



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - GUAYAQUIL

DISEÑO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA:

Diseño e implementación de un prototipo para reconocimiento de fallos en rodamientos de motores eléctricos por medio del sonido utilizando Teachable Machine

AUTOR:

Kevin Josue Arias Pucha

Robert Michael Sánchez Gómez

TUTOR:

Ing. Livingston Miranda

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Josue Arias Pucha con cedula de ciudadanía N°0923775266 y Robert Michael Sánchez Gómez con cedula de ciudadanía N°0932595085, afirmamos que:

Somos las autores y responsables del presente trabajo, y damos nuestra autorización para que la Universidad Politécnica Salesiana, sin fines de lucro, pueda utilizar, diseminar, replicar o hacer público en su totalidad o en partes este trabajo de titulación.

Guayaquil, 28 de agosto del año 2024.

Atentamente,



Kevin Josue Arias Pucha

0923775266



Robert Michael Sánchez Gómez

0932595085

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Josue Arias Pucha con documento de identificación N°0923775266 y Robert Michael Sánchez Gómez con documento de identificación N°0932595085, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño e implementación de un prototipo para reconocimiento de fallos en rodamientos de motores eléctricos por medio del sonido utilizando Teachable Machine”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 28 de agosto del año 2024.

Atentamente,

  
Kevin Josue Arias Pucha  
0923775266

  
Robert Michael Sánchez Gómez  
0932595085

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Livingston Alfredo Miranda Delgado con documento de identificación N°0930635172, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA RECONOCIMIENTO DE FALLOS EN RODAMIENTOS DE MOTORES ELÉCTRICOS POR MEDIO DEL SONIDO UTILIZANDO TEACHABLE MACHINE, realizado por Kevin Josue Arias Pucha con documento de identificación N°0923775266 y Robert Michael Sánchez Gómez con documento de identificación N°0932595085, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 28 de agosto del año 2024.

Atentamente,



Ing. Livingston Alfredo Miranda Delgado

0930635172

### **Dedicatoria**

"A mis padres, quienes me inculcaron el amor por el conocimiento y me enseñaron el valor del trabajo duro. A mis tíos, por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. A mi mentor, el Ing. Fernando A, por su guía y sabiduría. Este trabajo es un testimonio de su influencia en mi vida."

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme las herramientas y recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

**Kevin Arias Pucha**

### **Dedicatoria**

A mi familia por haberme apoyado todo este tiempo con sus palabras de aliento y haber estado conmigo en este duro camino; todos lo que he logrado ha sido gracias a ellos. Gracias a su motivación y apoyo es la razón por la cual he llegado tan lejos.

También quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por darme las herramientas necesarias para la creación de este proyecto.

**Robert Sánchez Gómez**

## **Resumen**

El mantenimiento preventivo de motores eléctricos es esencial para garantizar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas industriales. Esta tesis presenta el diseño e implementación de un prototipo para el reconocimiento de fallos en rodamientos de motores eléctricos mediante el análisis de sonidos, utilizando la herramienta Teachable Machine de Google. Se desarrolló un modelo de red neuronal entrenado para clasificar diferentes tipos de fallas en los rodamientos a partir de señales acústicas capturadas por un sistema de hardware compuesto por un Raspberry Pi 3 y un micrófono de escritorio. Los resultados obtenidos muestran que el prototipo es capaz de identificar fallas con alta precisión, lo que contribuye a la reducción de costos de mantenimiento y a la mejora de la seguridad en entornos industriales. Además, se discuten posibles mejoras futuras, como la expansión de la base de datos para incluir más tipos de motores y condiciones operativas.

## **Abstract**

Preventive maintenance of electric motors is essential to ensure the efficiency and reliability of industrial systems. This thesis presents the design and implementation of a prototype for the recognition of faults in electric motor bearings by analyzing sounds, using Google's Teachable Machine tool. A neural network model was developed that was trained to classify different types of bearing faults from acoustic signals captured by a hardware system composed of a Raspberry Pi 3 and a desktop microphone. The results obtained show that the prototype is able to identify faults with high accuracy, contributing to the reduction of maintenance costs and the improvement of safety in industrial environments. In addition, possible future improvements are discussed, such as the expansion of the database to include more types of motors and operating conditions.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| PROBLEMA DEL ESTUDIO. ....                                       | 2  |
| OBJETIVO GENERAL.....  | 4  |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                      | 5  |
| FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....  | 5  |
| Modelos de aprendizaje automático.....                           | 5  |
| Aplicaciones de los modelos de aprendizaje automático.....       | 6  |
| Estudios.....  | 6  |
| Elementos referenciales. ....                                    | 7  |
| Raspberry PI 3.....  | 7  |
| Micrófono de escritorio.....                                     | 8  |
| Teachable machine.....   | 9  |
| p5.js.....   | 10 |
| Motor eléctrico.....   | 11 |
| Mantenimiento en motores eléctricos .....                        | 11 |
| Fallos y diagnósticos en motores eléctricos.....                 | 12 |
| Sistema de reconocimiento .....                                  | 13 |
| MARCO METODOLÓGICO.....  | 14 |
| Descripción del Sistema (motor, prototipo, interfaz final) ..... | 14 |
| Prototipo.....   | 17 |
| Raspberry pi3 .....  | 17 |
| Interfaz final.....  | 18 |
| Conformación del DataSet.....                                    | 19 |
| 1. Descripción de las Clases: .....                              | 19 |
| Desarrollo del software. ....                                    | 21 |
| Montaje del Prototipo: .....                                     | 30 |
| Diseño de las pruebas experimentales del prototipo:.....         | 31 |
| RESULTADOS .....   | 31 |
| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....                                  | 36 |
| Presupuesto .....  | 37 |
| CONCLUSIÓN.....  | 37 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA .....             | 39 |
| ANEXOS .....                   | 41 |
| PROGRAMACIÓN .....             | 41 |
| Código De INDEX En P5.Js. .... | 41 |
| Código De SKTCH En P5.Js. .... | 42 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Características del Raspberry PI 3 (AVElectronics, 2024). .....   | 8  |
| Tabla 2. Micrófono para ordenador de la marca Anera (Timecenter, 2021). .....  | 9  |
| Tabla 3. Tipos de mantenimiento (Uribe, 2022). .....   | 12 |
| Tabla 4. Los 5 principales fallos en motores eléctricos (Tractian, 2023) .....   | 13 |
| Tabla 5. Características y especificaciones de motor dewalt esmeril de banco 8". 3/4 HP. DW758<br>.....                | 15 |
| Tabla 6. Características y especificaciones de motor de CA MagneTek Century E-Plus (3 HP,<br>1750 RPM, 230/460 V)..... | 16 |
| Tabla 7. Tabla de resultados de la fase de pruebas.....  | 32 |
| Tabla 8. Tabla de resultados de la fase de pruebas.....  | 33 |
| Tabla 11. Cronograma de actividades .....  | 36 |
| Tabla 12. Presupuesto de los materiales del prototipo .....  | 37 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Raspberry Pi 3 (Sigma Electrónica, 2020) .....  | 8  |
| Figura 2. Micrófono para ordenador (Timecenter, 2021) .....                                     | 9  |
| Figura 3. Ejemplo simple de modelo de aprendizaje automático (quanthub, 2023).....              | 10 |
| Figura 4. Modelo de clasificado por sonido creado en Teachable Machine (LeViet, 2020). .....    | 10 |
| Figura 5. Pantalla principal de p5.js.....  | 11 |
| Figura 6. Partes de un motor eléctrico (Tractian, 2023) .....                                   | 11 |
| Figura 7. Sistema de reconocimiento por voz (RecFaces, 2023).....                               | 14 |
| Figura 8. Motor dewalt esmeril de banco 8". 3/4 HP. DW758 .....                                 | 14 |
| Figura 9. <i>Motor de CA MagneTek Century E-Plus.</i> .....                                     | 15 |
| Figura 10. Figura obtenida del prototipo en elaboración .....                                   | 17 |
| Figura 11. Pagina inicial de Teachable Machine (teachablemachine., s.f.) .....                  | 18 |
| Figura 12. <i>Creacion del modelo de aprendizaje automático</i> (teachablemachine., s.f.) ..... | 20 |
| Figura 13. Configuración del HTML.....  | 21 |
| Figura 14. Declaración de las variables .....   | 21 |
| Figura 15. Creación de la función EmpezarClassification.....                                    | 22 |
| Figura 16. Creación de la función OcultarBoton. ....  | 22 |
| Figura 18. Código para representar datos .....  | 22 |
| Figura 17. Creación de la función getResult .....   | 22 |
| Figura 19. Cargando el modelo y la imagen .....   | 23 |
| Figura 20. Creación de la función setup .....   | 23 |
| Figura 21. Creación de la primera interfaz. ....  | 24 |
| Figura 22. Pantalla de inicio de la interfaz. ....  | 24 |
| Figura 23. Creación del texto del error en la segunda interfaz .....                            | 25 |
| Figura 24. Creación del porcentaje en el código.....  | 25 |
| Figura 25. Creación del código para cuando el rodamiento esta bueno .....                       | 26 |
| Figura 26. Creación del código para cuando el rodamiento tiene un fallo. ....                   | 26 |
| Figura 27. Creación del código para cuando detecta ruido de fondo.....                          | 27 |
| Figura 28. Pantalla de la segunda interfaz .....  | 27 |
| Figura 29. Fotografías que evidencian la recopilación de datos acústicos de forma manual. ....  | 28 |
| Figura 30. Fotografías que evidencian la recopilación de datos acústicos de forma manual. ....  | 29 |
| Figura 31. Conjunto de datos acústicos IDMT-ISA-ELECTRIC-ENGINE (Afrodita, 2024).....           | 30 |

## **INTRODUCCIÓN**

En los entornos industriales, el mantenimiento eficiente de los motores eléctricos es crucial para evitar interrupciones en la producción y minimizar los costos asociados con fallas inesperadas. Los rodamientos, componentes fundamentales en estos motores, son propensos a sufrir daños que, si no se detectan a tiempo, pueden llevar a averías graves. Tradicionalmente, la detección de fallas en rodamientos se ha realizado mediante análisis de vibraciones o de aceite, métodos que, aunque efectivos, son costosos y requieren personal altamente calificado.

