. No están enfocados en un consumidor sin conocimientos sobre la electrónica, configuración y programación de la interfaz. Tiene la ventaja de que puedes elegir el método por el que conseguir la interfaz. En primer lugar esta se puede imprimir en 3D, con un coste de 300\$, y tras esto realizar el montaje del chasis, lo que supone un coste de 650\$; por otro lado también existe la opción de adquirirla totalmente terminada y ensamblada, lo que supone un coste de 1000\$.

La siguiente empresa presenta una mayor cuota de mercado. Esta empresa posee 2 productos diferentes, uno bastante complejo y otro más básico y similar a NeuronNet, vamos a hablar de Emotiv.

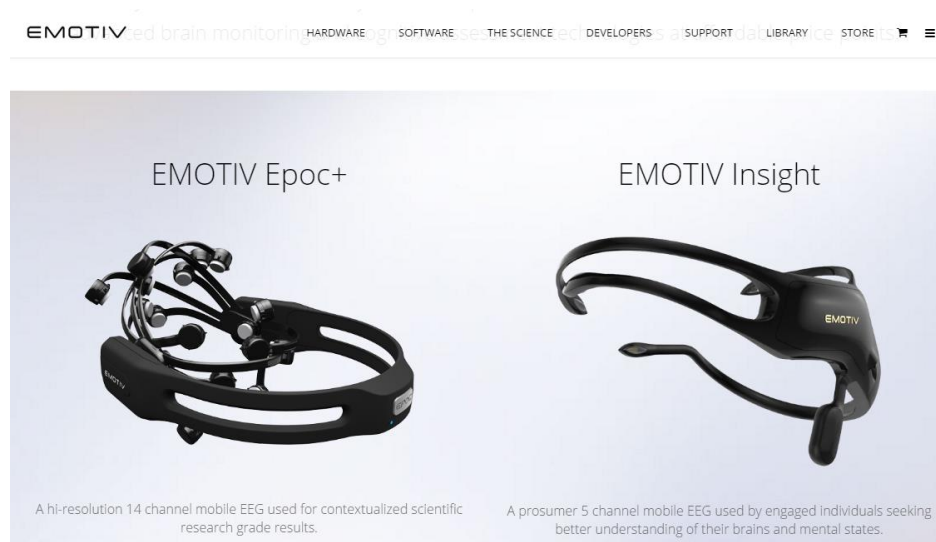


Figura 5.7. Plataforma de la compañía Emotiv

Esta empresa es algo distinta a la anterior, aunque también tienen similitudes. Ambas van enfocadas a desarrolladores e investigadores y son dispositivos muy difíciles de manejar si no se dispone de conocimientos sobre el tema. Esta empresa tiene un aspecto bastante diferenciador y es que además de los productos (que por sí solos no tienen funcionalidad alguna), los cuales podemos ver en la imagen y que tienen un coste de 799\$ y de 299\$, es casi totalmente necesario comprar también un software para poder interactuar con el computador y de esta forma darle funcionalidad, lo cual supone un coste de alrededor de 500\$.

## 5.2.6 DAFO del proyecto

---

### **FORTALEZAS**

- Motivación de los socios
- Ayuda extra para personas con dificultades físicas.
- Producto adaptable.
- Apoyo de empresas del sector.

### **DEBILIDADES**

- Faltan pruebas en el producto.
- Falta de experiencia en el mercado.
- Pocos ingresos iniciales.
- Posible precio elevado.

### **AMENAZAS**

- Desconfianza en el producto novedoso.
- Aparición de productos sustitutivos.
- Competencia con un gran nivel tecnológico.

### **OPORTUNIDADES**

- Mercado todavía sin explotar.
- Gran incremento del nivel tecnológico.
- Gran número de sensores.

En este punto expondremos los distintos aspectos relativos a la producción y la prestación del servicio, para ello comenzaremos explicando el producto, y el servicio que se va a prestar.

## 5.2.7 I+D+i

---

NeuronNet y NeuroMotic son interfaces cerebro-computador que tienen como objetivo facilitar ciertas labores principalmente a las personas que más lo necesitan. Esto se consigue a través una serie de sensores secos, que se encuentran en contacto permanente con el cuero cabelludo y la frente. De esta forma somos capaces de medir las ondas electromagnéticas que emite nuestro cerebro. Concretamente estos productos son capaces de detectar ondas del tipo, beta, alpha y theta, lo que nos permite usar este tipo de señales como interruptor a la hora de realizar algún tipo de acción. Un ejemplo de funcionalidad sería la concentración consciente enfocada a la realización de una acción objetivo. Este acto tiene como consecuencia un cambio de amplitud en las ondas alpha, dicho cambio, es un cambio medible y por lo tanto utilizable para activar o desactivar dispositivos, abrir o cerrar puertas, etc. Además de este modo de uso, estamos trabajando para poder interpretar los pensamientos de forma precisa y poder gestionar el hogar de forma más sencilla.

Estos productos nos hacen prescindir del smartphone, la tablet o un panel de control inteligente. No tendremos que consumir batería de otros dispositivos que posiblemente usemos de un modo más

activo, además cuentan con una batería que nos permite una duración de aproximadamente una semana con un uso pasivo (el que describimos en el ejemplo). Estos productos son bastante más sencillos e intuitivos de utilizar que una aplicación para smartphone o tablet.

Sin duda alguna la característica que hace a NeuronNet y NeuroMotic único es la versatilidad que tiene para ser utilizado por cualquier tipo de persona. Estos dispositivos no excluyen por enfermedad, no excluyen por discapacidad, y no excluyen por edad. Este dispositivo es un gadget para la gente, es un dispositivo que mejora la calidad de vida las personas.

## 5.2.8 Organización y gestión

A continuación presentamos un diagrama sobre cómo se va a organizar el proceso de diseño, producción y comercialización:



Figura 5.8. Proceso productivo de NeuroInnovaX

En primer lugar la fabricación de la interfaz no depende de nosotros, es decir, nuestra función en el proceso es el diseño tanto del sistema, como del hardware que se va a implementar, y la configuración de su software. La fabricación depende de una empresa externa denominada, NeuroSky. Esta empresa nos proporcionará la interfaz, a falta de la comunicación con el sistema. Esta etapa del proceso estaría enmarcada anteriormente a la configuración del software que se realiza desde NeuroInnovaX.

