

REPÚBLICA DEL ECUADOR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSGRADO**



**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ CON MENCIÓN EN NEGOCIOS
AUTOMOTRICES**

TEMA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN
TRACTORES AGRÍCOLAS BASADO EN EL IMPACTO MECÁNICO**

Proyecto del Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en Ingeniería
Automotriz con Mención en Negocios Automotrices

AUTOR: ING. FRANCISCO XAVIER SÁNCHEZ MONTENEGRO.

DIRECTOR: ING CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ PHD.

ASESOR: ING ERIK PAÚL HERNÁNDEZ RUEDA MSC.

IBARRA - ECUADOR

2025

Yo, **Carlos Nolasco Mafla Yépez**, certifico que el estudiante **Francisco Xavier Sánchez Montenegro** con Cédula N° **0401484035** ha elaborado bajo mi tutoría la sustentación del trabajo de grado titulado: **“Implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo en Tractores Agrícolas Basado en el Impacto Mecánico.”**

Este trabajo se sujeta a las normas y metodologías dispuestas en el reglamento del título a obtener, por lo tanto, autorizo la presentación a la sustentación para la calificación respectiva.

Ibarra, 15 de enero del 2025



Firmado digitalmente por:
**CARLOS NOLASCO MAFLA
YEPEZ**

PhD. Carlos Nolasco Mafla Yépez
Tutor
CI.: 0401447826



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1 IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	0401484035		
APELLIDOS Y NOMBRES	Sánchez Montenegro Francisco Xavier		
DIRECCIÓN	Calle Bolívar y Cuarta Transversal		
EMAIL	fransan82@outlook.com		
TELÉFONO FIJO	02975125	TELÉFONO MÓVIL:	0995821031

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	Implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo en Tractores Agrícolas Basado en el Impacto Mecánico.
AUTOR	Francisco Xavier Sánchez Montenegro
FECHA: DD/MM/AAAA	15-01-2025
PROGRAMA DE POSGRADO	Maestría en Ingeniería Automotriz con Mención en Negocios Automotrices
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Magister en Ingeniería Automotriz con Mención en Negocios Automotrices
TUTOR	PHD. Carlos Nolasco Mafla Yépez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



2.- CONSTANCIA

El autor Francisco Xavier Sánchez Montenegro, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de enero del año 2025.

ELAUTOR:

Firma

Francisco Xavier Sánchez Montenegro.

CI: 0401484035

DEDICATORIA

En honor a mi madre, que vive en mi corazón, a mi amada esposa y a mis dos hijas, mi fuente de amor y fortaleza. Su apoyo inquebrantable ha sido mi impulso en este logro académico. Les dedico este éxito con gratitud y cariño eternos. Juntos, hemos caminado este camino y hoy lo celebramos.

¡Gracias por ser mi familia y mi mayor motivación!

Francisco Xavier Sánchez Montenegro

RECONOCIMIENTO

Agradezco a Dios por cada día de existencia; a mi alma mater, la Universidad Técnica del Norte, por ser mi cuna de aprendizaje; al Phd. Carlos Mafla, por haberme transmitido sus conocimientos y guiar este trabajo; a mi esposa, siempre apoyándome en mis metas; a mis hijas, quienes llenan mi vida de alegría; y a mi familia, por su constante respaldo.

¡Gracias por estar a mi lado!

Con afecto.... Francisco

ÍNDICE DE CONTENIDO

DENTIFICACIÓN DE LA OBRA	I
CONSTANCIA	II
DEDICATORIA	III
RECONOCIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
INDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5 ALCANCE.....	4
CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL	6
2.1. MARCO TEÓRICO	6
2.1.1. <i>Evolución y Clasificación de Los Tractores Agrícolas</i>	6
2.1.2 <i>Tipos de Tractores.</i>	7
2.1.3. <i>Mecanismos Cinemáticos de un Tractor</i>	7
2.1.4. <i>Partes del Motor de un Tractor</i>	9
2.1.5. <i>Mantenimiento en motores de combustión interna</i>	10
2.1.6. <i>Técnicas de Mantenimiento Predictivo</i>	11
2.1.7. <i>Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Termografía</i>	17
2.1.8. <i>Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Aceite</i>	21
2.2. MARCO LEGAL	26
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.1.1 <i>Tipo de Investigación</i>	28
3.1.2. <i>Enfoque Cuantitativo</i>	28
3.2. INTRODUCCIÓN.....	28
3.3. MATERIALES.....	29
3.3.1. <i>Tractor agrícola</i>	29
3.3.3. <i>Programa de Mantenimiento en Tractores Case IH Farmall T6.110A</i>	30
3.4. EQUIPOS DE OBTENCIÓN DE DATOS	32

3.4.1. Analizador de vibraciones	32
3.4.2. Cámara Termográfica	33
3.4.3. Equipo de Extracción para Análisis de Aceite	35
3.5. MÉTODOS	35
3.5.1. Encuesta Dirigida a Mecánicos de Tractores Agrícolas	36
3.5.3 Defectología en motores de tractor CASE IH Farmall T6.110A.....	37
3.6. SIMULACIÓN DE FALLOS Y PROCEDIMIENTOS	38
3.6.1 Filtro de Aire.....	38
3.6.2. Inyectores.....	39
3.7. MEDICIÓN DE VIBRACIONES	40
3.7.1. Procedimiento de Medición.....	41
3.7.2. Toma de Datos	41
3.7.3. Datos a Obtener.....	43
3.7.4. Anomalías en el Tractor Agrícola	43
3.7.5. Análisis con el Tractor en Buen Estado.....	44
3.8. MEDICIÓN DE TERMOGRAFÍA	44
3.8.1. Procedimiento de Medición.....	44
3.8.2. Toma de Datos	45
3.8.3. Anomalías en el Tractor.....	47
3.9. MEDICIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE	48
3.9.1. Procedimiento de Medición.....	48
3.9.2. Toma de Muestra de Aceite.....	49
3.9.3. Parámetros que se tomó en Cuenta en el Análisis de Aceite.....	51
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1 INTRODUCCIÓN.....	52
4.2 ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS.....	52
4.2.1 Encuestas Aplicadas a Mecánicos	52
4.2.2 Encuestas Aplicadas a Operarios	55
4.3 ANÁLISIS DE VIBRACIÓN	59
4.3.1. Toma de Datos de vibración en el Punto Muerto Superior del Motor	59
4.3.2. Análisis en el Tractor con Filtro de Aire Saturado.....	60
4.3.3. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector.....	62
4.3.4. Promedio de Resultados del Análisis de Vibración en el Motor	63
4.4. ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VIBRACIÓN EN EL MOTOR.....	64
4.5. ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍA.....	65
4.5.1. Toma de Datos de Termografía en el PMS del Motor.....	65
4.5.2. Análisis en el Tractor con Filtro de Aire Saturado.....	66
4.5.3. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector.....	68

4.5.4. Promedio de Resultados del Análisis de Termografía en el Motor	69
4.6. ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TERMOGRAFÍA EN EL MOTOR.....	69
4.7. ANÁLISIS DE ACEITE	70
4.7.1. Fichas Técnicas de Pruebas de Análisis de Aceite	70
4.7.2. Análisis de Aceite en el Tractor con 5000 horas de funcionamiento	73
4.7.3. Análisis de aceite en el Tractor con 20.000 horas de funcionamiento	75
4.8. ANÁLISIS GENERAL DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ACEITE EN EL MOTOR.....	78
4.9. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	79
4.9.1 Análisis de Resultados de Encuestas	79
4.9.2. Análisis de Vibraciones.....	80
4.9.3. Análisis de Termografía.....	82
4.9.4 Análisis de Aceite	83
CAPÍTULO V PROPUESTA.....	86
5.1. PRESENTACIÓN	86
5.2 DIAGNOSTICO ESTRATÉGICO	86
5.3 BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA	86
5.4 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA.....	87
5.4.1 Objetivo General	87
5.4.2 Objetivos Específicos	87
5.5 PLAN DE ACCIÓN A DESARROLLAR FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN.....	87
5.6 FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN	89
5.7. ANÁLISIS DE COSTOS.....	89
5.8. BENEFICIOS DE UTILIZAR TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	90
5.8.1. Detección temprana de fallas	90
5.8.2. Mantenimiento preventivo y correctivo	90
5.8.3. Ahorro económico y operativo	90
5.8.4. Establecimiento de un historial de condiciones.....	91
5.8.5. Referencias para diagnósticos futuros	91
5.9 COSTO /BENEFICIO.....	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIAS.....	96
ANEXOS.....	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la vibración en los Componentes Mecánicos.....	12
Tabla 2. Criterios de Severidad.....	14
Tabla 3. Análisis de fallas en el motor de un tractor CASE IH 110- A.....	16
Tabla 4. Propiedades de los lubricantes.....	22
Tabla 5. Materiales de Desgaste en Motores a Diésel.	25
Tabla 6. Limites condenatorios de materiales de desgaste.	26
Tabla 7. Ficha técnica del motor del Tractor Case IH Farmall T6.110.	30
Tabla 8. Programa de mantenimiento en tractores Farmall T6.110 A.....	31
Tabla 9. Descripción general del analizador de vibraciones Fluke 805FC.	33
Tabla 10. Características cámara de imagen térmica IR0019 34	
Tabla 11. Características del Equipo de Extracción para Análisis de Aceite.	35
Tabla 12. Encuesta para Mecánicos de Tractores Agrícolas.	36
Tabla 13. Encuesta para Operadores de Tractores Agrícolas.	37
Tabla 14. Análisis de Fallas en el Motor de un Tractor Farmall T6.110 A.	38
Tabla 15. Parámetros de materiales para el análisis de Aceite.....	51
Tabla 16. Datos de vibración obtenidos con el motor en buen estado.	60
Tabla 17. Datos de Vibración Obtenidos con el Filtro de Aire Saturado.	61
Tabla 18. Datos de vibración obtenidos con falla en el Inyector.	63
Tabla 19. Resultados del Análisis de Aceite en el Tractor con 5000 horas.	73
Tabla 20. Resultados del Análisis de Aceite en el Tractor con 20.000 horas.	76
Tabla 21. Comparación de Datos Obtenidos del Análisis de Vibración.....	80
Tabla 22. Comparación de datos obtenidos del análisis de termografía.	82
Tabla 23. Comparación de datos obtenidos del análisis de aceite.	84
Tabla 24. Plan de mantenimiento predictivo basado en los resultados.	88
Tabla 25. Costos de toma de datos por técnica de mantenimiento predictivo.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Evolución del tractor agrícola	6
Fig. 2. Características de los tractores agrícolas según su tipo.....	7
Fig. 3. Elementos del tractor agrícola.....	8
Fig. 4. Representación convencional de un motor diésel.....	9
Fig. 5. Vibración mecánica.....	12
Fig. 6. Amplitud de Vibraciones.....	13
Fig. 7. Termografía infrarroja dentro de la industria automotriz.....	17
Fig. 8. Espectro Electromagnético.....	18
Fig. 9. Esquema de la radiación infrarroja.....	19
Fig. 10. Clasificación de Termografías.....	20
Fig. 11. Toma de muestras para análisis de aceites.....	21
Fig. 12. Parámetros de medición en análisis de aceites.....	23
Fig. 13. Tipos de análisis de aceites.....	24
Fig. 14. Tractor Case IH Farmall T6.110 A.....	29
Fig. 15. Analizador de Vibraciones Fluke 805FC.....	32
Fig. 16. Cámara de Imagen Térmica IR0019.....	34
Fig. 17. Kit de Análisis de Aceite.....	35
Fig. 18. Cambio de filtros saturados.....	39
Fig. 19. Apertura de Inyectores.....	40
Fig. 20. Puntos de medición en el bloque motor.....	40
Fig. 21. Flujograma de pasos para la toma de datos de vibración.....	42
Fig. 22. Obtención de datos desde el equipo a la computadora.....	43
Fig. 23. Punto de Medición en el PMS.....	44
Fig. 24. Flujo Grama para Realizar la Toma de Datos de Termografía.....	46
Fig. 25. Punto de medición en el PMS.....	48
Fig. 26. Flujograma para obtener la muestra de aceite.....	50
Fig. 27. Fallas más Comunes en Motor del Tractor.....	53
Fig. 28. Horas que se producen mayor frecuencia de averías en el motor.....	53
Fig. 29. Horas de Trabajo Antes de una Reparación.....	54
Fig. 30. Fallas por falta de mantenimiento preventivo.....	55
Fig. 31. Mantenimiento Predictivo para la solución de Problemas.....	55
Fig. 32. Experiencia de problemas en el motor del tractor.....	56
Fig. 33. Generación de problemas en motores por operación incorrecta.....	57
Fig. 34. Horas de Trabajo con más Fallas en el Motor.....	57
Fig. 35. Experiencias Similares de Fallas en Distintos Tractores.....	58
Fig. 36. Afectaciones directas por fallas recurrentes en el motor.....	59
Fig. 37. Toma de Datos en el PMS.....	59
Fig. 38. Análisis en el Tractor con Filtro de Aire Saturado.....	61

Fig. 39. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector.....	62
Fig. 40. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector.	64
Fig. 41. Toma de Datos en el PMS del tractor en buen estado.	65
Fig. 42. Puntos de toma datos en el PMS a temperatura inicial, promedio y final.	66
Fig. 43. Análisis de temperatura con Filtro de Aire Saturado.....	67
Fig. 44. Análisis de temperatura inicial, promedio y final con filtro saturado.....	67
Fig. 45. Análisis de temperatura inicial, promedio y final con falla en el inyector.....	68
Fig. 46. Puntos de toma de datos con falla en el inyector.....	68
Fig. 47. Promedio de resultados.	69
Fig. 48. Ficha Técnica de Análisis de Aceite 5000 Horas.	71
Fig. 49. Ficha Técnica de Análisis de Aceite 20000 Horas.....	72
Fig. 50. Valores generales de desgaste interno del motor a 5000 horas.....	74
Fig. 51. Valores específicos de desgaste interno del motor a 5000 horas.....	74
Fig. 52. Niveles Generales de desgaste interno del motor a 20000 horas.....	77
Fig. 53. Niveles específicos de desgaste interno del motor a 20.000 horas.....	77
Fig. 54. Comparación de resultados del análisis de vibración.....	81
Fig. 55. Comparación de resultados obtenidos en el análisis de termografía.....	83
Fig. 56. Comparación de resultados obtenidos en el análisis de aceite.....	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	15
------------------	----

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
CON MENCIÓN EN NEGOCIOS AUTOMOTRICES
TÍTULO DE TRABAJO DE TITULACIÓN
IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN
TRACTORES AGRÍCOLAS BASADO EN EL IMPACTO MECÁNICO

Autor: Ing. Francisco Xavier Sánchez Montenegro.

Tutor: Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez Msc.

Año: 2024

RESUMEN

El mantenimiento predictivo es clave para asegurar la eficiencia y prolongar la vida útil de los tractores agrícolas, abordando como problema principal la falta de cuidados preventivos que generan reparaciones costosas y evitables, el objetivo de la investigación fue evaluar cómo el mantenimiento predictivo, mediante técnicas como análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite, puede prevenir fallas y optimizar el funcionamiento de los tractores, se encuestó a conductores y mecánicos para identificar las fallas más comunes, y se utilizaron herramientas de diagnóstico especializadas como medidores de vibraciones, cámaras térmicas y bombas de extracción de aceite, los resultados mostraron que el análisis de vibraciones reveló diferencias notables entre motores en buen estado y aquellos con inyectores defectuosos, la termografía evidenció que motores con problemas como filtros de aire saturados presentaban temperaturas más bajas de lo esperado, y el análisis de aceite permitió detectar desgaste y contaminación del lubricante, indicando problemas internos del motor, este estudio destaca la necesidad de implementar un monitoreo regular mediante estas técnicas predictivas, ya que es esencial para detectar fallas a tiempo, evitando averías mayores y optimizando tanto el rendimiento como la vida útil de los tractores, este enfoque no solo reduce costos de reparación, sino que también contribuye a una mayor eficiencia operativa en el uso de la maquinaria agrícola.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo, Tractores agrícolas, vibraciones, Termografía, Análisis Aceite.

NORTHERN TECHNICAL UNIVERSITY
POSTGRADUATE FACULTY
MASTER'S PROGRAM IN: AUTOMOTIVE ENGINEERING
WITH A SPECIALIZATION IN AUTOMOTIVE BUSINESS
THESIS TITLE
IMPLEMENTATION OF A PREDICTIVE MAINTENANCE PLAN FOR
AGRICULTURAL TRACTORS BASED ON MECHANICAL IMPACT

Author: Eng. Francisco Xavier Sánchez Montenegro

Advisor: Eng. Carlos Nolasco Mafla Yépez, MSc.

Year: 2024

ABSTRACT

Predictive maintenance is key to ensuring the efficiency and extending the lifespan of agricultural tractors, addressing the main issue of insufficient preventive care, which leads to costly and avoidable repairs. The objective of the research was to evaluate how predictive maintenance, through techniques such as vibration analysis, thermography, and oil analysis, can prevent failures and optimize tractor performance. Drivers and mechanics were surveyed to identify the most common failures, and specialized diagnostic tools such as vibration meters, thermal cameras, and oil extraction pumps were used. The results showed that vibration analysis revealed significant differences between engines in good condition and those with defective injectors. Thermography indicated that engines with problems, such as clogged air filters, exhibited lower-than-expected temperatures, and oil analysis detected wear and contamination in the lubricant, indicating internal engine problems. This study highlights the need for regular monitoring using these predictive techniques, as it is essential for detecting failures early, preventing major breakdowns, and optimizing both the performance and lifespan of tractors. This approach not only reduces repair costs but also contributes to greater operational efficiency in the use of agricultural machinery.

Keywords: Predictive maintenance, agricultural tractors, vibrations, thermography, oil analysis.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El mantenimiento predictivo se fundamentó en la previsibilidad o no del inconveniente que surgía en el funcionamiento de las máquinas y el trabajo de taller necesario para realizar sobre el equipo. A medida que la frecuencia y la importancia de las reparaciones aumentaban, también lo hacían los tiempos que los equipos permanecían fuera de servicio por ese motivo. En este contexto, las causas de tales interrupciones se atribuyeron más a factores humanos que a los mecanismos que intervenían en el funcionamiento de las máquinas.

El usuario que use un tractor agrícola debe tener claro previo a su funcionamiento todos los cuidados que este tipo de maquinaria requiere para mantener su eficiencia y conservar su valor con las horas de trabajo. Es deber del propietario brindar a este tipo de maquinarias algunos cuidados basados en un conocimiento mínimo respecto a un adecuado funcionamiento.

Frente a la inexactitud de cuidado por el usuario debido a la falta de previsibilidad y el impacto mecánico que ello pudiere provocar en este tipo de máquinas, sobre todo el motor, es importante crear conciencia que una afectación por falta de cuidados adecuados puede ocasionar una inversión muy costosa a futuro, que en ocasiones el propietario o el usuario no está en condiciones de pagar, la cual se puede evitar por una intervención mínima como es la implementación de un plan de mantenimiento predictivo en tractores agrícolas basado en el impacto mecánico.

1.2. Antecedentes

La maquinaria agrícola ha evolucionado, porque ya ha quedado a segundo plano la utilización de la fuerza del hombre y animales para realizar labores agrícolas, por el incremento de la demanda de los productos agrícolas que necesita el mercado consumidor. Las maquinas agrícolas actualmente forma parte fundamental en la agricultura, porque es clave primordial en el desarrollo diario de la productividad económica de los productos agrícolas, constituyendo una herramienta esencial para realizar los trabajos, de una forma eficiente, rápida y con bajos costos económicos para el agricultor[1]

Cada una de las máquinas que trabaja en la agricultura y sus partes o componentes están predestinadas a cumplir las funciones asignadas en determinadas condiciones de producción y explotación técnica. El estado técnico de las máquinas durante el proceso

de explotación cambia, así como cambian de nominal al límite los valores de los parámetros que lo caracterizan. Cuando al menos un parámetro estructural sobrepasa su valor límite, esto puede provocar un deterioro o la pérdida de la capacidad del trabajo de la máquina o sus partes componentes. Las partes y componentes de las máquinas se regulan, recuperan y sustituyen para lograr que sus parámetros técnicos no sobrepasan durante el proceso de explotación el valor límite y los agregados no alcancen su estado límite.

Precisamente es por esto por lo que se utilizan en la documentación técnica normativa el sistema de los valores permisibles de los parámetros, que permitan prevenir las fallas y/o las consecuencias de las fallas de las piezas en el proceso de explotación hasta llegar a la próxima reparación o control de su estado técnico. Las máquinas modernas agrícolas (tractores, combinadas y otras) las forman decenas de miles de piezas, cada una potencialmente puede fallar por uno o varios parámetros de su estado técnico. Sin embargo, es conocido de la práctica de explotación que solamente hasta un 5% de las piezas representan la fuente principal de las fallas de las máquinas. Debido a esto en la práctica durante el proceso de dirección del estado técnico y de fiabilidad de las máquinas, generalmente, se trabaja con 100...200 piezas, que condicionan el nivel de trabajo sin falla, durabilidad y mantenibilidad de las maquinas agrícolas[2]

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en el impacto mecánico en tractores agrícolas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los tipos de fallas en el tractor, determinando ciclos de revisión, y costos.
- Definir las principales técnicas de mantenimiento predictivo para la selección de fallas frecuentes.
- Determinar los sistemas más importantes para establecer frecuencias de controles sistemáticos.
- Establecer una base de datos (caracterización) de las técnicas de mantenimiento predictivo en tractores en buen y mal estado.

- Implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en costos/beneficio y tiempo.

1.4. Justificación

El mantenimiento predictivo es un nuevo concepto que relaciona la operación de mantenimiento en sí con una mayor seguridad de la máquina (prevención de riesgos) y con una mayor fiabilidad y vida útil (prevención de futuras averías), el cual se puede ver reflejado en el costo/beneficio sobre todo para el propietario de un tractor agrícola.

El tractor agrícola al ser una herramienta de trabajo facilita la realización de varias actividades en el agro de manera rápida y eficiente. A veces, la falta de prevención y cuidado en el uso adecuado de estos vehículos puede poner en riesgo su funcionamiento en un tiempo y presentar daños mecánicos, ya sea en el motor o en uno de sus componentes.

Por tanto, a pesar de que externamente un tractor se muestre como una gran maquinaria por sus dimensiones no deja de constituir una pieza delicada que siempre va a requerir de la atención técnica, con lo cual se puede conservar el uso de estas máquinas para que estén siempre disponibles a fin de realizar sus operaciones.

Ventajosamente existen formas de realizar mantenimiento predictivo a este tipo de máquinas, pero queda el criterio de algunos usuarios que lo consideran o le dan poca importancia, porque no lo ven necesario o lo ven como un gasto y no son conscientes del ahorro que puede significar este tipo de mecanismos a futuro.

En los tipos de mantenimientos predictivos se realiza mediante técnicas como análisis de vibraciones, análisis de gases, análisis de aceite y termografía, indispensables para el diagnóstico interno y externo del motor, que permitirá anticiparse a posibles fallas en el equipo, advirtiéndolo al personal encargado del mantenimiento de las correcciones necesarias, antes de que el motor sufra daños mayores, originando paradas no planificadas y pérdida de tiempo y dinero.

