VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Sistema de monitoreo de señales de un acelerómetro utilizando el ESP32

ESP32-Based Accelerometer Signal Monitoring

[1]Fabian García Chávez, [2]Carlos Rodríguez Doñate, [3]Eduardo Cabal Yepez

Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, f.garciachavez@ugto.mx, c.rodriguezdonate@ugto.mx , educabal@ugto.mx

Resumen

El monitoreo de vibraciones es una técnica ampliamente utilizada en la industria para evaluar el estado de funcionamiento de motores, permitiendo detectar anomalías y realizar mantenimiento predictivo. En este proyecto se desarrolló un sistema de monitoreo deseñales de un acelerómetro utilizando un microcontrolador ESP32, el cual, gracias a sus capacidades de procesamiento y conectividad propias del Internet de las Cosas (IoT), realiza la adquisición de señales provenientes de un sensor acelerómetro MPU6050. Las muestras de aceleración son transmitidas mediante comunicación serial hacia una computadora, donde una aplicación desarrollada en Python almacena la información, genera gráficas de la señal en el dominio del tiempo y realiza el análisis espectral mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT). La etapa experimental, que permitió corroborar el funcionamiento del sistema de adquisición, se realizó en un eslabón de un robot cartesiano, el cual se desplazó siguiendo una trayectoria con dinámica controlada mientras se llevaba a cabo la adquisición de la señal.

Palabras clave: Vibraciones, acelerómetro, IoT, FFT.

Introducción

La implementación de sistemas de monitoreo de vibraciones en entornos industriales ha cobrado gran relevancia en los últimos años gracias a la llegada de sensores inteligentes y soluciones IoT de bajo coste. Estudios recientes muestran la eficacia de enfoques basados en vibración para detectar fallas, lo que ha permitido destacan el papel de sensores y la IOT para la creación de una industria inteligente (Radicioni et al., 2025; Babiuch et al., 2021; M. Vrchota et al., 2021). Investigaciones sobre implementaciones IoT de bajo costo han demostrado su viabilidad para realizar mantenimiento predictivo mediante nodos con capacidad de adquisición y transmisión de datos (Kolok et al., 2025). Por otro lado, trabajos centrados en sensores inerciales y filtros complementarios describen las consideraciones de precisión y tratamiento de la señal para unidades como el MPU6050, relevantes cuando se emplean microcontroladores como el ESP32 para adquisición y preprocesamiento local (Sultan et al., 2022; Babiuch et al., 2019). En conjunto, estas líneas de trabajo sustentan el desarrollo de soluciones embebidas que combinan adquisición de señales de vibración, su procesamiento y análisis para mantenimiento predictivo en maquinaria industrial.

Bajo este contexto, Se propone el diseño de un sistema de monitoreo de señales de un acelerómetro basado en ESP32. Con este sistema se realiza la adquisición y transmisión de las señales por un protocolo serial a una aplicación en Python que registra los datos, grafica la señal en el tiempo y realiza análisis espectral con FFT.

Metodología propuesta

En la Figura 1 se muestra el diagrama a bloques del sistema desarrollado para la adquisición y análisis de señales de vibración. El sistema está conformado por un acelerómetro MPU6050, un microcontrolador ESP32 y una aplicación desarrollada en Python para la adquisición, almacenamiento y procesamiento de los datos.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

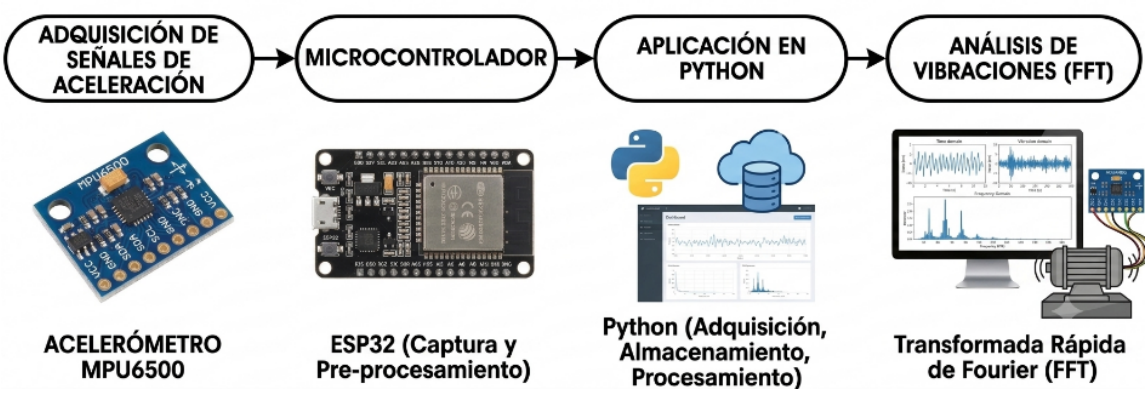


Figura 1. Diagrama a bloques de la metodología del proyecto.