Una vez el producto final está listo para el cliente, pasaríamos a la parte comercial a través de la web, o un intermediario (como puede ser Amazon o una tienda física) dependiendo de las necesidades del cliente. Esta última etapa de comercialización y distribución está controlada tanto por NeuroInnovaX, como por Shipius que será la encargada de toda la distribución nacional en la

primera etapa de la empresa. En una tercera etapa, en la cual se espera que podamos llegar a toda Europa, estará también presente StarPack, la cual será la encargada de la distribución a nivel europeo. Los gastos asociados al envío se incluirán en el precio final que se otorgue al consumidor una vez realice el pedido, dichos gastos tendrán un valor de 3€ para paquetería nacional, y de entre 5 y 10 euros para paquetería europea.

### 5.2.9 Certificación y normativa

---

Está claro que al ser un producto comercializado en la Unión Europea, este debe de cumplir una serie de certificaciones de calidad, así como las homologaciones pertinentes. Nos regimos por la norma ISO (1996) que rige la certificación, acreditación y etiquetado de un producto. Por otro lado se deben cumplir las normas que marca la comunidad europea, para de esta manera que el comercio entre países miembros de la unión sea más sencillo y nos permita certificar una buena calidad.

### 5.2.10 Estructura legal de la empresa

---

En este apartado detallaremos como se va a definir jurídicamente la empresa. La empresa se definirá en primer lugar teniendo a los miembros del equipo promotor dados de alta de autónomo, ya que tanto en el año 0, no habrá ni personal ni facturación suficiente. En el primer año sí que es posible que cambie el método jurídico de la empresa, dependerá de los empleados finales con los que cuente la empresa, así como de una facturación suficiente. En el caso de que cambiase la forma jurídica de la empresa se optaría por una sociedad limitada, ya que cubriría todos los procesos productivos que ocurran en la empresa. En caso de que no cambiase la forma jurídica, seguiría el equipo promotor dado de alta como autónomo.

## 5.3 Plan de Recursos Humanos

---

En este apartado desarrollaremos por una parte los diferentes puestos que son necesarios en la empresa y los perfiles con los que se van a cubrir y por otra parte describiremos la organización funcional que vamos a seguir, para de esta forma estructurar de una forma más adecuada los recursos humanos e integrar éstos, con los recursos materiales y financieros con el fin de aplicar eficazmente las estrategias elaboradas y los medios disponibles, para poder conseguir los objetivos propuestos.

En una primera fase necesitaremos a las personas más que nunca, en nuestro caso hemos segmentado los diferentes puestos, en función del proceso desempeñado. En esta empresa podemos



identificar claramente los diferentes puestos, con sus diferentes funciones, los cuales serían: diseñador y consultor web, desarrollador de I+D+i, comercial y gestor. Lo ideal es contar con un departamento asociado a cada proceso, pero en un principio y para comenzar, todas las funciones anteriormente descritas recaerán sobre el equipo promotor, que seremos los encargados de impulsar el crecimiento de la empresa. Una vez la empresa cuente con unos ingresos suficientes podremos ampliar el personal y de esta manera focalizar en cada uno de los procesos, mejorando así la calidad y la eficiencia del trabajo.

Hemos decidido incluir a los socios iniciales como empleados, ya que también va a suponer una nómina que sufragará de la empresa. Al final del tercer año tenemos previsto que el grupo esté formado por siete personas, las cuales se irán ampliando a posteriori conforme las necesidades de la empresa.

Una vez se ha establecido la contratación prevista incluiremos los costes de personal en el apartado “5.6. Plan Económico Financiero”, lo que nos va a ser muy útil a la hora de analizar los gastos que nos conlleva el personal y por tanto una parte importante del plan financiero. Además tendremos que tener en cuenta que no sólo debemos incluir en las partidas de gasto de personal el salario, sino que también debemos incluir la coste asociado a la Seguridad Social de los trabajadores, que actualmente ronda el 30% del salario.

## 5.4 Plan de Marketing

---

Antes de comenzar a hablar sobre las estrategias que vamos a seguir para conseguir clientes y poder vender los productos de una forma eficiente y eficaz, debemos de plantear la misión y la visión que tenemos de la empresa. En primer lugar tenemos la misión de apoyar a las personas discapacitadas ofreciendo un producto que les ayude a ser más independientes. Por otro lado, también tenemos la misión de ofertar un producto que permita al consumidor controlar diversos dispositivos y partes del hogar de forma inmediata y remota, permitiéndoles así liberar parte del nivel de preocupación diario que suponen este tipo de tareas.

Una vez hemos definido la misión que tiene la empresa, debemos de definir la visión de la misma, que en este caso no es más que llegar a un nivel de ventas mundial, siendo la empresa líder en concepto de sistemas de comunicación integrados para interfaces cerebro-computador. Para ello, lo primero que debemos hacer es comenzar planteando objetivos a pequeña escala, siendo el primero de estos la obtención de unas primeras ventas.

A la hora de definir una estrategia debemos de tener claro el medio en el que la empresa se encuentra ubicada, que en nuestro caso corresponde a un sector puramente tecnológico y doméstico. Así pues debemos de conocer a nuestros clientes, que como también hemos comentado en apartados anteriores los podemos diferenciar en dos tipos, personas con problemas de movilidad o alguna discapacidad móvil, y clientes puramente tecnológicos, a los que les interesa interconectar y domotizar su vivienda.

Teniendo en cuenta lo anterior hemos decidido que la mejor estrategia que podemos llevar a cabo es una estrategia de diferenciación tanto con el cliente como con el producto. Esto no será muy difícil, ya que de por sí es un producto novedoso, pero a pesar de esto, nosotros seremos los encargados de dar a conocer el producto y de obtener las primeras ventas, de las que hablaremos posteriormente.

