



Desarrollo de una interfaz gráfica en MATLAB para el análisis de vibraciones
mecánicas fuera de línea.

Modalidad: Desarrollo Tecnológico

Andrés David Rojas Guerrero.

CC: 1.098.813.504

Brian Rodolfo Merchán Díaz

CC: 1.100.894.098

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER

FCNI

Ingeniería Electromecánica

Bucaramanga

19/06/2026



Desarrollo de una interfaz gráfica en MATLAB para el análisis de vibraciones
mecánicas fuera de línea.

Modalidad: Desarrollo Tecnológico

Andres David Rojas Guerrero.

CC: 1.098.813.504

Brian Rodolfo Merchán Díaz

CC: 1.100.894.098

Trabajo de Grado para optar al título de

Ingeniería Electromecánica.

DIRECTOR

Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez.

Grupo de Investigación en Sistemas de Energía, Automatización y Control – GISEAC.

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER

FCNI

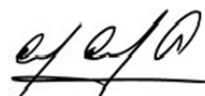
Ingeniería Electromecánica

Bucaramanga

19/06/2026

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado, en modalidad de desarrollo tecnológico, fue APROBADO en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos por las Unidades Tecnológicas de Santander para optar el Título de Ingeniero electromecánico según acta No. 20 del 29 de Julio del 2026 del Comité de Trabajo de Grado



Firma del Evaluador: Carlos Gerardo Cárdenas Arias



Firma del Director: Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez

DEDICATORIA

Este proyecto de grado lo dedico primeramente a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia requerida para alcanzar esta importante meta en mi vida profesional.

A mis padres Luz Stella Diaz Nardes, Rodolfo Merchan Caballero, a familiares, y a mi pareja Keyla Marian Ojeda quienes, con su apoyo incondicional, esfuerzo y confianza me motivaron a seguir adelante en cada etapa de mi formación académica. Gracias por ser mi ejemplo de dedicación y por acompañarme en los momentos de mayor desafío.

A mis amigos y compañeros, quienes compartieron conocimientos, experiencias y momentos significativos durante este proceso universitario.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional, impulsándome a cumplir esta meta tan anhelada.

Brian Merchán

La culminación de este proyecto de grado representa uno de los logros más importantes de mi vida personal y profesional, por lo que deseo dedicar este trabajo a todas las personas que hicieron posible alcanzar esta meta.

Andrés Rojas

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por permitirme culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida y por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional. A las Unidades tecnológicas de Santander, por brindarme una formación integral y las herramientas necesarias para enfrentar los retos del campo de la Ingeniería Electromecánica. A los docentes que hicieron parte de mi proceso académico, especialmente a mi director de proyecto Al profesor Camilo Sandoval por su disposición, orientación y apoyo constante en el desarrollo de este proyecto de grado, y por su paciencia, conocimientos y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. De nuevo a mis padres y familiares, por su apoyo constante, comprensión y motivación durante todos los años de estudio. Su esfuerzo y confianza fueron fundamentales para alcanzar este logro. Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que contribuyeron directa o indirectamente al desarrollo de este proyecto, haciendo posible la culminación de una etapa tan importante en mi vida profesional.

Brian Merchán

En primer lugar, agradezco profundamente a mi madre, Melba Patricia Guerrero, a mi padre, Gilberto Rojas, y a mi abuela, Mariluz Penagos, por su amor, apoyo incondicional, comprensión y acompañamiento durante todo mi proceso académico. Gracias por creer en mí, por brindarme la fortaleza necesaria para superar cada desafío, por sus consejos, sacrificios y por estar presentes en cada etapa de este camino. Este logro también les pertenece a ustedes, ya que fueron el motor que me impulsó a seguir adelante y a convertirme en una mejor persona y un mejor profesional. De igual manera, extiendo mi agradecimiento a todos los docentes que hicieron parte de mi formación académica y que contribuyeron con sus conocimientos, experiencias y enseñanzas al desarrollo de este proyecto y a mi crecimiento como futuro Ingeniero Electromecánico. Su dedicación y compromiso fueron fundamentales para fortalecer mis capacidades y

competencias profesionales. Especialmente, deseo agradecer al profesor Camilo Sandoval por su entrega, disposición, orientación y apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto de grado. Su acompañamiento, conocimientos y compromiso fueron de gran importancia para la culminación exitosa de este trabajo. Asimismo, agradezco al profesor Diego Armando Cartagena, quien despertó en mí una mayor pasión por la Ingeniería Electromecánica y me permitió descubrir la belleza y el valor de esta profesión, fortaleciendo mi vocación y motivación para alcanzar este sueño. Finalmente, agradezco a Dios y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este sueño. Desde que era niño soñé con convertirme en Ingeniero Electromecánico, y hoy, al ver este sueño hecho realidad, siento una profunda gratitud por cada experiencia, esfuerzo y apoyo recibido a lo largo de este camino. Este logro representa el resultado de años de dedicación, perseverancia y trabajo constante, y marca el inicio de una nueva etapa llena de retos y oportunidades para seguir creciendo como profesional y como ser humano.

Andrés Rojas

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	17
2. MARCO REFERENCIAL	20
2.1. VIBRACIONES MECÁNICAS.	20
2.1.1. CONCEPTO DE VIBRACIÓN MECÁNICA.....	21
2.1.2. PARÁMETROS DE VIBRACIÓN	22
2.2. ANÁLISIS DE VIBRACIONES	23
2.3. SEÑALES DE VIBRACIÓN.....	26
2.3.1. SEÑALES EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.....	27
2.3.2. SEÑALES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.	28
2.3.3. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES.....	29
2.4. TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER (FFT)	30
2.5. MATLAB.....	32
2.6. INTERFACES GRÁFICAS DE USUARIO (GUI).....	33
2.7. DESBALANCEO Y DESALINEAMIENTO	34
2.7.1. DESBALANCEO.	34
2.7.2. DESALINEAMIENTO	36
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	41
5. RESULTADOS	50
6. CONCLUSIONES	54

<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>55</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>56</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de vibraciones mecánicas	22
Figura 2. Aplicación de Análisis de Vibraciones	24
Figura 3. Ejemplo de espectro de vibración utilizado para la identificación de fallas mecánicas.	26
Figura 4. Ejemplo de señal de vibración representada en el dominio del tiempo.....	28
Figura 4. Ejemplo de señal de vibración representada en el dominio de la frecuencia. ...	29
Figura 6. Ejemplo de gráfica del espectro de frecuencias	32
Figura 7. Representación conceptual del desbalanceo en un rotor.	35
Figura 8. Tipos de desalineamiento	36
Figura 9. Pasos para el desarrollo del proyecto.	41
Figura 10. Como entrar al entorno de App.	42
Figura 11. Vista previa App Designer.....	42
Figura 12. División de la pantalla de la interfaz.	43
Figura 13. Graficas interfaz	43
Figura 14. Cajas de la interfaz para añadir componentes	44
Figura 15. Componentes para el proceso de carga y ejecución de la interfaz	44
Figura 16. Componentes para la visualización de los datos de las graficas	45
Figura 17. Diseño final de la interfaz	45
Figura 18. Diagrama de flujo – Programación interfaz.....	46
Figura 19. App designer editor de código.....	46
Figura 20. Como agregar componentes al código.....	47
Figura 21. Propiedad: función para guardar los datos.	47
Figura 22. Programación botón de importar los datos	48
Figura 23. Programación botón de FFT.....	48
Figura 24. Programación botón limpiar.....	49
Figura 25. Programación botón exportar.	49
Figura 26. Proceso carga de datos.	50
Figura 27. Carga de datos y grafica de datos originales.....	50
Figura 28. Ingresar número de muestras.	51
Figura 29. Grafica de la FFT en la interfaz	51
Figura 30. Exportar graficas	52
Figura 31. Grafica de la FFT descargada.....	52
Figura 32. Interfaz limpia para ejecutar otros datos.....	53

RESUMEN EJECUTIVO

El análisis de vibraciones constituye una herramienta fundamental para el monitoreo de condición y la detección temprana de fallas en maquinaria rotativa. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una interfaz gráfica offline en MATLAB que integre el procesamiento de señales mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT), con el fin de facilitar la identificación y análisis de vibraciones mecánicas asociadas a condiciones de operación y posibles fallas. El diseño e implementación de una interfaz gráfica utilizando MATLAB App Designer, incorporando módulos para la carga de señales almacenadas, visualización en el dominio del tiempo, procesamiento espectral mediante FFT y presentación de resultados. Asimismo, se desarrollaron funciones para la interacción entre los elementos gráficos y los datos de entrada, permitiendo una operación intuitiva y organizada para el usuario.

Como resultado, se obtuvo una herramienta capaz de procesar señales de vibración offline y representar su contenido frecuencial mediante espectros FFT, facilitando la identificación de componentes características asociadas a fenómenos de vibraciones. Las pruebas funcionales realizadas evidenciaron el correcto desempeño de la interfaz en la carga, procesamiento y visualización de señales, así como en la obtención de información relevante para el diagnóstico vibracional. La herramienta desarrollada permite optimizar la interpretación de señales vibracionales y contribuye al fortalecimiento de actividades relacionadas con el monitoreo de condición y el mantenimiento predictivo de maquinaria rotativa.

PALABRAS CLAVE. análisis de vibraciones, Transformada Rápida de Fourier, MATLAB, procesamiento digital de señales, mantenimiento predictivo.

INTRODUCCIÓN

Las vibraciones mecánicas constituyen uno de los fenómenos más relevantes en el estudio y monitoreo de maquinaria rotativa, debido a que contienen información relacionada con el estado operativo de los componentes mecánicos. Equipos como motores eléctricos, bombas, ventiladores y compresores generan vibraciones durante su funcionamiento normal; sin embargo, variaciones en sus características pueden indicar la presencia de fallas tales como desbalanceo, desalineamiento, holguras mecánicas o defectos en rodamientos. Por esta razón, el análisis de vibraciones se ha consolidado como una de las técnicas más utilizadas para evaluar la condición de la maquinaria y apoyar las estrategias de mantenimiento industrial (Penkova Vassileva, 2007). La identificación temprana de anomalías contribuye a disminuir tiempos de parada no programados, reducir costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de los procesos productivos.

Para la interpretación de las señales vibratorias se emplean diversas técnicas de procesamiento digital de señales, las cuales permiten extraer información relevante a partir de los datos obtenidos por sensores de vibración. Entre estas técnicas destaca la Transformada Rápida de Fourier (FFT), ampliamente utilizada para convertir señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, facilitando la identificación de componentes frecuenciales asociadas a defectos específicos en maquinaria rotativa. Gracias a su eficiencia computacional y capacidad de análisis espectral, la FFT se ha convertido en una herramienta fundamental dentro de los sistemas modernos de monitoreo de condición y diagnóstico de fallas (Estupiñán et al., 2006).

Paralelamente, el desarrollo de interfaces gráficas de usuario ha permitido mejorar la interacción entre los usuarios y las herramientas de análisis, facilitando la visualización e interpretación de grandes volúmenes de información. En

aplicaciones de mantenimiento predictivo, las interfaces gráficas posibilitan integrar funciones de adquisición, procesamiento y representación de señales en un entorno intuitivo y accesible, reduciendo la complejidad asociada al uso de herramientas especializadas (Benítez Cruz, 2022). En este contexto, plataformas como MATLAB ofrecen recursos avanzados para el desarrollo de aplicaciones orientadas al análisis vibracional mediante la integración de algoritmos de procesamiento digital y componentes gráficos interactivos.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una interfaz gráfica offline en MATLAB que integre el procesamiento de señales mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para mejorar la identificación de vibraciones mecánicas. El diseño e implementación de una interfaz gráfica utilizando MATLAB App Designer, incorporando funciones para la carga, procesamiento y visualización de señales de vibración almacenadas de manera offline. Como resultado, se obtuvo una herramienta capaz de representar señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, permitiendo identificar características asociadas a fenómenos como desbalanceo y desalineamiento. Las pruebas funcionales realizadas evidenciaron el correcto funcionamiento de la aplicación, demostrando su utilidad como herramienta de apoyo para actividades de monitoreo de condición y mantenimiento predictivo.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis de vibraciones mecánicas constituye una herramienta esencial para el diagnóstico temprano de fallas y la planificación de mantenimientos preventivos. Las vibraciones, causadas por eventos como la desalineación, la cavitación, la resonancia o el desbalance, impactan de manera directa el tiempo de vida de las estructuras y los equipos; esto se traduce en riesgos operativos y pérdidas financieras. A pesar de la importancia de esta variable, sigue habiendo una escasez de herramientas accesibles y especializadas que posibiliten el procesamiento nítido y comprensible de las señales vibracionales (Alejandro et al., 2017).

