

# Trabajo de fin de grado

**Control de dispositivos  
electromecánicos mediante  
una interfaz cerebro  
computador.**



**Tutor: José Ignacio  
Estévez Damas**

**Ingeniería Informática**

**Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología**

**Anabel Díaz Labrador**

**20/07/2023**

# Índice

1.	Descripción del proyecto	3
2.	Objetivos del proyecto	4
3.	Estado del arte	5
4.	¿Cómo funciona NextMind?	8
5.	NextMind - Ventajas y desventajas	9
6.	Tecnologías utilizadas	10
7.	Integración Unity y ROS2	11
8.	Casos de uso planteados	12
9.	Desarrollo	13
10.	Experimentación	21
11.	Presupuesto	28
11.	Conclusions and future lines	29
12.	Bibliografía	31

# Descripción del proyecto

- Desarrollar una interfaz gráfica que utilice una interfaz cerebro-computador (BCI por sus siglas en inglés) que permita controlar sistemas físicos en movimiento con componentes electromecánicos.
  - Interfaz cerebro computador: NextMind.



# Objetivos del proyecto

- Desarrollo de una interfaz de usuario para BCI
- Adaptación de la misma a un caso de uso concreto
- Estudio del BCI utilizando la interfaz gráfica



# Conceptos previos

- Existen BCIs: Invasivos y **no invasivos**.
- Dentro de los no invasivos los más usados son los basados en electroencefalograma o **EEG**.
  - Es el registro de las fluctuaciones eléctricas de un gran conjunto de neuronas
- Dentro del EEG están los eventos de potenciales evocados o ERP
  - Son las señales del cerebro provocadas por un estímulo externo

NextMind está dentro de los potenciales evocados visuales en estado estacionario

**(SSVEP)**



# Estado del arte

- Se han utilizado BCIs no invasivos en estudios
  - Casco SSVEP para el control de un robot móvil en un laberinto
  - Casco P300 para controlar un robot en remoto a través de internet
- Evolución de distintos cascos
  - Cascos **enteros** con electrodos que necesitan **gel**
  - Cascos **enteros** con electrodos **sin gel** (filtrado de ruido)
  - Casos centrados en **zonas específicas** del cerebro

## Alternativa al BCI

- Eye tracker
  - Precisión y fácil de usar.
  - Dificultad de uso en exteriores, control sobre el movimiento ocular.



# Estado del arte

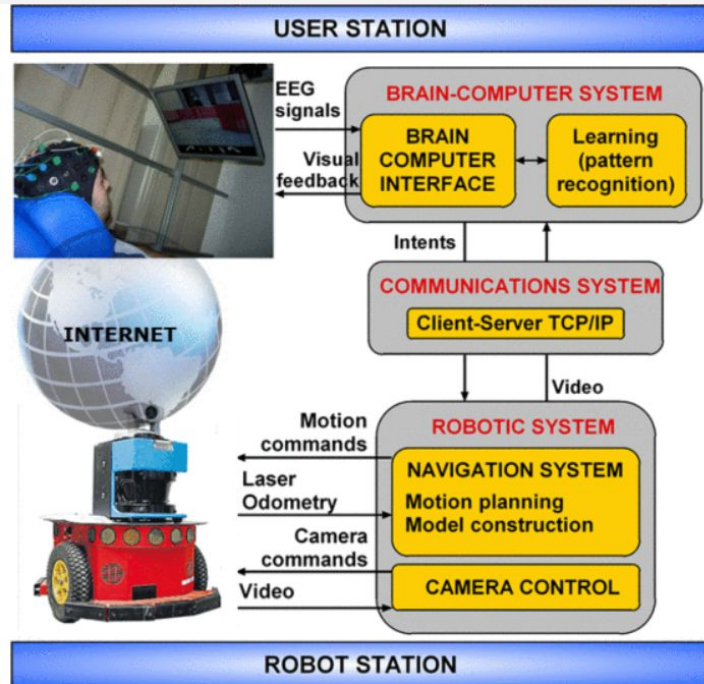
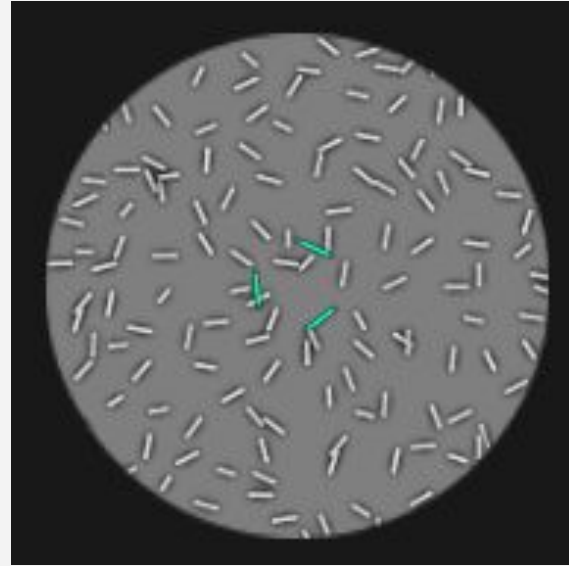


