



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

RPC-SO-19-No.277 -2018

OPCIÓN DE TITULACIÓN:  
PROYECTO DE DESARROLLO

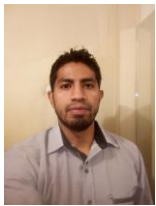
TEMA:  
DESARROLLO DE UNA INTERFAZ  
CEREBRO-COMPUTADOR PARA EL  
CONTROL DE POSICIÓN DE UN  
ROBOT MÓVIL BASADO EN LA  
INTERPRETACIÓN DE ONDAS  
CEREBRALES

AUTOR(ES)  
WILMER ROGELIO SARANGO SALTO

DIRECTOR:  
CARMEN JOHANNA CELI SÁNCHEZ

QUITO – ECUADOR  
2022

**Autor:**



***Wilmer Rogelio Sarango Salto***

Ingeniero Electrónico en Control y Automatización  
Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización Mención  
Informática Industrial por la Universidad Politécnica Salesiana –  
Sede Quito.

[wilmer12337@hotmail.com](mailto:wilmer12337@hotmail.com)

**Dirigido por:**



***Carmen Johanna Celi Sánchez***

Ingeniera en Sistemas Mención Robótica e Inteligencia Artificial.  
Magíster en Diseño Producción y Automatización Industrial.

[cceci@ups.edu.ec](mailto:cceci@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

***Wilmer Rogelio Sarango Salto***

***DESARROLLO DE UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR PARA EL CONTROL DE POSICIÓN DE UN ROBOT MÓVIL BASADO EN LA INTERPRETACIÓN DE ONDAS CEREBRALES.***

# Índice general

<b>Índice de Figuras</b>	<b>5</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>6</b>
<b>Abstract</b>	<b>7</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
1.1. Objetivos . . . . .	10
1.1.1. Objetivo general . . . . .	10
1.1.2. Objetivos específicos . . . . .	10
1.2. Metodología de Investigación . . . . .	11
1.3. Organización del manuscrito . . . . .	11
<b>2. Estado del arte</b>	<b>12</b>
2.1. Marco Conceptual y Estado del Arte . . . . .	13
2.1.1. Trabajos previos . . . . .	13
2.1.2. Robots Móviles . . . . .	13
2.1.3. Robotino . . . . .	15
2.1.4. Cinemática de Robotino . . . . .	17
2.2. Interfaz Cerebro Computador . . . . .	19
2.2.1. Adquisición de Señales . . . . .	19
2.2.2. Pre-procesamiento de Señales . . . . .	23
2.2.3. Clasificación. . . . .	24
2.2.4. Interacción con el computador . . . . .	24
<b>3. Desarrollo</b>	<b>25</b>
3.1. Requerimientos previos . . . . .	26
3.2. Desarrollo del sistema BCI . . . . .	27
3.2.1. Adquisición de señales . . . . .	28
3.2.2. Preprocesamiento . . . . .	29

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	4
3.2.3. Consulta y Clasificación . . . . .	30
3.2.4. Ejecución acción de control . . . . .	31
3.3. Resultados y Discusión . . . . .	34
3.3.1. Conclusiones . . . . .	39
<b>A. Codigos de programación Matlab -Robotino</b>	<b>44</b>

# Índice de Figuras

2.1. Tipos de locomoción robots móviles . . . . .	14
2.2. Configuraciones de los RMR . . . . .	15
2.3. Mobile robot system Robotino® . . . . .	15
2.4. Software de Simulación Robotino . . . . .	17
2.5. Estructura Cinemática . . . . .	17
2.6. Fases de Sistema BCI . . . . .	19
2.7. Adquisición de señales Método Invasivo . . . . .	20
2.8. Adquisición de señales Método No-Invasivo . . . . .	21
2.9. Diadema Emotiv Insihgt . . . . .	22
2.10. EmotivBCI + Ubicación de electrodos de la diadema . . . . .	23
3.1. Diagrama de flujo general del proceso. . . . .	27
3.2. Conexión diadema Emotiv . . . . .	28
3.3. EmotivControlPanel . . . . .	29
3.4. Interfaces de entrenamiento e interpretación de datos . . . . .	29
3.5. Fase de entrenamiento . . . . .	30
3.6. Interfaz EmotivXavier Emokey . . . . .	31
3.7. Interfaz Gráfica GUI Matlab . . . . .	32
3.8. Entorno Simulación Robotino . . . . .	33
3.9. Conexión Robotino Matlab . . . . .	33
3.10. Conexión Robotino Matlab . . . . .	34
3.11. Uso adecuado de diadema Emotiv . . . . .	35
3.12. Alerta de señales de los sensores con ruido . . . . .	36
3.13. Porcentaje entrenamiento señales . . . . .	36
3.14. Diagrama de flujo proceso de movimiento robotino . . . . .	37
3.15. Parametrización de velocidad Robotino para movimientos . . . . .	38
A.1. Código para conexión entre Matlab y Robotino. . . . .	44
A.2. Función para configurar la velocidad del Robotino . . . . .	45

# Índice de Tablas

2.1. Código colores contacto de electrodos . . . . .	22
3.1. Eventos a ejecutarse . . . . .	30
3.2. Porcentaje reconocimiento señales EEG . . . . .	36
3.3. Efectividad Giro derecha . . . . .	38
3.4. Efectividad Giro izquierda . . . . .	38
3.5. Efectividad de avance . . . . .	39

# Resumen

Debido al gran avance de la tecnología la idea de mover robots solo “pensando”, o dependiendo de la actividad cerebral de una persona cada vez es más latente, los avances en neurociencia y robótica han permitido realizar diversas aplicaciones de control de robots utilizando técnicas no invasivas, entre las cuales se encuentra la interfaz BCI basado en el análisis de electroencefalograma (EEG) para ayudar a los pacientes con discapacidad motora. La capacidad de dar órdenes a un robot móvil a través de los pensamientos para que este pueda trasladar objetos de un lugar a otro cuando una persona se encuentre temporalmente o definitivamente incapacitada de realizar tareas por si solo, le permitirá recuperar cierto grado de control e independencia.

Por tal motivo se pretende integrar tecnologías existentes para desarrollar un sistema BCI que permita controlar el movimiento de un robot básico a través de la interpretación de la actividad neuronal de un individuo. Esto con el objetivo de generar un punto de inicio para futuros proyectos, concretamente aplicaciones para personas que poseen una discapacidad motora grave y puedan ser capaces de controlar una silla de ruedas o mover un brazo robótico mediante un BCI personalizado.

**Palabras Clave:** Neurociencia, BCI, EEG, Robot Móvil

# Abstract

Due to the great progress of technology, the idea of moving robots only "thinking", or depending on the brain activity of a person is becoming more and more latent, advances in neuroscience and robotics have enabled various applications of robot control using non-invasive techniques, among which is the BCI interface based on the analysis of electroencephalogram (EEG) to help patients with motor disabilities. The ability to give commands to a mobile robot through thoughts so that it can move objects from one place to another when a person is temporarily or permanently unable to perform tasks on their own, will allow them to regain a certain degree of control and independence. For this reason, we intend to integrate existing technologies to develop a BCI system to control the movement of a basic robot through the interpretation of the neural activity of an individual. This with the aim of generating a starting point for future projects, specifically applications for people who have a severe motor disability and may be able to control a wheelchair or move a robotic arm through a customized BCI.

**Key Words:** Neuroscience, BCI, EEG, Mobile Robot



# Capítulo 1

## Introducción

Un robot es un sistema electromecánico capaz de realizar una acción determinada. Desde su aparición los robots no solo han sido utilizados en el sector industrial si no que han ido gradualmente ocupando un espacio en la vida humana ([Luzheng Bi, 2013](#)).

Los robots humanoides se han convertido de gran ayuda para realizar actividades peligrosas, desagradables o monótonas durante más tiempo en comparación con los humanos debido a que no almacenan fatiga, por ejemplo se los ha ocupado en tareas de navegación o servicios domésticos ([Yordanov Yassen, 2017](#)).

Los robots usados para realizar servicios domésticos pueden llegar a proporcionar independencia a las personas discapacitadas o de tercera edad que actualmente dependen de otras personas para realizar trabajos por ellos ([Conor y cols., 2014](#)).

Encender o apagar la luz son acciones simples para la mayoría de personas, pero para las que cuentan con discapacidad física (parálisis motora), son tareas desafiantes. Actualmente, las nuevas tecnologías, como Brain Computer Interfaces (BCI), permiten la realización de este tipo de tareas e integran a las personas con discapacidad en la sociedad, mediante el uso de su actividad cerebral ([Bentabet Nebia, 2017](#)).

