

<https://doi.org/10.23913/ride.v15i30.2439>

*Artículos científicos*

**Sistema web de análisis en tiempo real para mantenimiento predictivo de un banco de vibraciones mecánicas**

***Real-time analysis web system for a mechanical vibrations bench predictive maintenance***

***Sistema de análise baseado na web em tempo real para manutenção preditiva de uma bancada de teste de vibração mecânica***

**Erica María Lara Muñoz**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, México

[erica.lm@alvarado.tecnm.mx](mailto:erica.lm@alvarado.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-2741-7044>

**Israel Viveros Torres**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, México

[israel.vt@alvarado.tecnm.mx](mailto:israel.vt@alvarado.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-2303-2828>

**Rogelio Reyna Vargas**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, México

[rogelio.rv@alvarado.tecnm.mx](mailto:rogelio.rv@alvarado.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-9952-698X>

## Resumen

Dentro del sector industrial, es recurrente una falla denominada desbalance rotatorio. Lo cual refiere a un desfase del eje de inercia del rotor, esta descompensación dinámica del sistema, provoca la generación de fuerzas que sobrecargan principalmente a los elementos de montaje y acoplamiento. Si esta anomalía rebasa los niveles de resistencia mecánica de diseño para la maquinaria, desgasta prematuramente o incluso la daña permanentemente, esto a causa del índice de vibración, en el orden de amplitud y aceleración. Debido a ello, es de gran interés diseñar dispositivos que lleven a cabo el monitoreo constante de los equipos.

En el presente artículo, se examina un sistema que adquiere datos de un banco de vibraciones mecánicas, con la finalidad de conocer el estado del sistema rotatorio y así obtener un monitoreo continuo del equipo. Esto se hizo a través del diseño de una interfaz de usuario elaborada en React, la implementación de una API desarrollada con Node.js para la comunicación de los datos almacenados en la base de datos de PostgreSQL y transmitir datos en tiempo real usando *Socket.io*. Para el desarrollo del sistema, se aplicó la metodología ágil de *Scrum* en un proceso de siete *Sprints* con diversas tareas cada iteración. Se logró así la adquisición de datos en tiempo real de los valores propios de vibración generados. Esto se realizó a través de un sistema *web* responsivo y accesible que muestra estadísticas, gráficas y datos recopilados. Con la aplicación se realizó una prueba piloto, mostrando que es posible llevarlo a entornos industriales como una herramienta asequible para mantenimiento predictivo.

**Palabras Clave:** sistema *web*, mantenimiento predictivo, API, metodología ágil *Scrum*, equipo rotatorio, monitoreo en tiempo real.

## Abstract

Within the industrial sector, a failure called rotational imbalance is recurrent. This refers to a misalignment of the rotor's inertia axis. This dynamic unbalance of the rotating system causes the generation of forces that mainly overload the assembly and coupling elements. If this anomaly exceeds the design mechanical resistance levels for the machinery, it wears out prematurely or even permanently damages it, due to the vibration index, in the order of amplitude and acceleration. Because of this, it is of great interest to design devices that carry out constant monitoring of the equipment.

In this article, a system monitors data from a bank of mechanical vibrations is examined, to know the state of rotary system, and thus obtain continuous monitoring of the equipment. This was done through the design of a user interface developed in React, the implementation of an API developed with Node.js for the communication of data stored in the PostgreSQL database and to transmit data in real time using *Socket.io*. For the development of the system, the agile *Scrum* methodology was applied in a process of seven *Sprints* with various tasks each iteration. This achieved the acquisition of real-time data of the generated vibration values. This was done through a responsive and accessible *web* system that display statistics, graphs and collected data. A pilot test was conducted with the application, demonstrating that it can be applied to industrial environments as an affordable tool for predictive maintenance.

**Keywords:** *web* system, predictive maintenance, API, *Scrum* agile methodology, rotating equipment, real-time monitoring.

## Resumo

No setor industrial é recorrente uma falha denominada desequilíbrio rotacional. Que se refere a uma mudança no eixo de inércia do rotor. Esse desequilíbrio dinâmico do sistema provoca a geração de forças que sobrecarregam principalmente os elementos de montagem e acoplamento. Se essa anomalia ultrapassar os níveis de resistência mecânica de projeto para o maquinário, ela provoca desgaste prematuro ou mesmo danos permanentes, devido ao índice de vibração, na ordem de amplitude e aceleração. Por isso, é de grande interesse projetar dispositivos que realizem um monitoramento constante dos equipamentos.

Este artigo examina um sistema que adquire dados de um banco de vibrações mecânicas, com o objetivo de determinar o estado do sistema rotativo e assim obter um monitoramento contínuo do equipamento. Isso foi alcançado projetando uma interface de usuário construída em React, implementando uma API Node.js para comunicar dados armazenados no banco de dados PostgreSQL e transmitindo dados em tempo real usando Socket.io. Para o desenvolvimento do sistema, foi aplicada a metodologia ágil Scrum em um processo de sete Sprints com diversas tarefas em cada iteração. Isso permitiu a aquisição de dados em tempo real dos valores de vibração gerados. Isso foi feito por meio de um sistema web responsivo e acessível que exibe estatísticas, gráficos e dados coletados. Foi realizado um teste piloto com o aplicativo, demonstrando que ele pode ser aplicado em ambientes industriais como uma ferramenta acessível para manutenção preditiva.

**Palabras-chave:** sistema web, manutenção preditiva, API, metodologia ágil Scrum, equipe rotativa, monitoramento em tempo real.

**Fecha Recepción:** Diciembre 2024

**Fecha Aceptación:** Mayo 2025

---

## Introducción

Los sistemas informáticos son herramientas poderosas que ofrecen la posibilidad de automatizar tareas para mejorar la productividad de las personas y los procesos dentro de las empresas, escuelas o industrias, así como mejorar la toma de decisiones. Estos sistemas, además, son indispensables para realizar diversas actividades en distintos tipos de organización y automatizar procesos (Ibarra, Eusebio y Julio, 2023), utilizarlas en el sector educativo en la enseñanza y el aprendizaje (Aceves y Vargas, 2024; Otero, Rivera, Pedraza y Canay, 2019), ejecutarlas de manera empresarial y profesional o simplemente para uso personal (Buenrostro y Hernández, 2019; Rodríguez-Gómez, Castro y Meneses, 2018).

Dentro de la industria, los sistemas ofrecen una ventaja operativa al poder utilizarse para llevar a cabo mediciones de variables importantes para conocer el estado de los equipos y sistemas de producción. En el caso particular del presente estudio se analiza una máquina rotativa funcionando bajo condiciones de carga (Domínguez-Ulín, Velázquez-Reyes, Ocaña, Caraveo y Arias, 2022). Esto proporciona la ventaja de poder monitorear el comportamiento continuo de los equipos rotativos teniendo la posibilidad de una intervención oportuna en caso de que surja alguna anomalía o falla, evitando de esta manera cualquier tipo de accidentes (Viveros, Muñoz y Aguirre, 2021).

Se ha observado que debe existir una evaluación de las vibraciones de los equipos rotatorios (Viveros, Muñoz y Aguirre, 2021; Flores, Albornoz, López y Romero, 2020); esto debido a las posibilidades de falla de los equipos, lo que puede ocasionar pérdidas muy grandes en la industria o en los propios dispositivos/equipos de trabajo. Esta evaluación se puede realizar a través de sistemas de monitoreo continuo de vibraciones mecánicas (Maigua, Quitiaquez, Simbaña, Quitiaquez, Toapanta y Isaza-Roldan, 2020; Dinardo, Fabbiano, y Vacca, 2018) que pronostiquen el estado de estos equipos en tiempo real, como una técnica de mantenimiento predictivo para el cuidado de los mismos y mejorar la eficiencia de la producción, pero, sobre todo, extender los tiempos de vida de los equipos rotatorios y evitar fallas o accidentes.

Debido a lo anterior y a los avances que exige la industria 4.0 de combinar operaciones con tecnologías inteligentes y técnicas de producción automatizada (Luna-López, Hernández-Lozano, Aldana-Franco, Álvarez-Sánchez, Leyva-Retureta, Ricaño-Herrera y Aldana-Franco, 2021; Camargo-Amado y Mosquera-Ayala, 2023), es imperativo la implementación de herramientas tecnológicas que permitan una evaluación continua de los procesos productivos en forma sistemática, con la finalidad de optimizar los sistemas de producción, lo anterior, haciendo uso tanto de protocolos de adquisición y transmisión de datos, así como la implementación de interfaz gráfica de usuarios *GUI's* que permitan el control de las variables involucradas.

Un sistema de monitoreo adquiere relevancia para visualizar las diversas mediciones de variables de entorno (Ochoa, Cangrejo y Delgado, 2018), además de tener la oportunidad de comunicación en tiempo real entre sistemas, usuarios y dispositivos, haciendo uso de diversas tecnologías que permitan la conexión entre estos actores, la interfaz gráfica y las capacidades técnicas que brindan los servicios de conectividad a internet (Rodríguez, Castro, Amado, Sarabia y Toscano, 2023).

La propuesta que se muestra en este documento, hace referencia al diseño y la implementación de un sistema *web* que analiza un equipo rotatorio para su mantenimiento predictivo. Este sistema monitorea en tiempo real datos que se obtienen de un banco de vibraciones mecánicas para garantizar su eficiencia operativa, minimizar los tiempos de paro y conocer de acuerdo con las mediciones realizadas, si se requiere mantenimiento predictivo y tomar decisiones (Sánchez, Guerrero, Mona, Sánchez y Velasco, 2023).

## Metodología

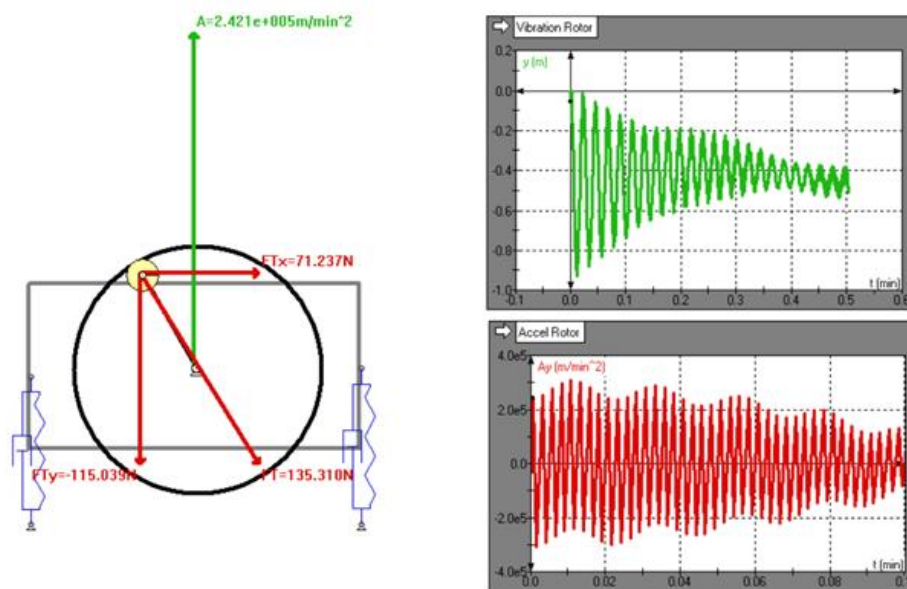
La metodología utilizada es una de desarrollo ágil denominada *Scrum*, la cual se orienta en sistemas de tipo *web*. Utiliza un enfoque iterativo e incremental para tener el control de riesgo y optimizar la predictibilidad (Ballesteros, 2021). Esta metodología tiene principalmente dos características, la primera, que su desarrollo se realiza mediante iteraciones, las cuales son denominadas *Sprint*, el resultado de cada iteración es un incremento ejecutable; la segunda característica es que se deben agendar reuniones con el equipo de desarrollo durante la realización del proyecto con la finalidad de coordinar los avances e integrarlos. El inicio del desarrollo considera el análisis general para realizar el sistema y los fundamentos básicos que la interpretan, luego se obtiene una lista de requerimientos con la descripción general del hardware requerido para la implementación y

evaluación de la aplicación *web*, la cual como se ha mencionado es el objetivo del presente trabajo, dar a conocer la aplicación como herramienta de diagnóstico y como dispositivo funcional en la ejecución del mantenimiento predictivo.

