



República Bolivariana de Venezuela
Universidad Nacional Experimental Politécnica
“Antonio José de Sucre”
Vice Rectorado Barquisimeto
Departamento de Ingeniería Electrónica



Herramienta computacional para el análisis de la vibración en motores eléctricos alimentada mediante datos de una simulación digital

Temática de Trabajo Especial, presentada para ser considerada por la
Coordinación de Trabajo Especial del Departamento de Ingeniería
Electrónica

Integrantes:

Gerardo Alfonzo Campos Fonseca
V. 27085179

José Andrés Cortez Teran
V. 26540824

Tutor: Dra. Luisa Escalona
Cotutor: MSc. Carlos Zambrano

Barquisimeto, Abril del 2021

Índice

Índice	II
Índice de figuras	V
Índice de Tablas	VI
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.2.1. Objetivo general	8
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	9
1.4. LIMITACIONES Y ALCANCES	10
1.4.1. Limitaciones	10
1.4.2. Alcance	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. ANTECEDENTES	11
2.2. MARCO TEÓRICO	13
2.2.1. Motores eléctricos	13
2.2.2. Análisis de Vibración	14

2.2.3. Acelerómetros	16
2.2.4. Procesamiento de señales	18
2.2.5. Herramienta Computacional	19
2.2.6. Sistema Web	21
2.2.7. Modelo estadístico	22
2.2.8. Lenguaje de programación	23
2.2.9. Go	24
2.2.10. Fyne	24
2.2.11. HTML	25
2.2.12. CSS	25
2.2.13. JavaScript	26
2.2.14. React	27
2.2.15. Python	27
2.2.16. Django	28
2.2.17. Numpy	28
2.2.18. Pandas	28
2.2.19. Scipy	29
2.2.20. FastApi	29
2.2.21. Digital ocean y Heroku	29
2.2.22. Octave	29

<i>ÍNDICE</i>	IV
3.1. NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	31
3.4. FASES DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.5. METODOLOGÍA	32
3.5.1. Metodología de desarrollo de software	32
3.6. RECURSOS	34
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1. ELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS Y LENGUAJES	35
4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO	36
4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS EN FRECUENCIA	37
4.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS	38
4.5. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVIDORES	40
4.5.1. Servidor dedicado a Sensorica	40
4.5.2. Servidor web	42
4.6. IMPLEMENTACIÓN DE LOS CLIENTES	43
4.6.1. Cliente de Sensorica	43
4.6.2. Cliente WEB	45
4.7. COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS	46

Índice de figuras

1.	Diagrama de los dominios temporal y frecuencial	20
----	---	----

Índice de Tablas

1.	Estructura de MotorData	38
2.	Estructura de MotorInDB	39
3.	Estructura IdSensor	39
4.	Funciones Servidor Sensorica	41

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad se vive un crecimiento exponencial a nivel industrial dadas las altas demandas de alimentos e insumos de toda clase, esto es posible, entre otras cosas, gracias al motor eléctrico, este es un artefacto que transforma la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento), de manera que puede impulsar el funcionamiento de una máquina y son utilizados ampliamente en: Bombas para Agua, Bombas Industriales, Mezcladoras, Molinos, Correas Transportadoras, Zarandas, Cortadoras, Ventiladores, Grúas, y en todo proceso que involucre movimiento.

Adicional a su versatilidad, existen otros factores como las grandes pérdidas (horas, insumos, dinero, etc.) a tomarse en cuenta porque ocasionan una parada de emergencia en una planta, por lo cual se considera de vital importancia que los motores se encuentren completamente operativos y funcionales. Y para procurar su buen estado y funcionamiento, se deben realizar mantenimientos.

Existen diferentes tipos de mantenimiento, entre ellos están:

- Correctivo: se espera que ocurra una falla para reparar o cambiar un equipo. Esto puede degradar la vida útil del equipo y debido a que la falla puede ocurrir en cualquier momento, usualmente se produce un paro en la línea de producción, por lo tanto este tipo de mantenimiento suele y debe ser evitado.
- Preventivo: para evitar una falla mayor se detiene la maquinaria para hacer un mantenimiento preparado con anticipación, se inspecciona la maquinaria y se reemplazan las piezas propensas a dañarse. Este tipo de mantenimiento en algunas circunstancias es más que suficiente pero en el caso de los rodamientos puede ser contraproducente.

- Predictivo: se pronostica cuando una falla está a punto de ocurrir; a través de mediciones, y del estudio de las mismas, se prevé cuando un desperfecto está a punto de ocurrir y de esta forma se realiza una mejor planificación. Cabe resaltar que este tipo de mantenimiento puede dar información acerca del origen y la gravedad de las averías.

En el caso de los motores eléctricos, como dice Lacey (s.f.), el mantenimiento preventivo tiene muchas desventajas dado que existen problemas de índole mecánico así como administrativos y monetarios, un ejemplo de esto pueden ser los altos costos de reemplazo dado que las partes se reemplazan muy pronto, el riesgo de pérdida completa dado un error humano, instalación de una pieza defectuosa, además de la posibilidad de generar daño o una incorrecta instalación de la misma, y por último, el hecho de que las piezas reemplazadas pueden tener muchos años de vida útil.

De esta forma se ve que una observación constante ofrece más control sobre las variables mencionadas y aunque no evita las posibilidades de error humano, si permite reaccionar a este; adicionalmente, se deben considerar las altas pérdidas y retrasos, sumadas a las dificultades administrativas, que generan las paradas periódicas de la planta. Todas estas consideraciones son de suma importancia; y para poder ser ejecutadas se necesitan herramientas capaces de dar a conocer el estado actual de una máquina y permitir a los operadores, encargados o ingenieros tomar acciones cuando sean necesarias y de acuerdo a las políticas de la empresa.

Por las razones expuestas surge la necesidad de reconocer las fallas y de tener bajo continuo monitoreo los factores que las causan para, de esta forma, atenuarlos. Según los estudios realizados por Kammermann y col. (2017) la media de la probabilidad de fallas en máquinas de inducción permanece al nivel de los años 70 ($10^{-6}/hour$) y está altamente relacionada a la falla de los rodamientos, y que un 59 % de las fallas son causadas por los rodamientos, esto es debido a que son piezas sometidas a mucho estrés mecánico, permiten soporte y asimismo necesitan tener poca fricción. Por esta razón, su principal falla es el desgaste, de igual forma se presentan otras fallas estructurales que generan vibraciones. Cabe resaltar que todas las fallas mecánicas generan vibración sin importar su relación con los rodamientos y lo hacen a distinta frecuencia (f).

Por lo expuesto, es de suma importancia el estudio de la vibración, para la que se suele implementar un acelerómetro y con un estudio de la frecuencia se puede obtener la causa y la magnitud de la falla y de esta forma programar su reparación. Sin embargo, debido a que esta evaluación debe ser realizada en cada rodamiento y acople o extensión del motor y dadas las mediciones que se deben realizar por unidad (motor y acoples) y por la gran cantidad de unidades existentes a nivel industrial, es virtualmente imposible el estudio con un acelerómetro convencional (a pesar de que la medición no sea un proceso muy largo y los cálculos y evaluaciones sean realizados posteriormente). Sumado a esto, las industrias suelen poseer medidas y controles sanitarios, aumentados por la pandemia actual, que no permiten el constante monitoreo de la planta significando esto la imposibilidad de implementar este tipo de acciones de forma manual, por lo cual se debe recurrir a un sistema de automatización capaz de medir las vibraciones en todos estos equipos que, a su vez, permita el estudio de estos datos de forma remota.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una herramienta computacional para el análisis de la vibración en motores eléctricos, mediante la simulación digital de un acelerómetro, con la finalidad de que un operador determine averías y sus causas.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Justificar la escogencia de las herramientas y lenguajes a utilizar en las diferentes etapas que requiere la simulación. (José Cortez y Gerardo Campos)
2. Generar un modelo estadístico de la vibración en motores eléctricos con distinto grado de daño utilizando una base de datos de la salida de un acelerómetro digital. (José Cortez)
3. Elaborar una base de datos con información obtenida del modelo estadístico para alimentar los niveles de análisis de la herramienta. (José Cortez y Gerardo Campos)
4. Realizar análisis de fallas en frecuencia, a partir de la salida del modelo del acelerómetro. (Gerardo Campos)
5. Mostrar la información solicitada de acuerdo al nivel de análisis seleccionado. según sea: Vista Principal, Vista Específica o Vista Exhaustiva. (José Cortez y Gerardo Campos)
6. Elaboración de una página web para facilitar la utilización del sistema (José Cortez y Gerardo Campos)
7. Comprobar los resultados de la herramienta de análisis. (José Cortez y Gerardo Campos)

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Para prevenir las fallas mecánicas que ocurren en los motores, por el deterioro y desgaste de los rodamientos, estos se deben tener bajo constante monitoreo para poder efectuar un mantenimiento puntual que elimine dichos peligros. De esta forma el mantenimiento predictivo es la clave para mejorar la vida útil, funcionamiento y planificación de todo proceso especialmente a niveles industriales, donde la cantidad de motores eléctricos es bastante elevada, y por lo cual la automatización del proceso es crucial.

Sin embargo, dado los altos costos que implican realizar una automatización y en especial a escalas industriales se suele hacer una simulación o una emulación para estudiar y obtener el modelo más preciso, gracias a la facilidad para manipular con mayor eficacia los diseños y conocer su comportamiento real sin necesidad de construirlo, antes de realizar la implementación y todo el proceso que esta conlleva.

Habiendo expuesto la importancia del mantenimiento como también la de realizar simulaciones, se justifica el hecho de realizar el desarrollo del trabajo aquí propuesto el cual permita emular el comportamiento y las salidas de un acelerómetro, como también otorgue las herramientas necesarias para poder realizar un mantenimiento predictivo, y de esta forma se pueda estudiar a profundidad su estado actual como también su evolución histórica. Todo esto sumado a las facilidades de portabilidad que ofrece un sistema Web, facilitando la revisión constante sin las dificultades de los protocolos de acceso y sanidad.