Hoy en día, gran cantidad de sistemas de monitoreo vibracional se centran en soluciones caras, en plataformas web que requieren una conexión permanente o en interfaces que no incorporan el procesamiento espectral de manera intuitiva. Esto crea una brecha entre la necesidad de tener análisis exhaustivos y la capacidad concreta de los usuarios para descifrar las señales en contextos educativos u offline. Específicamente, la Transformada Rápida de Fourier (FFT) es un procedimiento reconocido como efectivo para detectar patrones vibracionales y diagnosticar fallas a través de la extracción de frecuencias dominantes; no obstante, su uso práctico está generalmente restringido a software especializado o a ambientes que son difíciles de acceder para investigadores y estudiantes (Esaki Muthu Pandra Kone et al., 2026).

La falta de herramientas offline que posibiliten el trabajo sin conexión a internet, la escasez de interfaces gráficas intuitivas para integrar procesamiento de señales vibracionales en MATLAB y la carencia de soluciones pedagógicas que

hagan más accesible el análisis vibracional a los alumnos de ingeniería electromecánica son las razones detrás del presente problema. Esta circunstancia restringe la capacidad de diagnóstico y la formación académica en ambientes industriales, donde el análisis vibracional es fundamental para tomar decisiones sobre el mantenimiento predictivo (Guerrero, 2007)

. Se presenta la necesidad de crear una interfaz gráfica en MATLAB que posibilite el procesamiento de señales vibratorias a través de FFT, haciendo visibles las frecuencias predominantes y simplificando la interpretación de los resultados. El objetivo de esta herramienta es ser una solución accesible, práctica y flexible que ayude tanto a la industria como a la academia, mejorando la habilidad para el análisis y la prevención de fallas mecánicas. ¿De qué manera la integración de FFT en una interfaz gráfica offline en MATLAB mejora la identificación de fallas mecánicas asociadas a fenómenos como desbalance, desalineación o resonancia?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El análisis de vibraciones mecánicas es un elemento clave para garantizar la confiabilidad de los sistemas industriales y prevenir fallas que puedan comprometer la seguridad, la productividad y la economía de las organizaciones. Sin embargo, existe una limitación en la disponibilidad de herramientas accesibles que integren procesamiento espectral avanzado, como la Transformada Rápida de Fourier (FFT), dentro de entornos offline y de fácil uso. Esta carencia afecta tanto la formación académica de los estudiantes como la capacidad de diagnóstico en escenarios donde no se dispone de sistemas de monitoreo continuo o plataformas comerciales de alto costo (Parra et al., 2022).

La interfaz gráfica en MATLAB ofrece una solución tecnológica práctica y viable, que permite procesar señales vibracionales y mostrar de manera clara las frecuencias dominantes. Con ello se fortalece la capacidad de análisis vibracional, se contribuye a la prevención de fallas mecánicas y se optimiza la toma de decisiones en mantenimiento predictivo. Además, al ser desarrollada en un entorno ampliamente utilizado en la ingeniería, se asegura la aplicabilidad y accesibilidad para estudiantes e investigadores, lo que incrementa su impacto académico y profesional (Penkova Vassileva, 2007).

Desde una perspectiva económica y social, la herramienta representa una alternativa de bajo costo frente a sistemas especializados, lo que facilita su implementación en instituciones educativas y pequeñas industrias. En el ámbito ambiental, la prevención de fallas mediante análisis vibracional contribuye a reducir el desperdicio de recursos y a prolongar la vida útil de los equipos, alineándose con principios de sostenibilidad.

Finalmente, este proyecto se articula con las líneas de investigación del grupo GISEAC, fortaleciendo la producción académica en áreas de control, automatización y análisis de sistemas mecánicos. Su relevancia para las UTS radica en que no solo aporta al desarrollo investigativo institucional, sino que también

genera un recurso pedagógico que facilita la comprensión de fenómenos vibracionales, apoyando la formación integral de los estudiantes y ofreciendo un aporte significativo al campo del conocimiento y a la sociedad

.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una interfaz gráfica offline en MATLAB que integre el procesamiento de señales mediante FFT, con el fin de mejorar la identificación de las vibraciones mecánicas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura funcional de una interfaz gráfica en MATLAB, definiendo los componentes interactivos
- Implementar la interfaz offline en MATLAB integrando la FFT
- Desarrollar la programación en MATLAB para la interacción de la interfaz con los datos de las señales
- Desarrollar pruebas funcionales de la interfaz con los datos offline

1.4. ESTADO DEL ARTE

La información encontrada relacionada con este trabajo se muestran continuación:

El primer estudio examinado presenta un análisis exhaustivo de los sistemas de monitoreo utilizados en las centrales hidroeléctricas, clasificando las tecnologías por el tipo de sensor, el componente monitoreado y el fenómeno evaluado. Se enfatiza la importancia de las vibraciones como una variable esencial para el diagnóstico temprano de averías en generadores y turbinas, además de indicar que es necesario contar con interfaces que incorporen procesamiento de señales como la FFT. Esto se relaciona directamente con la propuesta que planteas en tu proyecto (García Márquez et al., 2026).

Además, se creó una interfaz gráfica en MATLAB App Designer para mostrar la serie de Fourier en un curso de telecomunicaciones. Esta investigación utilizó elementos interactivos que posibilitaron la elección de parámetros de señales periódicas y la visualización de su descomposición en el dominio tiempo-frecuencia. A pesar de que la situación es académica, se ha comprobado que es posible combinar el procesamiento de señales con interfaces gráficas en MATLAB; esto representa un precedente para el análisis vibracional por medio de FFT (Navarrete, 2021).

Una investigación adicional trató la modelización de vibraciones mecánicas por medio de una interfaz gráfica en MATLAB, empleando ecuaciones diferenciales de segundo orden que se resolvieron con el método Runge-Kutta. La herramienta fue validada a través de evaluaciones de usabilidad con expertos y posibilitó la simulación de varios escenarios vibracionales, incluyendo los amortiguados, no amortiguados y forzados. Esta contribución fortalece la relevancia de las GUIs en MATLAB para el análisis vibracional, a pesar de que tu propuesta se distingue por centrarse en el procesamiento FFT de señales reales (Parra et al., 2022).

Además, se creó una interfaz para supervisar vibraciones mecánicas en estructuras con un grado de libertad, utilizando cuatro sensores MPU6050 que funcionan con MATLAB. El sistema posibilitó definir modelos de acción vibracional y analizar la disminución de rigidez estructural, demostrando su utilidad en el diagnóstico industrial y en la educación. Este precedente es fundamental, ya que muestra la exitosa fusión de hardware de sensado con MATLAB; sin embargo, tu proyecto se diferencia por incluir FFT para un análisis espectral más pormenorizado (Benitez Cruz, 2022).

Por último, se mostró un sistema en la web para el análisis de vibraciones mecánicas en bancos de prueba en tiempo real, dirigido al mantenimiento predictivo. La interfaz fue creada con React, mientras que la transmisión de datos en tiempo real se realizó a través de Socket.io y la comunicación por medio de Node.js. Este

estudio, aunque se enfoca en un entorno online, demuestra la inclinación hacia interfaces accesibles para el monitoreo de vibraciones. Tu propuesta es una opción offline en MATLAB que se especializa en el procesamiento FFT, lo que la hace más apropiada para contextos en los que es necesario realizar un análisis exhaustivo sin tener que depender de una conexión permanente (Lara Muñoz et al., 2025).

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Vibraciones Mecánicas.

Las vibraciones mecánicas son uno de los fenómenos físicos más importantes en el análisis y seguimiento de la maquinaria en la industria. Estas ocurren cuando un sistema se mueve de manera oscilante en torno a un punto de equilibrio como resultado de fuerzas internas o externas. Examinar estas oscilaciones permite valorar el comportamiento dinámico de los equipos, reconocer irregularidades en su funcionamiento y detectar problemas incipientes antes de que causen daños severos en las piezas mecánicas.

En el sector industrial, las vibraciones se encuentran en diversas máquinas rotativas, como motores eléctricos, bombas centrífugas, ventiladores, compresores y turbinas. Aunque es normal que estos equipos presenten cierto nivel de vibración, un aumento inusual en su amplitud o la aparición de ciertas frecuencias puede ser señal de fallos mecánicos o eléctricos que impactan en el rendimiento del sistema.

El análisis de las vibraciones mecánicas se ha transformado en una herramienta clave en las estrategias de mantenimiento predictivo y en el monitoreo basado en las condiciones operativas, ya que facilita obtener datos sobre el estado de la maquinaria sin interrumpir los procesos productivos. Con el uso de sensores especializados y métodos de procesamiento digital de señales, se pueden estudiar las características vibratorias de los equipos y establecer pautas para la detección temprana de fallos.

Las vibraciones se definen por tres parámetros esenciales: amplitud, frecuencia y fase. La amplitud indica la magnitud del movimiento oscilatorio y puede medirse en términos de desplazamiento, velocidad o aceleración. La frecuencia se refiere a la cantidad de ciclos que ocurren en un período de tiempo y se mide

comúnmente en Hertz (Hz), mientras que la fase señala la ubicación relativa de una señal en comparación con otra durante la oscilación.

Dada la fuerte conexión entre las vibraciones y las condiciones de operación de la maquinaria, el análisis vibracional es una de las técnicas más empleadas para verificar la integridad mecánica de los sistemas industriales y facilitar la toma de decisiones en los programas de mantenimiento.

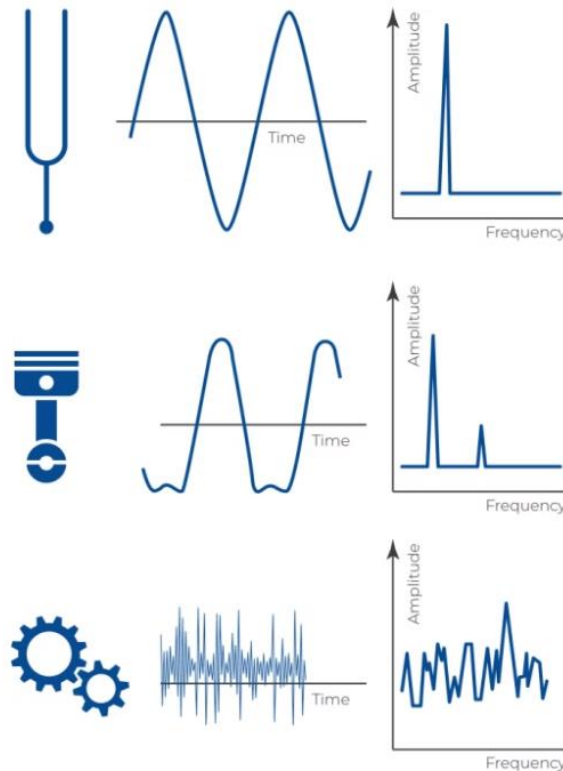
2.1.1. Concepto de Vibración Mecánica

Una vibración mecánica puede definirse como el movimiento oscilatorio de un cuerpo o sistema alrededor de una posición de equilibrio. Este fenómeno ocurre cuando una fuerza provoca el desplazamiento de un elemento mecánico y posteriormente actúan fuerzas restauradoras que intentan devolverlo a su estado inicial. Como resultado, se genera un movimiento repetitivo que puede presentarse de forma periódica o aleatoria.

Desde el punto de vista dinámico, las vibraciones son una manifestación de la transferencia y transformación de energía entre los elementos de un sistema mecánico. En maquinaria industrial, estas oscilaciones pueden originarse por diversas causas, tales como desbalanceo de masas rotativas, desalineación de ejes, desgaste de rodamientos, holguras mecánicas o excitaciones externas provenientes del entorno operativo.