Con el objetivo de ofrecer una alternativa más accesible y eficiente, esta tesis se enfoca en el desarrollo de un prototipo capaz de identificar fallas en los rodamientos de motores eléctricos mediante el análisis de señales acústicas. Utilizando la plataforma Teachable Machine de Google, se entrenó un modelo de red neuronal para clasificar sonidos asociados a diferentes tipos de fallas. El prototipo, compuesto por un Raspberry Pi 3 y un micrófono de escritorio, fue capaz de distinguir con alta precisión entre diferentes tipos de fallos, demostrando su potencial para mejorar el mantenimiento predictivo en la industria.

El trabajo presentado no solo ofrece una solución viable para la detección temprana de fallas en rodamientos, sino que también destaca la importancia de seguir investigando y expandiendo este enfoque, con el fin de aumentar la robustez y aplicabilidad del sistema en una variedad más amplia de motores y condiciones operativas.

## **PROBLEMA DEL ESTUDIO.**

Los motores asíncronos han adquirido cada vez más importancia en el ámbito industrial en los últimos años ya que se ha convertido en algo cotidiano la reparación y mantenimiento de motores eléctricos. Las investigaciones realizadas demuestran que el principal error que se encuentra en los motores asíncronos es con frecuencia en los rodamientos (Fernández, 2018).

Una forma de evaluar el estado del motor es mediante el análisis de vibraciones. Las vibraciones se originan por algún desajuste en el motor que se produce cuando algún componente se encuentra en mal estado. Sin embargo, las vibraciones también pueden producirse por un mal ajuste en el diseño o alguna causa externa al motor. Por eso, es más conveniente utilizar otra técnica de mantenimiento preventivo (Fernández, 2018).

Como son comunes e importantes para la industria, la capacidad de diagnosticar, predecir y resolver eficazmente los problemas del motor eléctrico es esencial para el personal de mantenimiento, ingeniería y operaciones (Quispe, 2020).

Los rodamientos defectuosos suelen producir sonidos extraños. El mejor método para utilizar el ruido como indicador del fallo de un rodamiento es subjetivo. Es necesario prestar atención a los ruidos de un rodamiento que funciona correctamente para saber cuándo algo suena mal (Simonson, 2023).

Actualmente, los rodamientos suelen ser unos componentes donde se presentan fallas en los motores eléctricos y los métodos actuales para detectar los fallos suelen ser costosos. Además, no existe una base de datos de los sonidos de los diferentes fallos en rodamientos de un motor eléctrico. Por lo tanto, se plantea la creación de un prototipo con la capacidad de detectar diferentes fallos en los rodamientos por medio del sonido utilizando Teachable Machine.

En los laboratorios de mantenimiento de los motores eléctricos existe la necesidad de contar con instrumentos capaces de ahorrar tiempo y dinero en cuanto se refiere a la detección de fallos en los rodamientos. Existe ya instrumentos capaces de ayudar a la detección de fallos de rodamiento de los motores eléctricos, pero lo eficiente sería un instrumento ideal y versátil capaz de adaptarse al ambiente donde se realizará la revisión rodamientos.

Al encontrar las fallas iniciales de forma temprana, se anticipa reparaciones de la mejor manera, pudiendo evitar así paradas no programadas y reduciendo así de manera significativa los costos. Un motor eléctrico en buenas condiciones genera menos calor y consume menos energía lo que se traduce en mayor eficiencia y menos costos operativos.

La detección de fallas en motores eléctricos puede llegar a ser un tema complejo, requiere conocimientos técnicos especializados y uso de equipos sofisticados. A menudo se enfoca en otros aspectos en cuanto al mantenimiento preventivo y correctivo, haciendo que las herramientas de detección de fallas tempranas pasen a un segundo plano. Existe una gran variedad de equipos disponibles, lo que dificulta establecer un enfoque único.

Todo el tema lo podemos resumir que es fundamental contar con equipos especiales para la detección de fallas en motores eléctricos para cualquier laboratorio de mantenimiento que este en busca de optimizar sus procesos, reducir el costo y garantizar los equipos. (ALL TEST PRO, s.f.)

Una de las razones para elegir los motores es por su fiabilidad, eficiencia y facilidad de regulación de velocidad. Dado que estos equipos son eléctricos importantes en el proceso de producción, el mal funcionamiento puede causar inconvenientes, como paradas inesperadas de la producción o incluso daños al motor, lo que resulta en pérdidas financieras.

La eficiencia operativa y la predicción de fallas de equipos son factores esenciales para procesos industriales eficientes en los tiempos modernos. En entornos industriales, los motores eléctricos son componentes esenciales que pueden resistir el desgaste y averías inesperadas debido a problemas con los rodamientos.

El poder identificar el daño en el motor que suele presentarse en los rodamientos es esencial, ya que puede evitarse un gran daño en la maquinaria dejándola fuera de servicio, paradas innecesarias en la producción; estas consecuencias producen grandes pérdidas financieras. A pesar de las diversas formas de controlar motores eléctricos, detectar daños tempranos en rodamientos puede ser complicado. Los métodos convencionales son poco sensibles o costosos. En cambio, usé el sonido como indicador de fallas como muestra promesa.

Este proyecto busca mejorar la confiabilidad y tiempo de vida de los motores, reduciendo costos asociados a inspecciones y paradas. El sistema se basa en entrenamiento y predicción de datos, siendo adaptable y distinto de métodos tradicionales. El estudio implementará un prototipo de motor eléctrico y utilizará aprendizaje automático para identificar patrones de sonido de fallas. La innovadora solución tiene como objetivo mejorar el ciclo operativo y reducir los costos de mantenimiento.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un prototipo de diagnóstico preventivo de motores eléctricos, para la clasificación de los fallos en los rodamientos por medio de la recolección de datos, vía sonido y la herramienta de Teachable Machine de Google.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Categorizar los diferentes sonidos provenientes de funcionamiento de los motores eléctricos.
- Implementar el prototipo de reconocimiento de fallos mediante la configuración y programación de la tarjeta de desarrollo Raspberry.
- Diseñar la interfaz de monitoreo para el sistema de detección de fallos en motores eléctricos.

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **Modelos de aprendizaje automático**

Los modelos de aprendizaje de forma automática (ML), conocidos también como Machine Learnig, algoritmos inteligentes que pueden aprender y mejorar por sí mismo a partir de grandes cantidades de datos. La diferencia de programas tradicionales que se realiza su programación para ejecutar tareas específicas, los modelos (MI) aprenden de los datos y descubren patrones por sí mismo, sin necesidad de instrucciones explícitas.

Un ejemplo claro seri que se busca enseñarle a una computadora a reconocer a aves en fotos. En vez de programarla con códigos y reglas manuales sobre las características físicas de un ave, podría darle un conjunto de imágenes con aves y otro conjunto de imágenes sin aves. El modelo ML con el que se trabaja analizara las imágenes y encontraría por sí mismo los patrones que diferencian a las aves de otros objetos. (Hewlett Packard, 2024)

Los modelos MI con los datos históricos, conocidos también como conjuntos de aprendizaje-entrenamiento. Estos grupos de datos suelen contener información de fuentes variadas, como texto, imágenes, números o audios. Los datos que se recopila y se ingresa al modelo son analizados y busca patrones relacionadas entre ellos. El modelo refina su comprensión y mejora su capacidad para realizar predicciones o tomar decisiones a medida que procesa más datos.

## Aplicaciones de los modelos de aprendizaje automático

Los modelos de ML se aplican en una variedad de aplicaciones, incluyendo:

- Reconocimiento de imágenes requeridas: Reconocer objetos y personas en videos y fotos.
- Procesamiento del lenguaje natural: Comprender lenguaje humano, como en la comprensión traducción o el chatbots.
- Recomendación de sistemas para usuarios: Sugerir productos, películas o música que podría interesarte en base a la recopilación de datos.
- Detección de fraudes de transacciones: Identificar transacciones fraudulentas en tarjetas de crédito o seguros mejorando así la seguridad.
- Diagnóstico médico con mayor confiabilidad: Ayudar a los médicos a diagnosticar enfermedades con mayor facilidad y en menos tiempo.

El modelo de aprendizaje automático está cada vez avanzando más, y no se espera mucho para ver cambios de gran escala en nuestras vidas. A medida que los modelos ML dispongan de más datos podremos ver implementaciones innovadoras y disruptivas en diferentes campos (Hewlett Packard, 2024).

### Estudios

“Diseño e Implementación de un prototipo para la protección de viviendas mediante el reconocimiento de sonidos usando Raspberry Pi”

Se logró entrenar un modelo de reconocimiento de sonidos altamente preciso y robusto, capaz de distinguir una variedad de sonidos, lo que potencia significativamente la eficacia del

sistema de seguridad, la versatilidad del modelo permite su implementación en diversos entornos, facilitando la incorporación de nuevos sonidos sin necesidad de conocimientos extensos, la exitosa integración con Raspberry Pi proporciona portabilidad y una implementación sencilla, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones tanto en entornos residenciales como comerciales, la capacidad de detección en tiempo real es esencial para generar informes rápidos, especialmente en situaciones de incertidumbre.

A pesar de los resultados satisfactorios, se han identificado áreas de mejora, entre ellas se incluyen la expansión del conjunto de datos y la optimización de condiciones específicas para incrementar la eficiencia del sistema. Estos ajustes buscan perfeccionar aún más la capacidad del sistema y garantizar un rendimiento óptimo en diversas situaciones (Salazar & Torres, 2024).

## **Elementos referenciales.**

### **Raspberry PI 3**

Es una tarjeta que consta de un procesador mejorado de 4 núcleos a una velocidad de procesamiento de 1.4GHz, junto con una conectividad inalámbrica dual de 2.4GHz y 5Ghz para WLAN y Bluetooth4.2/BLE, un puerto Ethernet más eficiente y capacidad PoE (Sigma Electrónica, 2020).

