

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Diseño y construcción de un prototipo de brazo robótico de 6 GDL con movimiento restringido por planos, activado mediante señales EEG- SSVEP para contribuir a la autonomía de personas con discapacidad en las extremidades superiores

Autores:

Albán Escobar Maritza Elizabeth
Navarrete Arroyo Pablo Steve

Director:

Ing. Danni Rodrigo De la Cruz Guevara



Objetivos

General

- Diseñar y construir un prototipo de brazo robótico de 6 GDL con movimiento restringido por planos, activado mediante señales EEG- SSVEP para contribuir a la autonomía de personas con discapacidad en las extremidades superiores.

Específicos

- Modelar la cinemática directa e inversa del prototipo por medio de criterios de robótica para el posicionamiento y orientación del efector final.
- Diseñar y construir los componentes del brazo robótico empleando herramientas y criterios de CAD/CAM/CAE para validar su funcionamiento.



Objetivos

Específicos

- Dimensionar y seleccionar los elementos eléctricos con base a los parámetros de funcionamiento del robot para su control en tiempo real.
- Implementar el sistema de activación del brazo robótico basado en una interfaz cerebro-computador (BCI) bajo el paradigma SSVEP.
- Integrar los subsistemas mecánico, electrónico y de tecnologías de la información para el correcto desempeño del brazo robótico.
- Realizar pruebas de funcionamiento que permitan evaluar el desempeño del prototipo construido para la aplicación planteada.



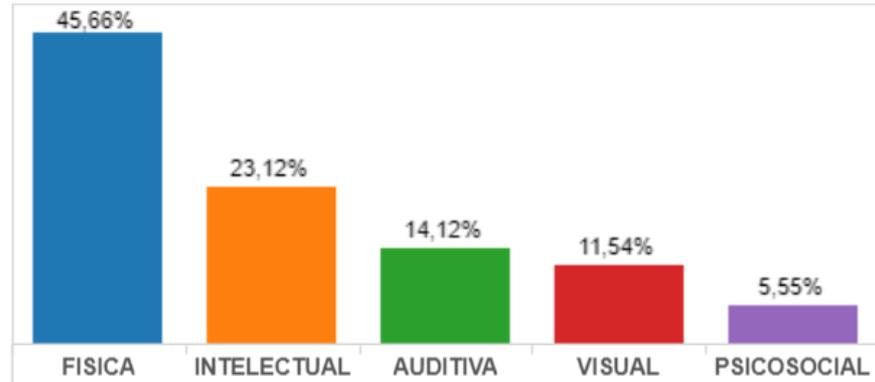
Justificación e importancia

Desarrollo de una tecnología robótica de asistencia.

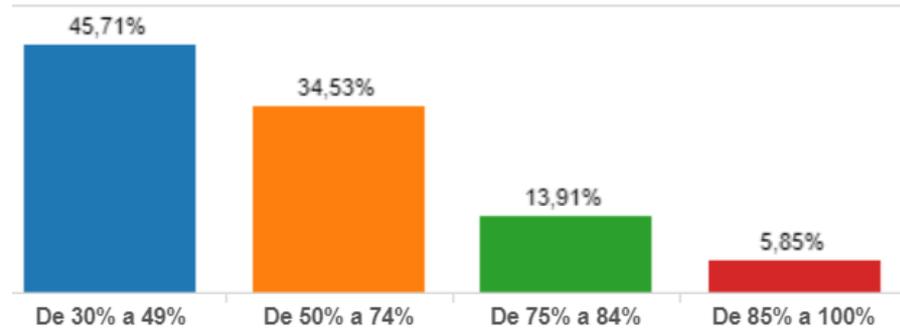


El prototipo de brazo robótico activado por señales EEG-SSVEP, permitirá un mayor grado de autonomía.