Imagen del funcionamiento del estudio para controlar un robot en remoto a través de internet [5]

# ¿Cómo funciona NextMind?





# NextMind

## Ventajas

- Robustez en la detección del estímulo en la actividad cerebral
- Bajo precio
- Relativa comodidad de uso

## Desventajas

- Producto cerrado. Adquisición por Snap Inc.
- Limitación en la programación a través de Unity.
- Falta de integración con los estándares abiertos de interfaces cerebro-computadora.

# Tecnologías utilizadas



ROS2

ROS



# Integración Unity y ROS2

## Windows



- Librería **Ros2ForUnity**.
- ROS2 en windows

## WSL Ubuntu 20.04 y Windows



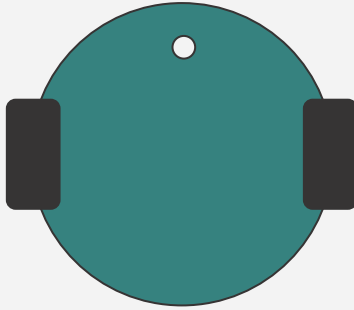
- Uso de la herramienta **USBIP** para la conexión del microcontrolador en la WSL.



# Casos de uso planteados



Pan-tilt  
Artesanal



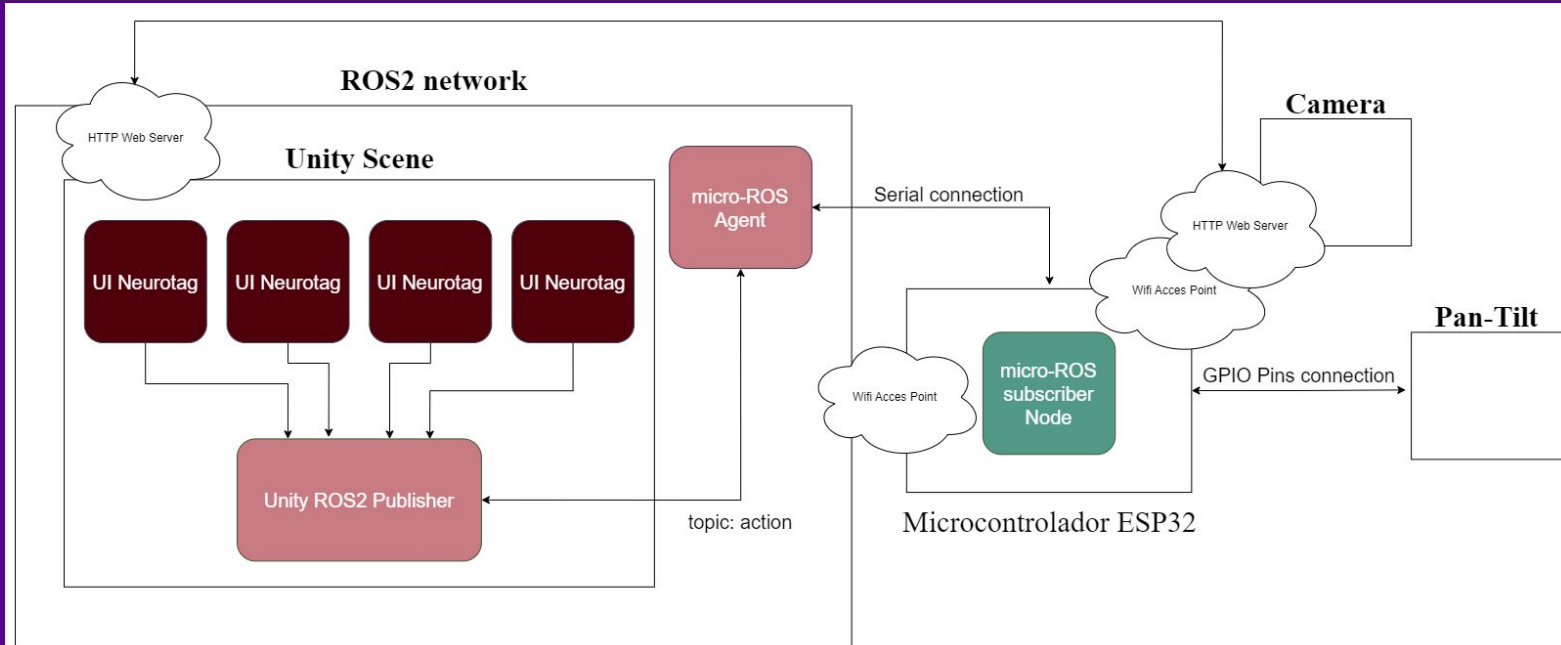
Robot móvil



Silla de ruedas  
robotizada  
(No disponible)

# Desarrollo

## Entorno general del proyecto para el sistema Pan-Tilt



# Desarrollo

**Componentes y  
materiales utilizados**

**Placa de desarrollo**

- Microcontrolador: ESP32-WROOM-32D.
  - Punto de acceso WiFi.
  - Nodo ROS2 usando micro-ROS.

# Desarrollo

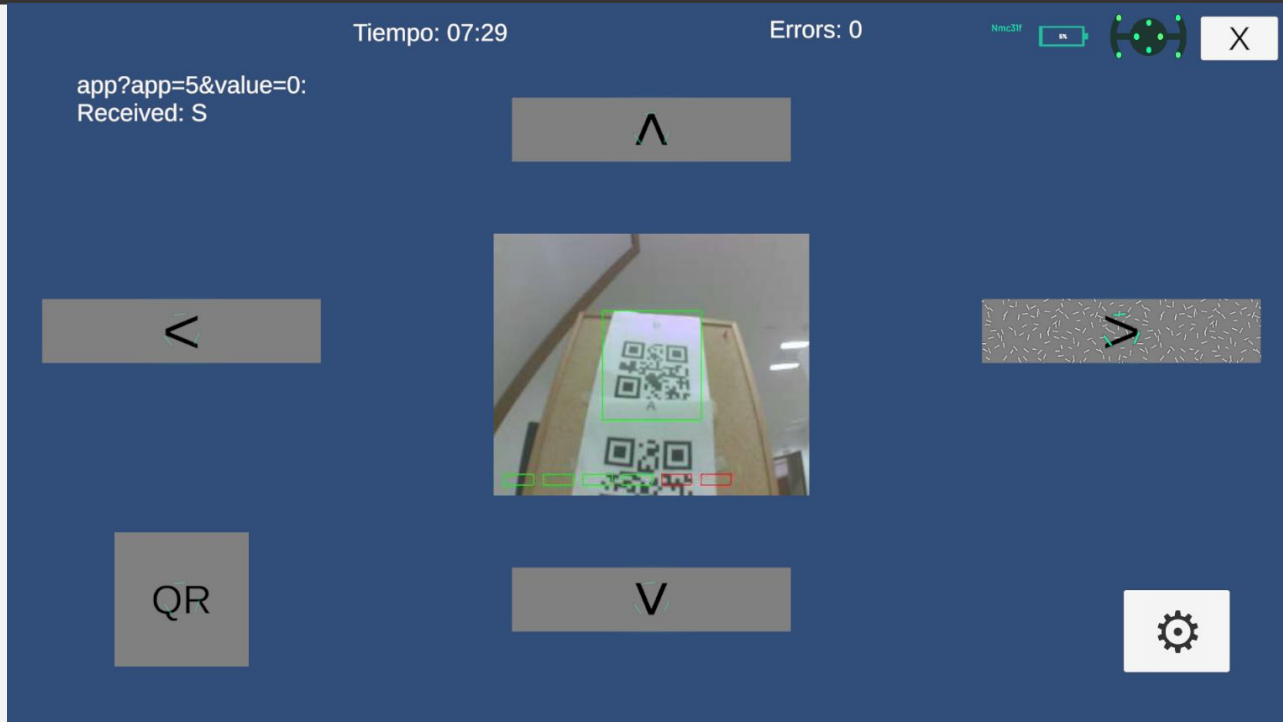
## Componentes y materiales utilizados

- Pan-tilt Artesanal:
  - 2 servomotores para la rotación en dos ejes distintos.
- Cámara.
  - Microcontrolador:
    - ESP32.
  - Reconocimiento QR
  - Comunicación vía HTTP



