



PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS DE MANO

presentado por

Guadalupe Denisse González Santos
Fernanda Nicole Gómez Martínez

,
Supervisores

Gustavo Pacheco Santiago
José Eduardo Chairez Veloz
Luis Enrique Nava García
Misael Saúl Ávila López

Coyoacán, CDMX., México. 02 de noviembre de 2025

1 Justificación

El análisis de los movimientos de la mano es una herramienta que permite evaluar la motricidad, la coordinación neuromuscular y la funcionalidad de los miembros superiores.

Estos movimientos reflejan la sinergia del control motor central y periférico, y el registro de unidades de medición inercial (IMU) permiten obtener parámetros de aceleración y rotación, que son útiles para poder dar un seguimiento en rehabilitación neuromuscular y control postural.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

El presente documento propone definir la metodología experimental para la obtención de señales de movimientos de mano usando sensores WT9011DCL de forma ética y segura.

2.2 Objetivos específicos

- Definir las condiciones de experimentación (actividades a medir, sujetos y condiciones de adquisición).
- Documentar las características técnicas del sensor .
- Redactar carta de consentimiento que considero los aspectos éticos necesarios.

3 Antecedentes

El estudio del movimiento humano ha tomado relevancia en áreas como la biomecánica, la rehabilitación y la investigación biomédica. Su análisis permite entender mejor la coordinación motora y el funcionamiento de las extremidades, aspectos clave en evaluaciones clínicas y terapéuticas. Tradicionalmente, estas mediciones se realizaban mediante sistemas ópticos de captura de movimiento o plataformas de fuerza. Si bien dichos métodos ofrecen alta precisión, también presentan limitaciones importantes en cuanto a costo, portabilidad y adaptación a entornos clínicos reales Cho et al. (2018); Leardini et al. (2014).

Con los avances tecnológicos de los últimos años, los sensores iniciales, conocidos como *Inertial Measurement Units* (IMU), se han posicionado como una alternativa práctica y confiable. Estos dispositivos, por su tamaño reducido y bajo consumo energético, facilitan la evaluación continua del movimiento humano en contextos naturales y fuera del laboratorio Cuesta-Vargas & Galán-Mercant (2010); Iosa et al. (2016); Lopez-Nava & Muñoz-Meléndez (2016).

Numerosos estudios han validado el uso de IMU en estimaciones de orientación y detección de patrones motores. Por ejemplo, Leardini et al. (2014) compararon estos sistemas con métodos ópticos y encontraron una precisión notable. De igual manera, hay investigaciones —como las de Sun et al. (2017) y Picerno et al. (2021)— que destacan su utilidad en distintos análisis biomecánicos y procesos de rehabilitación Picerno et al. (2021); Sun et al. (2017).

En conjunto, estas aportaciones evidencian el valor de las IMU como herramientas biomédicas para el análisis del movimiento. En este marco, el sensor *WT9011DCL* representa una alternativa viable para registrar movimientos de la mano, combinando bajo costo, facilidad de implementación y un nivel de precisión adecuado para estudios experimentales y aplicaciones en machine learning.

4 Metodología

4.1 Configuración del sensor de medición

Se instalará la aplicación *WitMotion* y se conectará al sensor WT9011DCL de acuerdo con las indicaciones proporcionadas en el manual de uso para el sensor WT9011DCL-BT5.0.

Al finalizar la instalación y conexión de la aplicación con el sensor, se procederá a calibrar el acelerómetro. Para ello, se debe mantener el sensor **WT9011DCL** durante al menos **10 segundos** sobre una superficie plana y horizontal, sin movimiento. Luego, desde el menú de la aplicación, se seleccionan las opciones: **Calibration > Acceleration Calibration**.

Para comprobar que la calibración del acelerómetro fue exitosa, es necesario verificar que en el panel de datos de la aplicación el valor de aceleración en el eje **Z** sea aproximadamente **1 g**.

