

# DISPOSITIVOS IMU: UNA COMPARACIÓN CON PERSPECTIVA MECATRÓNICA

*IMU DEVICES: A COMPARISON WITH  
MECHATRONICS PERSPECTIVE*

**José Guadalupe Uriel Palacios Campos**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*m2303005@itcelaya.edu.mx*

**Alonso Alejandro Jiménez Garibay**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx*

**Tania Jareth Pérez Martínez**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*m2203030@itcelaya.edu.mx*

**Recepción:** 3/octubre/2023

**Aceptación:** 30/noviembre/2023

## Resumen

Esta investigación compara Unidades de Medición Inercial (IMU por sus siglas en inglés) en aplicaciones orientadas al desarrollo de sistemas clasificados como mecatrónica médica. Un IMU es un dispositivo electrónico capaz de medir la velocidad, orientación y aceleración de un objeto mediante una combinación de acelerómetros y giroscopios a través de sistemas microelectromecánicos (MEMS por sus siglas en inglés). Este artículo describe el principio de funcionamiento para detectar la velocidad angular, la aceleración lineal por el efecto Coriolis y la inercia en aplicaciones típicas en el diseño sistemas mecatrónicos. Se presenta la metodología para el diseño del experimento, basada en un sistema de posicionamiento lineal motorizado controlado por un microcontrolador, para comparar las IMUs utilizadas en el área de ingeniería mecatrónica. Finalmente, el análisis de los resultados contribuye a la importancia de la IMU en la rehabilitación física. Los hallazgos impactan positivamente en proyectos de ingeniería mecatrónica y mecatrónica médica con control de robots, vehículos autónomos, prótesis biónicas, diseño de sistemas de asistencia, etc.

**Palabras Clave:** Unidades de Medición Inercial (IMU), Mecatrónica Médica, Sistemas Microelectromecánicos (MEMS).

## **Abstract**

*This research compares Inertial Measurement Units (IMUs) in applications oriented toward developing systems classified as medical mechatronics. An IMU is an electronic device that measures an object's speed, orientation, and acceleration using a combination of accelerometers and gyroscopes using microelectromechanical systems (MEMS). This article describes the operating principle for detecting angular velocity and linear acceleration by the Coriolis effect and inertia in typical applications in the design of mechatronic systems. The methodology for the design of the experiment is presented, based on a motorized linear positioning system controlled by a microcontroller, to compare IMUs used in the area of mechatronic engineering. Finally, the analysis of the results contributes to the importance of the IMU in physical rehabilitation. The findings positively impact projects in mechatronics engineering and medical mechatronics with robot control, autonomous vehicles, bionic prostheses, design of assistance systems, etc.*

**Keywords:** *Inertial Measurement Units (IMU), Medical Mechatronics, Microelectromechanical Systems (MEMS).*

## **1. Introducción**

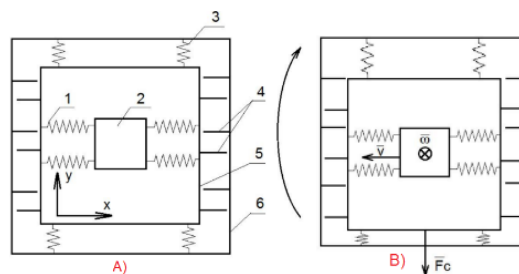
El término acelerómetro se origina en avances científicos del siglo XVIII. Mientras tanto, el concepto del "giroscopio" se deriva de la antigua lengua griega y se asocia con el fenómeno del "movimiento de precesión" [Smith, 2015; Passaro et al., 2017]. En ingeniería, se ha observado un incremento en la adopción de sensores basados en tecnología MEMS que combinan acelerómetros y giroscopios, con ventajas de tamaño reducido y menor costo en comparación con sus contrapartes piezoeléctricas [Varanis et al., 2018]. Los dispositivos IMU, permiten la captura de datos de la aceleración lineal, la velocidad angular y, en ciertos casos, la orientación de objetos en movimiento [Faisal et al., 2020].

Los sistemas IMU también incorporan una unidad de procesamiento para cálculos avanzados, filtrado de datos y transmisión de información [Gutiérrez, 2020]. La unidad de procesamiento es responsable de realizar cálculos sofisticados, procesar los datos adquiridos, aplicar filtros para eliminar ruidos o inexactitudes, y finalmente,

almacenar o transmitir la información procesada a otro destino. Recientemente existe un incremento en la aplicación de IMUs en sistemas mecatrónicos de asistencia, en monitoreo de postura y seguimiento de movimiento [Jalal et al., 2020; Kirbas, 2023].