El estudio de las vibraciones mecánicas permite comprender el comportamiento dinámico de los equipos y constituye una herramienta fundamental para el monitoreo de condición y el mantenimiento predictivo. Mediante el análisis de las señales vibratorias es posible detectar anomalías operativas y evaluar el estado de salud de los componentes mecánicos sin necesidad de interrumpir el funcionamiento de la maquinaria.

Figura 1. Tipos de vibraciones mecánicas



Fuente: svantek.com

2.1.2. Parámetros de vibración

Las vibraciones mecánicas se describen mediante tres parámetros fundamentales: amplitud, frecuencia y fase. Estos parámetros permiten caracterizar el comportamiento dinámico de una señal vibratoria y constituyen la base para su análisis e interpretación.

La amplitud representa la magnitud del movimiento oscilatorio y puede expresarse en términos de desplazamiento (μm o mm), velocidad (mm/s) o aceleración (g o m/s^2). Este parámetro proporciona información sobre la severidad de la vibración y es ampliamente utilizado en la evaluación del estado de maquinaria rotativa.

La frecuencia corresponde al número de ciclos completos que ocurren durante una unidad de tiempo y se expresa en Hertz (Hz). La identificación de frecuencias características permite asociar determinados patrones vibratorios con fallas específicas en componentes mecánicos.

Por su parte, la fase describe la posición relativa de una señal respecto a otra o respecto a un punto de referencia. Este parámetro es especialmente útil para el diagnóstico de problemas de desalineación, resonancia y análisis modal.

La combinación de estos tres parámetros proporciona información valiosa acerca del comportamiento dinámico de los sistemas mecánicos y constituye el punto de partida para técnicas avanzadas de análisis espectral.

2.2. Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones constituye una de las técnicas más utilizadas para evaluar la condición operativa de equipos mecánicos y sistemas rotativos. Esta metodología se basa en la medición, procesamiento e interpretación de las señales vibratorias generadas durante el funcionamiento de la maquinaria, permitiendo identificar anomalías y determinar posibles fallas antes de que se produzcan daños severos o interrupciones en los procesos productivos.

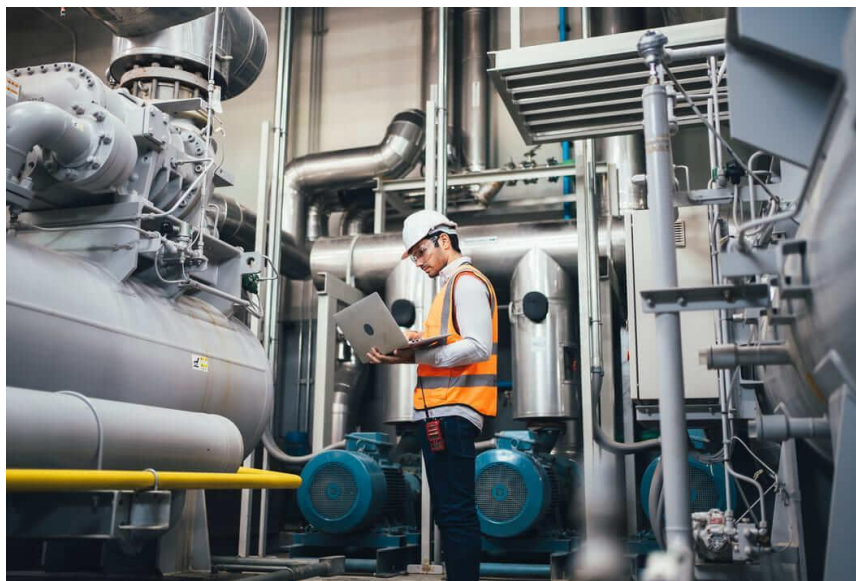
Las vibraciones generadas por una máquina contienen información relacionada con su estado mecánico. Cuando un componente presenta algún defecto, como desbalanceo, desalineación, desgaste o deterioro de rodamientos, las características de la señal vibratoria se modifican, produciendo cambios en la amplitud, frecuencia o fase de las oscilaciones. Mediante técnicas de análisis adecuadas es posible detectar estas variaciones y asociarlas con fallas específicas.

En la actualidad, el análisis de vibraciones forma parte de las estrategias de mantenimiento predictivo y monitoreo basado en condición, debido a que permite supervisar continuamente el comportamiento de los equipos sin necesidad de detener su operación. Esta característica contribuye a reducir costos de

mantenimiento, incrementar la disponibilidad de los activos y mejorar la confiabilidad de los procesos industriales.

El desarrollo de herramientas computacionales y algoritmos de procesamiento digital de señales ha permitido optimizar el análisis vibracional, facilitando la extracción de información relevante a partir de grandes volúmenes de datos. Entre estas herramientas destaca la Transformada Rápida de Fourier (FFT), ampliamente utilizada para transformar señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y facilitar la identificación de componentes frecuenciales asociadas a fallas mecánicas.

Figura 2. Aplicación de Análisis de Vibraciones



Fuente: traction.com

- Monitoreo basado en condiciones.

El control de condiciones es un enfoque de mantenimiento que implica revisar de manera constante la condición de los equipos a través de la medición de variables físicas que reflejan su rendimiento. Algunas de estas variables incluyen la vibración, la temperatura, la presión, la corriente eléctrica y el sonido.

En lo que respecta a las vibraciones mecánicas, el control de condiciones ayuda a detectar patrones de desgaste y a prever el desarrollo de posibles fallos.

La información recolectada se examina con métodos especializados que permiten identificar de forma temprana irregularidades y planificar a tiempo las labores de mantenimiento.

Esta técnica proporciona importantes beneficios en comparación con el mantenimiento preventivo convencional, dado que las acciones se llevan a cabo basándose en la condición real del equipo en lugar de seguir intervalos de tiempo fijados de antemano.

- Diagnóstico de fallas mediante vibraciones

El diagnóstico de fallas mediante vibraciones se basa en la identificación de patrones característicos presentes en las señales adquiridas de la maquinaria. Cada tipo de defecto genera una firma vibracional específica que puede ser detectada y analizada utilizando herramientas de procesamiento digital de señales.

Entre las fallas más comunes identificadas mediante esta técnica se encuentran el desbalanceo de elementos rotativos, la desalineación de ejes, las holguras mecánicas, los defectos en rodamientos y los problemas asociados a engranajes. Estas condiciones generan frecuencias características que pueden observarse en el espectro de vibración obtenido mediante la Transformada Rápida de Fourier. La correcta interpretación de dichas frecuencias permite establecer el origen de la anomalía y determinar las acciones correctivas necesarias para evitar el deterioro progresivo del equipo.

- Indicadores de condición Mecánica.

Los indicadores de condición mecánica son parámetros calculados a partir de las señales de vibración con el objetivo de evaluar el estado operativo de un sistema. Estos indicadores permiten cuantificar cambios en las características vibratorias y facilitan la detección de comportamientos anormales.

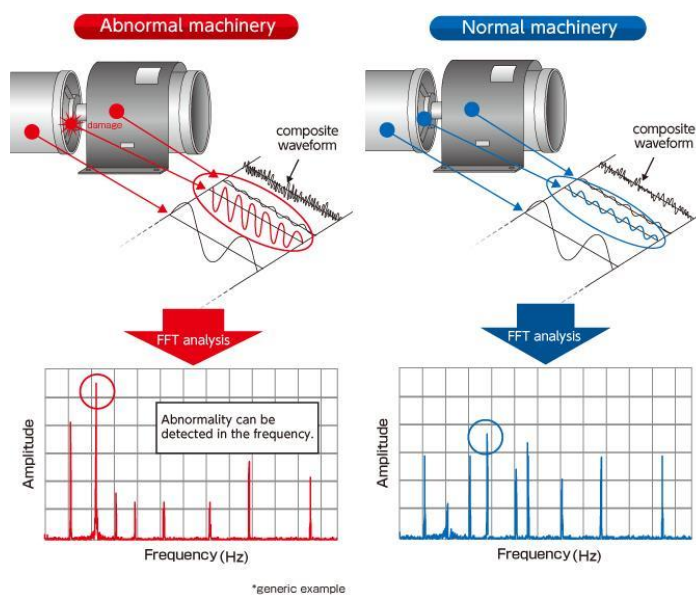
Entre los indicadores más utilizados se encuentra el valor RMS (Root Mean Square), que representa el nivel energético de la vibración y es ampliamente empleado para evaluar la severidad vibracional de una máquina. Otro parámetro

importante es el valor pico, utilizado para identificar impactos o eventos transitorios de gran magnitud.

Asimismo, el factor de cresta, definido como la relación entre el valor pico y el valor RMS, permite detectar defectos asociados a impactos repetitivos, especialmente en rodamientos. Adicionalmente, el análisis espectral proporciona información sobre las frecuencias dominantes presentes en la señal, facilitando la identificación de fallas específicas.

La combinación de estos indicadores constituye una herramienta eficaz para el monitoreo de condición y el diagnóstico de maquinaria rotativa.

Figura 3. Ejemplo de espectro de vibración utilizado para la identificación de fallas mecánicas.



Fuente: ceedey.com

2.3. Señales de vibración

Las vibraciones generadas por una máquina pueden representarse mediante señales que contienen información sobre el comportamiento dinámico de sus componentes. Estas señales son obtenidas a través de sensores especializados, como acelerómetros, los cuales transforman las vibraciones mecánicas en señales eléctricas susceptibles de ser adquiridas, almacenadas y procesadas digitalmente.

El análisis de las señales de vibración permite identificar patrones asociados al estado operativo de la maquinaria y detectar anomalías relacionadas con defectos mecánicos o eléctricos. Dependiendo del método de análisis utilizado, la información puede estudiarse en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, cada uno con características particulares que facilitan la interpretación de los fenómenos vibratorios.

En los sistemas modernos de monitoreo de condición, las señales adquiridas son procesadas mediante herramientas computacionales que permiten extraer indicadores relevantes para el diagnóstico de fallas. Entre estas herramientas destacan los algoritmos de procesamiento digital de señales, los cuales facilitan la identificación de componentes frecuenciales y la caracterización de eventos dinámicos presentes en los equipos industriales.

2.3.1. Señales en el dominio del tiempo

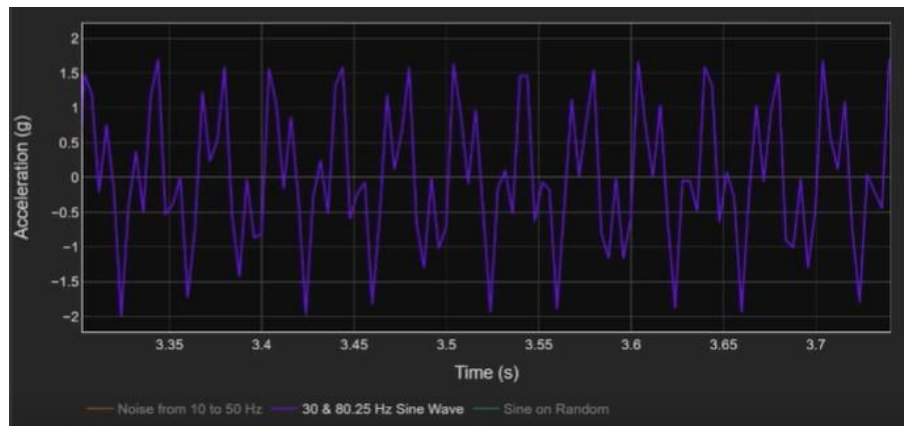
El dominio del tiempo representa la forma más directa de visualizar una señal de vibración. En esta representación, la amplitud de la señal se grafica en función del tiempo, permitiendo observar la evolución temporal del fenómeno vibratorio.

El análisis temporal proporciona información importante sobre la magnitud de las vibraciones, la presencia de impactos, transitorios y comportamientos anómalos asociados al funcionamiento de la maquinaria. Asimismo, permite calcular indicadores estadísticos ampliamente utilizados en el monitoreo de condición, tales como el valor RMS, valor pico, valor pico a pico y factor de cresta.

Aunque el análisis en el dominio del tiempo permite evaluar la severidad de la vibración, presenta limitaciones cuando se requiere identificar las frecuencias específicas asociadas a defectos mecánicos. Por esta razón, suele complementarse con técnicas de análisis espectral en el dominio de la frecuencia.