1.4. LIMITACIONES Y ALCANCES

En función de los objetivos planteados con anterioridad, se puede definir tanto las limitaciones como el alcance del proyecto.

1.4.1. Limitaciones

- Recursos económicos impiden la adquisición de dispositivos para pruebas en motores reales.
- Disponibilidad de muestras, aunque se cuenta con una base de datos lo suficiente grande para cubrir el comportamiento de la vibración en motores, incluso de distinta potencia, esta es discreta y con intervalos de tiempo considerables entre cada muestra.
- Las establecidas por el software de tercero utilizado en el diseño del proyecto.

1.4.2. Alcance

El principal alcance de este trabajo es el desarrollo de una herramienta computacional para el análisis de la vibración en motores eléctricos; en función de esto:

- La herramienta computacional permite una vista general del estado de todos los motores en un espacio previamente delimitado y seleccionado (planta o piso) que se encuentren en la base de datos.
- La herramienta computacional permite una vista detallada del estado de un motor seleccionado, previamente por el usuario, que se encuentren en la base de datos.
- El sistema cuenta con una Base de datos a partir de la cual se desarrollarán los resultados ofrecidos.
- no se contempla la construcción de hardware de ningún tipo.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ANTECEDENTES

Pinto y col. (2016) realizan una simulación de redes de sensores inalámbricos, con el fin de mejorar la detección de fallas de los sensores. Esta simulación fue realizada con Castalia un simulador de redes de sensores inalámbricos y el sensor usado fue un detector de luminosidad. Algunas de las razones que menciona el artículo de por qué fue escogida una simulación es debido a que realizar el experimento con sensores requiere un costo elevado de hardware y un estudio analítico no es efectivo, ya que la complejidad del sistema es muy grande. Este trabajo es de utilidad debido a que sirve como orientación a la elaboración de la simulación del sensor que generara el modelo estadístico.

Ugwiri y col. (2020) Presentan un resumen de las técnicas más usadas actualmente en la detección de fallas en motores eléctricos mediante análisis de vibración, además de realizar un experimento donde se ponen a prueba algunos de estos conceptos. El propósito de este antecedente es el de apoyar la elaboración del modo de "vista exhaustiva".

Koene y col. (2020) Elaboran un sensor de vibración inalámbrico de código libre llamado Memsio. Este dispositivo es alimentado por baterías y permite la adquisición de datos a alta velocidad por medio del uso de un acelerómetro microelectromecánico. Los autores mencionan que en la industria los sensores de aceleración más usados son los piezoeléctricos, debido a tener una mayor precisión y tolerancia al ruido, sin embargo los avances de los dispositivos microelectromecánico y su bajo costo hacen cada vez más factibles su uso para el monitoreo. Este antecedente muestra la tendencia de la reducción de precios de los sensores inalámbricos lo cual apoya al propósito del trabajo al hacer factible las redes de sensores.

Soto-Ocampo y col. (2020) Elaboraron un sensor de vibración multicanal para vibraciones de alta frecuencia utilizando una Raspberry pi. El objetivo del proyecto era conseguir

una alternativa de bajo costo para poder monitorizar la salud de rodamientos en motores eléctricos pero sin sacrificar la calidad de la medición porque como explican los autores del artículo la mayoría de las fallas en los rodamientos ocurre a altas frecuencias y muchas de las alternativas de bajo costo no alcanzan la frecuencia necesaria. Este antecedente es de utilidad dada la cantidad de información, tanto teórica como datos de simulación, que provee.

Çağlar Ramazan y col. (2014) Describen un modelo estadístico sobre el deterioro de motores eléctricos de inducción. El artículo clasifica el deterioro del motor en 7 etapas de acuerdo al nivel de vibración de sus rodamientos. Este antecedente es de gran utilidad para realizar el modelo estadístico que alimentará la base de datos ya que proporciona bases teóricas y un ejemplo práctico.

2.2. MARCO TEÓRICO

Esta parte del capítulo expone el contenido teórico necesario para la realización de este proyecto. Esto incluye información sobre los motores eléctricos, análisis de la vibración, las herramientas computacionales, los sistemas, y el modelado estadístico.

2.2.1. Motores eléctricos

De acuerdo a Mora, 2003, un motor eléctrico es un dispositivo que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante la acción de campos magnéticos y están compuestos, principalmente, por un estator (parte fija) y un rotor (parte móvil). Existen dos familias principales de motores eléctricos las cuales, a su vez, se subdividen en **motores de corriente alterna** como lo son los motores de inducción, síncronas, entre otros y los **motores de corriente continua** como lo son los motores de escobillas, sin escobillas, de imán permanente, entre otros.

El motor más usado en el sector industrial, es el motor de inducción, debido principalmente a su bajo costo y al poco mantenimiento que requiere para estar completamente operativo, esto en particular es debido a su sencillo diseño en comparación al de otros motores de igual potencia, ya que requiere menor número de componentes. Cabe resaltar que el segundo tipo de motor más usado es el motor de corriente continua, debido a que su control, en términos de torque y potencia, es mucho mas sencillo para ciertos niveles de potencia.

También existen los motores síncronos, cuya construcción es similar a la de un motor de inducción pero a su vez requiere de una fuente de alimentación externa para el rotor, lo cual aumenta su costo, además de esto su velocidad es constante, por lo tanto este tipo de motor es utilizado en aplicaciones específicas. Como se mencionó anteriormente, existen otros tipos de motores, pero son usualmente de menor potencia por lo tanto su utilidad industrial es mucho más limitada.

Rodamientos

Para que un motor pueda llevar a cabo la transformación de potencia debe rotar. Esta acción es llevada a cabo por el **rotor**, el cual esta formado por un eje que soporta un juego de bobinas envueltas sobre un núcleo magnético. Este se encuentra suspendido por **rodamientos**, de forma que el movimiento y las fuerzas producidas en la interacción entre las bobinas y el núcleo con los campos magnéticos, producidos por el estator, puedan ser utilizados. Además, los rodamientos, cuando se encuentran en buenas condiciones, permiten minimizar el roce entre el eje y soporte, maximizando la transferencia de potencia.

Estos también son conocidos como **rolineras**, las cuales según LTD, 2021, son un tipo de cojinete, un elemento mecánico diseñado para reducir la fricción entre un eje y los elementos conectados al mismo. Existen muchos tipos de rolineras, sin embargo su estructura se fundamenta en dos anillos concéntricos, algún elemento rotativo como pueden ser bolas o rodillos, una jaula que se encarga de mantener los elementos de rodadura separados además de guiados y un lubricante o un sistema de lubricación.

Dado que son un elemento mecánico el cual es continuamente usado, sufre mucho desgaste y es el elemento más propenso a dañarse, según los estudios realizados por Kammermann y col. (2017) el 59 % de las fallas son causadas por los rodamientos y asimismo su principal falla es el desgaste, de igual forma se presentan otras fallas estructurales. Y por estas razones es fundamental tener bajo continuo monitoreo este elemento, esto se suele hacer a través de un análisis de vibración.

2.2.2. Análisis de Vibración

Como se explica en Sauer202 y col., 2021, la vibración, es el movimiento periódico de un cuerpo o medio elástico, alrededor de un punto de equilibrio. En general podemos decir que una vibración es un caso específico de una oscilación, cuando esta es de origen mecánico.

Asimismo, se conoce como análisis de vibración, al conjunto de técnicas que permiten obtener información de un equipo, a partir de sus vibraciones. Es una de las técnicas

más usadas en el mantenimiento predictivo de equipos mecánicos, debido a que es un proceso poco invasivo y de bajo costo. El análisis de vibración permite diagnosticar fallas de forma temprana, así como detectar señales prematuras de desgaste.

Según Girdhar Girdhar y col., 2004, el análisis de vibración nos permite detectar las siguientes fallas:

- Defectos en los engranajes
- Defectos en los rodamientos
- Desalineamientos
- Desbalances
- Ejes torcidos
- Excentricidad
- Fallas eléctricas
- Fuerzas hidráulicas o aerodinámicas
- Mala sujeción en las piezas
- Problemas en las correas de transmisión
- Problemas de lubricación
- Resonancia
- Rozamientos en el rotor

Adquisición de datos

Para realizar cualquier tipo de análisis, primero se deben adquirir datos y, por regla general, mientras más datos se tengan y más precisas sean las mediciones, mejores serán los estudios que se pueden realizar.

La adquisición de datos, según Smith, 2020, es el proceso de realizar mediciones de fenómenos físicos y registrarlos, en algún formato específico, para analizarlos posteriormente. Cabe resaltar que en algunos casos es necesario hacer un acondicionamiento de la señal, esto implica modificarla controladamente al reducir o aumentar su amplitud además de sumarle un nivel offset, voltaje continuo, para que cumpla requisitos mínimos y pueda ser procesada por los siguientes circuitos.

Al momento de la adquisición de datos, se toman medidas de una señal analógica la cual se convertirá al pasar por una serie de etapas y dispositivos en una señal digital y se guardará en un formato deseado y en una unidad de almacenamiento masivo (ROM, flash, etc.). El primer paso en la toma de datos comienza con el sensor, que es un dispositivo el cual transforma la unidad física de interés, en una señal que pueda ser procesada con mayor facilidad, luego esta se adecuará mediante un circuito especializado a las características y requerimientos del sistema, luego será procesada por un convertidor Analógico-Digital, el cual se encarga de muestrear, retener y procesar la señal y, de esta forma, obtener una versión digital de la misma, la cual se procesará o guardará mediante un software desde una computadora.

En el caso de las vibraciones, los sensores más usados son los acelerómetros. Esto se debe principalmente a que tienen mayor ancho de banda que los sensores de posición y los de velocidad, lo que les permite detectar vibraciones de mayor frecuencia. Adicionalmente, dado que las vibraciones en los rodamientos, por naturaleza, son de alta frecuencia y, como se mencionó anteriormente, estos son componentes críticos en los motores eléctricos. Estas características hacen al acelerómetro el sensor más utilizado para las mediciones de vibración en motores eléctrico. Sin embargo, en casos más especializados, como podría ser el análisis de vibración de maquinaria de larga envergadura, son también usados los otros tipos de sensores ya que sus características pueden facilitar el estudio.

