

HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS PARA TÓPICOS DE SENSORES INTELIGENTES: UN ÁREA DE DESARROLLO EMERGENTE

ROBERTO GIOVANNI RAMÍREZ CHAVARRÍA,
DAAN Yael MALDONADO URIOSTIGUE,
LAURO SANTIAGO CRUZ, RAFAEL OLGUÍN ALONSO
Y DANIEL MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

Introducción

En el contexto de la transformación digital y la Industria 4.0, los sensores inteligentes representan un área estratégica para la innovación tecnológica y la formación de recursos humanos altamente especializados ^[1]. A diferencia de los sensores tradicionales, los sensores inteligentes integran procesamiento embebido, algoritmos de calibración y comunicación, lo que permite generar datos de alta calidad e integrarlos en sistemas ciberfísicos ^[2].

Aunque su uso se ha extendido en campos como la salud, manufactura, robótica y ciudades inteligentes, su enseñanza formal sigue rezagada. En muchos programas de ingeniería, el enfoque se limita a principios físicos de operación, sin abordar procesamiento de señales ni análisis de datos ^[3]. Esto crea una brecha entre las habilidades de los egresados y las demandas tecnológicas del entorno productivo. En particular, los estudiantes rara vez interactúan con sensores inteligentes reales.

Ante esta situación, se requiere desarrollar herramientas didácticas que permitan comprender tanto el funcionamiento físico de los sensores como su integración con algoritmos de estimación, control y aprendizaje automático. En 2023, la Subdirección de Electromecánica del Instituto de Ingeniería creó un área de investigación enfocada en sensores inteligentes, buscando la convergencia de tres ejes: nuevos materiales sensores, dispositivos de medición integrados y algoritmos avanzados de procesamiento.

El grupo de trabajo propone definir los sensores inteligentes como aquellos capaces de obtener información relevante a partir de datos escasos o indirectos, aunque esta conceptualización aún requiere formalización para su adopción en la comunidad universitaria.

En este contexto, surge una iniciativa respaldada por el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), centrada en el diseño de recursos educativos y proyectos experimentales que abordan el diseño, modelado y validación de sensores inteligentes. Este artículo presenta los avances logrados por el equipo, que ha generado herramientas didácticas replicables y adaptables por la comunidad académica para apoyar actividades de enseñanza e investigación.

Libro digital sobre estimación paramétrica

El libro digital se ha diseñado como un recurso abierto e interactivo, en el que cada capítulo combina teoría, animaciones, código, y estudios de caso reales. El objetivo es que los lectores comprendan no sólo los fundamentos matemáticos de la estimación paramétrica, sino también su implementación práctica para caracterizar sensores o procesos físicos ^[4]. A lo largo de cuatro capítulos presentados, se abordan distintas estrategias basadas en mínimos cuadrados para la identificación de sistemas y su aplicación en sensores inteligentes. En el primer capítulo, se presentan los fundamentos de los mínimos cuadrados en sus variantes ordinaria, recursiva y con factor de olvido, resaltando su importancia en la estimación de parámetros en tiempo real. Posteriormente, en el segundo capítulo, se analiza el caso de una galga extensiométrica modelada como un sistema dinámico, donde se aplica la estimación por mínimos cuadrados para determinar la masa aplicada sobre ella. En conjunto, el libro digital pretende mostrar cómo la sinergia de sensores y algoritmos de estimación permite mejorar la precisión, confiabilidad y funcionalidad de los sistemas de medición, abriendo nuevas posibilidades en el desarrollo de sensores inteligentes para diversas aplicaciones en ingeniería.