La representación temporal constituye el punto de partida para el procesamiento digital de señales y es una de las visualizaciones fundamentales incorporadas en los sistemas de análisis vibracional.

Figura 4. Ejemplo de señal de vibración representada en el dominio del tiempo.



Fuente: blog.endaq.com

2.3.2. Señales en el dominio de la frecuencia.

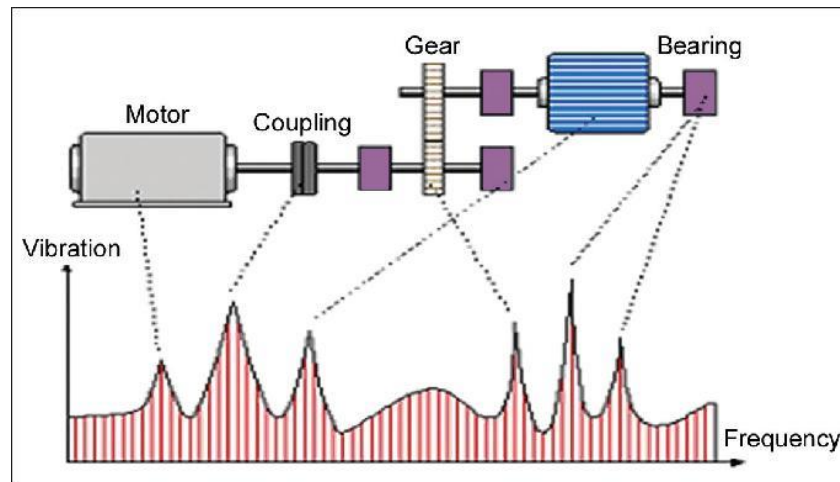
El dominio de la frecuencia permite analizar una señal en función de las componentes frecuenciales que la conforman. A diferencia del dominio del tiempo, donde se observa la evolución temporal de la amplitud, esta representación muestra la distribución de energía en diferentes frecuencias presentes en la señal.

El análisis frecuencial es ampliamente utilizado en el diagnóstico de maquinaria rotativa debido a que muchas fallas generan componentes características en frecuencias específicas. Por ejemplo, el desbalanceo suele manifestarse en la frecuencia de rotación del eje, mientras que los defectos en rodamientos producen frecuencias relacionadas con la geometría interna de dichos componentes.

La conversión de una señal desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia se realiza mediante herramientas matemáticas como la Transformada de Fourier y su implementación computacional conocida como Transformada Rápida de Fourier (FFT). Esta técnica permite identificar de manera eficiente las frecuencias dominantes presentes en una señal vibratoria.

Debido a su capacidad para revelar información difícil de observar en el dominio temporal, el análisis frecuencial constituye una herramienta esencial para el monitoreo y diagnóstico de maquinaria industrial.

Figura 5. Ejemplo de señal de vibración representada en el dominio de la frecuencia.



Fuente: ogim.tn

2.3.3. Procesamiento Digital de Señales

El procesamiento digital de señales comprende el conjunto de técnicas matemáticas y computacionales utilizadas para analizar, transformar e interpretar señales obtenidas de sistemas físicos. En el contexto del análisis de vibraciones, estas técnicas permiten extraer información relevante acerca del estado de la maquinaria y facilitar la detección de fallas.

Entre las operaciones más comunes se encuentran el filtrado digital, la eliminación de ruido, la obtención de parámetros estadísticos, el cálculo de espectros de frecuencia y la extracción de características asociadas al comportamiento dinámico de los equipos. Estas tareas son realizadas mediante algoritmos especializados implementados en entornos computacionales como MATLAB.

Una de las ventajas del procesamiento digital de señales es la posibilidad de automatizar procedimientos de análisis, permitiendo reducir tiempos de evaluación

y mejorar la precisión en la identificación de anomalías. Asimismo, facilita la integración de herramientas gráficas que simplifican la interpretación de los resultados obtenidos.

Dentro de las técnicas más utilizadas en el análisis vibracional destaca la Transformada Rápida de Fourier (FFT), la cual permite convertir señales del dominio temporal al dominio frecuencial, proporcionando información fundamental para el diagnóstico de fallas en maquinaria rotativa.

2.4. Transformada rápida de Fourier (FFT)

El análisis de señales en el dominio de la frecuencia constituye una de las herramientas más importantes para el diagnóstico de maquinaria mediante vibraciones. Entre las técnicas utilizadas para este propósito destaca la Transformada de Fourier, la cual permite descomponer una señal compleja en un conjunto de componentes sinusoidales de diferentes frecuencias.

La Transformada Rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform) es un algoritmo computacional diseñado para calcular de manera eficiente la Transformada Discreta de Fourier (DFT). Gracias a la reducción significativa del número de operaciones matemáticas requeridas, la FFT se ha convertido en una herramienta fundamental en aplicaciones de procesamiento digital de señales, telecomunicaciones, análisis acústico y monitoreo de vibraciones.

En el análisis de vibraciones mecánicas, la FFT permite transformar una señal obtenida en el dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia, facilitando la identificación de componentes frecuenciales asociadas a fallas específicas presentes en equipos rotativos. Debido a su rapidez y precisión, esta técnica es ampliamente utilizada en sistemas de mantenimiento predictivo y monitoreo de condición.

- Fundamento matemático de la FFT

La FFT se basa en la Transformada Discreta de Fourier (DFT), una herramienta matemática utilizada para analizar la composición frecuencial de señales discretas. La DFT permite representar una señal temporal como la suma de múltiples componentes sinusoidales de distintas frecuencias, amplitudes y fases.

El algoritmo FFT optimiza este proceso mediante técnicas de división y conquista que reducen considerablemente el tiempo de cálculo. Mientras que la DFT convencional requiere un número de operaciones proporcional a N^2 , donde N representa el número de muestras, la FFT reduce esta complejidad a $N \log_2(N)$, mejorando significativamente la eficiencia computacional. Esta optimización resulta especialmente importante en aplicaciones que involucran grandes volúmenes de datos o procesamiento en tiempo real.

- FFT aplicada al análisis de Vibraciones.

En aplicaciones de monitoreo vibracional, la FFT permite identificar las frecuencias predominantes presentes en una señal adquirida desde sensores de vibración. Cada componente mecánico genera patrones frecuenciales específicos que pueden ser utilizados como indicadores de condición.

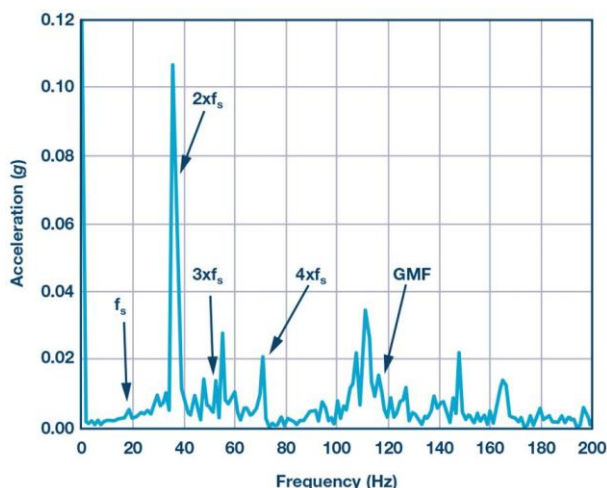
Por ejemplo, un desbalanceo generalmente produce un incremento de amplitud en la frecuencia de rotación del eje, mientras que defectos en rodamientos generan componentes asociadas a sus frecuencias características de falla. Del mismo modo, problemas de desalineación y holguras mecánicas pueden manifestarse mediante armónicos o subarmónicos observables en el espectro de frecuencia. La capacidad de identificar estas frecuencias convierte a la FFT en una herramienta indispensable para el diagnóstico de maquinaria rotativa.

- Interpretación de espectros de frecuencia

El gráfico del espectro de frecuencias se obtiene a través de la FFT y muestra la magnitud de cada frecuencia que forma parte de la señal que se está estudiando. En este gráfico ver figura 5, la frecuencia se representa en el eje horizontal, mientras que el eje vertical indica la magnitud de cada uno de los componentes.

Entender correctamente el espectro es clave para reconocer frecuencias que pueden estar vinculadas a problemas mecánicos específicos. La aparición de picos prominentes, armónicos o bandas laterales puede ofrecer información significativa sobre la condición de los equipos y ayudar en la elaboración de decisiones relacionadas con su mantenimiento. Debido a esto, los espectros de frecuencia son una de las herramientas más empleadas en los sistemas contemporáneos de monitoreo de condiciones.

Figura 6. Ejemplo de gráfica del espectro de frecuencias



Fuente: analog.com

2.5. MATLAB

MATLAB es una plataforma de programación y computación numérica muy utilizada en el ámbito de la ingeniería, la ciencia y el desarrollo tecnológico. Su habilidad para llevar a cabo operaciones con matrices, creación de modelos matemáticos, análisis de datos estadísticos y manejo de señales digitales lo hace una de las herramientas más utilizadas para el estudio de vibraciones.

Con sus bibliotecas dedicadas y herramientas gráficas incluidas, MATLAB facilita la creación de aplicaciones que pueden captar, procesar y mostrar señales de manera eficiente. También proporciona funciones optimizadas para implementar algoritmos FFT y para el análisis espectral de señales de sistemas mecánicos.

MATLAB incorpora herramientas especializadas para el análisis y procesamiento digital de señales. Estas herramientas permiten realizar operaciones de filtrado, análisis espectral, detección de eventos, transformadas matemáticas y extracción de características relevantes para el diagnóstico de sistemas físicos.

En aplicaciones de vibraciones mecánicas, MATLAB facilita la implementación de algoritmos FFT para convertir señales del dominio temporal al dominio frecuencial. Adicionalmente, permite visualizar resultados mediante gráficos interactivos que favorecen la interpretación de la información obtenida.

- APP Designer

App Designer es una herramienta integrada en MATLAB que permite desarrollar interfaces gráficas de usuario (GUI) mediante un entorno visual de diseño. Esta plataforma facilita la creación de aplicaciones interactivas sin necesidad de programar completamente la estructura gráfica desde cero.

A través de App Designer es posible incorporar botones, gráficos, tablas, indicadores y paneles de control que interactúan con algoritmos desarrollados en MATLAB. Esta característica resulta especialmente útil para aplicaciones orientadas al análisis de vibraciones, donde se requiere integrar procesos de carga de datos, procesamiento FFT y visualización de resultados dentro de una misma interfaz.

2.6. Interfaces graficas de usuario (GUI)

Las Interfaces Gráficas de Usuario, conocidas como GUI (Graphical User Interface), constituyen un medio de interacción entre el usuario y una aplicación informática mediante elementos visuales como botones, cuadros de texto, gráficos y paneles de control.

Las GUI permiten simplificar tareas complejas de procesamiento y análisis, facilitando la utilización de herramientas especializadas por parte de usuarios que no necesariamente poseen conocimientos avanzados de programación. En

aplicaciones de ingeniería, estas interfaces favorecen la visualización de resultados y mejoran la experiencia de interacción con los sistemas desarrollados.

2.7. Desbalanceo y Desalineamiento

Las vibraciones mecánicas en maquinaria rotativa pueden surgir por múltiples factores vinculados a fallas mecánicas, eléctricas o estructurales. Entre las averías más frecuentes y notables se encuentran el desbalance y la desalineación, debido a su alta ocurrencia en motores eléctricos, bombas, ventiladores y otros sistemas rotativos.

Estas situaciones crean patrones vibracionales específicos que se pueden reconocer a través de métodos de análisis espectral como la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Detectar estas fallas en etapas tempranas ayuda a prevenir daños progresivos en las partes mecánicas, extender la duración de los equipos y disminuir los gastos relacionados con el mantenimiento correctivo.

2.7.1. Desbalanceo.

El desbalanceo mecánico ocurre cuando el centro de masa de un elemento rotativo no coincide con su eje de rotación. Esta condición provoca la aparición de fuerzas centrífugas durante el giro, generando vibraciones que aumentan con la velocidad de operación de la máquina.

El desbalanceo constituye una de las causas más frecuentes de vibración en maquinaria rotativa y puede originarse por desgaste, acumulación de material, errores de fabricación o deformaciones en los componentes giratorios.