Gracias al elevado progreso de la tecnología se ha propuesto nuevas técnicas de comunicación entre las personas y los robots invasivas como no invasivas, una de ellas es la interfaz cerebro-computadora (BCI) la cual proporciona una comunicación directa entre la computadora y el cerebro humano, sin recurrir a vías convencionales. Las técnicas de BCI se clasifican en formas invasivas y no invasivas. Entre las formas no invasivas para probar la dinámica del cerebro humano, la electroencefalografía (EEG) proporciona

una medida directa de la actividad cortical con una resolución temporal de milisegundos (LI y cols., 2013).

El Robotino de Festo es una plataforma robótica móvil diseñada para aplicaciones prácticas en el campo de la robótica, mecatrónica, procesamiento de señales, programación, etc. De acuerdo a las necesidades prácticas es posible conectar sensores y actuadores adicionales ya que cuenta con una periferia digital y analógica de programación de propósito general, al igual que a través de una red WLAN es posible establecer una conexión entre el Robotino y un equipo externo que soporte comunicación inalámbrica (Móvil, Tablet, Laptop o tarjeta electrónica como Arduino, Raspberry) (P. Dragan, 2018).

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo general

Desarrollar una interfaz cerebro – computador utilizando plataformas informáticas que manejen lenguaje de alto nivel para el control de los desplazamientos del Robotino de Festo utilizando las ondas cerebrales.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Investigar las técnicas de adquisición e interpretación de las ondas cerebrales a través de sensores con electrodos, evaluando diferentes tipos de dispositivos de Electroencefalografía (EEG) para la determinación del hardware y software que se utilizará en la solución.
- Diseñar el algoritmo de control basándose en el procesamiento digital de señales, para la discriminación entre los canales cerebrales y la determinación de los movimientos a seguir por el robot.
- Integrar el algoritmo de control entre el Robotino de Festo y la Interfaz cerebro - computador a través del hardware y software seleccionado, para la determinación del desplazamiento del robot en un entorno controlado mediante las órdenes del ser humano.
- Evaluar el sistema integrado para el Robotino de Festo, mediante las pruebas de funcionamiento que permitirán su validación.

## 1.2. Metodología de Investigación

El presente proyecto se enmarca dentro de un estudio descriptivo, de campo, experimental.

La investigación teórica se suscribe a un estudio descriptivo, donde la recolección de datos a través del análisis bibliográfico de técnicas de adquisición, procesamiento e interpretación de señales EEG utilizando sensores equipados con electrodos permite una presentación objetiva de la selección de hardware y software para el diseño del sistema BCI.

A través de la investigación de campo y en base al software seleccionado se desarrollará el algoritmo para el control de movimiento del Robotino mediante la interpretación y manipulación directa de las ondas cerebrales de un individuo.

## 1.3. Organización del manuscrito

Este artículo consta de tres capítulos: el primer capítulo describe los objetivos planteados y la contribución al proyecto, el segundo capítulo describe los datos sobre el análisis y procesamiento de las señales EEG, y finalmente, el capítulo 3 presenta los resultados obtenidos a partir de su análisis sobre las señales recibidas de la diadema Emotiv.

## Capítulo 2

# Estado del arte

Este capítulo cubre los siguientes temas: estado del arte, desarrollo de robots móviles, sistemas BCI y formulación de problemas. Donde se puede determinar la importancia actual de los sistemas BCI, especialmente en el campo de la medicina.

## 2.1. Marco Conceptual y Estado del Arte

### 2.1.1. Trabajos previos

La base teórica para la implementación de este trabajo son estudios previos basados en el procesamiento de señales EEG, por ejemplo, en la Universidad Técnica Alemana de Berlín, se desarrolló un sistema donde la intención de frenado del conductor se puede detectar con 130 milisegundos antes de presionar el pedal del freno. Esta diferencia de tiempo puede disminuir la distancia de parada de un vehículo que viaja a casi 100 km/h, en casi 3.7 metros ([Haufe y cols., 2011](#)).

Otro claro ejemplo es el de poder controlar electrodomésticos mediante el uso de BCI. Se conectó una interfaz cerebro-computadora (BCI) basada en electroencefalograma (EEG) a un sistema de realidad virtual (VR) para controlar una aplicación de hogar inteligente ([Holzner y cols., 2009](#)).

Otro ejemplo es el de poder controlar un dron con propósitos militares, con el objetivo de perseguir a drones enemigos y encontrar áreas enemigas ocultas ([Al-Nuaimi y cols., 2020](#)).

### 2.1.2. Robots Móviles

Un robot móvil es un sistema electromecánico capaz de moverse automáticamente sin estar fijo en un solo punto. Dispone de sensores que le permiten monitorizar en todo momento su posición en relación a su origen y destino. Por lo general, su control es de circuito cerrado. Su movimiento está asegurado por dispositivos móviles, tales como ruedas, patas, ruedas dentadas, etc ([Sotelo y cols., 2007](#)).

La Figura 2.1 muestra los tipos de locomoción que se tiene para los robots móviles.

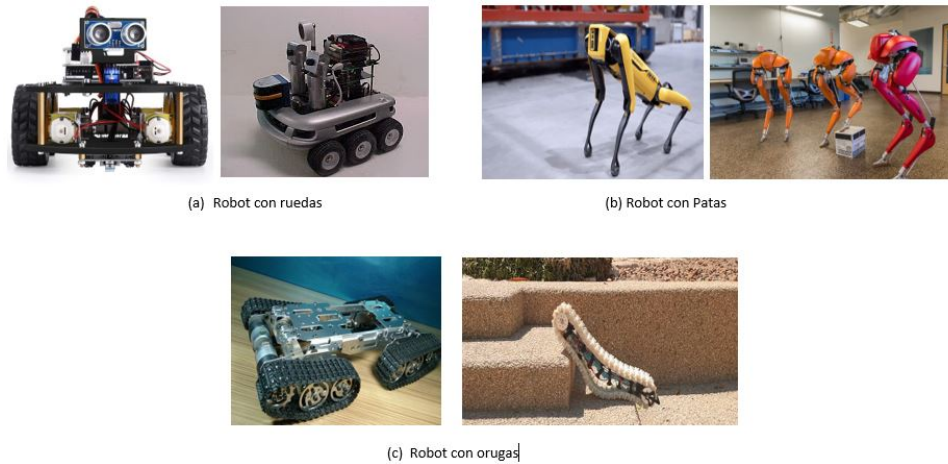


Figura 2.1: Tipos de locomoción robots móviles

Los robots móviles utilizan diferentes tipos de locomoción a través de ruedas que les confieren diferentes características y propiedades en términos de eficiencia energética, tamaño, carga útil y maniobrabilidad. La mayor maniobrabilidad se logra en un vehículo omnidireccional. Un vehículo omnidireccional puede trasladarse simultáneamente a lo largo de cada eje del sistema de coordenadas y girar a lo largo de un eje perpendicular (Batunero, 2001).

Existen diferentes configuraciones cinemáticas para los Robots Móviles con ruedas (RMR), la configuración depende primordialmente de la aplicación en la que se enfoca el RMR; sin embargo entre algunas de las configuraciones que se encuentran disponibles son las siguientes: Tracción diferencial, skid steer, síncrona y tracción omnidireccional (Sotelo y cols., 2007).

En la Figura 2.2 se puede apreciar las diferentes configuraciones de los robots móviles.

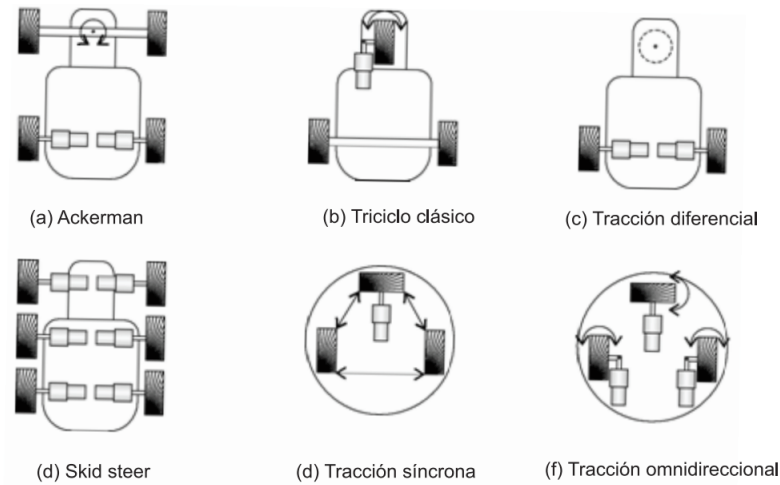


Figura 2.2: Configuraciones de los RMR

### 2.1.3. Robotino

Robotino® ver Figura 2.3, es una plataforma de robótica móvil para la investigación y la educación. Robotino® es una plataforma flexible equipada con dirección omnidireccional, sus sensores, interfaces y extensiones dedicados (FestoDidactic, s.f.).