### Análisis vibracional

Para el desarrollo del sistema, se establecieron los requerimientos de materiales y dispositivos. En primera instancia se reitera el concepto de vibración mecánica, el cual se define como un desplazamiento oscilatorio del eje de transmisión de potencia respecto del eje geométrico original del dispositivo, esto como resultado de la acción de las fuerzas transmitidas al mismo elemento, derivado de un desbalance dinámico del rotor, en uno o más de sus planos de sección, como se muestra en la figura 1, donde se hace evidente el efecto de una masa excéntrica que causa el desbalance y el respectivo vector de fuerzas.

**Figura 1.** Simulación de un rotor con desbalance dinámico en un plano

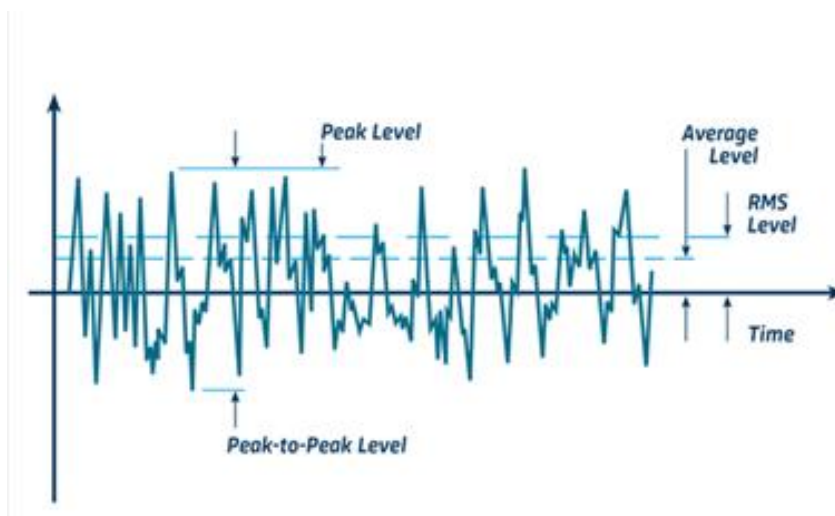


Fuente: elaboración propia

Este efecto es indeseable en los sistemas de transmisión de potencia ya que, de exceder los límites de resistencia mecánica del montaje del equipo y su transmisión, se deriva en un daño funcional y estructural del sistema completo. De esta forma, se deben evaluar los parámetros característicos del sistema los cuales se basan en la frecuencia de la vibración, así como su amplitud, estos valores se obtienen y normalizan en formato RMS o valor cuadrático medio (Root Mean Square), el cual es un valor eficaz de la energía de la vibración y un

formato de dato de mayor funcionalidad y precisión como medida de diagnóstico, ya que representa una señal filtrada del espectro total de vibraciones al obtenerse con un valor equivalente a una media ponderada del conjunto de datos obtenidos, en otros términos, representa los valores críticos del espectro adquirido de las muestras de desempeño del equipo. A diferencia de los valores pico de la vibración, que son valores puntuales y que no caracterizan en forma ponderada el desempeño de la maquinaria, como se muestra en la figura 2, donde se hace evidente el cúmulo de datos adquiridos de la vibración del equipo, mismos que no son representativos del comportamiento real de la maquinaria, por medio del análisis RMS se obtiene un valor medio que define con mayor claridad el espectro de vibración, en términos más llanos entrega una lectura más legible del fenómeno analizado.

**Figura 2.** Análisis RMS de un sistema vibratorio, en el dominio del tiempo



Fuente: Brüel y Kjaer (2025)

Con base en los conceptos antes expuestos, se hace evidente la necesidad de establecer un prototipo que permita evaluar estas condiciones anómalas en el desempeño de un equipo en modalidad de pruebas piloto. Para esta implementación se toma como fundamento el normativo ISO 2372: vibraciones mecánicas de máquinas que operan con velocidades entre 10 y 200 (rev/s). El diseño se basó en *International Standards Organization* (ISO), criterio bajo el que existen dos enfoques para la evaluación de la severidad de la vibración:

1. Estándares para los ensayos de la aceptación de las máquinas.
2. Estándares para el monitoreo de la vibración durante la operación de las máquinas.

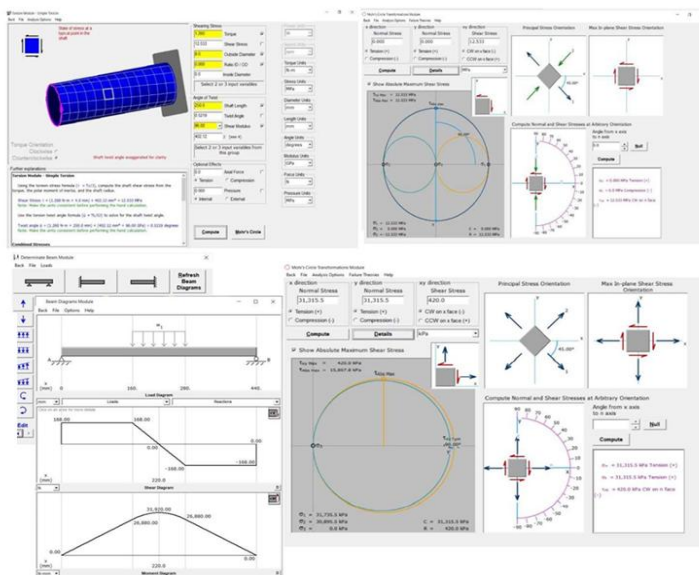
El primer estándar se basa en la instalación y puesta en servicio de una máquina rotatoria, si bien la norma aplicada es útil para este enfoque, se considera un campo de aplicación de mayor interés el segundo enfoque, en el cual se establece el análisis de estándares para el monitoreo operacional de las máquinas.

### **Diseño mecánico**

Se procede a establecer la estructura del banco de pruebas que permita realizar simulaciones de ejes de transmisión con desbalance en uno o dos planos. El equipo tendrá un eje montado en un bastidor, el cual girará en forma coaxial con el eje de simetría del aparato. Estos ejes van dispuestos con un dispositivo de unión que se acopla a un motor eléctrico para la entrega de potencia. El conjunto se dispone en una estructura de soporte, el sistema embebido de control y sus conexiones se alojan en el tablero comunicando a transductores. El sistema integra en este bloque la instrumentación del dispositivo a fin de monitorear los parámetros de vibración, mismo que mide y adquiere los datos de la amplitud y frecuencia de la vibración.

Para la parte de diseño mecánico, primero se evaluará la resistencia a la fatiga, lo que se lleva a cabo por medio de la aplicación MDSolids como se muestra en la figura 3. También es necesario, evaluar en forma numérica sus estados de esfuerzo, en condiciones de cargas en modalidad de torsión pura, con base en este enfoque, se aplican principios de mecánica de materiales, esto a fin de establecer los valores de trabajo y evaluar los esfuerzos resultantes. Para este caso, se considera la teoría de falla para elementos dúctiles con base en los criterios de Tresca y de Von Mises-Hencky, ya que se evalúan las estructuras para evitar deformación, permaneciendo como criterio de falla, el límite elástico del material propuesto.

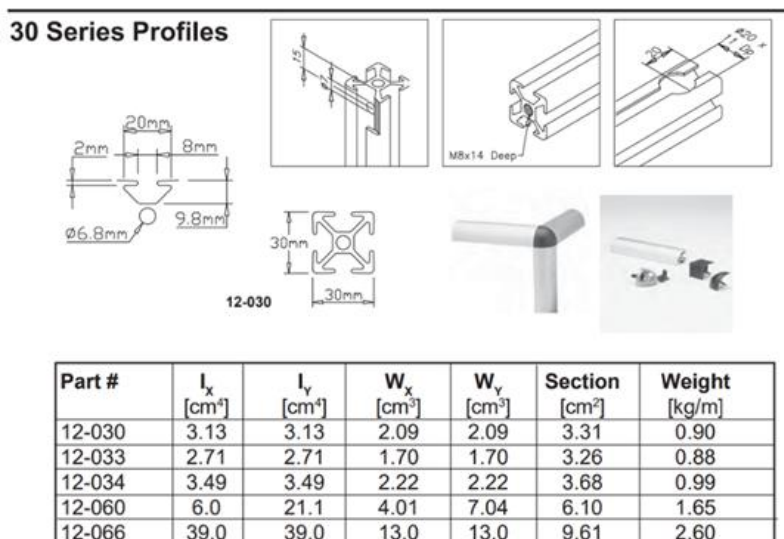
**Figura 3.** Aplicación MDSolids para análisis de esfuerzo por torsión y flexión



Fuente: elaboración propia

Es factible determinar el grado de confiabilidad para el diseño propuesto, por último, se establece su ensayo de resistencia considerando el enfoque de teorías de falla para materiales dúctiles donde se aplican los criterios de Tresca y de Von Mises-Hencky (Bolaños, Caicedo, Alfonso, Santeliz y Porrello, 2018). Para este caso en particular, se emplean perfiles de aluminio anodizado de 30X30 mm, tipo 12-030, con las condiciones geométricas y de resistencia que se muestran en la figura 4.

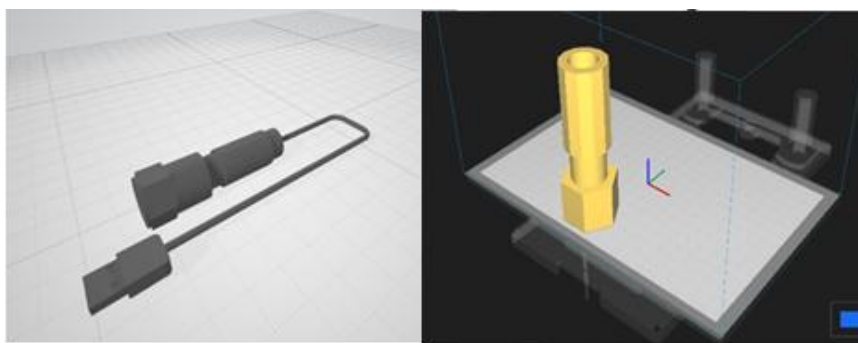
**Figura 4.** Modelo y características geométricas y mecánicas del perfil estructural



Fuente: Parker Hannifin Corporation (2002)

En los aspectos básicos de la geometría de las máquinas a evaluar, y para obtener un elemento de capacidad portable y de alta adaptabilidad en los modos de medición, se empleó la herramienta Google *SketchUp*<sup>TM</sup> como sistema de modelado. Una vez hecha la selección de la herramienta de diseño, y partiendo de la premisa que los puntos clave para las lecturas se sitúan en las “caras” principales del conjunto motriz, así como en los elementos de acoplamiento mecánico, y principalmente, en los rodamientos y chumaceras, se optó por establecer un diseño estructural tubular con partes roscables poliédricas similares a conectores hidráulicos, esto como ensamble del prototipo, a fin de conformar un encapsulado a manera de alojamiento de sensor (acelerómetro MPU6050), estos análisis y consideraciones se muestran en la figura 5.