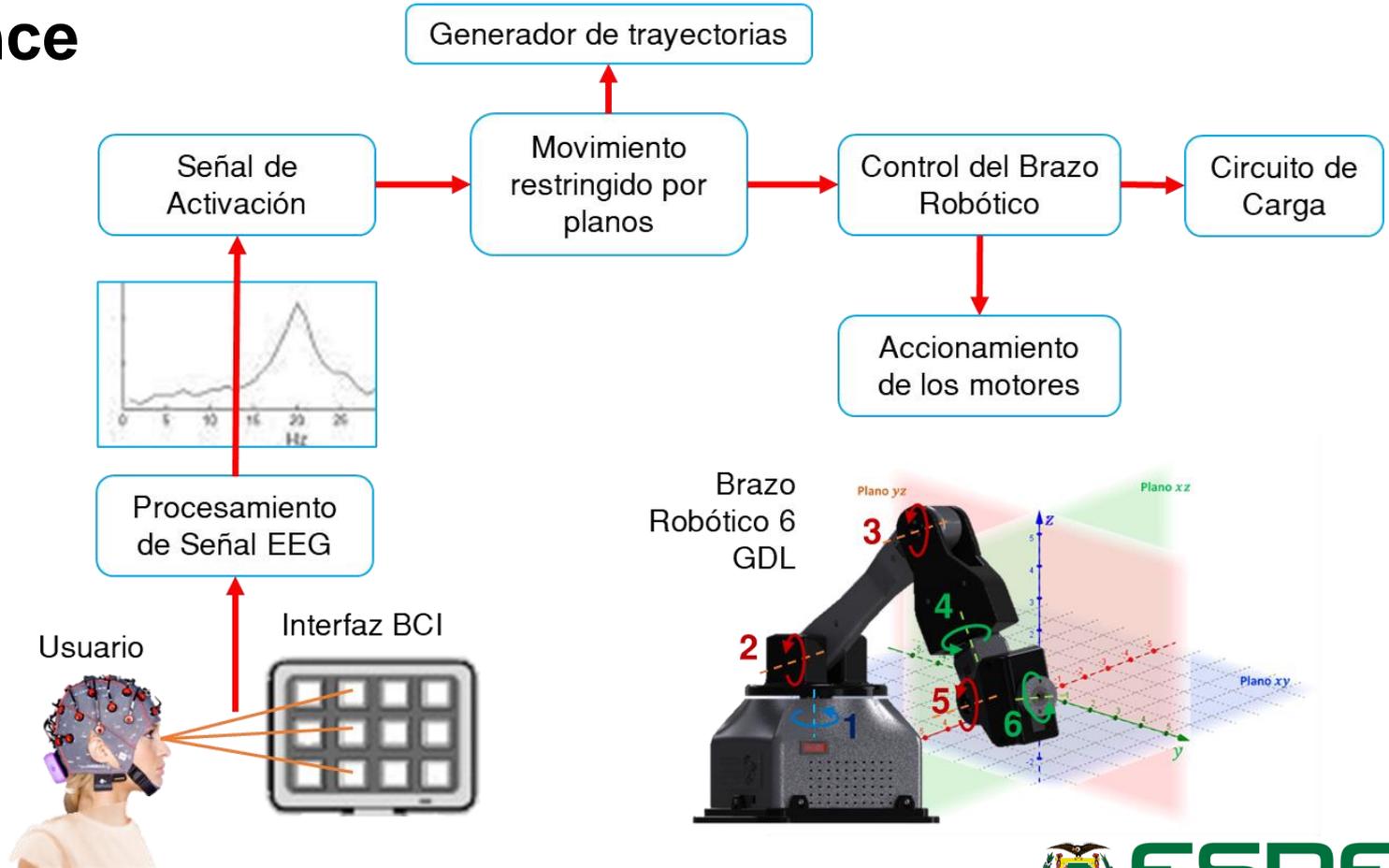
Tipo de Discapacidad



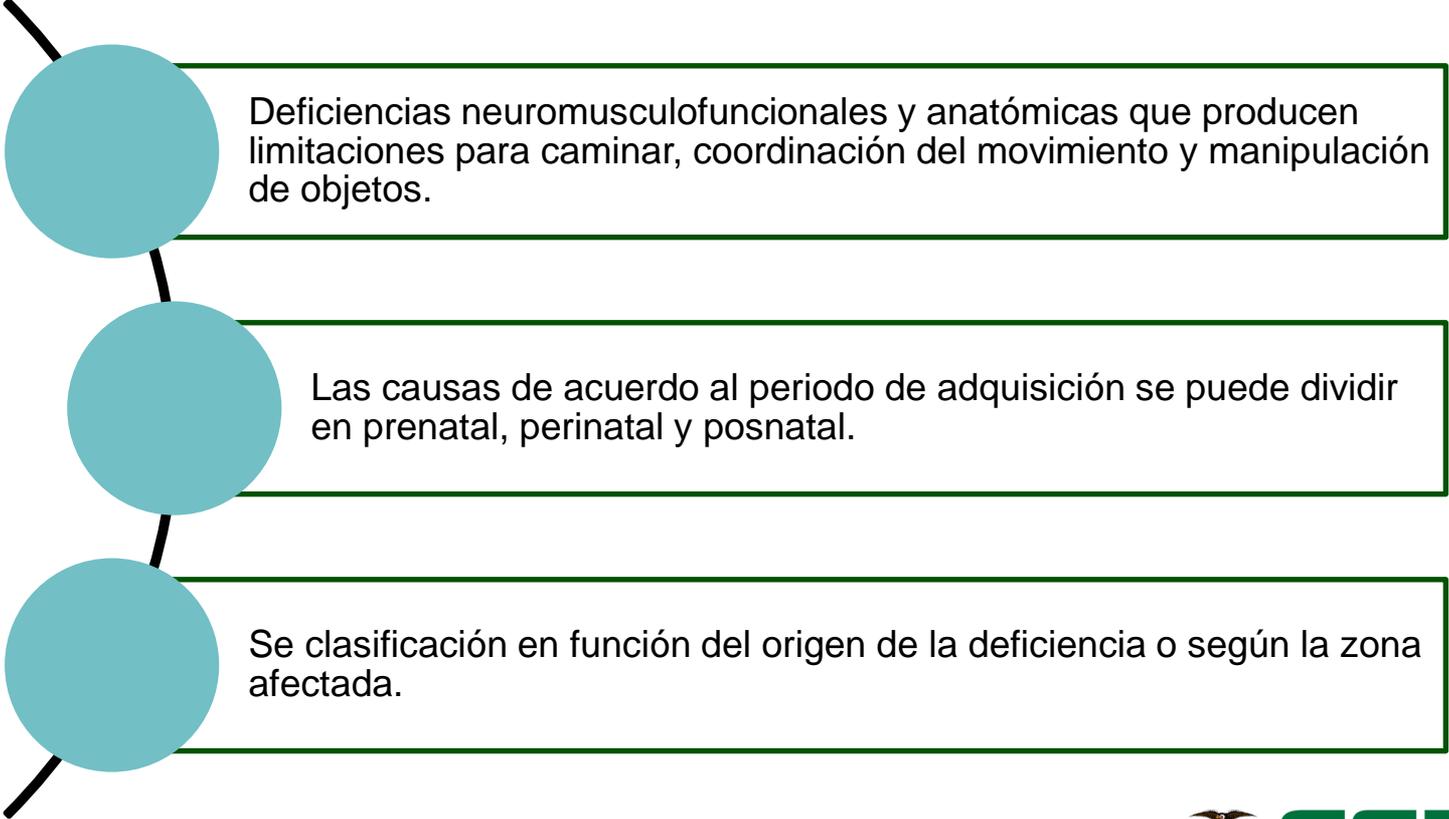
Grado de Discapacidad



Alcance



Discapacidad física motora



Deficiencias neuromusculofuncionales y anatómicas que producen limitaciones para caminar, coordinación del movimiento y manipulación de objetos.

Las causas de acuerdo al periodo de adquisición se puede dividir en prenatal, perinatal y posnatal.

Se clasificación en función del origen de la deficiencia o según la zona afectada.



Robótica asistencial

Ayuda a personas con necesidades físicas o cognitivas en diferentes actividades.

Según el tipo de ayuda que proveen:

Robots de manipulación

Robots de ayuda a la movilidad

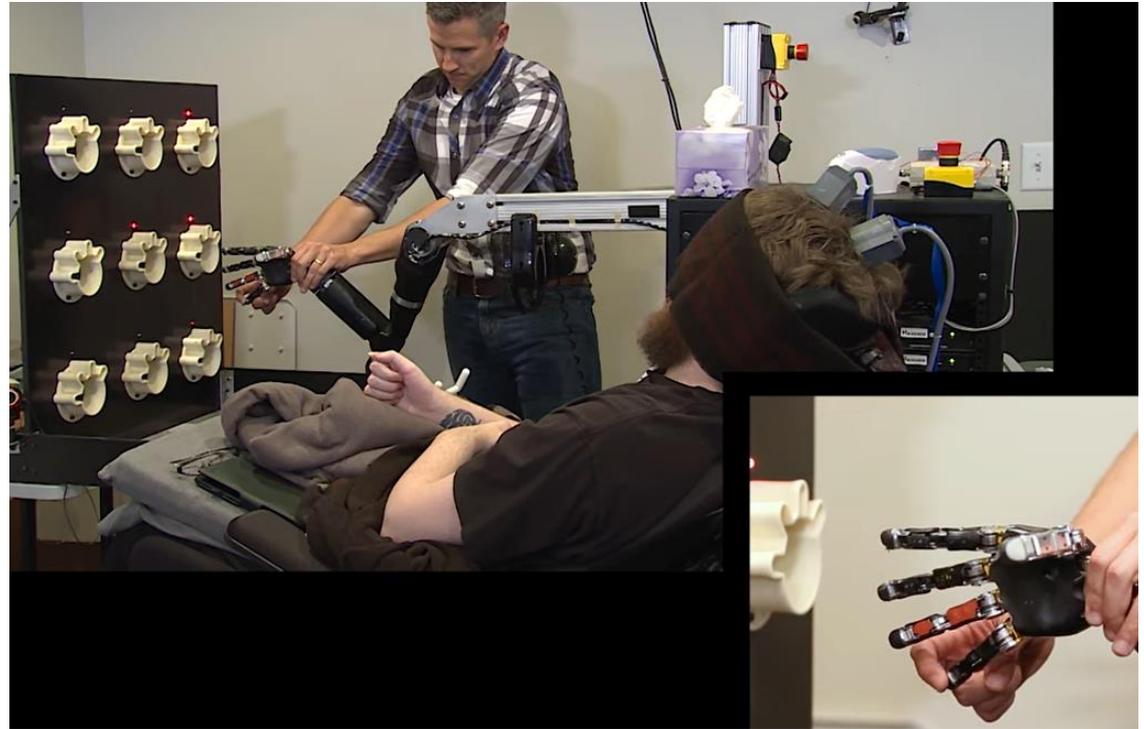


BCI (Interfaz cerebro-computador)

Decodifica la actividad cerebral para llevar a cabo una acción.

Sistemas endógenos (IM).

Sistemas exógenos (SSVEP, P300).



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Requerimientos y características de calidad

Requerimientos

- Seguridad
- Facilidad de uso
- Precio accesible
- Liviano

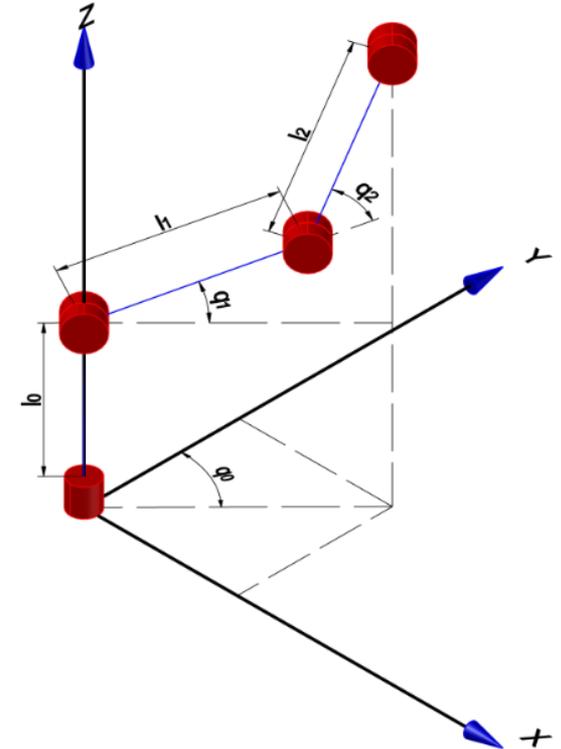
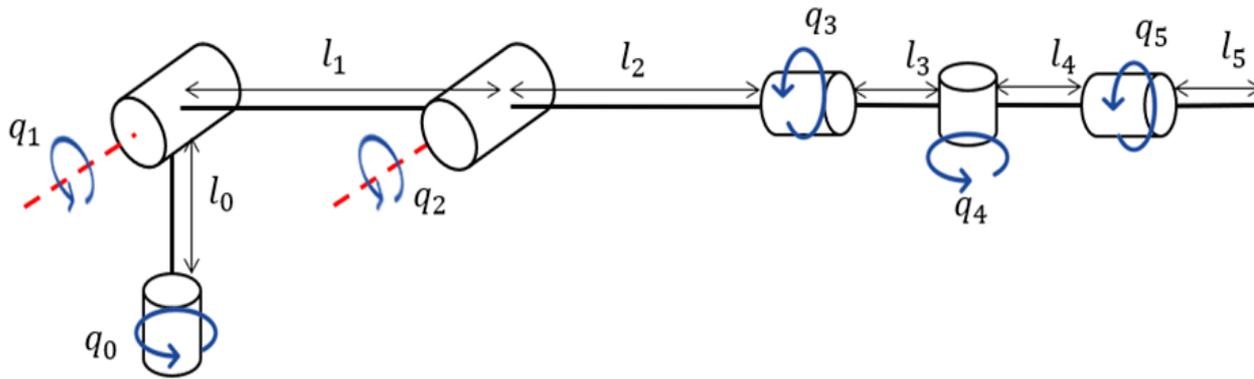
Características de calidad

