



UNIÓN DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES Y GRADUADOS
EN LA INGENIERÍA DE LA
RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA

UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAIIE)

“CONVOCATORIA 2026”

X PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
TECNOLÓGICA

Título del Trabajo: VibeTrack IoT

AUTOR/ES:

Marcos Ortún Dianu.

Julio Adrián Enyendi.

Daniel Rodríguez Gallardo.

BLOQUE TEMÁTICO:

Urbanismo Inteligente

Industria 4.0

NIVEL EDUCATIVO:

Segundo curso de Grado Medio (FP). Tipo C

COORDINADOR:

Jose Antonio Cámara Madrid



Índice de contenido

Contenido

| | |
|---|-----------|
| Índice de contenido..... | 2 |
| 0. Agradecimientos..... | 3 |
| 1. Resumen ejecutivo..... | 4 |
| 2. Introducción y contexto..... | 4 |
| 2.1 <i>Identificación del problema y justificación.....</i> | <i>4</i> |
| 2.2 <i>Contexto.....</i> | <i>4</i> |
| 2.3 <i>Relación con el concurso.....</i> | <i>5</i> |
| 3. Objetivos..... | 6 |
| 3.1 <i>Objetivo principal.....</i> | <i>6</i> |
| 3.2 <i>Objetivos específicos.....</i> | <i>6</i> |
| 3.3 <i>Resultados esperados.....</i> | <i>7</i> |
| 4. Marco Tecnológico..... | 7 |
| 4.1 <i>Marco tecnológico.....</i> | <i>7</i> |
| 4.2 <i>Fundamentación teórica.....</i> | <i>7</i> |
| 5. Metodología..... | 8 |
| 5.1 <i>Observación.....</i> | <i>8</i> |
| 5.2 <i>Hipótesis.....</i> | <i>9</i> |
| 5.3 <i>Diseño de la solución.....</i> | <i>9</i> |
| 5.4 <i>Planificación.....</i> | <i>10</i> |
| 6. Diseño de la solución..... | 11 |
| 7. Desarrollo e implementación..... | 13 |
| 7.1 <i>Integración del sistema.....</i> | <i>14</i> |
| 7.2 <i>Evidencias.....</i> | <i>15</i> |
| 7.3 <i>Limitaciones actuales.....</i> | <i>16</i> |
| 8. Innovación y valor añadido..... | 16 |
| 9. Impacto y viabilidad..... | 17 |
| 10. Presupuesto del prototipo..... | 17 |
| 11. Conclusión..... | 19 |

0. Agradecimientos

Los autores de este proyecto desean expresar su más sincero agradecimiento a todas las personas que han formado parte de su desarrollo y que han contribuido, de una u otra manera, a su realización, desde conserjes, compañeros de clase, jefatura de estudios, dirección, empresa, profesores por la disponibilidad y a los miembros de este grupo.

A los profesores, tutores, por su dedicación, orientación y paciencia, así como al tutor del proyecto Jose, cuya guía ha sido clave para dar forma a este trabajo. Del mismo modo, agradecen al tutor de prácticas y tutor de segundo curso, Rafa, por su acompañamiento y por compartir sus conocimientos y experiencia profesional.

A la empresa Vialware, en especial a Cristian por brindarnos la oportunidad de aprender en un entorno real, competitivo y por su apoyo durante el periodo de prácticas.

Asimismo, deseamos agradecer a nuestros padres, familia y amigos, por su apoyo incondicional, comprensión y ánimo constante, especialmente en los momentos más exigentes.

A nuestros compañeros del ciclo, tanto a profesores de primero como de segundo curso Julia, Rosana, Jose Ángel, Víctor, Rodrigo y el resto de profesores, y a la dirección del centro Fernando y jefatura por facilitar los recursos y el entorno necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Expresar nuestro agradecimiento a conserjería de Educación, a la Junta por la dotación del aula apeteca, que hemos podido utilizar herramientas como corte láser, impresión 3D, croma, dispositivos de IA en local..., que nos han facilitado y ayudado de manera exponencial al desarrollo de ideas y a fomentar nuestro espíritu emprendedor.

Y también agradecer a los compañeros de proyecto, por el esfuerzo, colaboración y compañerismo a lo largo de todo el proceso. Su implicación y apoyo han sido fundamentales para alcanzar este resultado.

Agradecer a la unión de asociaciones de ingenieros técnicos industriales y graduados en ingeniería de la rama industrial de España por promover la cultura de innovación y fomentar las profesiones industriales dentro del país.

Finalmente, agradecen a todas aquellas personas que, directa o indirectamente, han contribuido a la realización de este trabajo.

Agradecer a la organización del concurso por animar y motivar a realizar ideas que fomenten la innovación.

Muchas gracias.

Daniel, Marcos y Julio.

1. Resumen ejecutivo.

El proyecto “Sistema de predicción de fallos en en vías de tren mediante machine learning”, cuyo nombre comercial Vibetrack lot tiene como objetivo desarrollar una plataforma de servicio mediante sistemas de internet de las cosas (en adelante, iot), de bajo coste capaces de predecir posibles defectos estructurales en infraestructuras como por ejemplo: fallos estructurales en puentes, monitorización del estado de vías, carreteras, monitorización del tráfico, estado de edificios con daños para su estudio..

La propuesta se basa en la recopilación de variaciones de movimiento de los sensores, vibraciones, en todos los ejes, lectura de temperatura (compensar las contracciones-dilataciones y hacer una mejor estimación), procesamiento de datos obtenidos a partir de estos sensores de monitoreo estructural (acelerómetros, sensores de vibración, temperatura, entre otros). Estos datos serán analizados mediante un modelo de aprendizaje automático capaz de identificar patrones anómalos, desde correlaciones de varias variables hasta modelos más complejos y predecir fallos antes de que ocurran, para predecir sucesos en tiempo real.