En la siguiente tabla se puede apreciar las características de la tarjeta:

|              |  |
|--------------|--|
| Procesador   | Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU.   |
| Memoria      | 1GB RAM.   |
| Conectividad | BCM43438 LAN inalámbrica<br>Bluetooth de baja energía  |
| Puertos      | 4 puertos USB.<br>GPIO extendido de 40 pines.<br>Puerto de cámara CSI<br>Puerto de pantalla DSI<br>Puerto Micro SD<br>HDMI |

*Tabla 1. Características del Raspberry Pi 3 (AVElectronics, 2024).*

En la siguiente figura, se puede apreciar un diseño de la tarjeta a utilizar en el proyecto.



*Figura 1. Raspberry Pi 3 (Sigma Electrónica, 2020)*

### **Micrófono de escritorio**

Es un dispositivo que tiene la función de percibir el audio para grabar sonidos o poder comunicarse con otras personas desde diferentes lugares. En el caso de los ordenadores portátiles, la mayoría cuentan con un micrófono incorporado (Cenor, 2022).

En la siguiente tabla se puede visualizar las características del micrófono que se ha utilizado para la grabación de los sonidos en el modelo:

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Conector                | USB         |
| Sensibilidad            | -47±4dB     |
| Impedancia              | ≤2.2KΩ      |
| Respuesta de frecuencia | 100 – 16kHz |

*Tabla 2. Micrófono para ordenador de la marca Anera (Timecenter, 2021).*

En la siguiente figura, se aprecia el diseño del micrófono para escritorio de la marca Anera:



*Figura 2. Micrófono para ordenador (Timecenter, 2021)*

## Teachable machine

Teachable Machine es una herramienta desarrollada por Google para la creación de modelos de aprendizaje autónomo. Con esta herramienta se puede preparar un modelo con la capacidad de reconocer imágenes, sonidos y posturas de forma rápida y sencilla para la elaboración de proyectos (INTEF, 2021).

La figura tres, presentada a continuación un ejemplo simple visual, de cómo funciona la creación del modelo de aprendizaje automático.

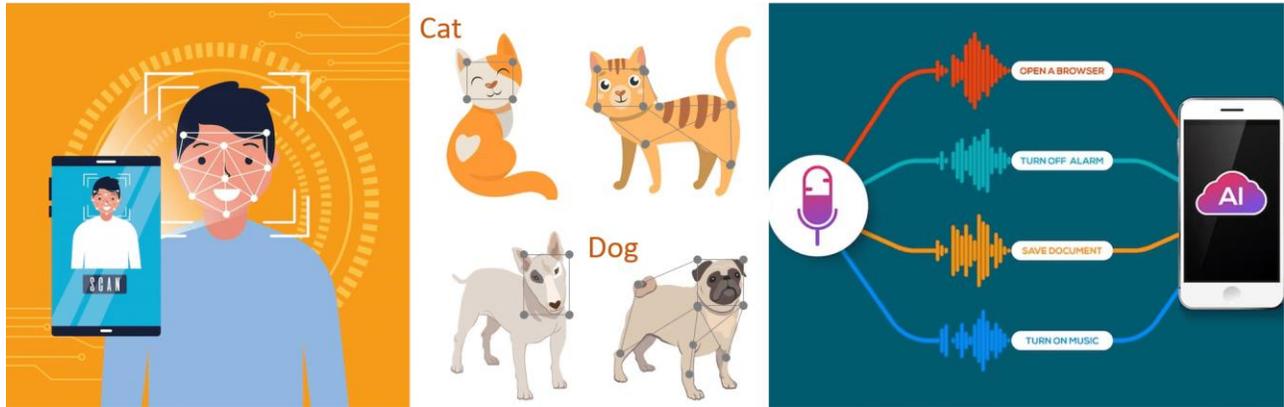


Figura 3. Ejemplo simple de modelo de aprendizaje automático (quanthub, 2023)

En la siguiente figura, se puede apreciar un ejemplo de la creación de un modelo por medio del sonido:

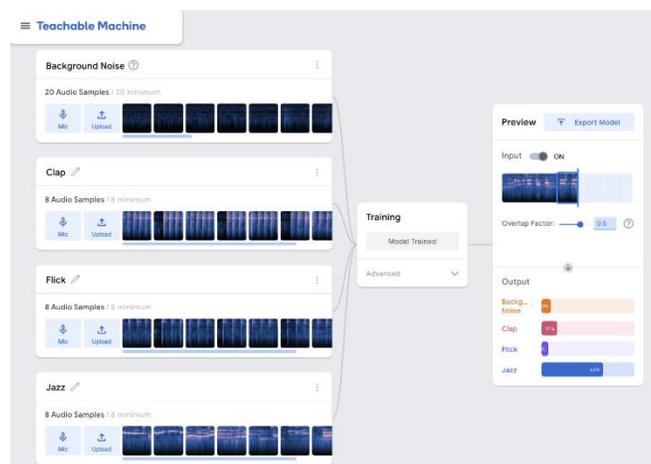


Figura 4. Modelo de clasificado por sonido creado en Teachable Machine (LeViet, 2020).

## p5.js

p5.js es una biblioteca de JavaScript. Actualmente, es una herramienta usada por educadores, diseñadores, artistas para poder crear prototipos, animaciones, entre otras en el navegador (Programacion.net, 2015).

En la siguiente figura, se puede observar la pantalla de inicio del p5.js para poder empezar a codificar:



Figura 5. Pantalla principal de p5.js

## Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que tiene la capacidad de convertir la energía eléctrica en energía mecánica de rotación por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Suelen estar compuestos por un estator y un rotor (Plaza, 2023).

En la siguiente figura, se puede observar un motor eléctrico con sus respectivas partes:

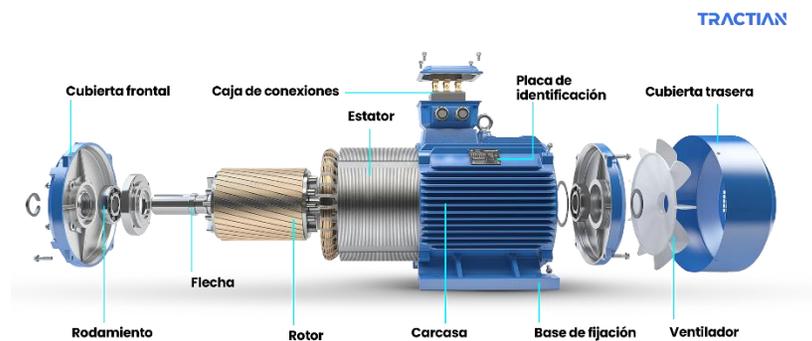


Figura 6. Partes de un motor eléctrico (Tractian, 2023)

## Mantenimiento en motores eléctricos

El mantenimiento industrial busca optimizar el rendimiento de los equipos mediante intervenciones planificadas (Uribe, 2022).

En la siguiente tabla, se puede observar los tipos de mantenimiento:

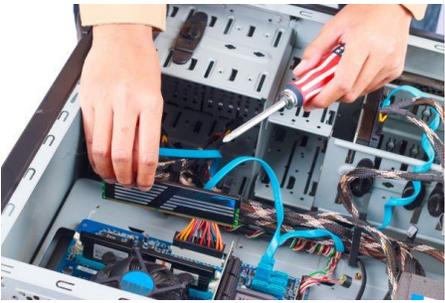
|                                 |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <p>Mantenimiento correctivo</p> | <p>Es el mantenimiento que se lleva a cabo una vez se ha producido la avería en el sistema.</p>   |    |
| <p>Mantenimiento preventivo</p> | <p>Un programa de mantenimiento preventivo permite reducir el tiempo de inactividad no planificado al proporcionar un sistema para identificar y solucionar cualquier reparación necesaria.</p> |   |
| <p>Mantenimiento predictivo</p> | <p>Permite conocer el funcionamiento de máquinas y equipos con mediciones no destructivas, para adelantarse a posibles fallos y optimizar su rendimiento.</p>                                   |  |

Tabla 3. Tipos de mantenimiento (Uribe, 2022).

### Fallos y diagnósticos en motores eléctricos

Las fallas en los motores eléctricos suelen ser prevenibles con un buen mantenimiento y monitoreo. Los sistemas de monitoreo permiten la detección temprana de fallos, ya que son herramientas valiosas para prolongar el funcionamiento de los equipos y minimizar las pérdidas productivas. Conocer las causas comunes de estas fallas es clave para reducir costos y garantizar la continuidad operativa (Tractian, 2023).

En la siguiente tabla, se puede visualizar los 5 fallos más comunes en motores eléctricos:

| Principales fallos en motores eléctricos | Causas  |
|--|---|
| Desalineación                            | Los problemas causados por el alineamiento de los ejes están entre los fallos más comunes.  |
| Sobrecarga                               | El problema suele suceder cuando se le exige al motor más allá de su torque   |
| Pie suave                                | El problema se hace presente cuando se realiza una mala instalación del equipo.   |
| Desgaste de los rodamientos              | La gran parte de las fallas en los motores son causadas por el desgaste continuo en los rodamientos.  |
| Desbalanceo                              | La acumulación de suciedad en los componentes rotativos, la falta de balanceo del rotor debido a la ausencia de contrapesos, entre otros fallos son los factores que contribuyen al problema. |

*Tabla 4. Los 5 principales fallos en motores eléctricos (Tractian, 2023)*

### **Sistema de reconocimiento**

El reconocimiento de patrones es una técnica que utiliza algoritmos para poder identificar y clasificar elementos que comparten características similares dentro de grandes conjuntos de datos, obteniendo así la información necesaria. El sistema de reconocimiento, actualmente su uso es beneficioso, ya que con la ayuda de herramientas de IA puede ayudar a identificar patrones con mayor precisión y eficiencia que usando los métodos antiguos, otra razón para el uso de este tipo de sistemas es que se puede reducir los costos y mejorar en la toma de decisiones (Atria Innovation, 2024).