A continuación, se describe cada uno de los bloques de esta propuesta:

Bloque1: acelerómetro tipo MEMS. El acelerómetro utilizado fue el MPU-650 el cual es un sensor inercial tipo MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) de 6 grados de libertad. De acuerdo con la literatura de la IEEE sobre transductores inerciales, los acelerómetros MEMS integran una masa de prueba micromecanizada de silicio suspendida sobre una estructura elástica. Ante una aceleración externa o la acción de la gravedad, el desplazamiento mecánico de esta masa genera una variación de capacitancia proporcional a la fuerza aplicada. Este dispositivo integra una etapa de acondicionamiento de señal con convertidores analógico-digitales (ADC) de 16 bits por canal, los cuales cuantifican la aceleración triaxial (Ax, Ay, Az). La transferencia de datos hacia el microcontrolador ESP32 se ejecuta mediante la interfaz de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) operando en modo rápido, garantizando una tasa de muestreo sostenida de Fs = 333.67 Hz a lo largo de un intervalo de captura de N = 2048 muestras (Babiuch, M, 2025).

Bloque 2: Microcontrolador ESP32-WROOM-32 (38 Pines). El desarrollo del sistema de adquisición utiliza la tarjeta ESP32 DevKit V1 de 38 pines, integrada con el módulo SoC ESP-WROOM-32 de Espressif Systems. Este sistema cuenta con un procesador de 32 bits Xtensa Dual-Core LX6 operando a una frecuencia de 240 MHz, 520 KB de memoria SRAM interna, 4 MB de memoria Flash para almacenamiento de código y 38 terminales distribuidas para entradas/salidas digitales y periféricos por hardware. Para la adquisición continua de señal, se hace uso del bus de comunicación por hardware I2C, asignado en esta placa a los pines dedicados GPIO21 (SDA) para datos y GPIO22 (SCL) para la señal de reloj, logrando una tasa de transferencia de alta velocidad con el sensor MPU-6050. Adicionalmente, el puerto de comunicación UART asignado a los pines TX0 (GPIO1) y RX0 (GPIO3) se conecta mediante el convertidor USB a serie para transmitir las tramas de vibración a una velocidad de 115,200 baudios hacia la interfaz gráfica de usuario.

Bloque 3: Comunicación serial entre Python y el microcontrolador ESP32 (MicroPython). Python tiene la capacidad para establecer una comunicación serial USB 2.0 con cualquier sistema de adquisición o de control; específicamente, el ESP32 ejecuta MicroPython para gestionar la adquisición del sensor y la comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) para la transferencia y recepción de datos seriales a alta velocidad. Bajo estos protocolos de comunicación y Python, se desarrolló la interfaz gráfica de usuario (GUI) en PySide6 con la cual se comunica el sistema de monitoreo para la adquisición de las señales a procesar para obtener la identificación y localización de los picos de vibración y aceleración del sistema.

Bloque 4: Análisis de Vibraciones mediante Transformada Rápida de Fourier (FFT). Una vez que se han transmitido las señales de vibraciones a la GUI se realiza el análisis de las señales con la FFT, ya que es una técnica estándar para la detección de anomalías y la caracterización de parámetros de operación de las

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

máquinas. Las vibraciones registradas en la carcasa de las máquinas responden a factores como conmutaciones magnéticas, variaciones del torque y excentricidades en el eje. En el procesamiento de señales de maquinaria rotativa, la frecuencia fundamental del espectro de magnitud (f_0) está directamente relacionada con la velocidad de rotación angular del motor (N) expresada en revoluciones por minuto (RPM), según la ecuación fundamental del análisis modal (Sultan, J. M, 2021):

$$N = f_0 * 60 \quad (1)$$

Por lo tanto, la validación del sistema se realizará en un eslabón de un robot cartesiano mientras este ejecuta una trayectoria con un perfil de movimiento ya que en las fases de aceleración y desaceleración introducen transitorios de alta frecuencia. Para mitigar el fenómeno de fuga espectral (spectral leakage) ocasionado por el truncamiento de la señal temporal, las mediciones brutas fueron filtradas mediante una función de ventana Hanning antes de aplicar la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Resultados

Para validar el funcionamiento del sistema diseñado, el acelerómetro se moto sobre el motor de uno de los eslabones del robot cartesiano como se muestra en la figura 2. La trayectoria que realizo se diseñó con las siguientes características: Posición final de 200,000 cuentas de encoder, velocidad máxima de 80,000 cuentas de encoder/s y una aceleración máxima de 35,000 cuentas de encoder/s2. La

.



(a) (b) (c)

Figura 2. Validación experimental. (a) Motor a utilizar con acelerómetro montado, (b) robot cartesiano, (c) trayectoria con dinámica controlada.

