



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

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

**Desarrollo de un sistema de medición del ROM del hombro basado en sensores
inerciales aplicado a un entorno de realidad virtual**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Daniela Alexandra Galarza Andrade

Henry Josué Quinde Merchán

Director:

Ing. Esteban Mora Tola

CUENCA, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

A mis padres, Wilson Quinde y Priscila Merchán, por ser mi apoyo incondicional, por sus consejos de vida llenos de sabiduría, por enseñarme el valor del trabajo y de la constancia, y sobre todo por su amor incondicional que ha sido mi fuerza y mi motivación durante el desarrollo de este proyecto.

A mi hermana, Nathaly Quinde, que con la finalidad de ser un buen ejemplo para ella ha sacado la mejor versión de mí. A mis abuelos, por sus palabras de aliento y sus consejos que me han guiado a ser mejor persona. A Daniela Galarza, mi compañera de tesis, por su paciencia y comprensión durante el desarrollo de este trabajo. Por permitirme compartir ideas y conocimientos a su lado haciendo posible este proyecto.

A Esteban Mora, tutor de tesis, por su apoyo constante; gracias por ser un mentor, amigo y consejero.

Finalmente a todos mis amigos, que me han acompañado durante mi carrera universitaria y deportiva, especialmente a Luis Mogrovejo y a mi pareja, Camila Brito, por ser mi soporte emocional durante esta etapa, por su paciencia, por su amor incondicional.

Henry Quinde.

DEDICATORIA

A mis padres, César Galarza y Dolores Andrade, por su apoyo y amor incondicional. Gracias por enseñarme que todo esfuerzo rinde sus frutos y que con dedicación y amor se pueden lograr grandes cosas; estas lecciones fueron mi mayor motivación para seguir adelante.

A mis hermanos, Camila Galarza y Sebastián Galarza, quienes nunca dejaron de confiar en mí y fueron un pilar importante en los momentos más complicados de este trayecto. A mis tías y abuelos, especialmente a mi abuelo Aquiles Galarza, que aunque ya no se encuentre más aquí, siempre estuvo orgulloso de mí y esperó verme convertida en una profesional.

A Henry Quinde, mi compañero de tesis, por el trabajo en conjunto, las horas en los laboratorios y por llegar juntos a esta meta.

A mi tutor de tesis, Esteban Mora, por la confianza que me brindó desde el inicio de la carrera y por motivarme a siempre dar lo mejor, por su guía y apoyo para poder culminar este proyecto.

A mis amigas, quienes, a pesar de haber tomado diferentes rumbos, me siguieron apoyando de la misma manera que en el colegio.

Daniela Galarza.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DEL ROM DEL HOMBRO BASADO EN SENSORES INERCIALES APLICADO A UN ENTORNO DE REALIDAD VIRTUAL.

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema de medición del rango de movimiento (ROM) del hombro mediante sensores inerciales (IMU) integrados en realidad virtual (RV). A través del procesamiento de cuaterniones y la técnica swing-twist, el sistema controla un avatar inmersivo que guía movimientos de flexión, extensión y abducción. La precisión de los sensores se validó frente a un sistema de visión artificial como estándar. El experimento contó con 20 participantes que realizaron movimientos hacia cuatro ángulos objetivo. Los resultados muestran alta fidelidad en el seguimiento dinámico y una respuesta lineal proporcional en todos los arcos evaluados. Se identificó un sesgo sistemático estable derivado de la diferencia entre marcos de referencia, lo que permite caracterizar y compensar el error para su aplicación en evaluación biomecánica.

Palabras clave: IMU, hombro, realidad virtual, ROM, vision artificial.

DEVELOPMENT OF A SENSOR-BASED SYSTEM FOR MEASURING SHOULDER ROM USING INERTIAL SENSORS IN A VIRTUAL REALITY ENVIRONMENT.

This paper presents the design and implementation of a system for measuring shoulder range of motion (ROM) using inertial measurement units (IMUs) integrated into virtual reality (VR). Through quaternion processing and the swing-twist technique, the system controls an immersive avatar that guides flexion, extension, and abduction movements. The accuracy of the sensors was validated against a computer vision system as a reference standard. The experiment involved 20 participants who performed movements toward four target angles. The results show high fidelity in dynamic tracking and a linear proportional response across all evaluated ranges of motion. A stable systematic bias resulting from the difference between reference frames was identified, allowing the error to be characterized and compensated for in biomechanical assessment applications.

Keywords: IMU, shoulder, virtual reality, ROM, artificial vision