Figura 2.3: Mobile robot system Robotino®

Algunas de las características del Robotino son:

- Movimiento autónomo en todas las direcciones con identificación y evitación de obstáculos

- Sensores y actuadores integrados
- Comunicaciones inalámbricas con otros dispositivos
- Posibilidad de actualizar nuevos componentes mediante el uso de una torre de montaje
- Concepto de fuentes abiertas e interfaces de software para diferentes lenguajes de programación

Todas estas características del sistema móvil de Festo permiten a los participantes del curso, a través de un trabajo práctico e interactivo, familiarizarse con diferentes áreas en el campo de la tecnología de la automatización. Aunque Robotino® todavía se utiliza para el estudio en el área de la fabricación industrial, el transporte, la logística, en este trabajo, la atención se dedica a su aplicación en la educación. Para el movimiento del robot, se utiliza un accionamiento multidireccional (omnidrive), que permite el movimiento plano en cualquier dirección sin tener que girar, se puede alcanzar velocidades de traslación de hasta 10 km/h.

La configuración estándar del sistema de robot contiene toda una gama de sensores que permiten obtener una imagen detallada del entorno y el movimiento autónomo (P. Dragan, 2018).

Están disponibles:

- Sensores de distancia por infrarrojos
- Sensores inductivos
- Sensores ópticos
- Giroscopio
- Tira de protección de goma con sensor de protección contra colisiones incorporado
- Cámara a color con interfaz USB

El entorno de desarrollo garantiza la conexión de datos de software externo a través de conexiones TCP/IP y UDP. El controlador del robot se puede programar utilizando el entorno de desarrollo Robotino View. El Robotino Sim es un software de simulación de robots, que modela el movimiento del robot en un entorno virtual 3D de forma realista. El modelo de simulación contiene todas las características del robot real, tal y como se puede apreciar en la Figura 2.4 (Katona y cols., 2017).



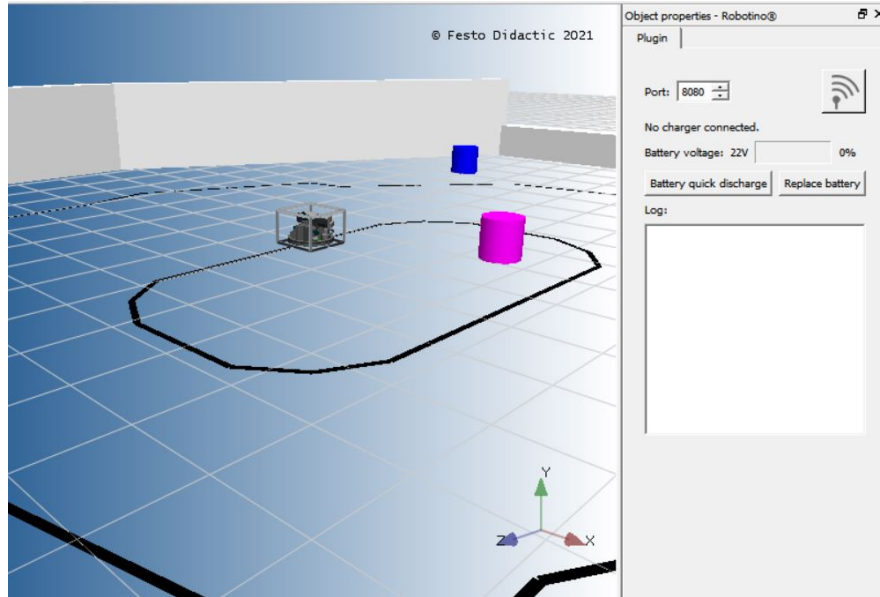


Figura 2.4: Software de Simulación Robotino

### 2.1.4. Cinemática de Robotino

A través de la cinemática del robotino se puede entrar a un estudio de la aceleración, la velocidad y la posición de todos sus elementos móviles.

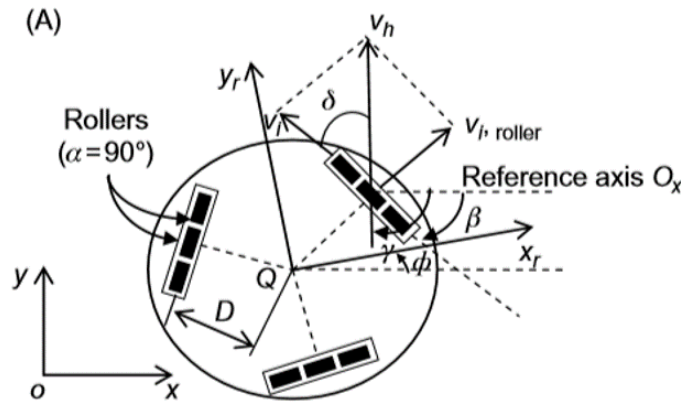


Figura 2.5: Estructura Cinemática

La cinemática se basa en el estudio del movimiento de un robot en función de un sistema de referencia. Las aplicaciones directas incluyen la capacidad de usarlo como un modelo matemático básico para el diseño de controladores o para generar ecuaciones para los cálculos odométricos (Martínez y cols., 2003).

Las ruedas se encuentran colocadas de tal forma que tienen una separación de  $120^\circ$  entre ellas. Para iniciar con el análisis matemático se establecen las variables presentes en la Figura 2.5. Donde:

$X_r, Y_r$ : Representan el movimiento del robot en el plano y  $\phi$  la rotación.

$D$ : La distancia del centro de masa hacia el extremo de una rueda.

$V_i, V_j$ : La velocidad lineal de la rueda.

$\dot{\phi}$ : La velocidad angular de la rueda.

$V_h$ : La velocidad lineal del robot.

$$V_h^2 = V_i^2 + V_{j,roller}^2 \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} V_i &= V_h \cos(\delta) \\ &= V_h \cos(\gamma - \beta) \\ &= V_h (\cos(\gamma) \cos(\beta) + \sin(\gamma) \sin(\beta)) \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} V_i &= V_h (\cos(\gamma) \cos(\delta) + \sin(\gamma) \sin(\delta)) + D\dot{\phi} \\ &= V_{hx} \cos(\beta) + V_{hy} \sin(\beta) + D\dot{\phi} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$V_{hx} = V_h \cos(\gamma); V_{hy} = V_h \sin(\gamma) \quad (2.4)$$

$$V_1 = V_{hx} + D\dot{\phi} \quad (2.5)$$

$$V_2 = -\frac{1}{2}V_{hx} + \frac{\sqrt{3}}{2}V_{hy} + D\dot{\phi} \quad (2.6)$$

$$V_3 = -\frac{1}{2}V_{hx} - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{hy} + D\dot{\phi} \quad (2.7)$$

En el desarrollo de este trabajo no se utilizó el modelo matemático de control de Robotino. Esto se debe a que el software Emotiv proporciona un

control que es el omniaccionamiento que resuelve la cinemática inversa y directa del mecanismo.

## 2.2. Interfaz Cerebro Computador

Una interfaz cerebro computadora (BCI) es un sistema basado en recibir señales cerebrales y traducirlas en comandos de control basados en las intenciones del usuario. En este contexto, se puede decir que el sistema BCI es muy útil para personas dependientes como son las de avanzada edad o personas con movilidad reducida.

Existen diferentes tipos de BCI los cuales pueden ser Invasivos o no Invasivos, y se componen de 4 fases principales: Adquisición de Señales, Pre-procesamiento de señales, Clasificación, interacción con el computador, tal como se aprecia en la Figura 2.6 (Kameswara M.T.Rajyalakshmi, 2012).

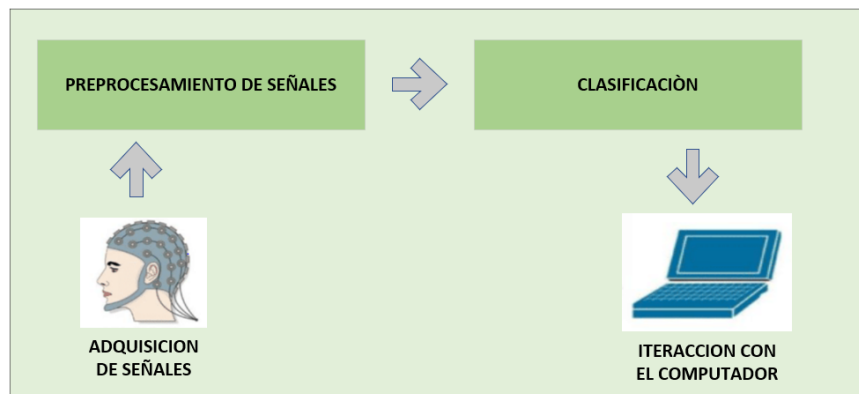


Figura 2.6: Fases de Sistema BCI

### 2.2.1. Adquisición de Señales

La recepción de señales eléctricas generadas en el cerebro humano es uno de los componentes más importantes del sistema BCI (interfaz cerebro-computadora). Hay dos tipos de técnicas de adquisición de señales.