2.2.3. Acelerómetros

Como se expone en Fraden, 2003, un acelerómetro es un dispositivo capaz de medir aceleración, no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad de un elemento en el espacio), sino que es la correlación asociada con el fenómeno de peso experimentado por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo. Funciona mediante la utilización de la segunda ley de Newton, **la fuerza resultante ejercida sobre un cuerpo es proporcional a su masa por su aceleración**. Los acelerómetros por lo general cuentan con una masa de prueba (también conocida como masa sísmica), alguna especie de resorte y un marco de soporte que, a su vez, puede funcionar como amortiguador. Debido a esto, los acelerómetros se

pueden modelar matemáticamente como un sistema lineal de segundo orden, por lo que su respuesta en frecuencia posee un pico de resonancia.

Tipos de acelerómetros

■ Acelerómetros Capacitivos:

Los acelerómetros capacitivos son uno de los modelos más sencillos capaces de medir aceleración, además de ser fácilmente utilizables y reproducibles en masa. Funcionan mediante una masa sísmica, dado que, al experimentar una fuerza se desplaza con una aceleración proporcional a la fuerza aplicada. Si a la masa se le agregan unos resortes unidos a una carcasa, los resortes ejercerán una fuerza proporcional al desplazamiento de la masa generando un desplazamiento fácilmente medible.

Este fenómeno se produce ya que estos efectos en conjunto al amortiguamiento producen un sistema lineal de segundo orden, este sistema matemático genera una salida en desplazamiento al aplicarse como entrada una fuerza. Finalmente, al conectarse un sensor de desplazamiento, se observa la aceleración a la que está sometido el instrumento. El sensor de desplazamiento más popular para este tipo de medidores es el capacitivo.

En su mayoría los acelerómetros capacitivos vienen como dispositivos microelectromecánicos, **mems** por sus siglas en inglés, que son dispositivos fabricados con técnicas similares a las de fabricación de circuitos integrados, a su vez poseen componentes mecánicos microscópicos. Son los acelerómetros más populares en aplicaciones no industriales, sin embargo, en aplicaciones de bajo consumo, bajo coste o cuando las frecuencias con las que se trabajan no son tan altas, pueden ser usados a niveles industriales, ya que poseen múltiples ventajas como:

- No requieren adecuación de la señal.
- Pueden comunicarse directamente con un microcontrolador.
- Su precio es económico.
- Son compactos.

■ Acelerómetros piezoresistivos:

Son, después de los acelerómetros piezoeléctricos, los más usados a nivel industrial. Su funcionamiento es similar al de los acelerómetros capacitivos, ante una aceleración de entrada se produce un desplazamiento de salida, más en este caso, estos están constituidos por una o varias galgas extensiométricas, una masa de prueba y unos resortes de soporte. La galga sujeta a la masa sísmica y, al esta recibir una fuerza, produce un desplazamiento proporcional a la fuerza aplicada, lo que deforma a su vez la galga extensiométrica lo cual se traduce como un cambio de resistencia en el sensor. La ventaja de los acelerómetros piezoresistivos es que pueden medir valores de voltaje DC lo que los hace útil en el estudio de impactos, son también usados en el análisis de vibración en el rango de mediana frecuencia.

■ Acelerómetros piezoeléctricos:

Según Weber, 2012, son el acelerómetro más usado en aplicaciones industriales ya que poseen características como:

- Alto rango dinámico.
- Bajos niveles de ruido.
- Alta linealidad.
- Alto ancho de banda.
- Poco desgaste, ya que no poseen partes móviles.

Su construcción es bastante sencilla, se tiene disco de un cristal piezoeléctrico unido por dos terminales circulares, de forma similar a la de un condensador, y justo encima tienen una masa de prueba. Al experimentar una fuerza el cristal se deforma lo que produce una diferencia de carga y un voltaje proporcional a la fuerza aplicada. Como la aceleración de la masa de prueba es también proporcional a la fuerza aplicada, la aceleración del acelerómetro será entonces directamente proporcional al voltaje y la carga producida en el cristal.

2.2.4. Procesamiento de señales

Después de ser almacenada la información, debe ser estudiada, procesada, para lo cual se utilizan una serie de herramientas, técnicas o software especializados a cada necesidad. Este estudio se puede categorizar en dos ramas principales:

- Dominio del tiempo, según Vynith y col., 2019b, es un término utilizado para describir el análisis de funciones matemáticas o señales con respecto al tiempo, la sucesión de estados que atraviesa la señal de forma natural. Los estudios más comunes son en **tiempo continuo** y en **tiempo discreto**.
- Dominio de la frecuencia, según Vynith y col., 2019a, es un término utilizado para describir el análisis de funciones matemáticas, señales o movimientos periódicos respecto a su frecuencia, número de veces que sucede un evento en un periodo. Utilizan transformadas para llevar las funciones o señales del dominio del tiempo, base, al dominio de la frecuencia, deseado, la más famosa es la **transformada de Fourier**.

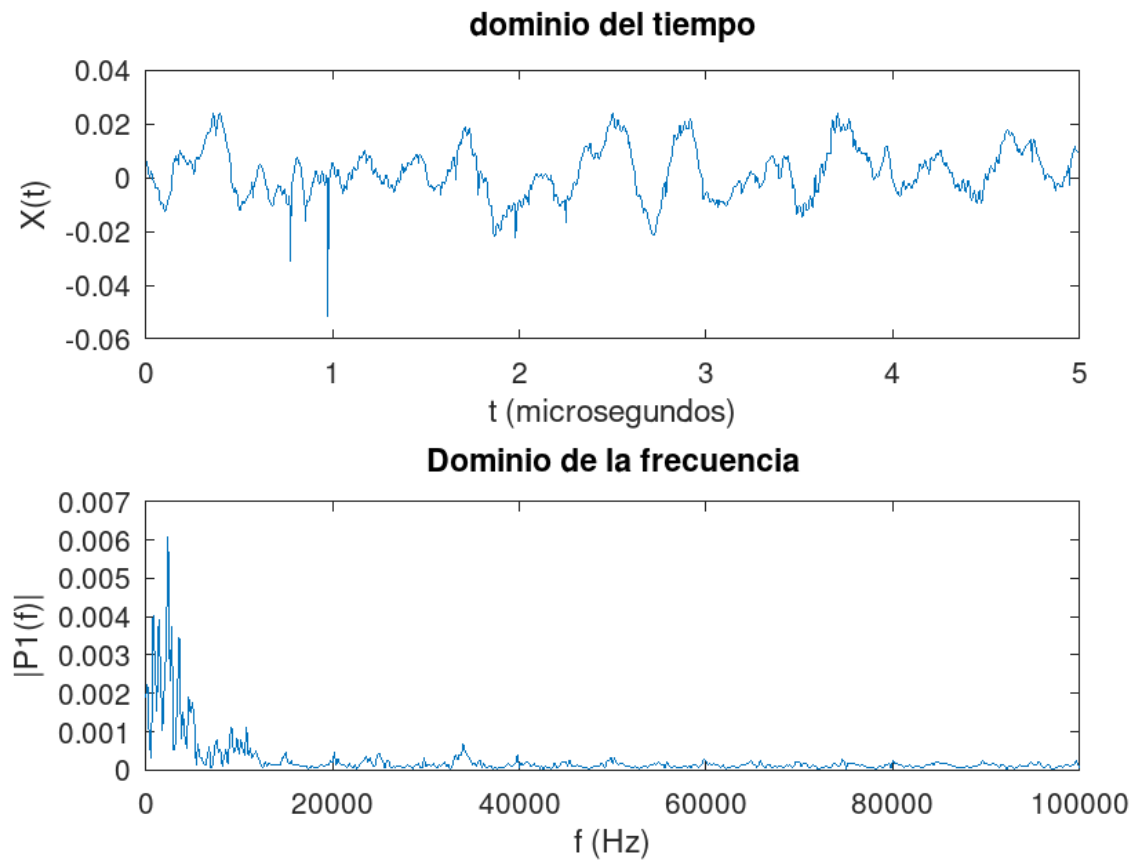
Gráficamente se suele entender el **dominio temporal** como la evolución de una señal con respecto al tiempo, es decir su evolución natural, por otro lado el **dominio frecuencial** muestra los componentes de la señal según la frecuencia en la que oscilan dentro de un rango determinado. En la figura 1 se observan ejemplos gráficos de señales en ambos dominios.

El análisis en frecuencia suele ser más utilizado debido a que la mayoría de las fallas poseen frecuencias características y, dado que en el análisis de frecuencia se descompone en frecuencias la señal, se facilita la detección de fallas características, así mismo, la amplitud de la frecuencia es directamente proporcional al nivel de la falla. Por lo tanto se obtiene un espectro amplio del estado de la pieza. Cabe resaltar que cuando las frecuencias son bajas o muy cercanas entre si, se dificulta determinar e identificar alguna falla, suele suceder cuando se estudia una falla o evento con frecuencia muy baja o muy cercana a la frecuencia natural de la señal o elemento medido. En estos casos es mejor usar un análisis en el dominio del tiempo que facilita la detección de las fallas.

2.2.5. Herramienta Computacional

Según Wooley JC, 2005, una herramienta computacional puede ser definida como cualquier software, sistema de integración, análisis o almacenamiento que ayuda a los científicos o usuarios a solucionar un problema específico en una determinada rama. Pueden

Figura 1: Diagrama de los dominios temporal y frecuencial



Realizada con el Software Octave a partir de los datos de. Huang y col., 2018

variar desde sistemas complejos como compiladores, algoritmos e incluso sistemas operativos hasta herramientas como hojas de cálculos, sistemas de oficina o medios de comunicación. Funcionan mediante la implementación de técnicas y protocolos para solucionar problemas de forma iterativa o con una secuencia de pasos concreta.

Siguiendo este orden de ideas, una gran cantidad de estas herramientas son encontradas en la librería de información más grande del mundo, el Internet. Todas comparten la peculiaridad de que son un **sistema** y, por ende, pueden ser accedidas con facilidad desde cualquier punto con un dispositivo capaz de tener conexión a Internet y un navegador. Esta facilidad se debe a que un **servidor** se encarga de hacer el procesamiento de la información y envía el resultado con un formato específico, típicamente son JSON, por "notación de objeto de JavaScript" el cual es un formato de texto sencillo para el intercambio de datos, este se renderiza (proceso para generar una representación gráfica por medio de programas informáticos) en una página Web.