## 2. Métodos

Los IMU operan de manera básica mediante la combinación y procesamiento de las lecturas de un giroscopio y un acelerómetro. Un giroscopio mide la velocidad angular. Cuando un objeto gira, el MEMS detecta el cambio en la dirección de la fuerza de Coriolis causada por el movimiento rotacional [Fedorov et al., 2015]. Esto se convierte en una señal eléctrica proporcional a la velocidad angular, en el ejemplo de la figura 1A se observa la estructura interna con los siguientes componentes: 1 – masa de fijación, 2 – peso de trabajo, 3 – fijación del marco interior, 4 – sensores, 5 -marco interior, 6 – sustrato; y en la figura 1B se pueden observar las fuerzas resultantes durante el giro.

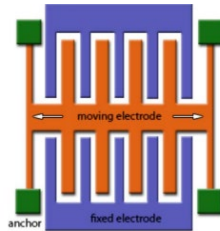


Fuente: obtenido de [Fedorov et al., 2015]

Figura 1 Estructura interna giroscopio.

La arquitectura interna simplificada del acelerómetro se muestra en la figura 2. Consta de tres elementos básicos, el primero se llama electrodo móvil, puede moverse libremente hacia la izquierda y hacia la derecha, después se encuentra el electrodo fijo, que permanece estacionario, y por último los puntos de anclaje que evitan el movimiento del electrodo móvil en dirección hacia arriba y hacia abajo. Los IMUs de 6 grados de libertad (6-DOF) y 9 grados de libertad (9-DOF) son muy utilizados en aplicaciones de drones, dispositivos portátiles y entretenimiento interactivo. Además, un IMU de 9-DOF o superior son fundamentales en

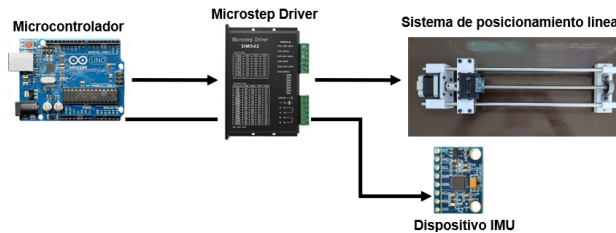
aplicaciones de navegación, realidad virtual, exploración aeroespacial, navegación submarina y sistemas de vehículos autónomos.



Fuente: obtenido de [Kirbas, 2019].

Figura 2 Estructura interna simplificada del acelerómetro.

La metodología propuesta en esta investigación utiliza un sistema de posicionamiento lineal motorizado controlado por microcontrolador como se observa en la figura 3, para realizar la medición de la apertura de ángulo con cuatro dispositivos IMU diferentes.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Sistema compuesto para medición de ángulo.

En el ámbito de la mecatrónica, los IMU son esenciales para aplicaciones que requieren medición de la orientación, velocidad angular y aceleración. Algunos de los IMU utilizados en mecatrónica se muestran en la tabla 1.

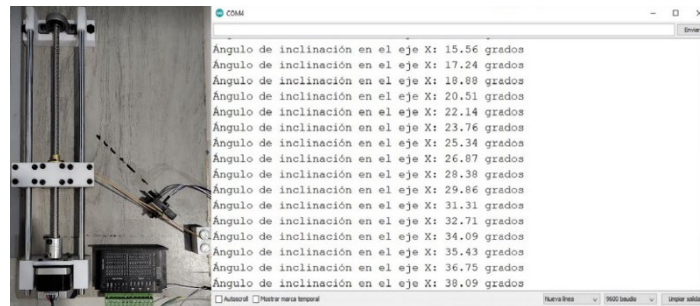
Tabla 1 Especificaciones técnicas de módulos IMU propuestos.

	MPU6050	MPU9250	GY-80	GY-87
Giroscopio	3 grados	3 grados	3 grados	3 grados
Acelerómetro	3 grados	3 grados	3 grados	3 grados
Comunicación	I2C y SPI	I2C y SPI	I2C	I2C
Rango de medición del giroscopio	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/s	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/s	$\pm 300$ °/s dps	$\pm 2000$ °/s dps
Rango de medición del acelerómetro	$\pm 2$ g, $\pm 4$ g, $\pm 8$ g, $\pm 16$ g	$\pm 2$ g, $\pm 4$ g, $\pm 8$ g, $\pm 16$ g	$\pm 3$ g	$\pm 16$ g

Fuente: elaboración propia.

### 3. Resultados

La figura 4 muestra el diseño de experimentos para obtener las mediciones de los ángulos obtusos ubicados en el segundo cuadrante del plano cartesiano. El sistema utiliza un microcontrolador para ejecutar el procesamiento de señales con ángulos de 0 a 50°.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Sistema propuesto para medición de ángulo de inclinación.