Cuando un rotor presenta desbalanceo, la fuerza generada actúa radialmente sobre los apoyos y rodamientos, provocando un incremento significativo en los niveles vibratorios. La magnitud de esta vibración depende de la masa desbalanceada, la distancia respecto al eje de rotación y la velocidad angular del sistema.

- Tipos de desbalanceo.

Los principales tipos de desbalanceo son:

Desbalanceo estático: ocurre cuando el centro de gravedad se encuentra desplazado respecto al eje de rotación.

Desbalanceo de par o momento: se presenta cuando existen masas desbalanceadas en diferentes planos del rotor.

Desbalanceo dinámico: corresponde a la combinación simultánea de desbalanceo estático y de par, siendo la condición más común en maquinaria industrial.

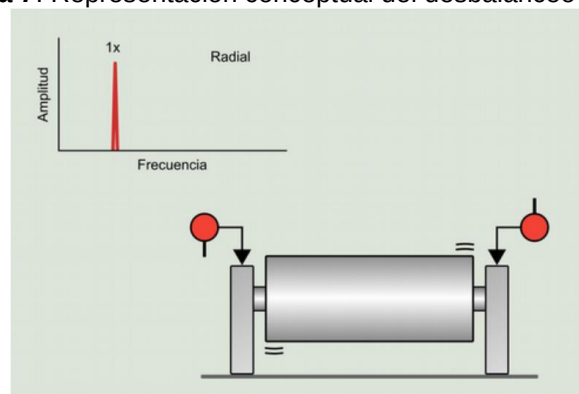
- Desbalanceo en el espectro FFT

Desde la perspectiva del análisis espectral, el desbalanceo se identifica por la presencia de un pico principal en la frecuencia de giro del eje (1X RPM). Por lo general, se notan:

- Amplitud alta en 1X RPM.
- Vibración que es mayormente radial.
- Aumento de la amplitud al elevar la velocidad de giro.
- Estabilidad en la frecuencia principal.

Estas particularidades hacen que el desbalanceo sea una de las anomalías más fáciles de detectar utilizando FFT.

Figura 7. Representación conceptual del desbalanceo en un rotor.



Fuente: power-mi.com

2.7.2. Desalineamiento

El desalineamiento es una condición en la cual los ejes de dos máquinas acopladas no comparten la misma línea central de rotación. Este problema puede producirse debido a errores durante la instalación, deformaciones estructurales, asentamientos de la base o desgaste de componentes mecánicos. La presencia de desalineamiento genera esfuerzos adicionales sobre acoplamientos, rodamientos y ejes, incrementando los niveles de vibración y acelerando el deterioro de los componentes del sistema. En aplicaciones industriales, el desalineamiento es considerado una de las principales causas de reducción de la vida útil de los rodamientos y aumento del consumo energético en equipos rotativos.

- Tipos de desalineamiento

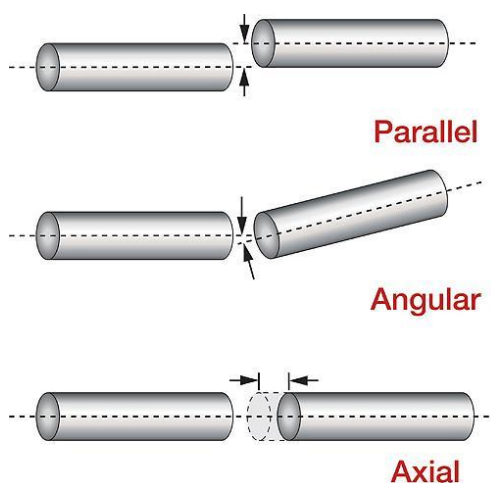
Los tipos más comunes son:

Desalineamiento paralelo: los ejes son paralelos entre sí, pero presentan desplazamiento lateral.

Desalineamiento angular: los ejes se intersectan formando un ángulo.

Desalineamiento combinado: ocurre cuando existen simultáneamente componentes paralelas y angulares.

Figura 8. Tipos de desalineamiento



Fuente: motioncontroltips.com

- Desalineamiento en el espectro FFT

A diferencia del desbalanceo, el desalineamiento suele generar múltiples componentes frecuenciales dentro del espectro de vibración. Entre las características más comunes se encuentran:

- Presencia de amplitudes significativas en 1X RPM y 2X RPM.
- Aparición de armónicos superiores (3X RPM y 4X RPM).
- Incremento de vibraciones en dirección axial.
- Presencia de esfuerzos mecánicos periódicos sobre el sistema de transmisión.

La identificación de estas componentes frecuenciales mediante FFT permite diferenciar el desalineamiento de otras fallas mecánicas y establecer acciones correctivas orientadas a restaurar la alineación adecuada de los equipos.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque aplicado, debido a que busca desarrollar una solución tecnológica orientada al análisis de vibraciones mecánicas mediante herramientas de procesamiento digital de señales. El propósito principal consiste en diseñar e implementar una interfaz gráfica offline en MATLAB que facilite la visualización y el análisis espectral de señales vibratorias para apoyar la identificación de condiciones mecánicas presentes en maquinaria rotativa.

Asimismo, la investigación presenta un alcance descriptivo, ya que se centra en el diseño, implementación y evaluación funcional de una herramienta informática capaz de procesar señales de vibración y representar sus características en los dominios del tiempo y de la frecuencia. A través de este proceso se describen las funcionalidades desarrolladas y el comportamiento de la aplicación frente a diferentes conjuntos de datos.

- Enfoque de la Investigación

El trabajo se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo debido a que emplea datos numéricos correspondientes a señales de vibración para realizar análisis mediante técnicas matemáticas y computacionales. La información procesada se representa mediante gráficos e indicadores que permiten evaluar objetivamente el desempeño de la interfaz y la correcta ejecución de los algoritmos implementados.

Este enfoque facilita la medición y análisis de variables relacionadas con la amplitud, frecuencia y comportamiento espectral de las señales utilizadas durante las pruebas funcionales de la aplicación.

- Método de Investigación

La investigación emplea un método analítico y deductivo. El método analítico se utiliza para estudiar las características de las señales de vibración y comprender

los principios asociados al procesamiento digital de señales y la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Por su parte, el método deductivo permite partir de fundamentos teóricos relacionados con vibraciones mecánicas, análisis espectral e interfaces gráficas para desarrollar una solución computacional aplicada al diagnóstico vibracional.

La combinación de estos métodos permite establecer una relación entre la teoría del análisis de vibraciones y su implementación práctica mediante herramientas desarrolladas en MATLAB.

- Técnicas de Investigación

Para el desarrollo del proyecto se empleó la técnica de desarrollo computacional complementada con pruebas funcionales de software.

La técnica de desarrollo computacional comprende el diseño, programación e integración de los diferentes módulos que conforman la interfaz gráfica, incluyendo los procedimientos para carga de datos, procesamiento FFT, visualización de señales y generación de resultados.

Las pruebas funcionales consistieron en verificar el correcto comportamiento de la aplicación utilizando señales de vibración almacenadas de manera offline. Estas pruebas permitieron validar la carga de archivos, la ejecución de los algoritmos de procesamiento y la representación gráfica de los resultados obtenidos.

- Diseño de la Investigación

La investigación presenta un diseño no experimental debido a que no se manipulan variables independientes dentro de un entorno controlado. El estudio se enfoca en el desarrollo y validación de una herramienta informática utilizando señales previamente adquiridas y almacenadas para su posterior procesamiento.

El proceso de validación se realizó mediante el análisis de diferentes conjuntos de datos de vibración, permitiendo verificar el funcionamiento de la interfaz y la correcta implementación de los algoritmos de análisis espectral.

- Procedimiento Metodológico

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo mediante las siguientes fases:

Fase 1. Diseño de la Interfaz Gráfica. Se definieron los requerimientos funcionales de la aplicación y se estableció la estructura de la interfaz gráfica en MATLAB App Designer. Durante esta etapa se seleccionaron los componentes visuales necesarios para la interacción con el usuario y la visualización de resultados.

Fase 2. Implementación de la Interfaz. Se desarrolló la programación correspondiente a cada uno de los módulos de la aplicación, incorporando funciones para la carga de archivos, procesamiento de señales y representación gráfica de la información.

Fase 3. Integración del Algoritmo FFT. Se implementaron las rutinas necesarias para realizar la Transformada Rápida de Fourier sobre las señales de entrada, permitiendo obtener los espectros de frecuencia requeridos para el análisis vibracional.

Fase 4. Pruebas Funcionales. Se realizaron pruebas utilizando señales de vibración almacenadas offline con el propósito de verificar la correcta operación de la interfaz, la estabilidad de los procesos implementados y la precisión de los resultados obtenidos.

Fase 5. Análisis de Resultados. Se evaluó el desempeño general de la aplicación mediante la revisión de los espectros generados y la capacidad de la herramienta para representar adecuadamente la información contenida en las señales analizadas.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Para el desarrollo de este trabajo se emplearon tres partes importantes, el diseño de la interfaz, la programación de la misma y las pruebas. Para ello se siguió este diagrama figura 9, en donde nos sirvió como base para completar los objetivos.

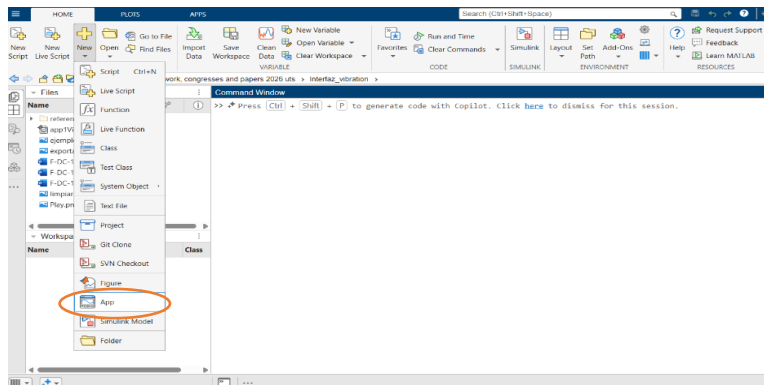
Figura 9. Pasos para el desarrollo del proyecto.



Fuente: Autores.

En primera medida se instaló Matlab y se empezó el proceso de aprendizaje del entorno APP Designer, el cual se accede por la ruta de nuevo documento, luego app, ver figura 10. Esta extensión de MATLAB es la que se usa en crear interfaces, en la cual se usan diferentes componentes para la creación de las mismas.

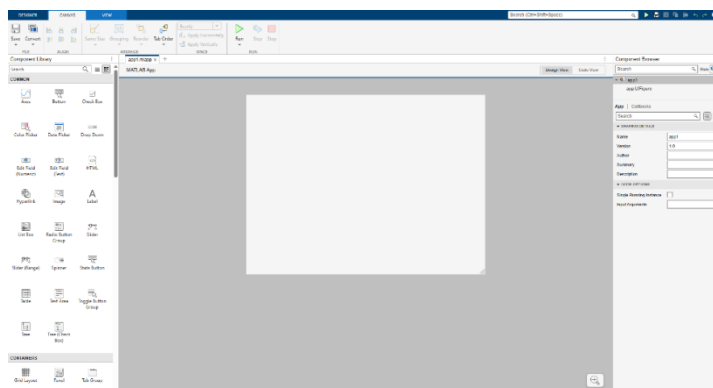
Figura 10. Como entrar al entorno de App.



Fuente: Autores.

Al abrir la APP se encontró con la siguiente ventana. Esta ventana es en la cual se hizo todo el diseño y programación de la interfaz ver figura 11. La cual tiene a su parte izquierda los diferentes componentes para añadir a la interfaz, en la parte derecha están los parámetros de cada uno de los componentes que el usuario vaya escogiendo.

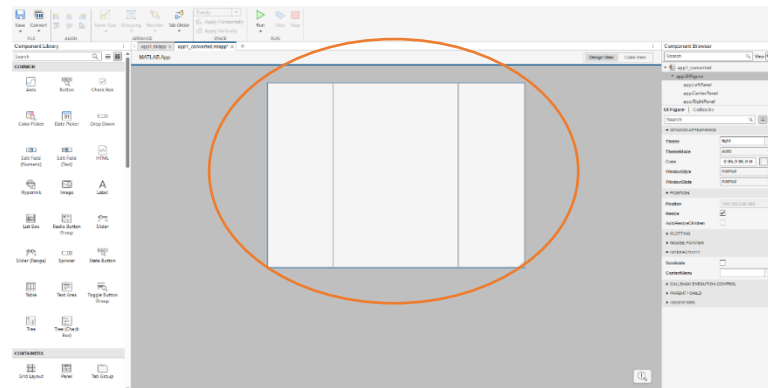
Figura 11. Vista previa App Designer.



