



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Diseño de un sistema de rehabilitación física para extremidades superiores basado en el uso de señales electromiográficas para el control de un robot móvil.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

**Pérez Díaz Gilberto Miguel
Sarmiento Tito Mateo Alejandro**

Director:

Ing. Esteban Javier Mola Tola, Mgst

CUENCA, ECUADOR

2025

DEDICATORIA DE GILBERTO MIGUEL

A mis padres, Gilberto Pérez y Sadi Díaz, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por estar presentes en cada paso de este camino. Su apoyo ha sido el pilar más firme en los momentos difíciles y la motivación constante para seguir adelante.

A mis hermanos, Alejandro Pérez y Jorge Alonso, quienes, siendo mayores, siempre han sido un ejemplo de constancia y fortaleza; y a Alberto Pérez, el más pequeño, cuyo cariño y alegría han sido un impulso silencioso pero poderoso en mi vida.

A Mateo Sarmiento, mi compañero de tesis, por compartir no solo el trabajo y los retos académicos, sino también la dedicación, las ideas y el compromiso que hicieron posible este proyecto.

A Esteban Mora, tutor de esta tesis, por su guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso.

Y con especial cariño, dedico este trabajo a la memoria de mi abuela, Eneida Valdivia, quien estuvo a mi lado durante gran parte de este proceso.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este logro.

DEDICATORIA DE MATEO ALEJANDRO

A mi madre, Janeth Virginia, por ser mi fuerza incondicional, por cada palabra de aliento y cada gesto de amor que me sostuvo incluso en los momentos más difíciles. Su ejemplo de altruismo, constancia y cariño han sido mi guía durante todo este camino.

A mi hermano, Miguel Andrés, por acompañarme con su apoyo firme y amor incondicional, le agradezco a dios por tener al mejor hermano mayor del mundo, gracias por quererme como lo haces, nunca estuve solo en este camino.

A la memoria de mi padre, Miguel Alfonso.
Aunque no estás físicamente, he sentido tu presencia en cada paso de este camino. Fuiste quien siempre creyó en mí, quien soñó con verme convertido en profesional y quien me enseñó el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro es más tuyo que mío. Gracias por todo, te amo Papá.

A Gilberto Pérez, compañero de tesis y amigo, por su apoyo constante en todo este camino universitario.

Al ingeniero a cargo de este trabajo, Esteban Mora, gracias por ser mi maestro, tutor, guía y amigo durante toda esta trayectoria universitaria.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE REHABILITACIÓN FÍSICA PARA EXTREMIDADES SUPERIORES BASADO EN EL USO DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS PARA EL CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL.

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema de rehabilitación física para extremidades superiores, basado en el uso de sensores EMG superficiales que registran la actividad de cuatro músculos: deltoides medio, pronador redondo, bíceps y braquiorradial. A partir del procesamiento en tiempo real de estas señales, cada músculo genera un comando que permite el desplazamiento de un TurtleBot3, a través de ROS, dentro de un entorno controlado. El experimento se realizó con 20 participantes distribuidos en un grupo experimental y uno de control, evaluando métricas de trayectoria, distancia y tiempo, generadas por el robot en tres repeticiones de ida y vuelta en una trayectoria predefinida. Los resultados muestran una mejora progresiva en la precisión y eficiencia del movimiento, también se observó una disminución en la dispersión de las trayectorias y una reducción en el tiempo de ejecución, lo cual indica un proceso de aprendizaje del uso de los músculos entre repeticiones. Se concluye que el control del robot móvil, mediante señales EMG, es viable como una herramienta terapéutica en procesos de rehabilitación física.

Palabras claves: EMG, Robot Móvil, ROS, MVC, Rehabilitación, HRI

DESIGN OF A PHYSICAL REHABILITATION SYSTEM FOR UPPER LIMBS BASED ON ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS FOR THE CONTROL OF A MOBILE ROBOT

This work presents the design and implementation of a physical rehabilitation system for upper limbs, based on the use of surface EMG sensors that record the activity of four muscles: the middle deltoid, pronator teres, biceps, and brachioradialis. Through real-time processing of these signals, each muscle generates a command that enables the movement of a TurtleBot3 via ROS within a controlled environment. The experiment was conducted with 20 participants, divided into an experimental group and a control group, evaluating trajectory, distance, and time metrics generated by the robot over three back-and-forth repetitions along a predefined path. The results show a progressive improvement in movement accuracy and efficiency. A decrease in trajectory dispersion and a reduction in execution time were also observed, indicating a learning process in muscle usage across repetitions. It is concluded that controlling a mobile robot using EMG signals is a viable therapeutic tool in physical rehabilitation processes.

Keywords: EMG, Mobile Robot, ROS, MVC, Rehabilitation, HRI

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria de Gilberto Miguel Pérez Díaz	i
Dedicatoria de Mateo Alejandro Sarmiento Tito	ii
Abstract	iii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de Contenidos	v
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
I Introducción	1
II Metodología	2
II-A Adquisición y procesamiento de señales EMG	3
II-B Configuración para la comunicación del Sistema	4
II-C Sistema de Control	4
II-D Máxima contracción voluntaria	4
II-E Análisis de datos obtenidos	5
III Pruebas y resultados	5
III-A Análisis descriptivo	10
III-B Análisis de normalidad de los datos	11
III-C Análisis estadístico	11
III-C1 Comparación entre extremidades del grupo experimental	11
III-C2 Comparación entre repeticiones del grupo experimental	11
III-C3 Comparación entre repeticiones del grupo control	12
III-C4 Comparación entre grupos experimental vs control	12
III-C5 Experiencia del usuario	13
IV Conclusiones	13
Referencias	14

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Diagrama del proyecto.	2
2	TurtleBot3 Burger.	2
3	Distribución de músculos seleccionados para el estudio.	3
4	Señal EMG filtrada.	3
5	Señal EMG rectificada.	3
6	Señal EMG envolvente.	3
7	Entorno de ejecución.	5
8	Colocación de electrodos.	6
9	Trayectorias de ida del robot móvil controlado con la extremidad dominante.	7
10	Trayectorias de vuelta del robot móvil controlado con la extremidad dominante.	7
11	Trayectorias de ida del robot móvil controlado con la extremidad no dominante.	8
12	Trayectorias de vuelta del robot móvil controlado con la extremidad no dominante.	8
13	Comparación de trayectorias de ida.	8
14	Comparación de trayectorias de vuelta.	9
15	Activación muscular recorrido frontal.	9
16	Activación muscular recorrido de retorno.	9
17	Boxplot del tiempo de ida por repetición.	10
18	Boxplot del tiempo de vuelta por repetición.	11
19	Matriz de difusión de valores p en el grupo experimental	12
20	Matriz de difusión de valores p en el grupo control	12
21	Distribución de respuestas: Adherencia	13
22	Distribución de respuestas: Obediencia del robot	13

ÍNDICE DE TABLAS

I	Grupo Experimental	5
II	Grupo de control	5
III	Grupo Experimental – Cuantificación de extremidad dominante y no dominante	6
IV	Grupo Control – Cuantificación de extremidad no dominante	7
V	Comparación de desempeño con la extremidad no dominante	7
VI	Comparación de parámetros en la trayectoria de ida	8
VII	Comparación de parámetros en la trayectoria de vuelta	9
VIII	Análisis descriptivo de sujetos con extremidad no dominante	10
IX	Resultados de la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para los grupos Experimental y Control	11
X	Resultados de la prueba de Wilcoxon para comparación D vs ND	11