El proyecto tendrá varias etapas: desde el prototipado hasta la fabricación del mock-up y puesta a punto del mismo. El primer punto es la adquisición de datos, procesamiento y limpieza de información, entrenamiento de modelos predictivos y generación de alertas tempranas. Para ello se emplearán algoritmos de aprendizaje supervisado, así como técnicas de análisis de series temporales para detectar comportamientos anormales en el estado estructural, modelos simples pero funcionales que garanticen el funcionamiento correcto.

La implementación de esta solución permitirá reducir riesgos estructurales, optimizar los costes de mantenimiento y aumentar la seguridad de las infraestructuras, minimizando los riesgos. Además, facilitará la toma de decisiones basada en datos para ingenieros, técnicos de campo y gestores de infraestructuras.

Como resultado final, se espera obtener una plataforma capaz de monitorear en tiempo real el estado de las estructuras y predecir posibles fallos con alta precisión, contribuyendo a la modernización de los sistemas de mantenimiento y a la prevención de accidentes estructurales.

2. Introducción y contexto.

2.1 Identificación del problema y justificación.

Las infraestructuras como puentes, edificios, vías de tren, túneles y edificios son elementos esenciales para el funcionamiento de las ciudades y la marcha de la economía de un país. Muchas de estas estructuras fueron construidas hace décadas y actualmente enfrentan procesos de envejecimiento, aumento de cargas y condiciones ambientales cambiantes debido al cambio climático, en España sufrimos cambios cada vez más significativos, con oscilaciones de temperatura y variaciones en la pluviometría.

2.2 Contexto.

Actualmente, el mantenimiento de muchas infraestructuras se basa principalmente en inspecciones periódicas manuales realizados por técnicos especializados. Aunque este método es útil, presenta varias limitaciones:



- Las inspecciones suelen realizarse con baja frecuencia, lo que puede retrasar la detección de daños.
- Existe una alta dependencia de la evaluación humana, lo que puede generar subjetividad en el diagnóstico.
- En muchos casos, los problemas estructurales solo se detectan cuando ya se encuentran en una fase avanzada.
- Los sistemas tradicionales de monitoreo estructural generan datos, pero no siempre cuentan con herramientas avanzadas para analizarlos de forma predictiva.

Como consecuencia, los fallos estructurales pueden producir costes elevados de reparación, interrupciones en servicios críticos o incluso riesgos para la seguridad pública. El problema es especialmente relevante en la actualidad por varias razones:

- Envejecimiento de infraestructuras, que requieren sistemas de mantenimiento más eficientes.
- Incremento de eventos extremos (clima, cargas, vibraciones) que pueden acelerar el deterioro estructural.
- Necesidad de optimizar los recursos de mantenimiento y reducir costes operativos en la gestión de infraestructuras.
- Mayor demanda de seguridad y prevención de riesgos en entornos urbanos e industriales.

La capacidad de predecir fallos antes de que ocurran representa un cambio significativo respecto al mantenimiento reactivo tradicional, permitiendo pasar a un modelo de mantenimiento predictivo y preventivo.

2.3 Relación con el concurso.

El proyecto se relaciona directamente con áreas tecnológicas clave como:

- Industria 4.0: integración de sensores, internet of things (iot), sistemas de monitoreo y análisis inteligente de datos para mejorar la gestión de infraestructuras, uso de algoritmos de Machine Learning para analizar datos estructurales y detectar patrones de fallo, la plataforma vibeTrack lot se podría integrar con CAD para tener un gemelo digital.
- Transformación digital de la ingeniería civil (urbanismo Inteligente): aplicación de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y seguridad en la gestión de infraestructuras.
- Vehículos eléctricos, predicción de consumo, el dispositivo de iot puede calcular pendientes, descensos y estimar mejor la autonomía del vehículo.



Figura 1: Relación del proyecto con las temáticas del concurso. Fuente: propia.

3. Objetivos.

3.1 Objetivo principal.

Desarrollar un sistema inteligente basado en técnicas de Machine Learning capaz de analizar datos provenientes de sensores para detectar anomalías y predecir posibles fallos en infraestructuras, con el fin de mejorar la seguridad, optimizar el mantenimiento y reducir riesgos asociados a fallos estructurales.

3.2 Objetivos específicos.

Los objetivos específicos que se persiguen:

- Diseñar un sistema de adquisición y gestión de datos: provenientes de sensores estructurales como vibración, deformación, temperatura y carga, almacenarlos con coherencia y poder enviarlos.
- Procesar y preparar los datos recopilados: realizando tareas de limpieza, normalización y análisis exploratorio para garantizar su calidad.
- Desarrollar y entrenar modelos sencillos de machine learning: capaces de identificar patrones de comportamiento normal y detectar anomalías en las estructuras.
- Implementar un modelo predictivo: que permita anticipar posibles fallos estructurales a partir del análisis de datos históricos y en tiempo real.
- Evaluar el rendimiento del sistema: utilizando métricas de precisión y exactitud para medir la capacidad del modelo en la detección de fallos.
- Diseñar un sistema de visualización o alertas: que permita a los ingenieros y responsables de mantenimiento interpretar fácilmente los resultados y actuar de forma preventiva, (dashboard).

3.3 Resultados esperados.

Los resultados esperados son los siguientes:

- Un sistema funcional de análisis de datos estructurales que permita monitorizar el estado de una infraestructura, fija o dinámica.
- Un prototipo de plataforma o herramienta que genere alertas tempranas cuando se detecten comportamientos anómalos.
- Mejora en la gestión del mantenimiento permitiendo pasar de un mantenimiento reactivo a uno predictivo.
- Dashboard de control de infraestructuras con indicadores clave.