Estos serán los objetivos que se pretenden llevar a cabo:



Figura 5.9. Hitos propuestos para NeuroInnovaX

Una vez tenemos claro el mercado y el cliente debemos elaborar un plan que los conecte, una ruta que permita abordar de la mejor forma el mercado de cara al cliente, es decir, una serie de acciones que se llevarán a cabo para poder lograr los objetivos descritos anteriormente. Para ello dividiremos los objetivos en fases, siendo las primeras ventas la fase 1 y la expansión mundial la fase 4.

Para comenzar a describir y detallar este tipo de soluciones que tienen como fin atacar el mercado y causar un gran impacto en el mismo comenzaremos a hablar de los productos, pero no su parte técnica y funcional, la cual ya hemos descrito en apartados anteriores, si no de su parte comercial, su calidad, el tipo de empaquetado, el diseño y los servicios relacionados.

Una vez hemos obtenido nuestras primeras ventas y empezamos a tener un buen número de visitas a la web comenzaría la segunda fase, en la que nos centraríamos en la parte de SEO y SEM para dar una mayor visibilidad online a la empresa. Otro aspecto importante serán las redes sociales (sobre todo Twitter y YouTube), a las cuales les daríamos un uso distinto al que le dan otras empresas. En nuestro caso queremos retomar la funcionalidad inicial de las redes sociales y usarlas para compartir el día a día, nuestras experiencias, y el cómo trabajamos en la empresa, para así poder despertar un interés real en el consumidor y que este se sienta participe. Estas herramientas nos darían mayor repercusión en la web, a través de la que obtendríamos gran parte de los clientes.

Una vez tengamos un mercado consolidado en España, pasaremos a la tercera fase y por último a la cuarta, en las que abordaremos las mismas estrategias abordadas en las dos primeras fases, como son las ferias, conferencias, marketing online, pero a nivel europeo para la tercera fase y a nivel mundial para la cuarta. Un factor importante en el que nos enfocaremos una vez estemos a punto de comenzar la tercera fase sería el de las relaciones/colaboraciones con otras empresas. Ya que aunque contamos con el apoyo de dos empresas, sería conveniente buscar a otras empresas de sectores diferentes, con un nivel de fama acorde con la fase en la que nos encontremos. Esta acción nos daría la oportunidad de ampliar el mercado de la mano de una empresa grande, lo que aportaría seguridad y estabilidad en la ampliación.

## 5.5 Plan Económico-Financiero

---

Actualmente el precio de venta al público se establecería, en 500€, habiendo fijado el precio a raíz del coste de producción del producto los cuales ascienden a un valor de 200€, además en el precio final también incluimos un porcentaje de la nómina de los trabajadores y la amortización de la inversión inicial. Otro factor que hemos tenido en cuenta es el precio al que venden sus productos otras empresas como Emotiv u OpenBCI. Además del producto, la compra incluiría dos adaptadores de corriente los cuales, nos permiten encender o apagar dispositivos de forma remota.

Respecto a las ventas hemos determinado que el número de productos que se van a distribuir a lo largo del primer año, rondaría las 135 unidades, las 240 para el segundo y en el tercer año una vez el impacto de la empresa es mayor y podemos llegar a un población bastante superior a la estimada inicialmente, habiendo mejorado nuestra capacidad de producción, hemos previsto que las ventas estimadas serían de unas 366 unidades. Estos valores los hemos estimado de forma aproximada gracias a los estudios mencionados anteriormente.

A continuación se muestra la previsión de ventas los 3 primeros años teniendo en cuenta tanto las ventas finales, como el porcentaje de crecimiento de la empresa, el cual se sitúa alrededor del 60%.

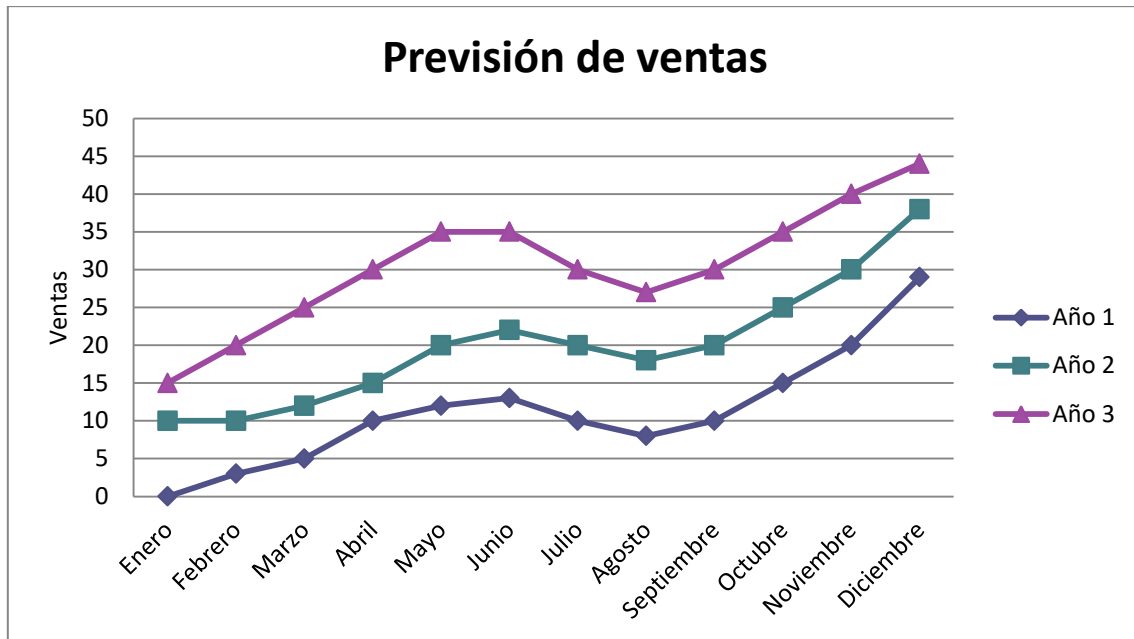


Figura 5.10. Previsión de ventas de NeuroInnovaX

Una vez hemos analizado la previsión de ventas de los tres primeros años podemos proceder a realizar una previsión de los tres principales documentos económicos que nos permitirán a comprobar la viabilidad de la empresa, tal y como se muestra a continuación:

### 5.5.1 Cuenta de Resultados

<b>CUENTA DE RESULTADOS</b>			
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>
<b>Ingresos</b>	<b>67500</b>	<b>120000</b>	<b>183000</b>
<b>Coste producto</b>	<b>-37125</b>	<b>-63375</b>	<b>-88350</b>
Logística y almacén	-5410	-9350	-13200
Coste directo neto	-42535	-72725	-101550
<b>Margen directo neto</b>	<b>24965</b>	<b>47275</b>	<b>81450</b>
Salarios	-12672	-23760	-42240
Dominio	-5	-5	-5
Hosting	-70	-70	-70
Mantenimiento web	-500	-500	-500
Publicidad y MKT	-6800	-10000	-13000
Seguros	-500	-500	-500
Oficina	-300	-450	-600
Gestoría/asesoría	-1200	-1200	-1200
Comisión medios de pago	-150	-150	-150
Amortización de inmovilizado	-585	-1170	-1755
<b>Costes fijos explotación</b>	<b>-22782</b>	<b>-37805</b>	<b>-60020</b>
B.A.I.	2183	9470	21430
Impuestos	327,45	1420,5	5357,5
<b>Beneficio</b>	<b>1855,55</b>	<b>8049,5</b>	<b>16072,5</b>

Tabla 5.2. Cuenta de pérdidas y ganancias de NeuroInnovaX

## 5.5.2 Flujos de Efectivo

FLUJOS DE EFECTIVO			
	Año 1	Año 2	Año 3
Saldo inicial	0	1493	9180,55
Clientes	67500	120000	183000
<b>Total cobros</b>	<b>67500</b>	<b>121493</b>	<b>192180,55</b>
Proveedores	-40500	-66000	-91500
Logística y almacén	-5410	-9350	-13200
Salarios	-12672	-23760	-42240
Dominio	-5	-5	-5
Hosting	-70	-70	-70
Mantenimiento web	-500	-500	-500
Publicidad y MKT	-6800	-10000	-13000
Seguros	-500	-500	-500
Oficina	-300	-450	-600
Gestoría/asesoría	-1200	-1200	-1200
Comisión medios de pago	-150	-150	-150
Impuestos	0	-327,45	-1420,5
<b>Total pagos</b>	<b>-68107</b>	<b>-112312,45</b>	<b>-164385,5</b>
Tesorería explotación	-607	9180,55	27795,05
Cobro capital	5000	0	0
Tesorería financiación	5000	0	0
Aplicaciones Informáticas	-500	0	0
Página web	-1200	0	0
Equipos informáticos	-1200	0	0
Tesorería inversión	-2900	0	0
<b>Tesorería</b>	<b>1493</b>	<b>9180,55</b>	<b>27795,05</b>

Tabla 5.3. Cuenta de tesorería de NeuroInnovaX

### 5.5.3 Balance de Situación

<b>BALANCE DE SITUACIÓN</b>			
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>
<b>ACTIVO</b>	<b>7183</b>	<b>16325,55</b>	<b>36335,05</b>
Activo no corriente	2315	1145	-610
Aplicaciones Informáticas	500	500	500
Página web	1200	1200	1200
Equipos informáticos	1200	1200	1200
Amortización acumulada	-585	-1755	-3510
Activo corriente	4868	15180,55	36945,05
Tesorería	1493	9180,55	27795,05
Existencias	3375	6000	9150
<b>PATRIMONIO NETO</b>	<b>6855,55</b>	<b>14905,05</b>	<b>30977,55</b>
Capital	5000	5000	5000
Resultado del ejercicio	1855,55	8049,5	16072,5
Reservas	0	1855,55	9905,05
<b>PASIVO</b>	<b>327,45</b>	<b>1420,5</b>	<b>5357,5</b>
Pasivo no corriente	0	0	0
Pasivo corriente	327,45	1420,5	5357,5
Hª Pública Acreedora IS	327,45	1420,5	5357,5
<b>Total PN y Pasivo</b>	<b>7183</b>	<b>16325,55</b>	<b>36335,05</b>

Tabla 5.4. Balance de situación de NeuroInnovaX

## 6 Conclusiones y Trabajos Futuros

---

### 6.1 Conclusiones

---

Como ya se expuso en el primer capítulo del presente proyecto, el principal motivo del desarrollo de este trabajo, no es otro que ayudar a las personas más vulnerables de la sociedad, como lo son las personas con movilidad reducida. Con el desarrollo del proyecto hemos demostrado que el uso de interfaces cerebro-computador, como solución a los problemas que presenta este colectivo en el hogar, no sólo es plausible, sino que actualmente también es una tecnología presente en hospitales, universidades y empresas tecnológicas.

Hemos podido comprobar, tal y como se describe en el segundo capítulo, que al ser humano siempre le ha intrigado los misterios que encierra la mente, y aunque se ha progresado mucho en el entendimiento del cerebro desde el siglo V a.C., aún queda un sinfín de conocimiento por descubrir, para lo cual existen multitud de grupos de investigación en todo el mundo enfocados en esta tarea.

Durante el desarrollo del proyecto nos hemos encontrado con diversos problemas, desde la fase de diseño de los esquemáticos, hasta en el emparejamiento de la interfaz con el módulo bluetooth. A cada pequeño paso que avanzábamos retrocedíamos dos, pero eso no ha impedido que decaiga la persistencia en el desarrollo del proyecto, porque el objetivo de la universidad no es otro que el saber hacer frente a las adversidades que surjan. Gracias a la formación académica podemos construir lo que nos propongamos. Podemos diseñar circuitos que mejoren una pequeña funcionalidad de un gran sistema, mejorándolo notablemente. Disponemos de las herramientas para solventar los problemas, y gracias al trabajo y estudio realizado en este proyecto podemos afirmar que también contamos con la capacidad para innovar y desarrollar cualquier tipo de sistema o aplicación, enfocado a la mejora de la sociedad.