La siguiente figura es de uno de los sistemas de reconocimiento, el cual es el reconocimiento por voz:



Figura 7. Sistema de reconocimiento por voz (RecFaces, 2023)

## MARCO METODOLÓGICO

### Descripción del Sistema (motor, prototipo, interfaz final)

Motor - DEWALT ESMERIL DE BANCO 8". 3/4 HP. DW758

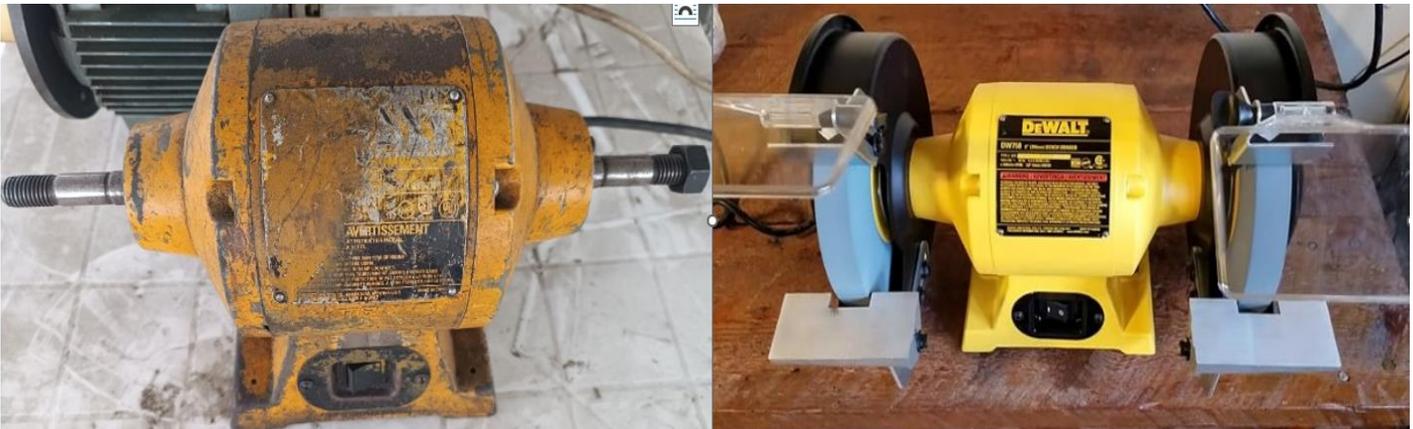


Figura 8. Motor dewalt esmeril de banco 8". 3/4 HP. DW758

La siguiente tabla se muestra las características de uno de los motores eléctricos usados para la recopilación de la data.

| Característica               | Especificación                         |
|------------------------------|--|
| Potencia:                    | 3/4 HP                                 |
| Velocidad sin carga:         | 3600 RPM                               |
| Eje de la rueda:             | 5/8" o 3/4" mm                         |
| Ángulo de la mesa:           | Ajustable para diferentes aplicaciones |
| Protección para las chispas: | Incluida para mayor seguridad          |
| Base:                        | Hierro solido                          |
| Peso:                        | 20 kg                                  |
| Otras características:       | Construcción robusta y duradera        |

*Tabla 5. Características y especificaciones de motor dewalt esmeril de banco 8". 3/4 HP. DW758*

Motor de CA MagneTek Century E-Plus (3 HP, 1750 RPM, 230/460 V)



*Figura 9. Motor de CA MagneTek Century E-Plus.*

La siguiente tabla se muestra las características de uno de los motores eléctricos usados para la recopilación de la data.

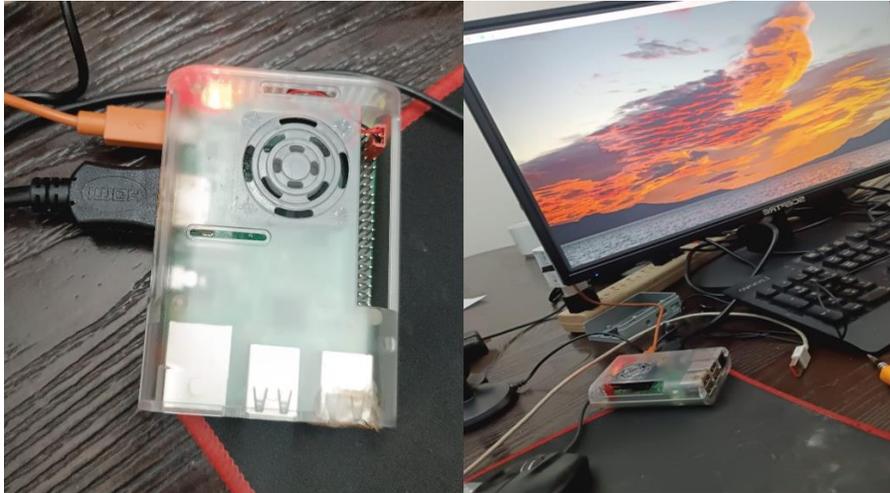
| Característica            | Valor       |
|---------------------------|-------------|
| Potencia                  | 3 HP        |
| Velocidad (RPM)           | 1750        |
| Voltaje                   | 230/460 V   |
| Corriente (Amperios)      | 7.6/3.8 A   |
| Frecuencia                | 60 Hz       |
| Fases                     | 3           |
| Tamaño de bastidor        | F182T       |
| Número de serie (ejemplo) | 6-338364-02 |

*Tabla 6. Características y especificaciones de motor de CA MagneTek Century E-Plus (3 HP, 1750 RPM, 230/460 V)*

El motor DeWalt y el motor MagneTek Century fueron utilizados para la clasificación de todas las clases que conforman el modelo de aprendizaje automático. Se usaron estos motores, ya que los rodamientos los remplazaron otros con daños, recopilando sonidos de diferentes fallos en rodamientos.

## Prototipo

En la figura 10, se puede observar el prototipo en una fase avanzada, donde se muestra una iniciación del sistema operativo.



*Figura 10. Figura obtenida del prototipo en elaboración*

## Raspberry pi3

El Raspberry pi 3 dispositivo que tiene la función de control y procesamiento de los datos que permite la ejecución de programa que contiene el modelo entrenado con las clases de sonidos. (Cenor, 2022)

### **Pantalla de 15 pulgadas**

Para que el prototipo pueda mostrar la interfaz del programa y exista un medio de interacción entre usuario y maquina se empleó una pantalla de 15 pulgadas marca AOC, el cual fue elegido por el tamaño y su conectividad con el puerto VGA de la raspberry lo que permite una mejor resolución en la presentación de la interfaz y mitiga el procesamiento de gráficos de la raspberry evitando así un sobrecalentamiento del procesador y posteriores ralentizaciones tanto del programa en ejecución como la imagen en pantalla.

## Interfaz final

Creación del modelo.

Para la creación del modelo, se utilizó la herramienta Teachable Machine, ya que una de sus opciones para crear un modelo es por medio del sonido como se muestra en la siguiente imagen.

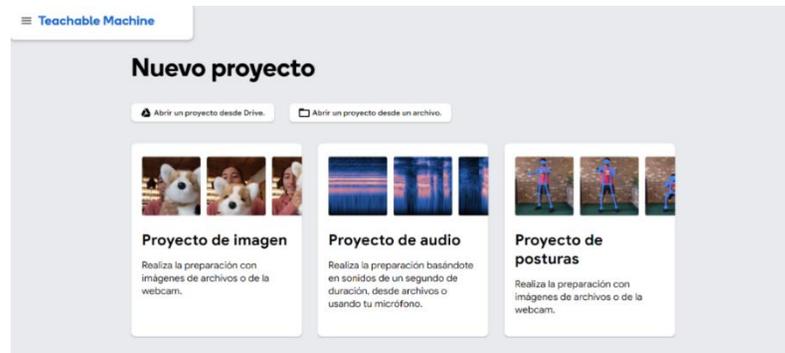


Figura 11. Pagina inicial de Teachable Machine (teachablemachine., s.f.)

Para la creación del modelo, se utilizó diferentes sonidos sacados de repositorios como el, videos, motores físicos, entre otros.

Los repositorios lo cuales aportaron en este proyecto son los siguientes:

IDMT-ISA-ELECTRIC-ENGINE conjunto de datos sonoros, subidos a la plataforma de Kaggle, página web expositora y recopiladora de bases de data. Cual autor conocido como su nombre de usuario en la página web como 'Afrodita'.

'Sonidos de rodamientos dañados' (Uriel Reyes / Mantenimiento inteligente, 2024) es el nombre del video de YouTube el cual cuenta con sonidos claves para el aprendizaje del modelo.

## **Conformación del DataSet**

### **1. Descripción de las Clases:**

Reconocimiento de ruido de fondo. - Al añadir una clase de ruido de fondo, se está añadiendo al modelo sonidos irrelevantes para las clases que realmente interesa, que es este caso son los sonidos de rodamientos. Al hacer eso ayuda al modelo a diferenciar con mayor facilidad entre el ruido ambiental y los sonidos objetivo.

Clase 1: Reconocimiento de sonido de Rodamiento bueno (Rodamiento\_Bueno).

En esta clase con un nombre asignado de “Rodamiento Bueno” fue entrenado con los sonidos de motores eléctricos con rodamientos en buen estado, logrando así que el modelo pueda reconocer rodamientos en buen estado de un motor eléctrico solo con el sonido sin necesidad de desensamblar o usar otro instrumento de medición para dicho objetivo.

Clase 2: Reconocimiento de sonido de Rodamiento dañado (Rodamiento\_Aro\_Interior\_Daño\_Abollado).

La clase 2 con un nombre asignado de “Rodamiento Aro Interior Daño Abollado” es la primera clase de los sonidos de rodamiento que presenta algún problema de fallo, el cual como su nombre lo dice presenta un daño de abolladura en el anillo interior del rodamiento causando un sonido distintivo.

Clase 3: Reconocimiento de sonido de Rodamiento dañado (Daño\_En\_Las\_Bolas\_Del\_Rodamiento).

El daño en esta clase 3 con el nombre asignado de “Daño En Las Bolas Del Rodamiento”, se puede apreciar un sonido muy característico ya que las rolas de rodamiento presentan una especie de daño ruptura-abolladura, que al estar encendido el motor se puede distinguir fácilmente de otros sonidos.