# Desarrollo

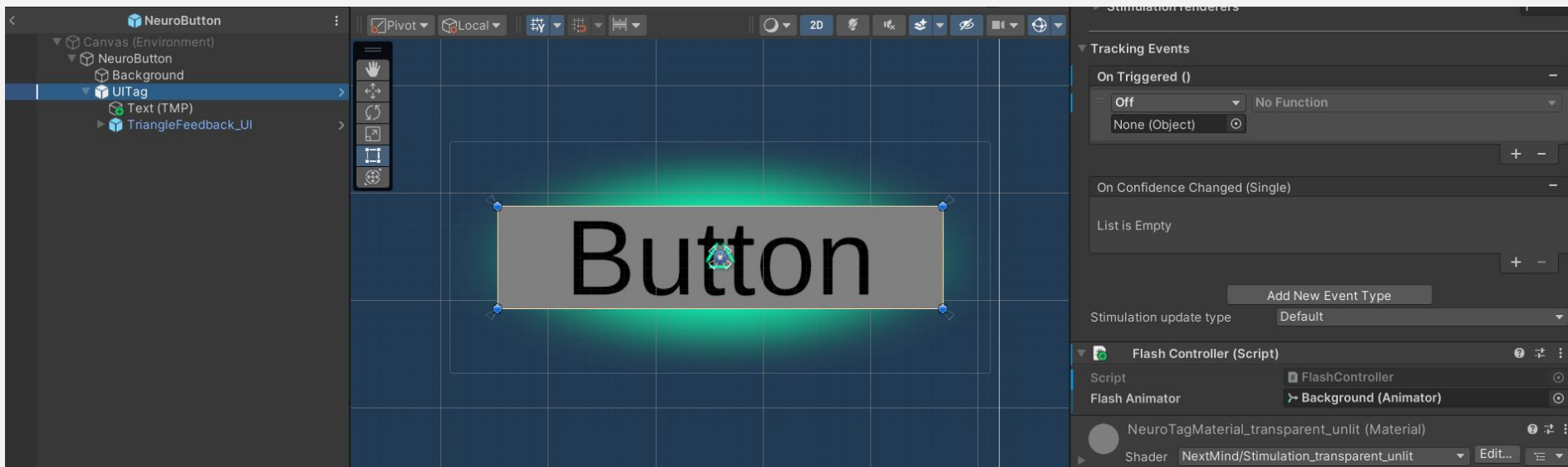
## Interfaz gráfica: Control del Pan-Tilt