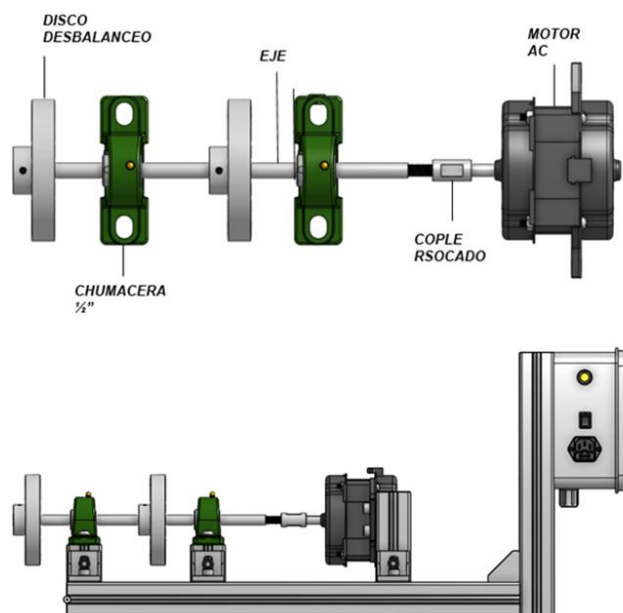
**Figura 5.** Modelo desarrollado de carcasa para montaje para transductor de vibraciones



Fuente: elaboración propia

Una vez establecido el diseño del dispositivo se procede a establecer la estructura del banco de pruebas que permita realizar simulaciones de ejes de transmisión con desbalance en uno o dos planos. El equipo tendrá un eje montado en un bastidor, el cual girará hacia el centro del aparato. Estos ejes van dispuestos con un dispositivo de unión que se acopla a un motor eléctrico para la entrega de potencia. El conjunto se dispone en una estructura de soporte, el sistema embebido de control y sus conexiones se alojan en el tablero comunicando a transductores. El sistema integra en este bloque la instrumentación del dispositivo a fin de monitorear los parámetros de vibración, el cual mide y adquiere los datos de la amplitud y frecuencia de la vibración. El conjunto desarrollado se muestra en la figura 6.

**Figura 6.** Integración de banco de pruebas para simulación de rotor con desbalance

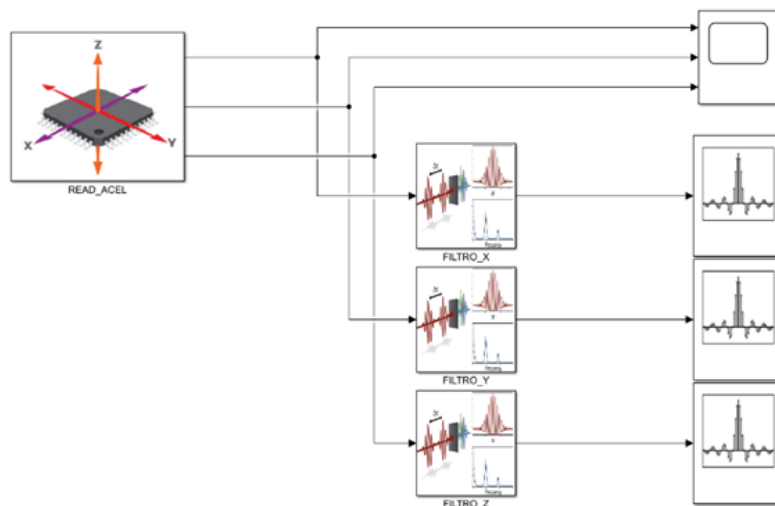


Fuente: elaboración propia

### **Diseño de la aplicación e implementación de sistema de adquisición de datos.**

Una vez establecido el prototipo que emula a un sistema o máquina rotatoria, se procede a implementar la codificación y se realiza la adquisición de los datos aportados por el transductor del tipo acelerómetro analógico ADXL335 Gy-61, mismo que proporciona los valores en fuerza G de los tres ejes cartesianos. Se realiza la programación en *Simulink*, integrando bloques de funciones predefinidas en lenguaje de *Matlab*, con la finalidad de obtener lecturas específicas, implementando la transformada integral matemática como operación de cambio de dominio, a fin de obtener gráficamente los umbrales que caracterizan el comportamiento del sistema, teniendo ahora una representación de los datos ahora en valores de frecuencia y amplitudes de la vibración en cada eje de referencia. En la figura 7 se expresa la programación del sistema, mostrando la aplicación a través de *Simulink* y *Matlab*.

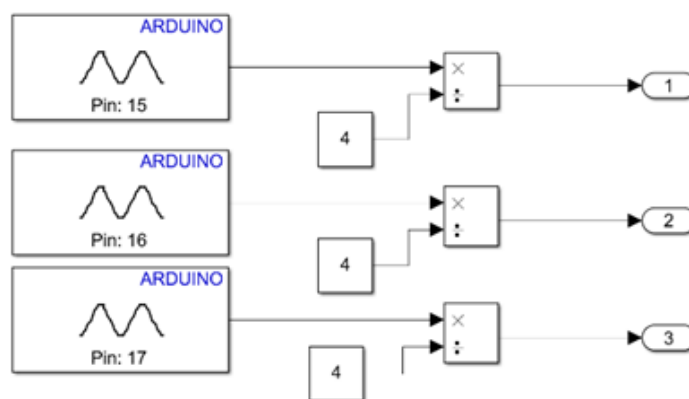
**Figura 7.** Codificación en *Simulink* y funciones de *Matlab* para la ejecución de la aplicación



Fuente: elaboración propia

Habiendo definido la codificación de la interfaz para adquisición de datos, se procedió a establecer como método de solución el algoritmo de cuatro corridas con carga de desbalance. Para lo cual, se realizan cuatro lecturas a través de transductor (acelerómetro), aplicando una misma carga de compensación en posiciones angulares diferentes, que deben estar en el rango de  $120^\circ$  de espaciamiento partiendo de un punto arbitrario. Las señales adquiridas se reducen para un rango de señal analógica a una señal de 10 a 8 bits, esto se puede observar en la figura 8.

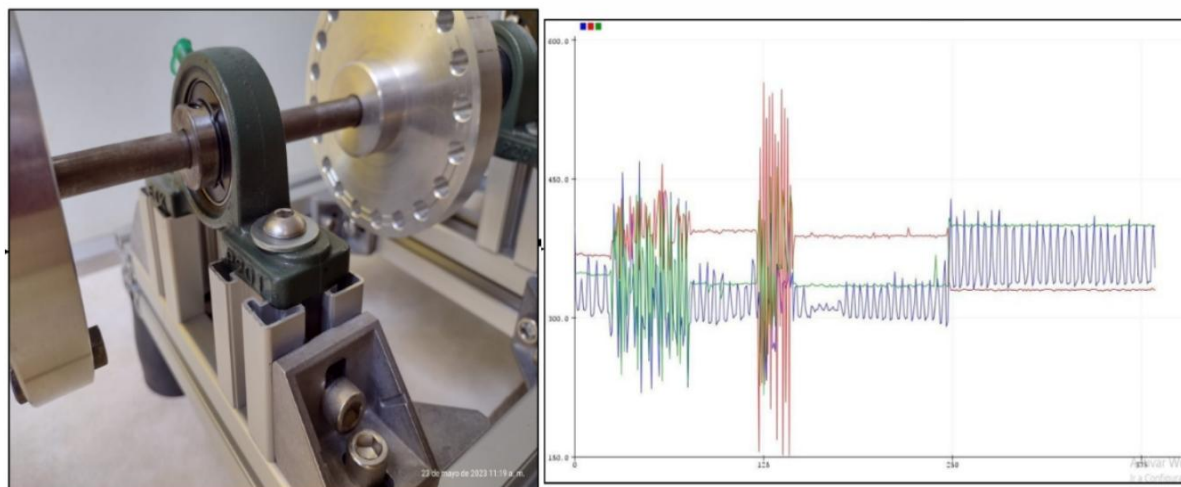
**Figura 8.** Código de conversión de la señal analógica adquirida



Fuente: elaboración propia

Las lecturas en el dominio del tiempo, se observan con alta superposición, lo que impide una abstracción correcta de la información y realizar una caracterización precisa de los parámetros críticos de vibración, esto se observa en la figura 9.

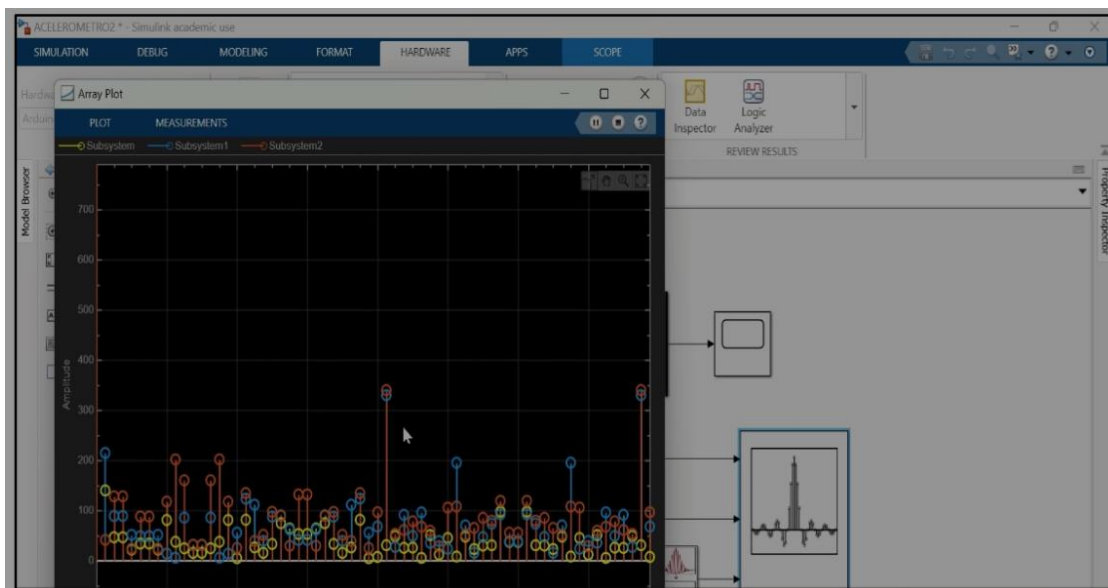
**Figura 9.** Adquisición en tiempo real del espectro de vibración en un plano



Fuente: elaboración propia

Para corregir estas condiciones en la adquisición de datos se procede a realizar el filtrado de la señal empleando la transformada rápida de Fourier (FFT, fast Fourier transform) implementándolo en la codificación y a través del microcontrolador. Así el transductor adquiere los valores de amplitud en RMS o “root-mean-square” expresados en in/s (pulgadas por segundo) y mm/s (milímetros por segundo). El sistema está calibrado para capturar la lectura en cuanto se alcance la velocidad de prueba en operación, esto se aprecia en la figura 10.