4. Marco Tecnológico.

4.1 Marco tecnológico.

Dentro del marco tecnológico se encuentra el sistema de monitoreo de salud estructural, siendo una disciplina de la ingeniería que se encarga de evaluar el estado de una estructura mediante el uso de sensores y sistemas de adquisición de datos. Estos sistemas permiten medir variables como vibraciones, deformaciones, temperatura, desplazamientos o cargas, con el objetivo de detectar posibles daños o deterioros en las infraestructuras, importante la correlación de variables.

El monitoreo se basa en la recopilación continua o periódica de datos que describen el comportamiento de la estructura durante su funcionamiento. Tradicionalmente, estos datos se analizan mediante métodos estadísticos o modelos físicos, pero en los últimos años se han incorporado técnicas de machine learning e inteligencia artificial que permiten realizar análisis más avanzados y predictivos.

4.2 Fundamentación teórica.

El Machine Learning es una rama de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender patrones a partir de datos y realizar predicciones sin ser programados explícitamente para cada situación, en la actualidad existen librerías desarrolladas en microcontroladores que nos permiten utilizar machine learning en dispositivos embebidos. Existen diferentes enfoques dentro del Machine Learning que pueden aplicarse a este tipo de problemas:

- Aprendizaje supervisado: utiliza datos previamente etiquetados para entrenar modelos capaces de clasificar o predecir fallos estructurales.
- Aprendizaje no supervisado: permite detectar patrones anómalos en los datos sin necesidad de etiquetas previas, lo que es útil cuando no se dispone de muchos ejemplos de fallos.
- Análisis de series temporales: analiza cómo cambian las variables estructurales a lo largo del tiempo para identificar desviaciones del comportamiento normal.

Estas técnicas permiten transformar los datos de sensores en información útil para la toma de decisiones en mantenimiento y seguridad estructural. Los sistemas de monitoreo estructural utilizan diversos tipos de sensores para recopilar información sobre el comportamiento de las infraestructuras. Entre los más utilizados se encuentran:

- Acelerómetros: miden vibraciones y movimientos de la estructura.
- Sensores de deformación: detectan cambios en la deformación de materiales.
- Sensores de temperatura: registran variaciones térmicas que pueden afectar el comportamiento estructural.
- Sensores de desplazamiento: miden movimientos o cambios en la posición de elementos estructurales.

5. Metodología.

5.1 Observación.

El punto de partida del proyecto es la observación de que muchas infraestructuras presentan signos de deterioro con el paso del tiempo, lo que puede generar fallos estructurales si no se detectan a tiempo. Actualmente, la supervisión del estado de estas estructuras suele realizarse mediante inspecciones periódicas, que pueden resultar insuficientes para detectar daños tempranos.



Figura 2: Ejemplo de grietas en edificios. Fuente: Propia

Además, se ha observado que los sistemas modernos de monitoreo estructural generan grandes cantidades de datos provenientes de sensores, pero en muchos casos estos datos no se aprovechan completamente para realizar análisis predictivos. Esta situación abre la posibilidad de aplicar técnicas de análisis de datos y Machine Learning para mejorar la detección temprana de posibles fallos.

5.2 Hipótesis.

La hipótesis principal del proyecto es que el análisis de datos estructurales mediante algoritmos de Machine Learning puede identificar patrones de comportamiento anómalo que indiquen la posibilidad de un fallo estructural antes de que este ocurra. Si se recopilan datos de sensores instalados en una estructura y se analizan mediante modelos predictivos, será posible detectar cambios en el comportamiento normal de la estructura, permitiendo generar alertas tempranas y facilitar la toma de decisiones en el mantenimiento preventivo.

5.3 Diseño de la solución.

La solución propuesta consiste en el desarrollo de un sistema tecnológico compuesto por varios componentes:

- Sistema de adquisición de datos: recopilación de datos provenientes de sensores estructurales como vibración, deformación, temperatura o desplazamiento.
- Procesamiento y preparación de datos: limpieza, organización y transformación de los datos para su posterior análisis.
- Modelo de Machine Learning: desarrollo y entrenamiento de algoritmos capaces de analizar los datos y detectar anomalías o patrones asociados a posibles fallos.
- Sistema de monitoreo y visualización: interfaz o plataforma que permita visualizar el estado de la estructura y generar alertas cuando se detecten comportamientos anormales.



Figura 3: Flujo del diseño de la solución. Fuente: Propia.

5.4 Planificación.

El desarrollo del proyecto se planifica para un total de 400 horas de trabajo repartidas de la siguiente manera:

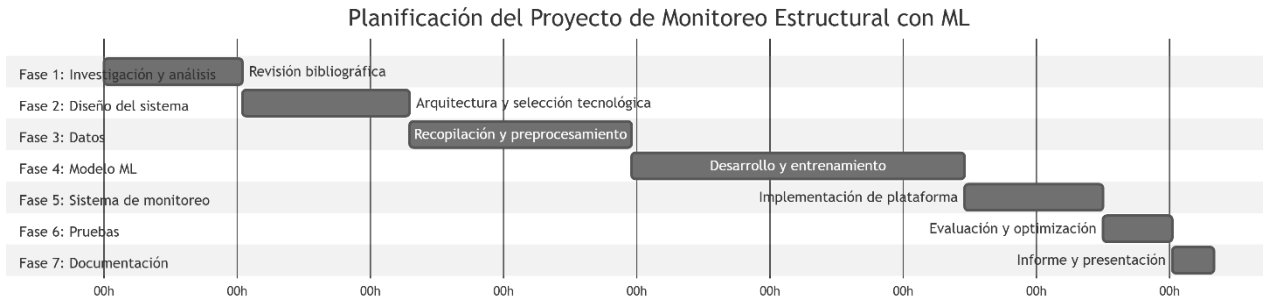


Figura 4: Diagrama de gantt del proyecto

| Fase | Actividades principales | Horas estimadas |
|--|--|-----------------|
| Fase 1: Investigación y análisis del problema | Revisión bibliográfica sobre monitoreo estructural, Machine Learning aplicado a ingeniería y análisis de sistemas existentes | 50 horas |
| Fase 2: Diseño del sistema | Definición de la arquitectura del sistema, selección de sensores, herramientas tecnológicas y metodología de desarrollo | 60 horas |
| Fase 3: Recopilación y preparación de datos | Obtención de datos de sensores o datasets simulados, limpieza, organización y preprocesamiento de los datos | 80 horas |
| Fase 4: Desarrollo del modelo de Machine Learning | Implementación de algoritmos, entrenamiento del modelo, ajuste de parámetros y validación inicial | 120 horas |
| Fase 5: Desarrollo del sistema de monitoreo | Implementación de la plataforma o interfaz de visualización de datos y generación de alertas | 50 horas |
| Fase 6: Pruebas y evaluación del sistema | Evaluación del rendimiento del modelo, análisis de resultados y optimización del sistema | 25 horas |
| Fase 7: Documentación y presentación del proyecto | Elaboración del informe final, preparación de la presentación y revisión del proyecto | 15 horas |

El trabajo se repartirá entre los tres miembros del equipo de forma equilibrada, con aproximadamente 133 horas por persona. Cada integrante asumirá responsabilidades específicas, como:



- Daniel: investigación, análisis del problema y apoyo en el desarrollo del modelo de Machine Learning.
- Marcos: procesamiento de datos y desarrollo principal de los algoritmos de aprendizaje automático.
- Julio: desarrollo de la plataforma de monitoreo, visualización de datos y documentación del sistema.

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán diferentes recursos tecnológicos y técnicos:

- Lenguaje de programación Python para el desarrollo del sistema.
- Librerías de Machine Learning en micropython, análisis de datos como Pandas y NumPy.
- Plataformas de visualización de datos como dashboards o interfaces web.
- OBS Studio y Openshot para la creación de recursos multimedia.
- Sensores estructurales (acelerómetros, sensores de deformación, sensores de temperatura), esp32. IMU, GPS
- Dos portátiles, uno actuando como servidor para ver el dashboard.

6. Diseño de la solución.

La solución propuesta consiste en un sistema de monitoreo estructural inteligente que integra sensores físicos, un sistema de procesamiento de datos y un modelo de análisis basado en Machine Learning. El sistema está diseñado para capturar información del comportamiento de una estructura, procesarla y generar alertas ante posibles anomalías.

La arquitectura del sistema se compone de cuatro capas principales:

1. Capa de adquisición de datos. Incluye los sensores instalados en la estructura. En este proyecto se utilizan:
 - IMU (Unidad de Medición Inercial) para medir aceleraciones y vibraciones.
 - GPS para registrar posición y posibles desplazamientos de la estructura.
 2. Capa de procesamiento. Un microcontrolador ESP32 se encarga de:
 - Leer los datos de los sensores.
 - Procesar la información básica.
 - Gestionar la comunicación entre los componentes.
 3. Capa de comunicación y visualización. Los datos pueden mostrarse en un dashboard para visualización local o transmitirse a un sistema externo para análisis posterior.
 4. Capa de análisis inteligente. Los datos recopilados pueden almacenarse y utilizarse para entrenar modelos de Machine Learning, capaces de detectar patrones anómalos que indiquen posibles fallos estructurales. Los datos se almacenan en un .csv.
- El sistema está diseñado para ser autónomo energéticamente, utilizando una batería recargada mediante un panel solar.



Figura 5: Modelo de la arquitectura basada en capas. Fuente: Propia.

Función de cada componente:

- IMU: detecta vibraciones, inclinación y aceleraciones de la estructura.
- GPS: registra posición y permite detectar desplazamientos o movimientos.
- ESP32: controla el sistema y procesa los datos de sensores.
- Batería: proporciona energía al sistema.
- Panel solar: recarga la batería para permitir funcionamiento autónomo.

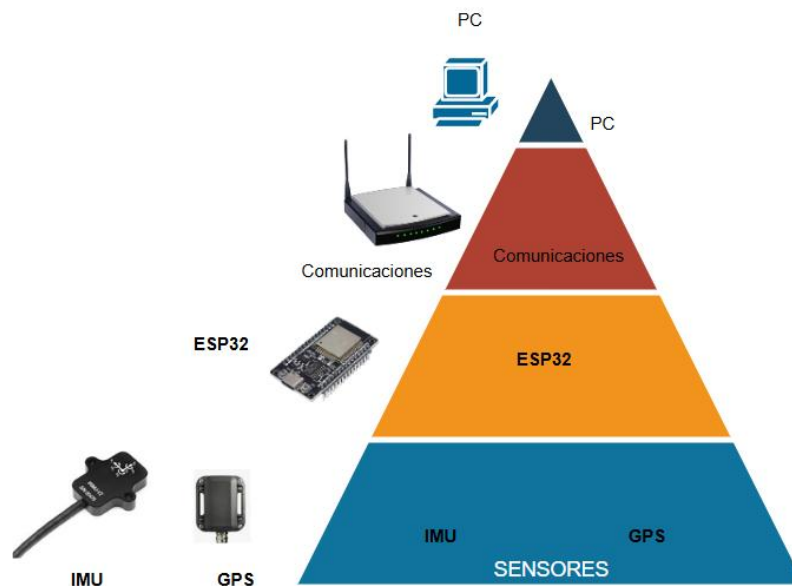


Figura 6: Esquema de componentes por capas. Fuente: Propia.

El funcionamiento lógico del sistema sigue las siguientes etapas:

- Inicialización del sistema. El ESP32 inicia los sensores y establece la comunicación con el GPS y la IMU.
- Adquisición de datos. El microcontrolador recibe datos de aceleración, vibración y posición.
- Procesamiento básico. Se filtran y organizan los datos para obtener información relevante sobre el comportamiento estructural.
- Visualización. Los valores principales se muestran en la pantalla LCD para supervisión local.
- Registro y análisis. Los datos pueden almacenarse o enviarse para su análisis mediante modelos de Machine Learning. Se graban en un .csv
- Detección de anomalías. El sistema analiza si los valores se encuentran fuera de los rangos normales, se pueden configurar sistemas de anomalías en función del servicio a contratar.