Por otro lado, la figura 3, muestra la interfaz gráfica en PySide6 con la cual se comunica el sistema de monitoreo para la adquisición de las señales a procesar para obtener la identificación y localización de los picos de vibración y aceleración del sistema. Esta figura muestra las señales adquiridas en el dominio del tiempo y su análisis en el dominio de la frecuencia. En la sección izquierda se despliegan los parámetros de adquisición que corresponden a un total de 2048 muestras capturadas a una frecuencia de muestreo (F_s) de 333.67" Hz". En la sección derecha se muestran las señales temporales (duración de 6.13 s) y sus correspondientes espectros de frecuencia (FFT). Se observa una concordancia temporal entre la duración de la vibración registrada y la trayectoria programada del motor, identificando componentes espectrales prominentes.

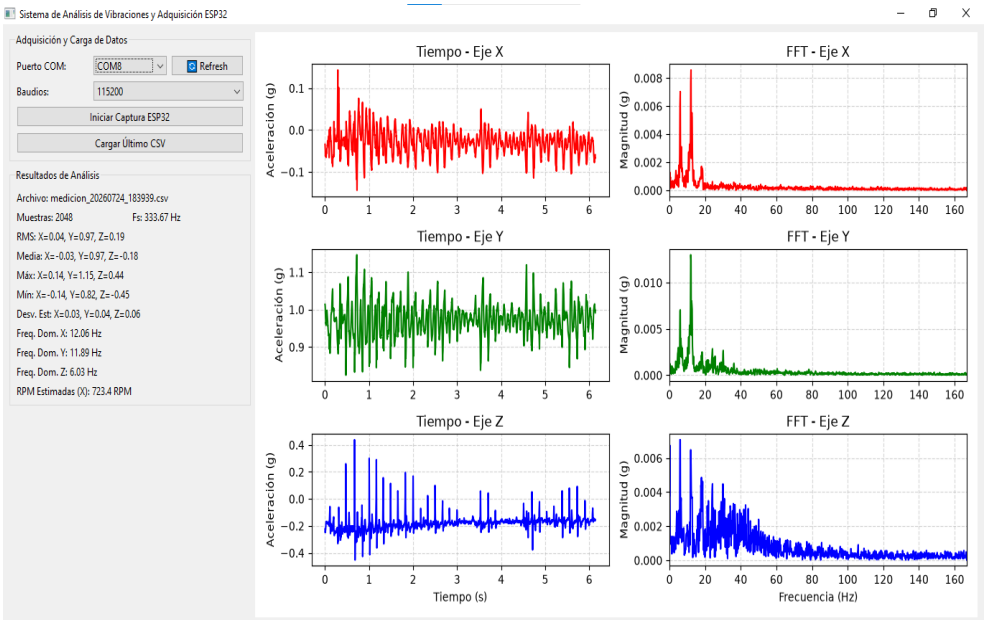


Figura 3. Interfaz del sistema de adquisición y procesamiento de datos mostrando los resultados del análisis de vibraciones.

Conclusiones

El uso del sensor acelerómetro MPU-6050 acoplado a la carcasa del motor demostró ser totalmente efectivo para caracterizar su respuesta dinámica. Para la etapa del sistema embebido, se realizó la carga e implementación del firmware de MicroPython en el microcontrolador ESP32, lo cual permitió programar de manera eficiente la lectura del sensor y la transmisión continua de datos mediante scripts optimizados en el dispositivo. A través del bus de comunicación I2C gestionado por MicroPython, se obtuvieron lecturas continuas durante 6.13 segundos de ejecución, enviando la información mediante UART/USB hacia la aplicación principal en Python. El procesamiento digital de las mediciones permitió convertir las lecturas brutas en un espectro de magnitud física (g), identificando picos espectrales claros por debajo de los 40 Hz y demostrando la capacidad integral del firmware en MicroPython junto con la interfaz en Python para el diagnóstico dinámico en sistemas con motores.

Referencias

Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019, May). Using the ESP32 microcontroller for data processing. In IEEE 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765944

Kolok, P., Hodoň, M., Ševčík, P., Hotz, L., & Remy, N. (2025). Low-Cost IoT-Based Predictive Maintenance Using Vibration. Sensors, 25(21), 6610. https://doi.org/10.3390/s25216610

Radicioni, L.; Bono, F.M.; Cinquemani, S. Vibration-Based Anomaly Detection in Industrial Machines: A Comparison of Autoencoders and Latent Spaces. Machines 2025, 13, 139. https://doi.org/10.3390/machines13020139

Sultan, J. M., Zani, N. H., Azuani, M., Ibrahim, S. Z., & Yusop, A. M. (2022). Analysis of inertial measurement accuracy using complementary filter for MPU6050 sensor. Jurnal Kejuruteraan, 34(5), 959-964. https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(5)-24

Vrchota, M.; Bednář, J., Predictive Maintenance and Intelligent Sensors in Smart Factory: Review. Sensors 2021, 21, 1470. https://doi.org/10.3390/s21041470