La validación se forma de tres cálculos: teórico mediante la Ley de Senos para calcular el ángulo desde perspectiva trigonométrica. Práctico a través de una medición manual con un transportador. Y de manera electrónica mediante el sistema propuesto basado en IMUs tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Comparativa de mediciones de ángulo de inclinación.

	MPU6050	MPU9250	GY-80	GY-87
Ángulo de lectura	33.75°	47.2°	27.3°	15.7°
Ángulo de transportador	33°	48°	26°	16°
Ángulo trigonométrico	33.4	47.5°	27°	15.4°

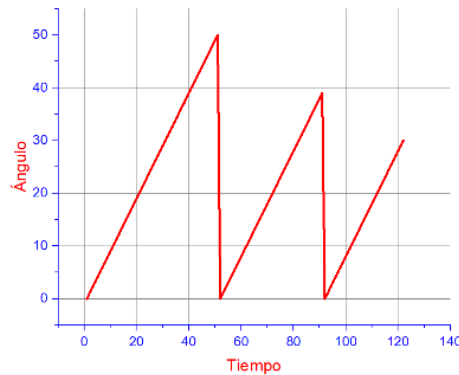
Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se muestra un gráfico de la medición de ángulo en función del tiempo, con ayuda del software se realiza una secuencia automática de movimiento de vaivén y se registran los datos de la medición durante un tiempo específico.

### 4. Discusión

La versatilidad, la precisión, el bajo costo y el tamaño compacto de dispositivos propuestos llevan un amplio uso en una variedad de aplicaciones tecnológicas,

mejorando significativamente la eficiencia y el rendimiento en una variedad de campo. En específico un caso de estudio particular se pretende medir el ángulo de inclinación del ejercicio puente pélvico (Figura 6), así como aceleraciones lineales para restringir la velocidad de levantamiento, sin duda los dispositivos IMU son útiles para mediciones de este tipo.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Gráfica de una prueba dinámica de movimiento.



Fuente: obtenida de [Gamiño et al., 2021].

Figura 6 Ejercicio de puente pélvico.

## 5. Conclusiones

En resumen, este estudio comparativo proporciona una visión completa de las capacidades y limitaciones de varios IMU en el contexto de mediciones físicas. Tal es el caso de este estudio en rehabilitación física iniciado en 2021 con la investigación "Ergonomic support for pelvic tilt for use in rehabilitation", un caso específico de terapia ocupacional actualmente se incorpora la medición del ángulo de inclinación para la correcta ejecución del ejercicio de levantamiento de puente pélvico en pacientes con problemas motrices originados por accidentes cerebrovasculares.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Faisal, I. A., Purboyo, T. W., Siswo, A., & Ansori, R. (2020). A Review of Accelerometer Sensor and Gyroscope Sensor in IMU Sensors on Motion Capture. In *Journal of Engineering and Applied Sciences* (Vol. 15, Issue 3).
- [2] Fedorov, D. S., Ivoylov, A. Y., Zhmud, V. A., & Trubin, V. G. (n.d.). Using of Measuring System MPU6050 for the Determination of the Angular Velocities and Linear Accelerations.
- [3] Gamiño, E. C., Medina Martínez, V., Guadalupe, J., Campos, U. P., Tamayo Gómez, M. A., Alejandro, A., & Garibay, J. (2021). Soporte ergonómico para inclinación pélvica para uso en rehabilitación fisioterapéutica ergonomic support for pelvic tilt for use in rehabilitation. In *Tecnológico Nacional de México en Celaya Pistas Educativas* (Vol. 43, Issue 140). <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [4] Jalal, A., Quaid, M. A. K., Ud Din Tahir, S. B., & Kim, K. (2020). A study of accelerometer and gyroscope measurements in physical life-log activities detection systems. *Sensors* (Switzerland), 20(22), 1–23. <https://doi.org/10.3390/s20226670>.
- [5] Kirbas, I. (n.d.). Developing a signal similarity analyse software for accelerometer sensor data. [www.scientific-publications.net](http://www.scientific-publications.net).
- [6] Passaro, V. M. N., Cuccovillo, A., Vaiani, L., De Carlo, M., & Campanella, C. E. (2017). Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective. In *Sensors* (Switzerland) (Vol. 17, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s17102284>.
- [7] Varanis, M., Silva, A., Mereles, A., & Pederiva, R. (2018). MEMS accelerometers for mechanical vibrations analysis: a comprehensive review with applications. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(11). <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1445-5>.