El mantenimiento predictivo pretende evaluar el estado de la maquinaria y, a partir de los resultados, decidir el trabajo y la parte en la que se va a intervenir, evitando grandes costos a futuro, como se dijo en esta investigación. Aunque se sabe cuáles son los mecanismos predictivos para un correcto funcionamiento de las máquinas o tractores agrícolas, hay un parte fundamental necesario trabajar, en el factor humano. Como se indicó en el planteamiento de problema, a veces las afectaciones a estas maquinarias y su visita a la

mecánica se debe a fallas humanas y no a un adecuado mantenimiento, incluso desde el encendido y posterior uso del tractor.

Desde esta perspectiva, es importante trabajar en un plan de mantenimiento predictivo en tractores agrícolas basados en el impacto mecánico que incluya una capacitación a los usuarios de este tipo de maquinarias a fin de exponer los beneficios que trae el mantenimiento predictivo, pero además la importancia de manipular adecuadamente la maquinaria a fin de evitar daños costosos a futuro, concientizar la importancia del mantenimiento predictivo respecto al costo beneficio y ofrecer un servicio preventivo que evite costos elevados para el propietario a futuro.

Al igual que orientados en contribuir con lo que establece el “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 toda una vida” del Ecuador, Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria [3]

Principalmente en la Política 5.6 la cual busca: Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades [3]

Con el desarrollo del presente proyecto se buscó contribuir al asesoramiento técnico para las empresas y personas que prestaban sus servicios con la maquinaria agrícola.

1.5 Alcance

El propósito principal de este trabajo de titulación fue el desarrollo una metodología de mantenimiento predictivo específicamente diseñada para los motores de dos tractores agrícolas de la marca Case IH Farmall T6.110 A, modelo 2018 y 2021. Para alcanzar este objetivo, se emplearon equipos y técnicas de diagnóstico altamente especializados y adecuados para este tipo de maquinaria.

Mediante la realización de pruebas, se llevó a cabo un análisis del estado de funcionamiento y los componentes internos de los motores de los tractores. Se establecieron rangos de referencia clave para detectar posibles fallas, tales como la saturación del filtro de aire o la presencia de inyectores defectuosos, y se relacionaron con un óptimo estado mecánico del motor. Utilizando estos resultados, se desarrolló un

plan de mantenimiento detallado y personalizado que se adapte a las necesidades específicas de cada tractor.

La relevancia de este estudio radicó en su capacidad para mejorar significativamente la eficiencia de los agricultores, al reducir tanto los tiempos de inactividad como los costos de mantenimiento asociados a sus tractores. Al implementar una metodología de mantenimiento predictivo, se logró identificar de manera temprana y abordar de forma rápida los posibles problemas que puedan presentarse en los motores de los tractores agrícolas, garantizando así un rendimiento óptimo y una prolongada vida útil de los equipos.

CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Evolución y Clasificación de Los Tractores Agrícolas

Según [4] la definición etimológica de tractor proviene del latín tractus que significa arrastrar. Por tanto, es una máquina que produce tracción y que se utiliza ya sea para arrastrar o empujar cargas pesadas. De esta definición se desprende que un tractor agrícola, es un vehículo que puede desplazarse por sí mismo, mediante la acción de un motor y otros elementos mecánicos cuya actividad se realiza principalmente en el campo agrícola.

Como ya se mencionó, el tractor es una herramienta insustituible en el campo agrícola. Se define como una máquina generadora de energía empleada para diferentes labores agrícolas, como el transporte de insumos y productos, y para las operaciones de campo, como el alistamiento de los suelos, las labores culturales y la cosecha de cultivos.

Al existir distintos tipos de campos y cultivos, los tractores se han adaptado a estas necesidades y también existen una gran variedad de diferentes tipos tractore[5]

El tractor ha evolucionado a lo largo del tiempo destacando momentos tan importantes como muestra la figura 1.

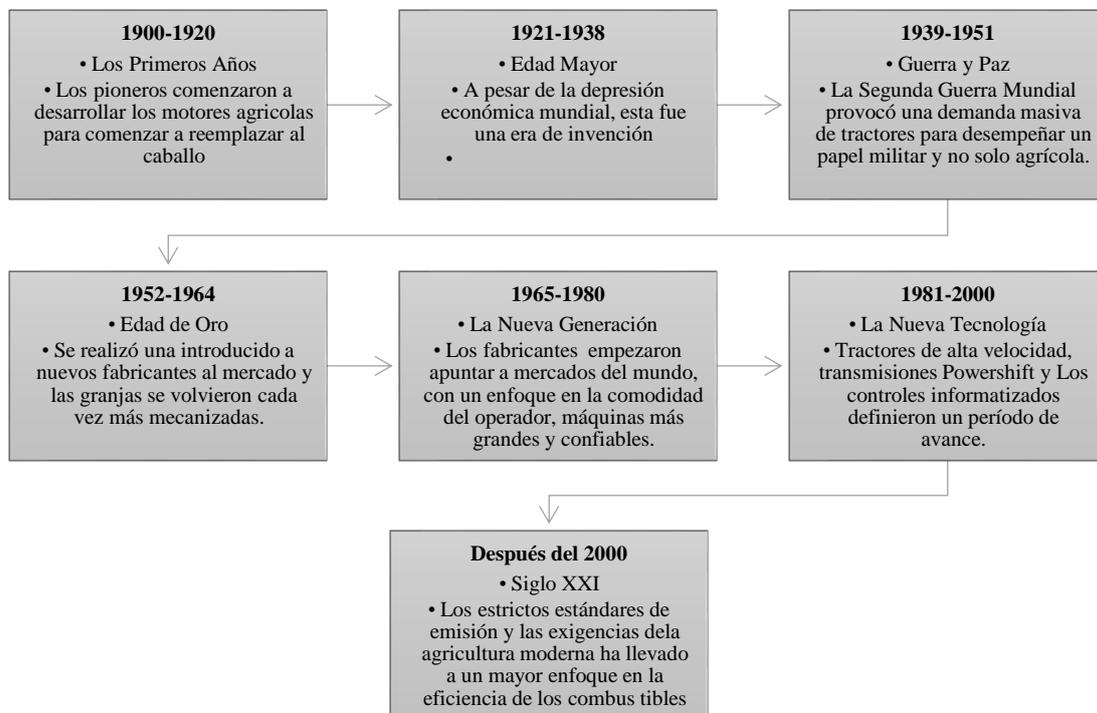


Fig. 1. Evolución del tractor agrícola [5].

2.1.2 Tipos de Tractores.

Los tractores son equipos cotidianos, completos y útiles en el sector agrícola, existen diferentes tipos y estilos que se actualizan con nuevos modelos. En los últimos años se han producido cambios en las ofertas básicas de caballos de fuerza que han transformado los tractores de césped en máquinas de uso general adecuadas para el trabajo que anteriormente realizaban los tractores más grandes, en términos de terminología básica, los tipos de modelos establecidos en el mercado en estos días son: tractores de césped, tractores subcompactos, tractores compactos, tractores utilitarios y tractores agrícolas [6]. La figura 2 muestra las características pertenecientes a cada tipo de tractores ya mencionados.

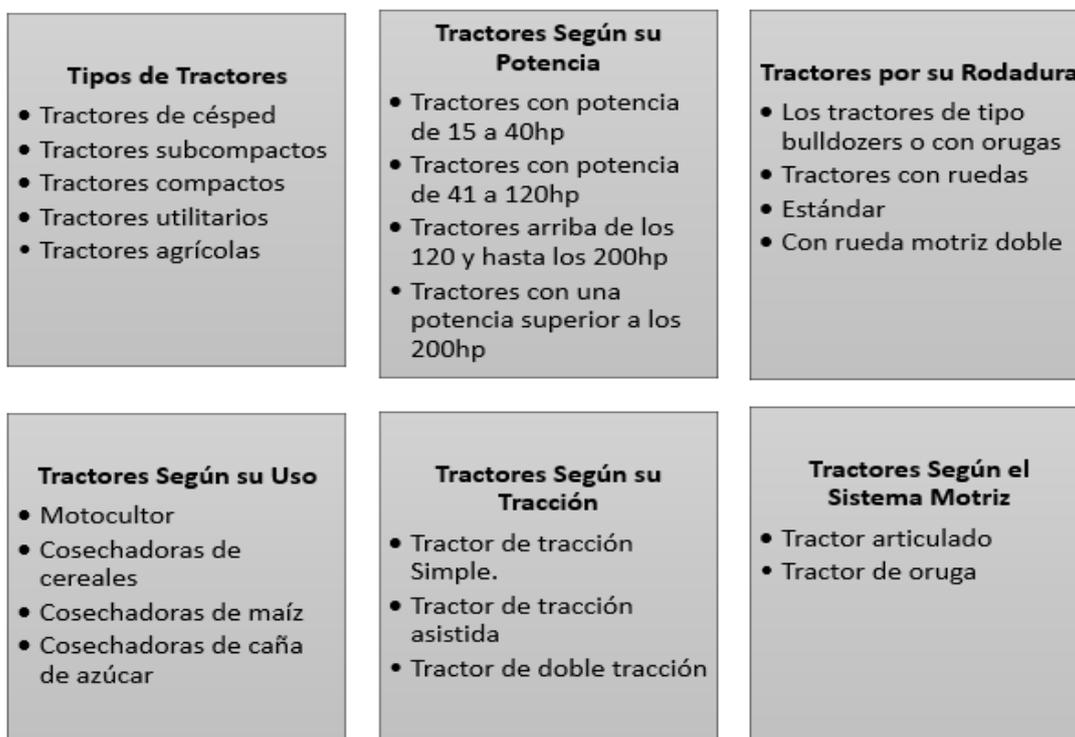


Fig. 2. Características de los tractores agrícolas según su tipo[6].

2.1.3. Mecanismos Cinemáticos de un Tractor

El tractor agrícola moderno es una de las principales herramientas de trabajo en el campo agrícola por la cantidad de labores que puede realizar. Esta misma complejidad mecánica hace que el tractor tenga unos componentes que se pueden observar en la figura 3.

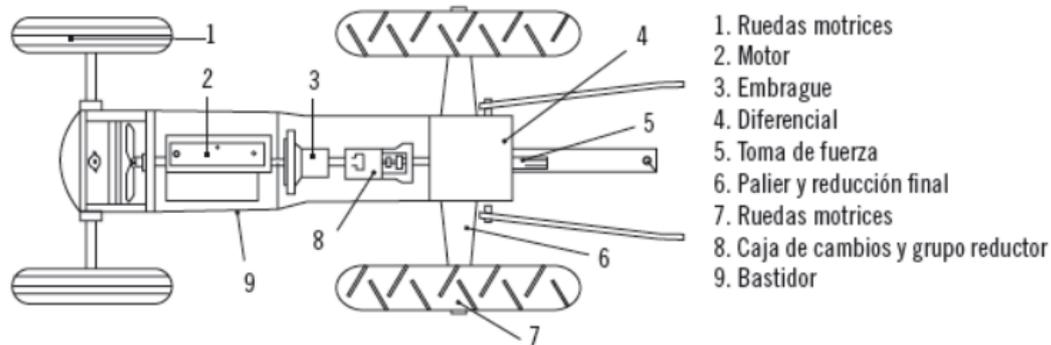


Fig. 3. Elementos del tractor agrícola[7].

La figura 2.3 detalla los componentes principales dentro de la constitución de un tractor agrícola, a continuación, se define cada uno de ellos:

- a) Motor. - Es el dispositivo que transforma la energía química de un combustible en energía mecánica conocida como potencia. Cuenta con una serie de sistemas auxiliares que le ayudan a cumplir su misión.
- b) Embrague. - Es un mecanismo que sirve de puente para que la potencia del motor sea enviada o no a la transmisión del tractor, específicamente a la caja de cambios.
- c) Caja de cambios. - Su misión consiste en modificar la velocidad de avance y la fuerza con que se desplaza el tractor, así como cambiar la dirección de avance del tractor.
- d) Diferencial y mandos finales. - Son los que transmiten el movimiento que viene de la caja de cambios a las llantas del tractor, provocando su desplazamiento.
- e) Llantas. - Son las que soportan el peso del tractor. Las llantas traseras proporcionan la fuerza de tracción y las delanteras algunas veces también suministran fuerza de tracción, pero su misión más común es facilitar la dirección del tractor.
- f) Barra de tiro. - Es una barra de metal sólido con agujeros taladrados para el acople de implementos o equipos de tiro.
- g) Polea. - Es el dispositivo que poseían los tractores antiguos, que les servía para el acople de máquinas trilladoras de cereales y que se conectaba a ellas por medio de correas planas de gran anchura. En los tractores modernos la polea se sustituyó por la toma de fuerza.

- h) Toma de fuerza. - Es un mecanismo interno, con un eje externo estriado que sirve para el mando de máquinas que pueden ir, remolcadas, montadas en los tres puntos del tractor y de las que se dieron ejemplos anteriormente.
- i) Sistema hidráulico de enganche a tres puntos. - Es el sistema que sirve para el levante de aperos.

2.1.4. Partes del Motor de un Tractor

En la figura 4 se indica el motor de un tractor que es el corazón de esta poderosa máquina, encargado de convertir la energía del combustible en fuerza motriz. Su diseño complejo incluye varias partes esenciales que trabajan en armonía para garantizar un funcionamiento eficiente y efectivo.

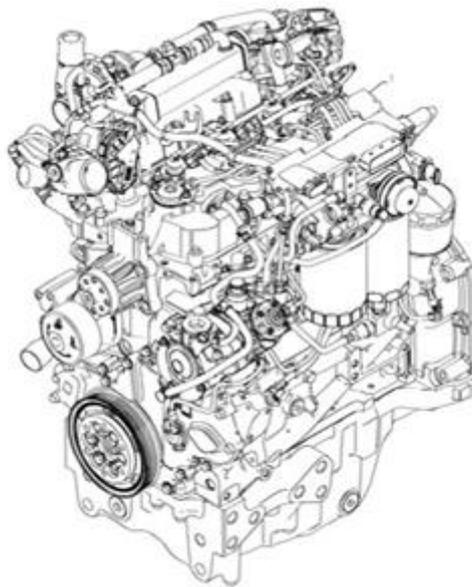


Fig. 4. Representación convencional de un motor diésel [7].

- La culata del motor es la parte superior del motor. Realiza funciones como cerrar los cilindros por la parte superior, alojar las válvulas de admisión y las válvulas de escape, el árbol de levas, los conductos de admisión y de escape [8].
- El bloque de motor es el elemento que aloja en su interior los cilindros de un motor de combustión interna, además de los soportes de apoyo del cigüeñal, conductos de lubricación y refrigeración, como lo más principal [9].
- El cárter sirve para recoger el aceite que escurre desde el motor y alojarlo para que la bomba pueda volver a succionarlo [10].

- El pistón es la parte fundamental del motor, es la que soporta el trabajo de la combustión y transmite la fuerza a través de la biela al cigüeñal, fuerza que recibe en su parte superior o cabeza [11].
- La biela es el elemento del motor encargado de transmitir la presión de los gases que actúan sobre el pistón al cigüeñal [12].
- El cigüeñal es una parte mecánica esencial en el motor porque transforma el movimiento lineal de los pistones en un movimiento rotacional [13].

2.1.5. Mantenimiento en motores de combustión interna

Hay varias o muchas definiciones de mantenimiento, pero resumiendo, se define como acciones que deben realizar las personas encargadas de este departamento o área, para que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados en un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo diseñado, construido, instalado y puesto en operación. Esta serie de actividades incluyen toda una combinación de conocimiento, experiencia, habilidad y trabajo en equipo, junto con las otras dependencias de la organización, para que exista una buena labor administrativa y operativa, cumpliendo así con los indicadores de desempeño o de gestión que cada organización aplica para que sus metas se alcancen [14].

Tipos de Mantenimientos

Actualmente existen variados sistemas para emplear el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos se centran en corregir los fallos, actúan antes de aparecer, haciéndolo tanto sobre los bienes como se concibieron, como sobre los que están en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos las modalidades de simplicidad en el diseño, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento[15]

Los tipos de mantenimiento a estudiar son los siguientes:

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Predictivo.

Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo también se le denomina mantenimiento reactivo, que, a nivel industrial en nuestro país, Latinoamérica y muchos países subdesarrollados es utilizado en un alto porcentaje. Este mantenimiento correctivo se aplica cuando la máquina deja de

operar, porque se presenta la falla o avería y su objetivo es poner en marcha su funcionamiento, afectando lo menos posible la productividad; generalmente se repara o se reemplaza el componente del equipo o de la máquina, haciéndolo en el menor tiempo posible [14].

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema [16].

Mantenimiento Predictivo

El Mantenimiento Predictivo se realiza en base a una estimación del estado de funcionamiento del equipo. Una estrategia de este tipo permite la detección anticipada de fallos potenciales y permite intervenciones de mantenimiento oportunas. El mantenimiento predictivo hace uso de herramientas de predicción basadas en datos históricos, factores de buen funcionamiento definidos por conocimiento experto y métodos de deducción estadística [17].

2.1.6. Técnicas de Mantenimiento Predictivo

Existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento predictivo entre las cuales se destacan las siguientes:

Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Vibración

Toda máquina posee niveles de vibración cuando funcionan, dependiendo de los mecanismos que conformen esta máquina, las vibraciones serán características de ella, siendo estos sus niveles normales. Si algo cambia dentro del funcionamiento de dicha máquina sus niveles vibracionales de igual forma lo harán, siendo este indicador de falla, debido a la relación causa efecto que existe entre averías y vibraciones. Como se mencionó anteriormente cada máquina posee un oscilograma característico de vibraciones mientras trabaja, conocido como curva de vibración, si dicha curva se altera es un indicador directo de que algo no está bien dentro de su funcionamiento [18].

En la figura 5. Se ve la vibración en su forma más simple que se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un cuerpo alrededor de su posición de

equilibrio. La posición de equilibrio es el lugar que se alcanza cuando la fuerza que actúa sobre ella sea cero. Este tipo de vibración se llama de cuerpo completo y significa que todas las partes del cuerpo se mueven en la misma dirección al mismo tiempo [19].

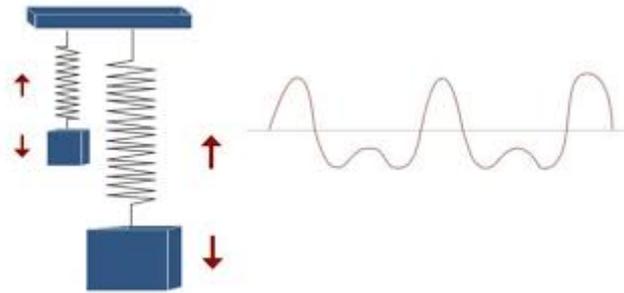


Fig. 5. Vibración mecánica [18].

Características de la Vibración en los Componentes Mecánicos

Se sabe que una partícula se encuentra en un estado de vibración cuando pasa por un mismo punto de equilibrio dentro de intervalos de tiempo iguales, es decir a una misma velocidad, dependiendo de su desplazamiento esto se define como velocidad, aceleración y frecuencia en la tabla 1 indica las características de la vibración [20].

Tabla 1. Características de la vibración en los Componentes Mecánicos [20].

NOMBRE	DEFINICIÓN	UNIDADES
Desplazamiento	El desplazamiento se define como la distancia que recorre el cuerpo o partícula en vibración, desde su punto de reposo hasta su máximo pico alcanzado, amplitud.	(m)
Velocidad	Es la velocidad que impulsa a la partícula o cuerpo, corresponde a la derivada del desplazamiento respecto al tiempo.	(m/seg)
Aceleración	Corresponde a la frecuencia en la cual oscilaría el sistema si se lo sacara de su punto de equilibrio. Se mide en m/s^2 ya que representa una variación en la velocidad antes mencionada.	(m/seg^2)
Frecuencia propia del sistema	Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. Desde su punto de equilibrio cumple una amplitud llegando hasta su punto máximo y mínimo posible.	(Hz) (CPM)
Ángulo de fase de la vibración	Es la posición angular de un objeto en cualquier instante con respecto a una referencia de la misma frecuencia.	Grados

Medición de Amplitud de Vibración

En la figura 6 se aprecia la amplitud (A), que se la conoce como el desplazamiento máximo de la vibración dentro del eje vertical tomando como referencia un plano. Puede ser expresada en múltiples formas, tales como:

Pico: Es la distancia máxima de la onda del punto de equilibrio ya sea desde el punto de referencia en forma positiva o negativa (A p).

Pico Pico: Es la distancia de una cresta negativa hasta una cresta positiva (Ap-p).

RMS (Raíz cuadrada media): Es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de la onda, solo para una onda sinusoidal ($A_{RMS} = 0.707 A_p$) [21].

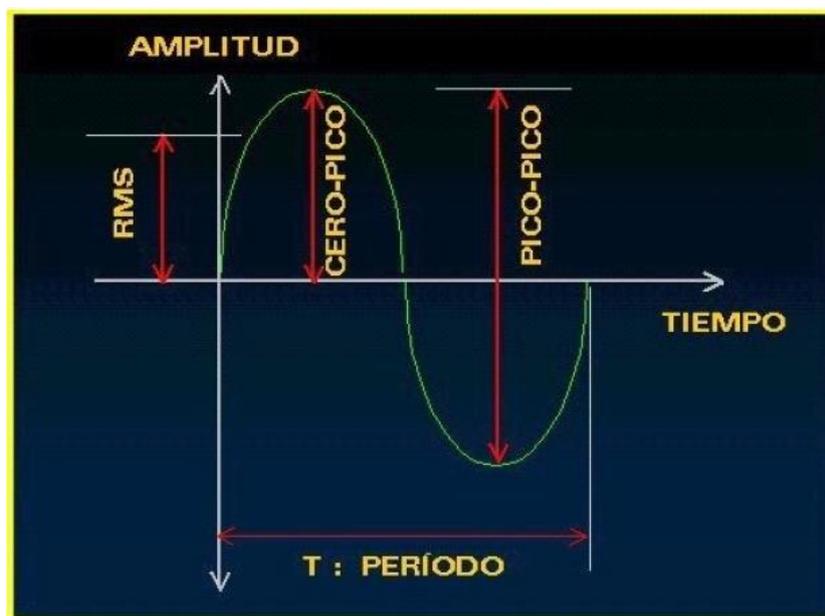


Fig. 6. Amplitud de Vibraciones [20].

Clasificación del Nivel y Severidad de Vibración de las Máquinas

Dentro de la normativa ISO10816, se establecen procedimientos y condiciones necesarios para la medición de vibraciones al igual que su evaluación, donde se utilizan mediciones en partes fijas de máquinas rotativas. En la evaluación se consideran criterios acordes al monitoreo continuo del funcionamiento de la máquina, de igual forma se validan pruebas que garanticen la adecuada operación de la máquina en lapsos prolongados de tiempo. En la ISO10816, se establecen criterios de vibraciones a máquinas que tienen una potencia superior a 15kW y velocidades de entre 120 y 15000 RPM. Estos criterios se establecen no solo a la máquina en sí, sino a partes externas donde se puedan transmitir las vibraciones producidas [22].

Hay que tomar criterios de seguridad para el montaje de las maquinas, ya que existen diferentes tipos de diseños, descansos y estructuras que requieren una división especial de grupos. Las máquinas de dichos grupos normalmente poseen ejes horizontales, verticales e inclinados, de igual forma pueden ser rígidos o flexibles como nos indica en la tabla 2 [23].