7. Desarrollo e implementación.

Para validar el funcionamiento del sistema se ha desarrollado un prototipo funcional que integra sensores, sistema de procesamiento, alimentación autónoma y visualización de datos.

El prototipo está basado en un microcontrolador ESP32, que actúa como unidad central del sistema. Este dispositivo recibe información de una IMU (Unidad de Medición Inercial) para medir vibraciones y aceleraciones, así como de un módulo GPS para registrar la posición y detectar posibles desplazamientos de la estructura o vibraciones anómalas.

Los datos recopilados se muestran en el dashboard, lo que permite observar las mediciones en tiempo real. Todo el sistema se alimenta mediante una batería recargable conectada a un panel solar, lo que permite su funcionamiento autónomo en exteriores.

Además, todos los componentes electrónicos se han instalado dentro de una caja estanca diseñada mecánicamente, con el objetivo de proteger el sistema frente a condiciones ambientales como lluvia, polvo o humedad.

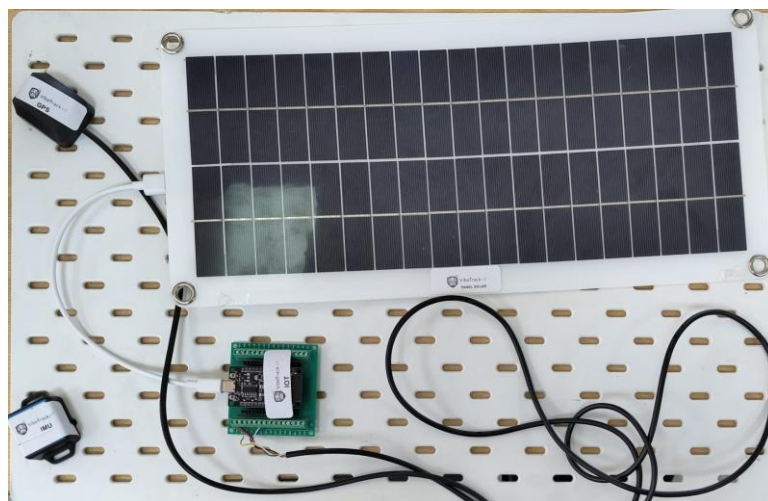


Figura 7: Prototipo desarrollado. Fuente: Propia

El sistema ha sido programado utilizando MicroPython, lo que permite desarrollar software para microcontroladores utilizando una sintaxis similar a Python.

La programación se ha realizado mediante el entorno de desarrollo Thonny IDE, que facilita la escritura, ejecución y depuración del código directamente en el ESP32.

Las principales funciones implementadas en el software incluyen:

- Inicialización del microcontrolador y de los sensores.
- Lectura periódica de los datos de la IMU.
- Obtención de datos de posición mediante el GPS.
- Procesamiento básico de los datos.
- Visualización de información en la pantalla LCD.
- Preparación de los datos para su análisis posterior.

El programa está diseñado para funcionar de manera continua, recopilando datos del comportamiento de la estructura en intervalos regulares. La estructura es la siguiente:

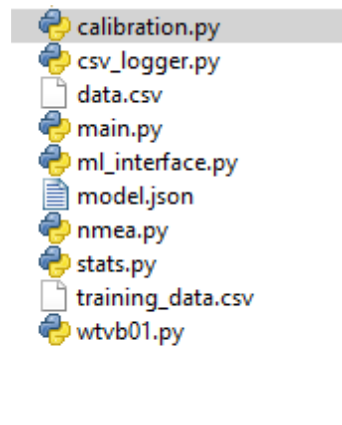


Figura 8: Principales funciones en micropython. Fuente: Propia.

7.1 Integración del sistema

La integración del sistema consiste en la conexión y coordinación de todos los componentes electrónicos, mecánicos y de software para garantizar su funcionamiento conjunto.

El proceso de integración incluye:

- Conexión de sensores al microcontrolador ESP32 mediante interfaces de comunicación como I2C o UART.
- Configuración del sistema de alimentación, asegurando el suministro de energía desde la batería y el panel solar.
- Instalación del software en el ESP32 y comprobación del funcionamiento de todos los módulos.
- Montaje final dentro de la caja estanca, asegurando la protección y estabilidad de los componentes.

Este proceso permite que el sistema funcione como una unidad autónoma de monitoreo estructural, capaz de recopilar datos y mostrar información en tiempo real.

7.2 Evidencias.

El dashboard generado, nos muestra los datos de vibración, posición y niveles de alerta, en nuestro modelo actual es nivel bajo, medio y alto.