2.2.6. Sistema Web

Los sistemas Web, de acuerdo a Desconocido, 2015 y Themandrak y col., 2018, o también conocidos como aplicaciones Web son sistemas que utilizan la tecnología Web y el Internet o Intranet para transmitir la información y los servicios a usuarios o otros sistemas/aplicaciones. Estos sistemas utilizan los principios del hipertexto para renderizar la información en cualquier navegador o **pagina Web** y el poder de los **servidores** para almacenar y procesar la información. Por estas características son independientes de cualquier plataforma o sistema operativo, además de no requerir ningún proceso de instalación, facilitando de esta forma el acceso, la gestión y la rapidez de obtención de información.

Página Web

Una página Web, como se explica en contributors, 2021, es un documento accesible desde cualquier navegador con acceso a Internet que puede incluir audio, vídeo, texto y sus diferentes combinaciones. Funciona al usar el protocolo HTTP, conocido usualmente como la Web, y una estructura de hipertexto la cual permite redirigir, enlazar y estructurar el contenido y lo hace fácilmente accesible desde un navegador Web.

Funciona gracias al protocolo HTTP, "Hypertext Transfer Protocol", el cual es la base de cualquier intercambio de datos en la Web y un protocolo de estructura cliente-servidor, esto implica que una petición de datos es iniciada por el elemento que recibirá los datos (el cliente), normalmente un navegador Web, y es cubierta por el elemento que envía los datos (el servidor). Este protocolo comenzó siendo estático y dirigido usualmente a la transmisión de texto pero se fue convirtiendo en más que eso y en la actualidad permite la transferencia de documentos de todo tipo, scripts, vídeos, entre otros; a tal punto que es fácilmente categorizado como el protocolo más usado en todo el mundo, siendo incluso utilizado como sinónimo de Internet cuando es solo una parte de él.

Debido a la invención de tecnologías como JavaScript y AJAX hoy en día es posible tener aplicaciones Web, que son programas junto a una interfaz gráfica, que permite comunicarse con servidores que realizan la mayor parte del trabajo. Es posible el desarrollo

de aplicaciones complejas que funcionen desde la comodidad de dispositivos móviles. La Web permite, por tanto, facilidad a la hora de transmitir información así como el poder acceder a cualquier contenido desde cualquier dispositivo en cualquier momento.

La Web suele ser el método de acceso de muchas tecnologías y, si bien en la actualidad el desarrollo Web usa el mismo estándar de tecnologías, el lado del servidor contempla una variedad mucho más amplia, dado que cualquier aplicación que pueda correr en un ordenador puede ser conectada a una interfaz Web. Teniendo como limitante principal la latencia, tiempo que tarda la información en viajar, una interfaz Web es, para un usuario promedio, una solución cómoda y accesible la cual permite incluso mayor comodidad y facilidad de acceso.

Servidor

Un servidor Web, como lo define AG, 2021, es un ordenador de propósito específico que permite la transición de datos a uno o múltiples clientes Web. Para esto, el dispositivo debe de estar configurado para escuchar las solicitudes de los clientes en un entorno red. Esto se logra mediante una aplicación externa o el uso de un sistema operativo dedicado; almacena los archivos necesarios para el procesamiento de información y los datos necesarios para mostrarla, además, se encarga de distribuirla al usuario final.

Los servidores se suelen clasificar según su función y es común que cumplan más de una función, o se encuentren más de un tipo en una red. Algunos de estos son servidores de archivos, impresión, aplicaciones, DNS, **Web**, entre otros. Actualmente, los servidores Web son los más abundantes en el mercado y se caracterizan por alojar la información y los datos de los usuarios a través de Internet o Intranet. Estos responden a las solicitudes de paginas Web u otros servidores basados en esta tecnología.

2.2.7. Modelo estadístico

Un modelo estadístico, de acuerdo a IBM, s.f., es una representación matemática que permite, mediante ecuaciones, codificar información extraída de los datos y, de esta forma, predecir el comportamiento de un sistema ante situaciones dadas. Funcionan mediante

variables aleatorias, una o más variables de las cuales no se tiene completa certeza de su valor o provienen de algún evento aleatorio.

Un modelo estadístico permite inferir ciertas características de un evento, como qué tan probable es tal evento y cómo se distribuyen los valores de la variable. Además se suele usar como primer paso en generar un modelo más preciso o para la obtención de información cuando no se tiene suficiente, es difícil su acceso o la naturaleza del sistema es extremadamente compleja y dicha tarea es simplemente imposible.

2.2.8. Lenguaje de programación

Los lenguajes de programación pueden ser definidos, según 2022, s.f. como sistemas estructurados que permiten a las personas o programadores interactuar y dar instrucciones a un programa o software con la finalidad de lograr objetivos.

En la actualidad existen una gran cantidad de lenguajes de programación, algunos desarrollados en la antigüedad que todavía desarrollan un papel importante en los sistemas, como lo son C, C++, Java y otros más modernos como lo pueden ser Go, Rust y Python.

Como se explica en JavaTpoint, s.f. Los lenguajes de programación suelen ser clasificados en bajo nivel y alto nivel, haciendo referencia a la necesidad de un compilador o intérprete para poder ser ejecutado por la computadora, siendo los de bajo nivel lenguaje de máquina o ensamblador y los de alto nivel los lenguajes comúnmente conocidos, como Python, Java, JavaScript, PHP, C++, Objective C, Cobol, Perl, Pascal, LISP, FORTRAN, Go y Swift. Estos lenguajes de alto nivel se pueden subdividir de acuerdo a la necesidad de un compilador (C,C++,Go, etc.) o de un intérprete (Python, JavaScript, Ruby, etc.) en Escobar, s.f., se puede leer más de esto. Asimismo, existe otra pequeña subdivisión en el “tipado” del lenguaje, que es la necesidad de especificar el tipo de valor que una variable o constante puede tomar, siendo estas posibilidades un tipado fuerte, medio o débil, también llamados dinámico (débil) o estático (fuerte).

2.2.9. Go

Go es un lenguaje de programación creado en 2007 en google, específicamente por Robert Griesemer, Rob Pike y Ken Thompson, su sintaxis es similar a la del lenguaje C y tiende a ser dinámico como Python pero con un rendimiento equiparable a los de C o C++. Como se especifica en su pagina y documentación oficial Golang.org, s.f.: Go es un proyecto de código abierto (open source) para hacer a los programadores más productivos, es un lenguaje expresivo, conciso, limpio y eficiente con mecanismos de concurrencia (paralelismo) que permiten fácilmente obtener el máximo rendimiento posible de las máquinas multinúcleo y redes de máquinas actuales, mientras permite una programación flexible y modular, además de un compilado rápido con un recolector de basura (el lenguaje se encarga de liberar memoria no utilizada). Es un lenguaje compilado rápido y con tipado estático (las variables y sus tipos tienen que ser definidos con anterioridad) que se siente como un lenguaje interpretado y con tipado dinámico (variables modificables sin tipo definido, más sencillo de escribir el código pero menos estructurado).

Adicional a esto, este lenguaje tiene un ecosistema de comunidades, librerías y herramientas en constante crecimiento que facilitan el aprendizaje y el desarrollo de código.

2.2.10. Fyne

Fyne es una de las librerías (conjunto de herramientas o paquete) más utilizado en Go para el desarrollo de GUI, como se indica en su pagina oficial fyne.io, s.f. el conjunto de herramientas de fyne es una herramienta fácil de aprender, gratuita y de código abierto (open source) que permite la creación de aplicaciones gráficas para escritorios, teléfonos y más. Combina el poder y la simplicidad del lenguaje Go con una cuidadosamente creada librería de widgets (miniaplicaciones o herramientas) que hacen ahora más fácil que nunca la construcción de aplicaciones y su despliegue a producción en todas las plataformas (sistemas operativos, ios, linux, windows, etc.) y tiendas (windows store, google play, etc.).

2.2.11. HTML

HTML no es considerado un lenguaje de programación propiamente dicho por su incapacidad de realizar acciones de lógica o aritmética, más específicamente y de acuerdo a Mozilla y col., s.f.-c, es un lenguaje de enmaquetado (una forma de escritura que utiliza elementos sintácticos para dar forma y estructura a la información escrita posteriormente a un proceso de compilación o interpretación por la máquina, otros ejemplos son Latex y Markdown), específicamente un lenguaje de enmaquetado de hipertexto y es el bloque más básico para la Web ya que define y estructura el contenido de la misma.

“Hipertexto” se refiere a los enlaces que se utilizan para conectar la pagina web con otras partes, ya sean de la misma pagina o paginas externas a la misma. Estos enlaces son fundamentales en la Web ya que permiten la actualización y el entrelazamiento de las paginas creadas por otras personas, esto permite una participación activa el la “World Wide Web”.

HTML usa “etiquetas” para dar información adicional el texto, las imágenes, el contenido y permitir una correcta muestra del contenido, estos elementos sintaxicos son por ejemplo: `<head>`, `<title>`, `<body>`, `<header>`, `<footer>`, `<article>`, `<section>`, `<p>`, `<div>`, ``, ``, `<aside>`, `<audio>`, `<canvas>`, `<datalist>`, `<details>`, `<embed>`, `<nav>`, `<output>`, `<progress>`, `<video>`, ``, ``, ``, entre otros.

De esta forma, el mismo texto entre etiquetas distintas va a tener características visuales distintas, por ejemplo, `<h1>Algo</h1>` es un título, negritas y tamaño de fuente muy superior a `<p>Algo</p>` que sería un párrafo.

2.2.12. CSS

CSS al igual que HTML no es considerado un lenguaje de programación, por las mismas razones, en cambio, como se describe en Mozilla y col., s.f.-b es una hoja de estilos en cascada, un lenguaje utilizado para describir y dar estilo a documentos escritos en HTML o XML, Esto lo consigue al describir como los elementos deberían ser mostrados en la pantalla, papel, habla u otra tipo de multimedia.