El haber tenido la oportunidad de analizar el proyecto, ya no sólo desde el punto de vista de la ingeniería, sino también desde un punto de vista económico, social y empresarial nos ha abierto las puertas de otra vertiente, no menos importante, sobre el desarrollo de proyectos. Hemos podido comprobar que las ideas de por sí solas no tienen valor alguno. Debemos crear infraestructuras alrededor de esas ideas, ya que el interés de la sociedad y la financiación, además de llegar con una buena idea, llegan con una infraestructura y un equipo todavía mejor que haga que esta se sostenga.



## 6.2 Trabajos Futuros

---

El principal avance que se debe realizar en cuanto al desarrollo del sistema de comunicación bluetooth es la optimización de la fabricación. Mediante la aplicación de técnicas de impresión de circuitos, y el diseño de un dispositivo que aúne la funcionalidad del microcontrolador y el módulo bluetooth, se podría llegar a reducir el tamaño del sistema hasta un 70%, lo que permitiría una mejor integración con los sistemas domóticos del hogar. Esto, junto con la inclusión de sistemas de potencia auxiliares, con el objetivo de alimentar motores, supondría el avance hacia un modelo de hogar digital totalmente adaptado, para las personas que sufran algún tipo de discapacidad.

Durante el desarrollo del prototipo hemos podido comprobar que la neurociencia y la bioingeniería son ámbitos esenciales para el futuro de la sociedad, y poniendo el foco en la investigación de estas ramas, así como en la robótica y la electrónica nos permitirá avanzar hacia un futuro en el que se pueda diseñar prótesis totalmente funcionales, que estén al servicio de las personas, llegando incluso a desarrollar exoesqueletos que presenten una movilidad fluida y permitan apartar las sillas de ruedas de las personas que hayan sufrido algún tipo de lesión medular, como la paraplejia.

Las interfaces cerebro-computador no invasivas, no sólo son el futuro de la adaptabilidad del hogar para las personas con movilidad reducida, sino que también son el futuro de la medicina actual, ya que podrían suponer una revolución en el diagnóstico precoz de enfermedades neuronales o neurodegenerativas como el Parkinson o el Alzheimer, prescindiendo de esta forma de los sistemas invasivos que precisan de cirugía cerebral. Si además se trabaja de la mano de técnicas de computación avanzadas, como lo son el análisis de datos y la inteligencia artificial, se podrían realizar diagnósticos inmediatos y de este modo comenzar con los tratamientos mucho antes, retrasando así los síntomas que estas enfermedades conllevan.

Por último, debemos resaltar que se debe fomentar el emprendimiento en las formaciones técnicas, del mismo modo que se fomenta la investigación, con el fin de que ambos ámbitos se fortalezcan y colaboren entre sí, para que aparezca la innovación. De este modo podremos diseñar un futuro en el que la tecnología se encuentre al servicio de las personas. Teniendo las instituciones universitarias un papel fundamental en la transformación digital, con el objetivo de dar un paso adelante para que en la próxima década nos encontremos en un mundo de oportunidades tecnológicas al servicio de la sociedad.

## 7 Bibliografía

---

- [1] **Tecnología de Interfaz Cerebro Computador** (2013), Javier Mínguez. Universidad de Zaragoza.
- [2] **Anatomía del Sistema Nervioso**, [«http://recursosbiblio.url.edu.gt/»](http://recursosbiblio.url.edu.gt/)
- [3] **Historia de la Neurociencia** (2017), Carmen Cavada. Universidad Autónoma de Madrid.
- [4] **Sociedad Española de Neurociencia**, [«https://www.senc.es/»](https://www.senc.es/)
- [5] **Arduino**, [«https://www.arduino.cc/»](https://www.arduino.cc/)
- [6] **NeuroSky**, [«http://neurosky.com/»](http://neurosky.com/)
- [7] **Programa para desarrolladores de NeuroSky**, [«http://developer.neurosky.com/»](http://developer.neurosky.com/)
- [8] **Tecnología Bluetooth**, [«https://www.bluetooth.com/»](https://www.bluetooth.com/)
- [9] **Estándar de tecnología inalámbrica de la IEEE**, [«http://ieee802.org/»](http://ieee802.org/)
- [10] **Plataforma de diseño de esquemáticos electrónicos Fritzing**,  
[«http://fritzing.org/home/»](http://fritzing.org/home/)
- [11] **Robótica y Domótica Básica con Arduino** (2016). Pedro Porcuna López. ISBN 978-8499646091. RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones, 1ª ed., 1ª imp.
- [12] **Brain computer Interface** (2015). Louis George. ISBN 978-1632400895. ML Books International IPS.
- [13] **Instituto Nacional de Estadística**, [«http://ine.es/»](http://ine.es/)
- [14] **Wikipedia la enciclopedia libre**, [«https://es.wikipedia.org/»](https://es.wikipedia.org/)
- [15] **Open Software Brain-Computer Interfaces**, [«https://openbci.com/»](https://openbci.com/)
- [16] **Asociación Española de Domótica e Innótica**, [«http://www.cedom.es/es»](http://www.cedom.es/es)
- [17] **Asociación que representa al sector de la publicidad y la comunicación digital en España**, [«https://iabspain.es/»](https://iabspain.es/)
- [18] **Desarrolladores de soluciones innovadoras de entrenamiento cerebral basadas en Interfaces Cerebro Computador**, [«https://excellent-brain.com/»](https://excellent-brain.com/)
- [19] **Plataforma de acceso a componentes electrónicos**,  
[«https://www.pantechsolutions.net/»](https://www.pantechsolutions.net/)

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo I

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ARDUINO UNO	
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Voltaje de entrada límite	6 – 20 V
Pines digitales I/O	14
Pines digitales PWM I/O	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por pin I/O	20 mA
Corriente DC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (Arranque 0,5 KB)
SRAM	2 KB ATmega328P
EEPROM	1 KB ATmega328P
Velocidad de reloj	16 MHz
Led incluido	13
Longitud	68,6 mm
Anchura	53,4 mm
Peso	25 g