**Figura 10.** Adquisición de datos con aplicación de FFT como filtro



Fuente: elaboración propia

Una vez evaluado el desarrollo del hardware e implementación inicial del transductor y su respectiva lectura de datos, se procede a revisar la metodología referente a la implementación del sistema *web*, la cual es el principal objetivo del presente documento.

### Diseño de sistema *web*

Para el caso de este desarrollo se realizaron siete *Sprints*, cada uno de las cuales cumplió con actividades y objetivos específicos. Los objetivos de los *Sprints* fueron los siguientes: el primer *Sprint* se desarrolló para realizar un análisis detallado de los requerimientos del proyecto y la planificación de las actividades iniciales; el *Sprint* número dos, se realizó para la configuración del entorno de desarrollo y crear los prototipos para la visualización de la interfaz. La finalidad del tercer *Sprint* fue implementar la base de datos y la API para la transmisión de datos. El *Sprint* número cuatro se creó con el objetivo de conectar el hardware (ESP32) con la API y configurar la comunicación en tiempo real mediante *WebSockets*. El quinto *Sprint* se realizó para la validación del envío de las notificaciones mediante la API y asegurar la funcionalidad básica. Con el *Sprint* sexto se creó la interfaz de la página *web* y se validó su diseño responsivo. Por último, el *Sprint* siete, tuvo la finalidad de realizar las pruebas finales en todas las funcionalidades y preparar la aplicación para su implementación. Cada uno de los objetivos de los *Sprints*, pueden observarse en la figura 11.

Figura 11. Objetivos de los *Sprint*

## Objetivos de los Sprint

### Sprint 1

Análisis detallado de los requerimientos y planificación de actividades.

### Sprint 2

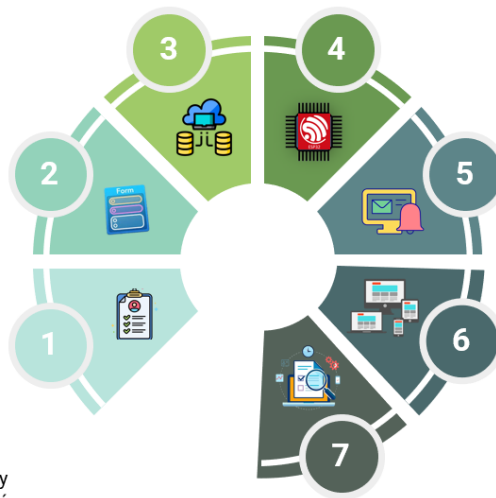
Configuración del entorno de desarrollo y creación de prototipos.

### Sprint 3

Implementación de base de datos y API para la transmisión de datos.

### Sprint 4

Conexión del ESP32 con API y configuración de comunicación con WebSocket.



### Sprint 5

Validación de envío de notificaciones con API y funcionalidad.

### Sprint 6

Creación de la interfaz web y validación del diseño responsivo.

### Sprint 7

Realización de pruebas finales y preparación de aplicación para su implementación.

Fuente: elaboración propia

Cada *Sprint* tuvo definidas actividades específicas, estas se muestran en la Tabla 1.

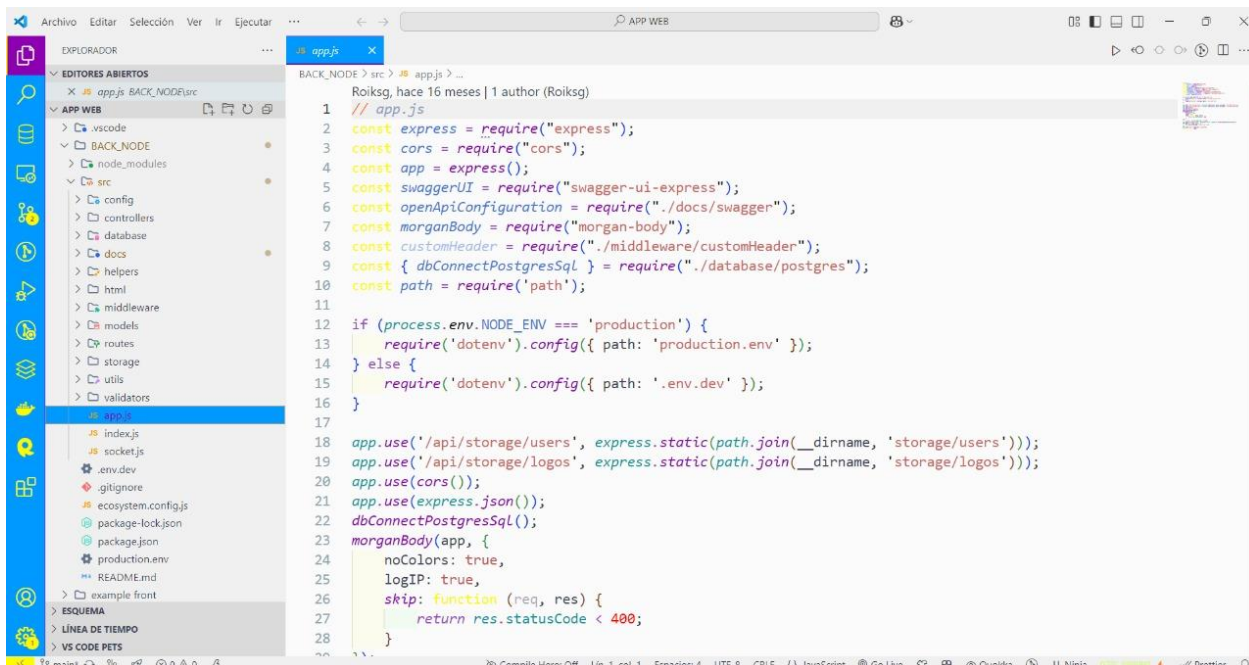
Tabla 1. Actividades por *Sprint*.

<i>Sprint</i> #	Act. n°.	Descripción de actividades
1	1	Reuniones con equipo de trabajo para comprender los objetivos del sistema.
	2	Identificación de requisitos del sistema y definición de funcionalidades clave.
	3	Planificación inicial de los <i>Sprint</i> futuros y asignación de roles y responsabilidades.
2	1	Configuración del entorno de desarrollo (React, Node.js, PostgreSQL).
	2	Creación de prototipo de la interfaz de usuario para la aplicación web.
3	1	Creación de la base de datos usando PostgreSQL.
	2	Desarrollo de la API utilizando Node.js para la comunicación con la base de datos.
4	1	Integración del ESP32 para la transmisión en tiempo real de datos.
	2	Configuración del <i>WebSockets</i> para la comunicación bidireccional.
5	1	Implementación y validación del sistema de notificaciones.
	2	Pruebas de funcionalidades en la aplicación web.
6	1	Desarrollo de la interfaz de usuario utilizando React para la aplicación web.
	2	Validación del sistema responsivo en diferentes dispositivos y pantallas.
7	1	Pruebas exhaustivas en todas las funcionalidades.
	2	Preparación de la aplicación y la infraestructura para la implementación.

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con las actividades realizadas en cada *Sprint* se obtuvieron una serie de resultados que iban permitiendo la ejecución de las actividades de los siguientes *Sprint*. En el primer *Sprint* como resultado se obtuvieron la documentación y el código del banco de vibraciones, así como la planificación detallada de los *Sprint* futuros. La configuración del entorno de desarrollo del segundo *Sprint*, se puede observar en la figura 12.

**Figura 12.** Entorno de desarrollo



```

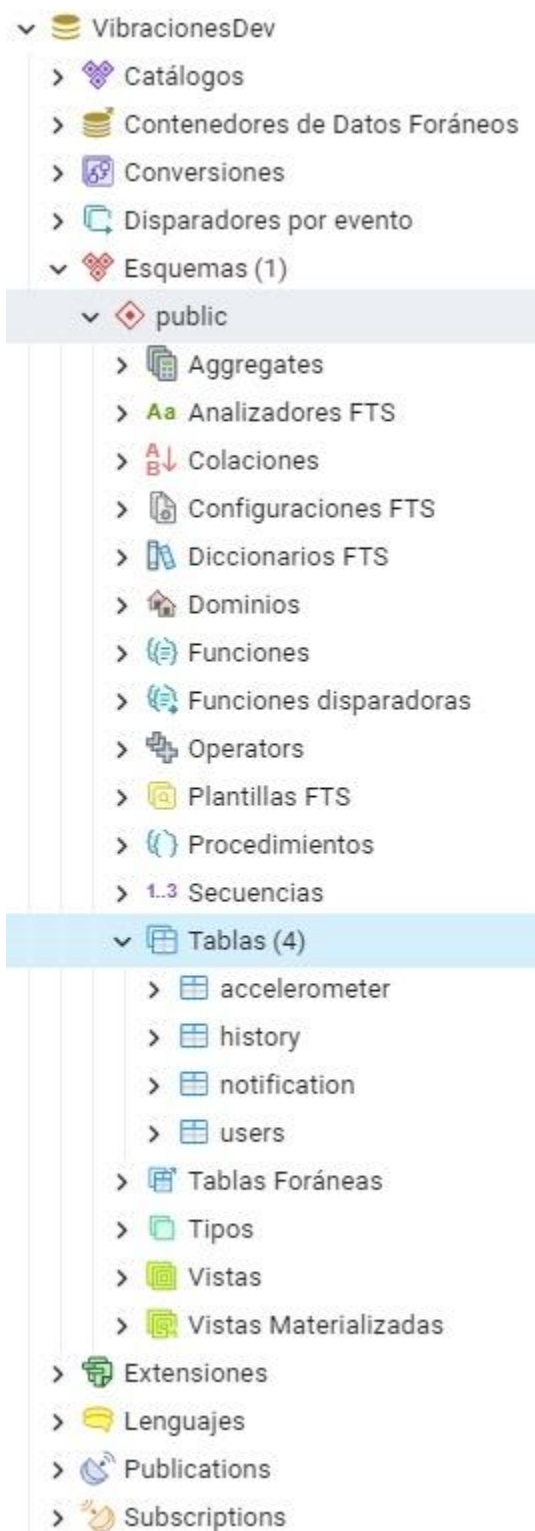
1 // app.js
2 const express = require("express");
3 const cors = require("cors");
4 const app = express();
5 const swaggerUI = require("swagger-ui-express");
6 const openApiConfiguration = require("./docs/swagger");
7 const morganBody = require("morgan-body");
8 const customHeader = require("./middleware/customHeader");
9 const { dbConnectPostgresSql } = require("./database/postgres");
10 const path = require('path');
11
12 if (process.env.NODE_ENV === 'production') {
13   require('dotenv').config({ path: 'production.env' });
14 } else {
15   require('dotenv').config({ path: '.env.dev' });
16 }
17
18 app.use('/api/storage/users', express.static(path.join(__dirname, 'storage/users')));
19 app.use('/api/storage/logos', express.static(path.join(__dirname, 'storage/logos')));
20 app.use(cors());
21 app.use(express.json());
22 dbConnectPostgresSql();
23 morganBody(app, {
24   noColors: true,
25   logIP: true,
26   skip: function (req, res) {
27     return res.statusCode < 400;
28   }
29 });

```

Fuente: elaboración propia

En el *Sprint* tres se crear la base de datos utilizando PostgreSQL como se muestra en la figura 13, y se desarrolla la API haciendo uso de Node.js para la comunicación con la propia base de datos como puede observarlo en la figura 14.