Fuente: Autores

Como primera parte en el diseño se divido la pantalla de la interfaz en tres partes ver figura 12. Con el fin de en la mitad poner las gráficas y a los lados algunos parámetros. Lo que está encerrado en el circulo naranja va hacer la pantalla en la cual vamos a incorporar los componentes.

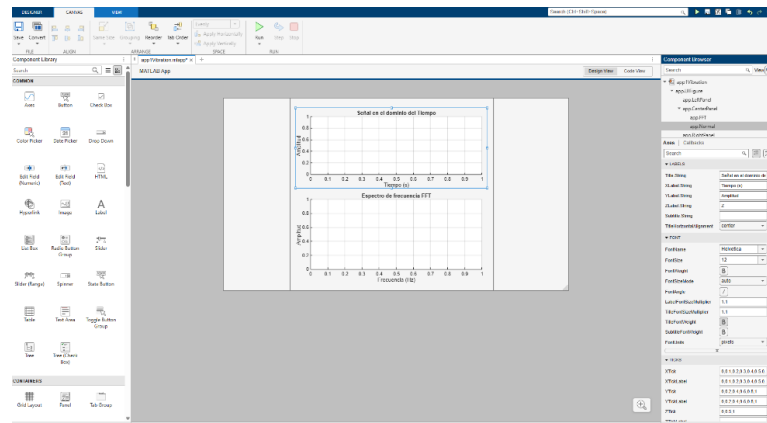
Figura 12. División de la pantalla de la interfaz.



Fuente: Autores

Para la interfaz es importante las graficas de la señal original y la grafica de la transformada de Fourier FFT, con el componente axes los cuales se encuentran en la parte izquierda del panel da la aplicación designer, se incorporaron las gráficas a la mitad de la interfaz y se nombraron dependiendo el grafico, la gráfica superior es la señal original y la inferior es la FFT.

Figura 13. Graficas interfaz

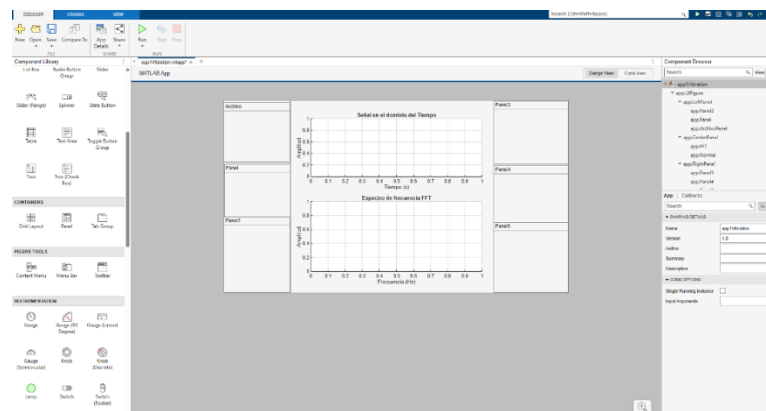


Fuente: Autores

En la parte derecha de la aplicación se encuentran los parámetros para modificar cada uno de los componentes de la interfaz, los parámetros de X y Y, títulos, cuadrícula, entre otros. Al terminar de editar las gráficas se procedió a

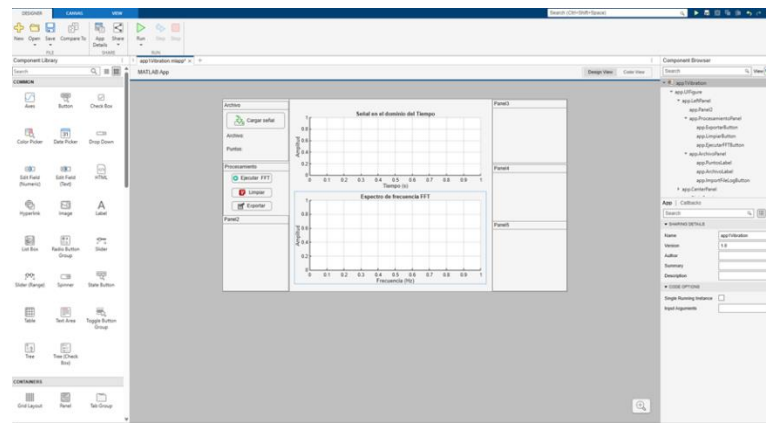
completar el panel de la interfaz, a cada lado de la las gráficas se añadieron diferentes cajas ver figura 14, en las cajas de la parte izquierda se introdujeron componentes como: la carga de datos, ejecutar la FFT y sus parámetros entre otros ver figura 15.

Figura 14. Cajas de la interfaz para añadir componentes



Fuente: Autores

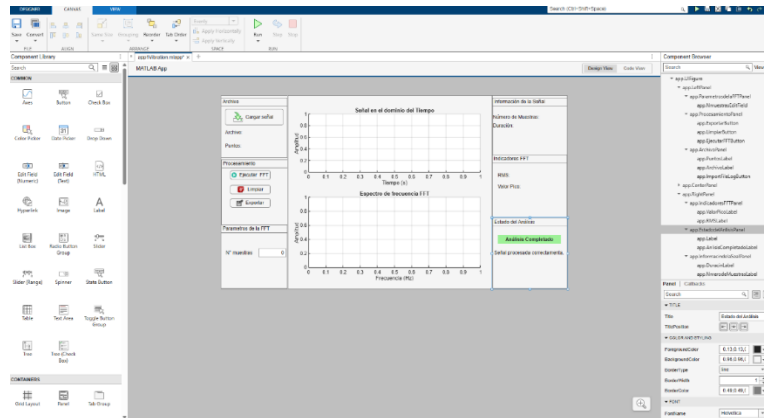
Figura 15. Componentes para el proceso de carga y ejecución de la interfaz



Fuente: Autores.

A continuación, en la parte derecha de la interfaz, se incorporaron algunos componentes en los cuales se mostrarán datos de las gráficas, estos datos serán: las muestras de la FFT, el tiempo, resultados de la FFT como el valor pico y RMS, también si la ejecución de la interfaz de la FFT termino satisfactoriamente ver figura 16.

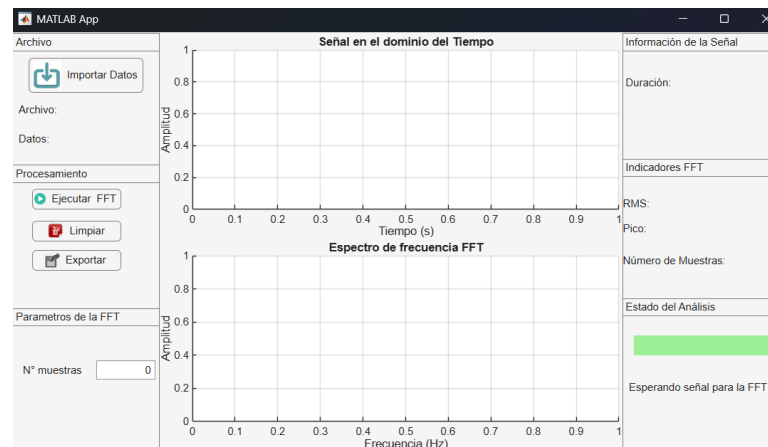
Figura 16. Componentes para la visualización de los datos de las graficas



Fuente: Autores.

Ya con esto se dejaron los diferentes componentes necesarios para el análisis de las señales, finalizando el proceso de diseño de la interfaz, en la figura 17 se observa el diseño de la interfaz definitiva, activando la el ejecutable de la App.

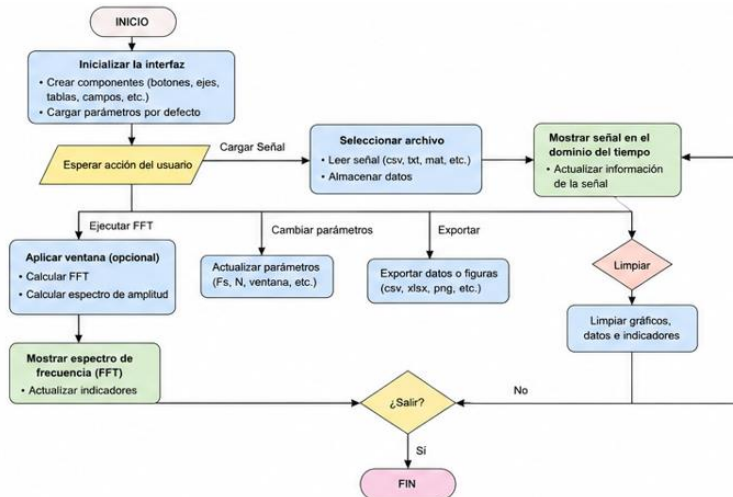
Figura 17. Diseño final de la interfaz



Fuente: Autores.

Para la programación de la interfaz se tuvo en cuenta el siguiente diagrama de flujo ver figura 18, teniendo en cuenta, que la interfaz tiene que cargar de documentos, hacer la FFT, los botones de limpieza y exportar, entre otros.

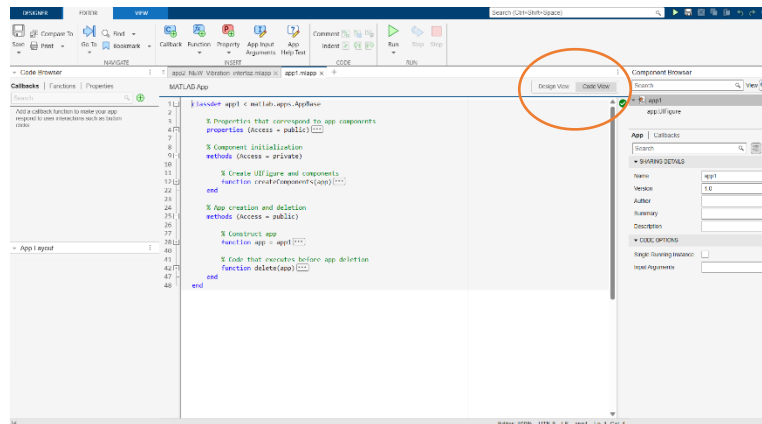
Figura 18. Diagrama de flujo – Programación interfaz



Fuente: Autores.

Después del diseño y añadir los componentes que usaron en la interfaz se procedió a la programación de la misma, para esta programación se necesita cambiar de ventana en la app, de Design View a Code View ver figura 19.

Figura 19. App designer editor de código.

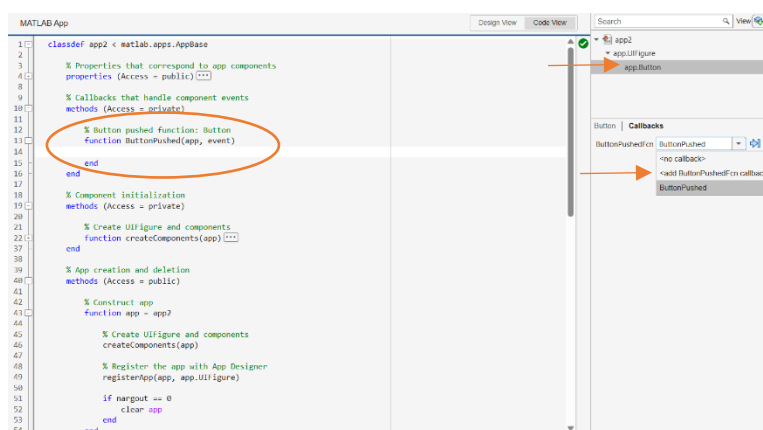


Fuente: Autores.

Para el proceso de programar la interfaz es importante saber como se maneja este Code View, teniendo en cuenta que en la interfaz tenemos botones, graficas, visualizaciones de resultados entre otros, y son estos componentes los que tenemos que programar, en la parte izquierda de la pantalla del editor están todos los

componentes que se usaron y en la parte inferior una pestaña llamada callbacks, como primer paso se debe seleccionar el componente que se quiere programar en nuestro caso era el botón de importar los datos, en los callbacks se despliega una la opción de agregar este botón al código, ya después se observa la función para poder programar, ver figura 20, se debe tener en cuenta que el hay un código ya predeterminado y no se debe tocar, solo modificar nuestros componentes.