- Precisión e ITR
- Velocidad máxima de los motores
- Material (Densidad)
- Carga útil
- Interfaz (intuitiva y amigable)

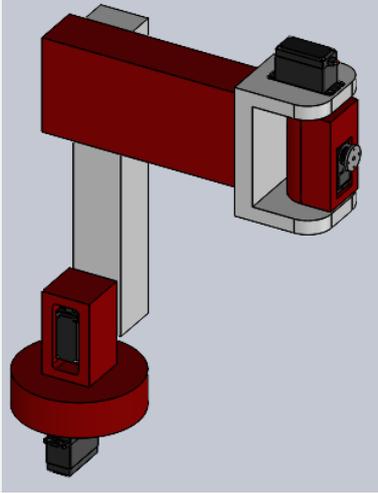
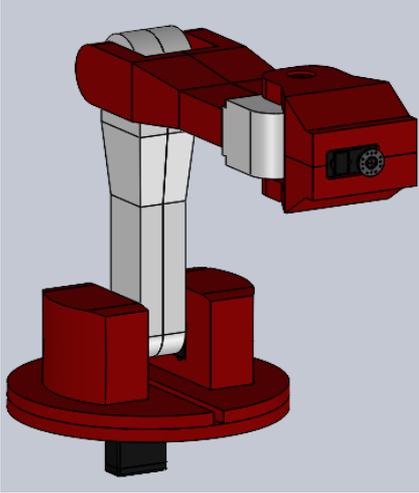
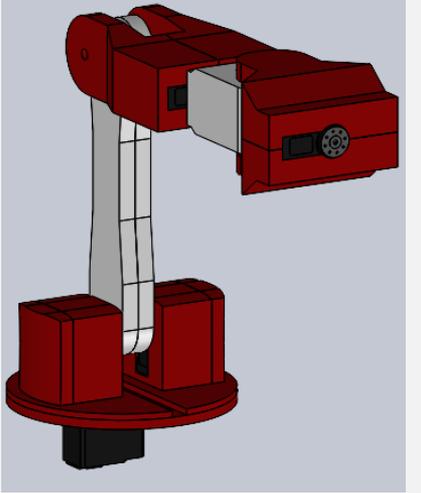


Requerimientos y características de calidad

Cinemática directa e inversa con parámetros DH y desacople cinemático.



Selección del concepto

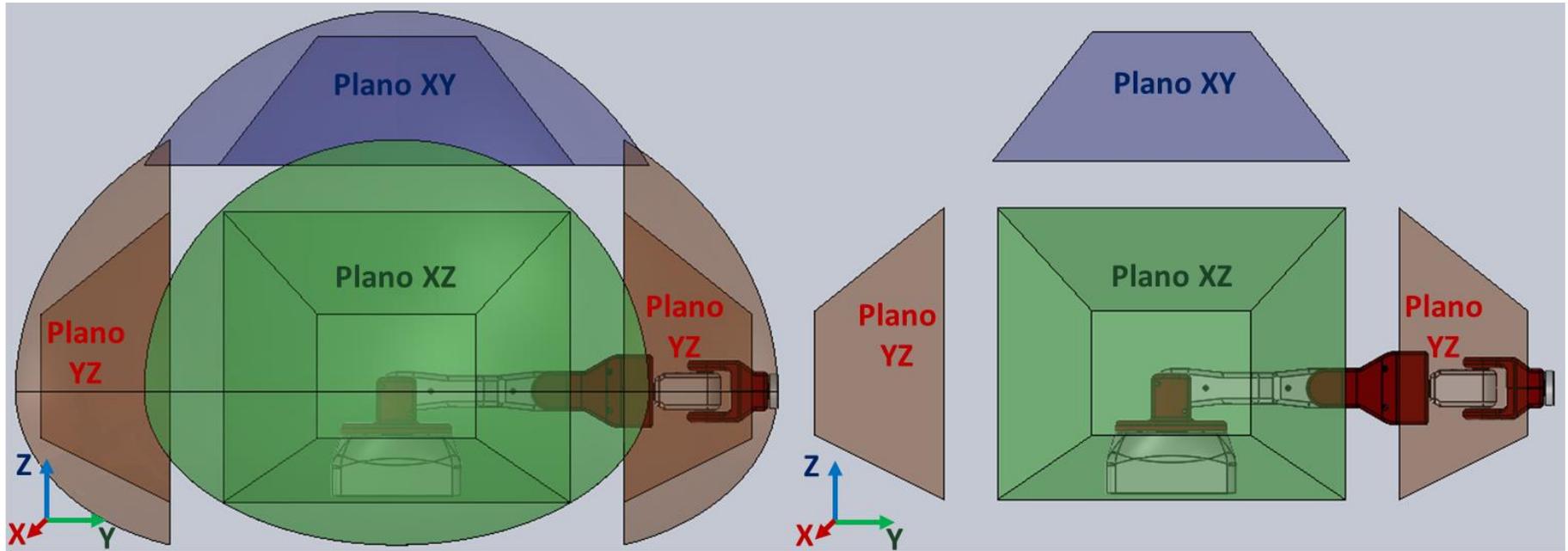
	Conceptos		
	Concepto A	Concepto B	Concepto C
Detalles	Modelo con eslabones simples conectados a cada motor.	Modelo simétrico con eslabones compuestos por dos piezas.	Modelo simétrico con banda y poleas dentadas en el segundo eslabón.
Imagen referencial de la estructura del brazo robótico			



Diseño CAD



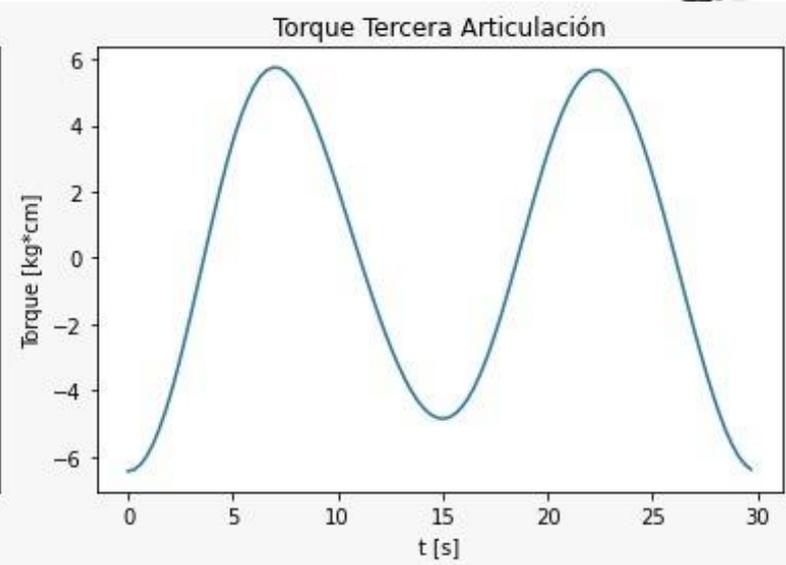
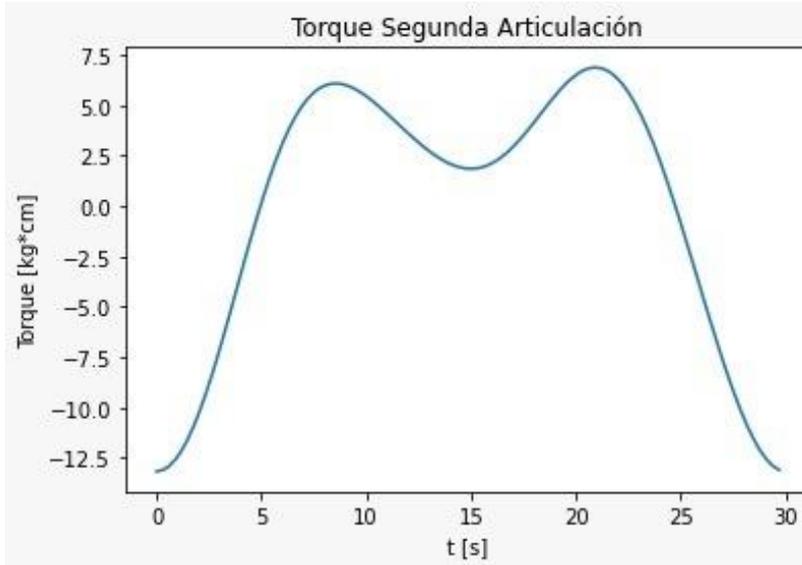
Espacio de trabajo