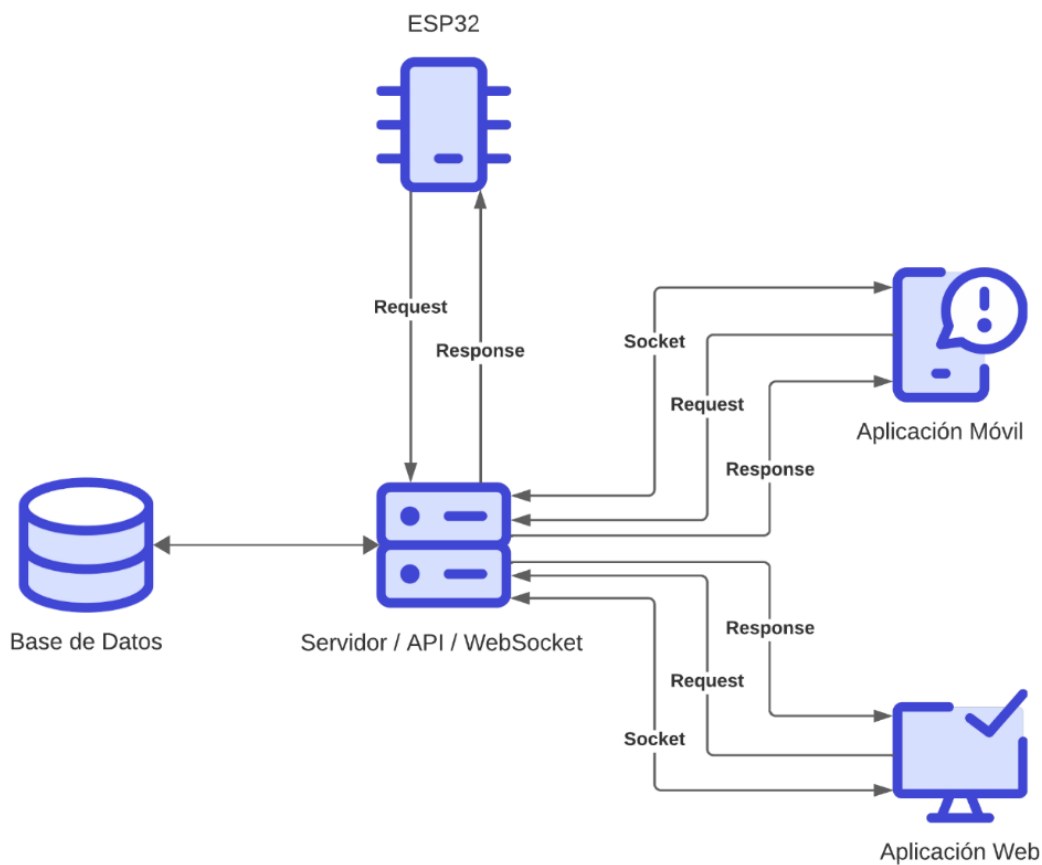
Figura 13. Estructura de la base de datos



Fuente: elaboración propia



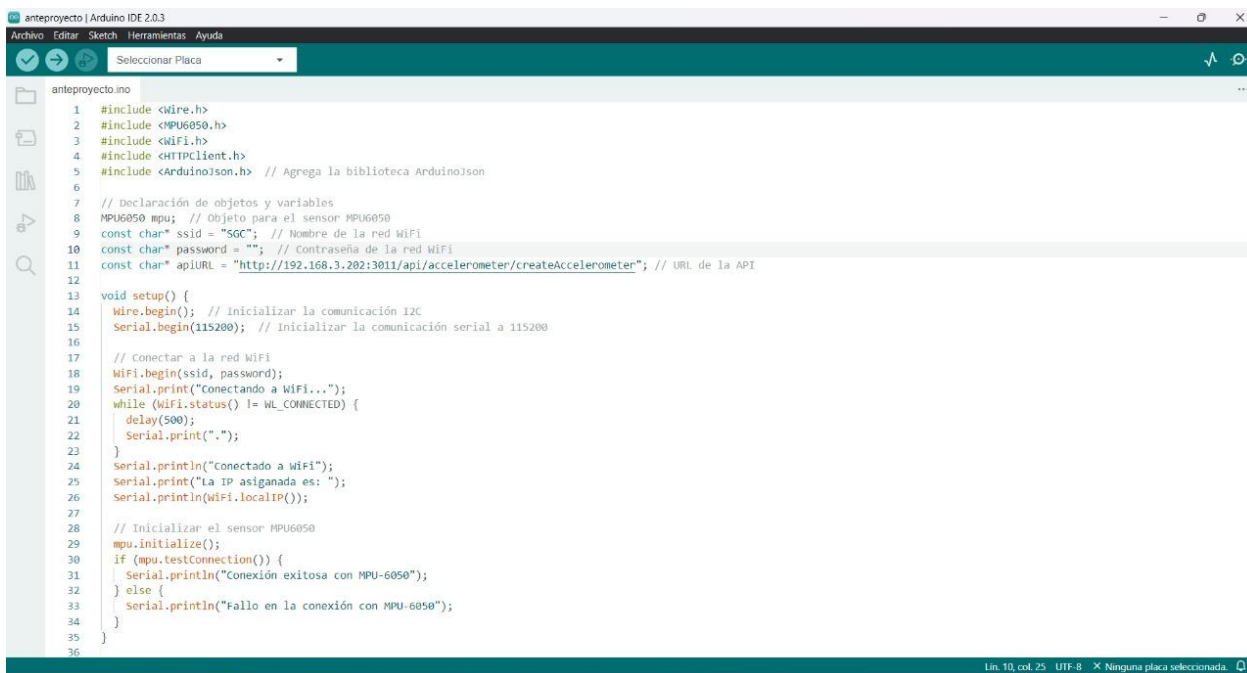
**Figura 15.** Conexión de API con base de datos, ESP32 y obtención de datos con el cliente



Fuente: elaboración propia

La integración del ESP32 para la transmisión de datos en tiempo real, se realizó en el *Sprint* cuatro, esta integración la puede observar en la figura 16. En este *Sprint* también se configuró el *WebSocket* para la comunicación bidireccional.

Figura 16. Código del ESP32



```

1 #include <Wire.h>
2 #include <MPU6050.h>
3 #include <WiFi.h>
4 #include <HTTPClient.h>
5 #include <ArduinoJson.h> // Agrega la biblioteca ArduinoJson
6
7 // Declaración de objetos y variables
8 MPU6050 mpu; // Objeto para el sensor MPU6050
9 const char* ssid = "SGC"; // Nombre de la red WiFi
10 const char* password = ""; // Contraseña de la red WiFi
11 const char* apiURL = "http://192.168.3.202:3011/api/accelerometer/createAccelerometer"; // URL de la API
12
13
14 void setup() {
15   Wire.begin(); // Inicializar la comunicación I2C
16   Serial.begin(115200); // Inicializar la comunicación serial a 115200
17
18   // Conectar a la red WiFi
19   WiFi.begin(ssid, password);
20   Serial.print("Conectando a WiFi...");
21   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
22     delay(500);
23     Serial.print(".");
24   }
25   Serial.println("Conectado a WiFi");
26   Serial.print("La IP asignada es: ");
27   Serial.println(WiFi.localIP());
28
29   // Inicializar el sensor MPU6050
30   mpu.initialize();
31   if (mpu.testConnection()) {
32     Serial.println("Conexión exitosa con MPU-6050");
33   } else {
34     Serial.println("Fallo en la conexión con MPU-6050");
35   }
36 }
  
```

Fuente: elaboración propia

La implementación y validación del sistema de notificaciones generados en el *Sprint* quinto, puede observarse en la figura 17.

Figura 17. Endpoint de creación de datos del acelerómetro

```

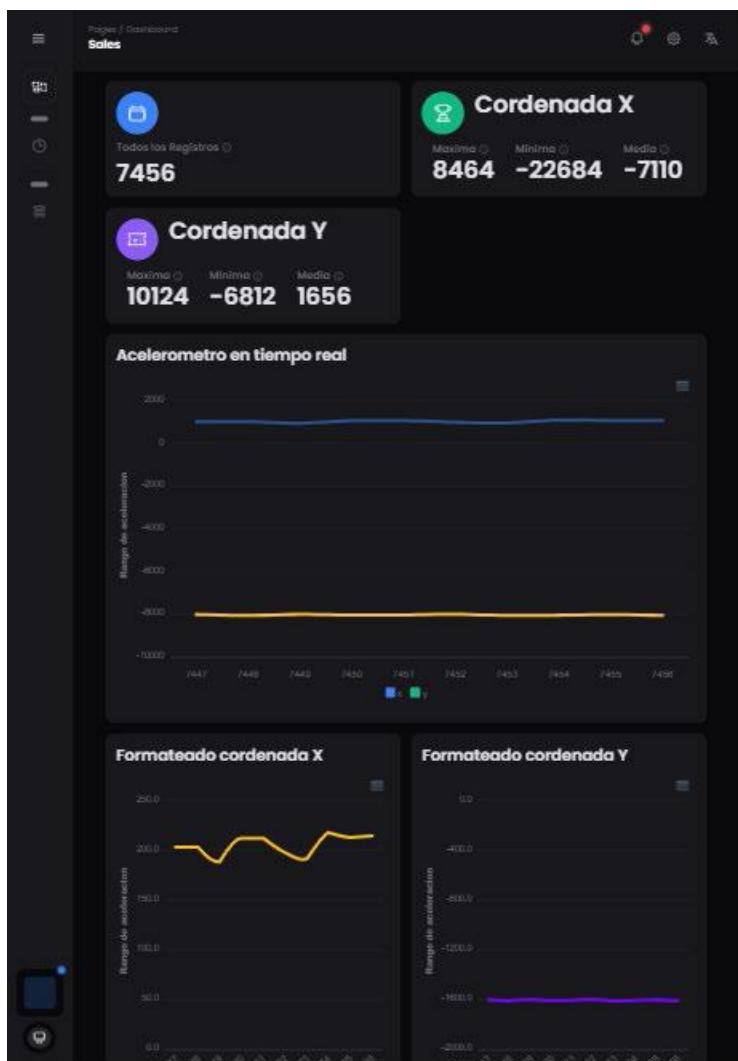
1  /* endpoint para crear Los datos del acelerometro */
2  const createAccelerometer = async (req, res) => {
3    try {
4      // Obtén Los datos desde el body
5      const { x, y } = req.body;
6
7      //console.log("Datos del acelerometro: ", req.body);
8
9      // Aplicar el filtro de suavizado exponencial a La coordenada x
10     const alpha = 0.2;
11     let sX = 0;
12     sX = alpha * x + (1 - alpha) * sX;
13
14     // Aplicar el filtro de suavizado exponencial a La coordenada y
15     let sY = 0;
16     sY = alpha * y + (1 - alpha) * sY;
17
18     // Crea un nuevo registro en la tabla
19     const newAccelerometer = await AccelerometerModules.create({
20       x,
21       y,
22     });
23
24     const serializedAccelerometerData = newAccelerometer.toJSON(); // Convierte el objeto a un formato JSON serializable
25
26     serializedAccelerometerData.sx = sX; // Agrega La coordenada x suavizada al objeto
27     serializedAccelerometerData.sy = sY; // Agrega La coordenada y suavizada al objeto
28
29     console.log(
30       "Emitiendo datos del acelerometro:",
31       serializedAccelerometerData
32     );
33
34     // Emitir todos Los registros a través de sockets
35     io.emit("socket:accelerometerData", serializedAccelerometerData);
36
37     // Envía el correo de advertencia, para decir que el acelerometro se ha pasado de Los Limites
38     /* if (x > 1.5 || y > 1.5) {
39       await sendEmail({
40         to: "roiksg9@gmail.com",
41         subject: "Advertencia de acelerometro",
42         html: `<p>EL acelerometro se ha pasado de Los Limites.<br> ${JSON.stringify(
43           serializedAccelerometerData
44         )} </p>`,
45       });
46     } */
47
48     // Envía el registro al front-end
49     handleHttpSuccess(
50       res,
51       true,
52       "Se ha guardado el dato del acelerometro.",
53       200,
54       newAccelerometer
55     );
56   } catch (error) {
57     console.log("Error: ", error);
58     // Devuelve el error al front-end
59     handleHttpError(res, "Error guardando el dato del acelerometro.", 500);
60   }
61 };

```

Fuente: elaboración propia

Para la validación del sistema responsivo en el *Sprint* número seis, se hace la prueba para diferentes dispositivos y pantallas, teniendo como uno de los resultados lo que se puede observar en la figura 18.