Dado estas características CSS es una parte fundamental en el desarrollo Web, ya sea en su versión para o con la inclusión de frameworks o librerías como lo son Bootstrap o TailWind CSS.

Funciona mediante la especificación y modificación de las características en entornos, etiquetas o elementos únicos, mediante identificadores, de un entorno HTML o XML y por esto permite la modificación de los atributos. Usualmente, en términos Web, se modifican tamaños de fuente, peso de la misma, color de fondo o de fuente, márgenes, espaciado interno (padding), centrado, entre otras cosas, y mediante la fijación de estas características a atributos particulares se puede desarrollar un entorno gráfico completo, animaciones y transiciones.

2.2.13. JavaScript

Como se describe en Mozilla y col., s.f.-a, este lenguaje de programación es liviano e interpretado, débilmente tipado y es comúnmente conocido como el lenguaje estándar de los scripts en las paginas Webs; sin embargo, también puede ser utilizado en otros ambientes como a nivel de servidor y en aplicaciones multiplataforma. JavaScript es un lenguaje basado en prototipos, multiparadigma, dinámico y de ejecución en un hilo (no aprovecha la paralelización de los múltiples núcleos) y soporta todo tipo de estilo de programación.

Sus estándares han ido evolucionando con el tiempo y son conocidos como “ ECMAScript Language Specification”; comúnmente JavaScript corre del lado del cliente y es utilizado para diseñar como las paginas web se ven o se comportan ante algún evento específico.

Al ser un lenguaje tan popular y común, posee una gran comunidad y una cantidad muy significativa de “Frameworks y librerías, facilitando su aprendizaje y maximizando la cantidad de cosas que permite hacer. Entre las más conocidas están: Node.js para el servidor, React, Angular y Vue para el cliente, además existen librerías como JQuery que facilitan el lenguaje.

2.2.14. React

React es una librería de JavaScript de código abierto diseñada por facebook y lanzada por primera vez en 2013, como dice su documentación oficial Facebook Open Source, s.f. está diseñada para la construcción de interfaces de usuario, tiene una filosofía de pagina única (singlepage) pero puede ser utilizada para desarrollar aplicaciones de múltiples paginas. Esta librería tiene la característica de ser declarativa y basada en componentes.

Como se mencionó anteriormente, React hace sencillo la creación de interfaces de usuario al permitir la combinación de JavaScript con XML-HTML en "jsx" dando la posibilidad de devolver y renderizar HTML desde funciones con componentes lógicos. Además, es completamente modular por lo que se pueden desarrollar individualmente los elementos de la interfaz y juntarlos con total facilidad, estos elementos son llamados componentes y utilizan todas las propiedades de JavaScript y la manipulación del DOM (Document Object Model) para mostrar y actualizar la información cuando es necesario.

2.2.15. Python

En su página oficial, específicamente en sus preguntas frecuentes P. S. Foundation, s.f. se especifica que python es un lenguaje de programación interpretado, interactivo y orientado a objetos, este soporta muchos paradigmas además del orientado a objetos, como lo son el procedimental y el funcional. Python incorpora funcionalidades como módulos, excepciones, un tipado dinámico y un muy alto nivel de dinamismo en los tipos de datos y clases, asimismo, combina un poder computacional bastante alto con una muy clara sintaxis, librerías, sistemas y compatibilidad con todos los sistemas operativos, además de una facilidad para extenderse a los lenguajes C o C++.

Cabe resaltar que python es completamente gratuito y tiene una gran capacidad, dada su gran cantidad de librerías y frameworks, para cumplir muchas tareas, como lo son estadística, sistemas webs, ciencia de datos entre otros.

2.2.16. Django

Django es un framework web de alto nivel de python el cual fomenta un desarrollo rápido, limpio y pragmático. Como se especifica en su documentación oficial, D. S. Foundation y col., s.f. Fue creado para desarrolladores con experiencia que necesitan un desarrollo rápido y completo en un proyecto web, con la finalidad de permitir al programador desarrollar la aplicación propiamente dicha, es completamente gratuito y de código libre.

Entre las características de Django son su gran velocidad para el diseño, gran cantidad de extras y tareas adicionales fácilmente configurables (autenticación, administración, etc.), seguridad (previene errores comunes como SQL injection y cross-site scripting-requests), versatilidad y facilidad de escalabilidad.

Cabe destacar que Django permite la inclusión de librerías de python para cualquier ámbito y existen algunas específicamente diseñadas para facilitar el desarrollo con este framework, por ejemplo Django rest framework, para la creación de APIs desde el servidor de Django y Django-cors-headers que permite modificar y controlar el acceso de solicitudes a APIs desde clientes.

2.2.17. Numpy

Numpy es un paquete-extensión de python diseñado para la computación científica. Como se explica en su documentación oficial NumPy, s.f. es una herramienta de computación numérica que ofrece una gran cantidad de funciones matemáticas, generación de números aleatorios, rutinas algebraicas de algebra lineal, transformadas de fourier, el tratado de arreglos N-dimensionales, vectorización e indexación de los mismos, todo esto a un gran rendimiento y una facilidad notable de su uso . Además de todo esto, esta es una herramienta gratuita de código abierto.

2.2.18. Pandas

Pandas es otra herramienta dedicada al cálculo numérico, es una herramienta rápida, poderosa, flexible y de fácil utilización, además de código abierto, utilizada para el análisis y

la manipulación de datos, es creada en python. Entre sus características destacan su velocidad y eficiencia con objetos de tipo DataFrame para la manipulación de la información, sus herramientas para la lectura y escritura de información en distintos formatos, entre los cuales destacan los formatos CSV, Excel, SQL DataBase y el HDF5, facilidad para la mutabilidad, alineamiento, filtración y eliminación, inserción y separación de datos, y una muy alta optimización con puntos de código críticos escritos en Cython o C. Además de esto, otras características adicionales son expuestas en su documentación oficial NumFOCUS, s.f.

2.2.19. Scipy

2.2.20. FastApi

2.2.21. Digital ocean y Heroku

2.2.22. Octave

Octave es un software originalmente escrito por John W.Eaton y muchos otros, esto es debido a que es un lenguaje gratuito y constantemente incorpora funciones o correcciones hechas por la comunidad. Como se especifica en su documentación oficial Eaton., s.f., es un lenguaje de programación de alto nivel, orientado primordialmente a la realización de cálculos numéricos. Permite el uso de una interfaz o la terminal para resolver ecuaciones lineales, no lineales, problemas numéricos además de conversiones y transformadas matemáticas. Es completamente compatible con el lenguaje Matlab y además puede ser utilizado como un lenguaje orientado a procesos.

Cabe resaltar que octave posee una gran gama de librerías o módulos escritos en C++, C, Fortran entre otros lenguajes, y es completamente gratuito y redistribuible.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

Como fue explicado en el primer capítulo, se pretende hacer una herramienta computacional para el análisis de la vibración en motores eléctricos alimentada mediante datos de una simulación digital. Partiendo de esto, se comenzará con la definición de los siguientes aspectos.

3.1. NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo es clasificado como Proyecto Especial, puesto que según Hernández (1998) lleva a:

Trabajos que lleven a creaciones tangibles, susceptibles de ser utilizadas como soluciones a problemas demostrados, o que respondan a necesidades e intereses de tipo cultural. Se incluyen en esta categoría los trabajos de elaboración de libros de texto y de materiales de apoyo educativo, el desarrollo de software, prototipos y de productos tecnológicos en general, así como también los de creación literaria y artística.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la clasificación el tipo de investigación de este trabajo se cataloga como investigación aplicada, puesto que "persigue fines inmediatos y concretos a través de la búsqueda de un nuevo conocimiento técnico con aplicación inmediata a un problema determinado" Vélez (2005).

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.4. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. Metodología de desarrollo de software

Para la implementación de los distintos sistemas que componen la herramienta computacional propuesta, se necesitar seguir una metodología de diseño de software. Como la herramienta se clasifica como una aplicación WEB, las metodologías utilizadas en el desarrollo de este tipo aplicaciones son aplicables a este trabajo.

Las aplicaciones WEB cuentan con muchas similitudes a las de aplicaciones de computadores personales, sin embargo una de sus principales diferencias es que estas están en un estado de constante cambio por lo tanto se pierde la noción de versiones, los cambios toman efectos de forma inmediata y de forma gradual. Esta diferencia es producto de que su función principal es la de transmitir información. Como esta información cambia de forma constante los requisitos de la aplicación suelen también ser variables. Todo esto unido al hecho de que los cambios en la aplicación pueden realizarse con la menor fricción posible, los cambios se pueden observar al volver a cargar la página, hace que este tipo de aplicación exista en un estado de evolución continua. Según Pressman, 2002 la evolución constante de las aplicaciones WEB puede ser comparada con la jardinería, se hace un trabajo inicial el cual seria equivalente a sembrar un jardín y una vez se tenga el sitio implementado, se debe realizar el trabajo de mantenerlo que seria equivalente a regar y abonar las plantas.

Debido a lo presentado anteriormente, para la elaboración de los diferentes componentes de la herramienta se realizará un desarrollo de forma continua, en donde la aplicación tendrá la capacidad de evolucionar si algún día cambian los requisitos de la misma. Para esto se utilizara la ayuda de **Git** como sistema de control de versiones, lo cual permitiría integrar los diferentes cambios de forma mas eficaz y facilitar la cooperación a la hora del desarrollo de la aplicación. Para la elaboración de los diferentes componentes se usa también un proceso iterativo, cada vez que se implemente un componente se comprueba el funcionamiento del mismo y se corrige, de ser necesario.