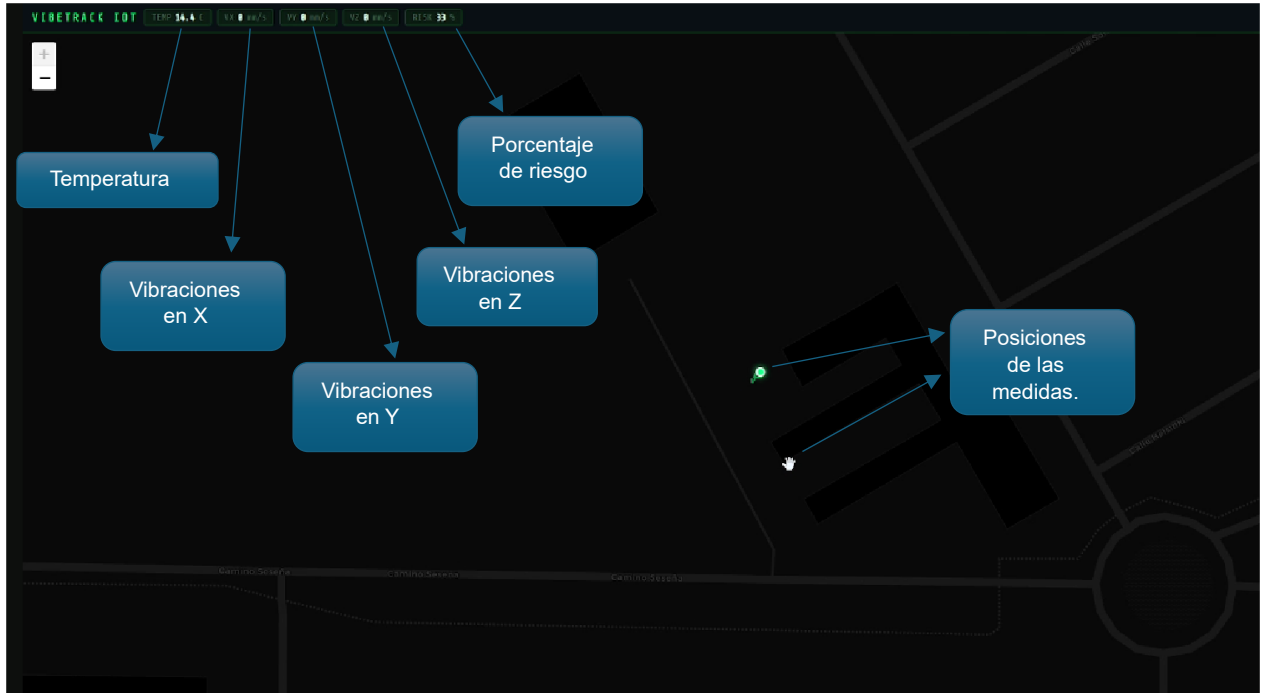


Figura 9: Dashboard de la plataforma vibetrack iot con datos GPS y vibraciones. Fuente: Propia.

| [main.py] | [data.csv] |
|-------------|---|
| 1 | hora_gps,timestamp_s,lat,lon,sats,calidad,vel_x,vel_y,vel_z,ang_x,ang_y,ang_z,disp_x,disp_y,disp_z |
| 2 | 10:33:35,1.9,40.109604,-3.661095,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,1,1,10,5,0,11,14.46,0.00,0.00,1.00,0.00,0.00 |
| 3 | 10:33:36,2.9,40.109604,-3.661095,10,GPS fix,0,0,1,1,0,0,2,1,13,6,3,11,14.52,0.00,0.00,1.00,0.00,0.00 |
| 4 | 10:33:37,3.9,40.109600,-3.661095,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,0,1,0,7,3,1,9,14.46,0.00,0.00,0.67,0.00,0.00 |
| 5 | 10:33:38,4.9,40.109600,-3.661096,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,0,1,1,5,0,1,8,14.58,0.00,0.00,0.50,0.00,0.00 |
| 6 | 10:33:39,5.9,40.109600,-3.661096,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,0,1,1,4,1,1,9,14.52,0.00,0.00,0.40,0.00,0.00 |
| 7 | 10:33:40,6.9,40.109600,-3.661097,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,0,1,1,8,2,0,9,14.33,0.00,0.00,0.33,0.00,0.00 |
| 8 | 10:33:41,8.0,40.109596,-3.661097,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,0,1,1,6,2,1,9,14.52,0.00,0.00,0.29,0.00,0.00 |
| 9 | 10:33:42,9.0,40.109596,-3.661097,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,2,8,10,7,12,11,14.52,0.00,0.00,0.38,0.00,0.00 |
| 10 | 10:33:43,10.0,40.109596,-3.661097,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,2,2,6,6,13,11,14.58,0.00,0.00,0.33,0.00,0.00 |
| 11 | 10:33:44,11.1,40.109592,-3.661097,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,1,1,8,2,3,9,14.46,0.00,0.00,0.30,0.00,0.00 |
| 12 | 10:33:45,12.2,40.109592,-3.661097,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,2,0,3,3,2,10,14.58,0.00,0.00,0.27,0.00,0.00 |
| 13 | 10:33:46,13.2,40.109592,-3.661097,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,3,5,14,4,0,7,14.65,0.00,0.00,0.33,0.00,0.00 |
| 14 | 10:33:48,14.2,40.109592,-3.661097,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,1,2,11,5,13,11,14.65,0.00,0.00,0.31,0.00,0.00 |
| 15 | 10:33:49,15.2,40.109592,-3.661097,10,GPS fix,0,1,1,0,0,0,3,8,12,3,5,9,14.58,0.00,0.00,0.07,0.36,0.00,0.00 |
| 16 | 10:33:50,16.3,40.109592,-3.661096,10,GPS fix,0,0,4,0,0,0,6,2,62,4,8,12,14.52,0.00,0.00,0.07,0.60,0.00,0.00 |
| 17 | 10:33:50,17.7,40.109592,-3.661096,10,GPS fix,0,0,3,0,0,0,5,1,46,11,5,13,14.52,0.00,0.00,0.06,0.75,0.00,0.00 |
| 18 | 10:33:52,18.7,40.109592,-3.661096,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,3,1,22,7,2,9,14.65,0.00,0.00,0.06,0.76,0.00,0.00 |
| 19 | 10:33:53,19.8,40.109592,-3.661095,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,2,1,6,3,1,12,14.52,0.00,0.00,0.06,0.72,0.00,0.00 |
| 20 | 10:33:54,20.8,40.109592,-3.661096,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,2,1,10,8,4,11,14.33,0.00,0.00,0.05,0.68,0.00,0.00 |
| 21 | 10:33:55,21.9,40.109592,-3.661096,10,GPS fix,0,0,2,0,0,0,4,1,32,11,2,11,14.40,0.00,0.00,0.05,0.75,0.00,0.00 |
| 22 | 10:33:56,22.9,40.109589,-3.661096,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,3,1,18,5,2,12,14.52,0.00,0.00,0.05,0.76,0.00,0.00 |
| 23 | 10:33:57,24.0,40.109589,-3.661095,10,GPS fix,0,0,2,0,0,0,5,1,40,10,2,10,14.52,0.00,0.00,0.05,0.82,0.00,0.00 |
| 24 | 10:33:58,25.0,40.109589,-3.661094,10,GPS fix,0,0,2,0,0,0,3,1,25,11,2,11,14.58,0.00,0.00,0.04,0.87,0.00,0.00 |
| 25 | 10:33:59,26.0,40.109589,-3.661093,10,GPS fix,0,0,4,0,0,0,6,2,46,12,4,12,14.52,0.00,0.00,0.03,0.90,0.00,0.00 |
| 26 | 10:34:00,27.1,40.109589,-3.661093,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,4,1,24,9,2,11,14.33,0.00,0.00,0.04,1.00,0.00,0.00 |
| 27 | 10:34:01,28.1,40.109589,-3.661093,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,2,1,12,3,1,9,14.46,0.00,0.00,0.04,0.96,0.00,0.00 |
| 28 | 10:34:03,29.1,40.109592,-3.661089,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,1,1,10,4,1,9,14.52,0.00,0.00,0.04,0.93,0.00,0.00 |
| 29 | 10:34:04,30.2,40.109596,-3.661090,10,GPS fix,0,0,1,0,0,0,4,1,30,6,3,12,14.52,0.00,0.00,0.04,0.93,0.00,0.00 |
| 30 | 10:34:05,31.2,40.109600,-3.661086,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,1,1,8,2,3,12,14.52,0.00,0.00,0.03,0.90,0.00,0.00 |
| 31 | 10:34:06,32.2,40.109600,-3.661085,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,1,1,6,0,1,8,14.40,0.00,0.00,0.03,0.87,0.00,0.11 |
| 32 | 10:34:07,33.2,40.109600,-3.661085,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,1,1,5,3,3,11,14.40,0.00,0.00,0.03,0.84,0.00,0.11 |
| 33 | 10:34:08,34.3,40.109600,-3.661083,10,GPS fix,0,0,0,0,0,0,2,2,9,3,4,8,14.40,0.00,0.00,0.03,0.81,0.00,0.11 |