4.2 Adquisición de datos

Se proporcionará una carta de consentimiento informado a cada sujeto participante. Una vez obtenido el consentimiento, el participante se sentará en una posición cómoda que le permita colocar el brazo de su mano dominante sobre una superficie plana, horizontal y estable, dejando fuera de la superficie únicamente la mano con la que realizará los movimientos, como se muestra en la **Figura 1**.

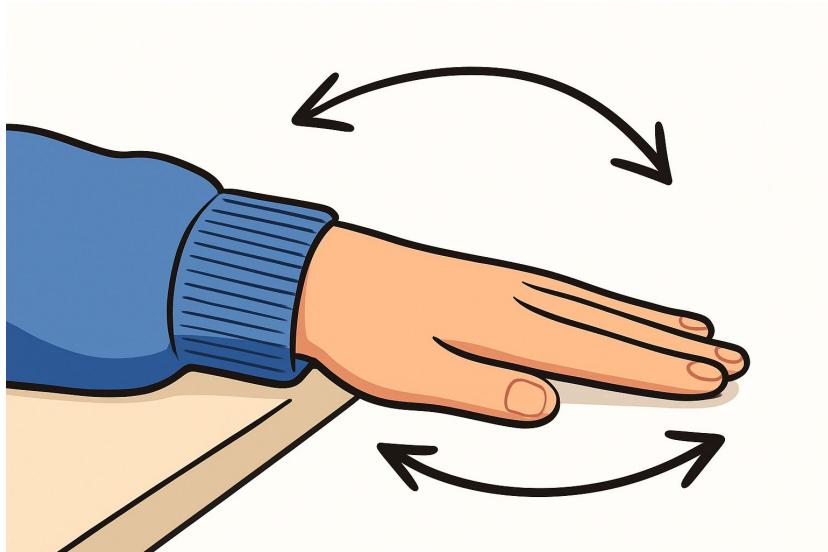


Fig. 1. Configuración experimental durante la adquisición de datos. El participante se mantiene sentado con el brazo apoyado sobre una superficie plana y la mano dominante libre para realizar los movimientos

A continuación, se colocará el sensor inercial en el dorso de la mano dominante utilizando una cinta elástica.

Posteriormente, se solicitará al participante realizar tres tipos de movimientos (*arriba-abajo, izquierda-derecha y quieto*), tal como se ilustra en la **Figura 2**.

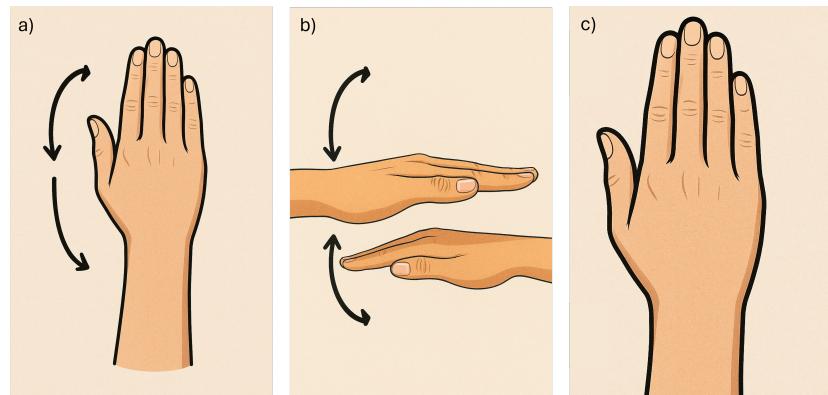


Fig. 2. Tipos de movimientos realizados por los participantes: (a) mano izquierda-derecha, (b) mano arriba-abajo y (c) mano quieta.

Cada movimiento se ejecutará en intervalos de **10 segundos**, con un total de **10 repeticiones** por tipo de movimiento.

4.3 Almacenamiento y organización de datos

Una vez finalizada la adquisición, los archivos generados por la aplicación se exportarán en formato **.csv** (valores separados por comas) para su almacenamiento y análisis posterior.