#### Clase 4: Reconocimiento de sonido de Rodamiento dañado (Rodamiento\_Aro\_Exterior\_Daño\_Estrias).

La clase 4 y la clase final, a diferencia de la clase 2 esta clase presenta de igual manera un fallo en el anillo del rodamiento, pero este es el anillo exterior con un problema característico de estrías en su interior produciendo una especie de sonido similar a un zumbido chirriante.

En la siguiente imagen se muestra la creación del modelo.

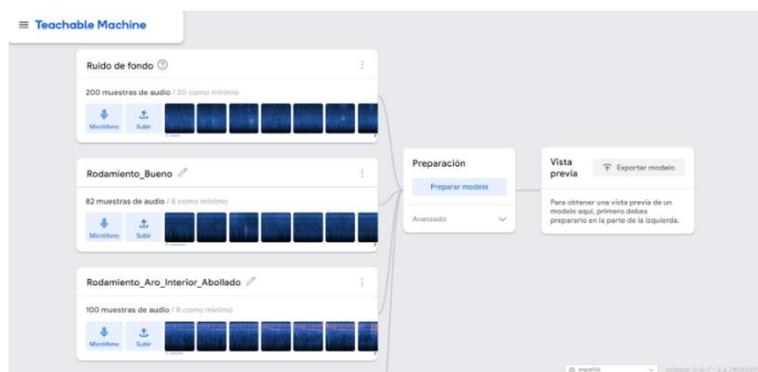


Figura 12. Creación del modelo de aprendizaje automático (teachablemachine., s.f.)

Una vez creado el modelo, se prepara para poder ver los resultados, después se exporta el modelo para poder utilizarlo en el código, ya que se creará un URL que estará vinculado al modelo creado anteriormente en Teachable Machine. En la siguiente figura se puede observar el modelo exportado.

## Desarrollo del software.

Para la creación del código y la interfaz, se implementó la herramienta P5.js web editor. Se puede acceder a la aplicación desde la página oficial o desde teachable machine con algunas partes del código a implementar.

Antes de la creación del código, se recomienda la configuración del archivo HTML para poder agregar las bibliotecas externas que se utilizarán en el código para poder agregar el modelo creado anteriormente en Teachable Machine. En la siguiente figura se muestra las diferentes bibliotecas agregadas en el archivo html:



```
< index.html Guardado: hace alrededor de 10 horas
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <meta charset="UTF-8">
5   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6   <title>Sound Classification Example</title>
7   <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/p5.js/1.1.2/p5.min.js"></script>
8   <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/p5.js/1.1.2/addons/p5.dom.min.js"></script>
9   <script src="https://unpkg.com/ml5@0.4.2/dist/ml5.min.js"></script>
10  <script src="sketch.js"></script>
11 </head>
12 <body>
13 </body>
14 </html>
```

Figura 13. Configuración del HTML

Para empezar el código, se empieza declarando las variables que se utilizarán a lo largo del código, junto con el URL del modelo creado anteriormente en Teachable Machine, como se muestra en la siguiente figura:

```
let classifier;
let label;
let Modelo = 'https://teachablemachine.withgoogle.com/models/v4Xsn5xEp/model.json';
let link;
let porcentaje;
let UPS;
let boton;
let clasificar=false;
```

Figura 14. Declaración de las variables

Se crea la función EmpezarClassification, la cual servirá para iniciar la clasificación en caso de que no se haya iniciado, la cual convertirá la variable clasificar en true para empezar. Como se muestra en la siguiente figura:

```
function EmpezarClassification(){
  if (clasificar===false){
    classifier.classify(gotResult);
    clasificar=true;
  }
}
```

Figura 15. Creación de la función *EmpezarClassification*

Se crea la función *OcultarBotón*, la cual servirá para ocultar el botón de la primera interfaz.

Como se muestra en la siguiente figura:

```
function OcultarBoton() {
  clasificar=true;
  boton.hide();
}
```

Figura 16. Creación de la función *OcultarBoton*.

La siguiente función en crearse será la función *gotResult* que se utilizará para manejar los resultados de un proceso de clasificación. En la siguiente figura se muestra la creación de la función:

```
function gotResult(error, results) {
  if (error) {
    console.error(error);
    return;
  }
}
```

Figura 18. Creación de la función *gotResult*

Las siguientes funciones serán para representar los resultados del modelo, el label para el nombre del estado del motor y el porcentaje para la fiabilidad del fallo, se lo puede ver en la siguiente figura:

```
label=results[0].label;
porcentaje=results[0].confidence;
```

Figura 17. Código para representar datos

Se agrega la función preload para poder ejecutarlo automáticamente antes de la función setup y draw, ya que se especializa para poder cargar archivos multimedia, en este caso un modelo de clasificación de sonido y una imagen PNG para la interfaz inicial, para cargar el modelo se utilizará la función soundClassifier y para cargar la imagen se utilizará la función loadImage, justo como se muestra en la siguiente figura:

```
function preload() {  
  classifier=ml5.soundClassifier(Modelo);  
  UPS = loadImage('UPS.png');  
}
```

*Figura 19. Cargando el modelo y la imagen*

Después, se agrega la función setup, la cual es la encargada de personalizar la interfaz, principalmente se agrega la función createCanvas para definir el ancho y largo del lienzo, luego se agrega la función textFont para escoger la fuente, a continuación, se utiliza la función textAlign asegura que el texto se posicione de manera consistente dentro del área de dibujo, luego se crea el botón con el cual se podrá comenzar el proceso de detección, se definirá la posición del botón y se agregara las funciones de empezarClassification y OcultarBoton para cuando se presione el botón se activen. Como se muestra en la siguiente figura:

```
function setup() {  
  createCanvas(700, 400);  
  textFont('Verdana');  
  textAlign(CENTER,CENTER);  
  
  boton=createButton('Comenzar proceso');  
  boton.position(width/2.35, height/1.20);  
  boton.mousePressed(EmpezarClassification);  
  boton.mousePressed(OcultarBoton);  
}
```

*Figura 20. Creación de la función setup*

La siguiente función para implementar es la función draw, la cual es una función que cumple un ciclo continuo, dentro de la función draw existen varias funciones entre las que se pueden encontrar, es la función background que sirve para poder establecer el color del lienzo, en

este caso, se utilizó el color gris para el color de fondo. Empezaremos creando la primera interfaz, la cual será una pantalla de inicio en donde estará el título del tema junto con la imagen del logo de la UPS y esta aparecerá cuando la variable clasificar sea falsa. Para escribir el tema utilizaremos la función text y para cargar la imagen utilizaremos la función image.

En la siguiente figura se puede visualizar la creación de la pantalla de inicio:

```
function draw() {  
  background(220);  
  if(clasificar==false){  
    textSize(24);  
    line(12,12,690,12);  
    line(12,14,12,400);  
    line(690,14,690,400);  
    line(12,390,690,390);  
    text('Proyexto de titulacion', width/2, height/8);  
    text('Prototipo para la deteccion de fallos en rodamientos', width/2, height/4);  
    text('Por medio del sonido utilizando la herramienta', width/2, height/3);  
    text('Teachable Machine de Google', width/2, height/2.4);  
    image(UPS, 300, 200, 100, 100);  
  }  
}
```

Figura 21. Creación de la primera interfaz.

En la siguiente figura se puede visualizar la primera interfaz, la cual funciona como interfaz de inicio:



Figura 22. Pantalla de inicio de la interfaz.

Luego, se creó la segunda interfaz para que la interfaz aparezca, la variable clasificar tendrá que ser verdadera, se especificara el tamaño de letra, seguido de crear el marco de la primera interfaz, luego alinear el texto en el centro y al último agregar para que muestre el fallo en la pantalla.

En la siguiente figura, se puede visualizar el código:

```
} else{
  textSize(24);
  line(12, 12, 690, 12);
  line(12, 14, 12, 400);
  line(690, 14, 690, 400);
  line(12, 390, 690, 390);
  textAlign(CENTER, CENTER);
  text(label, width/2, height/8);
}
```

Figura 23. Creación del texto del error en la segunda interfaz

Para la segunda parte del código, se creará la codificación para que se pueda visualizar el porcentaje de fiabilidad del error, para ello se usara una condicional para cuando la variable porcentaje tenga un valor definido se pueda mostrar el porcentaje, se definirá el tamaño del texto y para que después en la siguiente línea se pueda visualizar el porcentaje de fiabilidad.

En la siguiente figura, se puede observar el código:

```
if (porcentaje!==undefined){
  textSize(18);
  text('Porcentaje: ${(porcentaje * 100).toFixed(0)}%', width/2, height/4);
}
```

Figura 24. Creación del porcentaje en el código.

Para la siguiente parte del código, se codificará para que cuando la variable label sea Rodamiento\_Bueno, se pueda visualizar los textos y la figura de color verde para poder diferenciarlo de cuando sea un fallo o ruido de fondo para eso, se implementó la variable fill, en la siguiente línea se colocó un ellipse que funcionara como un led, debajo de eso se colocara una recomendación y debajo de la recomendación habra un enlace que nos llevara a una guía para solucionar los fallos en los rodamientos.

En la siguiente figura, se muestra el código:

```
if(label==='Rodamiento_Bueno'){
  fill(0,255,0);
  ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
  text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
  text('Realizar un análisis del motor en 2 semanas', width/2, height/1.6);
  text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
  link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CqghsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
  link.position(width/4, height/1.3);
}
```

Figura 25. Creación del código para cuando el rodamiento esta bueno

Para la siguiente parte, al igual que cuando el rodamiento esta bueno, se creará el código para cuando en la variable label se muestre cualquiera de los fallos que se hay en el modelo, para eso continuaremos con la condicional utilizando el else if, las líneas de código son similares con la excepción de que para cada fallo es un color diferente.