Tabla 2. Criterios de Severidad[24].

ISO 10816-3 SEVERIDAD VELOCIDAD DE LA VIBRACIÓN		MÁQUINAS GRUPO 2 Y 4		MÁQUINAS GRUPO 1 Y 3	
Pico	RMS	15 Kw < P ≤ 3000 KW		Grupo 1: 3000 KW < p < 50 MW	
in/s	mm/s			Grupo 3: > 15 KW	
0.64	11.0		INACEPTABLE (PELIGRO)		
0.39	7.1				
0.25	4.5		INSATISFACTORIO (ALERTA)		
0.19	3.5				
0.16	2.8		ACEPTABLE		
0.13	2.3				
0.08	1.4				
0.04	0.7		EXCELENTE		
0.00	0.0				
Base:		Rígida	Flexible	Rígida	Flexible
Grupo 1:	Máquinas Grandes P > 300KW; Máquinas eléctricas con ejes de altura H ≥ 315 mm				
Grupo 2:	Máquinas Medianas 15 KW < P ≤ 300KW; Máquinas eléctricas con ejes de altura 160 mm ≤ H < 315 mm				
Grupo 3:	Bombas con Transmisiones (drive) <u>separadas</u> (con flujo radial, semi-radial y axial) y P >15 KW				
Grupo 4:	Bombas con Transmisiones (drive) <u>integrales</u> (con flujo radial, semi-radial y axial) y P >15 KW				

Principales Causas de Vibración de la Máquina

Las maquinas poseen una vibración característica de su funcionamiento, pero su alteración es síntoma de una posible falla dentro de la máquina. Las causas más comunes son, un posible desequilibrio, desalineación, desgaste de piezas, holguras entre piezas, desajuste de piezas, deterioro de rodamientos o engranes [25].

Transformada rápida de Fourier

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo eficiente para calcular la Transformada de Fourier Discreta (DFT), que a su vez es una herramienta matemática que convierte una señal desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Esto

permite analizar las componentes de frecuencia de una señal, algo muy útil en procesamiento de señales, análisis de vibraciones, sonido, y muchos otros campos [26]

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot n / N}$$

Ecuación 1

Donde:

- $X[k]$ es el valor de la DFT en el índice k (corresponde a la componente de frecuencia).
- $x[n]$.- es la secuencia de entrada en el dominio del tiempo.
- N .- es el número total de puntos.
- $e^{-j \cdot 2\pi \cdot k \cdot n / N}$.- es la exponencial compleja, que introduce la conversión de tiempo a frecuencia.
- j .- es la unidad imaginaria [26]

Vibraciones Mecánicas en Motores de Combustión Interna

En los Motores de Combustión Interna (MCI), las vibraciones se producen a causa de las piezas de movimiento alternativo y giratorio del motor, pistones y cigüeñal. Los cambios entre las fuerzas de inercia son producto de la combustión y las diferencias de compresión debido a la variación entre pistones según sea su orden de encendido. Las fuerzas de inercia del motor conllevan a producir desequilibrio del motor y tienden a variar con respecto a la velocidad, alimentación de combustible y las características de su combustión. Las vibraciones normalmente son consecuencia de movimientos mecánicos rotativos, lineales y alternantes, pero también son producidas durante el proceso de combustión; por este motivo el nivel de vibración del motor depende de las propiedades del combustible [27].

Fallos Mecánicos en los Tractores

Es importante mantener una base de datos que permita encontrar las causas a cualquier tipo de falla por pequeña o grande que sea, de esta forma se solucionan contratiempos. Toda máquina sufre un desgaste progresivo durante su vida útil, por lo que no es raro que falle de vez en cuando. La tabla 3 puede ayudar reconocer el problema y determinar las causas posibles.

En casos especiales se puede solucionar el problema de forma rápida y sin procedimientos realmente técnicos, pero en otros casos es importante y recomendable realizar reparaciones exactas por medio de talleres de servicio y capacitados, de esta forma no solo se soluciona el problema, sino también las causas que lo producen [28].

Tabla 3. Análisis de fallas en el motor de un tractor CASE IH 110- A [29].

PROBLEMA	CAUSA POSIBLE
El motor no arranca o arranca con dificultad	Procedimiento de arranque incorrecto. Combustible en bajo nivel o agotado. Presencia de aire en los conductos de combustible. Temperatura ambiente baja. Sistema de combustible con impurezas. Filtro (s) de combustible saturado(s). Avería en sistema de alimentación (Bomba o Inyectores). Viscosidad incorrecta usada en el aceite del motor.
El motor funciona con dificultad y/o se cala	Filtros de combustible saturados. Sistema de combustible con impurezas. Solenoides de combustible instalados incorrectamente. Orificio de ventilación del tapón del combustible bloqueado.
Al motor le falta potencia	Motor a una carga elevada. Depurador de aire bloqueado. Temperatura de funcionamiento del motor aún bajo los niveles normales. Recalentamiento del motor. Filtro (s) de combustible saturados (s). Combustible inapropiado. Falla en los inyectores. Falla en la bomba de combustible. Ajuste de velocidad máxima muy bajo. Falla en el turbocompresor. Accesorios en desajuste.
Pulsación del motor	Descalibración de la bomba de combustible. Bajo nivel de aceite del motor. Baja presión de la bomba de aceite. Baja temperatura del motor. Recalentamiento del motor.
Sobrecalentamiento del motor	Bajo nivel de aceite del motor. Bajo nivel de refrigerantes. Termostato defectuoso. Radiador Obstruido. Carga excesiva del motor. Tapa del radiador defectuoso. Sistema de refrigeración bloqueado. Correa del motor floja o desgastada. Fuga de líquido refrigerante. Avería en el indicador o el sensor de temperatura.
Presión baja del aceite del motor	Bajo nivel de aceite. Aceite de tipo o viscosidad incorrecta.
Excesivo consumo de aceite de motor	Alto nivel de aceite del motor. Aceite de tipo o viscosidad incorrecta. Falla en el turbocompresor. Fugas de aceite. Juntas/guías de la válvula desgastadas.
Consumo excesivo de combustible	Baja temperatura del motor. Falla en el turbocompresor. Motor sobrecargado. Depurador de aire bloqueado. Combustible inadecuado. Falla en los inyectores. Falla en la bomba de combustible. Fuga en el colector de admisión o escape. Accesorios descalibrados

2.1.7. Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Termografía

La termografía es un proceso técnico de diagnóstico no destructivo o invasivo que usa como base para detectar radiación infrarroja emitida por los cuerpos, que depende directamente proporcional a su temperatura. Con este proceso es posible determinar alteraciones en puntos específicos los cuales tengan relación con la temperatura de trabajo, al encontrar variaciones se toma en cuenta los valores de referencia preestablecidos [30].

La radiación emitida por las superficies de los cuerpos se da siempre y cuando su temperatura se encuentre por arriba del cero absoluto ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$), dicho fenómeno se produce casi siempre por lo que es fácil que sea captado por medio de cámaras termográficas, las cuales normalmente capturan imágenes donde varía los colores de las superficies según sea la temperatura que estas contengan, normalmente se basa en una paleta de colores como se ve en la figura 7 [31].



Fig. 7. Termografía infrarroja dentro de la industria automotriz[32].

Temperatura

Un cuerpo contiene un grado de temperatura que es el nivel térmico o una magnitud, toda sustancia está compuesta por moléculas que se hallan en movimiento independientemente de su forma, como puede ser sólida, líquida o gaseosa, a esto se le denomina energía térmica que es la suma de las moléculas que se encuentran en movimiento interrelacionadas, todo esto apunta a la medición promedio de esta energía que concluye con la definición de temperatura [33].

Calor

Para describir la transferencia de energía, el término utilizado es el calor, el cual se refiere a la cantidad de energía que se agrega o se quita a un objeto, debido a una diferencia de temperatura [34].

Espectro Electromagnético

En la figura 8 nos exterioriza sobre el espectro electromagnético corresponde al rango completo que se produce por las radiaciones electromagnéticas, las cuales se propagan simultáneamente por los campos eléctricos y magnéticos que se crean por las cargas eléctricas en movimiento, dichos campos son perpendiculares entre sí y de igual forma perpendiculares a la dirección donde se dirige la onda, las cuales también conforman la radiación electromagnética [35].

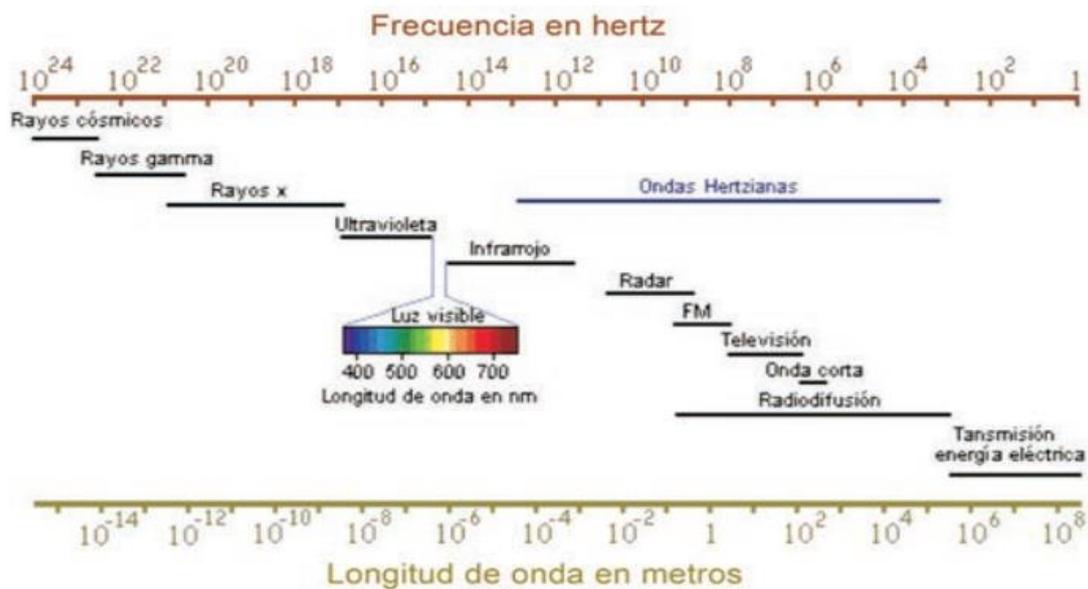


Fig. 8. Espectro Electromagnético[36].

Radiación Infrarroja

La radiación infrarroja pertenece a un tipo de radiación electromagnética que posee una mayor longitud en cuanto a su onda, comparada con la luz visible, pero a su vez es menor que la longitud alcanzada por las microondas. Los rangos de onda que alcanzan normalmente se encuentran entre los 0,7 y 1000 μm , pero esto también depende de diferentes clasificaciones. La radiación infrarroja se relaciona con la termografía ya que cualquier cuerpo puede emitirla, siempre y cuando se encuentre por arriba del cero absoluto, 0°K , la radiación infrarroja se relaciona directamente con el calor ya que se produce por la temperatura de los cuerpos como nos muestra en la figura 9 [36].

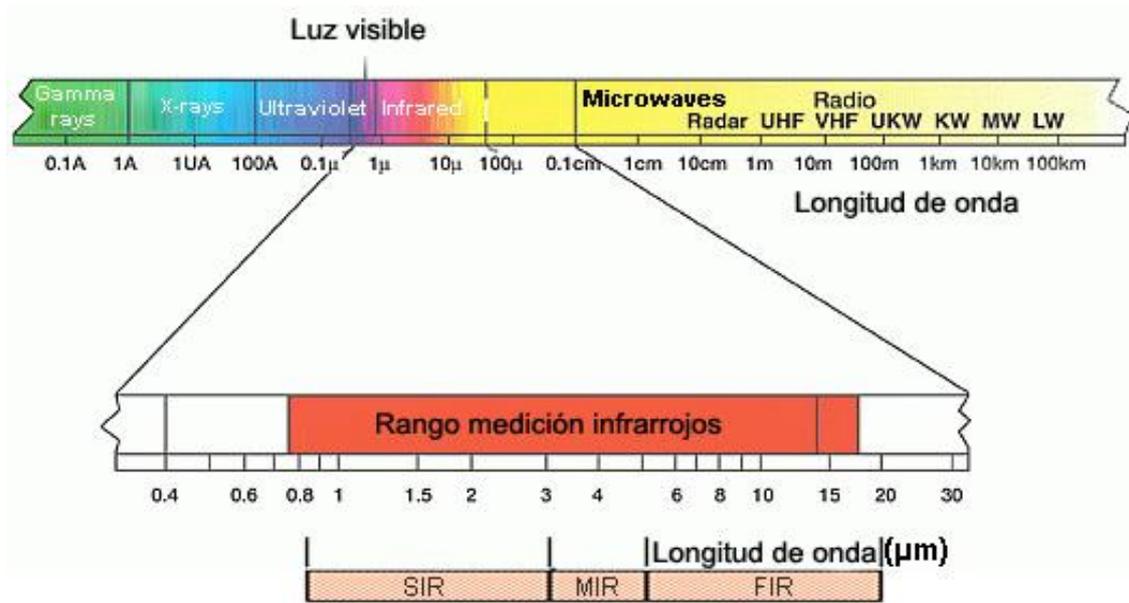


Fig. 9. Esquema de la radiación infrarroja [36].

Emisividad

La emisividad se define como una propiedad característica de los materiales la cual indica la cantidad de calor que pueden liberar los materiales a una temperatura dada, en pocas palabras se trata de la transmisión de calor por radiación, dicha propiedad física depende directamente de la longitud de onda de la radiación, ya que sus valores van de 0 a 1, donde indican ya sea un bloqueo total o paso libre del calor, respectivamente [37].

Mecanismos de transmisión del calor

La transmisión de calor entre diferentes materiales que se encuentran a diferentes temperaturas es posible gracias a 3 mecanismos básicos [38].

Conducción. - Es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través de un material debido a la interacción entre sus moléculas y átomos. En este mecanismo, la energía térmica fluye desde las zonas de mayor temperatura hacia las zonas de menor temperatura dentro de un sólido, líquido o gas en reposo. La conducción ocurre debido a las colisiones y la transferencia de energía entre las partículas adyacentes en un material, sin movimiento macroscópico de la sustancia en sí [39]

Convección. - Es el proceso de transferencia de calor que ocurre mediante el movimiento de un fluido, como un líquido o gas. Este fenómeno ocurre debido a la combinación de la

conducción dentro del fluido y el movimiento macroscópico del fluido mismo, que transporta la energía térmica [39]

Radiación. - Es un mecanismo de transferencia de calor que ocurre mediante la emisión de ondas electromagnéticas, sin necesidad de un medio material para que el calor se propague. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación puede ocurrir en el vacío, como es el caso de la transferencia de calor del sol hacia la Tierra. Todos los cuerpos con temperatura superior al cero absoluto emiten radiación térmica, y la cantidad de energía emitida depende tanto de su temperatura como de sus propiedades superficiales [39]

Conductividad Térmica

Los materiales suelen poseer diferentes cualidades en cuanto a sus propiedades térmicas, hay elementos aislantes que se calientan levemente al someterse a calor, y los metales si aumenta su temperatura de forma rápida y homogénea por toda su superficie. Esto se lo conoce como conductividad térmica [40].

Tipos de Termografías

La figura 10 describe dos tipos de termografía: pasiva y activa.

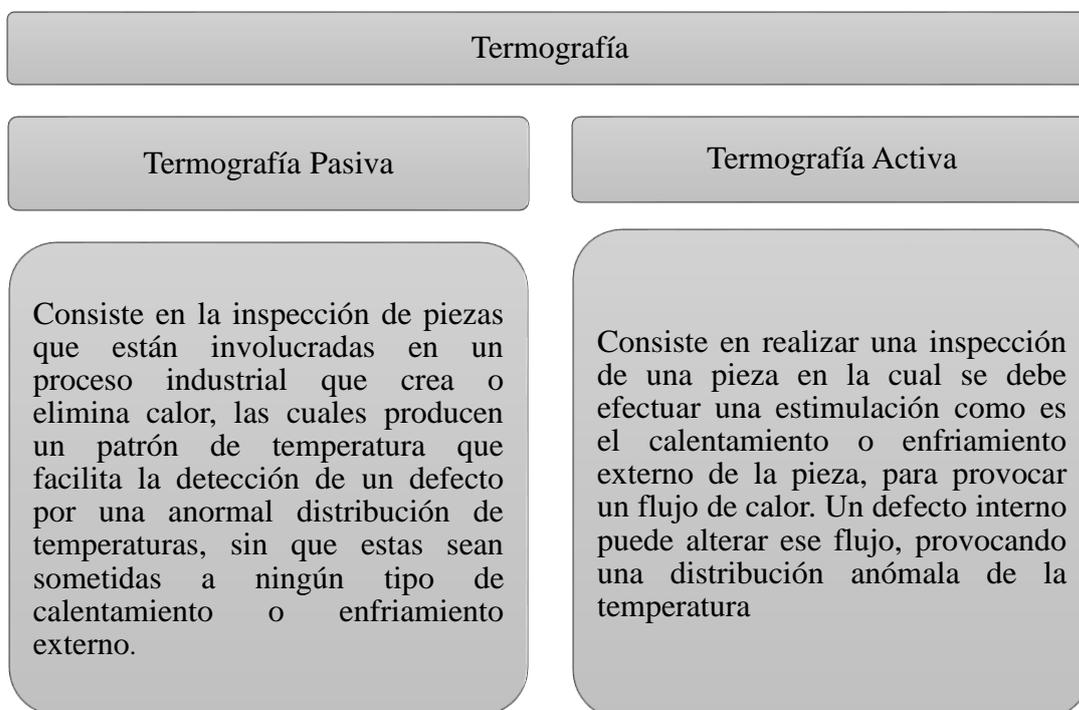


Fig. 10. Clasificación de Termografías[41].

2.1.8. Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Aceite

Análisis de Aceite

Los lubricantes están diseñados para trabajar bajo ciertas condiciones, si estas varían en algún estado, el lubricante puede deteriorarse y no cumplir con su función adecuadamente. Generalmente las funciones a cumplir se relacionan con la duración del lubricante, las temperaturas que soporta, las condiciones ambientales o el esfuerzo al que se somete, además puede existir elementos de impurezas como suciedad, humedad e incluso acides. Estos y más factores son los causantes que los lubricantes no se comporten bien dentro de su funcionamiento, incluso cuando el sistema de lubricación está bien diseñado, las consecuencias de una falla por deterioro están presentes [42].



Fig. 11. Toma de muestras para análisis de aceites[43].

Tribología

La tribología es conocida por sus estudios en cuanto a las superficies que se encuentran en contacto y movimiento, es decir las superficies que contienen rozamiento entre ellas, el termino se ha definido desde el termino griego “tribos”, el cual significa frotamiento. En general la tribología se basa en la fricción, lubricación y desgaste de piezas, aplicar estos conceptos de forma correcta ayuda a proteger a maquinas mejorando su vida útil, de igual forma reducir fallas, mejorar la eficiencia, reducir consumo de energía, entre otras [44].

Función del Aceite Lubricante en el Motor

Dentro del motor, el aceite lubricante tiene varias funciones importantes, inicialmente al ser lubricante reduce el desgaste de los componentes del motor, a la circular de forma continua refrigera ciertas piezas calientes, protege de la corrosión los componentes

atacados por la acides de la combustión y reduce la fricción entre componentes móviles que ayuda a reducir también los consumos de combustible [45].

Propiedades principales de los lubricantes

Los aceites lubricantes tienen diferentes propiedades como como nos indica en la tabla 4

Tabla 4. Propiedades de los lubricantes[46].

Propiedad	Definición
Viscosidad	Se la conoce como la resistencia de un líquido o fluido a fluir. Su unidad de medida dentro del sistema internacional es la viscosidad cinemática, centistokes o (cst)
Índice de viscosidad	Permite medir el cambio de viscosidad en relación con la temperatura, dependiendo del valor obtenido, entre más alto es su resistencia a la temperatura es mejor.
Densidad	Es la relación entre la masa y el volumen de aceite medido 15.6°C.
Punto de inflamación	Es la temperatura mínima necesaria para que el aceite inicie su combustión por los vapores producidos.
TAN	Son los ácidos orgánicos que contiene y representa la acidez total del aceite.
TBN	Corresponde a la reserva alcalina para combatir los ácidos producidos por la combustión en MCI, además indica la alcalinidad del aceite.
Ceniza Sulfatada	Es el peso en dicho porcentaje del material metálico proveniente de los aditivos encontrados mediante la incineración de aceite y luego con ácido sulfúrico.
Resistencia a la Oxidación	Es la capacidad que un aceite tiene al oponerse a reaccionar con el oxígeno y formar compuestos oxidados.
Demulsibilidad	Es la capacidad que tiene el aceite de separar el agua que lo contamina y mantenerlo en suspensión.

Parámetros Por Medir en el aceite en los Motores a Diésel

Los parámetros característicos del aceite son información importante que permiten saber cómo se comportara el aceite al ser usado dentro de la maquinaria, de igual forma como se comportarán y de donde podrán provenir para posteriormente ser analizados como nos muestra en la figura 12 [47].

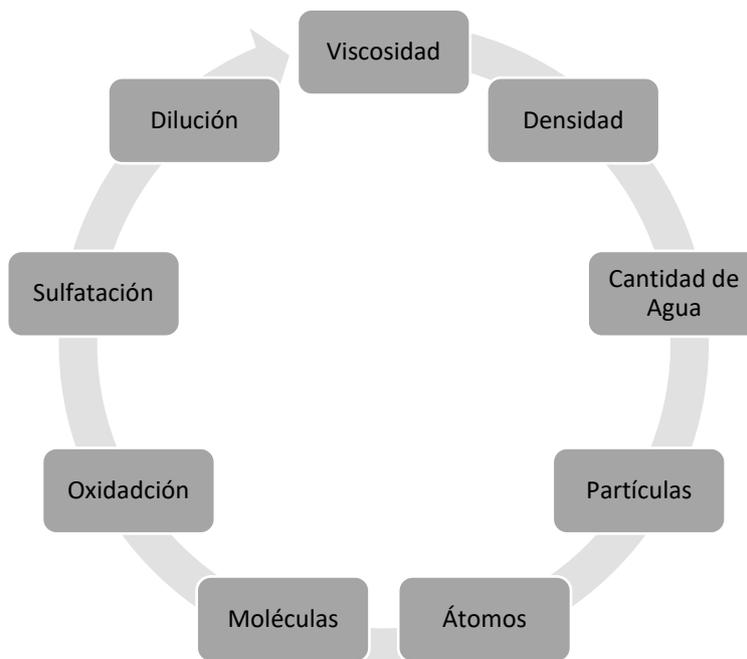


Fig. 12. Parámetros de medición en análisis de aceites [48].

Métodos de Análisis de Aceite

- Degradación

Es un proceso de reducción de la capacidad del aceite a efectuar las funciones para las que se diseñó como son las de lubricar, proteger, refrigerar, limpiar y sellar el motor, esto es originado por las alteraciones y variaciones de las propiedades físicas y químicas del aceite, producidas por la combustión interna que genera elevadas temperaturas, grandes velocidades de cizallamiento, ambientes corrosivos, y contaminación, lo que conlleva a acelerar la velocidad de la degradación del aceite lubricante [49].