Figura 20. Como agregar componentes al código



Fuente: Autores.

Sabiendo esto se procedió a programar los componentes, pero antes se usó una propiedad ver figura 21, el cual creo una función que contiene una variable para almacenar la base de datos que estemos ingresando y se pueda usar en cada uno de los componentes.

Figura 21. Propiedad: función para guardar los datos.

```

30
31 properties (Access = private)
32     DatosOriginales; % Aquí se guardará el arreglo del botón de datos
33 end
34

```

Fuente: Autores.

En la figura 22 se observará parte de la programación del botón de importar datos el cual abre los archivos y los importa, en nuestro caso son de texto, pero se logro dejar que lean otros formatos, luego de cargarlos se gráfica estos datos como la señal original y se muestran algunas medidas y el nombre del archivo. También la programación incluyo unos cambios para la lectura de los archivos de texto.

Figura 22. Programación botón de importar los datos

```

39 % Button pushed function: Button1
40 function Button1Pushed(app, event)
41 % 1. Abrir cuadro de diálogo para seleccionar el archivo (ej. .txt, .csv, o .log)
42 [file, path] = uigetfile(['*.txt; *.csv; *.log', 'Archivos de Registro (*.txt, *.csv, *.log)'], 'Seleccionar arch
43
44 if file ~= 0
45     filename = fullfile(path, file);
46     app.ArchivoLabel.Text = sprintf('Archivo: %s', file);
47
48 % 2. Intentar lectura uniendo los decimales correctamente mediante texto plano
49 try
50     % Leemos el archivo completo como texto para evitar que MATLAB rompa los decimales
51     textoCompleto = fileread(filename);
52
53     % Reemplazar saltos de línea por espacios para unificar el texto
54     textoLimpio = regexp(textoCompleto, '[\r\n]+', ' ');
55
56     % Cambiar comas por puntos por si tu formato decimal usa coma (ej: -12,8359)
57     textoLimpio = strrep(textoLimpio, ',', '.');
58
59     % Extraer cadenas de números continuas (incluye signo, enteros y decimales juntos)
60     coincidencias = regexp(textoLimpio, '-?\d+\.?\d+', 'match');
61
62     % Convertir a números tipo double en formato de una sola fila
63     datos = str2double(coincidencias);
64
65 catch
66     % Bloque de respaldo si falla el método anterior (tu código original)
67     try
68         datos = readmatrix(filename);
69     catch
70         A = importdata(filename);
71         if isstruct(A)
72             datos = A.data;
73         else
74             datos = A;

```

Fuente: Autores.

El botón de la transformada de Fourier, en el cual funciona cuando se da clic, pero antes hay que poner el número de muestras y luego en la programación llama los datos importados y se procesan con la FFT, se gráfica y se calcula el valor pico y valor RMS. Ver figura 23 se observa parte del código,

Figura 23. Programación botón de FFT.

```

115 % Button pushed function: EjecutarFFTButton
116 function EjecutarFFTButtonPushed(app, event)
117 % 1. Verificar si ya se cargó un archivo previamente
118 if isempty(app.DatosOriginales)
119     vialert(app.UIFigure, 'Primero debe cargar un archivo de datos en el botón anterior.', 'Sin Datos:
120     return;
121 end
122
123 % 2. Obtener el número de muestras deseado desde el EditField
124 N = app.NmuestrasEditField.Value;
125
126 % Validar que el usuario no pida más muestras de las que existen en el archivo
127 totalMuestras = length(app.DatosOriginales);
128 if N > totalMuestras
129     vialert(app.UIFigure, ['El archivo solo tiene ' num2str(totalMuestras) ' muestras. Se usarán tod
130     N = totalMuestras;
131     app.NmuestrasEditField.Value = N; % Actualiza el componente visual
132 end
133
134 % 3. Recortar la señal al número de muestras solicitado
135 senal = app.DatosOriginales(1:N);
136
137 % 4. Cálculos Estadísticos (Pico y RMS)
138 valorPico = max(abs(senal));
139 valorRMS = rms(senal);
140
141 % Mostrar los valores calculados en las etiquetas correspondientes
142 app.PicoLabel.Text = sprintf('Pico: %.4f', valorPico);
143 app.RMSLabel.Text = sprintf('RMS: %.4f', valorRMS);
144 app.NmerodeMuestrasLabel.Text = sprintf('Número de Muestras: %.1f', N);
145
146 % 5. Cálculo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT)
147 % Calculamos la FFT de dos lados y luego obtenemos el espectro de un solo lado (magnitud)
148 Y = fft(senal);

```

Fuente: Autores.

Por ultimo se programaron los botones de limpiar y exportar, en la figura 24 se observa el código del botón de limpiar, en al cual se limpian las gráficas, se dan

nuevos mensajes y se esperan nuevos datos entre otros. En la figura 25 se observa parte de la programación del botón exportar, para este botón se programó para exportar las gráficas, primero se verifica que haya y después las deja guardar en diferentes formatos.

Figura 24. Programación botón limpiar.

```
166 % Button pushed function: LimpiarButton
167 function LimpiarButtonPushed(app, event)
168 % 1. Limpiar las variables internas de memoria
169 app.DatosOriginales = [];
170
171 % 2. Borrar el contenido de los gráficos (Axes)
172 cla(app.Normal);
173 cla(app.FFT);
174
175 % 3. Restablecer etiquetas de texto y estados
176 app.ArchivoLabel.Text = 'Archivo: Ninguno';
177 app.PicoLabel.Text = 'Pico: ';
178 app.RMSLabel.Text = 'RMS: ';
179 app.Label_2.Text = 'Esperando datos...';
180 app.Label.Text = 'Esperando señal para la FFT';
181 app.DatosLabel.Text = 'Datos: ';
182 app.NmerodeMuestrasLabel.Text = 'Número de Muestras: ';
183 app.DuracinLabel.Text = 'Duracion: ';
184
185 % 4. Restablecer el campo de edición de muestras (ejemplo a valor inicial 100)
186 app.NmuestrasEditField.Value = 0;
187 end
```

Fuente: Autores

Figura 25. Programación botón exportar.

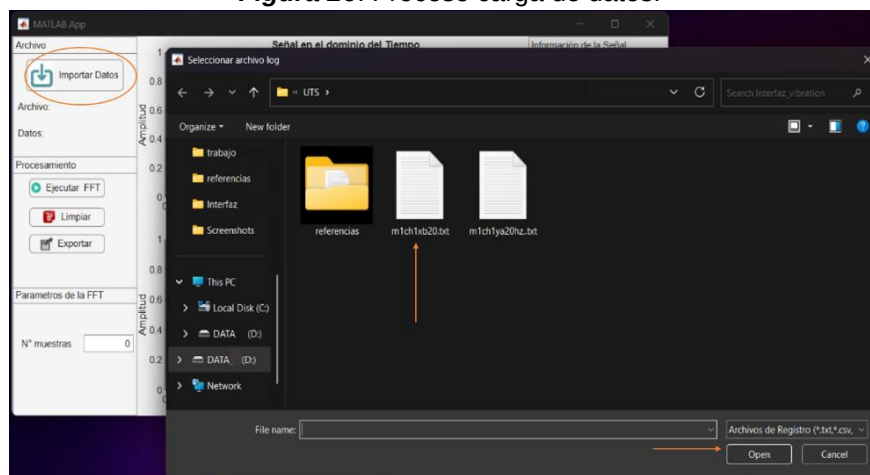
```
189 % Button pushed function: ExportarButton
190 function ExportarButtonPushed(app, event)
191 % 1. Verificar si hay datos graficados antes de intentar guardar
192 if isempty(app.DatosOriginales)
193     uialert(app.UIFigure, 'No hay datos ni gráficas disponibles para exportar.', 'Error al exportar');
194     return;
195 end
196
197 % 2. Preguntar al usuario qué gráfica desea exportar mediante un menú de opciones
198 opcion = uiconfirm(app.UIFigure, '¿Qué gráfica deseas exportar?', 'Exportar Gráfica', ...
199     'Options', {'Señal Normal', 'Espectro FFT', 'Cancelar'}, 'DefaultOption', 1);
200
201 if strcmp(opcion, 'Cancelar')
202     return; % Salir si el usuario cancela
203 end
204
205 % 3. Abrir cuadro de diálogo para seleccionar la ruta y formato de guardado
206 [file, path] = uiputfile(['*.png', 'Imagen PNG (*.png)'], ...
207     '*.jpg', 'Imagen JPEG (*.jpg)'; ...
208     '*.pdf', 'Documento PDF (*.pdf)'], ...
209     'Guardar Gráfica Como');
210
211 if file ~= 0
212     nombreArchivoCompleto = fullfile(path, file);
213
214     try
215         % 4. Identificar cuál eje exportar según la opción seleccionada
216         if strcmp(opcion, 'Señal Normal')
217             ejeAExportar = app.Normal;
218         else
219             ejeAExportar = app.FFT;
220         end
221
222         % 5. Guardar la gráfica con alta resolución (300 DPI) sin alterar la interfaz
223         exportgraphics(ejeAExportar, nombreArchivoCompleto, 'Resolution', 300);
224     end
225 end
```

Fuente: Autores

5. RESULTADOS

A continuación, se evidencia las pruebas del funcionamiento que se realizaron en la interfaz. Para las pruebas se realizó la ejecutando la interfaz y su programación, en la figura 26 se observa el proceso de cargar lo datos, el cual se le dio clic en el botón, abre la una pestaña y uno debe buscar la carpeta donde están los datos, para nosotros los datos en formato texto, se escogen y se dan en abrir.

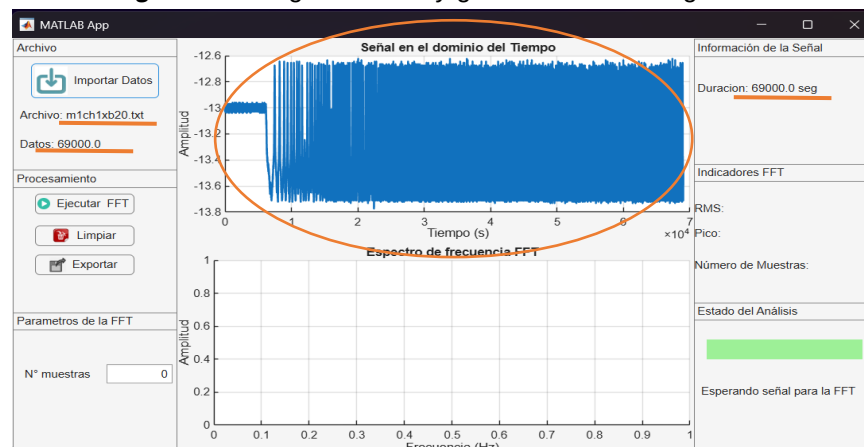
Figura 26. Proceso carga de datos.



Fuente: Autores

Luego se cargaron los datos a la interfaz la gráfica, muestra la cantidad de datos, nombre del archivo y la duración, ver figura 27.

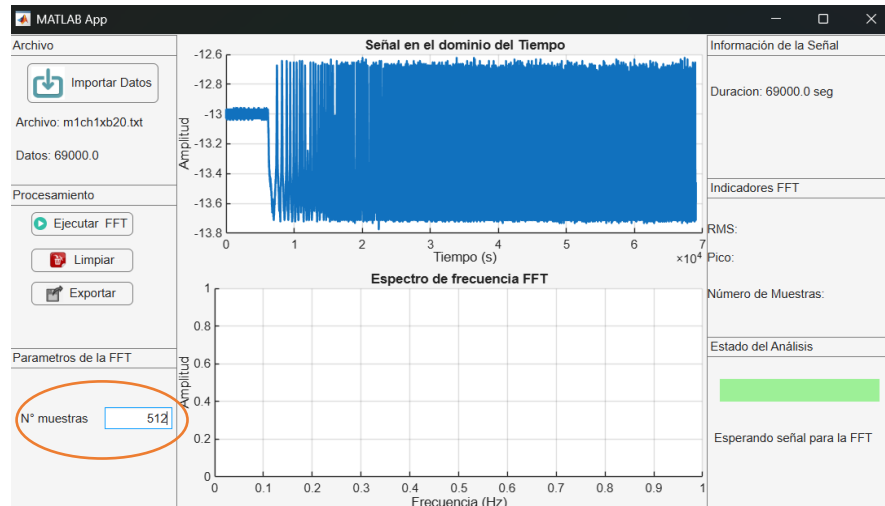
Figura 27. Carga de datos y grafica de datos originales.