En la siguiente figura, se puede mostrar los códigos para clasificar los diferentes fallos:

```
} else if(label==='Rodamiento_Aro_Interior_Daño_Abollado'){
  fill(255,0,0);
  ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
  text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
  text('Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento', width/2, height/1.6);
  text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
  link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CqghsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
  link.position(width/4, height/1.3);
} else if(label==='Daño_En_Las_Bolas_Del_Rodamiento'){
  fill(0,0,255);
  ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
  text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
  text('Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento', width/2, height/1.6);
  text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
  link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CqghsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
  link.position(width/4, height/1.3);
} else if(label==='Rodamiento_Aro_Exterior_Daño_Estrias'){
  fill(255,80,255);
  ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
  text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
  text('Verificar si hay daños en la carcasa del motor y reemplazar el rodamiento', width/2, height/1.6);
  text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
  link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CqghsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
  link.position(width/4, height/1.3);
}
```

Figura 26. Creación del código para cuando el rodamiento tiene un fallo.

También habrá una parte del código para cuando detecte el ruido de fondo.

En la siguiente figura, se lo puede visualizar:

```
    }else if(label==='Ruido de fondo'){
        fill(0,0,0);
        ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
        text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
        text('Usarlo cuando haya un motor cerca', width/2, height/1.6);
        text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guia de solución:', width/2, height/1.43);
        link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DyD2zLPdMA0CyqhsTBra85YUGWnVAVEI/edit?usp=sharing&oid=113536155200529688648&rtopf=true&sd=true', 'Guia para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
        link.position(width/4, height/1.3);
    }
}
```

Figura 27. Creación del código para cuando detecta ruido de fondo

En la siguiente figura, se puede visualizar la segunda interfaz, en donde se podrá visualizar el mensaje para saber si el rodamiento tiene algún fallo o está en buen estado, el porcentaje, el led, la recomendación de qué hacer con ese estado y el link que lleva a la guía de los diferentes fallos en rodamientos:



Figura 28. Pantalla de la segunda interfaz

## Recopilación de Datos Experimentales

La recopilación de los datos para la realización del modelo de aprendizaje automático se lo puede dividir en dos fuentes. El 100% de la data recopilada, el 60% la obtuvieron manualmente los creadores de esta tesis, el otro 40% fue una recopilación de data de sitios webs enfocados a la exposición y almacenamiento de extensas bibliotecas de datos sonoras. (Afrodita, 2024).

En siguiente imagen se puede observar momentos exactos de la recopilación de la data sonora manualmente:



*Figura 29. Fotografías que evidencian la recopilación de datos acústicos de forma manual.*

La recopilación manual de los datos de audio se llevó a cabo utilizando dos métodos: un teléfono celular Redmi Note 12S y un micrófono para escritorio marca Anera conectado a una

computadora. Se grabó dos grabaciones de cada motor, con una duración promedio de 10 minutos. Las señales de audio fueron digitalizadas a una frecuencia de muestreo de 40-65 Hz y almacenadas en formato WAV.

Los datos procesados se cargaron en la plataforma Teachable Machine, donde se entrenó un modelo de aprendizaje automático y clasificación de sonidos utilizando una arquitectura de red neuronal.



*Figura 30. Fotografías que evidencian la recopilación de datos acústicos de forma manual.*

El sitio web [kaggle.com](https://www.kaggle.com) es un repositorio de data del cual se recopiló sonidos. El autor de los sonidos de motores eléctricos que se usó en el entrenamiento para el modelo de reconocimiento de fallos en rodamientos explica que:

El conjunto de datos IDMT-ISA-ELECTRIC-ENGINE contiene archivos de sonido de un motor eléctrico, que simulan diferentes condiciones acústicas. Los estados operativos "bueno", "carga pesada" y "roto" fueron provocados por un cambio en la tensión de alimentación y el peso de la carga, lo que provocó un cambio en el sonido operativo. En marzo de 2017, el conjunto de

datos IDMT\_ISA\_ELECTRIC\_ENGINE se registró en el Instituto Fraunhofer de Tecnología de Medios Digitales (IDMT). (Afrodita, 2024).

## Montaje del Prototipo:

### Hardware

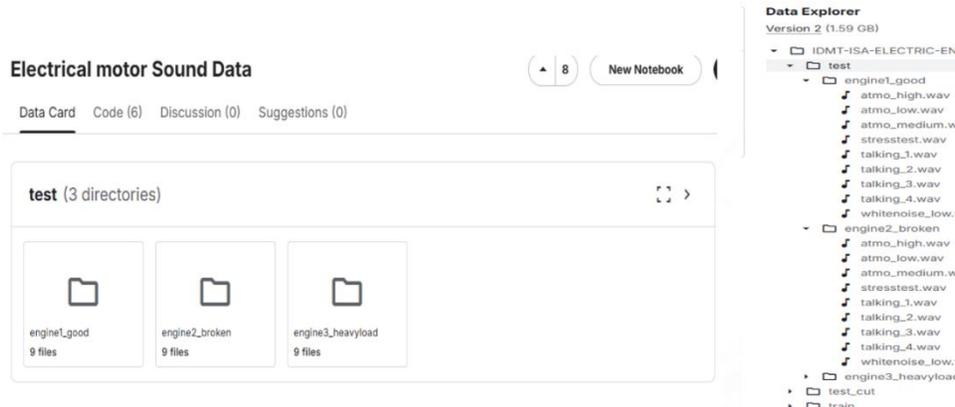


Figura 31. Conjunto de datos acústicos IDMT-ISA-ELECTRIC-ENGINE (Afrodita, 2024)

El hardware del prototipo de reconocimiento de fallos de rodamientos mediante el sonido , se compone de un raspberry pi3, micrófono de escritorio, pantalla de 15 pulgadas Aoc y celular Redmi Note 12S

### Software

Para el software se utiliza la herramienta de Google Teachable Machine, es un programa de entrenamiento automático el cual nos permite elaborar el modelo de aprendizaje, por otro lado, se usó el p5.js Web Editor para ejecutar el programa que contiene el modelo y la presentación de los resultados de las pruebas.

## **Diseño de las pruebas experimentales del prototipo:**

El 100% de la data recogida de forma manual y de sitios web el 80% se utilizó para el entrenamiento del modelo de reconocimiento automático, y el 20% se separó para hacer las pruebas respectivas del reconocimiento de los audios de fallos de rodamientos en motores eléctricos. Teachable Machine es un programa que aprende a partir de las data que se le ingresa no tendría sentido hacer las pruebas del correcto funcionamiento del modelo con data que ya se usó para el entrenamiento es por eso por lo que se dividen en 3 grupos. Grupo A, B y C, el grupo A consiste en las data del sonido de los rodamientos en buen estado la, B conformada por el grupo de sonidos que presentan algún fallo en los rodamientos del motor y la C que es una combinación de grupo A y B con la diferencia que no fue utilizada para el entrenamiento.

## **RESULTADOS**

Se realizaron 2 pruebas para poner a prueba el prototipo en 2 ambientes diferentes, la primera prueba fue en un ambiente sin sonido para poder comprobar que tan bien el prototipo capta el sonido de cuando un motor tiene fallos en el rodamiento, para ello, se hicieron las pruebas en una sala sin ruido, para comprobar los resultados, se utilizó la herramienta Teachable Machine:

| Clases                                  | Resultados   |
|---|--|
| Ruido de fondo                          | Se obtuvo un resultado entre 98% y 100%, ya que no se emitió ningún sonido del motor cuando estaba en buen estado o con alguna falla.              |
| Rodamiento bueno                        | Se obtuvo un resultado entre 98% y 100%, ya que detecto el sonido del motor cuando está en buen estado.  |
| Rodamiento aro interior - daño abollado | Se obtuvo un resultado entre 98% y 100%, ya que detecto el sonido del motor cuando tiene un fallo de abolladura en el aro interior del rodamiento. |
| Daño en las bolas del rodamiento        | Se obtuvo un resultado entre 98% y 100%, ya que detecto el sonido del motor cuando tiene un fallo en las bolas del rodamiento.                     |
| Rodamiento aro exterior - daño estrías  | Se obtuvo un resultado entre 98% y 100%, ya que detecto el sonido del motor cuando tiene un fallo de estrías en el aro exterior del rodamiento.    |

*Tabla 7. Tabla de resultados de la fase de pruebas.*

La segunda prueba fue en un ambiente con algo de sonido alrededor para poder comprobar que tan bien el prototipo capta el sonido de cuando un motor tiene fallos en el rodamiento, para ello se reprodujo el sonido del motor en buen estado y de cuando tienen un fallo junto con el sonido de cuando 2 personas tienen una conversación, para comprobar los resultados, al igual que la primera prueba se utilizó la herramienta Teachable Machine:

| Clases                                  | Resultados   |
|---|--|
| Ruido de fondo                          | Se obtuvo un resultado del 100%, ya que se emitió solamente el ruido.  |
| Rodamiento bueno                        | Se obtuvo un resultado entre el 89% y 95%, ya que detecto el sonido del motor cuando el rodamiento está en buen estado junto con algo de ruido de fondo e interpretando otros fallos |
| Rodamiento aro interior - daño abollado | Se obtuvo un resultado entre el 85% y 95%, ya que detecto el sonido del motor cuando tiene un fallo de abolladura en el  |

|  |  |
|--|--|
|  | aro interior del rodamiento junto con el sonido de fondo.  |
| Daño en las bolas del rodamiento       | Se obtuvo un resultado entre el 85% y 95%, ya que detecto el sonido del motor cuando tiene un daño de abolladura en el aro interior del rodamiento junto con el sonido de fondo. |
| Rodamiento aro exterior - daño estrías | Se obtuvo un resultado entre el 87% y 95%, ya que detecto el sonido del motor cuando tiene un daño de estrías en el aro exterior del rodamiento junto con el sonido de fondo.    |

Tabla 8. Tabla de resultados de la fase de pruebas.