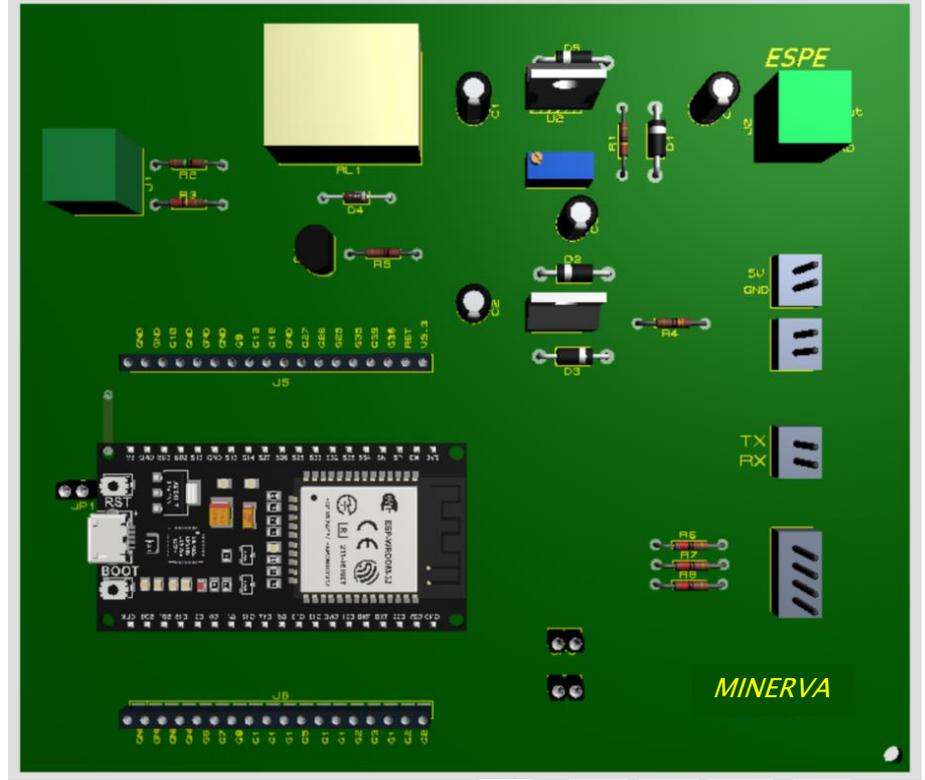
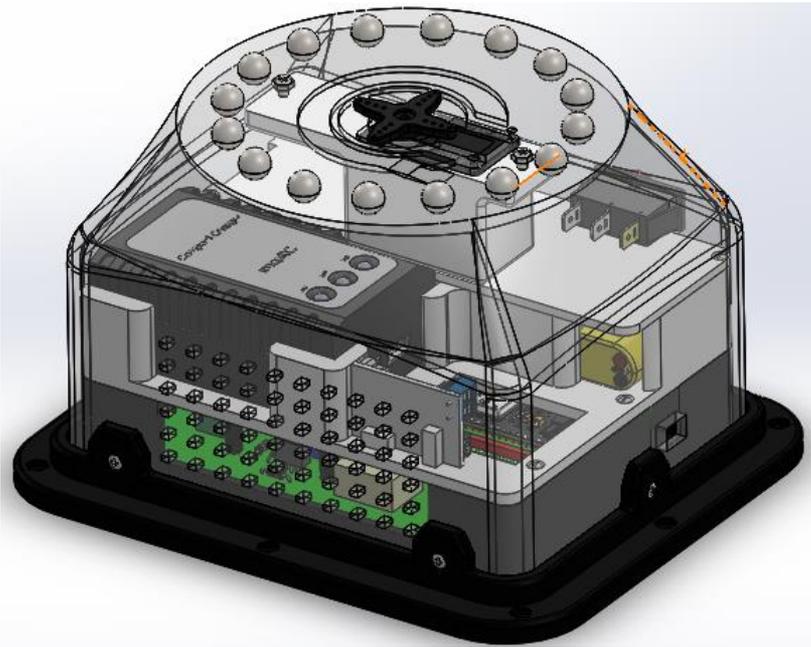
Dinámica del manipulador

Modelo dinámico de Euler-Lagrange para calcular los torques.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i$$