#### 1. Método Invasivo

Este método consiste en implantar electrodos dentro del cráneo del paciente ver Figura 2.7, esta cirugía consiste en abrir el cráneo en un

procedimiento quirúrgico llamado craneotomía y cortar las membranas que recubren el cerebro. A pesar de sus complicaciones inherentes, las técnicas de grabación invasivas combinan una calidad de señal excelente, una resolución espacial muy buena y una frecuencia más alta, distinguiendo una zona específica del cerebro (Vásquez Bernal y cols., 2016), (Brandman Hochberg, 2016).

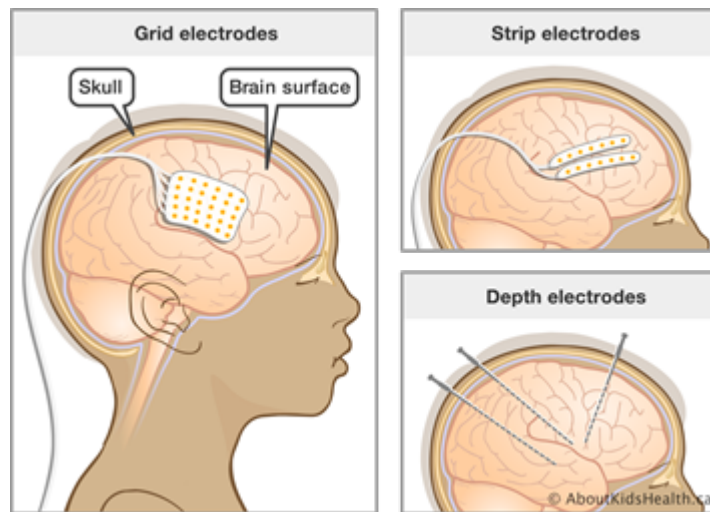


Figura 2.7: Adquisición de señales Método Invasivo

El método de la técnica invasiva a pesar que presenta la información de manera mucha más rápida, el hecho de requerir una cirugía provoca una controversia ética es por eso que las técnicas invasivas se investigan especialmente en los animales (Kameswara M.T.Rajyalakshmi, 2012).

## 2. Método No Invasivo

El método no invasivo se basa en registrar los potenciales del cuero cabelludo mediante electrodos de plata que se utilizan para leer señales eléctricas. Se registran pequeñas diferencias de voltaje entre los electrodos, típicamente entre 30 y 100  $\mu\text{V}$ , y generalmente es necesario amplificarlas (Vásquez Bernal y cols., 2016).



Figura 2.8: Adquisición de señales Método No-Invasivo

Entre las interfaces cerebro-ordenador (BCI) no invasivas, el electroencefalograma (EEG) ha sido el más utilizado para ellas porque el EEG es ventajoso en términos de su simplicidad y facilidad de uso, existen tipos de dispositivos pueden ser inalámbricos o no inalámbricos. Ver Figura 2.8 ([Kameswara M.TRajyalakshmi, 2012](#)).

### 3. **Emotiv insight**

Este es una de las mejores opciones de hardware más baratas para la electroencefalografía en tiempo real en el mercado hasta ahora. Ver Figura 2.9.

El sistema de posicionamiento, que siguen todos los canales, es del sistema internacional 10-20 ([EMOTIV®](#), s.f.).

Se utiliza en todo el mundo como estándar para describir la posición de los electrodos en el cuero cabelludo. Los números '10' y '20' representan la distancia entre electrodos adyacentes: 10% o 20%, la distancia total de derecha a izquierda o de adelante hacia atrás del cráneo ([Yordanov Yasen, 2017](#)).



Figura 2.9: Diadema Emotiv Insight

La diadema Emotiv Insight ofrece 5 canales de datos de electroencefalografía entrantes con 2 canales de referencia(CMS/DRL) y transmisión inalámbrica de la señal. La tasa de muestreo es de 128SPS(Sample per second), la resolución de EEG es de 14 bits, los nombres de los canales son AF3, AF4, T7, T8, Pz ([EMOTIV®](#), s.f.).

Existe el software EmotivBCI en el que se puede observar como se conectan los electrodos y la calidad de la conexión, Ver Figura 2.10 adicional existen 5 colores referenciales y su significado se especifica en la Tabla 2.1 ([Katona y cols., 2017](#)).

Color	Descripción
Negro	No hay señal
Rojo	Señal muy mala de los auriculares
Naranja	Señal pobre, pero es aceptable para futuras investigaciones
Verde	Medición perfecta de la señal

Tabla 2.1: Código colores contacto de electrodos

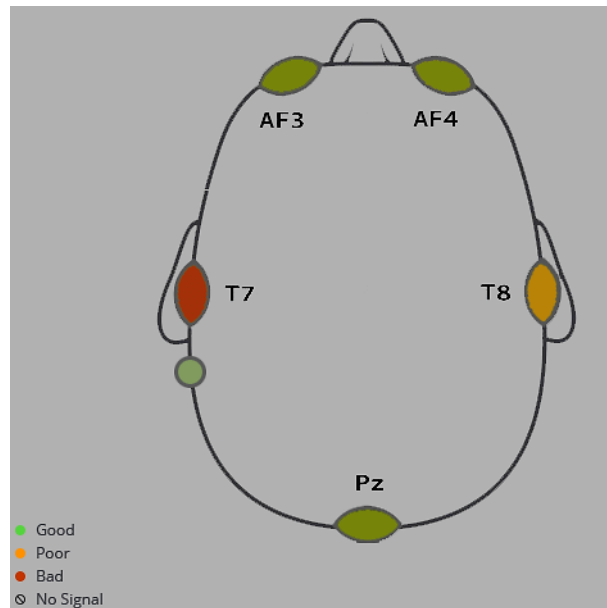


Figura 2.10: EmotivBCI + Ubicación de electrodos de la diadema

### 2.2.2. Pre-procesamiento de Señales

Mediante el pre-procesamiento se busca tratar a los problemas que afectan a las señales durante el reconocimiento de patrones. Una de las características de los sistemas BCI es que contienen valores atípicos, tales como el ruido generado en el entorno, otra característica es que las señales EEG no son estacionarias y pueden variar con el tiempo (Hassien T.Azar, 2015).

#### 1. Extracción de características

La extracción de características es la parte del preprocesamiento de la señal cerebral. En la extracción de características, los objetos similares se clasifican en la misma clase, y dos clases diferentes pueden serlo según sus diferencias. Para identificar la clase de un objeto, es importante extraer algunas propiedades que reflejen tanto las similitudes como las diferencias (Kameswara M.T.Rajyalakshmi, 2012).

### **2.2.3. Clasificación.**

La extracción de características es la parte del preprocesamiento de la señal cerebral. En la extracción de características, los objetos similares se clasifican en la misma clase, y dos clases diferentes pueden serlo según sus diferencias. Para identificar la clase de un objeto, es importante extraer algunas propiedades que reflejen tanto las similitudes como las diferencias (Kameswara M. TRajyalakshmi, 2012).

### **2.2.4. Interacción con el computador**

Una vez completado las fases del sistema BCI, en esta última etapa se ejecutará alguna acción de control sobre el hardware seleccionado. Por ejemplo habilitar un movimiento, encender un elemento final de control, etc.



## Capítulo 3

# Desarrollo

En este capítulo se abordan temas como el desarrollo del sistema BCI propuesto, habiendo definido previamente las herramientas hardware y software utilizadas. Se ha diseñado una interfaz de usuario con la que puede interactuar para validar operaciones y ejecutar simulaciones.

### 3.1. Requerimientos previos

Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema, se han establecido condiciones iniciales.

Las interfaces que debes estar habilitadas son:

- **Diadema Emotiv Insight:** Dispositivo mediante el cual se podrá obtener la señales EEG durante el entrenamiento y las pruebas funcionales.
- **Emotiv Xavier:** Software que permitirá grabar las señales EEG mediante entrenamiento de expresiones faciales o señales mentales.
- **Emotiv Emokey:** Software que permitirá traducir los resultados de la detección de Emotiv a secuencia de comandos según las reglas definidas por el usuario.
- **Interfaz de usuario - BCI Matlab:** Interfaz diseñada control de Robotino mediante señales EEG

Los parámetros de comunicación para la simulación mediante la interfaz de usuario:

- **RobotinoSim:** Software que permitirá realizar una simulación de control del Robotino mediante señales EEG.
- **Puerto:** 8081
- **Ip:** Dirección IP provisto por el Robotino.

El porcentaje de entrenamiento con el cual se va a realizar las pruebas funcionales tiene un promedio de 55 %. El desarrollo del sistema va a constar de tres acciones por parte del individuo, (Guiño ojo izquierdo, guiño ojo derecho, movimiento cabeza derecha) los cuales a su vez generarán una acción en el Robotino (Avance izquierda, avance derecha, avance de frente).