# Desarrollo

## Interfaz gráfica: Feedback del Neurotag



# Desarrollo


## Interfaz gráfica: Configuración

NextMind calibrate

Restart Devices

Restart Pan-Tilt

app?app=2&value=3:  
Received: SD



Camera status

Camera IP: 192.168.4.3

Start Stream

Restart camera

Stop Stream

Continue Mode

Request Current State

Restart State

Set State

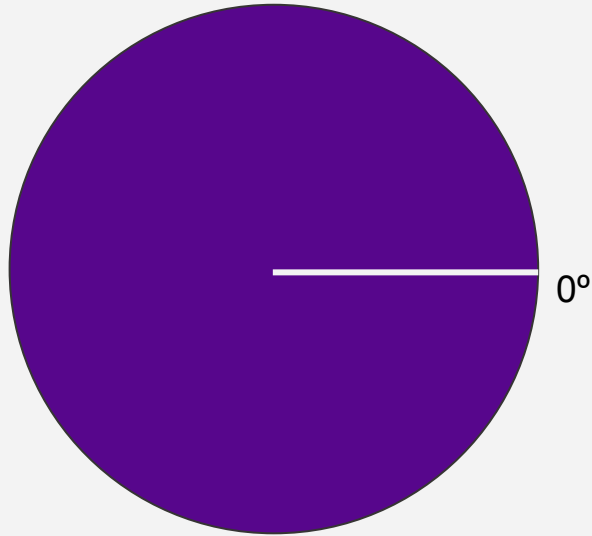
3

<

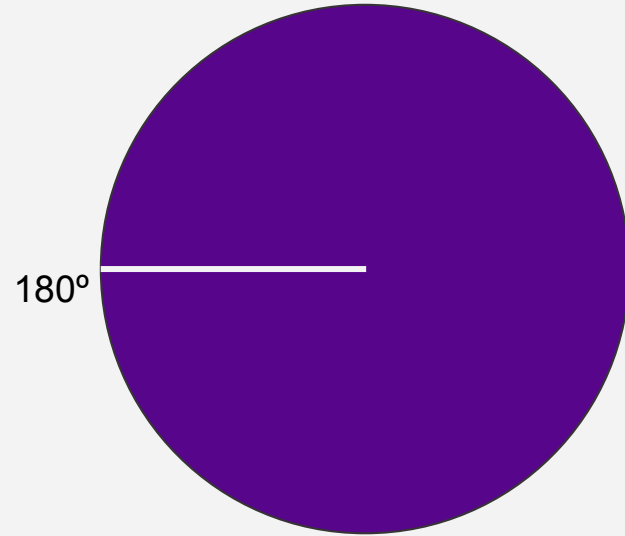


# Desarrollo

## Pan-Tilt PWM: Inicialización de los servomotores



$$\text{Duty\_min} = (1\text{ms}/20\text{ms}) * (2^{15} - 1) \approx 1638$$



$$\text{Duty\_max} = (2\text{ms}/20\text{ms}) * (2^{15} - 1) \approx 3277$$



# Desarrollo

## Pan-Tilt PWM: Cálculo del ángulo

Para calcular el duty correspondiente a un ángulo dado se usa la siguiente fórmula:

$$\text{duty} = ((\text{angle} * (\text{SERVO\_MAX\_DUTY} - \text{SERVO\_MIN\_DUTY})) / \text{SERVO\_MAX\_ANGLE}) + \text{SERVO\_MIN\_DUTY}$$