Figura 10: Registro de datos obtenidos de los sensores. Fuente: Propia.

7.3 Limitaciones actuales

Actualmente el modelo de machine learning es sencillo y dispone de tres umbrales de vibración, hay que procesar datos de diferentes elementos, por ejemplo datos de vibración de trenes, carreteras, puentes, edificios.

El sensor GPS tiene limitaciones en el interior de edificios y túneles.

Se está trabajando en el diseño de la envolvente del esp32, para que sea personalizable, actualmente tenemos una caja estanca de las que usan los electricistas y nos ha proporcionado el profesor. Se va a trabajar en ampliar el dashboard y utilizar más sensores para ver cómo se comporta y el límite de datos que tendría la plataforma mediante pruebas de carga de datos.

8. Innovación y valor añadido.

El proyecto presenta un enfoque innovador al combinar sensores físicos, análisis de datos e inteligencia artificial para el monitoreo del estado de las infraestructuras. A diferencia de los métodos tradicionales de inspección estructural, que suelen depender de revisiones periódicas manuales, esta solución propone un sistema capaz de recopilar y analizar datos de forma continua. La innovación del proyecto se basa en la integración de varias tecnologías en un único sistema compacto y autónomo:

- Uso de sensores IMU para detectar vibraciones y cambios en el comportamiento estructural.
- Incorporación de GPS para detectar desplazamientos o movimientos de la estructura.
- Procesamiento de datos mediante un microcontrolador ESP32, que permite gestionar el sistema de forma eficiente.
- Programación del sistema utilizando MicroPython, lo que facilita el desarrollo del software.
- Alimentación mediante panel solar y batería, permitiendo el funcionamiento autónomo en entornos exteriores.

Además, el sistema está diseñado para que los datos recopilados puedan utilizarse posteriormente en modelos de Machine Learning, con el objetivo de detectar patrones anormales y predecir posibles fallos estructurales. El valor añadido del proyecto radica en su capacidad para ofrecer una solución tecnológica accesible, escalable y de bajo coste para el monitoreo estructural. Entre los principales aspectos que aportan valor al proyecto destacan:

- Reducción de costes: el sistema utiliza componentes electrónicos económicos, lo que facilita su implementación en múltiples infraestructuras.
- Autonomía energética: gracias al uso de batería y panel solar, el dispositivo puede funcionar de forma independiente sin necesidad de conexión directa a la red eléctrica.
- Monitoreo continuo: permite recopilar datos de forma constante, mejorando la capacidad de detectar anomalías en comparación con inspecciones periódicas.
- Escalabilidad: el sistema puede ampliarse fácilmente añadiendo más sensores o módulos de comunicación.
- Aplicabilidad real: la solución puede utilizarse en diferentes tipos de infraestructuras, como puentes, edificios, túneles o instalaciones industriales.

El proyecto demuestra cómo tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y el Machine Learning pueden aplicarse para mejorar la seguridad y el mantenimiento de infraestructuras.

9. Impacto y viabilidad.

El proyecto tiene un impacto social significativo al contribuir a mejorar la seguridad de infraestructuras públicas y privadas, como puentes, edificios o instalaciones industriales. La detección temprana de posibles fallos estructurales permite reducir el riesgo de accidentes.

Además, el uso de sistemas de monitoreo inteligente puede ayudar a las administraciones y empresas responsables del mantenimiento de infraestructuras a tomar decisiones preventivas, evitando daños graves o colapsos estructurales. Esto contribuye a mejorar la seguridad pública y a aumentar la confianza de la sociedad en las infraestructuras que utilizan.