Tabla 8.1. Especificaciones Arduino Uno

### 8.2 Anexo II

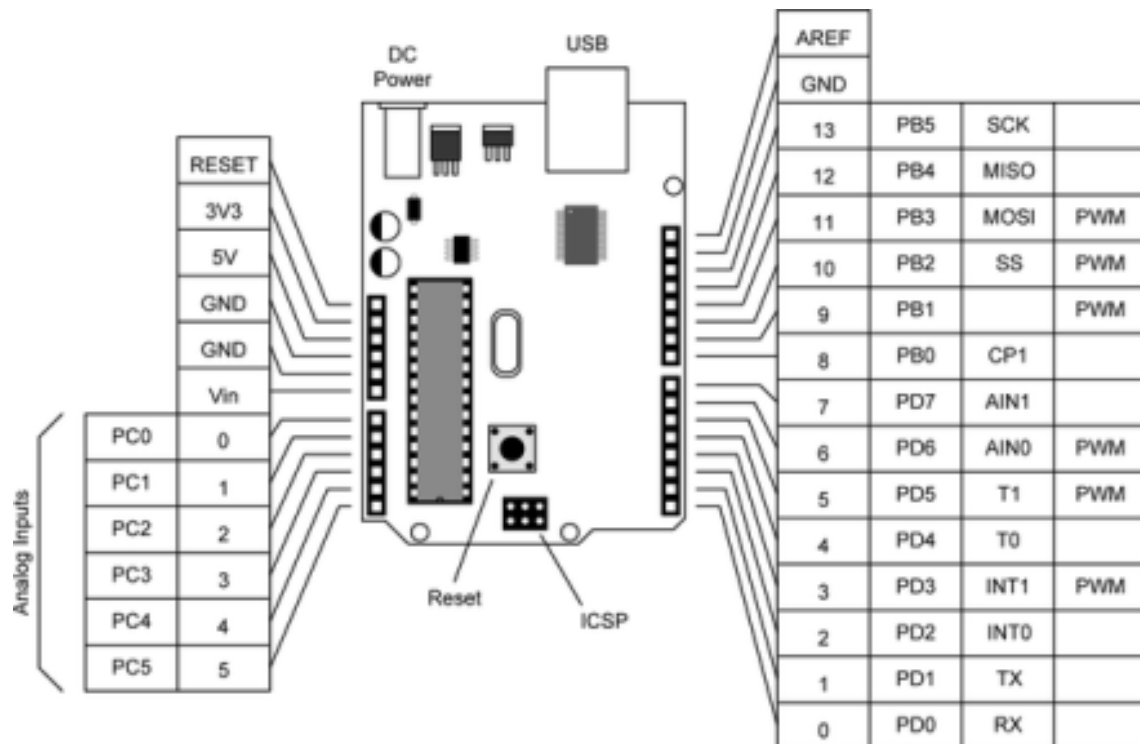


Figura 8.1. Descripción de los pines de Arduino UNO

### 8.3 Anexo III

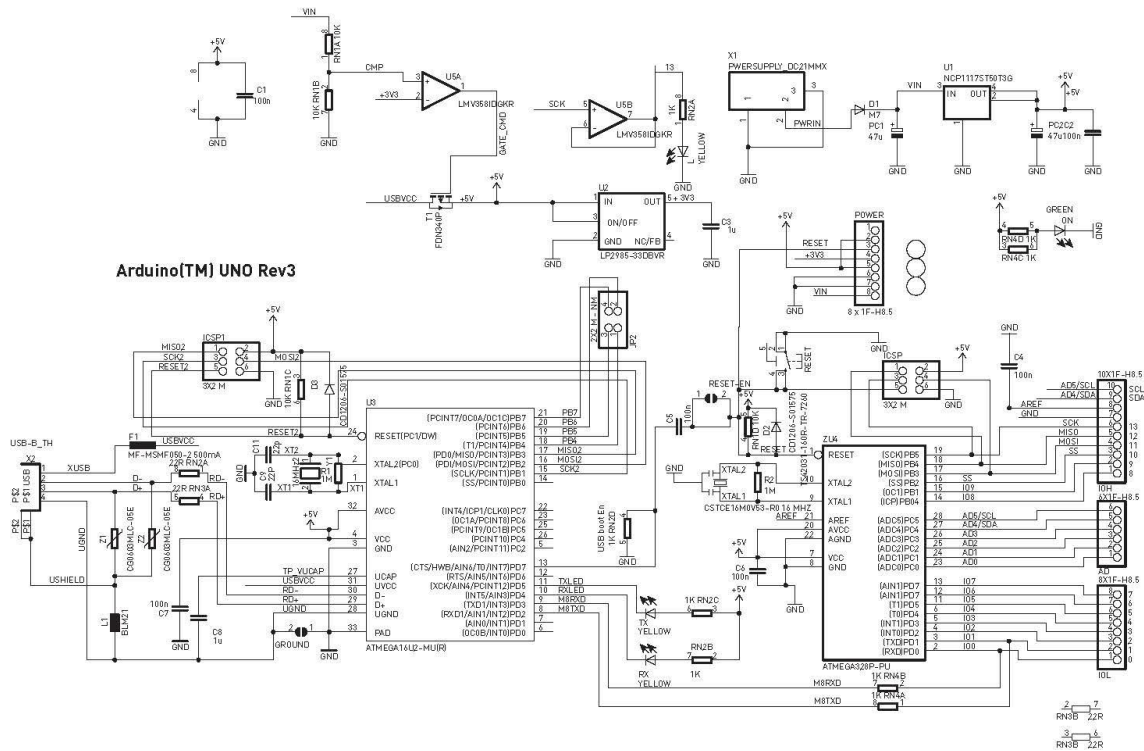


Figura 8.2. Esquema de la placa electrónica de Arduino UNO

### 8.4 Anexo IV

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ARDUINO NANO	
Microcontrolador	ATmega328
Arquitectura	AVR
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Voltaje de entrada límite	6 – 20 V
Pines digitales I/O	22
Pines digitales PWM I/O	6
Pines de entrada analógica	8
Corriente DC por pin I/O	40 mA
Consumo de potencia	19 mA
Memoria flash	32 KB (Arranque 2 KB)
SRAM	2 KB ATmega328
EEPROM	1 KB ATmega328
Velocidad de reloj	16 MHz
Tamaño	18 x 45 mm
Peso	25 g