# Experimentación

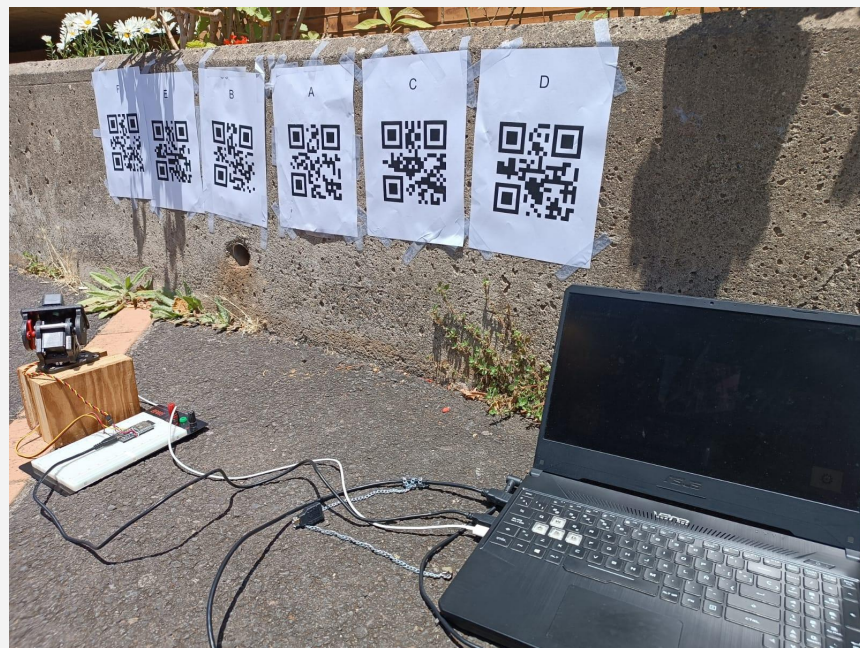
## Muestra

Longitud del pelo	Tipo de pelo	Nota de Calibración	Luminosidad	Tiempo BCI	Número de errores	¿Pudo realizar la prueba?
Mediano/Corto	Rizado	2	Baja	05:50	4	Sí
Rapado/Calvo	Lacio	4	Media	06:32	5	Sí
Mediano/Corto	Rizado	3	Media	05:05	4	Sí
Rapado/Calvo	Lacio	1	Baja	10:00	-	No
Largo	Rizado	1	Baja	10:00	-	No
Rapado/Calvo	Lacio	5	Baja	03:51	0	Sí
Largo	Lacio	3	Baja	05:26	3	Sí
Mediano/Corto	Ondulado	2	Media	10:00	-	No
Rapado/Calvo	Lacio	3	Media	07:45	2	Sí
Rapado/Calvo	Lacio	2	Media	04:11	0	Sí
Largo	Rizado	4	Media	03:50	0	Sí
Mediano/Corto	Ondulado	5	Baja	02:08	0	Sí
Largo	Lacio	3	Media	03:39	1	Sí
Mediano/Corto	Lacio	3	Media	04:14	2	Sí
Mediano/Corto	Lacio	3	Media	04:58	5	Sí
Largo	Rizado	2	Media	05:19	2	Sí