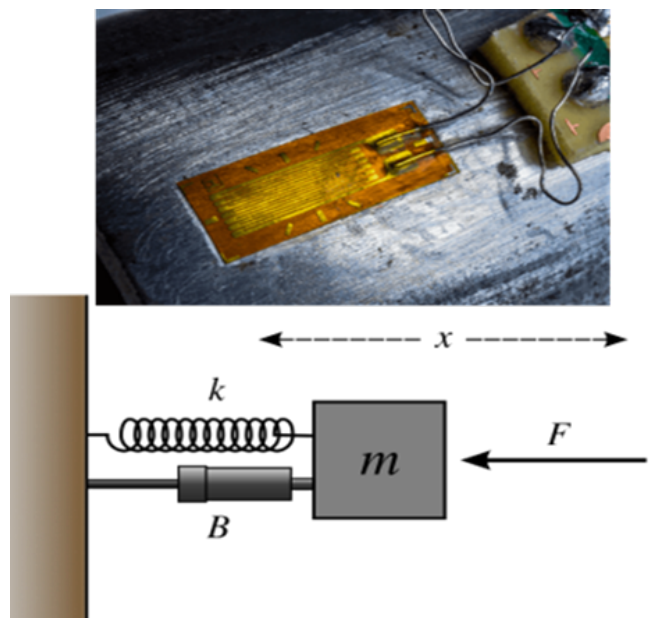


Figura 1. Galga extensiométrica

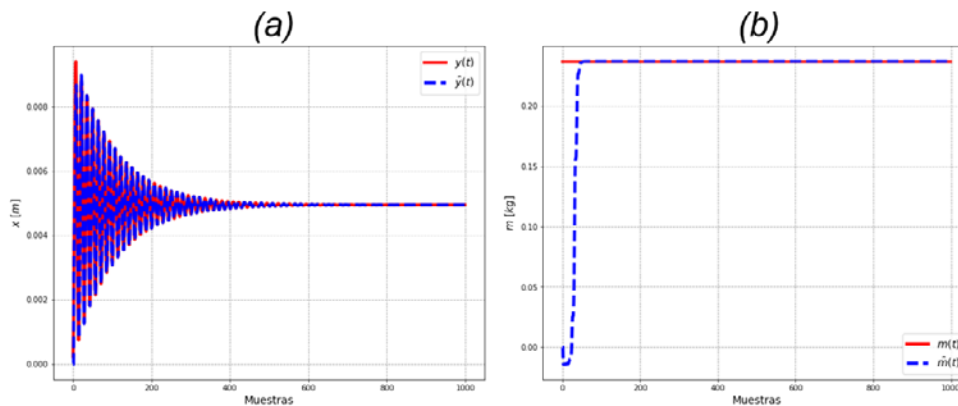


Figura 2 a) Señal de salida medida y estimada de la galga extensiométrica, b) Estimación en tiempo real de la masa aplicada a la galga extensiométrica

Un ejemplo práctico son las galgas extensiométricas (ver Figura 1), ampliamente utilizadas en aplicaciones de medición de deformación, ya que permiten transformar cambios físicos en variaciones de resistencia eléctrica. Aunque comúnmente las galgas son descritas como elementos estáticos, en muchas situaciones prácticas, su comportamiento dinámico afecta la precisión de las mediciones, especialmente cuando se integran en sistemas que involucran cambios rápidos o fuerzas en movimiento.

En la Figura 2 se muestran los resultados de emplear técnicas de estimación paramétrica sobre las mediciones de una galga extensiométrica. La Figura 2 a) muestra la salida registrada por el instrumento de medición (traza roja), la cual es aproximada mediante el método de mínimos cuadrados recursivos (traza azul discontinua). Lo anterior se logra al minimizar una función objetivo entre los datos y el modelo dinámico de la galga. De forma concurrente, el objetivo final es estimar el valor de la masa aplicada a la galga, a partir de la salida medida. El resultado de este proceso se muestra en la Figura 2 b), en donde se observa como el valor estimado de la masa (traza azul discontinua) sigue con exactitud el valor real de ésta, obtenido mediante un instrumento convencional.

Los resultados anteriores permiten concluir que los sensores convencionales pueden ser equipados con algoritmos de estimación y tratamiento de datos, para dotar de inteligencia a los dispositivos de medición, cuya aplicación puede ser extensiva a una gran variedad de procesos y problemas.

Para mayor referencia, se invita al lector a revisar el libro digital en la siguiente dirección electrónica: <https://daanmal-donadou.github.io/landing.html>

Acelerómetro inteligente

Para esta herramienta, se implementó un módulo para la medición de aceleración utilizando un microcontrolador Raspberry Pi Pico W, complementado con un adaptador de memoria Micro SD, un conversor USB-UART FT232 (FTDI) para la comunicación serial y un acelerómetro MEMS de la serie ADXL35x.