### 3.2. Desarrollo del sistema BCI

El diseño e implementación de este proyecto se basa en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 3.1, la cual describe las etapas desde la adquisición de señales hasta el control del Robotino mediante una acción determinada por el individuo.

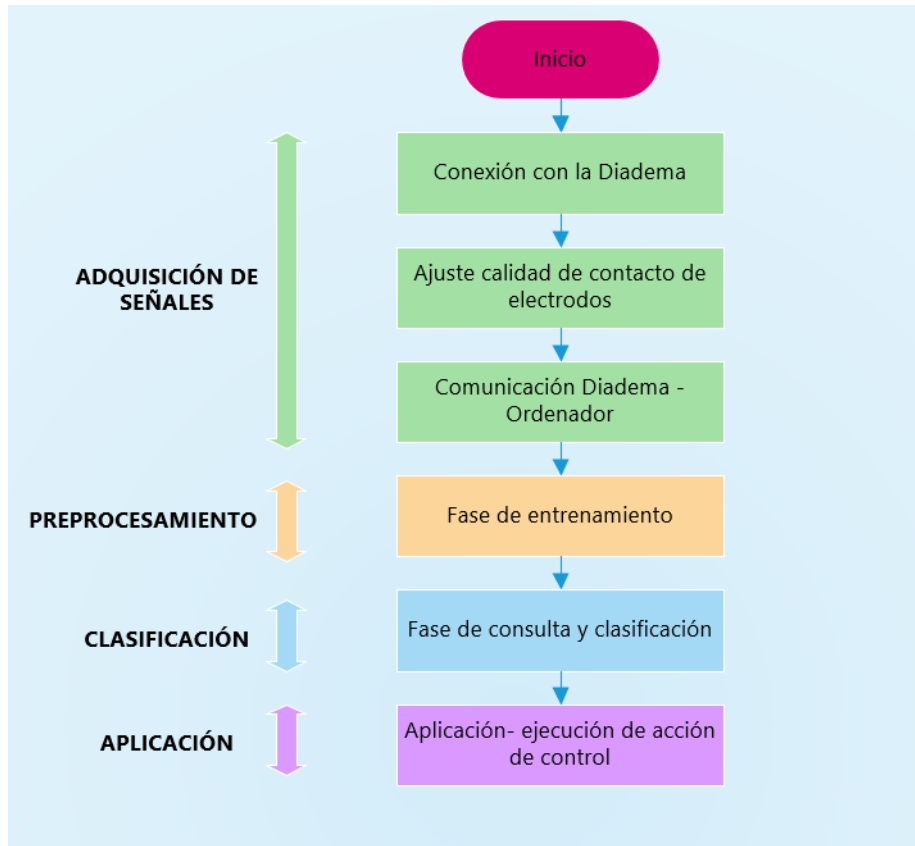


Figura 3.1: Diagrama de flujo general del proceso.

El sistema está compuesto físicamente por, la diadema cerebral emotiv insight (Captador de señales EEG), computador (procesamiento de señales e interfaz BCI), actuador (Robotino), encargado de ejecutar una acción predefinida.

### 3.2.1. Adquisición de señales

#### Conexión diadema cerebral emotiv insight



Figura 3.2: Conexión diadema Emotiv

El proceso para conexión entre la diadema y el ordenador se describe en la Figura 3.2, donde la diadema Emotiv es la encargada de captar las señales cerebrales a través de los electrodos y las envía al ordenador mediante el dispositivo bluetooth. En el ordenador se tiene instalada la aplicación EmotivXavierControlpanel en la que se puede apreciar la señales cerebrales en tiempo real.

#### Ajuste de electrodos

Para asegurar que los electrodos se encuentran ubicados correctamente, hay que basarnos en el código de colores del software EmotivBCI. Ver Figura 2.10. ver Tabla 2.1.

Una vez se encuentren ubicados los electrodos de forma correcta se puede iniciar el proceso de entrenamiento basándonos en las señales cerebrales.

#### Comunicación diadema - ordenador

Para la adquisición de la señales cerebrales se procede a utilizar el software EmotivXavierControlpanel, ver Figura 3.3 en el cual se puede apreciar, el tipo de diadema a utilizar, el nivel de batería de la diadema y la señal de comunicación Bluetooth entre la diadema y nuestro ordenador.



Figura 3.3: EmotivControlPanel

### 3.2.2. Preprocesamiento

#### Fase de entrenamiento

Los datos enviados desde la diadema deben ser correctamente expresados e interpretados, ya que Emotiv ha incorporado un software de entrenamiento e interpretación de datos que cuenta con unas interfaces tal y como se indican en la Figura 3.4.

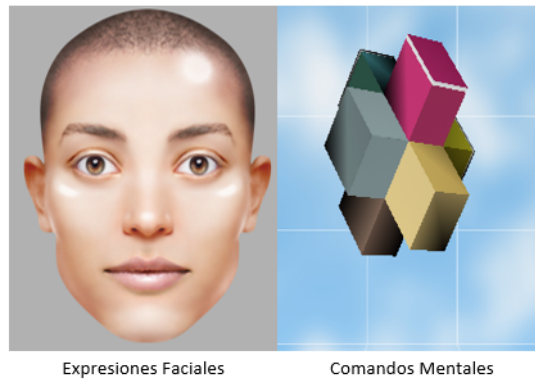


Figura 3.4: Interfaces de entrenamiento e interpretación de datos

La interfaz de comandos mentales es en la que vamos a trabajar fundamentalmente en el desarrollo de este proyecto. Esta interfaz consta de 13 acciones distintas, las que pueden ser interpretadas bajo estímulos físicos o cognitivos, las acciones que se van a utilizar serán 3, izquierda, derecha y empujar. En el software se puede apreciar el cubo de 6 ejes en el cual se puede validar inicialmente la fase de entrenamiento.

Durante la fase de entrenamiento, para que el porcentaje de aprendizaje incremente se debe repetir varias veces el numero de pruebas de

reconocimiento de la acción. Ver Figura 3.5

Hay que tener en cuenta que a medida que aumentemos acciones durante la fase de entrenamiento, el sistema se vuelve mas susceptible a errores, ya que la diadema tiene 5 canales de transmisión.

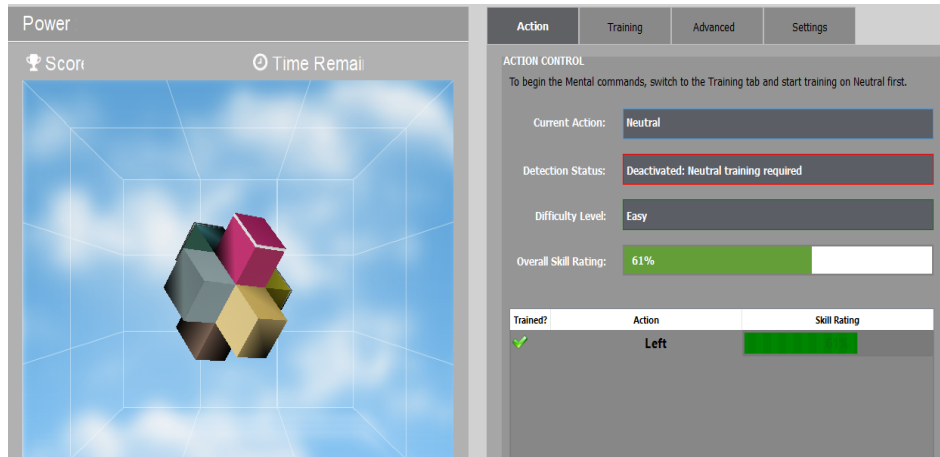


Figura 3.5: Fase de entrenamiento

### 3.2.3. Consulta y Clasificación

Para la clasificación de las acciones se ocupa el software EmotivXavier Emokey conjuntamente con una interfaz desarrollada en Matlab.

#### EmotivXavier Emokey

EmotivXavier es la interfaz que nos permite asignarle una condición o evento a una acción ya definida en la fase de entrenamiento. Para el desarrollo se ha configurado el software de tal manera que se envíe una variable al GUI de Matlab, dependiendo de las señales recibidas. Ver Tabla 3.1.

Acción	Variable	Descripción
Neutro	N	Robotino sin movimiento
Izquierda	X	Robotino movimiento hacia la izquierda
Derecha	Y	Robotino movimiento hacia la derecha
Adelante	Z	Robotino movimiento hacia adelante

Tabla 3.1: Eventos a ejecutarse

En la Figura 3.6 se puede apreciar los eventos asignados a cada acción y el rango de valores en los que la señal va a ser reconocida. Adicional este software es la interfaz de comunicación entre la fase de adquisición de señales, fase de entrenamiento y la fase de clasificación.