En la siguiente tabla, se puede apreciar una tabla comparativa con las imágenes de los resultados de las pruebas:

| Área sin ruido   | Área con ruido  |
|--|---|
| <p><b>Ruido de fondo</b></p> <p>Porcentaje: 100%</p>  <p>Recomendación:<br/>Encenderlo cuando se lo necesite</p> <p>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p>              | <p><b>Ruido de fondo</b></p> <p>Porcentaje: 100%</p>  <p>Recomendación:<br/>Encenderlo cuando se lo necesite</p> <p>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p>             |
| <p><b>Rodamiento_Bueno</b></p> <p>Porcentaje: 100%</p>  <p>Recomendación:<br/>Realizar un análisis del motor en 2 semanas</p> <p>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p> | <p><b>Rodamiento_Bueno</b></p> <p>Porcentaje: 89%</p>  <p>Recomendación:<br/>Realizar un análisis del motor en 2 semanas</p> <p>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p> |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Rodamiento_Aro_Interior_Daño_Abollado</b></p> <p>Porcentaje: 100%</p>  <p>Recomendación:<br/>Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento<br/>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p>     | <p><b>Rodamiento_Aro_Interior_Daño_Abollado</b></p> <p>Porcentaje: 85%</p>  <p>Recomendación:<br/>Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento<br/>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p>      |
| <p><b>Daño_En_Las_Bolas_Del_Rodamiento</b></p> <p>Porcentaje: 100%</p>  <p>Recomendación:<br/>Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento<br/>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p>          | <p><b>Daño_En_Las_Bolas_Del_Rodamiento</b></p> <p>Porcentaje: 85%</p>  <p>Recomendación:<br/>Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento<br/>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p>           |
| <p><b>Rodamiento_Aro_Exterior_Daño_Estrias</b></p> <p>Porcentaje: 99%</p>  <p>Recomendación:<br/>Verificar si hay daños en la carcasa del motor y reemplazar el rodamiento<br/>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p> | <p><b>Rodamiento_Aro_Exterior_Daño_Estrias</b></p> <p>Porcentaje: 87%</p>  <p>Recomendación:<br/>Verificar si hay daños en la carcasa del motor y reemplazar el rodamiento<br/>En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:<br/><a href="#">Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos</a></p> |

Tabla 9. Comparación de los resultados de las pruebas vistas en la interfaz.

En la siguiente tabla se puede mostrar la comparación de las pruebas del prototipo en estos 2 ambientes:

| Clases                                  | Prototipo en un área sin sonido | Prototipo en un área sin sonido |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| Ruido de fondo                          | 100%                            | 100%                            |
| Rodamiento bueno                        | 100%                            | 89%                             |
| Rodamiento aro interior - daño abollado | 100%                            | 85%                             |

|  |      |     |
|--|------|-----|
| Daño en las bolas del rodamiento       | 100% | 85% |
| Rodamiento aro exterior - daño estrías | 100% | 87% |

Tabla 10. Comparación de los resultados de las pruebas

En la siguiente gráfica, se puede apreciar mejor los resultados obtenidos:

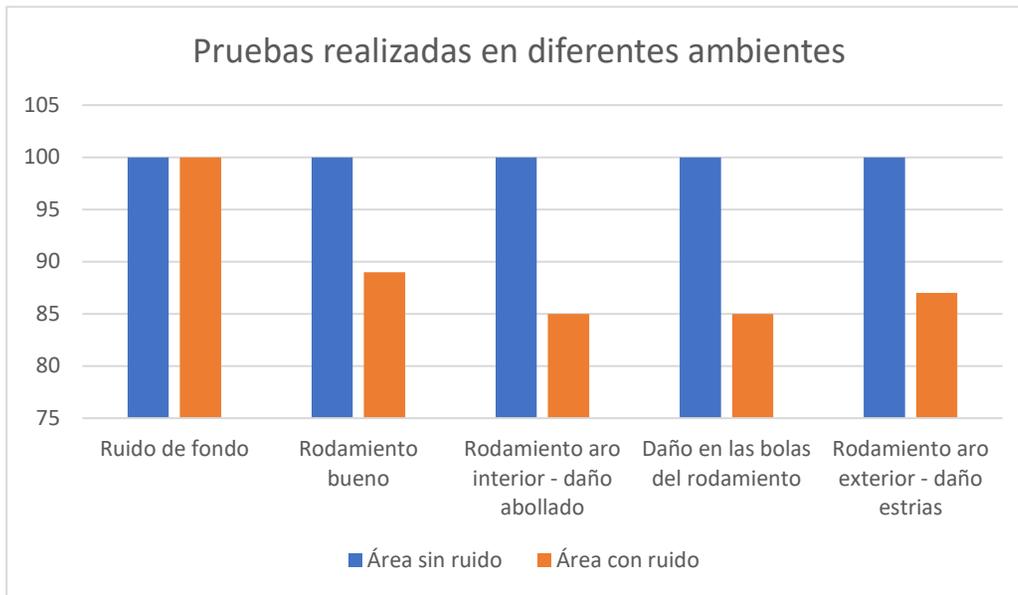


Tabla 11. Pruebas realizadas en diferentes ambientes

En la primera prueba, se iniciaron pruebas en un ambiente sin ruido del exterior, pasando por las diferentes clases del modelo.

En la todas las clases se tuvieron un resultado del 98% al inicio llegando al 100%

En la segunda prueba, se realizaron pruebas en un ambiente con diferentes ruidos de fondos, al igual que la primera prueba.

En la todas las clases se tuvieron un resultado del 84% al inicio llegando al 95%.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la siguiente tabla se presenta los avances que se efectuaran en el transcurso de los meses del año.

|  | Abril |   |   |   | Mayo |   |   |   | Junio |   |   |   | Julio |   |   |   | Agosto |   |   |   |
|--|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|--------|---|---|---|
|  | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1      | 2 | 3 | 4 |
| Obtención de piezas para el prototipo y redacción del proyecto, Trabajo de Titulación.           | ■     | ■ |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |        |   |   |   |
| Elaboración de la programación y recopilación de la data.  |       |   | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ |   |   |       |   |   |   |        |   |   |   |
| Elaboración del prototipo e inicio de pruebas de reconocimiento de audios.                       |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   | ■ | ■ | ■     | ■ | ■ | ■ |        |   |   |   |
| Culminación del prototipo con las pruebas de reconocimiento y finalización del informe de tesis. |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   | ■      | ■ | ■ | ■ |

Tabla 9. Cronograma de actividades

## Presupuesto

En la siguiente tabla se muestra los siguientes materiales que se tienen pensado implementar en el prototipo:

| <b>Componentes</b>                   | <b>Precio</b> |
|--------------------------------------|---------------|
| <b>Raspberry PI 3</b>                | \$160         |
| <b>Micrófono</b>                     | \$15          |
| <b>MicroSD</b>                       | \$10          |
| <b>Cable adaptable de VGA a HDMI</b> | \$3           |
| <b>Ventilador para raspberry</b>     | \$5           |
| <b>Total</b>                         | \$198         |

*Tabla 10. Presupuesto de los materiales del prototipo*

## CONCLUSIÓN

Diseñar un prototipo de diagnóstico preventivo de motores eléctricos para la clasificación de los fallos en los rodamientos por medio de la recolección de datos vía sonido y la herramienta Teachable Machine de Google.

En conclusión, las pruebas realizadas fueron satisfactorias, en la primera prueba se obtuvieron resultados desde el 90% hasta el 100%, ya que no hubo sonidos que pudieran interferir en la detección de los fallos y en la segunda prueba se obtuvieron resultados desde 84% hasta 95% dependiendo de la distancia en la que se encuentre el micrófono.

**Categorizar los diferentes sonidos provenientes del funcionamiento de los motores eléctricos.**

La categorización de los sonidos generados por el motor se efectuó con éxito, logrando así la identificación clara de las señales acústicas asociadas con fallos en los rodamientos. En el

proceso fue fundamental para entrenar el modelo de aprendizaje automático, lo que a su vez permitió la clasificación precisa de los fallos.

### **Implementar el prototipo de reconocimiento de fallos mediante la configuración y programación de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi.**

La implementación del prototipo en una Raspberry Pi resultó ser adecuada, ofreciendo una solución compacta y eficiente para el procesamiento y análisis de datos en tiempo real tarjeta permitió la integración fluida entre la captura de sonido, el procesamiento de datos y la interfaz de usuario, lo que demuestra la viabilidad de utilizar hardware de bajo costo en aplicaciones industriales.

### **Diseñar la interfaz de monitoreo para el sistema de detección de fallos en motores eléctricos.**

Se diseñó e implementó una interfaz de monitoreo intuitiva que facilita la visualización y gestión de los datos recopilados. Esta interfaz permite a los usuarios interpretar fácilmente los resultados del análisis de fallos, mejorando la capacidad de respuesta ante posibles problemas en los motores eléctricos y contribuyendo a un mantenimiento más eficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afrodita. (Marzo de 2024). *kaggle*. Obtenido de kaggle:  
<https://www.kaggle.com/datasets/pythonafroz/electrical-motor-operational-state-sound-data>
- ALL TEST PRO. (s.f.). *ALL TEST PRO*. Obtenido de ALL TEST PRO:  
<https://alltestpro.com/es/mantenimiento-preventivo-de-motores-electricos-aumenta-la-eficacia-y-reduce-los-costes/>
- Atria Innovation. (30 de Marzo de 2024). *Atria Innovation*. Obtenido de Atria Innovation:  
<https://atriainnovation.com/blog/sistemas-de-reconocimiento-de-patrones-con-inteligencia-artificial/>
- AVElectronics. (2024). *AVElectronics*. Obtenido de AVElectronics:  
<https://avelectronics.cc/producto/raspberry-pi-3-model-b/>
- Cenor. (9 de Diciembre de 2022). *Cenor*. Obtenido de Cenor:  
<https://www.cenor.es/blog/comprar-microfono-para-pc>
- Fernández, J. (2018). *Diagnóstico de fallos en rodamientos de motores eléctricos mediante técnicas Lasso*. Universidad de Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/30854>
- Hewlett Packard. (2024). *Hewlett Packard*. Obtenido de Hewlett Packard:  
<https://www.hpe.com/lamerica/es/what-is/machine-learning.html#:~:text=Los%20cuatro%20modelos%20principales%20de,a%20hacer%20una%20tarea%20humana.>
- INTEF. (21 de Abril de 2021). *INTEF*. Obtenido de INTEF:  
<https://formacion.intef.es/mod/book/view.php?id=2625&chapterid=2408>
- LeViet, K. (2 de Diciembre de 2020). *TensorFlow Blog*. Obtenido de TensorFlow Blog:  
<https://blog.tensorflow.org/2020/12/build-sound-classification-models-for-mobile-apps-with-teachable-machine-and-tflite.html>
- Plaza, D. (23 de Marzo de 2023). *Motor.es*. Obtenido de Motor.es: <https://www.motor.es/ques/motor-electrico>
- Programacion.net. (9 de Noviembre de 2015). *Programacion.net*. Obtenido de Programacion.net:  
[https://programacion.net/articulo/introduccion-a-la-libreria-p5-js\\_1413](https://programacion.net/articulo/introduccion-a-la-libreria-p5-js_1413)
- quanthub. (Noviembre de 2023). *quanthub*. Obtenido de quanthub:  
<https://www.quanthub.com/types-of-modeling-tasks-in-googles-teachable-machine/>