Tabla 8.2. Especificaciones Arduino Nano

## 8.5 Anexo V

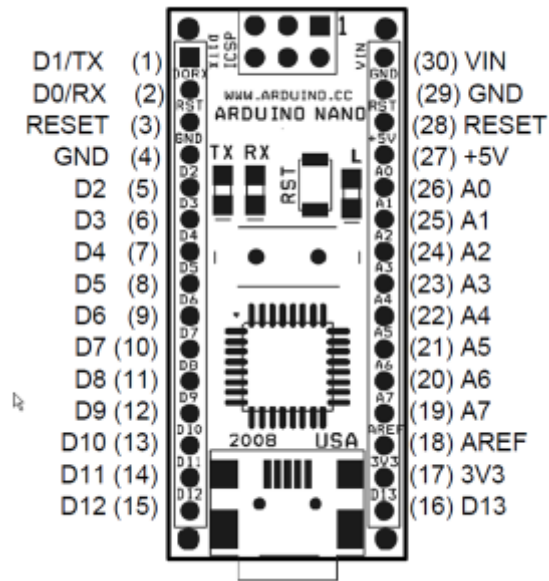


Figura 8.3. Descripción de los pines de Arduino Nano

## 8.6 Anexo VI

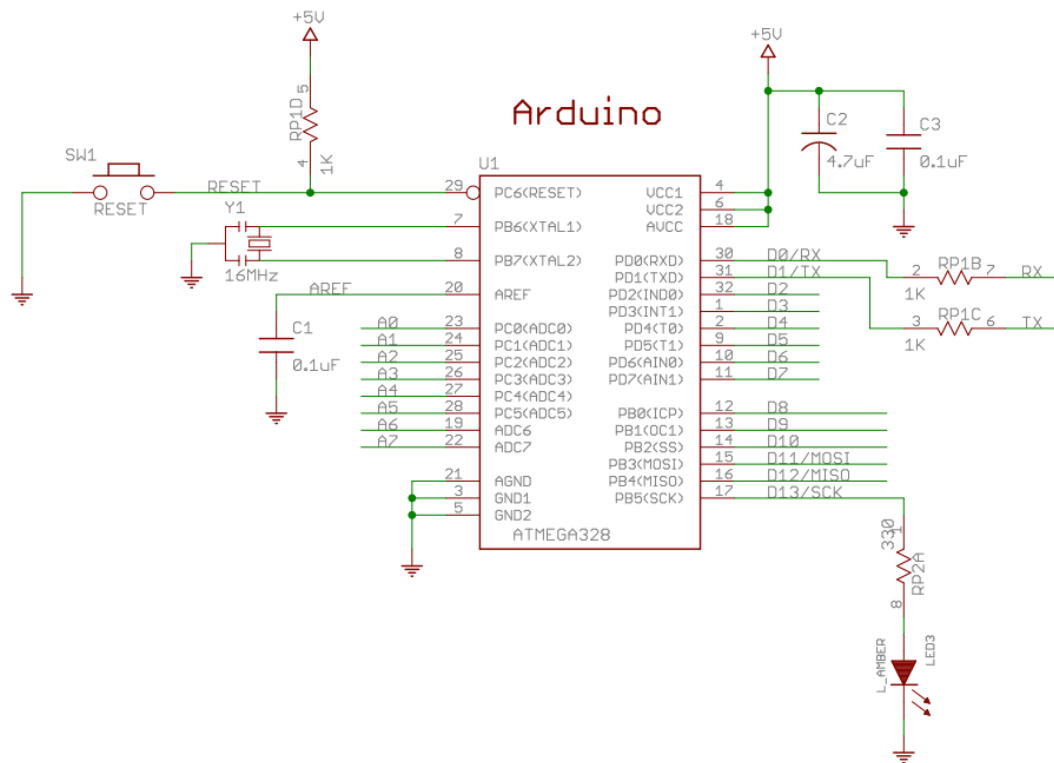


Figura 8.4. Esquema de la placa electrónica de Arduino Nano

## 8.7 Anexo VII

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MÓDULO HC – 05	
Protocolo Bluetooth	v 1.1/2.0
Frecuencia	Banda ISM 2,4 GHz
Modulación	GFSK
Potencia de transmisión	4 dBm
Sensibilidad	-84 dBm
Ratio asíncrono	2,1 Mbps / 160 Kbps
Ratio síncrono	1 Mbps
Alimentación	3.3V / 50mA
Temperatura de trabajo	-5°C a 45°C