- Viscosidad

La importancia de viscosidad tanto para los aceites, lubricantes y fluidos operativos radica en la temperatura, puesto que esta disminuye a medida que la temperatura aumenta. Todos

los líquidos utilizados como lubricantes tienen un rango de viscosidad óptimo para cada sistema, un aumento de la viscosidad por la reducción de la temperatura provoca averías al motor y pérdidas funcionales por la resistencia producida por la fricción [50].

- Contaminación

El funcionamiento de los motores de combustión interna directamente es afectado por varios factores internos que influyen dentro del proceso de análisis de contaminación que se desea determinar. El cual nos permite obtener una base de las causas de avería y el cómo atacarlas en función de estas mediciones [51].

Tipos de Análisis

En la figura 13 muestra los dos tipos de análisis de aceite que se utiliza en las pruebas.

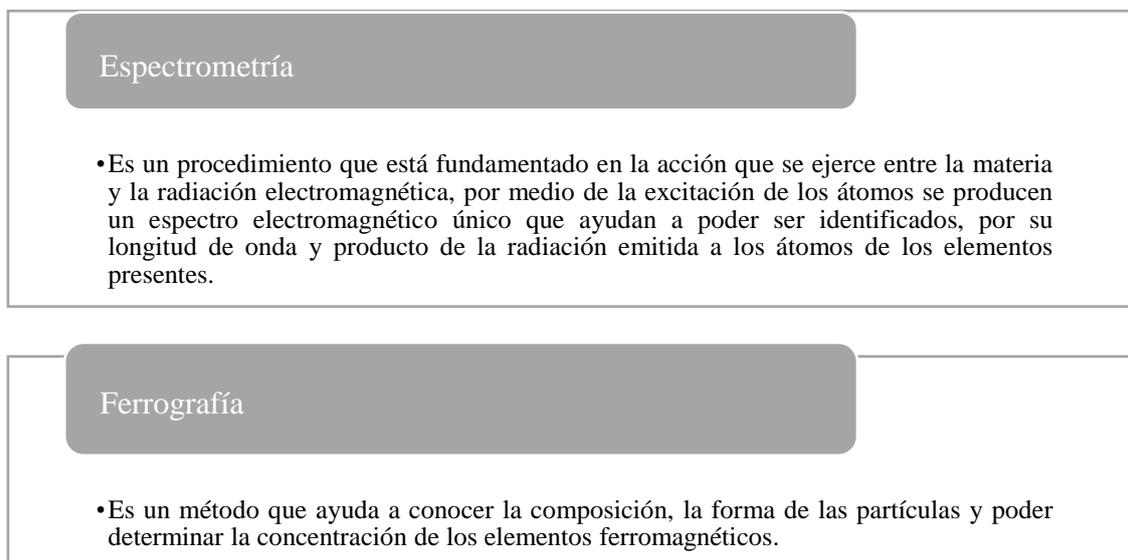


Fig. 13. Tipos de análisis de aceites[52].

Materiales de Desgaste

En la tabla 5 muestra los materiales de desgaste de los motores a diésel generan partículas de desgaste durante su operación, este se considera un parámetro muy importante después de la viscosidad.

Tabla 5. Materiales de Desgaste en Motores a Diésel [53].

Parámetro de Control		Elemento de Motor de Falla
Hierro	Fe	Cigüeñal, camisa, árbol de levas, taqués, guías de válvulas
Plomo	Pb	Cojinetes de biela y del cigüeñal
Cobre	Cu	Cojinetes de biela y del cigüeñal, metales de biela, enfriador de aceite
Estaño	Sn	Capa superficial de metales de fricción
Cromo	Cr	Anillos de pistón, vástagos de válvulas
Aluminio	Al	Pistones, Intercambiador de calor, suciedad
Níquel	Ni	Capa intermedia de los cojinetes de fricción, metales de balancines
Molibdeno	Mo	Anillos de pistón, vástagos de válvulas
Silicio	Si	Arena, polvo atmosférico
Viscosidad		Reducción: Dilución de combustible Aumento: Oxidación, contaminación con hollín
Hollín		Combustión incompleta
Agua		Agua de refrigeración, condensaciones
Combustible		Combustión incompleta, inyectores defectuosos
Refrigerante		Elevados niveles de Sodio, Boro y Potasio
TBN		Alcalinidad restante para la neutralización de ácidos

Limites Condensatorios de Materiales de Desgaste

En la tabla 6 enseña los límites condensatorios de los materiales de desgaste que presenta el fabricante, permite conocer el porcentaje de desgaste y a la vez se puede determinar cuál sería la proyección de daño de los componentes del motor.

Tabla 6. Limites condensatorios de materiales de desgaste [53].

Indicador	Detalle	Unidad
	Viscosidad	CSt
	TBN	mgKOH/g
	Oxidación	ABS/cm
	Nitración	ABS/cm
	Sulfatación	ABS/cm
Salud	Índice de viscosidad	-
	Zinc, como aditivo del aceite	%m
	Silicio	ppm
Contaminantes	Boro	ppm
	Sodio	ppm
	Vanadio	ppm
	Hollín	ABS/cm
	Agua	%Vol
	Hierro	ppm
	Cobre	ppm
	Plomo	ppm
	Cromo	ppm
	Desgaste	Aluminio
Estaño		ppm
Níquel		ppm

2.2. Marco Legal

Los fabricantes de automóviles del mundo desarrollaron el estándar ISO/TS 16949, que se aplica a los fabricantes y la cadena de suministro automotriz, para demostrar el compromiso con la calidad y el cumplimiento de los requisitos del cliente. El estándar implementa un proceso continuo que lo ayuda a encontrar y reportar áreas de mejora en su sistema de gestión y procesos que afectan su negocio [54].

La cláusula 7.5.1.4 de ISO/TS 16949 establece el requisito de implementar una estrategia de mantenimiento preventivo y predictivo, identificando los equipos clave del proceso y

contando con los elementos apropiados para el mantenimiento y empleando métodos de mantenimiento predictivo para la mejora continua [54].

La norma francesa AFNOR X 60-010 define el mantenimiento como un conjunto de actividades destinadas a mantener o establecer un activo en un estado dado o en una condición dada de operación segura, para cumplir una función requerida. Estas actividades implican una combinación de prácticas técnicas, administrativas y de gestión.

Es decir, cualquier sistema funcional en cualquier proceso productivo tiende a deteriorarse de forma puntual o progresiva, por lo que el mantenimiento se encarga de restablecer las condiciones iniciales del mismo, es decir, que una máquina o instalación cumpla correctamente. funciones para las que se diseñaron, de la forma más eficiente y económica posible [55].

La norma europea EN 13306, 2001, que lo define como una combinación de acciones técnicas, administrativas y de gestión en el ciclo de vida de un equipo, encaminadas a conservarlo o devolverlo a un estado en que puede realizar la función requerida. Por función requerida se entiende la combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para prestar un servicio determinado. Esta norma define la gestión del mantenimiento como aquellas actividades que determinan los objetivos, estrategias y responsabilidades del mantenimiento y las realizan planeando el mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento y mejorando los métodos en la organización, incluidos los aspectos económicos [56].

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque y Tipo de Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

Las pruebas que se van a realizar en el motor del tractor CASE IH Farmall T6.110A, para obtener los resultados serán la de análisis de vibraciones que se las realizará en el bloque de cilindros, análisis de aceite que se lo ejecutará tomando muestras al motor para verificar el estado interno de sus componentes que se encuentran sometidos a movimientos y el análisis de termografía que nos indican la temperatura de funcionamiento del motor.

3.1.2. Enfoque Cuantitativo

Las soluciones contra ciertos contratiempos, pueden ser una ayuda para hallar pequeños problemas y evitar que se hagan mayores. Toda máquina falla, de vez en cuando. La tabla 3, puede ayudar reconocer el problema y determinar las causas posibles.

Muchos de los problemas requieren el diagnóstico de un experto y la reparación a través de un taller de servicio, si no se puede solucionar el problema, lo recomendable es someter al tractor a pruebas y reparaciones [57].

3.2. Introducción

Para el presente trabajo se efectuó un estudio considerando técnicas de mantenimiento predictivo como análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite, lo cual permite determinar la condición operativa de los tractores agrícolas que ayudarán a establecer el correcto funcionamiento de los mecanismos internos del motor, mediante la obtención de datos recopilados en dos motores de las mismas características técnicas, con diferentes horas de trabajo.

Durante la investigación se hizo una encuesta a conductores y mecánicos de tractores agrícolas para obtener información esencial sobre las fallas del motor más comunes, para tener una referencia y realizar diagnósticos adecuados y precisos.

En la parte experimental se utilizó un medidor de vibraciones modelo Fluke 805FC para realizar análisis de vibraciones en determinados puntos del motor, con este equipo se puede determinar con mayor precisión futuras fallas con la ayuda de un diagnóstico efectivo, se utiliza la cámara térmica IR0019 como otro dispositivo que ayuda a determinar puntos calientes para identificar problemas potenciales a través de

diagnósticos que demuestren que los componentes expuestos al aumento de temperatura del motor funcionen correctamente bajo parámetros de operaciones normales y, por último, otra herramienta útil es una bomba de extracción de aceite, con su recipiente de recolección de 4 oz y un tubo de plástico de $\frac{1}{4}$ para obtener aceite de motor requerido dentro del análisis de lubricantes y, por lo tanto, el diagnóstico de problemas de salud, contaminación y degradación en el aceite del motor.

3.3. Materiales.

La propuesta utilizada se basa en tres métodos de diagnóstico actuales: análisis de vibraciones mecánicas, termografía como fuente de información de temperatura y análisis de aceite. Cada uno de ellos considera el uso de diferentes equipos para su desarrollo, excepto los tractores agrícolas a los cuales se les aplicara los 3 métodos.

3.3.1. Tractor agrícola

En la figura 14 se visualiza un tractor CASE IH Farmall serie-A que están diseñados para una amplia variedad de trabajos en agricultura y ganadería. El modelo 110, de 118 hp, llega para brindar más potencia y tecnología para las labores agrícolas. Son el referente en equipos de media potencia, diseñados específicamente para las necesidades de los productores que buscan rendimiento operativo combinado con comodidad y facilidad de uso. El motor utilizado en las pruebas es de la familia de tractores 100A, con uno de dos motores turbo: el 110A y el 120A, equipados con un motor de 4 cilindros (4,5 L), mientras que el 125A y el 140 tienen 6 cilindros (6,6,7 L). Ambos están cuidadosamente ajustados para ahorrar combustible y prolongar la vida útil del motor, y cuentan con bujías de precalentamiento para las mañanas frías [58].



Fig. 14. Tractor Case IH Farmall T6.110 A[58].

La tabla 7, muestra los datos técnicos principales para el motor del tractor Case IH Farmall T6.110 A, en el cual se va a realizar la investigación.

Tabla 7. Ficha técnica del motor del Tractor Case IH Farmall T6.110 [29].

Marca	Case IH
Modelo	Farmall T6.110A
Modelo de motor	F4CE9484E J602
Motor	NEF
Sistema de inyección	Delphi
Tipo	TAA
Nivel de emisiones	Tier III, Tier, MAR I
Potencia y velocidad Nominal	118 hp a 2200 RPM
Para a velocidad nominal	391 N.m a 2200 RPM
Par máximo a velocidad	550 N.m a 1400 RPM
Reserva de par	41 %
Numero de rodillos	4
Desplazamiento de los cilindros	4485 cm ³
Diámetro interior y carrera	104 mm x 132 mm
Relación de compresión	17: 1
Secuencia de combustión	1-3-4-2
Bomba de combustible	Delphi DP310
Velocidad nominal	2123 – 2277 RPM
Baja Velocidad	796 – 906 RPM
Velocidad máxima	2311 – 2530 RPM

3.3.3. Programa de Mantenimiento en Tractores Case IH Farmall T6.110A

Los procedimientos normales de mantenimiento de los tractores Case IH Farmall T6.110-A es esencial para mantener la maquina en perfecto estado de funcionamiento con la máxima eficiencia. El mantenimiento periódico de la tabla 8, se organiza un plan de mantenimiento en orden ascendente de las horas de funcionamiento registradas en el horómetro de la máquina.

Tabla 8. Programa de mantenimiento en tractores Farmall T6.110 A [29].

PROGRAMA DE MENTENIMIENTO										
CUADRO DE MANTENIMIENTO										
SUSTITUCIÓN				AJUSTE						
LUBRICACIÓN			CAMBIO DE LIQUIDO							
COMPROBACIÓN		PURGA								
DRENAJE DE LIQUIDO		CARGA								
LIMPIEZA		OBCERVACIONES								
PUNTO DE MANTENIMIENTO										
CUANDO SE ENCIENDE LAS LUCES DE EMERGENCIA										
Filtro de aire	x									
Separador de agua del filtro de combustible		x								
CADA 10 HORAS O DIARIAMENTE										
Nivel de aceite del motor			x							
Nivel de concentración del refrigerante del motor			x							
Nivel de depósito de líquido del freno			x							
Nivel de aceite del sistema hidráulico			x							
Filtro de aire			x							
Filtro de combustible			x							
Limpieza de los radiadores			x							
CADA 50 HORAS										
Filtro de aire	x									
Filtro de combustible		x								
Limpieza de los radiadores	x									
Puntos de lubricación				x						
CADA 100 HORAS										
Aceite del Motor						x				
Filtro del Motor				x		x				
CADA 200 HORAS										
Filtro de combustible		x			x		x			
CADA 600 HORAS										
Aceite y filtro del motor							x			
Filtro de aire motor					x					
Filtro de aire de la cabina					x					
Filtro de recirculación del aire de la cabina					x					
Filtro de aceite hidráulico de la transmisión					x					
Holgura de las válvulas							x			
Sistema de inyección de combustible	x									
Aceite de los cubos de las ruedas								x		
Comprobación del par apriete tuercas de las ruedas			x							

3.4. Equipos de Obtención de Datos

3.4.1. Analizador de vibraciones

El comprobador de vibraciones Fluke 805 FC es la forma más fiable, precisa y repetible de comprobar el estado de los rodamientos y la vibración general. En la figura 15 indica el dispositivo de monitoreo de vibraciones más confiable del mercado para el personal de servicio de campo que necesitan medir la condición de los rodamientos y equipos de manera regular y basada en la severidad. Se pueden distinguir las siguientes características [59].



Fig. 15. Analizador de Vibraciones Fluke 805FC[59].

- Es un medidor (no un lápiz analizador) que mide las vibraciones globales y las variables específicas, como el estado y la temperatura de los rodamientos para proporcionar una imagen completa.
- Una punta sensor que mide la vibración y la fuerza compensa las variaciones introducidas por el usuario (fuera o ángulo), proporcionando lecturas precisas y repetibles.
- Una escala de gravedad de cuatro niveles y un procesador integrado que evalúan el estado de los rodamientos y las vibraciones generales con alertas de texto de fácil comprensión (Bueno, Satisfactorio, Insatisfecho, Inaceptable).
- Una sensibilidad de sensor que puede leer un amplio rango de frecuencia (de 10 a 1.000 Hz y de 4.000 a 20.000 Hz y que cubre la mayoría de los tipos de máquinas y componentes).

- Una sencilla interfaz de usuarios que minimiza las entradas de datos del usuario en relación con el rango RPM y el tipo de equipo.
- En la tabla 9, se indica la descripción general del equipo analizador de vibraciones Fluke 805FC.

Tabla 9. Descripción general del analizador de vibraciones Fluke 805FC [59].

Medidor de vibraciones	
Rango de baja frecuencia	De 10 a 1000 Hz
Rango de alta frecuencia	De 4000 a 20000 Hz
Niveles de gravedad	Bueno, satisfactorio, insatisfactorio, inaceptable
Límite de vibraciones	Pico de 50 g (100 g de pico a pico)
Convertidor A/D	16 bits
Relación señal/ruido	80 dB
Sensor	
Sensibilidad	100 mV / g \pm 10%
Rango de medición	De 0.01 a 50 g
Resolución	0.01 g
Precisión	A 100 Hz \pm 5% del valor medido
Unidades de amplitud	
Aceleración	g, m/s ²
Velocidad	Pulg/s, mm/s
Desplazamiento	Milésima de pulgada, mm
Termómetro por infrarrojos (temperatura)	
Rango	De -20 °C a 200 °C (de -4 °F a 392 °F)
Precisión	\pm 2 °C (4° F)
Distancia focal	Fija, a 3.8 cm 8 (1.5 pulgadas)
Firmware	
Interfaces externas	Comunicación por USB 2.0 (velocidad total)
Capacidad de datos	Base de datos en la memoria destello interna
Actualización	Por UBS
Memoria	Hasta 3500 mediciones
Emisión radiada	
Descarga electrostática: Explosión	Norma EN 61000-4-2
Interferencia electromagnética	Norma EN 61000-4-3
RE	Norma CISPR 11, clase A

3.4.2. Cámara Termográfica

En la figura 16 se muestra la cámara térmica IR0019 que se utiliza para detectar puntos calientes y áreas problemáticas dentro del aislamiento de las máquinas. Se pueden ajustar

varias funciones diferentes según la aplicación para la que lo esté utilizando. Una de las aplicaciones más importantes es para el diagnóstico y la reparación industrial.



Fig. 16. Cámara de Imagen Térmica IR0019[60].

En la tabla 10, se muestra las características más utilizadas para comprobar los niveles de tensión, especialmente en sistemas eléctricos y mecánicos, para asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas e identificar problemas potenciales [60]

Tabla 10. Características cámara de imagen térmica IR0019 [60].

Resolución de imagen infrarroja:	60 x 60, 3600 píxeles
Sensibilidad térmica:	32.0 °F
Rango de temperatura:	-20 a 572.0 °F
Precisión de temperatura:	+/- 2 % o +/- 35.6 °F
Pantalla de visualización:	2,4" Full angle HD
Resolución de imagen visible:	0,3 megapíxeles
Frecuencia de captura:	6 Hz
Emisividad	Ajustable de 0,1 a 1,0

3.4.3. Equipo de Extracción para Análisis de Aceite

En la tabla 11, indica las características técnicas del equipo de extracción y en la figura 17 el kit el cual está constituido por una bomba de vacío es una herramienta importante para extraer la muestra de aceite de los motores de maquinaria y vehículos, es compacta y fácil de transportar. Se usa con un adaptador para recoger muestra, como una manguera flexible y una botella de muestreo esterilizada, y el usuario puede conectarlo a cualquier puerto de muestreo para recolectar muestras de aceite sin contaminación, incluso en ubicaciones más comunes del motor.

Tabla 11. Características del Equipo de Extracción para Análisis de Aceite.

Características	
Bomba de Vacío	Para uso Pesado con Válvula de Seguridad
Botellas de muestreo de aceite	De 4 onzas Individual
Tubería	De ¼ y 5/16.



Fig. 17. Kit de Análisis de Aceite[61].

3.5. Métodos

La investigación desarrollada es experimental, se basa en el control de parámetros como los de análisis de vibración, termografía y aceite, que facilita predecir el estado de las partes internas del motor del tractor agrícola, para implementar las medidas correctivas adecuadas para extender la vida útil del tractor.

El estudio de mantenimiento predictivo en los tractores de la marca CASE IH Farmall T6.110A fue desarrollado utilizando comprobador de vibraciones modelo Fluke 805 FC para realizar análisis de vibraciones en determinados puntos del motor, cámara térmica IR0019 como otro dispositivo que ayuda a determinar puntos calientes y una bomba de extracción de aceite, con su manguera y recipiente de recolección, con el apoyo de estos

equipos nos beneficiara para recolectar información que permite conocer el estado operativo del tractor.

Mediante una encuesta a mecánicos y conductores con experiencia suficiente trabajando con tractores agrícolas nos ayuda a recabar y a reunir información para seleccionar los mecanismos a examinar con los equipos de mantenimiento predictivo, como se muestra a continuación:

3.5.1. Encuesta Dirigida a Mecánicos de Tractores Agrícolas

Esta encuesta se requirió la ayuda de mecánicos con larga experiencia trabajando con maquinaria agrícola. El propósito de la encuesta de la tabla 12, es conocer los daños más frecuentes en la parte interna del motor de los tractores y analizando los datos recopilados, se identificó las partes del motor dañadas con mayor frecuencia que necesitan reparación y que se analizarán en detalle durante la vida útil.

A continuación, se muestra la encuesta aplicada:

Tabla 12. Encuesta para Mecánicos de Tractores Agrícolas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ	
ENCUESTA DE FALLAS COMUNES EN TRACTORES AGRÍCOLAS	
Mecánico:	
Lugar de trabajo:	
Encuestador:	
1	¿Cuáles son las fallas más comunes en motor del tractor?
2	Técnicamente y según su experiencia ¿Cuáles son las horas de trabajo en la que se producen con mayor o menor frecuencia averías en el motor del tractor?
3	¿Cuántas horas de trabajo deben transcurrir para efectuar una reparación en un motor de un tractor?
4	¿Cree usted, que las fallas se originan por falta de mantenimiento preventivo?
5	¿Usted considera si realizando un mantenimiento predictivo se solucionarían los problemas que habitualmente se originan en los componentes del motor?

3.5.2 Encuesta Dirigida a Operadores de Tractores Agrícolas

Esta encuesta solicito del apoyo de conductores con muchos años de experiencia trabajando con maquinaria agrícola. El objetivo de la encuesta de la tabla 13, es revelar los daños más comunes en el motor de un tractor cuando ha estado laborando, con este análisis de los datos recolectados, se pueden identificar las partes del motor que más sufren averías y que necesitan analizarlas en detalle durante la vida útil de la máquina.

Tabla 13. Encuesta para Operadores de Tractores Agrícolas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

ENCUESTA DE FALLAS COMUNES EN TRACTORES AGRÍCOLAS

Conductor:
Encuestador:

1	¿Ha experimentado problemas en el motor de su tractor?
2	¿Cree usted, que los problemas se generan en los motores es por la operación incorrecta del tractor?
3	¿En cuántas horas de trabajo ha experimentado más fallas en el motor?
4	¿Ha experimentado problemas en el motor en otras máquinas agrícolas que tengan características técnicas similares?
5	¿En qué le perjudica a usted directamente los problemas que se presentan a menudo en el motor del tractor?

3.5.3 Defectología en motores de tractor CASE IH Farmall T6.110A

En tabla 14, muestra un análisis detallado de las posibles causas de varios problemas que puede experimentar un tractor agrícola CASE IH Farmall T6.110A. Se explican claramente las posibles causas de problemas como el difícil arranque, falta de potencia, pulsación del motor, sobrecalentamiento, baja presión de aceite del motor, exceso de aceite del motor y consumo de combustible. La mayoría de estos problemas están relacionados con el sistema de combustible, como la calidad del combustible, los filtros obstruidos, los inyectores y la bomba de inyección de combustible defectuoso, y también se mencionan otros factores como la sobrecarga del motor, los accesorios desalineados y

los problemas de refrigeración. Para prevenir y eliminar estos problemas del tractor, es importante conocer estas posibles causas y realizar un mantenimiento regular y cuidadoso.

Tabla 14. Análisis de Fallas en el Motor de un Tractor Farmall T6.110 A [29].