- Quispe, J. (2020). *Metodología de mantenimiento predictivo para el diagnóstico de motores eléctricos mediante termografía infrarroja*. Universidad Mayor de San Andrés. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/29745>
- RecFaces. (26 de Octubre de 2023). *RecFaces*. Obtenido de RecFaces: <https://recfaces.com/es/articulos/reconocimiento-voz>
- Salazar, O., & Torres, I. (2024). “Diseño e Implementación de un prototipo para la protección de viviendas mediante el reconocimiento de sonidos usando Raspberry Pi”. *“Diseño e Implementación de un prototipo para la protección de viviendas mediante el reconocimiento de sonidos usando Raspberry Pi”*. Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil.
- Sigma Electrónica. (27 de Abril de 2020). *Sigma Electrónica*. Obtenido de Sigma Electrónica: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/rpi3-b/>
- Simonson, S. (28 de Junio de 2023). *Tameson*. Obtenido de Tameson: <https://tameson.es/pages/sintomas-de-fallo-de-los-rodamientos>
- teachablemachine. (s.f.). *teachablemachine*. Obtenido de teachablemachine.: <https://teachablemachine.withgoogle.com/>
- Timecenter. (12 de Junio de 2021). *Timecenter*. Obtenido de Timecenter: <https://timecenter.ec/producto/microfono-para-ps-usb-marca-anera/>
- Tractian. (7 de Julio de 2023). *Tractian*. Obtenido de Tractian: <https://tractian.com/es/blog/fallas-en-motores-electricos-conoce-las-10-causas-mas-comunes-y-como-evitarlas>
- Tractian. (1 de Septiembre de 2023). *Tractian*. Obtenido de Tractian: <https://tractian.com/es/blog/como-funcionan-los-motores-electricos>
- Uribe, I. (9 de Marzo de 2022). *Secmotic*. Obtenido de Secmotic: <https://secmotic.com/mantenimiento-industrial-correctivo-preventivo-y-predictivo/#gref>
- Uriel Reyes / Mantenimiento inteligente. (3 de Junio de 2024). Sonidos de rodamientos dañados. YouTube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Sxt4KLxpODo&t=156s>

## ANEXOS

### PROGRAMACIÓN

#### **Código De INDEX En P5.Js.**

A continuación, se presenta el código que ejecuta o grafica para mostrar la aplicación por medio de video desde la herramienta P5.js:

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Sound Classification Example</title>
  <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/p5.js/1.1.2/p5.min.js"></script>
  <script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/p5.js/1.1.2/addons/p5.dom.min.js"></script>
  <script src="https://unpkg.com/ml5@0.4.2/dist/ml5.min.js"></script>
  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/p5@1.6.0/lib/p5.js"></script>
  <script src="sketch.js"></script>
</head>
<body>
  <div id="sketch-container"></div>
</body>
</html>
```

## Código De SKTCH En P5.Js.

```
let classifier;
let label;
let Modelo = 'https://teachablemachine.withgoogle.com/models/v4Xsn5xEp/model.json';
let link;
let porcentaje
let UPS;
let boton;
let clasificar=false;

function EmpezarClassification(){
  if (clasificar===false){
    classifier.classify(gotResult);
    clasificar=true;
  }
}

function OcultarBoton(){
  clasificar=true;
  boton.hide();
  classifier.classify(gotResult);
}

function gotResult(error, results){
  if (error){
    console.error(error);
    return
  }
}
```

```

function preload(){
  classifier=ml5.soundClassifier(Modelo);
  UPS=loadImage('UPS.png');
}

function setup() {
  createCanvas(700, 400);
  textFont('Verdana');
  textAlign(CENTER,CENTER);

  boton=createButton('Comenzar proceso');
  boton.position(width/2.35, height/1.20);
  boton.mousePressed(EmpezarClassification);
  boton.mousePressed(OcultarBoton);
}

function draw() {
  background(220);
  if(clasificar==false){
    textSize(24);
    line(12,12,690,12);
    line(12,14,12,400);
    line(690,14,690,400);
    line(12,390,690,390);
    text('Proyecto de titulacion', width/2, height/8);
    text('Prototipo para la deteccion de fallos en rodamientos', width/2, height/4);
    text('Por medio del sonido utilizando la herramienta', width/2, height/3);
    text('Teachable Machine de Google', width/2, height/2.4);
    image(UPS, 300, 200, 100, 100);
  } else{
    textSize(24);

```

```

line(12,12,690,12);
    line(12,14,12,400);
    line(690,14,690,400);
    line(12,390,690,390);
    textAlign(CENTER, CENTER);
    text(label, width/2, height/8);
    if (porcentaje!==undefined){
        textSize(18);
        text('Porcentaje: ${{(porcentaje * 100).toFixed(0)}}%', width/2, height/4);
    }
    if(label==='Rodamiento_Bueno'){
        fill(0,255,0);
        ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
        text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
        text('Realizar un análisis del motor en 2 semanas', width/2, height/1.6);
        text('En caso de cuaquier fallo se adjunta un link con una guia de solución:', width/2, height/1.43);
        link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CyqhsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&ouid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guia para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
        link.position(width/4, height/1.3);
    } else if(label==='Rodamiento_Aro_Interior_Daño_Abollado'){
        fill(255,0,0);
        ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
        text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
        text('Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento', width/2, height/1.6);
        text('En caso de cuaquier fallo se adjunta un link con una guia de solución:', width/2, height/1.43);
        link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CyqhsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&ouid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guia para solucionar cualquiera de los fallos en los rodamientos');
        link.position(width/4, height/1.3);
    } else if(label==='Daño_En_Las_Bolas_Del_Rodamiento'){
        fill(0,0,255);
        ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);
        text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);
        text('Verificar si hay otros componentes dañados y reemplazar el rodamiento', width/2, height/1.6);
    }

```

```

    text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CyqhsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&
oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los
rodamientos');

    link.position(width/4, height/1.3);
} else if(label==='Rodamiento_Aro_Exterior_Daño_Estrias'){
    fill(255,80,255);

    ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);

    text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);

    text('Verificar si hay daños en la carcasa del motor y reemplazar el rodamiento', width/2, height/1.6);

    text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CyqhsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&
oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los
rodamientos');

    link.position(width/4, height/1.3);
} else if(label==='Ruido de fondo'){
    fill(0,0,0);

    ellipse(width/2, height/2.75, 50, 50);

    text('Recomendacion:', width/2, height/1.8);

    text('Usarlo cuando haya un motor cerca', width/2, height/1.6);

    text('En caso de cualquier fallo se adjunta un link con una guía de solución:', width/2, height/1.43);
link=createA('https://docs.google.com/document/d/1DVD2zLPdMA0CyqhsTBra85YUGWnVAWEI/edit?usp=sharing&
oid=113536155200529688648&rtpof=true&sd=true', 'Guía para solucionar cualquiera de los fallos en los
rodamientos');

    link.position(width/4, height/1.3);
}
}
}

```

Guayaquil, 27 de agosto del 2024

Ing. Orlando Barcia, Msc.

Director de Carrera de Electrónica y Automatización.

De mis consideraciones:

Yo, Livingston Miranda Delgado, portador de la cédula de ciudadanía No. 0930635172 tutor de trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA RECONOCIMIENTO DE FALLOS EN RODAMIENTOS DE MOTORES ELÉCTRICOS POR MEDIO DEL SONIDO UTILIZANDO TEACHABLE MACHINE”**, informo la calificación al Trabajo de Titulación de los estudiantes de la Malla Rediseño: KEVIN JOSUE ARIAS PUCHA y ROBERT MICHAEL SÁNCHEZ GÓMEZ.

| Criterio  | Descripción del criterio   | Puntaje | Observaciones |
|---|--|---------|---------------|
| Planteamiento e identificación del problema         | Se muestra la importancia del problema y la contribución que se quiere alcanzar con el Proyecto técnico.   | 15      |               |
| Revisión del marco teórico y fuentes de información | Este criterio establece la relación entre la revisión literaria y el problema a abordar en el Proyecto técnico, así como el adecuado nivel de exhaustividad en la revisión de las fuentes de información.      | 15      |               |
| Contenido Metodológico                              | Se establecen con claridad y de manera estructurada las distintas fases, uso de métodos, herramientas, diseños, recursos, materiales, etc, para el desarrollo del Proyecto técnico y la propuesta de solución. | 20      |               |
| Funcionalidad                                       | Permite evaluar el nivel de funcionalidad del trabajo desarrollado, tomando en cuenta los objetivos del mismo.   | 30      |               |
| Presentación de Resultados                          | Se expresan o presentan los resultados alcanzados en el desarrollo del proyecto técnico y cómo se relacionan con el cumplimiento de los objetivos, el impacto y la innovación.                                 | 15      |               |
| Conclusiones Recomendaciones                        | Este criterio establece la claridad con que el autor expone su posición y sus ideas  | 5       |               |

|                       |   |            |  |
|-----------------------|---|------------|--|
|                       | respecto a las conclusiones y recomendaciones expresadas. |            |  |
| <b>PUNTAJE FINAL:</b> |   | <b>100</b> |  |

Por la atención que se sirva dar a la presente, quedo de usted muy agradecido.

Atentamente,



Ing. Livingston Miranda Delgado, Msc.

Docente Tutor.