# Experimentación

## Prueba Pan-Tilt



# Experimentación

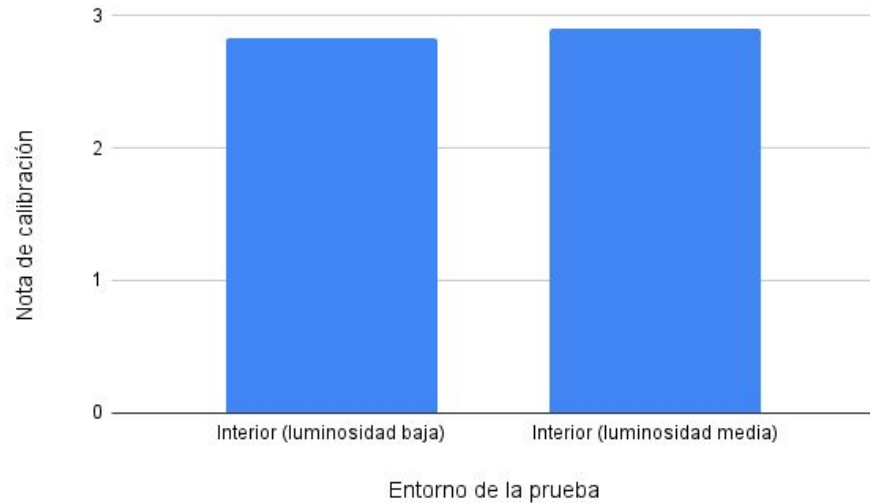
## Prueba Pan-Tilt



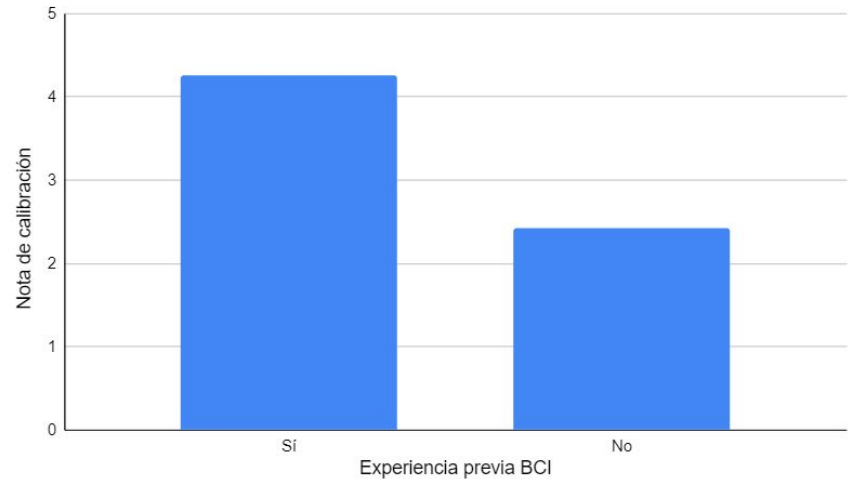
# Experimentación

## Prueba Pan-Tilt: Resultados

Calibración y Entorno de la prueba



Experiencia previa con BCI y Calibración

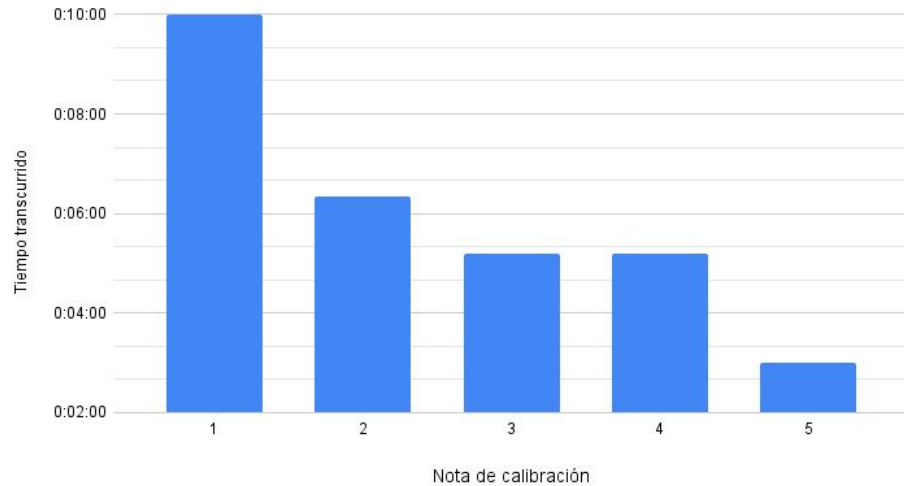




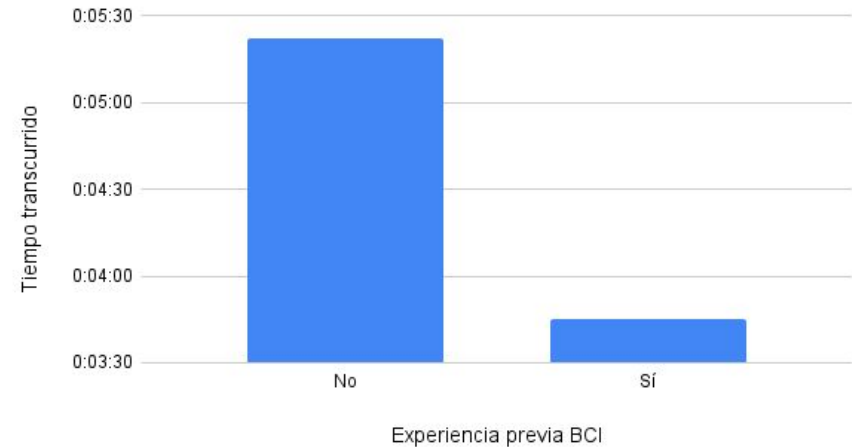
# Experimentación

## Prueba Pan-Tilt: Resultados

Tiempo transcurrido y Calibración

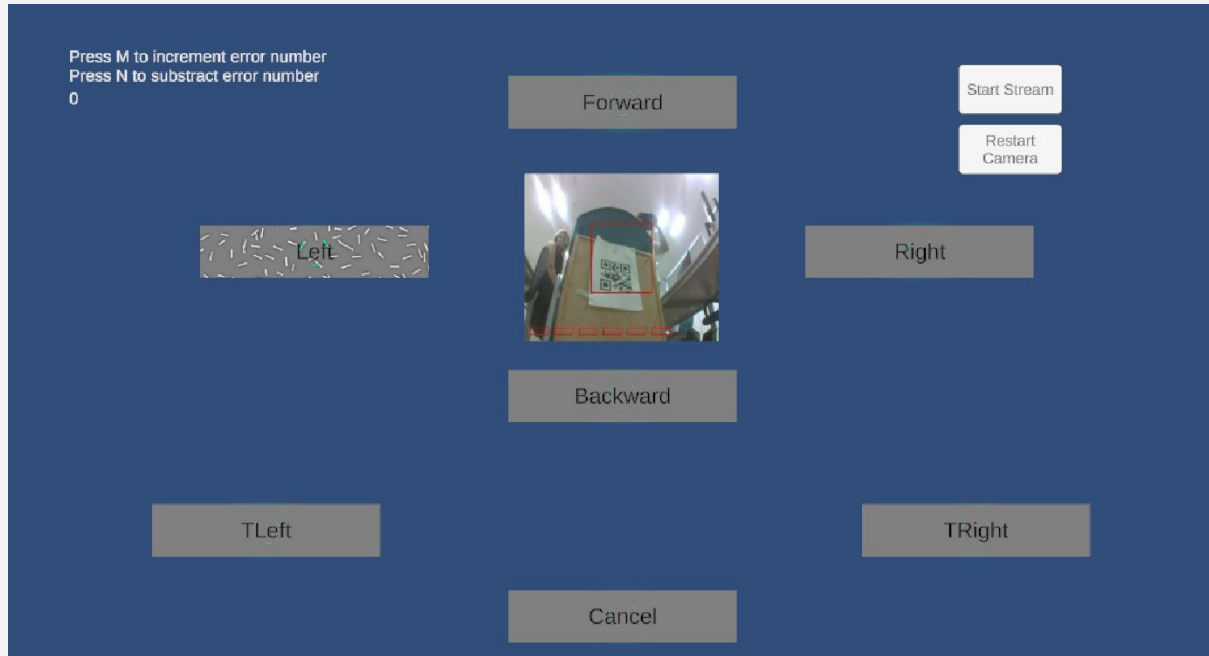


Tiempo transcurrido y Experiencia con BCI



# Experimentación

## Adaptación Interfaz Gráfica Robot



# Experimentación

## Adaptación Interfaz Gráfica Robot



# Presupuesto

La licencia de Unity Pro tiene un costo de 185€/mes. Se está contabilizando el precio de 2 meses de trabajo.

Concepto	Coste por horas	Horas	Coste total
Documentación	75	60	4500€
Horas de investigación	75	100	7500€
Horas de ingeniería	75	160	12000€
Licencia de Unity Pro	-	-	370€
NextMind Dev Kit SDK	-	-	399€
ESP32-WROOM-32D	-	-	3,65€
M5Stack Timer Camera ESP32 OV3660	-	-	19,95€
Pan-Tilt Casero: 2 unidades de HiTec HS-645MG	-	-	39,9€
Total		320	24832,5€

Tabla 9.1: Presupuesto del proyecto

# Conclusions

Firstly, I have to highlight that all objectives have been met.

The results point to the effectiveness and adaptability of NextMind in various environments and situations.

- NextMind proved to be accessible and resilient, its performance not influenced by factors like hair presence and ambient light variations.
- It was observed that precise calibration and prior experience with BCI improve its efficiency, underscoring the need for familiarization with the technology.
- In terms of comfort, most users rated NextMind positively, indicating its potential for extended use.