**Figura 18.** Vista del dashboard en tabletas



Fuente: elaboración propia

Por último, en el *Sprint* número ocho, se validan todas las funcionalidades y se prepara la infraestructura para la entrega del producto final que es una aplicación totalmente funcional para la interpretación y graficación de datos en tiempo real de un banco de vibraciones. La implementación exitosa de los *Sprint* garantizó la eficiencia operativa, la monitorización constante y la capacidad de respuesta a cambios en la infraestructura.

## Análisis de resultados

Una vez realizadas las etapas de simulación, se procede a realizar pruebas de laboratorio a través del uso de un banco de ensayos para simular motores en desbalance dinámico en uno o dos planos, dicho sistema permite emular de forma efectiva el comportamiento de una transmisión de potencia rotatoria equivalente a una unidad motriz de 1.5 hp, con velocidades de operación entre 1500 y 2000 rpm. Este arreglo permite valorar de forma experimental; el desempeño del dispositivo y de la interfaz gráfica de evaluación del índice de vibración detectados. Los resultados obtenidos, representan una histéresis por debajo del 3% y una precisión del 98%, con base en la aplicación de 100 ensayos realizados por el instrumento propuesto.

Para evaluar el desempeño de la aplicación desarrollada, se implementaron ensayos referentes al nivel de vibración en un banco de pruebas, esto a través de la aplicación de un arreglo de transductor tipo acelerómetro conectado al microcontrolador *Atmel 328* a manera de sistema de adquisición de datos en tiempo real. Se emula una condición de falla por desbalance al aplicar cargas de prueba en forma aleatoria en las masas fijas al eje rotatorio del banco, para que de esta manera se obtengan los parámetros en índices de fuerzas “*G*”, en vectores coplanares, es decir, se consideran las fuerzas generadas que actúan y concurren en el mismo plano que las masas del sistema.

Con la implementación de banco de análisis de vibraciones mecánicas de dos planos y mediante el software desarrollado, se logró detectar las fallas. Los resultados de los desbalances son equivalentes a fuerzas cortantes, efecto de los pares flectores que actúan sobre el eje generando fallas estructurales en equipos rotatorios industriales, tales como fallas en rodamientos y acoplamientos mecánicos. En cuanto al desglose del análisis obtenido por el ensayo, se evaluó el dispositivo de adquisición, a través de una aplicación de escritorio desarrollada en *Simulink* insertando en ella funciones definidas por usuario en *Matlab*, de esta forma, se integró el transductor a una plataforma de adquisición de datos y análisis en tiempo real, como se expone a continuación.

## Funcionamiento del sistema

La medición y adquisición de los parámetros de vibración para máquinas rotatorias, se lleva a cabo a través del instrumento elaborado que consta de una sujeción magnética, que actúa como un elemento de detección táctil, de un encapsulado de sensor analógico de aceleración para detección en los tres ejes físicos X, Y, y Z, y de un microcontrolador a 16 MHz de frecuencia de operación. Estos elementos se encargan de adquirir los parámetros de vibración de la maquinaria y transferir datos a la terminal de cómputo, desplegando la información del equipo por la interfaz gráfica. El sistema permite la interconexión a través de cable de datos y terminal. Así, el conjunto tiene la capacidad de graficar y analizar los índices de oscilación transformando los valores obtenidos del dominio del tiempo al dominio de frecuencia. La codificación inicial se desarrolló en el ID para el *Atmel 328*, donde se aplica la adquisición de las señales provenientes del acelerómetro.

El paquete tecnológico propuesto aporta una herramienta eficaz para el monitoreo de parámetros de desempeño de una variedad de sistemas rotatorios para transmisión de potencia, además, se simplifica el análisis de estos factores de trabajo, que bajo otros paradigmas, requieren de curvas de aprendizaje de largo desarrollo en el ámbito industrial, reduciendo en forma significativa el nivel de experticia del usuario para la interpretación de los datos, que de otra forma, exigiría un dominio alto de modelos matemáticos avanzados, tanto para modelado, como para el filtrado matemático de señales por medio de operaciones de transformación del dominio de la variable de control. El dispositivo opera de forma intuitiva a través de la generación de gráficas o *dashboards*, obteniendo una fácil interpretación de los parámetros adquiridos, los cuales evidencian el estado de la máquina.

Cabe destacar el aporte de las tecnologías *MEMS* (Micro-Electro-Mechanical Systems), las cuales son utilizadas en los sensores desplegados en la presente propuesta, mismas que tras el proceso de corridas con pesos de prueba, permitieron de forma rápida evaluar el estado de la máquina en tiempo real. Con las evidencias obtenidas, es factible indicar que se tiene una herramienta funcional a nivel experimental para la implementación de programas de mantenimiento predictivo de forma simple y con procesos de aprendizaje altamente intuitivos, lo que permite la migración a esta modalidad de mantenimiento en la industria local.

En esta primera instancia se obtuvieron resultados exitosos en la aplicación a sistemas industriales, lo que aporta resultados prometedores como una posible transferencia tecnológica exitosa. Esta propuesta permite, no tan solo la mejora continua en materia de la

calidad del mantenimiento en la localidad, sino también, en el desarrollo de capital humano enfocado a desarrollo tecnológico, así como de propuestas enfocadas en *Internet of Things (IoT)* e industria 4.0, para la resolución de problemáticas en la industria local, abatiendo el rezago tecnológico que se enfrenta actualmente.

## Discusión

En cuanto al sistema, al desarrollar todos los *Sprints* se obtuvo un sistema *web* adaptativo que cumple con los requerimientos solicitados, que interpreta y grafica datos en tiempo real para un banco de vibraciones mecánicas, al cual monitorea de manera constante y emite alertas que permiten estar atentos del comportamiento del sistema rotatorio.

Se observa en el sistema *web* un inicio de sesión de usuario, en el cual cada persona que vaya acceder al sistema, deberá ingresar su cuenta de usuario y contraseña para poder validar su autenticidad. Este inicio de sesión es muy intuitivo, amigable y facilita la experiencia del usuario, esto se observa en la figura 19.

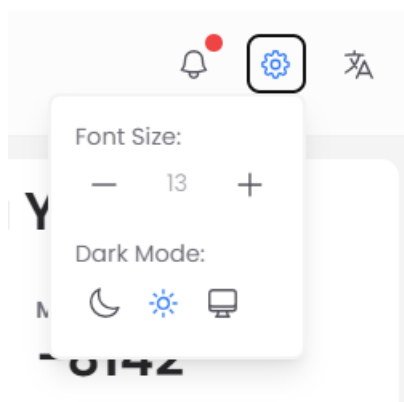
**Figura 19.** Inicio de sesión



Fuente: elaboración propia

En el sistema *web*, se habilitó un botón de configuración, como se muestra en la figura 20, mismo que permite a los usuarios personalizar la experiencia en cualquiera de dos modos de visualización, la versión *light* (clara) y la *dark* (oscura) en toda la aplicación *web*. Este botón proporciona opciones para ajustar el modo de visualización y el tamaño de la letra, asegurando una adaptabilidad óptima de los usuarios. Esta funcionalidad no solo amplía la accesibilidad de la aplicación, sino que también refleja un enfoque centrado en el usuario al proporcionar herramientas para elegir la interfaz de acuerdo con sus necesidades.

**Figura 20.** Botón de configuración del modo y el tamaño de letra en versión light



Fuente: elaboración propia

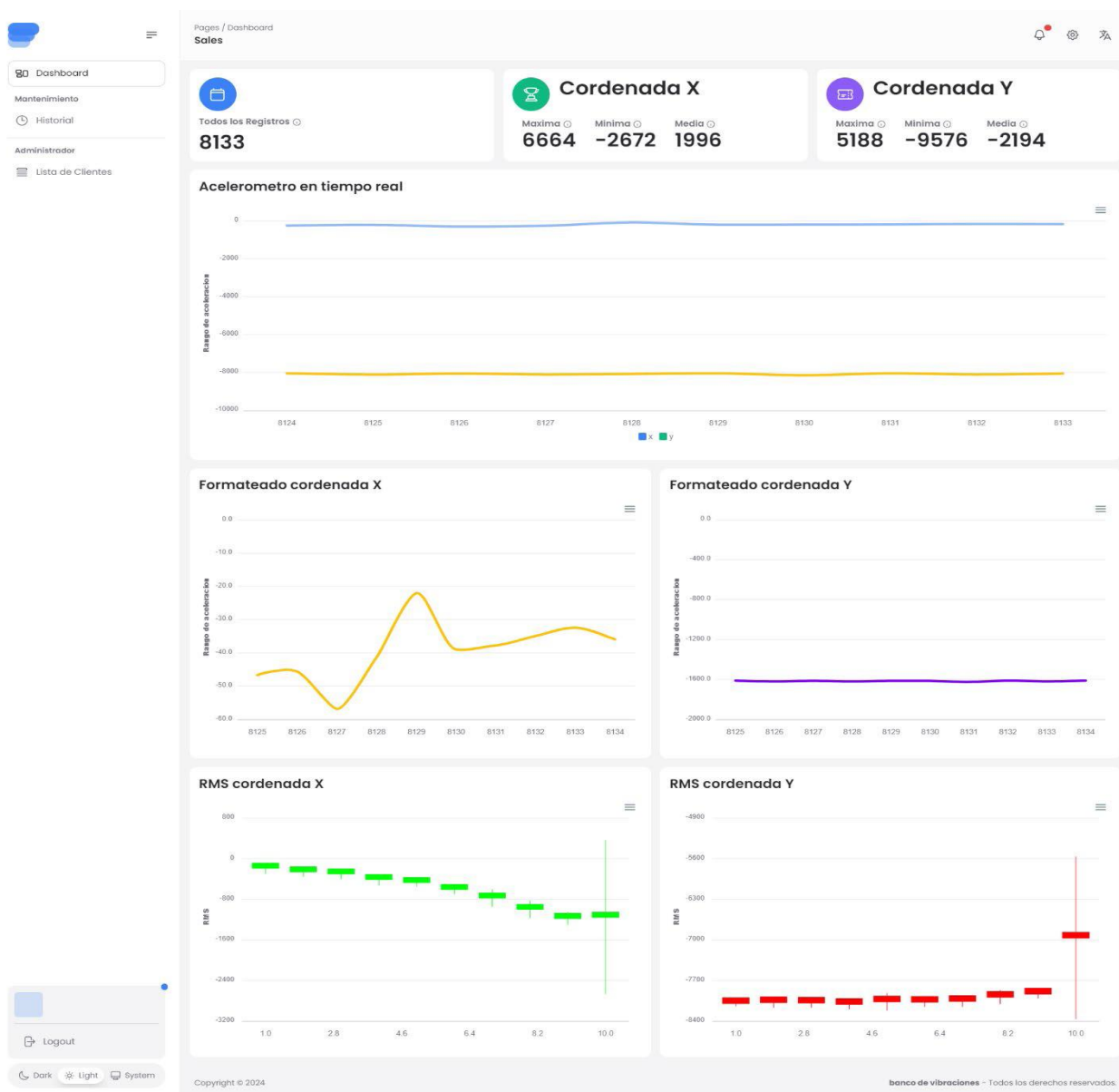
El panel principal del sistema *web* en la versión *dark* fue diseñado para proporcionar una experiencia visual usable en entornos con poca iluminación. Este diseño no solo se enfoca en la estética, sino también en la legibilidad de la información presentada. La paleta de colores oscuros se combina con elementos visuales distintivos para destacar las métricas clave, asegurando que los usuarios puedan interpretar fácilmente los datos de vibraciones mecánicas en tiempo real, asimismo, se seleccionaron las gráficas visualmente estéticas y funcionales para hacer la conversión de las vibraciones y así poder visualizar más fácil los datos del acelerómetro. Tal y como se muestra en la figura 18.