Diseño del circuito de control



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción del prototipo

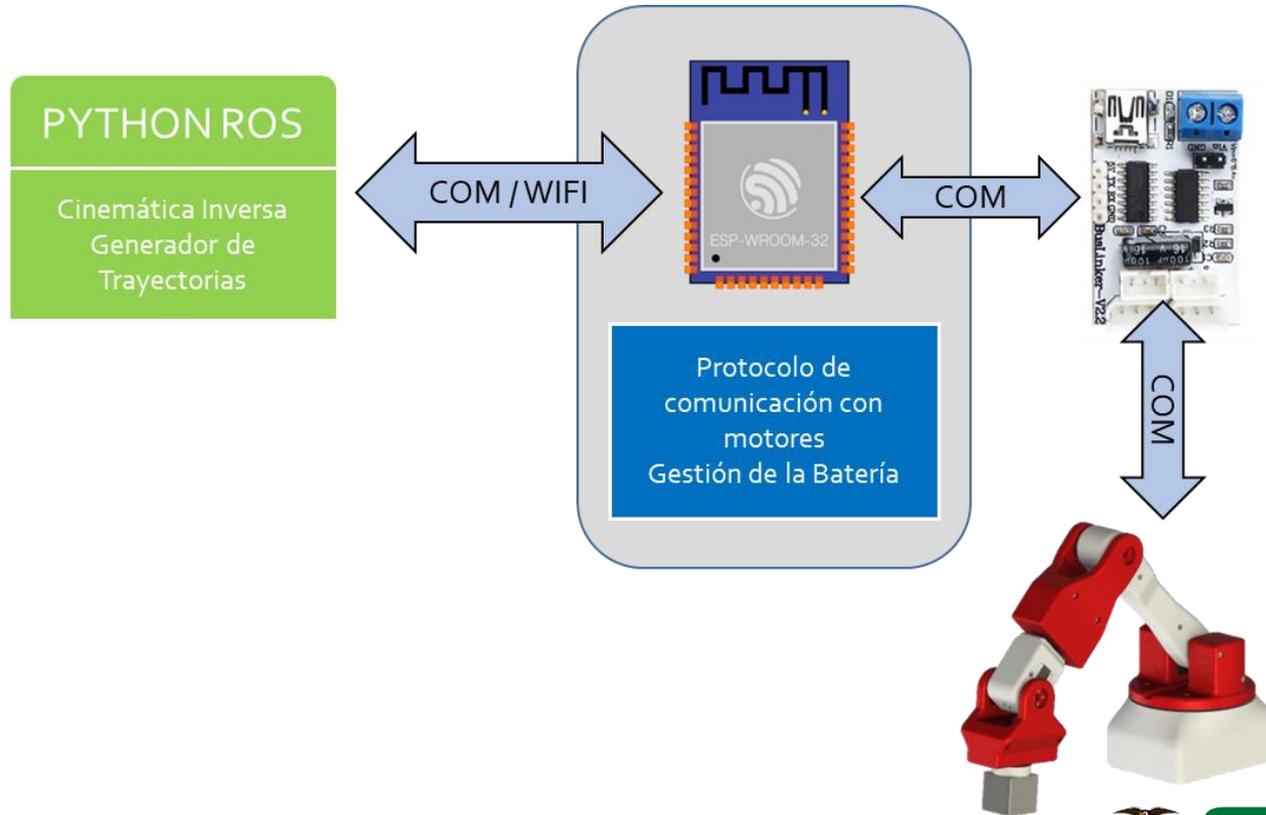


Post-procesamiento y
ensamble

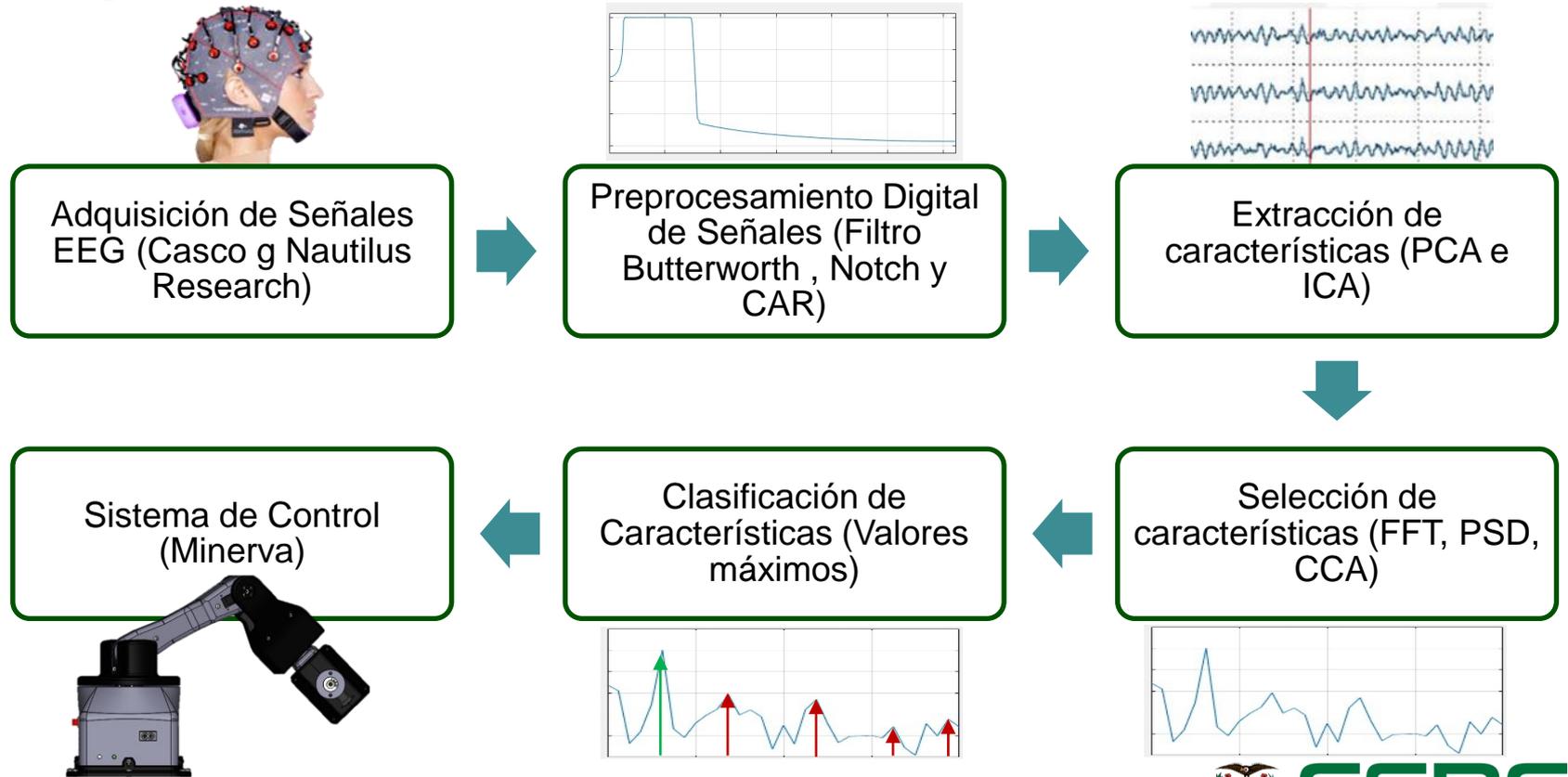


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

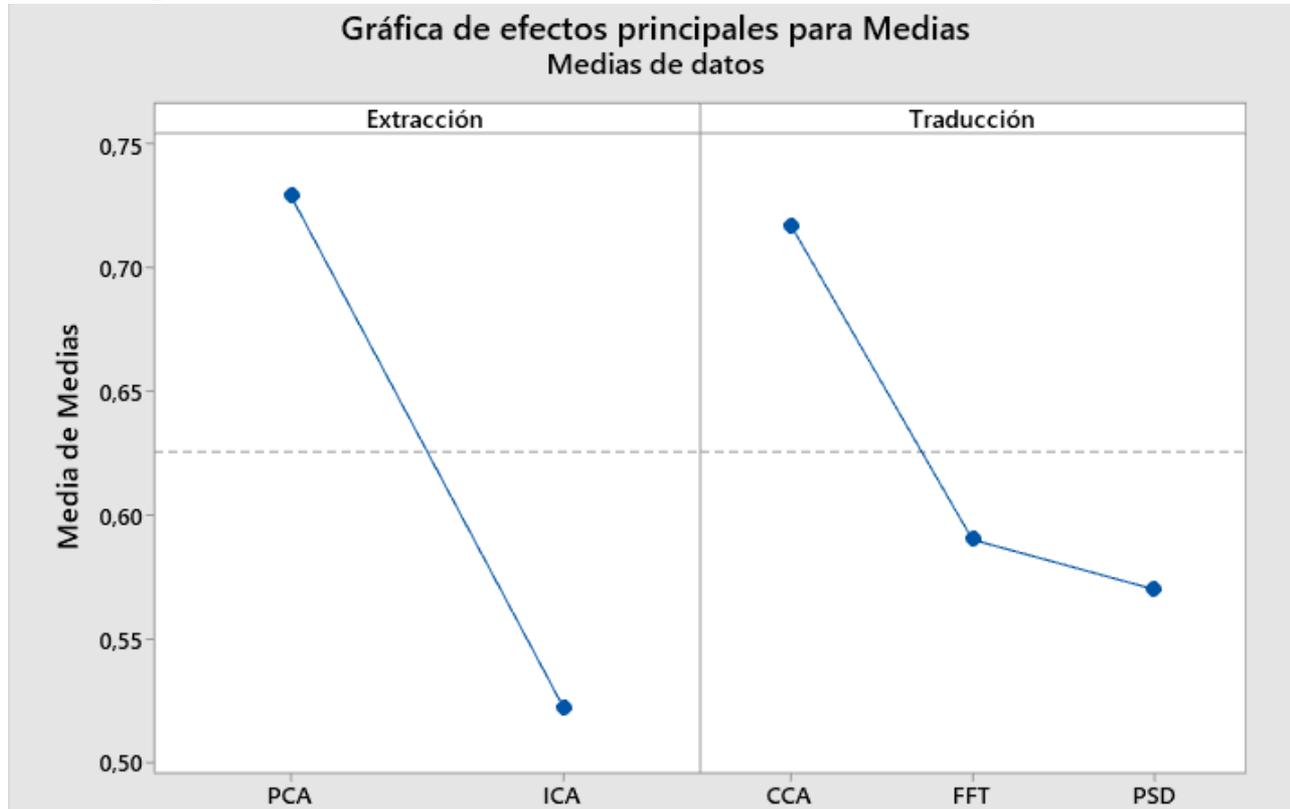
Arquitectura de control del prototipo



Arquitectura BCI

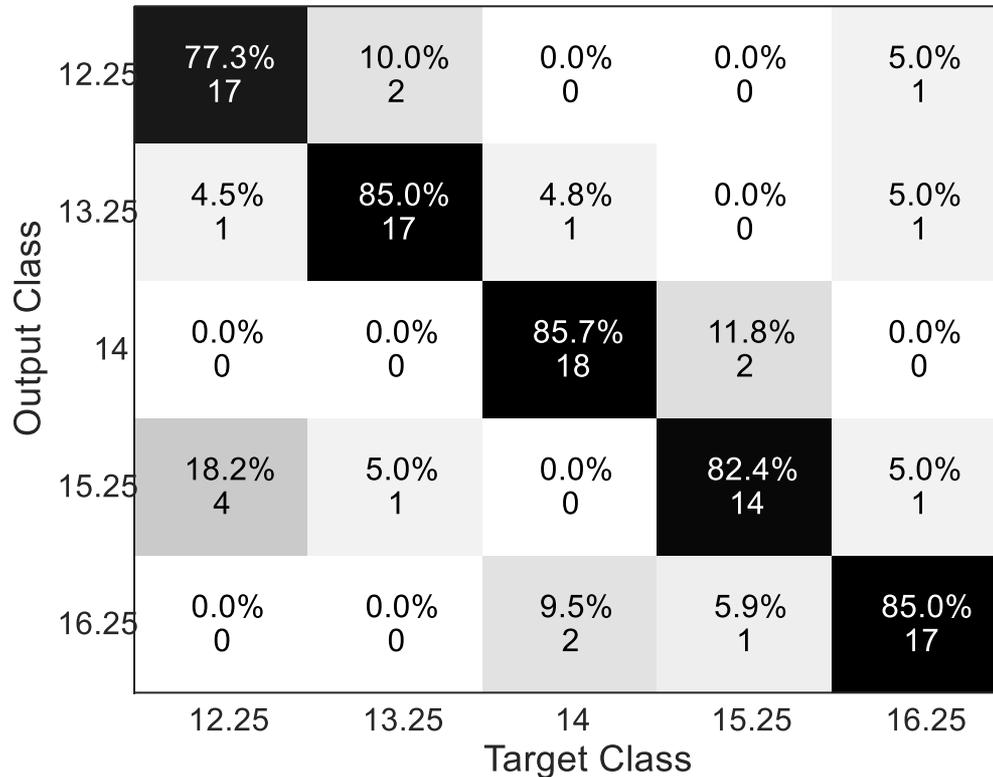


Diseño experimental



Pruebas offline

Accuracy: 83.00%



Parámetros	Valor
Precisión [%]	83
ITR [<i>bits/min</i>]	19.86



Pruebas online sujeto principal

Accuracy: 64.00%

Accuracy: 75.00%

Output Class	12.25	13.25	14	15.25	16.25
12.25	50.0% 7	15.4% 2	0.0% 0	8.3% 1	0.0% 0
13.25	7.1% 1	61.5% 8	0.0% 0	8.3% 1	0.0% 0
14	21.4% 3	7.7% 1	71.4% 5	8.3% 1	0.0% 0
15.25	7.1% 1	7.7% 1	0.0% 0	66.7% 8	0.0% 0
16.25	14.3% 2	7.7% 1	28.6% 2	8.3% 1	100.0% 4