- There are unknown factors that cause the system to not work well for certain individuals. “

# Future lines

- Explore more devices
  - The application of BCI can be expanded to other devices, such as a robotic chair, which would open up new possibilities for remote control of various appliances through the brain-computer interface.



# Bibliografía

[1] Snapchat. (2022). GitHub - Snapchat/NextMind: Documentation (incl. tutorials, unity assets and API reference) for the NextMind SDK. GitHub. Recuperado 14 de julio de 2023, de <https://github.com/Snapchat/NextMind>

[2] ROS 2 Documentation: Humble Documentation. (2023). ROS 2 Documentation: Humble Documentation. Recuperado 14 de julio de 2023, de <https://docs.ros.org/en/humble/index.html>

[3] Datasheet ESP32-WROOM-32D. (2023). [www.espressif.com](http://www.espressif.com). Recuperado 14 de julio de 2023, de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d\\_esp32-wroom-32u\\_data\\_sheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_data_sheet_en.pdf)

[4] Wu, C., Chen, Y., Zaeni, I.A., & Chen, S. (2016). A new SSVEP based BCI application on the mobile robot in a maze game. 2016 International Conference on Advanced Materials for Science and Engineering (ICAMSE), 550-553.

[5] Escolano, C., Antelis, J. M., and Minguez, J. (2012). A telepresence mobile robot controlled with a noninvasive brain-computer interface. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 42(3):793-804

[6] Marichal, G.Ñ., Acosta, L., Toledo, J., Marichal, R. L., and Torres, S. (2004). A new approach in controlling the motors of a binocular camera head. International Mathematical Journal, 5-7:581-587.



**Muchas gracias por su atención.**

**Espero que les haya gustado mi presentación.**

**Contacto:**

**Email: [alu0101206011@ull.edu.es](mailto:alu0101206011@ull.edu.es)**