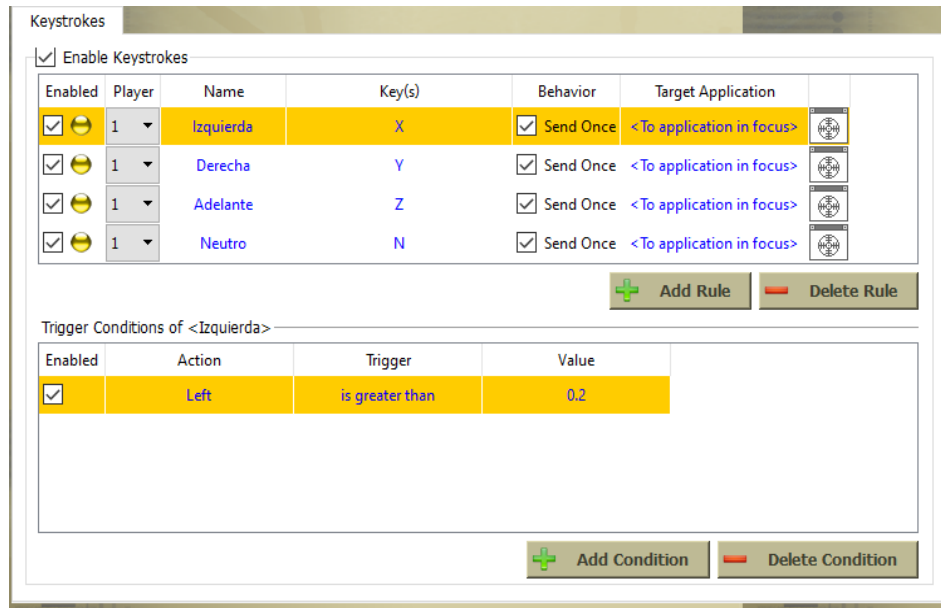


Figura 3.6: Interfaz EmotivXavier Emokey

### 3.2.4. Ejecución acción de control

#### Diseño Interfaz GUI Matlab

Para lograr el control del Robotino a través de las señales EEG, se va a utilizar como canal de comunicación entre la diadema y el Robotino el software de Matlab, en el que se diseñó una interfaz capaz de recibir los valores enviados por EmotivXavier y en base a una lógica de programación controlar el movimiento del Robotino. La interfaz gráfica se observa en la Figura 3.7

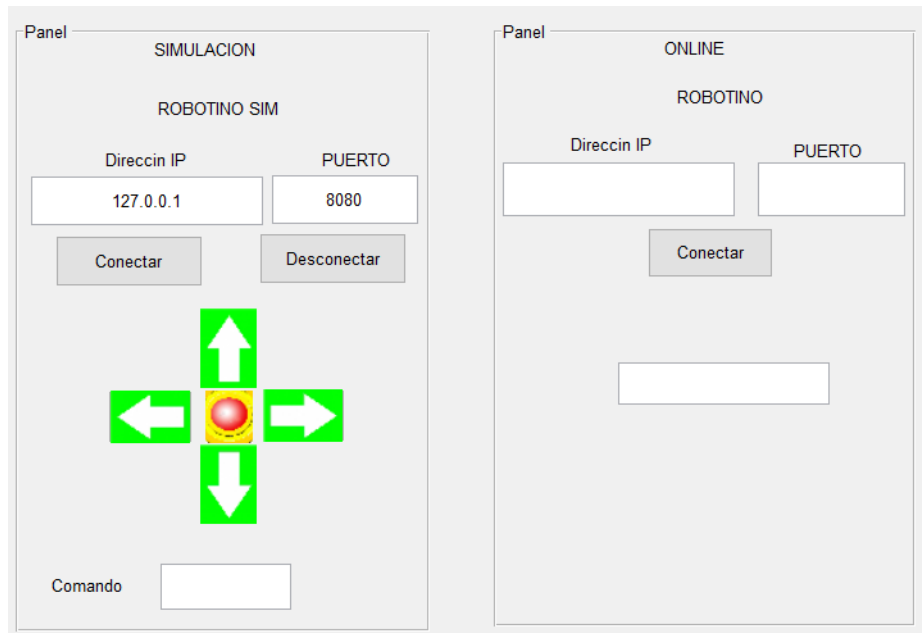


Figura 3.7: Interfaz Gráfica GUI Matlab

El sistema consta de varias secciones, que son detalladas a continuación.

### Modo Simulación

A través de este modo de trabajo, podemos probar el sistema, controlando el Robotino en el ambiente de simulación, utilizando el Software RobotinoSim, y mediante el uso de las flechas podemos asignar un movimiento al Robotino.

En la Figura 3.8 se aprecia el entorno de simulación, la configuración del puerto y la Dirección IP, adicional se puede observar la conectividad con la Interfaz diseñada en Matlab.



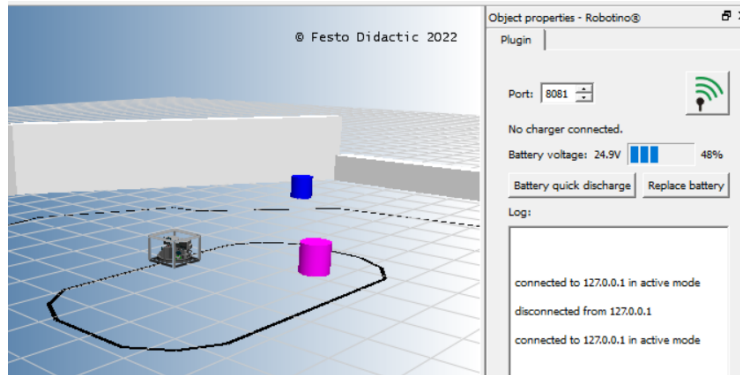


Figura 3.8: Entorno Simulación Robotino

### Modo Online

Para lograr establecer una conexión de modo real con el Robotino, primero debemos anclarnos a la red Wifi del propio Robotino, luego debemos configurar la dirección IP y número de puerto, estos datos son presentados en el display que viene incorporado en el Robotino. Una vez conectados en el display del Robotino aparecerá el mensaje 'Conectado'. Ver Figura 3.9.



Figura 3.9: Conexión Robotino Matlab

A través de este modo de trabajo se logrará controlar el Robotino en un entorno real, mediante las señales EEG adquiridas por la diadema Emotiv.

### 3.3. Resultados y Discusión

Las pruebas que se realizaron permitieron validar la efectividad del sistema, tanto en modo Simulación como Online.

Para iniciar con las pruebas de funcionamiento, primero validar que las siguientes interfaces se encuentran habilitadas.

- RobotinoSim (Requerida para modo Simulación)
- EmotivXavierControlpanel
- EmotivXavierEmokey
- Interfaz BCI Matlab

#### Modo Simulación

Para iniciar con este modo de trabajo, se debe verificar que la dirección Ip sea: 127.0.0.1 y número de puerto 8081. De manera que se logrará validar la comunicación entre la Interfaz BCI y el Software RobotinoSim, al momento de establecer la conexión aparecerá el siguiente mensaje: `connected to 127.0.0.1 in active mode`". Ver Figura 3.10.

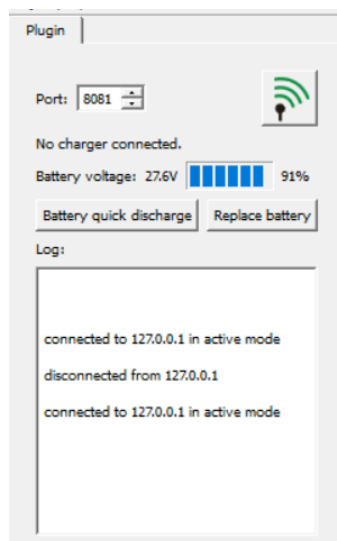


Figura 3.10: Conexión Robotino Matlab

Ya que se trata de modo simulación se debe presionar una de las flechas para accionar el Robotino, por ende el porcentaje de efectividad en este modo de trabajo es del 100%.

### Modo Online

Para este modo de trabajo como primer paso debemos hidratar los sensores de la diadema y asegurar que el individuo tenga la diadema Emotiv colocada adecuadamente, de manera que los sensores hagan un contacto adecuado con el cuero cabelludo. Ver Figura 3.11.