	12.25	13.25	14	15.25	16.25

Target Class

Output Class	12.25	13.25	14	15.25	16.25
12.25	66.7% 10	10.0% 1	0.0% 0	6.7% 1	0.0% 0
13.25	13.3% 2	80.0% 8	0.0% 0	13.3% 2	0.0% 0
14	6.7% 1	0.0% 0	76.9% 10	0.0% 0	14.3% 1
15.25	0.0% 0	0.0% 0	7.7% 1	73.3% 11	0.0% 0
16.25	13.3% 2	10.0% 1	15.4% 2	6.7% 1	85.7% 6
	12.25	13.25	14	15.25	16.25

Target Class

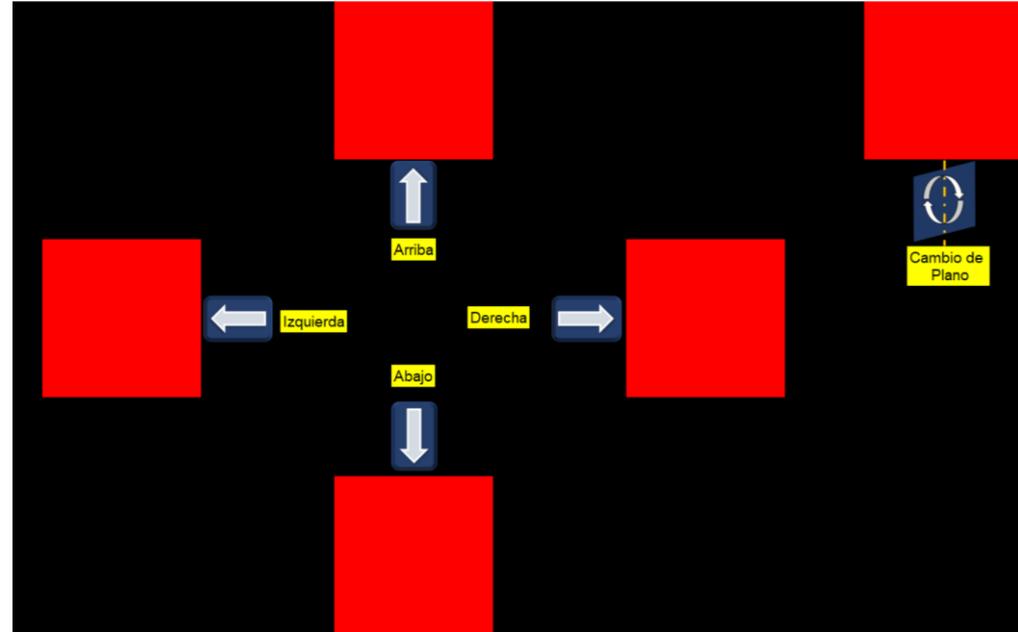
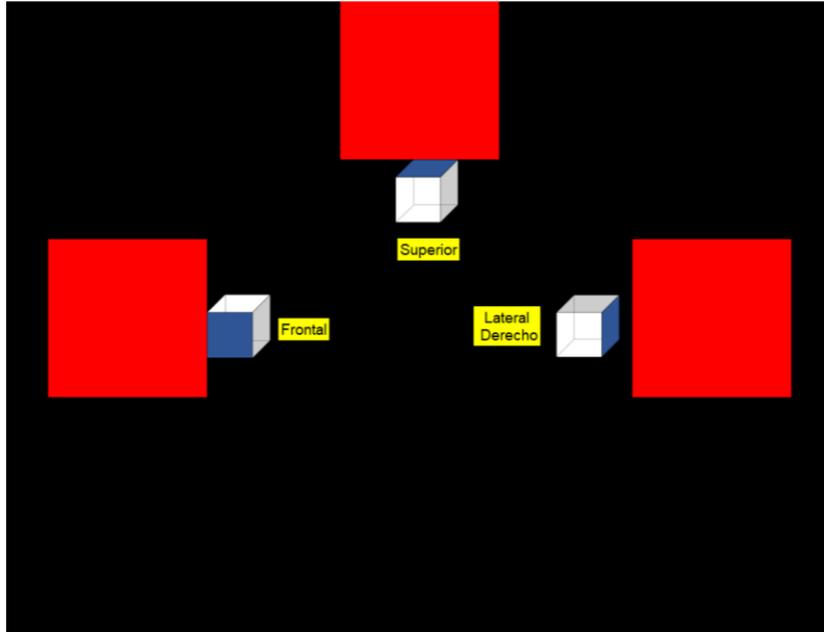


Pruebas online: Tabla comparativa

	Sujeto 5	Sujeto 3	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 4	Sujeto Principal
Edad	24	24	24	24	24	23
Sexo	F	M	M	F	M	M
Densidad del cabello	Alta	Media	Media	Baja	Baja	Baja
Longitud del cabello	Largo	Mediano	Mediano	Largo	Muy corto	Corto
Experiencia	No	No	No	Relativa	No	Si
Precisión [%]	18	26	28	46	62	75
ITR [<i>bits/min</i>]	0.0278	0.228	0.397	3.698	9.058	15.16