Fuente: Autores

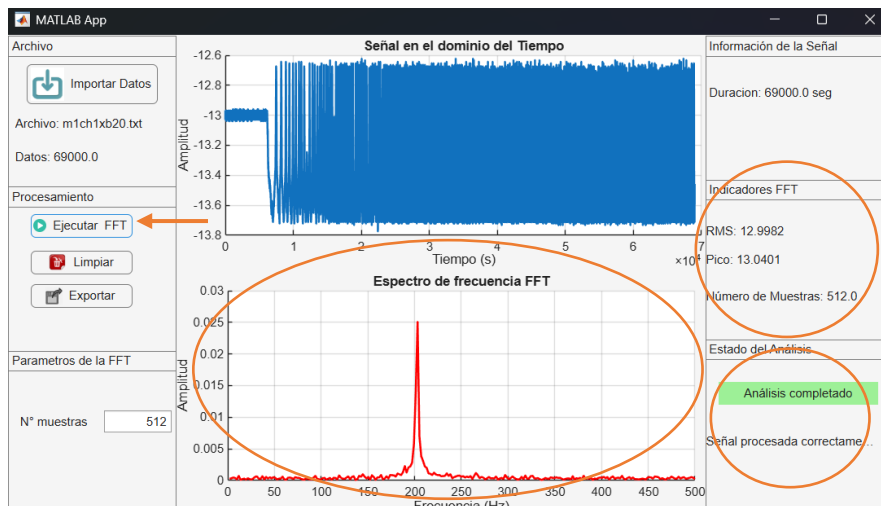
El siguiente paso es ejecutar la FFT, primero hay que dar el número de muestras que la persona desea ver figura 28 y seguido se da clic en el botón de ejecutar FFT ver figura 29, es importante poner el número de muestras, ya que sin él la FFT no se graficará la respectiva

Figura 28. Ingresar número de muestras.



Fuente: Autores

Figura 29. Grafica de la FFT en la interfaz

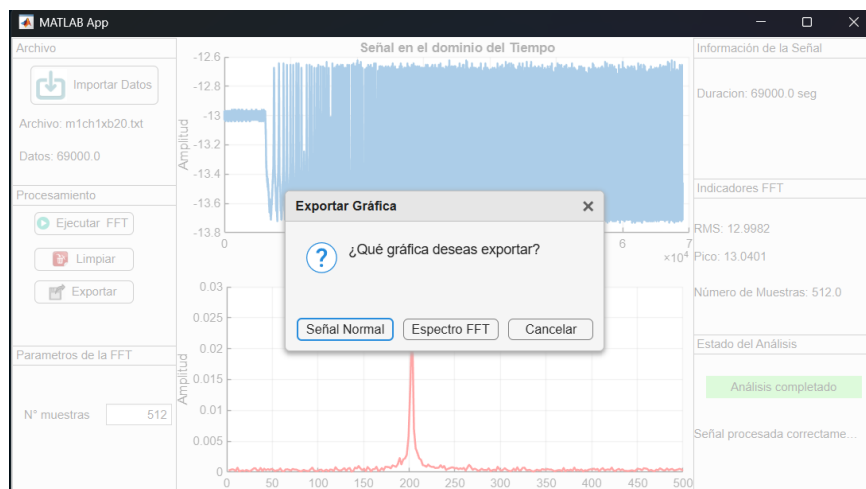


Fuente: Autores

También al ejecutar la FFT la interfaz muestra los valores RMS y Pico, la muestras y por último el análisis completado. En la figura 30 se observa como se exportan las imágenes de las gráficas, al darle en exportar él le preguntará que

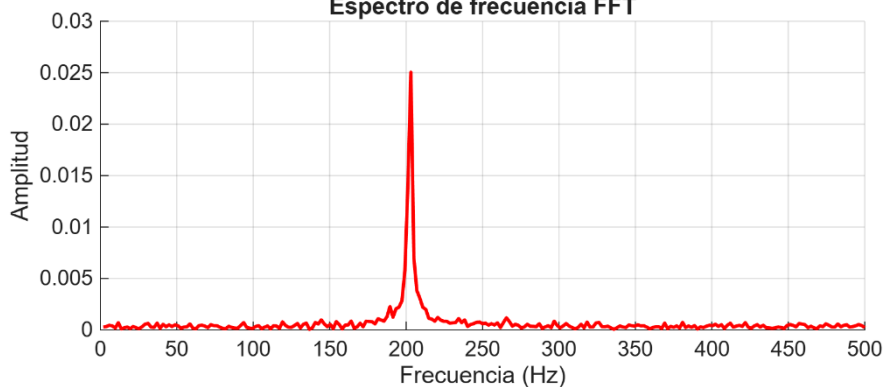
grafica quiere exportar, el usuario le da a la que quiere y luego le abre una carpeta y se le coloca nombre, y guardar, la imagen se podrá guardar en PNG, PDF y JPG. En la figura 31 se observa el tipo de figura o archivo que el guardara en la carpeta del computador.

Figura 30. Exportar graficas



Fuente: Autores

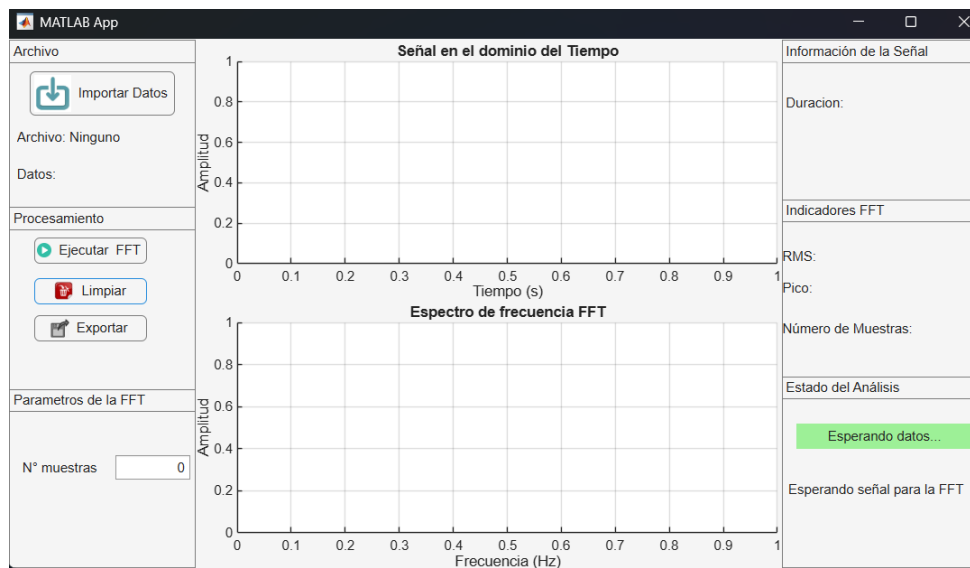
Figura 31. Grafica de la FFT descargada
Espectro de frecuencia FFT



Fuente: Autores

Por último, en la figura 32 se observará como queda la interfaz al dar clic en la opción de limpiar, la cual limpia valores y graficas para poder empezar con cargar otros datos.

Figura 32. Interfaz limpia para ejecutar otros datos



Fuente: Autores

6. CONCLUSIONES

El desarrollo de una interfaz gráfica offline en MATLAB facilitó la integración eficiente del procesamiento digital de señales a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), brindando una herramienta que mejora la visualización y el análisis de vibraciones mecánicas. La aplicación creada alcanzó los objetivos establecidos y presentó una interacción accesible para cargar, procesar y graficar las señales de vibración.

La aplicación de la FFT posibilitó la conversión de señales del dominio temporal al dominio frecuencial, lo que hizo más sencillo identificar los componentes frecuenciales relacionados con problemas como el desbalanceo y la desalineación en máquinas rotativas. Los resultados obtenidos durante las pruebas funcionales confirmaron que el análisis espectral es una herramienta valiosa para el monitoreo de condiciones y la detección de fallas mecánicas.

Las pruebas ejecutadas con señales guardadas de forma offline mostraron el funcionamiento adecuado de la interfaz en todas las fases, que incluyen la importación de datos, el procesamiento de señales y la visualización de indicadores importantes para el usuario. Por lo tanto, la herramienta desarrollada representa una opción útil para actividades académicas e industriales vinculadas al análisis de vibraciones y al mantenimiento predictivo, además de proporcionar una base para futuras mejoras centradas en el procesamiento en tiempo real y la inclusión de técnicas avanzadas de diagnóstico.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda crear una versión de la app que recopile datos en tiempo real usando acelerómetros y sistemas de adquisición que sean compatibles con MATLAB, lo cual posibilitaría el seguimiento constante de maquinaria industrial y reforzaría su uso en programas de mantenimiento predictivo y control basado en condiciones.

Para trabajos futuros, se sugiere añadir algoritmos de inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje automático que permitan categorizar de manera automática distintos tipos de fallas mecánicas, incluyendo desbalanceo, desalineamiento, holguras y problemas en rodamientos. Esta adición aumentaría las habilidades de diagnóstico de la herramienta y haría más sencilla la toma de decisiones durante el mantenimiento industrial.

Se aconseja enriquecer las capacidades de la interfaz gráfica incorporando métodos avanzados de procesamiento digital de señales, tales como la Transformada Wavelet, el análisis cepstral o el análisis tiempo-frecuencia, con el propósito de optimizar la detección de fallas complejas en máquinas rotativas y complementar los resultados obtenidos a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandro, C. R. D., Alberto, O. M. L., de León Santiago, D., & Miguel, V. (2017). *Analizador de vibraciones multicanales para sistemas dinámicos*.
- Benitez Cruz, G. A. (2022). *Interfaz para monitoreo de vibraciones mecánicas con 4 sensores MPU6050 y MATLAB en estructuras de 1gdl*.
- Benítez Cruz, G. A. (2022). *Interfaz para monitoreo de vibraciones mecánicas con 4 sensores MPU6050 y MATLAB en estructuras de 1gdl*.
- Esaki Muthu Pandra Kone, S., Mohamed Sheriff, S. B., Shanmugam, C., Ramdas, G., Nakamura, H., & Mizuno, Y. (2026). Non-Invasive Induction Motor Fault Diagnosis Using PCA Optimized FFT Features and SVM Classification. *Measurement*, 266, 120401.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2026.120401>
- Estupiñán, E., San Martin, C., & Solaligue, R. (2006). Diseño e implementación de un analizador virtual de vibraciones mecánicas. *Revista Facultad de Ingenier{\'i}a-Universidad de Tarapacá*, 14(1), 7–15.
- García Márquez, F. P., Gonzalo, A. P., & Papaelias, M. (2026). A comprehensive review of condition monitoring systems for hydropower stations: Technologies, applications, and future trends. *Electric Power Systems Research*, 251, 112339.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2025.112339>
- Guerrero, D. O. B. (2007). Manual de interfaz gráfica de usuario en Matlab. *Parte I- -Www. Matpic. Com*.
- Lara Muñoz, E. M., Viveros Torres, I., & Reyna Vargas, R. (2025). Sistema web de análisis en tiempo real para mantenimiento predictivo de un banco de vibraciones mecánicas. *RIDE. Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 15(30).
- Navarrete, P. H. (2021). Programación de interfaz gráfica en APP Designer del

MATLAB para representar la serie de Fourier en curso introductorio de telecomunicaciones. *Scientia*, 23(23), 199–213.

Parra, F. F. P., Cuenca, C., Godoy, L. F. S., Chipugsi, F., & others. (2022). Modelización de vibraciones mecánicas usando la interfaz gráfica de usuario en Matlab. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(19), 59–84.

Penkova Vassileva, M. (2007). Mantenimiento y análisis de vibraciones. *Ciencia y Sociedad*.