Lo anterior, contrasta con la investigación desarrollada por Maigua, Quitiaquez, Simbaña, Quitiaquez, Toapanta, y Isaza-Roldan (2020). Donde se muestran desarrollos de aplicaciones de escritorio, tales como *Simulink* de *Matlab* que si bien aportan un desempeño para la evaluación de las vibraciones mecánicas de un conjunto de generación eléctrica, que en esencia, el funcionamiento y principio de operatividad, es análoga a la presente propuesta. La principal diferenciación, es en el apartado de la portabilidad de la aplicación, ya que este desarrollo trata de un sistema *web* que se ejecuta en diversos tipos de dispositivos, lo que aporta un rango de movilidad al usuario para un monitoreo de mayor eficacia, además de no estar limitado por el tipo de conectividad debido a que la comunicación se efectúa por WiFi. Ante esta condición se logra un factor disruptivo con respecto a la investigación referida. Por otra parte, se evalúa a continuación las diferentes presentaciones de la interfaz.

La experiencia de usuario *UX* hace referencia a la percepción general que tiene el usuario al interactuar en este caso con el software, la cual se enfoca a que la interacción con el producto sea fácil de usar, agradable, legible, accesible, intuitiva y eficiente. La versión *dark* se realizó para ser usada en entornos de poca luz y para reducir la fatiga visual y el

consumo de batería. La versión *light* del panel principal, presentada en la figura 21, se elaboró para que la interfaz fuera más legible a las personas con dificultades visuales; ofrece una interfaz usable y nítida, diseñada para optimizar la visibilidad en entornos bien iluminados. Los tonos más claros y la disposición ordenada de los elementos visuales contribuyen a una experiencia de usuario eficiente. La elección de colores y la disposición de los paneles que se agregan a la pantalla “*widgets*” en esta versión buscan facilitar la interpretación instantánea de los datos, garantizando que los usuarios puedan monitorear las vibraciones mecánicas de manera accesible y clara.

**Figura 21.** Vista de dashboard en versión light



Fuente: elaboración propia

Un aspecto particularmente importante es la consola de la conexión del usuario al *socket*, reflejada en la figura 22, es un elemento crucial para entender la comunicación entre el sistema *web* y los usuarios. Esta consola proporciona información detallada mediante la API, mostrando eventos importantes como la entrada y salida de datos del acelerómetro. Un monitoreo efectivo de esta consola contribuye a la resolución eficiente de problemas de conectividad con la API y garantiza una experiencia continua para los usuarios.

**Figura 22.** Consola de conexión del usuario al *Socket*

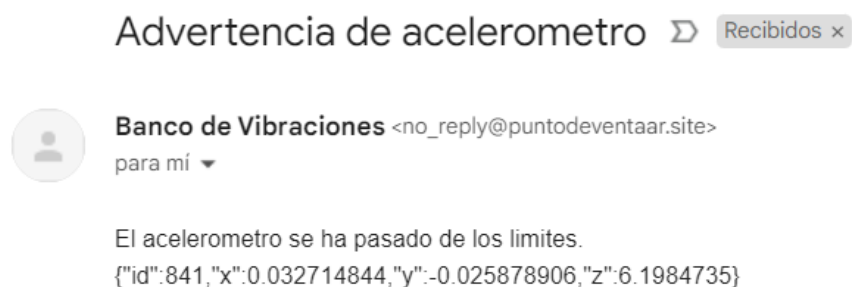
```
C:\xampp\htdocs\ESCUELA\BANCO DE VIBRACIONES\APP WEB\BACK_NODE>npm run dev
> banco-de-vibraciones@1.0.0 dev
> nodemon ./src/index.js

[nodemon] 2.0.22
[nodemon] to restart at any time, enter `rs`
[nodemon] watching path(s): *.*
[nodemon] watching extensions: js,mjs,json
[nodemon] starting `node ./src/index.js`
<<< Server is running on port http://localhost:3011>>>
<<< Socket.io Server is running on port http://localhost:3012>>>
<<< connection to POSTGRES succeed >>>
<<< Nuevo cliente conectado: 1My96NO-RyRxNVXTAAAB >>>
Correo se enviado correctamente
```

Fuente: elaboración propia

La advertencia al usuario relacionada con la actividad del acelerómetro se presenta a través de un correo electrónico que se envía al usuario. Este mecanismo de notificación es esencial para alertar a los usuarios o administradores sobre posibles problemas o eventos inesperados relacionados con las vibraciones mecánicas. El contenido del correo electrónico proporciona parámetros específicos que indican el estado funcional de la maquinaria en términos de la vibración, ver figura 23.

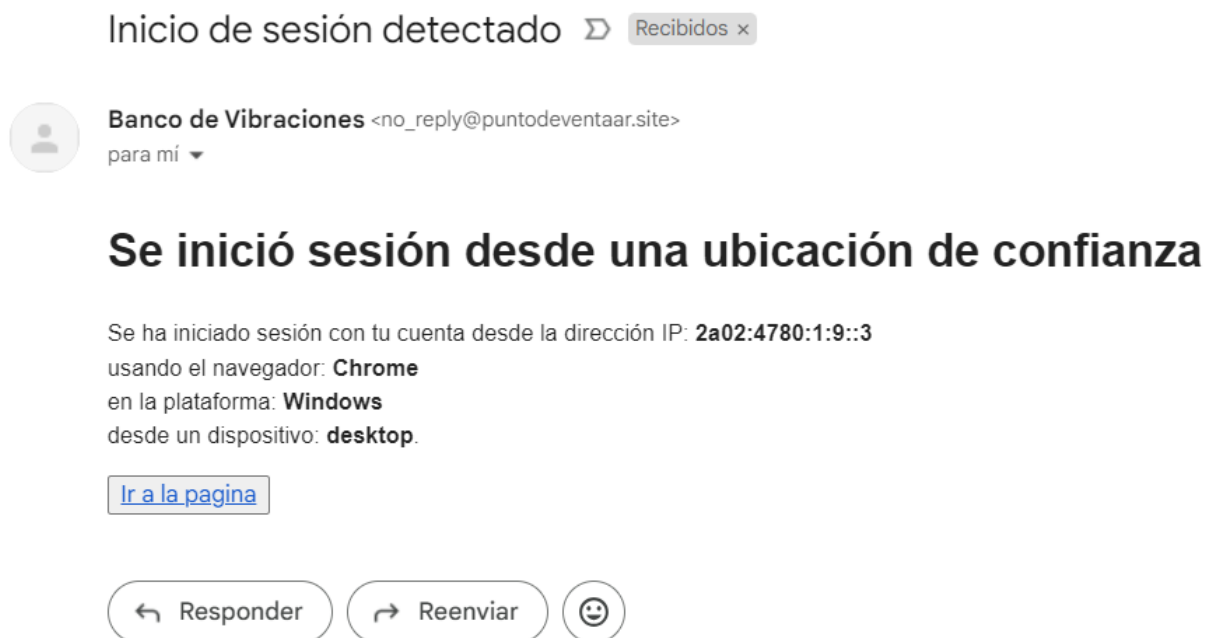
**Figura 23.** Correo de advertencia del acelerómetro



Fuente: elaboración propia

En cuanto a los eventos relacionados con los inicios de sesión, existe el envío de un correo electrónico de advertencia, véase figura 24. Este correo es una capa adicional de seguridad, notificando a los usuarios sobre cualquier actividad sospechosa en sus cuentas. La información detallada en el correo electrónico, proporciona pistas sobre la dirección IP, tipo de navegador, hora de conexión, sistema operativo y dispositivo asociado, permitiendo una rápida identificación y respuesta a posibles amenazas de seguridad.

**Figura 24.** Correo de advertencia de inicio de sesión



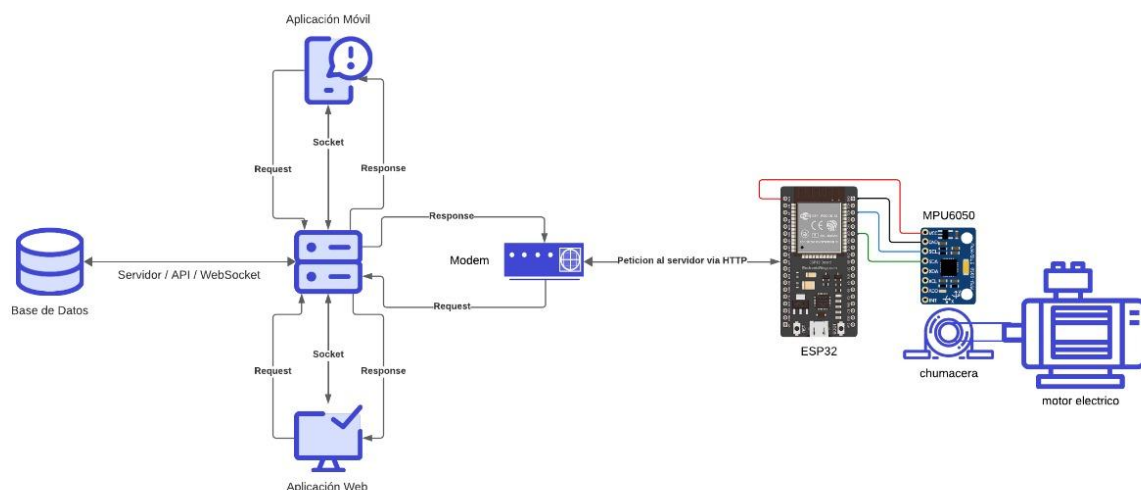
Fuente: elaboración propia

Finalmente, un aspecto clave es la conexión que tiene el elemento físico con el lógico y lo que permitió concluir de manera exitosa el sistema *web*, su implementación y pruebas. En la figura 25 se puede apreciar la composición del hardware, que incluye un ESP32, un

acelerómetro MPU6050 y un prototipo de motor eléctrico conectado a una chumacera para la recolección de datos de rodamiento. El acelerómetro MPU6050 está conectado a la chumacera para capturar las vibraciones del rodamiento. Posteriormente, en el lado del software, el ESP32 envía esta información a través de HTTP a la API, la cual está alojada en un servidor en la nube. En este caso el ESP32 actúa como un servidor que escucha las peticiones HTTP a través del puerto 80.