Diseño interfaz BCI

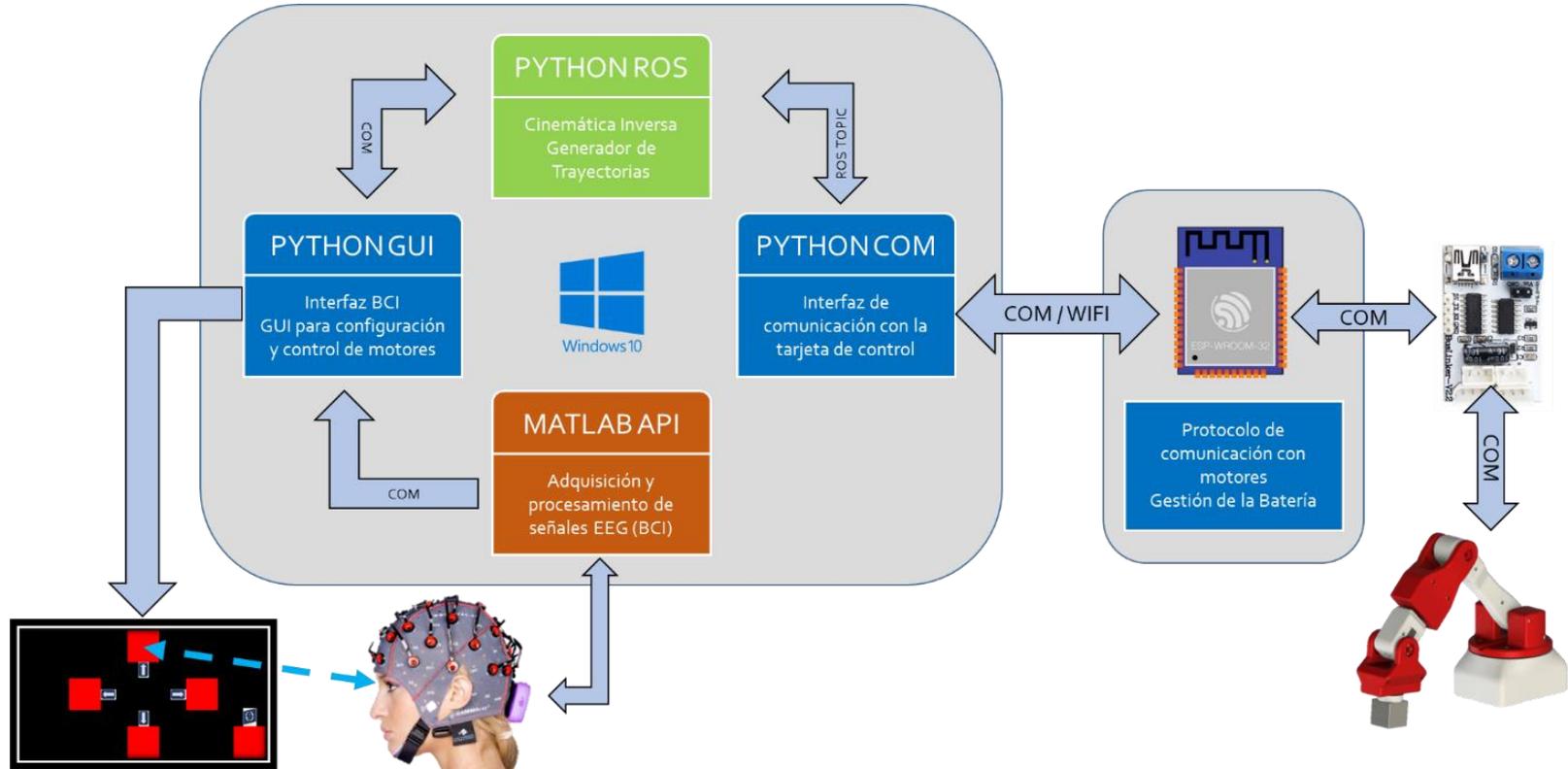


Pruebas de usabilidad

Factores	Baja	Regular	Aceptable	Alta	Ponderación
	0	0.33	0.66	1.00	[%]
Coherencia de representación de símbolos			0.80	0.20	72.80
Texto y gráficos correctamente representados			0.20	0.80	93.20
Diseño estético y minimalista		0.20	0.20	0.60	79.80
Facilidad de aprendizaje del manejo de la interfaz			0.60	0.40	79.60
Comodidad del color, frecuencia y tiempo de estímulo		0.20	0.40	0.40	73.00
Intuitivo para recuperar una acción luego de cometer algún error				1	100.00
Promedio					83.07



Integración: Arquitectura



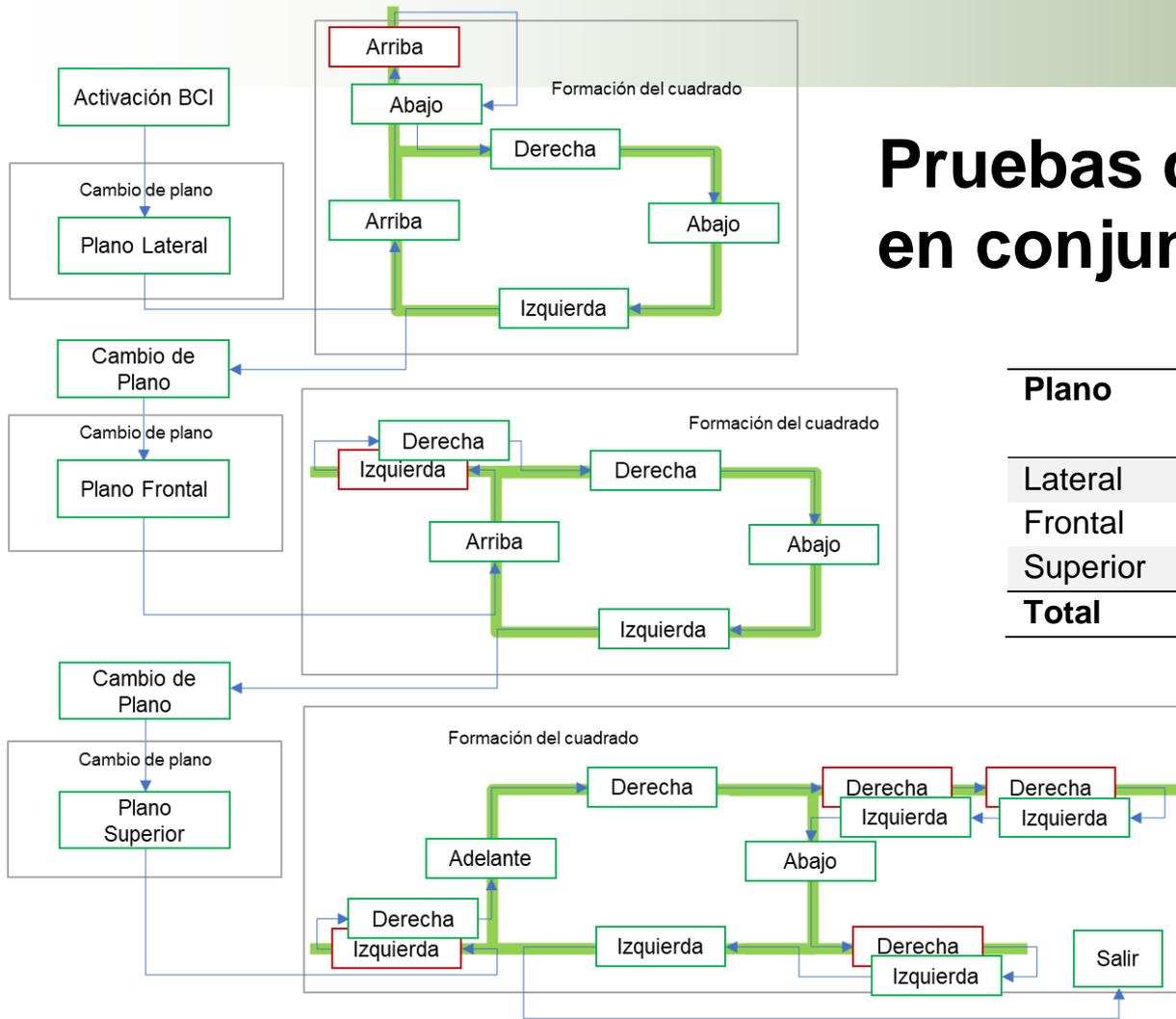
Integración: Pruebas preliminares



Plano	Comandos requeridos	Comandos correctos	Precisión
Superior	8	7	87.50
Frontal	8	4	50.00
Lateral	7	7	100.00
Total	23	18	78.26