Tabla 8.3. Especificaciones Módulo Bluetooth HC – 05

## 8.8 Anexo VIII

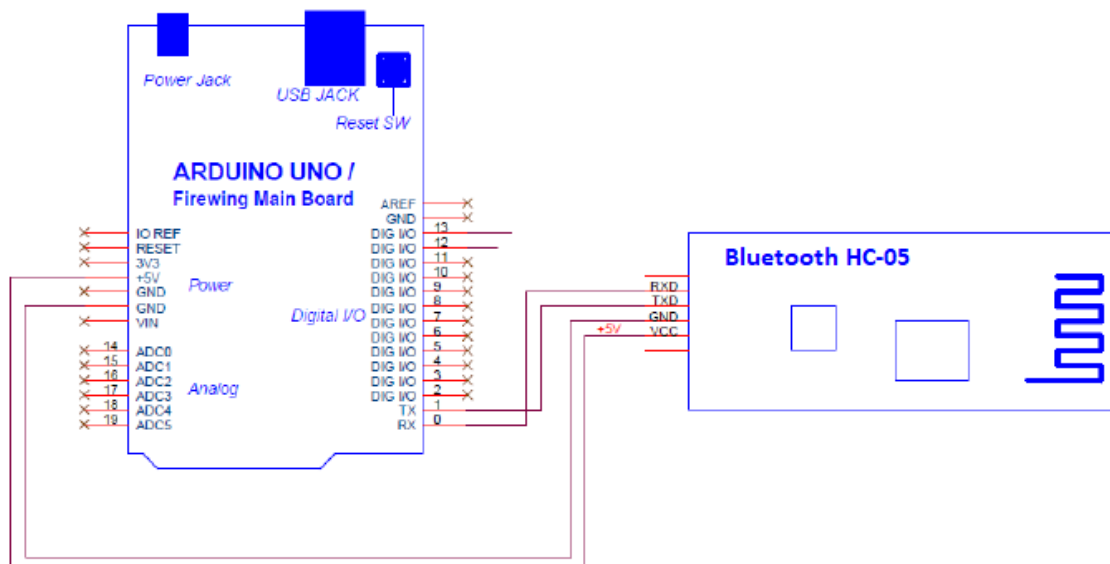


Figura 8.5. Esquema de conexión de un módulo Bluetooth con Arduino

## 8.9 Anexo IX

---

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MÓDULO THINK GEAR</b>	
<b>Rango RF</b>	10 m
<b>Perdidas de transmisión</b>	5 %
<b>Velocidad de transmisión UART</b>	57600 Baudios
<b>Señal de entrada</b>	1 mV pk EEG
<b>Rango del filtro</b>	3 – 100 Hz
<b>Resolución ADC</b>	12 bits
<b>Velocidad de muestreo</b>	512 Hz
<b>Velocidad de transmisión RF</b>	250 kbit/s
<b>Potencia máx. RF</b>	6 dBm
<b>Frecuencia RF</b>	2,420 – 2,471 GHz
<b>Potencia</b>	30 mW (máx 50 mW)
<b>Sensor de lóbulo</b>	255 x 155 x 165 mm
<b>Sensor frontopolar</b>	225 x 155 x 92 mm
<b>Peso</b>	90 g

Tabla 8.4. Especificaciones Módulo ThinkGear de la Interfaz MindWave

## 8.10 Anexo X

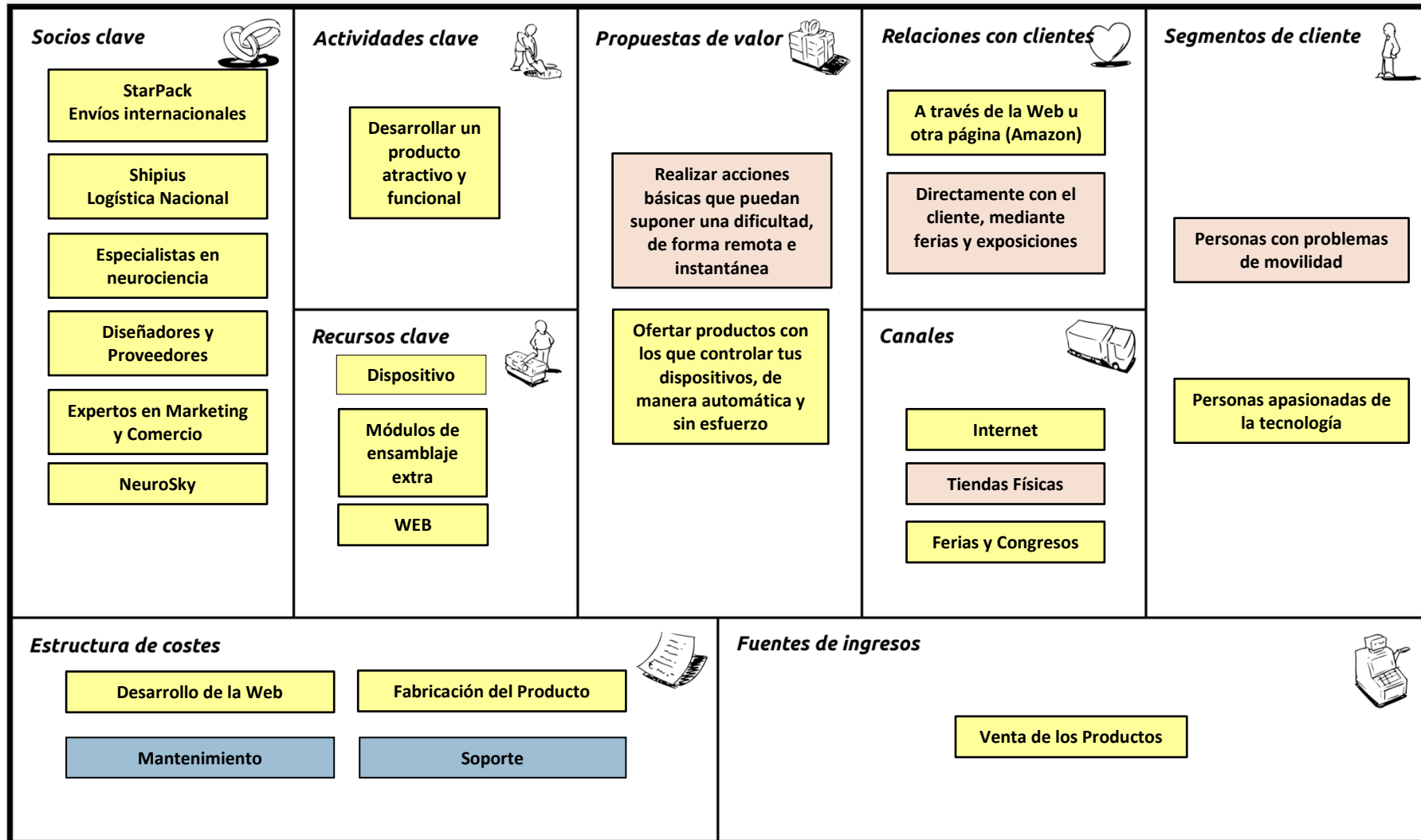


Figura 8.6. Modelo Canvas de NeuroInnovaX