ANÁLISIS DE FALLAS DEL TRACTOR CASE IH FARMALL T6. 110 a	
PROBLEMA	CAUSA POSIBLE
El motor no arranca o arranca con dificultad	Procedimiento de arranque incorrecto. Combustible bajo o agotado. Aire en las tuberías de combustible. Temperatura ambiente baja. Sistema de combustible contaminado. Filtro (s) de combustible contaminado(s). Avería en la bomba de combustible o en los inyectores. Avería en el solenoide del combustible o en los inyectores. El aceite del motor tiene una viscosidad incorrecta. Combustible incorrecto para la temperatura de funcionamiento.
El motor funciona con dificultad y/o se cala	Filtros de combustible obstruidos. Sistema de combustible contaminado. Solenoide de combustible instalado incorrectamente. Orificio de ventilación del tapón del combustible bloqueado.
Al motor le falta potencia	Motor sobrecargado. Purificador de aire bloqueado. Temperatura de funcionamiento del motor baja. Sobre calentamiento del motor. Filtro (s) de combustible obstruido (s). Combustible incorrecto. Avería en los inyectores de combustible. Averías en la bomba de inyección de combustible. Ajuste de velocidad máxima “sin carga” muy bajo. Avería en el turbocompresor. Accesorio mal ajustado
Pulsación del motor	Ajuste de la bomba de inyección del combustible. Nivel de aceite del motor bajo. Presión del aceite del motor bajo. Temperatura de funcionamiento del motor bajo. Sobre calentamiento del motor
Sobre calentamiento del motor	Nivel de aceite del motor bajo. Nivel del refrigerante del motor bajo. Termostato (s) Defectuoso(s). Núcleo del radiador sucio u obstruido. Sobrecarga excesiva del motor. Tapón de presión del radiador defectuoso. Sistema de refrigeración bloqueado. Correa principal del motor floja o desgastada. Fuga en la manguera o conexión. Avería en el indicador o el sensor de temperatura.
Presión baja del aceite del motor	Bajo nivel de aceite. Aceite de tipo o viscosidad incorrecta.
Excesivo consumo de aceite de motor	Nivel excesivo de aceite del motor. Aceite de tipo o viscosidad incorrecta. Avería en el turbocompresor. Perdidas exteriores del aceite. Juntas/guías de la válvula desgastadas.
Consumo excesivo de combustible	Temperatura de funcionamiento del motor baja. Avería en el turbocompresor. Motor sobrecargado. Purificador de aire bloqueado. Combustible incorrecto. Avería en los inyectores de combustible. Averías en la bomba de inyección de combustible. Fuga en el colector de admisión o escape de aire. Accesorio ajustado incorrectamente.

3.6. Simulación de Fallos y Procedimientos

3.6.1 Filtro de Aire

Es importante destacar que la simulación de fallas en un motor es una herramienta útil para evaluar el rendimiento de este ante situaciones adversas. En este caso, se utilizó un

filtro de aire saturado para simular una falla en el sistema de alimentación del motor del tractor como se ve en la figura 18. Es bien sabido que el filtro de aire es un componente crucial en el funcionamiento del motor, ya que permite el ingreso de aire limpio y filtrado a las cámaras de combustión para una adecuada combustión del combustible. Si el filtro de aire se satura, se reduce el flujo de aire y, por ende, la cantidad de oxígeno disponible para la combustión. Esto puede provocar una mala combustión, un rendimiento pobre del motor y una falla en el sistema de alimentación del motor.



Fig. 18. Cambio de filtros saturados

3.6.2. Inyectores

En la figura 19 se muestra la modificación de la presión de apertura de los inyectores es una técnica utilizada para simular fallas en el sistema de combustible. Al despresurizar la presión de ingreso del flujo de combustible hacia las cámaras, se puede simular una falla en el sistema de inyección de combustible que se presenta cuando la presión no es suficiente para garantizar una adecuada pulverización del combustible. Este tipo de falla puede ser causado por una variedad de factores, como la obstrucción de los inyectores o una presión insuficiente en la bomba de combustible. Al realizar esta simulación, se puede determinar si el sistema de inyección de combustible está funcionando correctamente y si es necesario realizar ajustes o reparaciones para evitar fallas reales en el futuro.



Fig. 19. Apertura de Inyectores

3.7. Medición de Vibraciones

Para realizar las medidas necesarias en el mantenimiento de tractores agrícolas, se deben considerar ciertas consideraciones técnicas. En este caso, como se ve en la figura 20 se deben seleccionar puntos estratégicos ubicados fuera del bloque del motor, los cuales estarán alineados con los cilindros y el pistón. Se deben elegir un punto de referencia central para la toma de datos, siendo uno de ellos en el lado derecho del motor en PMS.

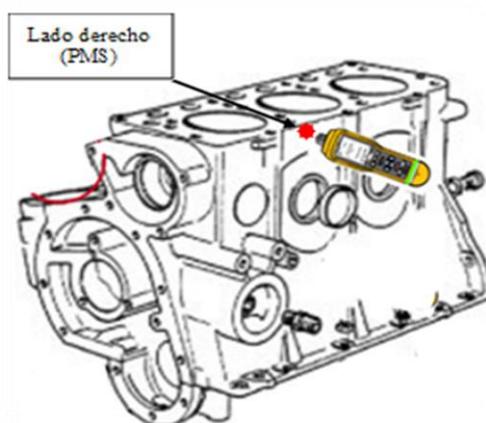


Fig. 20. Puntos de medición en el bloque motor[62].

3.7.1. Procedimiento de Medición

Para proceder a ejecutar una adecuada medición en los tractores se siguió el siguiente método:

- 1.- El tractor debe ser estacionado en un lugar bien ventilado y seguro.
- 2.- El tractor y sus partes no deben estar sucias o contaminadas.
- 3.- Realizar una inspección técnica del estado físico del tractor antes de encenderlo.
- 4.- Encender el motor del tractor.
- 5.- Esperar un tiempo para alcanzar la temperatura adecuada de trabajo en ralentí.
- 6.- Ubicar el equipo de análisis de vibración en los puntos de medición en el motor del tractor.

3.7.2. Toma de Datos

Las mediciones de vibraciones de motores de tractores agrícolas se ejecutan para que se pueda realizar una prueba adecuada para evaluar su eficacia en la predicción de fallas utilizando el medidor de vibraciones Fluke 805 FC, mediante los siguientes pasos como indica la figura 21.

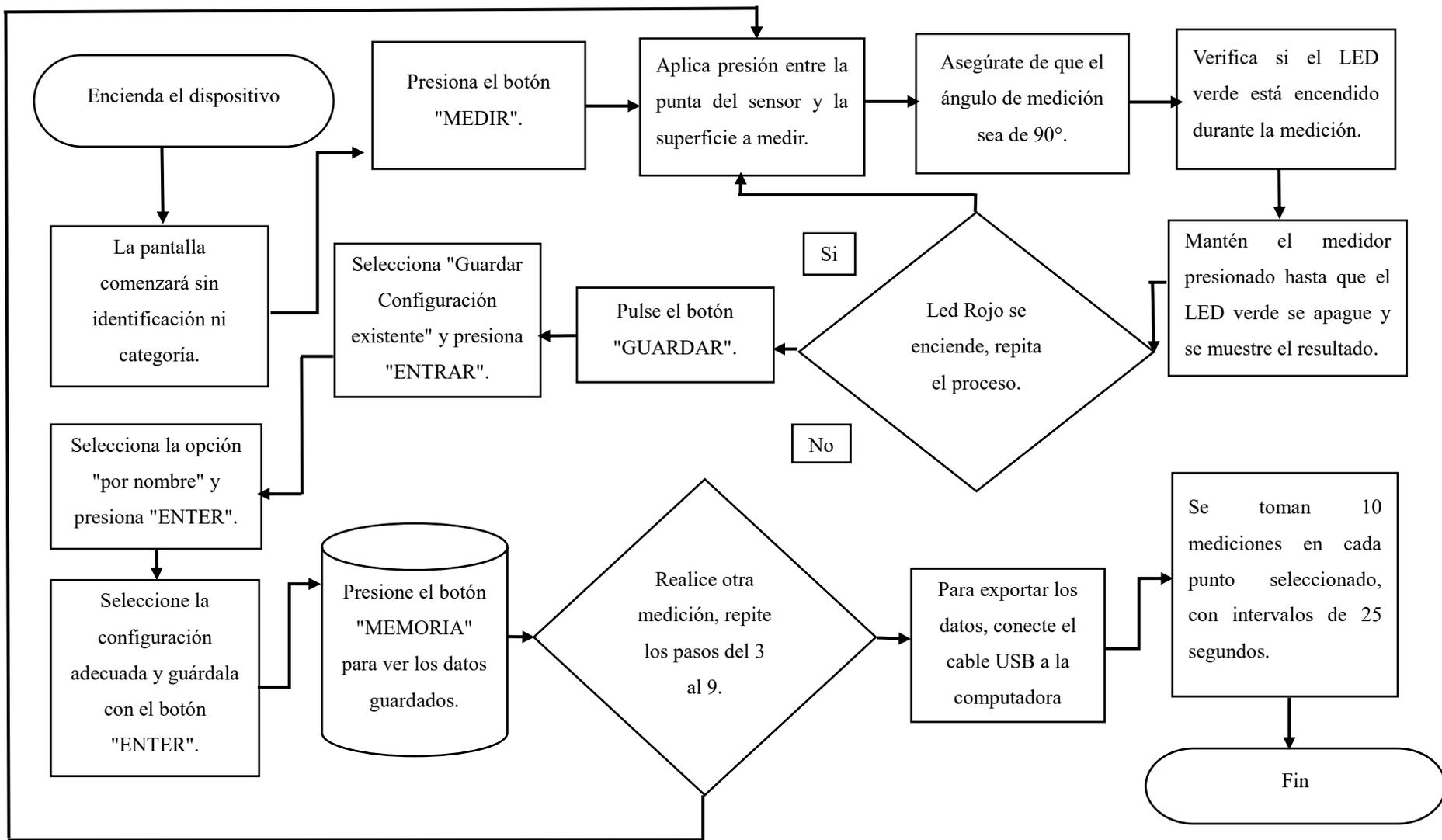


Fig. 21. Flujograma de pasos para la toma de datos de vibración[59].

3.7.3. Datos a Obtener

Después de una medición realizada con el analizador de vibraciones Fluke 805, los datos obtenidos se exportan a una computadora a través de una conexión USB o Bluetooth. Para hacer esto, debe descargar una plantilla de Microsoft Excel en Internet desde la página oficial de la marca del equipo, conectar la computadora y el equipo de medición con un cable USB para exportar los datos obtenidos al medir el bloque del motor del tractor y proceder al análisis para mostrarlo gráficamente



Fig. 22. Obtención de datos desde el equipo a la computadora [59].

3.7.4. Anomalías en el Tractor Agrícola

Problema en la Alimentación de Aire

Para el análisis de vibraciones, se indujo una falla en el sistema de admisión para revelar los posibles parámetros de vibración de este sistema. En este caso, el cambio de vibración puede ser causado por el filtro contaminado de impurezas que impide una adecuada entrada de aire al circuito de alimentación del motor.

Problema en el Sistema de Inyección de Combustible

Las pruebas se realizaron con un analizador de vibraciones Fluke 805 FC en los componentes más propensos a fallar en el sistema de inyección como son los propios inyectores, lo que puede causar vibraciones que nos permiten realizar un diagnóstico del estado de funcionamiento de los inyectores.

3.7.5. Análisis con el Tractor en Buen Estado

A continuación, en la figura 23, se presentan la toma de datos de vibraciones mecánicas obtenidos en un tractor en buenas condiciones de trabajo, los cuales se utilizan como referencia para detectar las vibraciones de estos valores cuando algún componente se encuentra en mal estado, provocando que el tractor agrícola funcione de manera ineficiente



Fig. 23. Punto de Medición en el PMS.

3.8. Medición de Termografía

La medición termográfica se basa en la obtención de información sobre el conocimiento de las condiciones de funcionamiento del motor, a partir del análisis de los cambios de temperatura en puntos calientes referenciales para la toma de datos, que determinan errores relacionados en el sistema de alimentación y escape, ya que los problemas del proceso de combustión no son detectables.

3.8.1. Procedimiento de Medición

Para proceder a ejecutar una adecuada medición termográfica en los tractores se realizó los siguientes pasos:

- 1.- El tractor debe ser estacionado en un lugar bien ventilado y seguro.
- 2.- El tractor y sus partes no deben estar sucias o contaminadas.
- 3.- Realizar una inspección técnica del estado físico del tractor antes de encenderlo.

- 4.- Encender el motor del tractor.
- 5.- Esperar entre 15 y 20 minutos para garantizar el rango térmico de funcionamiento del motor.
- 6.- Medir la temperatura del motor para obtener una referencia del funcionamiento óptimo de los sistemas de alimentación y escape del motor.
- 7.- Realizar simulaciones de averías en el sistema de alimentación y el de escape.

3.8.2. Toma de Datos

Para la toma de datos se contó con un motor de tractor agrícola CASE IH Farmall T6.110-A para monitorear y analizar el estudio de imágenes térmicas. Esto se debe a que el uso de la tecnología de termografía infrarroja en el sistema de alimentación y escape ha simplificado muchas tareas. La cámara térmica IR0019, diseñada para detectar puntos calientes en áreas problemáticas, se puede utilizar para garantizar el correcto funcionamiento e identificar posibles problemas en la máquina, mediante los siguientes pasos indicados en la figura 24.

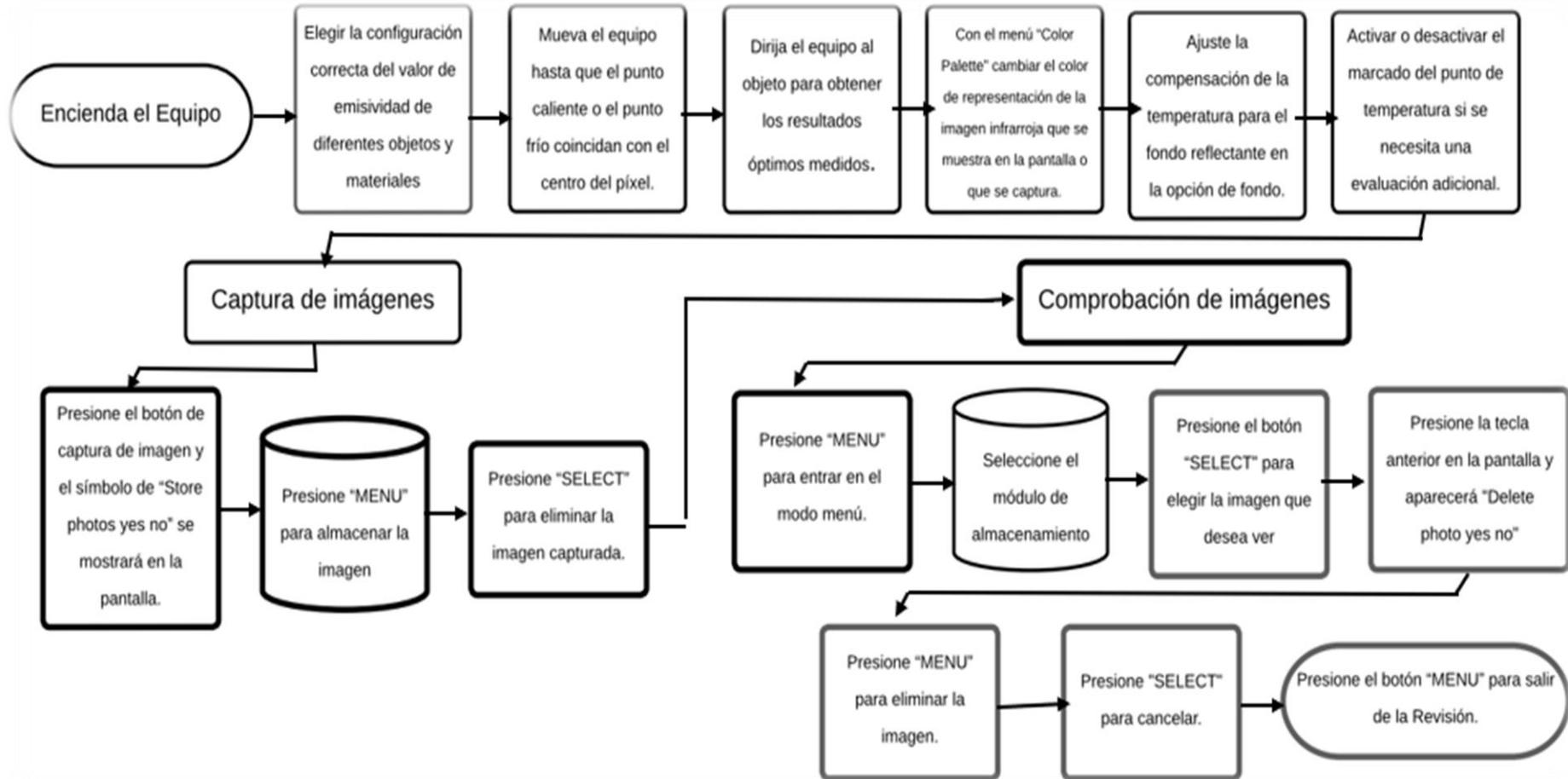


Fig. 24. Flujo Grama para Realizar la Toma de Datos de Termografía[60].

3.8.3. Anomalías en el Tractor

Problema en la Alimentación de Aire

Con el objetivo de analizar los parámetros de temperatura del sistema de alimentación de aire de un motor, es común inducir una falla en la entrada de aire para evaluar su impacto. En este caso particular, se logra un cambio de temperatura al saturar el filtro de aire con impurezas que obstruyen el flujo de aire hacia el motor.

Este método de inducción de fallas se utiliza para simular las condiciones de operación reales del motor en situaciones extremas, como las que se pueden presentar en el campo. La acumulación excesiva de suciedad en el sistema de admisión de aire del motor puede generar problemas en su eficiencia y vida útil.

Para simular este escenario, se procede a saturar el filtro de aire con polvo obtenido del trabajo rutinario que realiza el tractor en el campo, lo que impide un acceso adecuado de aire al circuito de alimentación del motor y genera un cambio en los parámetros de temperatura del sistema.

Problema en el Sistema de Inyección de Combustible

Para provocar un fallo en los inyectores de un motor, se realiza un proceso de despresurización del sistema de combustible. Este procedimiento se lleva a cabo aflojando el perno de conexión del sistema de inyección de combustible del motor. Al aflojar este perno, se libera la presión del sistema de combustible, lo que puede provocar una entrada inadecuada de combustible al motor y, por lo tanto, generar un fallo en los inyectores.

Es importante destacar que la presión del sistema de combustible es un factor crítico en el proceso de inyección de combustible en los motores de combustión interna. Si la presión del sistema de combustible no es adecuada, la cantidad de combustible que se inyecta al motor no será la adecuada para su correcta combustión.

Es por esta razón que se afloja el perno de conexión para despresurizar el sistema, lo que permite identificar posibles fallos en los inyectores del motor.

A continuación, en la figura 25 se muestran la ubicación y la dirección de la cámara termográfica para la obtención de los resultados de la termografía en un tractor en buen funcionamiento de trabajo, las cuales se utilizan como referencia para distinguir las diferencias de temperatura cuando algún componente se encuentra en mal estado, induciendo que el tractor funcione de manera irregular.

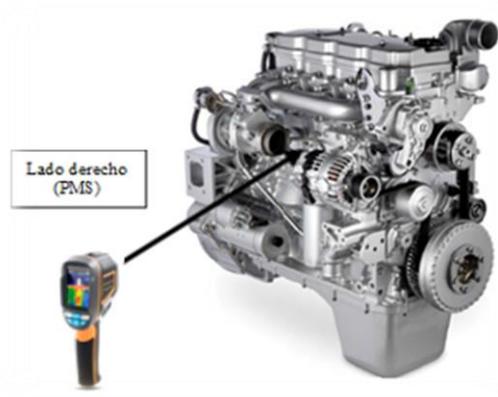


Fig. 25. Punto de medición en el PMS [62].

3.9. Medición del Análisis de Aceite

El análisis de aceite es crucial para evaluar el estado de los lubricantes en tractores agrícolas, proporcionando información para tomar decisiones y diagnosticar el desgaste. Registrar las horas de uso del tractor es esencial para el mantenimiento adecuado, realizar pruebas comparativas en tractores en buen y mal estado permite identificar áreas desgastadas y obtener conclusiones valiosas sobre el impacto del desgaste en el rendimiento. Estas prácticas son fundamentales para el mantenimiento preventivo y la optimización de los tractores agrícolas.

3.9.1. Procedimiento de Medición

Para proceder a tomar una buena muestra de aceite en los tractores se siguió los siguientes pasos:

- 1.- El tractor debe ser estacionado en un lugar bien ventilado y seguro.
- 2.- El tractor y sus partes donde se recolectará la muestra no deben estar sucias o contaminadas.
- 3.- Revisar el nivel de aceite
- 4.- Encender el motor del tractor.
- 5.- Esperar que el motor llegue a su temperatura normal de funcionamiento.
- 6.- La muestra debe tomarse con el motor apagado.
- 7.- El punto de la toma de la muestra será en la bayoneta medidora del nivel de aceite.

3.9.2. Toma de Muestra de Aceite

Como una parte importante del muestreo de aceite del sistema de lubricación a partir de la verificación del aceite utilizado, En la figura 26 no indica como se inicia con la toma de muestras de aceite en el motor del tractor agrícola CASE IH Farmall T6.110-A, para enviar las mismas al laboratorio y poder determinar sus condiciones físico- químicas juntamente con los niveles de presencia de los metales de desgaste, mediante el siguiente proceso de recolección de muestras:

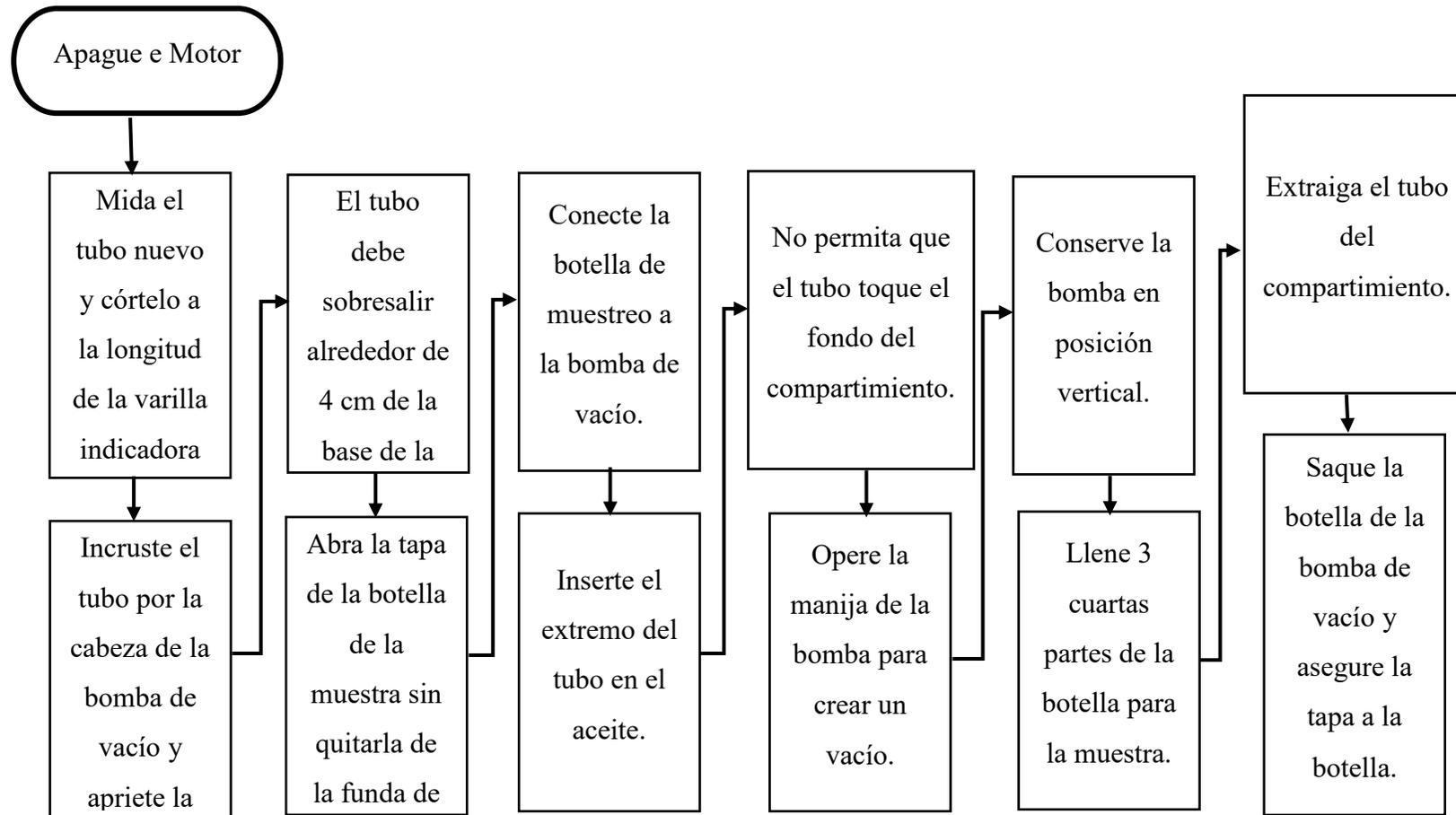


Fig. 26 Flujoograma para obtener la muestra de aceite.