Para acceder a la información en tiempo real desde cualquier dispositivo, se debe estar vinculado a una conexión a internet, ya que la API se encarga de almacenar y mostrar continuamente los datos. En cuanto al software, la API está vinculada a una base de datos donde se almacenan todos los datos del sensor. Luego, se realiza un análisis de datos para extraer información relevante. La API actúa como intermediaria, recibiendo datos del sensor y permitiendo a los clientes conectarse para visualizar la información recopilada. Este enfoque proporciona una solución completa para monitorear y analizar el estado del rodamiento de manera eficiente.

**Figura 25.** Diagrama de conexión de la composición del hardware con el sistema



Fuente: elaboración propia

Una vez establecido el sistema de forma integral con las características funcionales y operativas a nivel de hardware y software, se logra un desempeño dentro de los parámetros establecidos, obteniendo de esta manera, la integración del sistema embebido en su adquisición de datos y la aplicación con la generación de *dashboards* de forma dinámica, permitiendo la representación del comportamiento de la máquina que cumple con la operación requerida. De esta manera, se obtiene un dispositivo modular con un adecuado

grado de robustez, mismo que se evidencia al no presentar interferencias significativas (ruido, es decir, superposición y/o detección de parámetros ajenos a la vibración), en la lectura de la maquinaria, gracias al arreglo del sistema de medición/adquisición de datos, y el correspondiente filtrado digital que se preestableció en el sistema embebido a través del código generado en *Simulink* usando bloques definidos por el usuario.

Lo anterior contrasta sustancialmente con los trabajos referidos por Dinardo, Fabbiano y Vacca (2018), ya que en este trabajo se efectúa una aplicación con base en minería de datos, referentes a varios históricos del desempeño de máquinas evaluadas, esta aplicación presenta valor como herramienta de evaluación para el diseño de mantenimientos preventivos; a pesar de su enfoque en la predicción del mismo, no implementa un sistema en tiempo real que indique el estado correcto de desempeño al momento en que se está presentando, o posibles desviaciones del funcionamiento de la máquina, por lo que la presente propuesta demuestra ser una propuesta de valor con respecto al sistema referido.

## Conclusiones

El diseño y la implementación del sistema *web* de análisis de datos en tiempo real para el mantenimiento predictivo de un equipo rotatorio se concluyó de acuerdo con los objetivos planteados. En la parte física, la conexión del ESP32 con el sensor MPU6050 colocado en el prototipo del banco de vibraciones mecánicas, permitió el envío de datos de las vibraciones con referencia al plano *X, Y* del rodamiento evaluado. En cuanto a la parte gráfica, principalmente se realizó a través de una API, la cual fue la vía de comunicación principal entre la base de datos y el ESP32 con una comunicación bidireccional en tiempo real a través del *WebSocket*, ya que esto permitió enviar la información a los clientes conectados al sistema desde sus dispositivos, para que pudieran ver el comportamiento de los datos del sistema rotatorio en tiempo real.

La presente propuesta permitió desarrollar tecnología local para la solución de problemáticas que presentan un gran rezago, esto, debido a que muchas industrias, presentan resistencia al cambio de los sistemas de última generación por condiciones de costos, así como su carácter disruptivo, que en muchas involucra una mejora en las competencias del personal aplicado a mantenimiento. El desarrollo cobra importancia no tan solo por proyectar una innovación en el ámbito local, sino también por presentar una alternativa viable, y que involucra una curva de aprendizaje de mayor alcance con respecto a otros sistemas.

También se cumple de forma alterna, con la ODS 9 de la Agenda 2030, la cual enmarca el requerimiento de obtener mejoras sustanciales en materia de industria, innovación e infraestructura, esto se logra al desarrollar talento que integre tecnologías y sistemas de control para la solución de problemáticas en la industria local, buscando abatir en forma sostenida la dependencia en los mantenimientos de tipo correctivo y preventivo el cual es un enfoque anacrónico. Ante este escenario, cobra mayor relevancia la implementación de iniciativas tecnológicas que permitan la portabilidad de supervisión y el control de los sistemas de producción de forma remota, logrando así la aplicación del modelo industria 4.0 y de IoT en forma cada vez más eficaz y eficiente en diversos ámbitos de la industria del país.

### **Futuras líneas de investigación**

Implementar como parte del algoritmo de ejecución, la aplicación de una red neuronal multicapa, a fin de lograr un aprendizaje profundo *deep learning*, que evalúe la condición del equipo, y realice un diagnóstico diferencial del sistema, caracterizando la anomalía como desbalanceo o desalineación, con base en el entrenamiento sistemático, aplicando una técnica de ciencia de datos como lo es el modelo de inferencia por mezcla gaussiana, que permite identificación de patrones y aprendizaje automático, a fin de efectuar un sistema que realice cálculos de balanceo en casos específicos.

De manera general, desarrollar un sistema que tenga la capacidad de estructurar una gestión automática de mantenimiento enfocado al comportamiento y desempeño de las unidades motrices de la planta de producción. Obteniendo un recurso tecnológico que permita apoyar la planeación de los programas de mantenimiento de forma autónoma.

## Referencias

- Aceves Aldrete, C. E. y Vargas Alejo, V. (2024). Uso de GeoGebra y registros de representación en problemas contextualizados para el aprendizaje de sistemas lineales 2x2. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 15(29). <https://doi.org/10.23913/ride.v15i29.2042>
- Ballesteros, L. (2021). Implementación y práctica de *SCRUM* en la asignatura de formulación y evaluación de proyectos en la facultad de ciencias económicas y administrativas de la Universidad del Bosque. *Revista Panorama*, 15(29), 127-140. doi: <https://doi.org/10.15765/pnrm.v15i29.2538>
- Bolaños, F., Caicedo, J., Alfonzo, C., Santeliz, A. y Porrello, A. (2018). Evaluación del comportamiento mecánico de un acero AISI 1045 sometido a tratamientos térmicos. *Revista Ingeniería UC*, 25(1), 99-107.
- Buenrostro, H. y Hernández, M. (2019). La incorporación de las TIC en las empresas. Factores de la brecha digital en las Mipymes de Aguascalientes. *Economía: teoría y práctica*, 50, 101-124. doi: <http://dx.doi.org/10.24275/ETYP/AM/NE/502019/Buenrostro>
- Brüel, H. y Kjaer. (2025). Guía completa para la medición de vibraciones. <https://www.bksv.com>
- Camargo-Amado, R. y Mosquera-Ayala, A. (2023). La revolución industrial 4.0. *Ingeniería y competitividad*, 25(2), 1-2. doi: <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.13294>
- Dinardo, G., Fabbiano, L. y Vacca, G. (2018). A smart and intuitive machine condition monitoring in the Industry 4.0 scenario. *Measurement*, 126, 1–12, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.041>
- Domínguez-Ulín, D. A., Velázquez-Reyes, L. E., Ocaña Valenzuela, E. A., Caraveo Cacep, M. A. y Arias Cruz, A. (2022). Diseño de una interfaz en LabVIEW para el análisis de vibraciones mecánicas en máquinas rotativas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 4210-4222. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i4.2929](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2929)
- Flores, E., Albornoz, A., López, E. y Romero, J. (2020). Evaluación mediante vibraciones de los rodamientos de la transmisión de un prototipo mini Baja SAE. *Revista Ingeniería UC*, 27(1), 41-53.
- Ibarra, M. N., Eusebio, R. y López, J.I. (2023). Red neuronal convencional para la clasificación de piezas mecánicas usando un sistema de visión artificial. *Ingeniantes*, 2(2), 67-72.

- Luna-López, M., Hernández-Lozano, M., Aldana-Franco, R., Álvarez-Sánchez, E., Leyva-Retureta, J., Ricaño-Herrera, F. y Aldana-Franco, F. (2021). Sistema inteligente de monitoreo para condiciones ambientales en Industria 4.0. *Revista Científica*, 25(2), 1-10.
- Maigua, C., Quitiaquez, W., Simbaña, I., Quitiaquez, R., Toapanta, L, y Isaza-Roldan, C. (2020). Diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones mecánicas en generadores hidroeléctricos de media potencia. *Técnica energía*, 17(1), 92-102. doi: 10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.397
- Ochoa, A, Cangrejo, L. D. y Delgado, T. (2018). Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 12(1), 189-204.
- Otero, A., Rivera, W., Pedraza, C. y Canay, J. (2019). Tic para la educación: sistema adaptativo basado en mecanismos de aprendizaje automático para la apropiación de tecnologías en estudiantes de educación media. *Telos*, 21(3), 526-537. doi: <https://doi.org/10.36390/telos213.03>
- Parker Hannifin Corporation (2002). *Catalog 1816/USA*. Industrial Profile System. P.30. <https://www.moas.com.mx/Notes/IPS%20CATALOGO.pdf>
- Rodríguez, G., Castro, R., Amado, M., Sarabia, J. y Toscano, L. (2023). Sistema de monitoreo de PH con tecnología ZIGBEE en la biofloculación de la microalga *Chlorella Sorokiniana*. *Revista IPSUMTEC*, 6(6), 65–70.
- Rodríguez-Gómez, D., Castro, D. y Meneses, J. (2018). Usos problemáticos de las TIC entre jóvenes en su vida personal y escolar. *Comunicar*, 26(56), 91-107. doi: <https://doi.org/10.3916/C56-2018-09>
- Sánchez, J., Guerrero, M., Mona L., Sánchez, O. y Velasco, A. (2023). Monitoreo de temperatura y humedad ambiental con LORAWAN:IoT en el desafío energético y el cambio climático. *Revista IPSUMTEC*, 6(5), 60–67.
- Viveros, I., Muñoz, J. y Aguirre, J. (2021). *Diseño de sistema de análisis de vibraciones por adquisición de datos con interfaz gráfica*. INNODOCT 2021. 561-568. Editorial Universitat Politècnica de València. doi: <http://dx.doi.org/10.4995/INN2021.2021.13432>

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Israel Viveros Torres (principal). Erica María Lara Muñoz (apoya).
Metodología	Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. (igual)
Software	Alex Ronaldo San Germán Carlín (principal). Israel Viveros Torres (apoya).
Validación	Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. (igual)
Análisis Formal	Israel Viveros Torres.
Investigación	Israel Viveros Torres (principal). Erica María Lara Muñoz (apoya). Rogelio Reyna Vargas (apoya).
Recursos	Israel Viveros Torres.
Curación de datos	Alex Ronaldo San Germán Carlín (principal). Israel Viveros Torres (apoya).
Escritura - Preparación del borrador original	Alex Ronaldo San Germán Carlín. Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. (igual)
Escritura - Revisión y edición	Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. Rogelio Reyna Vargas. (igual)
Visualización	Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. (igual)
Supervisión	Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. (igual)
Administración de Proyectos	Israel Viveros Torres. Erica María Lara Muñoz. (igual)
Adquisición de fondos	Rogelio Reyna Vargas. Erica María Lara Muñoz.

	(igual)
--	---------