Este modelo de implementación posee una estructura muy marcada, la cual se adapta

a las metas, usuarios finales y a la filosofía de navegación que se elija. Según Pressman, 2002 esta se puede desglosar como:

- Diseño arquitectónico, el cual consiste en la definición de la estructura global, las plantillas y parte del patrón de diseño que se utilizará para estructurar la red. Específicamente, se trata de cimentar las bases para facilitar la creación del contenido y se estructura la forma de navegación por el sistema, además de los componentes que la integrarán.
- Diseño de navegación, en esta fase se eligen las rutas de navegación que permiten el acceso al contenido, además, se hacen las distinciones con respecto a los posibles usuarios que podrán acceder a la red y, por ende, las funcionalidades y/o permisos a los que tendrán acceso.
- Diseño de la interfaz, se refiere al diseño gráfico, estético y a las facilidades que se le dan a los usuarios, dado que esta es la primera impresión que se da, puede significar la diferencia entre el uso o no de la aplicación.
- Cabe destacar que, en la actualidad, se consideran mas fases que las mencionadas por Pressman, las dos mas resaltantes son la **Fase de programación** y la **Fase de Testeo**, aunque la última es nombrada como un proceso posterior al desarrollo. Estas dos fases son consideradas en la actualidad dados los constantes requerimientos de implementaciones adicionales o modificaciones a las ya existentes. Para permitir la integración de la mismas sin exponerse al colapso del sistema, se suelen utilizar **test** automatizados los cuales deben ser diseñados e implementados.

3.6. RECURSOS

- Computadoras portátiles.
- Documentación.
- Base de datos de la vibración en motores eléctricos.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS Y LENGUAJES

Para la elección de las herramientas y lenguajes a utilizar se

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO

4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS EN FRECUENCIA

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Como se ha mencionado anteriormente, se ha escogido una base de datos no relacional, específicamente MongoDB, dentro de esta se han desarrollado una base de datos llamada "tesis" y dos colecciones llamadas "MotorData" y "MotoresInDB" ; la primera colección se encarga de almacenar toda la información enviada por los sensores (en este caso el cliente simulado con los datos proporcionados por el modelo estadístico) y la segunda colección contiene una lista con los identificadores únicos de cada motor que tenga al menos un documento en la colección "MotorData" , es decir, hay información registrada de su actividad.

Cada colección tiene una estructura fija definida para facilitar el manejo y la consistencia de los documentos, esta es similar un json y sus campos están explicados en las tablas 1 para "MotorData" y 2 para "MotorInDB" .

Tabla de la estructura seguida para la colección "MotorData" .

Elemento	tipo de dato	Descripción
_id	[]bytes	Elemento utilizado por MongoDB para identificar y facilitar la búsqueda de los documentos
IdMotor	string	Identificador único del motor.
Características	string	Descripción e información del motor.
IdSensor	[]uint64	lista de los identificadores-sensores que tiene conectado este motor.
Data	[]DataSensor	lista en forma de sub colección que contiene los resultados del sensor.
Time	time	Estampa de tiempo, fecha y hora de la muestra.
Sub colección "DataSensor"		
IdSensorData	uint64	Identificador único del sensor que tomo la muestra.
Aceleración	float64	Muestra de aceleración medida en g .
VelocidadX	float64	Muestra de velocidad en el eje X.
VelocidadY	float64	Muestra de velocidad en el eje Y.
VelocidadZ	float64	Muestra de velocidad en el eje Z.

Cuadro 1: Estructura de la colección MotorData

Cabe relatar que "uint64" hace referencia a un número natural de 64 bits y es usado en los identificadores de sensores ya que permite el uso de 64 bits (16 bytes) los cuales son codificados de la forma expuesta en la tabla 3, para poder transmitir mas información

Tabla de la estructura seguida para la colección "MotorInDB"

Elemento	tipo	Descripción
_id	[]bytes	Elemento utilizado por MongoDB para identificar y facilitar la búsqueda de los documentos
IdMotor	[]string	Lista que contiene todos los identificadores únicos de los motores. Facilita búsqueda e implementación de los clientes Webs

Cuadro 2: Estructura de la colección MotorInDB

y facilitar la escalabilidad del sistema en un futuro. Asimismo, se utiliza "float64" para representar a un número racional representado como punto flotante de 64 bits, Esta es una unidad común porque permite maximizar la precisión en la medida.

Tabla de la estructura seguida para "IdSensor"

Tipo de sensor	Ubicación	Reservado	Serial
B_{15}	B_{14}	$B_{13}B_{12}$	$B_{11} \cdots B_0$

Campo	Descripción
tipo	tipo de sensor usado, Acelerómetro, Temperatura, etc. Con 0000b siendo Acelerómetro y 15 posibilidades adicionales.
Reservado	No se utilizan, son 0x00 siempre y se reservan para posibles expansiones y/o necesidades.
Ubicación	Posición con respecto al motor y acoples. Con: 0000b Lado con carga, 0001b Lado libre, 0010b \cdots 1111b disponibles para acoples y chumaceras.
Serial	número de fabricación del sensor, desde 0 hasta 2^{48} .

Cuadro 3: Estructura seguida en el identificador de los sensores para permitir y facilitar la escalabilidad del sistema

4.5. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVIDORES

Los servidores son necesarios para recolectar la información de los sensores, establecer una comunicación full dúplex la cual permita obtener información a tiempo real del comportamiento del sensor, además de permitir toda la interacción web que da la visibilidad. Dado que estas tareas pueden ser separadas y manejadas en forma de APIs se crearon 2 servidores, permitiendo de esta forma la división de la carga de trabajo y por ende disminuyendo los requerimientos mínimos del equipo en donde se monta cada servidor individual. Así mismo, esto permite una mayor escalabilidad y paralelismo, dado que en el caso de ser necesaria una ampliación en la capacidad de cómputo se puede colocar otro equipo en vez de aumentar las capacidades del equipo ya existente. Este hecho permite disminuir los costos sustancialmente.

La implementación de estos 2 servidores da origen a un **servidor dedicado a sensorica**, desarrollado como un micro-servicio en el lenguaje de programación Go (también conocido como Golang) por las razones previamente expuestas, y a un **servidor dedicado al tratamiento web** desarrollado con una combinación de Python y el framework Django para el Backend y html-css-javascript con el framework de React en un paradigma multipaginas de renderizado desde el servidor para el frontend-cliente Web.

4.5.1. Servidor dedicado a Sensorica

Este servidor fue realizado en Go por los motivos expuestos anteriormente y cumple la función de micro-servicio, se encarga de la recolección y comunicación con la red de sensorica, la cual es implementada por el cliente de la simulación y el modelo estadístico, así mismo envía la información relacionada con la vista exhaustiva (para esta se requieren mediciones a tiempo real y por esto este servidor tiene una conexión full duplex con los sensores).

Como se observa en la tabla 4

El primer "Endpoint" (DireccionIP/sensormessage) realiza las siguientes tareas:

Tabla de las funcionalidades del servidor dedicado a sensorica

Dirección	Tarea realizada
DireccionIP/sensormessage	Se encarga del comportamiento, acceso e intercambio de información sensor-servidor. Es una comunicación bidireccional con http2 (https) y se intercambian por el canal establecido tanto la información de medición diaria, (después es subida a la base de datos) como la información de medición exhaustiva (es enviada al cliente que la solicito).
DireccionIP/exhaustive ?idMotor=identificador	Se encarga de solicitar la información para la vista exhaustiva, el identificador único del motor que se solicitara la data es enviado por el url (?idMotor=identificador) .

Cabe resaltar que "DireccionIP" hace referencia a la dirección en la que sera montado (Host) el sitio, en caso de un ambiente local, por ejemplo, es "localhost:8080"(este es el usado para las pruebas, cuando se cambia a producción se modifica por el del host contratado)

Cuadro 4: Relación de punto de acceso y funcionalidad implementada en el servidor de sensorica

- Establecer una conexión http2 con los solicitantes, para esto se intercambian, además de los paquetes e información necesarios para establecer el protocolo, unos mensajes que permiten identificar el motor y la cadena de sensores correspondientes a esta información.
- Posteriormente se revisa si el motor tiene una conexión activa (no debe de existir por unicidad de la información) y si ya se ha recibido información de este motor previamente, de no ser así, se agrega a la lista de motores de la que se posee información.
- En este punto el servidor se dedica a escuchar la llegada o solicitud de información. Esta puede ser del sensor con el que se estableció conexión (mediante un canal interno) o de la solicitud de información para una vista exhaustiva. Para cada caso se hace lo siguiente:
 - * Si es información, se verifica que venga en formado valido y se sube a la base de datos.
 - * Si es una solicitud de información, se verifica que la conexión con el motor sea

la indicada y se solicita la información, se espera la respuesta y se envía por el mismo canal interno. Esta solicitud es hecha por el segundo Endpoint.

- * No se dio ninguno de los casos, entonces el cliente se desconectará. Se procede a eliminar la conexión y la lista mediante un procedimiento de cierre de conexión.
- Finalmente, existe un procedimiento de cierre de conexión ya sea por solicitud del cliente o por un error ocurrido.

El segundo "Endpoint" (`DireccionIP/exhaustive?idMotor=identificador`) realiza las siguientes tareas:

- Decodifica el URL enviado para obtener el parámetro (`idMotor`) y comprueba su existencia. En caso de error se envía un mensaje de petición incorrecta.
- Se comprueba que el motor solicitado exista en las conexiones actuales. Es importante resaltar que se refiere a la conexión bidireccional, ya que de caso contrario no se puede obtener información a tiempo real. Por esto, si la conexión es inexistente, se envía un mensaje de petición incorrecta, no se puede conectar al motor.
- Se solicita por un canal interno al otro Endpoint la información deseada y se espera su respuesta.
- Se envía la respuesta con estado de creado y la información.

4.5.2. Servidor web

4.6. IMPLEMENTACIÓN DE LOS CLIENTES

Un cliente puede ser definido como un equipo o software que se conecta a un servidor para obtener un beneficio, sea por poder de computo, para obtener una información dada o comunicarse con un programa que se ejecuta en el lado del servidor. Siguiendo esta definición, Se crearon 2 clientes, uno para facilitar la inserción de datos en la simulación del sensor y el cliente web el cual permite manejar el análisis y la monitorización de los sensores.