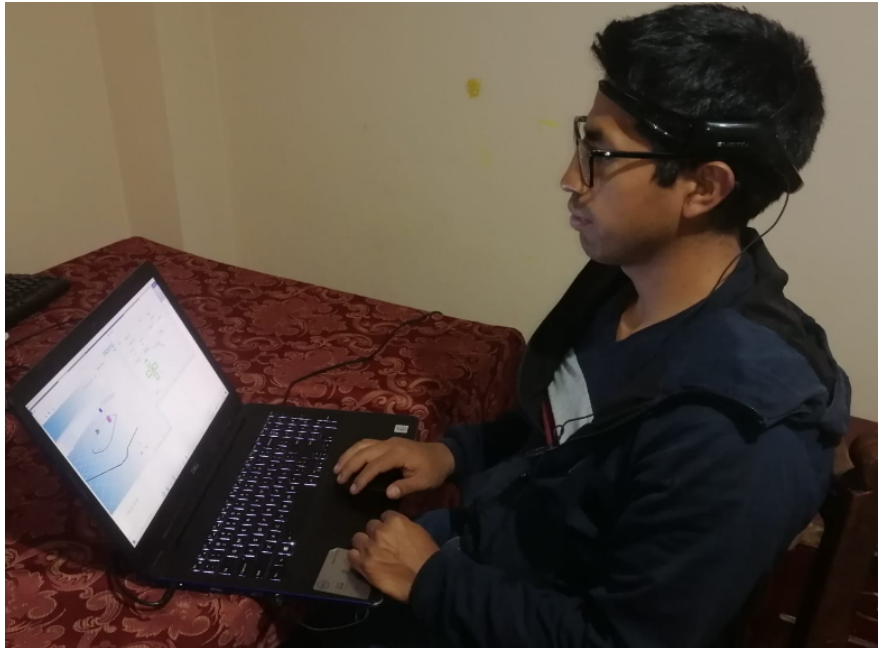


Figura 3.11: Uso adecuado de diadema Emotiv

En caso que no se tenga un contacto adecuado de los sensores con el cuero cabelludo, en el panel de control de Emotiv aparecerá un mensaje de señal con ruido o señal baja, y tendremos que revisar bien la ubicación, caso contrario la fase de entrenamiento no sera la adecuada. Ver Figura 3.12.

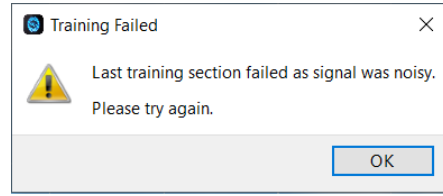


Figura 3.12: Alerta de señales de los sensores con ruido

Una vez completada la fase de entrenamiento de la diadema obtenemos el siguiente porcentaje de efectividad de reconocimiento de las señales. Ver Tabla 3.2. Ver Figura 3.13.

Acción	Porcentaje Reconocimiento
Izquierda	29 %
Derecha	27 %
Push	37 %

Tabla 3.2: Porcentaje reconocimiento señales EEG

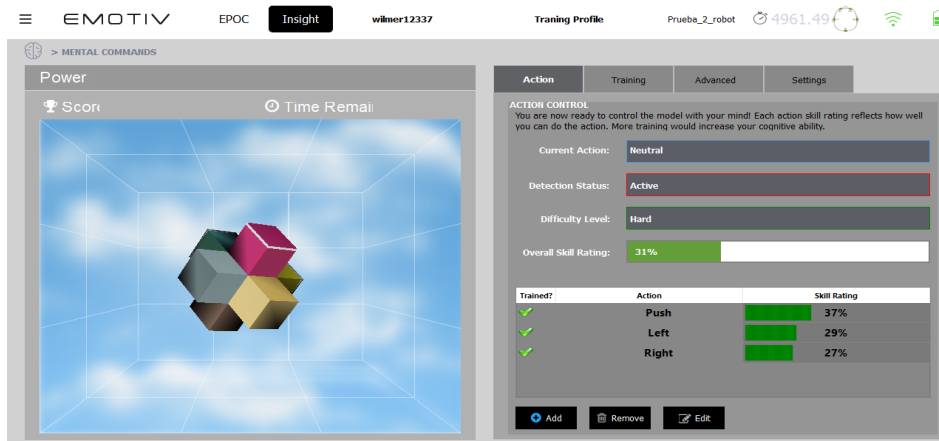


Figura 3.13: Porcentaje entrenamiento señales

La interfaz de comunicación entre nuestra sistema BCI y la diadema Emotiv, es el software EmotivXavier en el que se ha configurado las variables

a enviar por cada evento reconocido. Se ha programado de tal forma que al recibir una variable, el Robotino ejecutará un acción predefinida. En la Figura 3.14 se puede observar el diagrama de flujo de las acciones que el Robotino ejecutará.

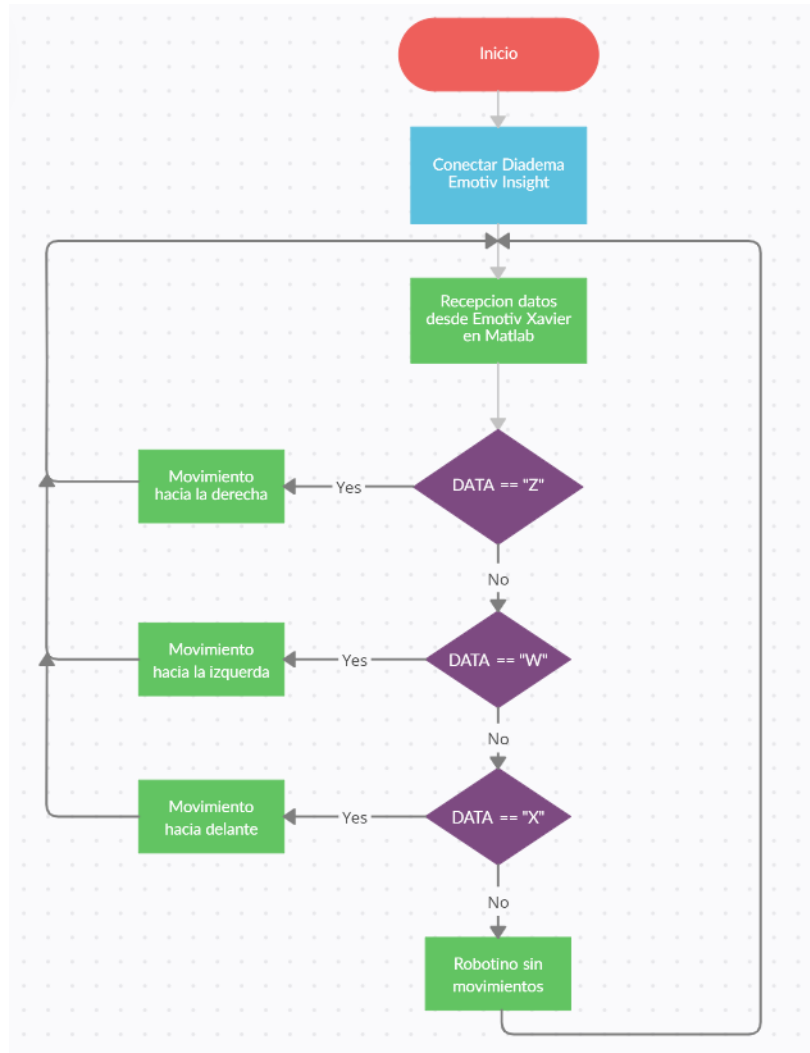


Figura 3.14: Diagrama de flujo proceso de movimiento robotino

Se ha realizado la programación para que una vez identificada la variable, los motores del Robotino sean accionados a una velocidad constante. En la

Figura 3.15. se puede apreciar la configuración de la velocidad.

```

if VAR1=="X" % ARRIBA
    OmniDrive_setVelocity(OmniDriveId, 100,0 ,0);
else
    if VAR1=="Y" % ABAJO
        OmniDrive_setVelocity(OmniDriveId, -100,0 ,0);
    else
        if VAR1=="Z" % DERECHA
            OmniDrive_setVelocity(OmniDriveId,0 ,100 ,0);
        else
            if VAR1=="W" %IZQUIERDA
                OmniDrive_setVelocity(OmniDriveId,0 ,-100 ,0);
            else
                OmniDrive_setVelocity(OmniDriveId, 0, 0 ,0);
            end
        end
    end
end
end
end
end

```

Figura 3.15: Parametrización de velocidad Robotino para movimientos

Durante la fase de pruebas se pudo validar el funcionamiento del sistema, obteniendo los siguientes resultados.

En la Tabla 3.3 se puede apreciar los aciertos y eventos realizados para el giro hacia la derecha del robotino:

Acción	Numero eventos	Aciertos T=0 [min]	Aciertos T=10 [min]	Aciertos T=25 [min]
Giro derecha	20	13	7	3

Tabla 3.3: Efectividad Giro derecha

En la Tabla 3.4 se puede apreciar los aciertos y eventos realizados para el giro hacia la izquierda del robotino:

Acción	Numero eventos	Aciertos T=0 [min]	Aciertos T=10 [min]	Aciertos T=25 [min]
Giro izquierda	20	16	10	5

Tabla 3.4: Efectividad Giro izquierda

En la Tabla 3.5 se puede apreciar los aciertos y eventos realizados para el giro hacia la derecha del robotino:

Acción	Numero eventos	Aciertos T=0 [min]	Aciertos T=10 [min]	Aciertos T=25 [min]
Avance	20	12	7	3

Tabla 3.5: Efectividad de avance

El total de aciertos puede verse afectado por la diferencia entre el entorno donde fue realizado la fase de entrenamiento y el entorno de la fase de consulta, así como también por el cansancio mental que genera el uso de la diadema.