3.9.3. Parámetros que se tomó en Cuenta en el Análisis de Aceite

Los siguientes parámetros son fundamentales para evaluar la calidad y el estado del aceite lubricante en un tractor agrícola. Al analizarlos, se puede determinar la necesidad de cambio de aceite, detectar problemas de desgaste y tomar acciones correctivas para mantener el motor en óptimas condiciones de funcionamiento. En la tabla 15 se muestra los rangos de los parámetros de metales y contaminantes en el aceite para el motor Diesel Case IH Farmall T6.110A, incluyendo los valores mínimos, normales y sus límites.

Los parámetros clave a considerar para realizar un análisis de aceite son los siguientes:

Tabla 15. Parámetros de materiales para el análisis de Aceite [63].

Símbolo	Nombre	Mínimo (ppm)	Normal (ppm)	Límite (ppm)
Cu	Cobre	0	5-15	30
Fe	Hierro	0	10-30	50
Cr	Cromo	0	0-1	5
Al	Aluminio	0	5-15	30
Pb	Plomo	0	1-5	10
Sn	Estaño	0	1-5	10
Si	Silicio	0	10-20	50
Na	Sodio	0	5-15	30
K	Potasio	0	5-15	30
Mo	Molibdeno	0	5-10	20
Ni	Níquel	0	0-1	5
Ag	Plata	0	0-1	5
Ti	Titanio	0	0-1	5
V	Vanadio	0	0-1	5
Mn	Manganeso	0	0-5	20
Cd	Cadmio	0	0-1	5
Ca	Calcio	1000	1800-2500	4000
P	Fosforo	800	1000-1500	3000
Zn	Zinc	900	1300-1600	2000
Mg	Magnesio	80	100-200	500
Ba	Bario	0	0-1	5
B	Boro	0	10-20	50

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Introducción

En el presente apartado se muestra los resultados obtenidos de la encuesta realizada a los operarios y mecánicos de tractores agrícolas, como también los niveles de vibración mecánica, termografía y análisis de aceite durante el funcionamiento óptimo del tractor y en situaciones donde los sistemas de admisión de aire, inyección de combustible y lubricación presentaron fallos.

Para realizar un diagnóstico apropiado del motor de combustión, se utilizarán los datos recopilados en distintas áreas de este. En este sentido, se exhiben los resultados de las encuestas realizadas sobre cada pregunta formulada, y se analizan las vibraciones mecánicas, termografía en el PMS y análisis de aceite. Todo esto se mostrará en gráficas de línea de tiempo para poder visualizar la variación de los valores obtenidos en las diferentes condiciones de operación del motor del tractor agrícola.

4.2 Análisis de las Encuestas

Se hicieron encuestas dirigidas a mecánicos y operadores con amplia experiencia en el uso de tractores agrícolas, para recopilar información sobre las fallas más comunes durante su tiempo de trabajo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

4.2.1 Encuestas Aplicadas a Mecánicos

El objetivo de la encuesta realizada a los mecánicos del sector es identificar las fallas habituales del tractor, para seleccionar los componentes del motor que experimentan daños con mayor frecuencia y que requieren examinarlos minuciosamente durante su vida útil. A continuación, se presentan los resultados correspondientes a cada pregunta formulada:

Pregunta 1: ¿Cuáles son las fallas más comunes en motor del tractor?

En la figura 27, Tras consultar a los mecánicos expertos en motores de tractores agrícolas, se ha identificado cuáles son las averías más frecuentes que suelen presentarse. Según los resultados obtenidos, el 70% de los mecánicos considera que las fallas más comunes se encuentran en el sistema de inyección de combustible, tales como la contaminación del combustible, el desgaste de la bomba de combustible y la obstrucción de los inyectores. El 25 % de los mecánicos indicaron que las fallas están en el sistema de lubricación, causadas por desgaste excesivo, sobrecalentamiento, contaminación del aceite y falta de

lubricación. Finalmente, el 5% de los mecánicos mencionaron que las fallas se encuentran en el sistema de alimentación, esto se debe a la obstrucción del paso de aire causada por filtros de aire saturados.

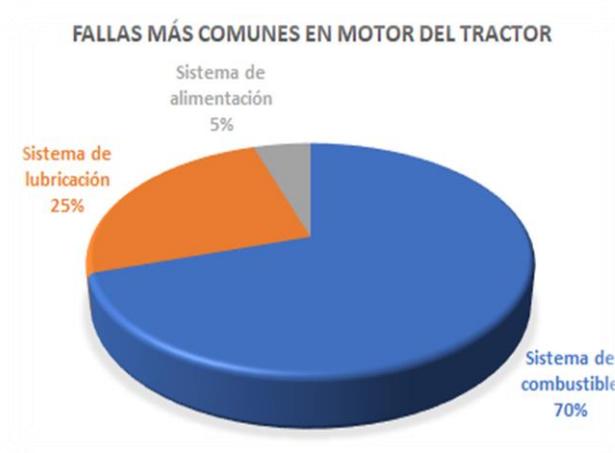


Fig. 27. Fallas más Comunes en Motor del Tractor.

Pregunta 2. ¿Cuáles son las horas de trabajo en las que se producen con mayor frecuencia averías en el motor del tractor?

En la figura 28 se muestra según la opinión de los mecánicos de tractores agrícolas, en su mayoría, un 85 % de ellos están de acuerdo en que las averías en el motor del tractor son más habituales tras largas horas de trabajo continuo, especialmente cuando se sobrepasan las recomendadas por el fabricante para mantenerlo. Las fallas mecánicas en el motor suelen ocurrir con mayor frecuencia después de que el tractor recorriera más de 7.000 horas de trabajo sin realizar el mantenimiento necesario. Sin embargo, un 15% de los mecánicos consideran que las primeras horas de trabajo son las más críticas para el motor, ya que durante este periodo se ajustan y asientan las diferentes piezas del motor.



Fig. 28. Horas que se producen mayor frecuencia de averías en el motor.

Pregunta 3: ¿Cuántas horas de trabajo deben transcurrir para efectuar una reparación en un motor de un tractor?

En la figura 29, se muestra los resultados obtenidos, el 60% de los mecánicos especializados en tractores agrícolas recomiendan realizar reparaciones en el motor a partir de las 20 mil horas, siempre y cuando durante este tiempo el motor haya recibido un buen mantenimiento preventivo y correctivo. Por otro lado, el 30% de los mecánicos señalan que se deben realizar reparaciones a partir de las 13 mil horas en motores que no hayan tenido un buen mantenimiento. El 10 % restante de los mecánicos sostiene que no hay un límite definido de horas de trabajo para reparar el motor, sino que depende de la adecuada realización de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados en el motor.



Fig. 29. Horas de Trabajo Antes de una Reparación.

Pregunta 4: ¿Cree usted, que las fallas se originan por falta de mantenimiento preventivo?

En la figura 30, se muestra los resultados, el 60 % de los mecánicos encuestados confían en que la falta de mantenimiento preventivo es la causa de las fallas en los tractores agrícolas. Por otro lado, el 25% considera que las fallas se deben a factores externos como el uso de piezas de baja calidad. Por último, un 15% cree que la mala operación del tractor es la causa principal de las fallas. Estos resultados indican la importancia de un adecuado mantenimiento preventivo y de una correcta operación del tractor para evitar posibles fallas y prolongar la vida útil del equipo.

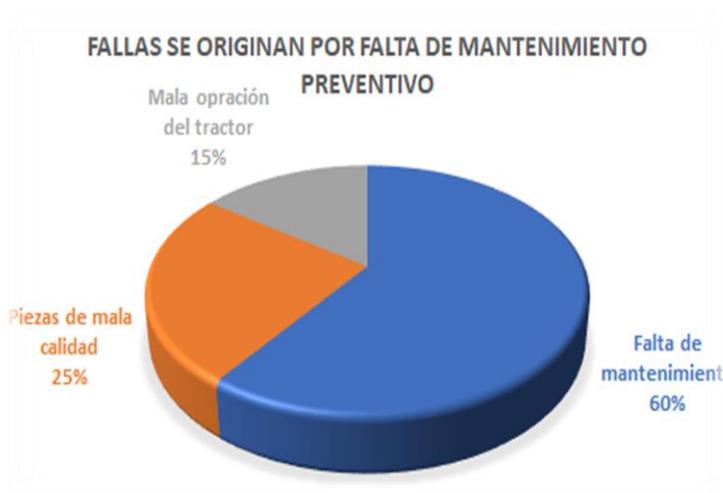


Fig. 30. Fallas por falta de mantenimiento preventivo.

Pregunta 5. ¿Usted considera si realizando un mantenimiento predictivo se solucionarían los problemas que habitualmente se originan en los componentes del motor?

En la figura 31, se muestran los resultados de nuestra encuesta, el 75% de los mecánicos entrevistados concuerdan en que un mantenimiento predictivo es efectivo para prevenir la mayoría de los problemas que se presentan en los componentes del motor. Sin embargo, el 15% de los mecánicos encuestados no saben la eficacia de esta técnica por su falta de experiencia y conocimiento en el tema. Por otro lado, un pequeño porcentaje de mecánicos, el 10%, considera que el mantenimiento predictivo no es efectivo para prevenir problemas en los componentes del motor.



Fig. 31. Mantenimiento Predictivo para la solución de Problemas.

4.2.2 Encuestas Aplicadas a Operarios

Mediante la aplicación de encuestas a los operadores de tractores agrícolas, se ha logrado identificar los problemas más recurrentes que han enfrentado en su larga experiencia.

Gracias al uso de técnicas de mantenimiento predictivo, se puede monitorear el rendimiento y la durabilidad de los componentes del motor. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Pregunta 1. ¿Ha experimentado problemas en el motor de su tractor?

En la figura 32, se muestra que el 90 % de los encuestados ha tenido problemas en el motor de su tractor en algún momento, mientras que el 10 % restante no lo ha tenido.



Fig. 32. Experiencia de problemas en el motor del tractor.

Pregunta 2. ¿Cree usted, que los problemas se generan en los motores es por la operación incorrecta del tractor?

Tras una encuesta entre operarios de tractores agrícolas mostrados en la figura 33, el 60 % cree que los problemas en los motores los causan una operación incorrecta del tractor. Esto sugiere que una buena capacitación y entrenamiento en el uso adecuado del equipo puede ayudar a prevenir daños costosos en el motor. Por otro lado, el 30% de los operadores señalaron que los problemas en los motores pueden ser atribuidos a otros factores, especialmente a un mantenimiento inadecuado. Este hallazgo resalta la importancia de seguir prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo para garantizar un rendimiento óptimo del motor. Finalmente, el 10% de los operadores no estaban seguros de la causa de los problemas en los motores, lo que indica la necesidad de brindar una mayor educación y capacitación en el mantenimiento y uso del tractor.



Fig. 33. Generación de problemas en motores por operación incorrecta.

Pregunta 3. ¿En cuántas horas de trabajo ha experimentado más fallas en el motor?

Según los resultados mostrados en la figura 34, de la encuesta, se puede afirmar que el 70% de los operarios ha experimentado más fallas en el motor de la maquinaria a partir de las 7.000 horas de trabajo, lo que indica que esa cantidad marca un punto crítico en el desempeño de la maquinaria. Por otro lado, el 30% restante ha experimentado más fallas desde las 10000 horas de trabajo, lo que sugiere que se debe prestar especial atención a los mantenimientos preventivos para asegurar una prolongada vida útil del motor.



Fig. 34. Horas de Trabajo con más Fallas en el Motor.

Pregunta 4. ¿Ha experimentado problemas en el motor en otras máquinas agrícolas que tengan características técnicas similares?

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 35, de la encuesta, podemos concluir que el 90% de los operarios ha experimentado problemas en el motor en otras máquinas agrícolas que tengan características técnicas similares. Esto indica que los problemas en

el motor pueden ser comunes en este tipo de maquinaria y pueden deberse a factores técnicos comunes. El 10 % de los operarios no ha tenido los mismos problemas de fallas en otros tractores similares, lo que puede indicar que la calidad y el mantenimiento adecuados pueden ser factores importantes para prevenir fallas en el motor en estas máquinas. Es importante tener en cuenta estas estadísticas al seleccionar y mantener maquinaria agrícola para mejorar su rendimiento y reducir el tiempo de inactividad debido a fallas en el motor.



Fig. 35. Experiencias Similares de Fallas en Distintos Tractores.

Pregunta 5. ¿Cómo le afectan directamente a usted los problemas recurrentes en el motor de su tractor?

Según los resultados mostrados en la figura 36, de la encuesta, el 60 % de los operadores ha manifestado que los problemas recurrentes en el motor de su tractor les afectan en tiempos inactivos no planificados, lo que se traduce en la imposibilidad de completar el trabajo en el campo en el tiempo establecido. Esto puede tener un impacto negativo en la productividad y en la rentabilidad del negocio agrícola. Por otro lado, el 20% de los operadores encuestados han indicado que los problemas recurrentes en el motor afectan directamente los costos de mantenimiento y reparación del tractor. Estos costos adicionales pueden ser significativos para el negocio y pueden afectar la rentabilidad a largo plazo. Asimismo, el 20% restante de los operadores manifiestan que los problemas recurrentes en el motor afectan la eficiencia y el rendimiento del tractor, lo que puede resultar en una disminución en la productividad en el campo. Esto puede afectar la calidad y cantidad de la producción agrícola, lo cual puede tener un impacto negativo en la rentabilidad del negocio.



Fig. 36. Afectaciones directas por fallas recurrentes en el motor.

4.3 Análisis de Vibración

Se realizaron estudios de análisis de vibración en tractores agrícolas, con el objetivo de identificar patrones anormales en los componentes mecánicos y prever fallas antes de que se conviertan en problemas críticos. Esta técnica se aplicó al motor para recopilar información sobre las vibraciones que suelen presentar fallas comunes durante el uso prolongado. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

4.3.1. Toma de Datos de vibración en el Punto Muerto Superior del Motor

La figura 37, muestra los resultados de las vibraciones mecánicas registradas por el dispositivo de análisis en el PMS del motor sometido a la prueba. Se puede identificar que los valores de vibración varían de 1,69 a 1,74 RMS (mm/s), producto del funcionamiento de los componentes que dispone el motor en la parte superior, tales como: el pistón, las válvulas, los inyectores y el mismo resultado de la combustión.

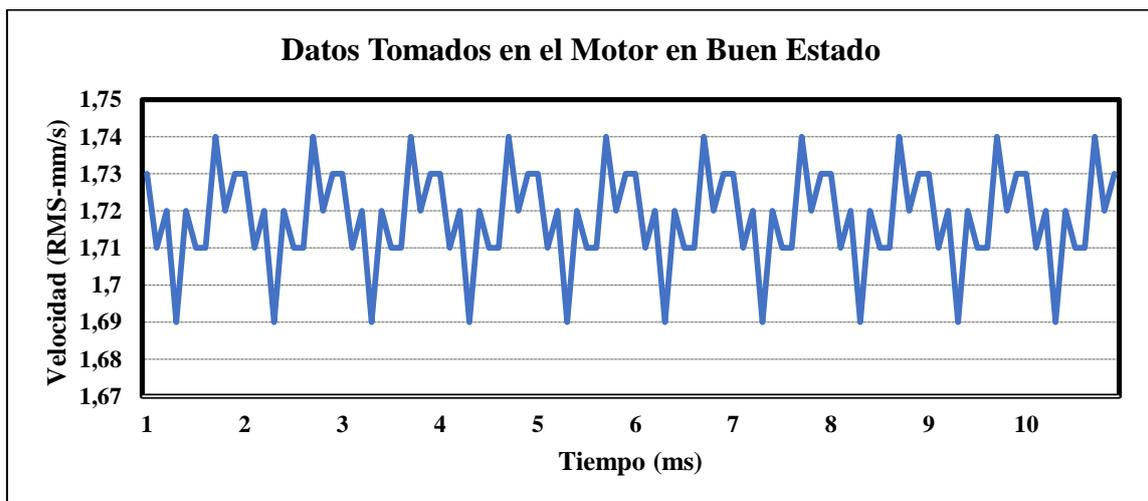


Fig. 37. Toma de Datos en el PMS.

El promedio de resultados es de 1.72 RMS, lo que indica que el nivel de vibración en la categoría seleccionada indica el modo óptimo de operación del motor según las condiciones de evaluación del estado de las partes de los mecanismos.

Tabla 16. Datos de vibración obtenidos con el motor en buen estado.

RPM	Velocidad (RMS-mm/s)	Unidad
800 RPM	1,73	RMS (mm/s)
	1,71	RMS (mm/s)
	1,72	RMS (mm/s)
	1,69	RMS (mm/s)
	1,72	RMS (mm/s)
	1,71	RMS (mm/s)
	1,71	RMS (mm/s)
	1,74	RMS (mm/s)
	1,72	RMS (mm/s)
	1,73	RMS (mm/s)

Se muestra los resultados de las mediciones de vibración en RMS en unidades de m/s^2 . En este caso, las comprobaciones se realizaron a una velocidad constante de 800 RPM y se tomaron 10 mediciones distintas de la vibración en mm/s en diferentes momentos. Los valores de la vibración en RMS se muestran en la tabla 16, que oscilan entre $1.69 m/s^2$ y $1.74 m/s^2$, lo que indica que hay variación en la vibración en el sistema en diferentes momentos, pero está en un rango aceptable para la operación normal del motor.

4.3.2. Análisis en el Tractor con Filtro de Aire Saturado

Obtenidos los datos de vibración del motor en buen funcionamiento, se simula un sistema de falla en la entrada de aire con la utilización del filtro saturado para determinar la variación de los valores de vibración mecánica que se pueden registrar durante la entrada de aire al motor.

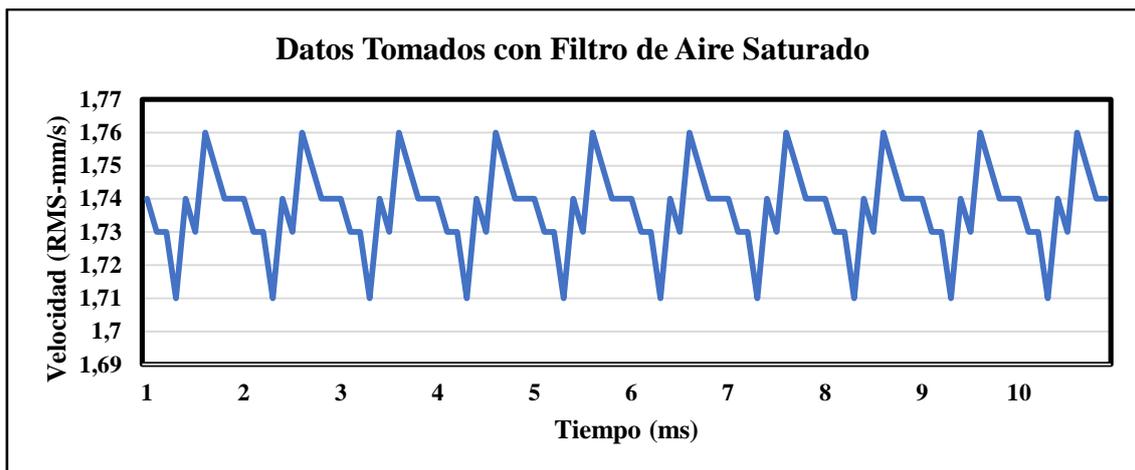


Fig. 38. Análisis en el Tractor con Filtro de Aire Saturado.

La figura 38, muestra El promedio de los resultados obtenidos que es de 1.74 RMS, lo que indica que el nivel de vibración en la categoría seleccionada, los resultados de las vibraciones mecánicas registradas en el (PMS) del motor cuando el filtro de aire está saturado. Se puede observar que los valores de vibración varían de 1,71 a 1,76 RMS, que luego se comparan con valores obtenidos en pruebas con el tractor en buenas condiciones de funcionamiento.

Tabla 17. Datos de Vibración Obtenidos con el Filtro de Aire Saturado.

RPM	Velocidad (RMS-mm/s)	Unidad
800 RPM	1,74	RMS (mm/s)
	1,73	RMS (mm/s)
	1,73	RMS (mm/s)
	1,71	RMS (mm/s)
	1,74	RMS (mm/s)
	1,73	RMS (mm/s)
	1,76	RMS (mm/s)
	1,75	RMS (mm/s)
	1,74	RMS (mm/s)
	1,74	RMS (mm/s)

La tabla 17, muestra los resultados de una simulación de falla por filtro saturado en un motor a una velocidad constante de 800 RPM. Se midió la velocidad de vibración en RMS en unidades de m/s² utilizando un instrumento de medición de vibraciones. Los valores de velocidad de vibración variaron entre 1.71 y 1.76 RMS (m/s²). Estos valores indican una mayor amplitud de vibración en comparación con los valores esperados para un motor

en buen estado. La simulación indica que un filtro de aire saturado o contaminado puede provocar una vibración excesiva en el motor, lo que puede llevar a un mal funcionamiento y, finalmente, a una falla en el sistema.

4.3.3. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector

En la figura 39, indica el promedio de los resultados obtenidos que es de 1.76 RMS, los resultados de vibraciones mecánicas obtenidos en el tractor simulando la falla del sistema de inyección para conocer el cambio de los valores de vibraciones que se pueden registrar en ausencia de inyección de combustible a la cámara de combustión. Asimismo, se utilizará como referencia para detectar fluctuaciones en estos valores cuando algún componente está en mal estado.