Todo esto para desarrollar el concepto de sensor inteligente – acelerómetro, con base en elementos de hardware - software y una interfaz hombre-máquina. Este sistema desarrollado, con base en el acelerómetro, permite realizar las siguientes funciones, desde la interfaz hombre-máquina: *Autoprueba, Medición continua, Calibración y Modo espera*.

El microcontrolador es responsable de la monitorización y control del acelerómetro para la ejecución de estas funciones, y utiliza su ADC para la cuantificación de las mediciones. La limitación de la memoria llevó a la implementación de un almacenamiento externo a través de un módulo adaptador de memoria Micro SD. Para la visualización de los datos del sensor y la interacción usuario-sistema, se desarrolló una interfaz gráfica que presenta un menú interactivo. Este menú permite controlar las diversas funcionalidades del sistema y, cuando es necesario, despliega gráficas para visualizar los resultados. Tras superar las pruebas iniciales y realizar las modificaciones pertinentes, el sistema fue puesto a punto y actualmente opera de forma completamente funcional.

En la Figura 3 se muestra una fotografía del prototipo desarrollado, el cual se diseñó mediante una carcasa de aluminio para proteger el acelerómetro de posibles daños mecánicos causados por vibraciones o impactos en el entorno de operación.

Se creó la presente aplicación con el objetivo de desarrollar una herramienta didáctica que permita mostrar los principios, beneficios y alcances de los sensores inteligentes. Ésta presenta

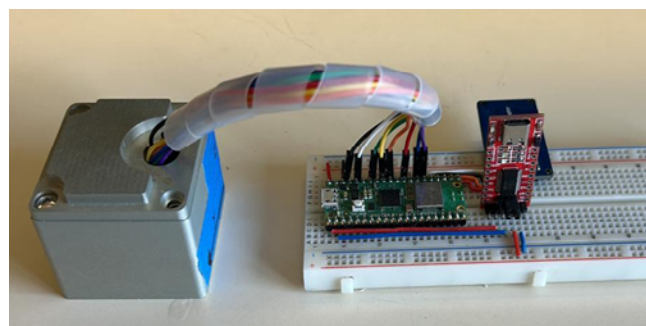


Figura 3 Prototipo de acelerómetro inteligente.

un menú principal con opciones que el usuario puede seleccionar; cada una relacionada con el concepto de sensor inteligente. La capacidad de “inteligencia” del sensor no solo permite que el sistema entregue datos ya procesados al usuario, sino que también habilita la incorporación de funciones avanzadas directamente a nivel del sensor. Como ejemplo ilustrativo, en la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos al ejecutar la función de medición continua del acelerómetro, empleando una aplicación interactiva desarrollada por el equipo de trabajo.

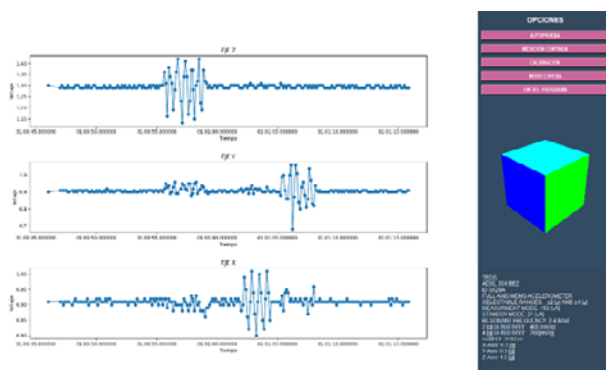


Figura 4 Grafica del funcionamiento en Medición Continua del acelerómetro inteligente