4.6.1. Cliente de Sensorica

Este fue elaborado en Go para facilitar la interconexión con el servidor y de igual forma aprovechar el paralelismo y la multiplataforma que el lenguaje ofrece. Se puede subdividir en 3 acciones fundamentales:

- GUI: Es la interfaz gráfica de usuario, utiliza el framework fyne por facilidades de diseño y es una ventana que permite ingresar datos equivalentes a las características del motor y conectar con el servidor (además de especificar en que dirección esta el motor), y posee una ventana de log en la cual se comunica al usuario acciones como la conexión exitosa y el envío de información al servidor. Permite especificar:
 1. Dirección Ip: Lugar a conectar.
 2. Id Motor: Identificador único del motor.
 3. Potencia: Información adicional, opcional.
 4. Nivel de daño: numero entre 1 y 10 que determina los posibles valores del modelo.
 5. Información: Información adicional, pensado para comentarios, opcional.
 6. Sensores: lista de 1 a 5 posibles sensores, que representan los identificadores únicos que tienen los sensores asociados al motor.

Cabe resaltar que a ser una GUI es el proceso principal, las demás tareas son realizadas de forma paralela.

- **Conexión al servidor:** Es un protocolo que ocurre cada vez que se presiona el botón de conectar, se encarga de intercambiar información con el servidor para poder conectarse (bajo el protocolo https) y envía los datos de que motor se va a conectar (simular) y que sensores tiene asociados, espera una aprobación de conexión (no exista un motor con el mismo id enviando información), obtiene las características especificadas en la GUI y comienza un proceso de envío-recibo de información. Este es un proceso que se ejecuta paralelamente a la GUI y se inicia cada vez que se presiona el botón de conectar, Si había un proceso previo y se vuelve a presionar conectar finaliza el anterior y comienza uno nuevo.
- **Comunicación con el servidor:** Es un proceso de envío bidireccional de información, esta rutina se inicia cuando la conexión al servidor es completada exitosamente y se subdivide en 3 procesos que a su vez corren paralelamente (se toma el proceso de conexión al servidor y se crean 2 hijos para un total de 4 procesos paralelizados si se incluye la GUI). Estos procesos son:
 1. **timer:** Es un proceso que se encarga de cronometrar cada cuanto se va a mandar una mensaje de información con los datos correspondientes a una medición normal al servidor.
 2. **listen:** Es un proceso que se encarga de verificar si hay una solicitud de información, ya sea del subproceso timer (como un mensaje normal) o del servidor para solicitar información de la vista exhaustiva (la cantidad de información enviada es sustancialmente diferente) o para la terminación del proceso e informa a handler que se debe hacer.
 3. **handler:** Se encarga de realizar la tarea pedida por listen, al enviar la información solicitada al servidor, enviando 2 mensajes, uno con el tipo de información que se envía y otro con la información. Esto fue establecido como una especie de protocolo para dar mayor seguridad y a la vez facilitar el intercambio de información con el servidor.

Cabe resaltar que estos procesos son asíncronos y no sufren prelación entre ellos.

4.6.2. Cliente WEB

Este cliente es el mas conocido, ya que es el que permite que se muestre la información en el navegador web. Esta constituido por las vistas general, específica y exhaustiva, cada una de estas representa una pagina web separada y todas fueron construidas utilizando el framework de JavaScript **React** y con html específicamente un template de Django y css para dar estructura básica y estilo respectivamente.

Se optó por utilizar un estilo multi paginas con renderizado de lado servidor (específicamente del servidor web) por la necesidad de los cálculos avanzados y gráficas que se deben realizar, además de los llamados importantes e interconexiones con la api del servidor de Go, y la BBDD. Esto difiere con el paradigma tradicional de React (monopagina de renderizado en servidor) pero permite optimizar recursos y facilita expansiones a futuro.

Su estructura viene dada por las 3 paginas o sub aplicaciones que permiten:

- General: conocer el estado general de un grupo de motores, indicando en código de colores (verde, amarillo, rojo) el nivel de daño que posee un motor. Este nivel es determinado por las muestras mas actuales de la información del motor y unos valores parámetros proporcionados en conjunto con los datos de los cuales se elaboró el modelo estadístico.

Cabe resaltar que estos valores son una extrapolación empírica de la vibración en una planta específica, es configurable y puede variar dadas las características propias de cada instalación. Esto es debido a que las bases utilizadas en la instalación, los soportes, entre otros factores **causados por ignorar las normas de instalación** afectan las medidas.

- Específica: permite el estudio del estado de un motor específico, este es enviado como parámetro en el url al servidor. Permite observar un histograma y una tabla exportable a excel de sus características y evolución en el tiempo, siempre y cuando se tenga medición de ese periodo en la base de datos, asimismo permite solicitar la vista exhaustiva del mismo motor si es requerido un nivel mayor de análisis.
- Exhaustiva: esta vista incluye todo lo anterior de la vista específica, con la salvación

de que permite regresar al menú general en vez de hacer una vista exhaustiva, además de que realiza un análisis en frecuencia del estado a tiempo real del motor (para que se pueda realizar este análisis se tiene que tener acceso a tiempo real con el motor, es decir, el servidor de sensorica debe tener una conexión con un sensor que se encargue de monitorear el respectivo motor permitiéndole así solicitar la información necesaria para hacer el análisis.

Cabe resaltar que esta acción es tratada como una vista aparte ya que tiene un peso computacional relativamente alto asociado, y por ende, además de consumir recursos, tiene una duración de carga de algunos segundos que deteriora la experiencia de usuario y por esto se busca que sea obtenida solamente por una solicitud explícita.

4.7. COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2022, A. U. |. U. E. (s.f.). *LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN: ¿QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN?* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://etac.edu.mx/blog-etac/index.php/lenguajes-de-programacion/>
- AG, P. (2021). *Cómo funciona un servidor* [Online; fecha de consulta: 1/8/2021]. <https://www.paessler.com/es/it-explained/server>
- Çağlar Ramazan, İ. S., & Serhat, Ş. (2014). Statistical Wiener process model for vibration signals in accelerated aging processes of electric motors. *Journal of Vibroengineering*, 16(12).
- contributors, M. (2021). *What is the difference between webpage, website, web server, and search engine?* [Online; fecha de consulta: 2/8/2021]. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Common_questions/Pages_sites_servers_and_search_engines
- Desconocido. (2015). *¿Qué es un sistema web?* [Online; fecha de consulta: 31/7/2021]. <http://www.addappto.com/que-es-un-sistema-web/>
- Eaton., J. W. (s.f.). *About* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://www.gnu.org/software/octave/about>
- Escobar, G. (s.f.). *Lenguajes compilados e interpretados* [Online, blog; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://blog.makeitreal.camp/lenguajes-compilados-e-interpretados/>
- Facebook Open Source, M. P. (s.f.). *React A JavaScript library for building user interfaces* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://reactjs.org>
- Foundation, D. S., & individual contributors. (s.f.). *Django* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://www.djangoproject.com/start/overview/>
- Foundation, P. S. (s.f.). *General Python FAQ* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://docs.python.org/3/faq/general.html>
- Fraden, J. (2003). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer.
- fyne.io. (s.f.). <https://fyne.io>
- Girdhar, P., & Scheffer, C. (2004). 5 - Machinery fault diagnosis using vibration analysis. En P. Girdhar & C. Scheffer (Eds.), *Practical Machinery Vibration Analysis and*

- Predictive Maintenance* (pp. 89-133). Newnes. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066275-8/50005-9>
- Golang.org. (s.f.). *Documentation* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://go.dev/doc/>
- Hernández, M. T. (1998). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales [fecha de consulta: 9/6/2021]. *Universidad Pedagógica Experimental Libertador*, 14-15. <http://files.innova-edu.webnode.com/200003215-6a4f06b3b1/NormasUPEL2006.pdf>
- Huang, H., & Baddour, N. (2018). Bearing vibration data collected under time-varying rotational speed conditions [fecha de consulta: 24/6/2021]. *Data in Brief*, 21, 1745-1749. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.019>
- IBM. (s.f.). *Modelos estadísticos* [Online; fecha de consulta: 1/8/2021]. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=nodes-statistical-models>
- JavaTpoint. (s.f.). *Programming Language* [Online, blog; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://www.javatpoint.com/programming-language>
- Kammermann, B., & Schwimmbeck, H. (2017). Reliability of induction machines: Statistics, tendencies, and perspectives [fecha de consulta: 15/4/2021], 1843-1847. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2017.8001529>
- Koene, I., Klar, V., & Viitala, R. (2020). IoT connected device for vibration analysis and measurement [fecha de consulta: 26/4/2021]. *HardwareX*, 7, e00109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00109>
- Lacey, D. J. (s.f.). The Role of Vibration Monitoring in Predictive Maintenance [fecha de consulta: 14/4/2021]. https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpaper_1/download_1/the_role_of_vibration_monitoring.pdf
- LTD, N. E. (2021). *¿Qué es un Rodamiento?* [Online; fecha de consulta: 1/8/2021]. <https://www.nskeurope.es/es/bearings/products/what-s-a-bearing.html#>
- Mora, J. F. (2003). *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill.
- Mozilla & individual contributors. (s.f.-a). *About JavaScript What is JavaScript?* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript

- Mozilla & individual contributors. (s.f.-b). *CSS: Cascading Style Sheets* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>
- Mozilla & individual contributors. (s.f.-c). *HTML: HyperText Markup Language* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML>
- NumFOCUS. (s.f.). *pandas* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://pandas.pydata.org/>
- NumPy. (s.f.). *NumPy* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://numpy.org/>
- Pinto, R., Rossetti, R., & Gonçalves, G. (2016). Wireless Sensor Network Simulation for Fault Detection in Industrial Processes [fecha de consulta: 26/4/2021], 333-338. <https://doi.org/10.5220/0006011003330338>
- Pressman, R. (2002). *INGENIERIA DE SOFTWARE* [Online; fecha de consulta: 24/7/2021]. McGraw-Hill Interamericana de España S.A.
- Sauer202 & col. (2021). Vibration — Wikipedia, The Free Encyclopedia [Online; fecha de consulta: 20/6/2021]. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vibration&oldid=1034850880>
- Smith, G. M. (2020). *Qué es Adquisición de Datos - DAQ o DAS?* [Online; fecha de consulta: 30/7/2021]. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos>
- Soto-Ocampo, C. R., Mera, J. M., Cano-Moreno, J. D., & Garcia-Bernardo, J. L. (2020). Low-Cost, High-Frequency, Data Acquisition System for Condition Monitoring of Rotating Machinery through Vibration Analysis-Case Study. *Sensors*, 20(12). <https://doi.org/10.3390/s20123493>
- Themandrak & col. (2018). Web information system [Online; fecha de consulta: 31/7/2021]. https://en.wikipedia.org/wiki/Web_information_system
- Ugwiri, M., Mpia, I., & Lay-Ekuakille, A. (2020). Vibrations for fault detection in electric machines [fecha de consulta: 26/4/2021]. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, 23, 66-72. <https://doi.org/10.1109/MIM.2020.8979527>
- Vélez, C. M. (2005). *Apuntes de metodología de la investigación*. [Guía Universidad EA-FIT, Medellín-Colombia, online; fecha de consulta 11/2/2022]. <https://www.docsity.com/es/apuntes-de-metodologia-de-la-investigacion-velez/6979855/>
- Vynith & col. (2019a). Dominio de la frecuencia [Online; fecha de consulta: 26/6/2021]. https://es.wikipedia.org/wiki/Dominio_de_la_frecuencia

