



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

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

Interacción Humano-Robot basada en EMG para control de un prototipo de miembro superior

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Sebastián Cristóbal Domínguez Galarza

Jorge Mateo Cobo Hidalgo

Director:

Ing. Esteban Mora Tola

CUENCA, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

A mis padres, mi mayor certeza y apoyo constante.

A mis abuelos, en la memoria eterna,
porque este logro es fruto de las raíces que sembraron.

Sebastián Cristóbal Domínguez Galarza

DEDICATORIA

Este trabajo es el resultado de años de esfuerzo, pero jamás habría sido posible sin las personas que sostuvieron mi mundo. Esta tesis va dedicada con profundo amor a mis dos pilares: mi madre y mi abuelito, Jorge Hidalgo. A ti, mamá, mi mayor ejemplo de vida: gracias por asumir con valentía inquebrantable el rol de madre y padre; tus sacrificios silenciosos son el motor que me trajo hasta aquí. Y a ti, abuelito Jorge, el padre que la vida me dio el enorme privilegio de tener: eres absolutamente todo para mí. Llevo grabado en el alma cómo me esperabas paciente en las noches a la salida de la universidad, siempre firme y orgulloso. Pensar en que algún día llegues a faltarme me rompe el corazón, porque el vacío que dejarías es un dolor que llevaría por el resto de mi vida; eres mi mayor refugio.

Mi devoción hacia ustedes es absoluta; sin su respaldo, nada de esto sería realidad. Esa misma fuerza familiar me guió en este camino. Gracias a mi bisabuelito, Hugo Torres, quien con sus historias sembró mi inspiración por la ingeniería. A mi hermana, mi abuelita y toda mi familia, gracias por ser mi red de contención y apoyarme en cada decisión.

Un espacio muy especial está dedicado a la memoria de mi tío, Diego Hidalgo. Aunque ya no estás físicamente con nosotros, te seguimos extrañando cada día. De ti me quedo con ese positivismo inquebrantable y tu mayor lección: que "el frío y el dolor son mentales". Esa mentalidad de hierro y el inmenso amor que compartimos por mi abuelito han sido mi coraza en los momentos más difíciles.

Hoy honro tu memoria en cada paso que doy. El peso de la universidad se hizo más ligero gracias a la familia que uno elige. A mis mejores amigos: Nicolás Gonzales, Mateo Castro y Kevin Salazar. Gracias por no soltarme en los peores momentos y darme fuerzas con experiencias que llevaré para toda la vida.

Finalmente, este viaje universitario culmina de la manera más hermosa gracias a mi novia, Ana Belén. Llegaste a mi vida en esta recta final, no solo para acompañarme a cerrar este ciclo académico, sino para ser mi impulso en la creación de mi empresa. Gracias por tu soporte emocional, por inspirarme a ser mejor cada día y por convencerme de que no hay meta inalcanzable. Esas largas madrugadas de estudios, deberes y explosión de ideas no habrían sido lo mismo sin ti a mi lado.

A todos ustedes, mi más profundo y eterno agradecimiento. Este logro lleva el nombre de cada uno.

Jorge Mateo Cobo Hidalgo

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra más profunda y sincera gratitud al Ing. Esteban Mora Tola, director de este trabajo de investigación. Su compromiso inquebrantable y su constante atención hacia cada detalle de este proyecto han sido los pilares fundamentales que permitieron la culminación exitosa de esta interfaz. De igual manera, extendemos este reconocimiento a los docentes que contribuyeron a nuestra formación técnica y a los sujetos de prueba cuya colaboración voluntaria fue esencial para la obtención de los resultados científicos presentados en esta tesis.

INTERACCIÓN HUMANO-ROBOT BASADA EN EMG PARA CONTROL DE UN PROTOTIPO DE MIEMBRO SUPERIOR

Este trabajo valida una interfaz humano-robot basada en electromiografía (EMG) para controlar un prototipo de miembro superior impreso en 3D. Se evaluó a 30 individuos mediante un protocolo experimental con distintos niveles de complejidad motriz. Para mitigar diafonía y ruido, el sistema emplea un procesamiento híbrido: valor cuadrático medio (RMS) en el antebrazo y picos absolutos en el hombro, integrando una calibración de umbrales. Los resultados demostraron un 94.33% de efectividad en tiempo real operando con sensores EMG y un microcontrolador. Biomecánicamente, los usuarios lograron adaptarse a la exigencia en un promedio de dos intentos. El análisis estadístico mediante pruebas de Wilcoxon y Mann-Whitney arrojó $p > 0.05$, confirmando la ausencia de sesgos anatómicos o de género. Se concluye que este sistema es una herramienta de control robusta y equitativa, con alto potencial para la rehabilitación motora.

Palabras clave: EMG, rehabilitación motora, HRI, procesamiento de señales, miembros superiores.

EMG-BASED HUMAN-ROBOT INTERACTION FOR CONTROLLING AN UPPER LIMB PROTOTYPE

This study validates an electromyography (EMG)-based human-robot interface for controlling a 3D-printed upper limb prototype. Thirty individuals were evaluated using an experimental protocol with varying levels of motor complexity. To mitigate crosstalk and noise, the system employs hybrid processing: root mean square (RMS) calculation in the forearm and absolute peak filtering in the shoulder, integrating threshold calibration. The results demonstrated a real-time effectiveness of 94.33% when operating with EMG sensors and a microcontroller. Biomechanically, users adapted to the interface's demands in an average of two attempts. Statistical analysis using Wilcoxon and Mann-Whitney tests yielded $p > 0.05$, confirming the absence of anatomical or gender bias. It is concluded that this system is a robust and equitable control tool with high potential for motor rehabilitation.

Keywords: EMG, motor rehabilitation, HRI, digital signal processing, upper limbs.