Aplicaciones con cómputo en la nube

La incursión de dispositivos móviles inteligentes como elementos que permiten realizar actividades de enseñanza abrió nuevas posibilidades para acercar a los estudiantes a fenómenos reales mediante herramientas accesibles. En el marco de la Educación 4.0, que promueve el aprendizaje centrado en el estudiante y orientado a proyectos interdisciplinarios, los sensores incorporados en teléfonos móviles (como acelerómetros, magnetómetros, giroscopios, micrófonos, GPS, entre otros) se presentan como instrumentos didácticos privilegiados para capturar datos del entorno inmediato. Cuando estas capacidades se integran con herramientas como MATLAB Mobile, se abre un espectro amplio de posibilidades para el análisis de datos en tiempo real, la visualización gráfica y la simulación de modelos dinámicos desde una perspectiva auténticamente *STEM*. Con la función de sincronización hacia MATLAB Cloud, los estudiantes no sólo pueden adquirir datos mediante su teléfono, sino también compartir, comparar y colaborar en tiempo real con otros compañeros o docentes (ver Figura 5).

Un ejemplo de aplicación es el prototipo denominado *gravímetro sonoro*, el cual utiliza la señal acústica del impacto de dos esferas en caída libre para determinar experimentalmente el valor de la aceleración gravitacional (Figura 5 (b)). A través de la grabación del sonido con un teléfono móvil y el análisis de las señales en MATLAB, los estudiantes no solo logran resultados precisos, sino que aprenden a interpretar datos experimentales, detectar errores sistemáticos y aplicar herramientas computacionales a fenómenos físicos concretos.

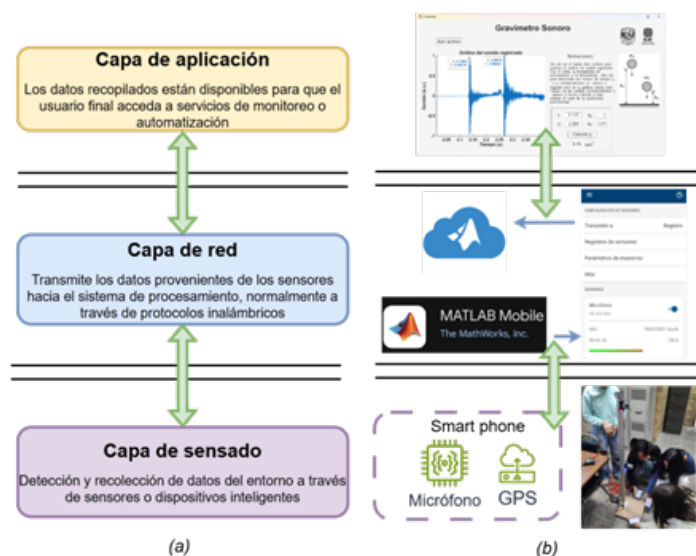


Figura 5 (a) Estructura básica del Internet de las Cosas (IoT: Internet of Things) ^[2], (b) Implementación de la estructura básica de IoT para la Educación 4.0 empleando dispositivos móviles inteligentes y la suite de MATLAB (MATLAB Mobile, MATLAB Cloud) ^[5]

Agradecimientos

Trabajo realizado gracias al apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), a través de los proyectos PE101524 y PE100725. |

Referencias

- [1] A. Boltsi, K. Kalovrektis, A. Xenakis, P. Chatzimisios and C. Chaikalas, "Digital Tools, Technologies, and Learning Methodologies for Education 4.0 Frameworks: A STEM Oriented Survey," in IEEE Access, vol. 12, pp. 12883-12901, 2024.
- [2] I. Ali, I. Ahmady, A. Gani, M. U. Munir and M. H. Anisi, "Data Collection in Studies on Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSNs), and Sensor Cloud (SC): Similarities and Differences," in IEEE Access, vol. 10, pp. 33909-33931, 2022.
- [3] J. Mearnchu, "Problem-based learning using a demonstration of sensor system," 2022 7th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed), pp. 1-4, 2022.
- [4] D. Y. Maldonado Uriostigue and R. G. Ramírez Chavarría, "A virtual laboratory on recursive least-squares estimation for undergraduate courses," Memorias del Congreso Nacional de Control Automático, pp. 422-427, 2024.
- [5] Bernal E, Martínez-Gutiérrez D, Valera B, Sánchez S, Posadas D, Ascanio G. Sonic gravimeter for determining the acceleration of gravity: A laboratory experiment for undergraduate students. International Journal of Mechanical Engineering Education. 2024;0(0). doi:10.1177/03064190241261058.