- Vynith & col. (2019b). Dominio del tiempo [Online; fecha de consulta: 26/6/2021]. https://es.wikipedia.org/wiki/Dominio_del_tiempo
- Weber, M. (2012). Piezoelectric Accelerometers Theory and Application.
- Wooley JC, e., Lin HS. (2005). *Catalyzing Inquiry at the Interface of Computing and Biology*. [Online; fecha de consulta: 30/7/2021]. National Academies Press (US).

BIBLIOGRAFÍA

- 2022, A. U. |. U. E. (s.f.). *LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN: ¿QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN?* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://etac.edu.mx/blog-etac/index.php/lenguajes-de-programacion/>
- AG, P. (2021). *Cómo funciona un servidor* [Online; fecha de consulta: 1/8/2021]. <https://www.paessler.com/es/it-explained/server>
- Çağlar Ramazan, İ. S., & Serhat, Ş. (2014). Statistical Wiener process model for vibration signals in accelerated aging processes of electric motors. *Journal of Vibroengineering*, 16(12).
- contributors, M. (2021). *What is the difference between webpage, website, web server, and search engine?* [Online; fecha de consulta: 2/8/2021]. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Common_questions/Pages_sites_servers_and_search_engines
- Desconocido. (2015). *¿Qué es un sistema web?* [Online; fecha de consulta: 31/7/2021]. <http://www.addappto.com/que-es-un-sistema-web/>
- Desconocido. (2021). Motor eléctrico [Online; fecha de consulta: 31/7/2021]. https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico#Caracter%C3%ADsticas
- Eaton., J. W. (s.f.). *About* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://www.gnu.org/software/octave/about>
- Escobar, G. (s.f.). *Lenguajes compilados e interpretados* [Online, blog; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://blog.makeitreal.camp/lenguajes-compilados-e-interpretados/>
- Facebook Open Source, M. P. (s.f.). *React A JavaScript library for building user interfaces* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://reactjs.org>

- Foundation, D. S., & individual contributors. (s.f.). *Django* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://www.djangoproject.com/start/overview/>
- Foundation, P. S. (s.f.). *General Python FAQ* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://docs.python.org/3/faq/general.html>
- Fraden, J. (2003). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer.
- Francisjk2020 & col. (2021). Microelectromechanical systems — Wikipedia, The Free Encyclopedia [Online; fecha de consulta: 26/6/2021]. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Microelectromechanical%5C%20systems&oldid=1035022366>
- fyne.io. (s.f.). <https://fyne.io>
- Gelpgim22 & col. (2020). Rotor (máquina eléctrica) [Online; fecha de consulta: 31/7/2021]. [https://es.wikipedia.org/wiki/Rotor_\(m%C3%A1quina_el%C3%A9ctrica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Rotor_(m%C3%A1quina_el%C3%A9ctrica))
- Girdhar, P., & Scheffer, C. (2004). 5 - Machinery fault diagnosis using vibration analysis. En P. Girdhar & C. Scheffer (Eds.), *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance* (pp. 89-133). Newnes. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066275-8/50005-9>
- Golang.org. (s.f.). *Documentation* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://go.dev/doc/>
- Hanly, S. (2018). *What's the Difference Between Vibration Sensors?* [Online; fecha de consulta: 14/7/2021]. <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21837036/whats-the-difference-between-vibration-sensors>
- Hernández, M. T. (1998). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales [fecha de consulta: 9/6/2021]. *Universidad Pedagógica Experimental Libertador*, 14-15. <http://files.innova-edu.webnode.com/200003215-6a4f06b3b1/NormasUPEL2006.pdf>
- Huang, H., & Baddour, N. (2018). Bearing vibration data collected under time-varying rotational speed conditions [fecha de consulta: 24/6/2021]. *Data in Brief*, 21, 1745-1749. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.019>
- IBM. (s.f.). *Modelos estadísticos* [Online; fecha de consulta: 1/8/2021]. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=nodes-statistical-models>
- JavaTpoint. (s.f.). *Programming Language* [Online, blog; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://www.javatpoint.com/programming-language>

- Kammermann, B., & Schwimmbeck, H. (2017). Reliability of induction machines: Statistics, tendencies, and perspectives [fecha de consulta: 15/4/2021], 1843-1847. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2017.8001529>
- Koene, I., Klar, V., & Viitala, R. (2020). IoT connected device for vibration analysis and measurement [fecha de consulta: 26/4/2021]. *HardwareX*, 7, e00109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00109>
- Lacey, D. J. (s.f.). The Role of Vibration Monitoring in Predictive Maintenance [fecha de consulta: 14/4/2021]. https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpaper_1/download_1/the_role_of_vibration_monitoring.pdf
- LTD, N. E. (2021). *¿Qué es un Rodamiento?* [Online; fecha de consulta: 1/8/2021]. <https://www.nskeurope.es/es/bearings/products/what-s-a-bearing.html#>
- Mora, J. F. (2003). *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill.
- Mozilla & individual contributors. (s.f.-a). *About JavaScript What is JavaScript?* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript
- Mozilla & individual contributors. (s.f.-b). *CSS: Cascading Style Sheets* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>
- Mozilla & individual contributors. (s.f.-c). *HTML: HyperText Markup Language* [Online; fecha de consulta 24/2/2022]. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML>
- NumFOCUS. (s.f.). *pandas* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://pandas.pydata.org/>
- NumPy. (s.f.). *NumPy* [Online; fecha de consulta 27/2/2022]. <https://numpy.org/>
- Pinto, R., Rossetti, R., & Gonçalves, G. (2016). Wireless Sensor Network Simulation for Fault Detection in Industrial Processes [fecha de consulta: 26/4/2021], 333-338. <https://doi.org/10.5220/0006011003330338>
- Pressman, R. (2002). *INGENIERIA DE SOFTWARE* [Online; fecha de consulta: 24/7/2021]. McGraw-Hill Interamericana de España S.A.
- Prielipp, L. (2019). *What is a Vibration Sensor?* [Online; fecha de consulta: 28/7/2021]. <https://realpars.com/vibration-sensor/>

- Rdp060707 & col. (2020). Web page [Online; fecha de consulta: 2/8/2021]. https://en.wikipedia.org/wiki/Web_page
- Rdp060707 & col. (2021). Oscillation — Wikipedia, The Free Encyclopedia [Online; fecha de consulta: 20/6/2021]. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Oscillation&oldid=1035038613>
- RJJ4y7 & col. (2021). Sensor — Wikipedia, The Free Encyclopedia [Online; fecha de consulta: 26/6/2021]. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensor&oldid=1035968140>
- Sauer202 & col. (2021). Vibration — Wikipedia, The Free Encyclopedia [Online; fecha de consulta: 20/6/2021]. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vibration&oldid=1034850880>
- Smith, G. M. (2020). *Qué es Adquisición de Datos - DAQ o DAS?* [Online; fecha de consulta: 30/7/2021]. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos>
- Soto-Ocampo, C. R., Mera, J. M., Cano-Moreno, J. D., & Garcia-Bernardo, J. L. (2020). Low-Cost, High-Frequency, Data Acquisition System for Condition Monitoring of Rotating Machinery through Vibration Analysis-Case Study. *Sensors*, 20(12). <https://doi.org/10.3390/s20123493>
- Themandrak & col. (2018). Web information system [Online; fecha de consulta: 31/7/2021]. https://en.wikipedia.org/wiki/Web_information_system
- Ugwiri, M., Mpia, I., & Lay-Ekuakille, A. (2020). Vibrations for fault detection in electric machines [fecha de consulta: 26/4/2021]. *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, 23, 66-72. <https://doi.org/10.1109/MIM.2020.8979527>
- Vélez, C. M. (2005). *Apuntes de metodología de la investigación*. [Guía Universidad EA-FIT, Medellín-Colombia, online; fecha de consulta 11/2/2022]. <https://www.docsity.com/es/apuntes-de-metodologia-de-la-investigacion-velez/6979855/>
- Vynith & col. (2019a). Dominio de la frecuencia [Online; fecha de consulta: 26/6/2021]. https://es.wikipedia.org/wiki/Dominio_de_la_frecuencia
- Vynith & col. (2019b). Dominio del tiempo [Online; fecha de consulta: 26/6/2021]. https://es.wikipedia.org/wiki/Dominio_del_tiempo
- Weber, M. (2012). Piezoelectric Accelerometers Theory and Application.

- WEG MEXICO, S. D. C. (2021). *Rodamientos en motores de uso general - Parte I* [Online; fecha de consulta: 2/8/2021]. <https://www.weg.net/institutional/DO/es/news/general/rodamientos-en-motores-de-uso-general-parte-i>
- Wooley JC, e., Lin HS. (2005). *Catalyzing Inquiry at the Interface of Computing and Biology*. [Online; fecha de consulta: 30/7/2021]. National Academies Press (US).
- y MongoDB, N. (s.f.). *MongoDB* [Blog. Online; fecha de consulta 11/2/2022]. <https://nodeymongo.wordpress.com/glosario-de-terminos/mongodb/>