Los datos se organizarán en una estructura jerárquica de carpetas con el fin de mantener un registro ordenado y facilitar su procesamiento. Se creará una carpeta principal para cada participante, identificada como:

/S1/, /S2/, /S3/, /S4/, /S5/, /S6/, /S7/ y /S8/.

Dentro de cada carpeta se crearán tres subcarpetas correspondientes a los tipos de movimiento registrados:

/mano_arriba_abajo/, /mano_izq_der/ y /mano_quieta/.

Cada archivo de registro se nombrará siguiendo una convención que indique el tipo de movimiento y el número de repetición, de acuerdo con el siguiente formato:

- manoarab1.csv, manoarab2.csv, ..., para el movimiento de mano arriba-abajo.
- manoizqder1.csv, manoizqder2.csv, ..., para el movimiento de mano derecha-izquierda.
- manoqueta1.csv, manoqueta2.csv, ..., para el movimiento de mano quieta.

Cada archivo contendrá las lecturas cronometradas de aceleración y velocidad angular en los tres ejes (x , y , z), junto con una marca de tiempo asociada a cada muestra.

Finalmente, se realizará un respaldo completo de los datos en un dispositivo de almacenamiento externo y en la nube institucional. Asimismo, se publicará la base de datos completa en un repositorio de **GitHub**, el cual incluirá las carpetas organizadas por sujeto y tipo de movimiento, así como un archivo **README.md** con la descripción del contenido y las instrucciones de acceso.

Esto permitirá asegurar la integridad, disponibilidad y trazabilidad de la información, además de facilitar la colaboración y la replicabilidad del experimento por parte de otros grupos de investigación.

5 Importancia y valor del protocolo

El establecimiento de un protocolo es esencial en la medición de movimientos de la mano, especialmente al utilizar sensores iniciales. Esta estandarización permite asegurar la correcta colocación del sensor, definir con precisión las tareas motoras a ejecutar y establecer criterios consistentes para el registro y análisis de datos. Dado que la mano realiza movimientos complejos y de alta precisión, un protocolo bien estructurado contribuye a minimizar errores, mejorar la repetibilidad de los ensayos y garantizar la validez de los resultados. Además, facilita la comparación entre individuos o sesiones, y su integración en modelos de análisis computacional o aplicaciones de aprendizaje automático, lo que amplía su aplicabilidad tanto en entornos clínicos como en investigación biomédica.

6 Carta de consentimiento

Se elaboró una carta de consentimiento informado que incluye los siguientes apartados:

- **Título del estudio:** Reconocimiento de movimientos de la mano mediante sensores iniciales WT9011DCL y aprendizaje automático.
- **Responsables:** Fernanda Nicole Gómez Martínez y Guadalupe Denisse González Santos, estudiantes de la Licenciatura en Física Biomédica, Facultad de Ciencias, UNAM.
- **Propósito:** Explicar al participante los objetivos del estudio, orientados al registro de movimientos de la mano para fines académicos y de investigación biomédica.

- **Procedimiento:** Se indica la colocación del sensor WT9011DCL en el dorso de la mano dominante y la realización de movimientos simples (arriba-abajo, izquierda-derecha y quieto) durante 10 segundos, con 10 repeticiones.
- **Riesgos y beneficios:** El estudio no implica riesgos físicos ni psicológicos significativos; los datos contribuyen a fines educativos y científicos.
- **Confidencialidad:** Los registros se almacenan de forma anónima y se usan únicamente para fines académicos.
- **Consentimiento:** El participante puede retirarse del estudio en cualquier momento sin repercusiones.

Bibliografía

- Cho S. H., et al., 2018, Sensors, 18, 100
 Cuesta-Vargas A. I., Galán-Mercant A., 2010, Sensors, 10, 9892
 Iosa M., et al., 2016, Expert Review of Medical Devices, 13, 1
 Leardini A., et al., 2014, Gait & Posture, 39, 537
 Lopez-Nava I. H., Muñoz-Meléndez A., 2016, IEEE Sensors Journal, 16, 7821
 Picerno P., et al., 2021, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 18, 87
 Sun Y., et al., 2017, Sensors, 17, 461