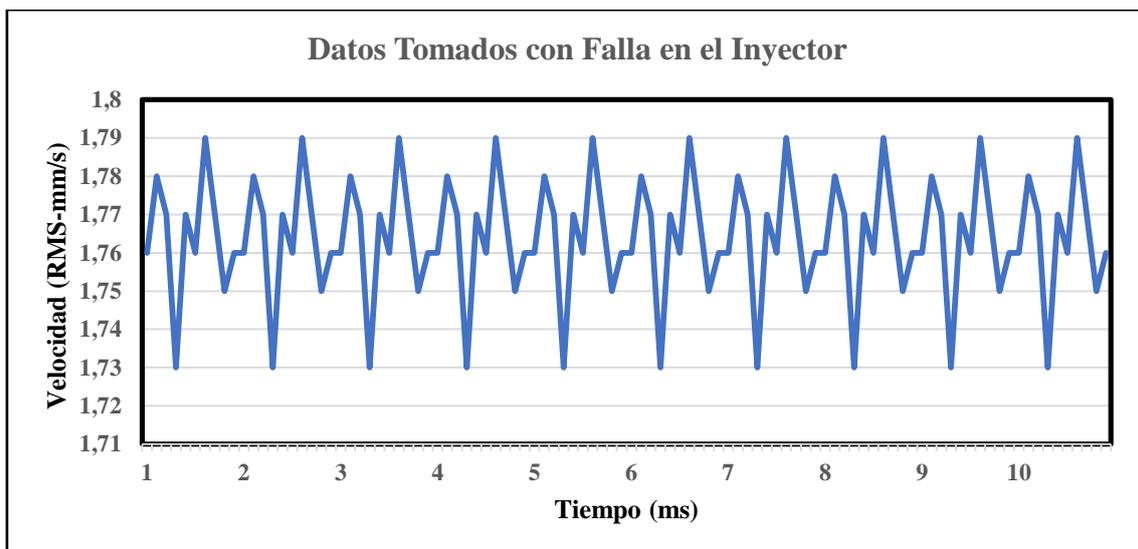


Fig. 39. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector.

Las vibraciones mecánicas registradas por el equipo de diagnóstico en el PMS se observan que los valores de vibración van desde 1.73 a 1.79 RMS. Estos valores se deben a la falta de combustible, lo que afecta directamente la combustión de la mezcla.

Tabla 18. Datos de vibración obtenidos con falla en el inyector.

RPM	Velocidad (RMS-mm/s)	Unidad
800 RPM	1,76	RMS (mm/s)
	1,78	RMS (mm/s)
	1,77	RMS (mm/s)
	1,73	RMS (mm/s)
	1,77	RMS (mm/s)
	1,76	RMS (mm/s)
	1,79	RMS (mm/s)
	1,77	RMS (mm/s)
	1,75	RMS (mm/s)
	1,76	RMS (mm/s)

Esta tabla 18, muestra los valores de velocidad (RMS-mm/s) registrados en un motor en falla simulada por la modificación de la presión de apertura de los inyectores. A una velocidad constante de 800 RPM, se registraron diez mediciones de vibración con valores que oscilan entre 1.73 y 1.79 RMS (m/s²). Se observa que los valores registrados son ligeramente superiores en comparación con la tabla anterior (falla por filtro de aire saturado), lo que indica que la falla simulada en este caso es diferente y está relacionada con un problema en los inyectores. Que los valores sean consistentes sugiere que la falla es constante en las RPM.

4.3.4. Promedio de Resultados del Análisis de Vibración en el Motor

En la figura 40, se aprecia claramente la diferencia de resultados entre las pruebas realizadas en un motor en buen estado, con el filtro saturado y con una falla en el inyector. Estos resultados se reflejan en los promedios obtenidos para la velocidad, expresados en RMS en milímetros por segundo. Para el motor en buen estado, el promedio de la velocidad es de 1.72 mm/s RMS, mientras que para el motor con el filtro saturado es de 1.74 mm/s RMS, y para el motor con la falla en el inyector es de 1.76 mm/s RMS. Estas diferencias en los promedios se deben a las distintas condiciones en las que se encuentra el motor en cada caso.

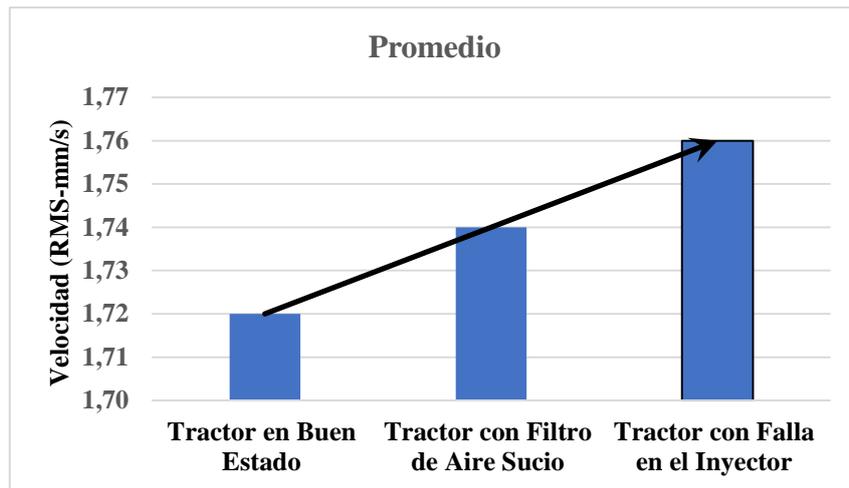


Fig. 40. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector.

4.4. Análisis general de Resultados de las Pruebas de Vibración en el Motor

La comparación de las mediciones de vibración en diferentes condiciones del motor. Se tomó como referencia un tractor en buen estado y se realizaron mediciones adicionales en situaciones de falla.

Los datos se dividen en tres conjuntos. El primer conjunto muestra la vibración en un motor en buen estado a 800 RPM. Los otros dos conjuntos representan la vibración en condiciones de falla debido a un filtro de aire saturado o contaminado, y una falla en el inyector causada por una modificación en la presión de apertura.

En el primer conjunto de datos, la vibración medida en el motor en buen estado varía ligeramente, con valores que se mantienen entre 1,69 y 1,74 RMS (m/s^2). Estos valores uniformes indican un motor que funciona de manera consistente y estable. En el motor en buen estado, su rendimiento y la vibración son óptimos, lo que se refleja en valores promedio de 1.72 más bajos de RMS de la velocidad en mm/s.

En el segundo conjunto de datos, que corresponde al motor con un filtro de aire saturado o contaminado, se puede observar un incremento leve en la vibración RMS en comparación con el motor en buen estado. Este aumento en la vibración se debe a una combustión deficiente causada por la falta de flujo de aire adecuado hacia las cámaras de compresión. Esto se ve reflejado en un aumento promedio de 1.74 mm/s RMS en la velocidad. Los valores de vibración oscilan entre 1.71 mm/s y 1.76 mm/s RMS, lo que representa un aumento promedio del 1.16% en la vibración RMS. Este incremento puede atribuirse a la reducción del flujo de aire debido al filtro obstruido, lo cual afecta la calidad de la combustión.

En el tercer conjunto de datos, que corresponde a la vibración del motor con una falla en el inyector debido a la modificación de la presión de apertura, se puede observar un incremento significativo en la vibración RMS en comparación con el motor en buen estado de promedio de 1.76 mm/s más altos en la velocidad RMS. Los valores de vibración varían entre 1.73 mm/s y 1.79 mm/s RMS, lo que representa un aumento promedio del 2.33% en la vibración RMS. Este aumento se debe a una combustión deficiente causada por la modificación de la presión de apertura de los inyectores, lo cual afecta la cantidad de combustible inyectado en el motor y, por consiguiente, su eficiencia.

4.5. Análisis de Termografía

Se realizaron estudios de termografía en tractores agrícolas con el fin de identificar anomalías térmicas en los componentes mecánicos, que pueden ser indicativas de fallas inminentes. Esta técnica permite detectar puntos de sobrecalentamiento en motores y otras partes críticas, proporcionando información valiosa para prevenir problemas mayores. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de estos análisis.

4.5.1. Toma de Datos de Termografía en el PMS del Motor

En la figura 41 se muestra los efectos de las temperaturas obtenidas por la cámara en el PMS del motor puesto a prueba. Se puede identificar que los valores de temperatura que oscilan entre 100.6 °C a 108.7 °C, es producto del funcionamiento normal de los mecanismos que tiene el motor y la derivación de la combustión.

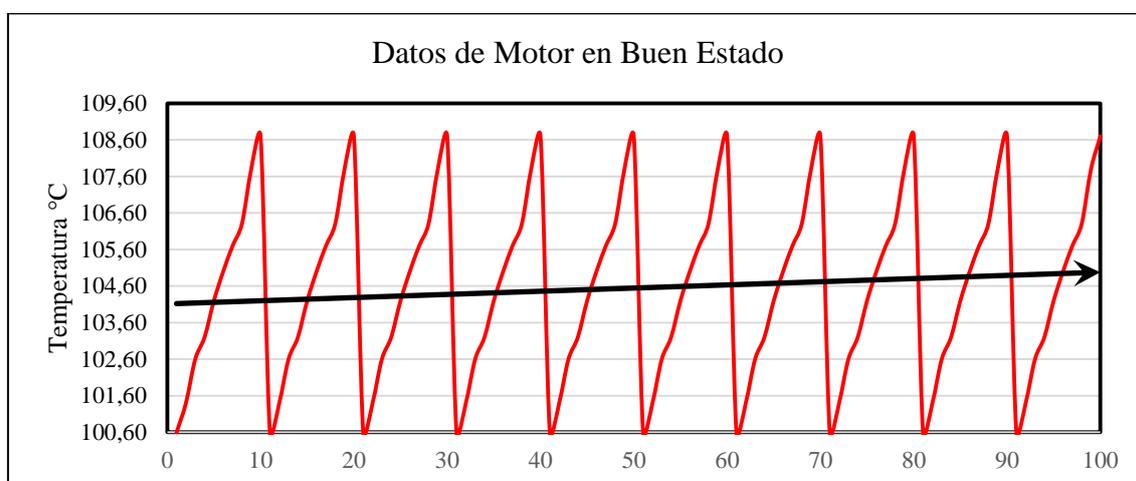


Fig. 41. Toma de Datos en el PMS del tractor en buen estado.

El promedio de los resultados obtenidos es de 104.55 °C, lo que indica que el nivel de temperatura en esta condición muestra el modo adecuado de funcionamiento del motor de acuerdo con las circunstancias de evaluación del estado de las partes de los mecanismos.

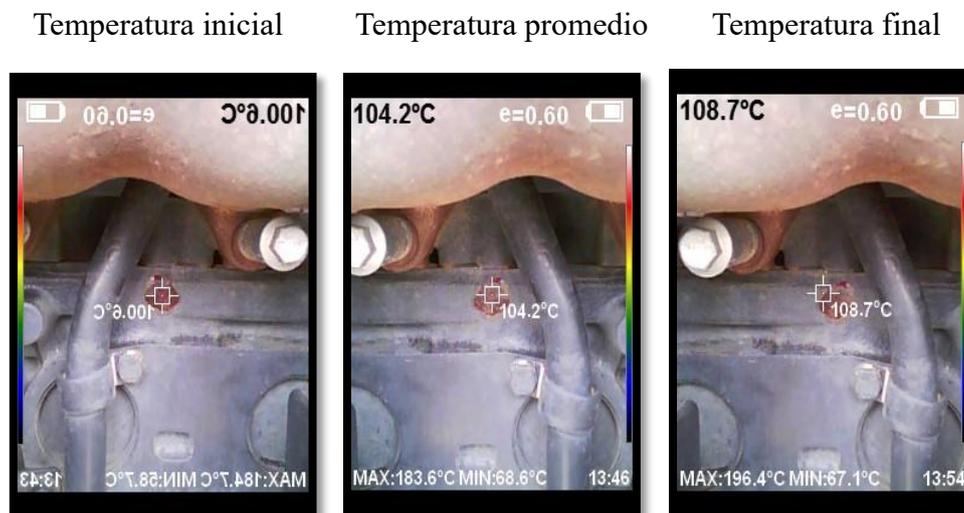


Fig. 42. Puntos de toma datos en el PMS a temperatura inicial, promedio y final.

Los resultados presentados en la figura 42 muestran que los valores de termografía en grados centígrados oscilan dentro de un rango aceptable para la operación normal del motor, donde se utilizó una velocidad constante de 800 RPM y se tomaron 10 mediciones distintas en diferentes momentos. Es importante destacar que cualquier variación en los valores fuera de este rango de temperatura puede indicar un posible problema en el sistema, por lo que se recomienda hacer mediciones de termografía regulares para detectar posibles fallas y tomar medidas preventivas antes de convertirse en problemas mayores.

4.5.2. Análisis en el Tractor con Filtro de Aire Saturado

Obtenidos los datos de temperatura del motor en buen funcionamiento, se simula una falla en el sistema de admisión con un filtro saturado para establecer la diversificación de los valores de temperatura que se pueden registrar en el ingreso de aire del motor

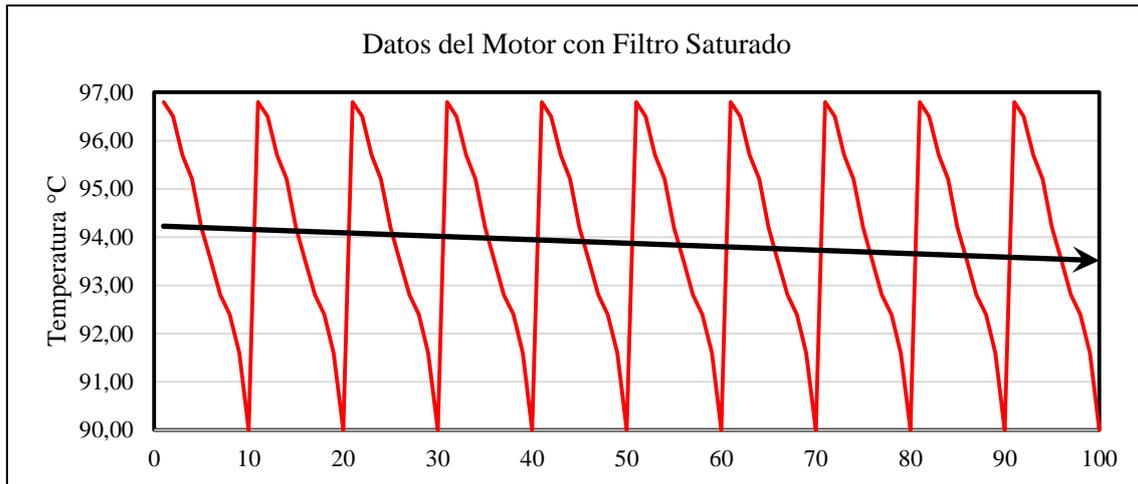


Fig. 43. Análisis de temperatura con Filtro de Aire Saturado.

La figura 43, indica el promedio obtenido de 93.87 °C lo que nos revela que las temperaturas registradas en el PMS del motor cuando el filtro de aire está obstruido por partículas de polvo. Se puede observar que los valores de temperatura varían de 90.00°C a 96.50°C, para después comparar con los valores logrados en pruebas con el tractor en buenas condiciones de funcionamiento.

Temperatura inicial Temperatura promedio Temperatura final



Fig. 44. Análisis de temperatura inicial, promedio y final con filtro saturado.

Se realizaron mediciones de temperatura con una cámara termográfica en el motor a una velocidad constante de 800 RPM en 10 momentos distintos. En la figura 44, nos indica claramente una disminución en la temperatura del motor, lo que sugiere que algo no está funcionando correctamente. Es importante destacar que la temperatura es un factor crítico en el correcto funcionamiento de un motor, y la disminución de temperatura puede ser un indicador de que el motor está trabajando de forma no óptima. En el caso específico de un filtro de aire saturado, la disminución de temperatura puede deberse a una entrada de

aire insuficiente, lo que a su vez puede provocar una combustión incompleta y la generación de gases nocivos.

4.5.3. Análisis en el Tractor con Falla en el Inyector

En la siguiente figura 45, se evidencia los resultados de la temperatura que se ha conseguido en el tractor simulando la falla en el inyector, con un promedio de 85.15 °C, lo que nos ayuda a saber el cambio de los valores de temperatura que se alcanzan por una inadecuada inyección de combustible a la cámara de combustión.

Las temperaturas asentadas por el dispositivo de diagnóstico en el PMS que se muestran en la Figura 45 en la que se ve que los valores de temperatura parten desde 80.50 °C a 89.30 °C. Estos valores corresponden a la falta de combustible, lo que perturba claramente la combustión de la mezcla.

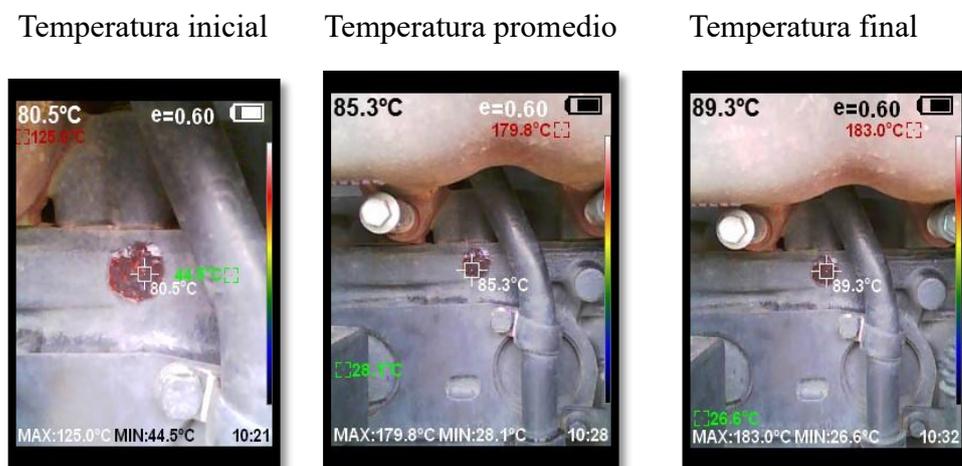


Fig. 45. Análisis de temperatura inicial, promedio y final con falla en el inyector.

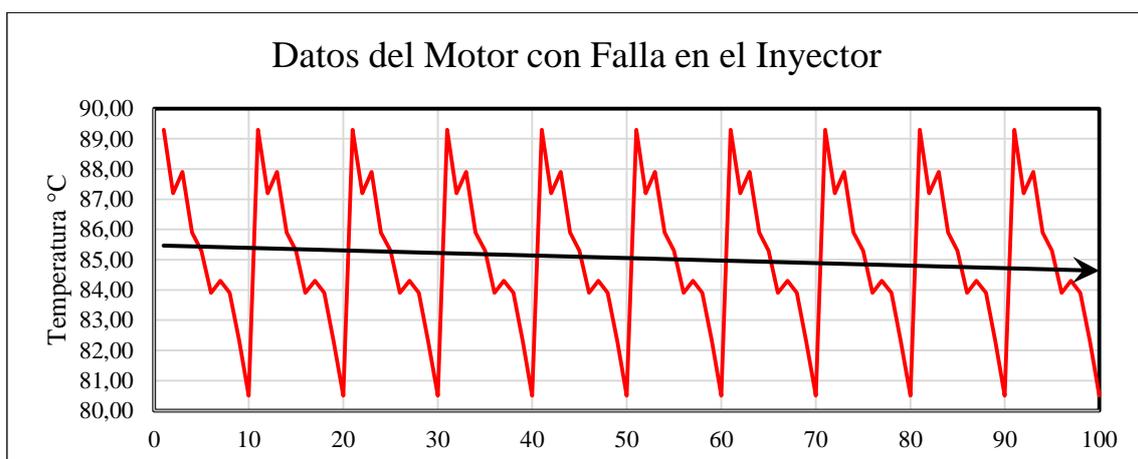


Fig. 46. Puntos de toma de datos con falla en el inyector.

En la figura 46, se presentan los resultados de mediciones de temperatura utilizando una cámara termográfica en un motor durante una falla simulada en los inyectores. La falla fue inducida al modificar la presión de apertura de los inyectores, y se tomaron las mediciones a una velocidad constante de 800 RPM en 10 momentos distintos de temperatura. Los resultados mostraron que los valores de temperatura en esta falla simulada eran menores que la anterior, causada por un filtro de aire saturado, lo que indica que la falla simulada se relacionaba con un problema específico en los inyectores.

4.5.4. Promedio de Resultados del Análisis de Termografía en el Motor

En la figura 47, se evidencia una significativa discrepancia en los resultados promedio de las mediciones de termografía realizadas en un motor en diversas condiciones. Se destacan las temperaturas registradas en el PMS del motor durante las pruebas, con los siguientes promedios: motor en buen estado (104.55 °C), filtro saturado (93.87 °C) e inyector defectuoso (85.15 °C). Estos valores promedio reflejan las diferencias en las temperaturas generadas en cada condición evaluada.

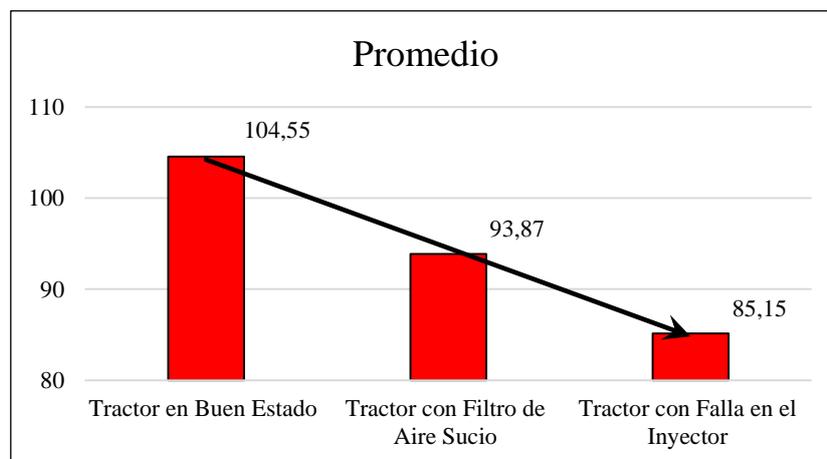


Fig. 47. Promedio de resultados.

4.6. Análisis General de Resultados de las Pruebas de Termografía en el Motor

El análisis de los resultados de las pruebas de termografía en el motor revela lo siguiente: En condiciones normales de funcionamiento del motor, las temperaturas registradas en el PMS oscilan entre 100.6 °C y 108.7 °C, con un promedio de 104.55 °C. Estos valores se consideran aceptables y reflejan un funcionamiento adecuado del motor. Sin embargo, es importante destacar que cualquier variación fuera de este rango puede indicar un posible problema en el sistema.

Al simular una falla en el sistema de admisión con un filtro de aire saturado, se observa una disminución en las temperaturas registradas en el PMS del motor. Los valores varían de 90.00 °C a 96.50 °C, con un promedio de 93.87 °C. Esta disminución puede indicar una entrada de aire insuficiente debido a la obstrucción del filtro, lo que afecta la combustión y puede generar problemas.