### 3.3.1. Conclusiones

En la Figura 3.13 se puede evidenciar el porcentaje de efectividad de reconocimiento de la actividad cerebral del individuo, adicional hay que tener en cuenta que puede variar al utilizar mas de 4 acciones de reconocimiento.

En la Tabla 3.3, Tabla 3.4 y Tabla 3.5 se puede observar que las primeras pruebas realizadas tienen mayor porcentaje de efectividad, mientras que a medida que pasa el tiempo su efectividad se reduce, esto debido al cansancio mental que provoca tener colocada la diadema un tiempo prolongado.

A nivel de Hardware, durante la selección de dispositivos, el utilizar la diadema Emotiv Insign fue de gran acierto para el desarrollo del presente proyecto debido a que gracias a la electrónica que posee, las señales enviadas a la interfaz BCI son mas robustas.

Gracias al avance tecnológico la diadema Emotiv Insign es capaz de medir la actividad de todos los lóbulos corticales del cerebro, aportando de una gran cantidad de flujo de datos.

A nivel de software, el uso de Matlab al ser un lenguaje de alto nivel fue de gran importancia debido a su compatibilidad de comunicación con el Robotino de Festo y la API Cortex de Emotiv.

Para la validación del sistema BCI y en base a las pruebas realizadas se obtuvo una eficiencia del 68 %, este porcentaje de cumplimiento se puede mejorar, adquiriendo una diadema EmotivEpoc que es mas sofisticada y presenta varias ventajas sobre la utilizada en este proyecto, como son el número de electrodos de contacto.

El porcentaje de efectividad puede variar, dependiendo del contacto que se mantenga entre el electrodo y el cuero cabelludo del participante, así mismo depende del entorno en el que se lleve a cabo las pruebas.



# Referencias

- Al-Nuaimi, F. A., Al-Nuaimi, R. J., Al-Dhaheiri, S. S., Ouhbi, S., Belkacem, A. N. (2020). Mind Drone Chasing Using EEG-based Brain Computer Interface Mind drone chasing using eeg-based brain computer interface. 74-79. 10.1109/IE49459.2020.9154926
- Batunero, A. O. (2001). Robots Móviles Robots móviles. En ROBÓTICA- Manipuladores y robots móviles RobÓtica- manipuladores y robots móviles (p. 28).
- Bentabet Nebia, B. N. E. (2017). Synchronous P300 based BCI to control home appliances Synchronous p300 based bci to control home appliances. Proceedings of 2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control, ICMIC 2016835-838.
- Brandman, D., Hochberg, L. (2016). Brain Computer Interfaces: A Gentle Introduction Brain computer interfaces: A gentle introduction. Neurobionics: The Biomedical Engineering of Neural Prostheses231-263. 10.1007/978-3-642-02091-9
- Conor, M., C.Michael, Donal, H., Kevin, K. (2014). Towards the design of a new humanoid robot for domestic applications Towards the design of a new humanoid robot for domestic applications. EEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications, TePRA1-6.
- EMOTIV®. (s.f.). Emotiv|Insight. Emotiv|insight. url<https://www.emotiv.com/>.
- FestoDidactic. (s.f.). Robotino®. Robotino®. url<https://www.festo-didactic.com/>.
- Hassien, E., T.Azar. (2015). Noninvasive electromagnetic methods for brain monitoring: A technical review Noninvasive electromagnetic methods

for brain monitoring: A technical review. Intelligent Systems Reference Library74. 10.1007/978-3-319-10978-7<sub>3</sub>

Haufe, S., Treder, M. S. G., Sagebaum, M. F., Curio, G., Blankertz, B. (2011). EEG potentials predict upcoming emergency brakings during simulated driving Eeg potentials predict upcoming emergency brakings during simulated driving. Journal of Neural Engineering8.

Holzner, C., Guger, C., G.Edlinger, Grönegress, Slater, M. (2009). Virtual smart home controlled by thoughts Virtual smart home controlled by thoughts. Proceedings of the Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WETICE432-437.

Kameswara, T., M.TRajyalakshmi. (2012). An Exploration on Brain Computer Interface and Its Recent Trends An exploration on brain computer interface and its recent trends. International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence1. 10.14569/ijarai.2012.010804

Katona, J., Ujbanyi, T., Sziladi, G., Attila, K. (2017). Speed control of Festo Robotino mobile robot using NeuroSky MindWave EEG headset based brain-computer interface Speed control of festo robotino mobile robot using neurosky mindwave eeg headset based brain-computer interface. 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2016 - Proceedings251-256. 10.1109/CogInfoCom.2016.7804557

LI, Q., MENG, Q.-H., LI, W., MING ZENG, D. (2013). EEG-channel selection based on difference analysis of mental activities Eeg-channel selection based on difference analysis of mental activities. Proceedings - International Conference on Machine Learning and Cybernetics1432-437.

Luzheng Bi, Y. L., Xin-An Fan. (2013). EEG-based brain-controlled mobile robots: A survey Eeg-based brain-controlled mobile robots: A survey. IEEE Transactions on Human-Machine Systems43161-176.

Martínez, V. M., Gil-Gómez, G., Cerezo, A. G. (2003). MODELADO CINEMATICO Y DINAMICO DE UN ROBOT MÓVIL OMNI-DIRECCIONAL. Modelado cinematico y dinamico de un robot móvil omni-direccional. Malaga9.

P. Dragan, D. V., S. Vladimir. (2018). A Constructive Approach to Teaching with Robotino A constructive approach to teaching with robotino. a25-27.

- Sotelo, R., Sánchez, R., Ortigoza, J. (2007). Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte Robots móviles: Evolución y estado del arte. Polibits3512-17.
- Vásquez Bernal, M. V., Vázques Chiquito, M. E., Baus, K. P. (2016). Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo MindWave Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo mindwave. Maskana083-93.
- Yordanov Yasen, M. V., Tsenov Georgi. (2017). Humanoid robot control with EEG brainwaves Humanoid robot control with eeg brainwaves. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications1238-242.

## Apéndice A

# Códigos de programación Matlab -Robotino

Códigos de programación utilizados para el desarrollo del sistema BCI

```
%function simurobotino(IP,PUERTO)
function simurobotino(IP)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
global ComId
global DistanceSensor0Id
global DistanceSensor1Id
global DistanceSensor8Id
global BumperId
global OmniDriveId
IP1=IP
%PUERTO1=8081
ComId = Com_construct;
OmniDriveId = OmniDrive_construct;
DistanceSensor0Id = DistanceSensor_construct(0);
DistanceSensor1Id = DistanceSensor_construct(1);
DistanceSensor8Id = DistanceSensor_construct(8);
BumperId = Bumper_construct;

x=(strcat(IP1,':','8081'))
%x=(strcat(IP1))
Com_setAddress(ComId,x);
Com_connect(ComId);
OmniDrive_setComId(OmniDriveId, ComId);
DistanceSensor_setComId(DistanceSensor0Id, ComId);
DistanceSensor_setComId(DistanceSensor1Id, ComId);
DistanceSensor_setComId(DistanceSensor8Id, ComId);
Bumper_setComId(BumperId, ComId);

end
```

Figura A.1: Código para conexión entre Matlab y Robotino.

```

%% OmniDrive_setVelocity
% Drive Robotino.
%% Function
% |[ success ] = OmniDrive_setVelocity( OmniDriveId, Vx, Vy, Omega )|
%
% OmniDriveId is the id of the OmniDrive object.
%
% Vx is the velocity in the x direction in mm/s.
%
% Vy is the velocity in the y direction in mm/s.
%
% Omega is the angular velocity in deg/s.
%% Example Usage
% |success = OmniDrive_setVelocity( 0, 100, 0, 0 )|
%% See also
% <example_matlab_DistanceSensor.html DistanceSensor Example>
% <example_matlab_LaserRangeFinder.html LaserRangeFinder Example>
% <example_matlab_LineFollowerCamera.html Camera Example>
% <example_matlab_LineFollowerAnalogInput.html AnalogInput Example>
% <example_matlab_LineFollowerDigitalInput.html DigitalInput Example>
function [ success ] = OmniDrive_setVelocity( OmniDriveId, Vx, Vy, Omega )
if ( init )
    success = logical( calllib( 'rec_robotino_com_c', 'OmniDrive_setVelocity', OmniDriveId, Vx, Vy, Omega ) );
end;

```

Figura A.2: Función para configurar la velocidad del Robotino