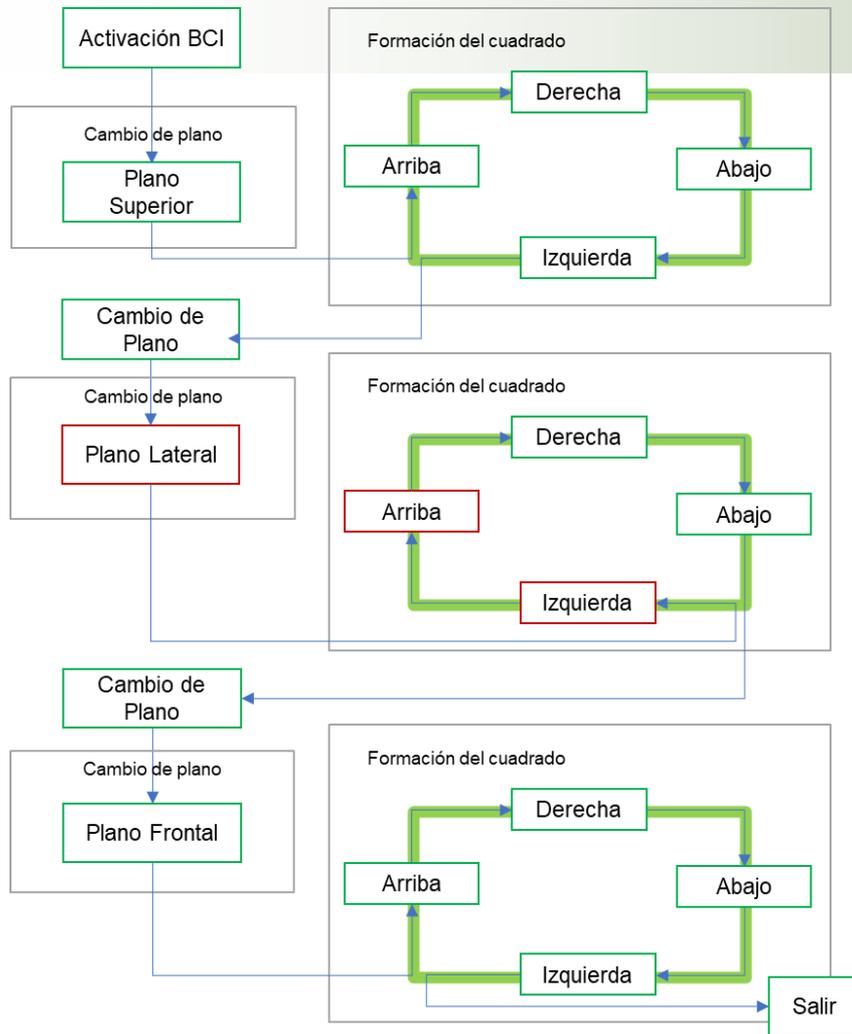
Pruebas de funcionamiento en conjunto



Plano	Comandos requeridos	Comandos correctos	Precisión [%]
Lateral	8	7	87.50
Frontal	8	7	87.50
Superior	13	9	69.23
Total	29	23	79.31



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

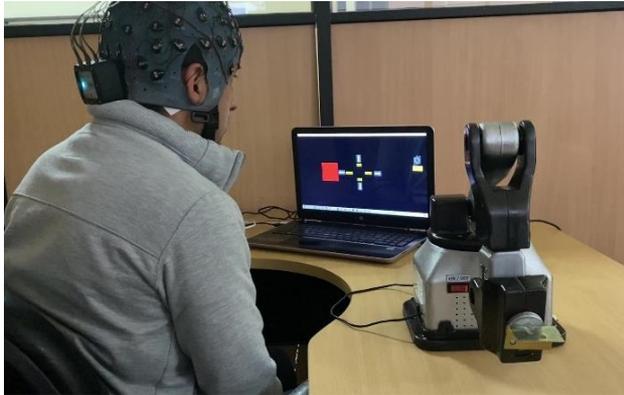
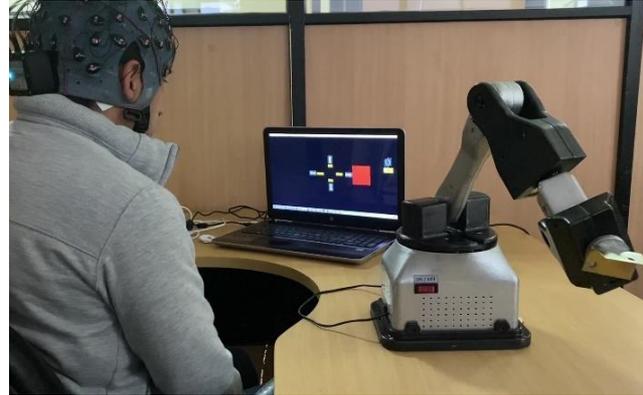
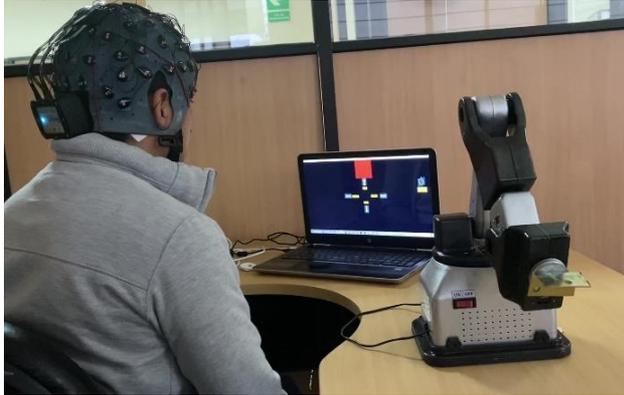


Pruebas de funcionamiento en conjunto

Plano	Comandos requeridos	Comandos correctos	Precisión [%]
Superior	6	6	100.00
Lateral	6	3	50.00
Frontal	6	6	100.00
Total	18	15	83.33



Conclusiones y recomendaciones



¡Muchas gracias!



¿Preguntas?



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Contactos:

Autores

Albán Escobar Maritza Elizabeth
(mealban10@espe.edu.ec)

Navarrete Arroyo Pablo Steve
(psnavarrete1@espe.edu.ec)

Tutor

Ing. Danni Rodrigo De la Cruz Guevara
(drde@espe.edu.ec)



Referencias

- Alonso Valerdi, L. M., Arreola Villarruel, M. A., & Arguello García, J. (2020). Interfaces Cerebro-Computadora: Conceptualización, Retos de Rediseño e Impacto Social. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 3, (40), 1-18.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322019000300008
- Conadis. (2021). *Total de Personas con Discapacidad registradas en el Registro Nacional de Discapacidad*.
<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/index.html>
- Conafe. (2016). *Discapacidad motriz. Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica*.
<https://serviciosaesev.files.wordpress.com/2016/02/discapacidad-motriz.pdf>
- Corralejo, R., Álvarez, D., & Hornero, R. (2015). *Evaluación de un sistema BCI de control domótico basado en potenciales P300 aplicado a usuarios con grave discapacidad*. Universidad de Valladolid. <http://gib.tel.uva.es/BCI-Ageing/recursos/CN-02.pdf>
- Inegi. (2013). *Clasificación de Tipo de Discapacidad - Histórica*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion_de_tipo_de_discapacidad.pdf
- ISO. (1998). *ISO 9283 Manipulating industrial robots - Performance criteria and related test methods*.
<http://106.38.59.21:8080/userfiles/d894aa13635f4f70ae241466d6504b6e/files/teckSolution/2019/12/ISO%209283-1998.pdf>



Referencias

- Ministerio de Educación de Bolivia. (2013). *Discapacidad física motora - Estudio de caso, Comprensión de la discapacidad VII*. Viceministerio de Educación Superior de Formación Profesional/Dirección General. https://www.minedu.gob.bo/files/publicaciones/veaye/dgee/jica12_DISCAPACIDAD_FISICO-MOTORA.pdf
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2018). *Clasificación de la Discapacidad*. https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/12/Manual_Calificaci%C3%B3n-de_Discapacidad_2018.pdf
- Pareto Boada, J., Román Maestre, B., & Torras Genís, C. (2021). The ethical issues of social assistive robotics: A critical literature review. *Technology in Society*, 67. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X21002013>
- Pirhonen, J., Tiilikainen, E., Pekkarinen, S., Lemivaara, M., & Melkas, H. (2020). Can robots tackle late-life loneliness? Scanning of future opportunities and challenges in assisted living facilities. *Futures*, 124. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328720301294>
- Torras, C. (2019). Assistive Robotics: Research Challenges and Ethics Education Initiatives. *Revista Internacional de Éticas Aplicadas*, (30), 63-77. <https://www.dilemata.net/revista/index.php/dilemata/article/view/412000291/641>