Durante su desarrollo se han integrado conceptos de diferentes áreas tecnológicas, como:

- Electrónica.
- Programación y desarrollo de software.
- Sensores y adquisición de datos.
- Redes, ciberseguridad, protocolos.
- Análisis de datos e inteligencia artificial. Tratamiento de la información.

Este tipo de proyectos fomenta el aprendizaje basado en la práctica, el trabajo en equipo y la resolución de problemas reales, lo que contribuye al desarrollo de competencias técnicas y habilidades de innovación.

Asimismo, el proyecto puede servir como base para futuros trabajos académicos o investigaciones relacionadas con el monitoreo inteligente de infraestructuras y el uso de tecnologías emergentes.

En el ámbito industrial, la solución propuesta puede contribuir a mejorar los sistemas de mantenimiento predictivo utilizados en diferentes sectores, como la ingeniería civil, urbanismo inteligente, la construcción o la gestión de infraestructuras.

El uso de sensores, microcontroladores y técnicas de análisis de datos permite desarrollar sistemas capaces de dar información continuamente el estado de estructuras, optimizando los procesos de mantenimiento y reduciendo los costes asociados a reparaciones de emergencia.

Además, la implementación de tecnologías como Machine Learning y sistemas IoT está alineada con los principios de la Industria 4.0, que promueve la digitalización, automatización y análisis inteligente de datos en los sistemas industriales, se ha añadido un dashboard para la gestión inteligente.

En este contexto, el proyecto demuestra cómo el uso de tecnologías accesibles y de bajo coste puede contribuir al desarrollo de infraestructuras más inteligentes, seguras y eficientes, con aplicaciones potenciales en múltiples sectores industriales y en urbanismo.

10. Presupuesto del prototipo

El proyecto es técnicamente viable debido a que utiliza tecnologías accesibles, económicas y ampliamente utilizadas en proyectos de monitoreo e Internet de las Cosas (IoT). Los principales factores que garantizan su viabilidad técnica son:

- Uso de un microcontrolador ESP32, que ofrece capacidad de procesamiento, conectividad y bajo consumo energético.
- Sensores como IMU y GPS, que permiten medir parámetros relevantes del comportamiento estructural.
- Programación mediante MicroPython, que facilita el desarrollo del software del sistema.



- Integración de un sistema de alimentación autónomo mediante panel solar, lo que permite su instalación en entornos exteriores.

| Componente | Coste aproximado |
|-----------------------------|------------------|
| ESP32 | 8 € |
| Sensor IMU | 5 € |
| Módulo GPS | 10 € |
| Pantalla LCD (opcional) | 6 € |
| Batería recargable | 10 € |
| Panel solar | 12 € |
| Regulador de energía | 5 € |
| Caja estanca | 10 € |
| Cables y componentes varios | 4 € |

Además, la arquitectura del sistema es escalable, lo que permitiría añadir más sensores o incorporar sistemas de comunicación remota en futuras versiones, se han utilizado elementos COTS (commercial off the shelf) accesibles en el mercado de fácil acceso y reposición. El coste de desarrollo del prototipo es relativamente bajo, con un coste aproximado de 70 € en materiales, lo que demuestra que la solución es económicamente accesible.

Este bajo coste permite:

- Desarrollar múltiples unidades del sistema para instalar en diferentes puntos de una infraestructura.
- Reducir los costes asociados al monitoreo estructural tradicional, fusión de datos, redundancia de monitorización, lo que permite descartar fallos en la medida.
- Facilitar la implementación del sistema en proyectos reales, nuevos casos de uso.

Además, la posibilidad de utilizar hardware de bajo coste y software de código abierto contribuye a que el sistema sea económicamente sostenible y fácilmente replicable, el modelo de negocio para darle viabilidad es mediante suscripción a la plataforma con nuestra red de sensores. Se ha preguntado a ingenierías del sector de la rehabilitación y colegios profesionales, están interesados en la plataforma y en poder evaluarla.

11. Conclusión

El desarrollo de este proyecto ha dado como resultado un prototipo funcional de monitoreo estructural capaz de recopilar datos sobre el comportamiento de una estructura mediante sensores y electrónica de bajo coste.

Gracias a la integración del ESP32, una IMU, un módulo GPS y un sistema de alimentación basado en batería y panel solar, el dispositivo puede medir vibraciones, aceleraciones y posición de forma autónoma, variables útiles para analizar el estado de una estructura y detectar posibles anomalías.

El uso de MicroPython simplificó tanto el desarrollo del software como la integración de los componentes, demostrando que es posible construir soluciones de monitoreo estructural sin recurrir a infraestructuras complejas ni costosas.

Las pruebas realizadas confirmaron que el sistema captura datos de forma estable y muestra información en tiempo real, lo que valida su viabilidad como base para un sistema más complejo y escalable. En conjunto, el proyecto pone de manifiesto el potencial de combinar sensores, microcontroladores e inteligencia artificial para mejorar la seguridad y el mantenimiento de infraestructuras.

Aunque el prototipo cumple con los objetivos planteados, existen líneas de mejora a explorar en el futuro:

- Completar el desarrollo del modelo de Machine Learning específicos para fines concretos, para detectar anomalías y predecir fallos estructurales a partir de los datos recogidos.
- Optimizar el consumo energético, mejorando el aprovechamiento de la batería y el panel solar.
- Realizar pruebas en infraestructuras reales como puentes o edificios para validar el sistema en condiciones de uso real y otros usos.
- Relacionar diferentes variables como temperatura, humedad, vibraciones y movimientos en diferentes ejes para predecir comportamientos anómalos.

Estas mejoras permitirían convertir el prototipo en un sistema completo de monitoreo estructural inteligente, con aplicaciones concretas en el mantenimiento de infraestructuras y en el ámbito de las ciudades inteligentes.