Al simular una falla en los inyectores modificando la presión de apertura, se observa que las temperaturas registradas en el PMS son ligeramente más bajas en comparación con la falla del filtro de aire saturado. Los valores van desde 80.50 °C a 89.30 °C. Esto indica que la falla simulada está relacionada con un problema específico en los inyectores.

El análisis de los resultados de las pruebas de termografía en el motor muestra que las temperaturas registradas son una indicación importante del funcionamiento y el estado de los diferentes componentes. Las variaciones en las temperaturas pueden señalar posibles problemas en el sistema, como una obstrucción del filtro de aire o una falla en los inyectores. Estos hallazgos subrayan la importancia de realizar un monitoreo regular de las temperaturas para mantener el correcto funcionamiento del motor y detectar posibles fallas antes de que se conviertan en problemas más graves.

4.7. Análisis de Aceite

Se realizaron pruebas de análisis de aceite en tractores agrícolas con el propósito de identificar el estado de los lubricantes y detectar posibles contaminantes o desgastes en los componentes del motor. El análisis de aceite es una técnica clave para monitorear la salud del motor, ya que permite anticipar fallas debidas al deterioro del lubricante o al desgaste de piezas críticas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de estos análisis.

4.7.1. Fichas Técnicas de Pruebas de Análisis de Aceite

A continuación, se presentan las fichas técnicas de análisis de aceite de dos tractores de la marca Tractor Case IH Farmall T6.110A, que comparten las mismas características técnicas, pero difieren en las horas de trabajo acumuladas. Estos análisis proporcionan información valiosa sobre el estado del aceite y los componentes del motor, permitiendo evaluar el desgaste y la contaminación presentes en cada caso.

Ficha Técnica de Tractor Case IH Farmall T6. 110 A, con 5000 Horas

En la figura 48, nos enseña los valores de desgaste interno del motor del Tractor Case IH Farmall T6. 110 A, con un funcionamiento de 5000 Horas.

IASA		CAT		IASA - Av. Juan Tanca Marengo Km.3 Guayaquil, Ecuador 593-4-3731777, Ext. 1417 ECUADOR	
				Web: https://iasaglobal.com/ Email: marcial_maria@iasaglobal.com	
MOTOR		NUM. EQUIPO: HCC23F11TJCG73280	NUM. SERIE: F65CC700265		
F4CE9464E*J602 47763592*8049931*		MODELO: Case IH Farmall T6.110A.		Interpretado por Carlos Freire	
N° ORDEN DE TRABAJO: R.		Normal		Fecha de Interpretación 29-Apr-22	
ENRIQUE					
Fecha De Toma De Muestra: 36		Los valores que nos indican el desgaste interno del motor se encuentran dentro de los parámetros normales.			
PROVEEDORA DE EQUIPOS Y COMUNICACIONES VIZCAINO QUITO		Las condiciones del aceite están dentro de los rangos permitidos, continúe muestreando a intervalos normales para observar la tendencia			
Fecha recepción de muestra 28-Apr-22					
INFORMACIÓN DE MUESTRA					
					
Fecha De Muestra	27-Abr-22				
Id De Muestra	R440-47326-0079				
Fecha De Laborat	28-Abr-22				
Horómetro [Km]	5000				
Horómetro Del Co	5000				
Horas Del Fluido	250				
Marca Del Fluido	MOBIL				
Grado Del Fluido	15W-40				
Tipo De Fluido	CK-4				
Fluido Cambiado	Y				
Filtro Cambiado	Y				
Filtrado Externo	Y				
CONDICIÓN / CONTAMINACIÓN					
27-Abr-22					
VISCOSIDAD (CENTISTOKES) ASTM D445					
V100	Viscosidad a 100C	8.008			
INFRARROJO (UFM) ASTM E2412					
ST	Hollin	31			
OXL	Oxidación	14			
SUL	Sulfatación	20			
NIT	Nitración	6			
AGUA					
W	Agua	N			
REFRIGERANTE					
A	Anticongelante	N			
COMBUSTIBLE					
F	Combustible	N			
CONTENIDO DE COMBUSTIBLE (%) ASTM D3524					
PFC	Percent Fuel	21,57			
NIVELES DE DESGASTE / ADITIVOS					
27-Mar-22					
ANÁLISIS ELEMENTAL (PPM) ASTM D5185 [PETRÓLEO] / ASTM D6130 [REFRIGERANTE]					
Cu	Cobre	8			
Fe	Hierro	15			
Cr	Cromo	0			
Al	Aluminio	10			
Pb	Plomo	2			
Sn	Estaño	2			
Si	Silicio	15			
Na	Sodio	8			
K	Potasio	12			
Mo	Molibdeno	5			
Ni	Niquel	0			
Ag	Plata	0			
Ti	Titanio	0			
V	Vanadio	0			
Mn	Manganeso	1			
Cd	Cadmium	0			
Ca	Calcio	1000			
P	Fósforo	800			
Zn	Zinc	900			
Mg	Magnesio	80			
Nota: Este análisis es una ayuda en predecir desgaste mecánico. No se garantiza, explícita o implícitamente, contra el fallo de este compartimento o equipo.					
Informe de Análisis de Aceite Page 1 of 1					

Fig. 48. Ficha Técnica de Análisis de Aceite 5000 Horas [63].

Ficha técnica de tractor Case IH Farmall T6. 110 A, con 20.000 Horas

En la figura 49, nos enseña los valores de desgaste interno del motor del Tractor Case IH Farmall T6. 110 A, con un funcionamiento de 20.000 Horas.

IASA		CAT		IASA - Av. Juan Tanca Marengo Km.3 Guayaquil, Ecuador 593-4-3731777, Ext. 1417 ECUADOR	
Web: https://iasaglobal.com/ Email: marcial_maria@iasaglobal.com					
MOTOR		NUM. EQUIPO: HCC23F11TJCG51642	NUM. SERIE: F65CC422439		
F4CE9464E*J602 47763592*5836624*		MODELO: Case IH Farmall T6.110A.		Interpretado por Carlos Freire Fecha de Interpretación 29-Apr-22	
N° ORDEN DE TRABAJO: R. ENRIQUE		 Crítico			
Fecha De Toma De Muestra: 36		Se ha detectado que la viscosidad del aceite en el análisis está por debajo de los niveles esperados para un aceite SAE 15W-40.			
PROVEEDORA DE EQUIPOS Y COMUNICACIONES		Esta disminución se atribuye a una contaminación positiva causada por combustible, partículas extrañas y la presencia de otros elementos de desgaste.			
VIZCAINO QUITO		Para abordar esta situación, se recomienda tomar las siguientes acciones:			
Fecha recepción de muestra 28-Apr-22		<ol style="list-style-type: none"> 1. Revise el estado de los inyectores. 2. Verifique el estado del filtro de aire. 3. Realice el cambio de aceite y filtro de aceite. 4. Corte y revise el filtro de aceite. 5. Realice una nueva muestra después de 600 horas. 			
INFORMACIÓN DE MUESTRA			Interpretación Muestra anterior		
			No aplica porque es una primera prueba.		
Fecha De Muestra	27-Abr-22				
Id De Muestra	R440.47326.0079				
Fecha De Laborat	28-Abr-22				
Horómetro [Km]	20000				
Horómetro Del Co	20000				
Horas Del Fluido	250	CONDICIÓN / CONTAMINACIÓN			
Marca Del Fluido	MOBIL	27-Abr-22			
Grado Del Fluido	15W-40	VISCOSIDAD (CENTISTOKES) ASTM D445			
Tipo De Fluido	CK-4	V100 Viscosidad a 100C 13.5			
Fluido Cambiado	Y				
Filtro Cambiado	Y				
Filtrado Externo	U				
NIVELES DE DESGASTE / ADITIVOS			INFRARROJO (UFM) ASTM E2412		
27-Mar-22			ST Hollin 67		
ANÁLISIS ELEMENTAL (PPM) ASTM D5185 [PETRÓLEO] / ASTM D6130 [REFRIGERANTE]			OXI Oxidación 18		
Cu Cobre	11	SUL Sulfatación 26			NIT Nitración 6
Fe Hierro	20	AGUA			
Cr Cromo	0.5	W Agua N			
Al Aluminio	11	REFRIGERANTE			
Pb Plomo	3.5	A Anticongelante N			
Sn Estaño	3	COMBUSTIBLE			
Si Silicio	18	F Combustible P			
Na Sodio	11	CONTENIDO DE COMBUSTIBLE (%) ASTM D3524			
K Potasio	13	Pfc Percent Fuel 2.57			
Mo Molibdeno	7				
Ni Niquel	0				
Ag Plata	0				
Ti Titanio	0				
V Vanadio	0				
Mn Manganeso	3.5				
Cd Cadmio	0				
Ca Calcio	2000				
P Fósforo	1100				
Zn Zinc	1300				
Mg Magnesio	150				
Ba Bario	0				
B Boro	14				
Nota: Este análisis es una ayuda en predecir desgaste mecánico. No se garantiza, explícita o implícitamente, contra el fallo de este compartimento o equipo.					
				Informe de Análisis de Aceite	
				Page 1 of 1	

Fig. 49. Ficha Técnica de Análisis de Aceite 20000 Horas[63].

4.7.2. Análisis de Aceite en el Tractor con 5000 horas de funcionamiento

En la tabla 19, se presentan los resultados del análisis de aceite obtenidos en un tractor en buen estado que ha trabajado durante 5000 horas. Estos resultados se utilizarán como referencia existente con respecto a un tractor con un mayor número de horas de trabajo.

Tabla 19. Resultados del Análisis de Aceite en el Tractor con 5000 horas.

Símbolo	Nombre	Mínimo	Normal	Máximo
Cu	Cobre	5	8	15
Fe	Hierro	10	15	30
Cr	Cromo	0	0	1
Al	Aluminio	5	10	15
Pb	Plomo	1	2	5
Sn	Estaño	1	2	5
Si	Silicio	10	15	20
Na	Sodio	5	8	15
K	Potasio	5	12	15
Mo	Molibdeno	5	5	10
Ni	Níquel	0	0	1
Ag	Plata	0	0	1
Ti	Titanio	0	0	1
V	Vanadio	0	0	1
Mn	Manganeso	0	1	5
Cd	Cadmio	0	0	1
Ba	Bario	0	0	1
B	Boro	10	10	20
Ca	Calcio	1000	1800	2500
P	Fósforo	800	1000	1500
Zn	Zinc	900	1300	1600
Mg	Magnesio	80	100	200

En las figuras 48 y 49 se puede evaluar cómo afecta el tiempo de operación a las propiedades y estado del aceite lubricante, pudiendo así compararlo con un tractor más desgastado por mayores horas de operación. A través de esta comparación, tendremos una comprensión clara de cómo el desgaste acumulado afecta las características del aceite, lo que nos permitirá tomar decisiones con respecto al mantenimiento y reemplazo del aceite para ambos tractores.

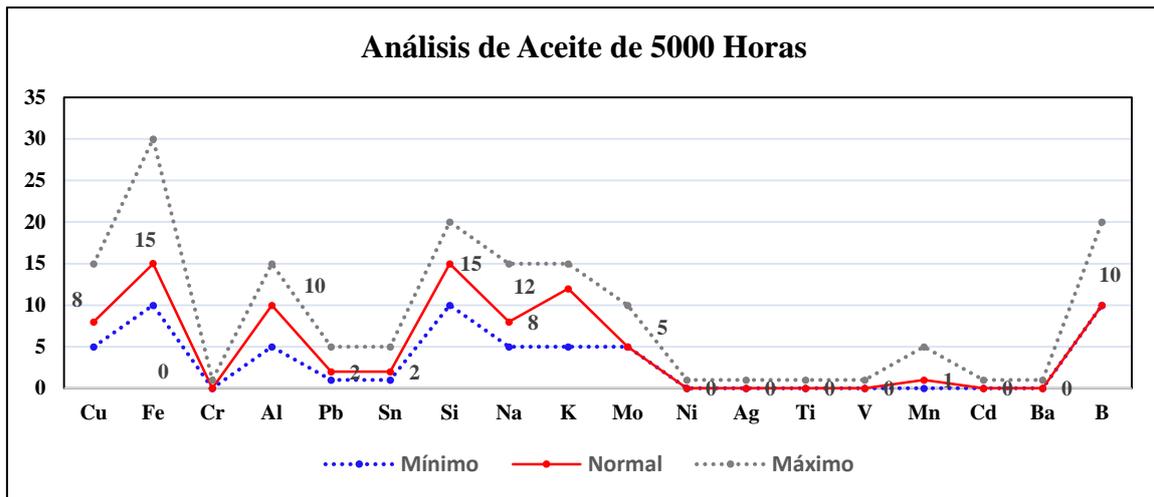


Fig. 50. Valores generales de desgaste interno del motor a 5000 horas.

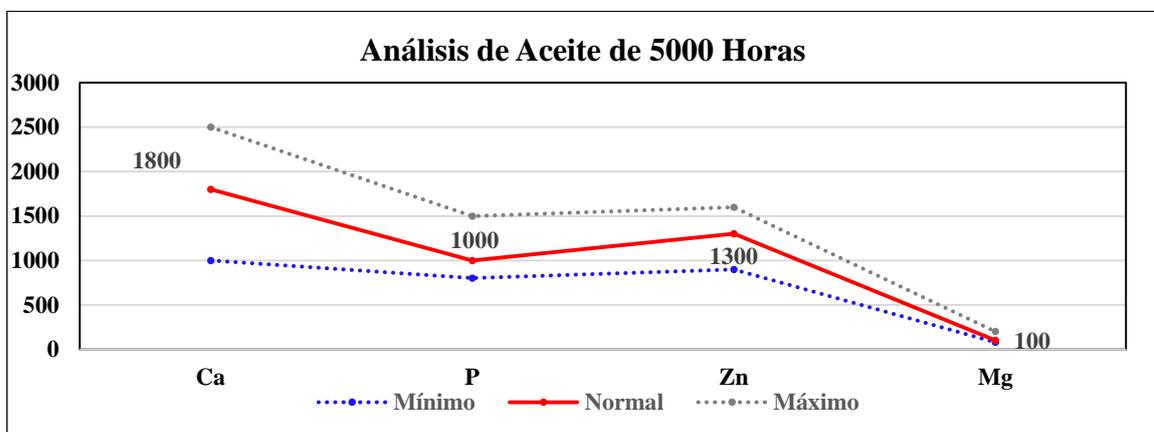


Fig. 51. Valores específicos de desgaste interno del motor a 5000 horas.

Basándonos en los datos proporcionados en las figuras 50 y 51, podemos argumentar lo siguiente:

El análisis de aceite revela información sobre varios elementos presentes en el lubricante del motor. El hierro, cobre, plomo y aluminio son indicadores de desgaste en componentes metálicos, con valores normales entre 10-15ppm, 5-8ppm, 1-2 ppm y 5-10 ppm respectivamente. El sodio y el potasio pueden señalar contaminación o ingreso de agua al sistema, con valores normales entre 5-8 ppm y 5-12 ppm respectivamente. El silicio, con valores normales entre 10-15 ppm, indica la presencia de partículas abrasivas externas.

En cuanto a los aditivos, el calcio, presente en valores normales de 1000-1800 ppm, ofrece protección contra el desgaste, mientras que el fósforo, con valores normales de 800-

1000ppm, brinda propiedades antioxidantes y anticorrosivas. El zinc y el magnesio, con valores normales de 900-1300ppm y 80-100ppm respectivamente, desempeñan un papel crucial en la protección contra el desgaste y la corrosión.

El análisis de estos elementos proporciona una evaluación del estado del lubricante y la posible presencia de desgaste o contaminación en el motor. Esto permite tomar medidas adecuadas de mantenimiento y protección para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil del motor.

4.7.3. Análisis de aceite en el Tractor con 20.000 horas de funcionamiento

En la tabla 20, se muestran los resultados del análisis de aceite realizado en un tractor que presenta fallas y ha acumulado 20.000 horas de trabajo. Estos resultados se utilizarán como punto de referencia para distinguir las diferencias con respecto a un tractor en buen estado que ha trabajado durante 5.000 horas. El análisis de aceite nos permitirá evaluar el impacto del tiempo de funcionamiento en las propiedades y el estado del aceite lubricante, brindándonos información valiosa sobre el desgaste y la salud general del motor en ambas situaciones.

Tabla 20. Resultados del Análisis de Aceite en el Tractor con 20.000 horas.

Símbolo	Nombre	Mínimo	Desgaste	Máximo
Cu	Cobre	5	11	15
Fe	Hierro	10	20	30
Cr	Cromo	0	0,5	1
Al	Aluminio	5	11	15
Pb	Plomo	1	3,5	5
Sn	Estaño	1	3	5
Si	Silicio	10	18	20
Na	Sodio	5	11	15
K	Potasio	5	13	15
Mo	Molibdeno	5	7	10
Ni	Níquel	0	0	1
Ag	Plata	0	0	1
Ti	Titanio	0	0	1
V	Vanadio	0	0	1
Mn	Manganeso	0	3,5	5
Cd	Cadmio	0	0	1
Ba	Bario	0	0	1
B	Boro	10	14	20
Ca	Calcio	1000	2000	2500
P	Fósforo	800	1100	1500
Zn	Zinc	900	1300	1600
Mg	Magnesio	80	150	200

En las figuras 52 y 53 el tiempo de funcionamiento y las condiciones de operación afectan las propiedades y el estado del aceite lubricante en el tractor con más horas de trabajo. Mediante esta comparación, obtendremos una visión clara de las diferencias significativas en cuanto a desgaste, contaminación y otros indicadores clave. Estos hallazgos nos permitirán tomar decisiones sobre el mantenimiento y las medidas correctivas necesarias para mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil del motor en el tractor agrícola.

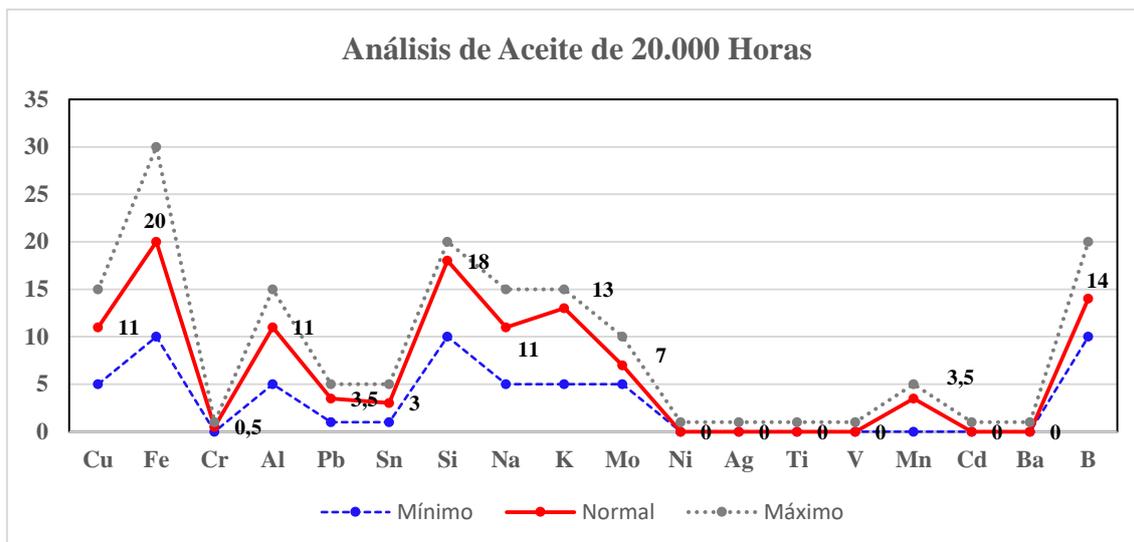


Fig. 52. Niveles Generales de desgaste interno del motor a 20000 horas.

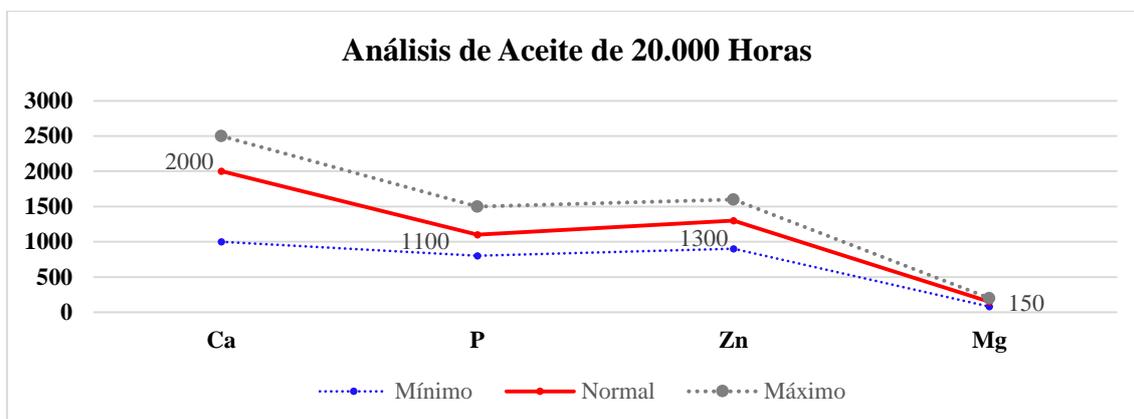


Fig. 53. Niveles específicos de desgaste interno del motor a 20.000 horas.

La tabla 20 y en las figuras 52 y 53, presenta los valores mínimos, desgaste y máximos para varios elementos en un análisis de aceite. Estos valores son indicativos del estado y las condiciones del lubricante del motor. A continuación, se presentan algunos argumentos sobre los elementos destacados:

Cobre (Cu): Los valores normales oscilan entre 5 y 15 ppm. El valor recogido en el análisis fue de 11 ppm, lo que indica un aumento de la ppm de cobre, lo que puede indicar desgaste en piezas metálicas como cojinetes o bujes.

Hierro (Fe): Los valores normales oscilan entre 10 y 30. El valor recogido en el análisis fue de 20 ppm, lo que indica un aumento de la ppm de hierro lo que nos indica un desgaste en partes metálicas, como cilindros o pistones.

Plomo (Pb): Los valores normales oscilan entre 1 y 5. El valor recogido en el análisis fue de 3.5 ppm, lo que indica un aumento de la ppm de plomo puede ser indicativo de contaminación, ya sea debido a aditivos o a la combustión del combustible.

Silicio (Si): Los valores normales oscilan entre 10 y 20. El valor recogido en el análisis fue de 18 ppm, lo que indica un aumento de la ppm de silicio lo que indica la presencia de contaminantes externos, como polvo o suciedad.

Calcio (Ca): Los valores normales oscilan entre 1000 y 2500. El valor recogido en el análisis fue de 2000 ppm, lo que indica un aumento de la ppm de calcio y este se refiere es un aditivo común en los lubricantes que ayuda a prevenir el desgaste de los componentes.

Fósforo (P): Los valores normales oscilan entre 800 y 1500. El valor recogido en el análisis fue de 1100 ppm, lo que indica un aumento de la ppm de fósforo este es otro aditivo importante que proporciona propiedades antioxidantes y anticorrosivas al lubricante.

Zinc (Zn) y Magnesio (Mg): Los valores normales oscilan entre 900-1600 y 80-200 respectivamente. El valor recogido en el análisis fue de 1300 y 150 ppm, lo que indica un aumento de la ppm, estos elementos desempeñan un papel crucial en la protección contra el desgaste y la corrosión.

4.8. Análisis General de Resultados de las Pruebas de Aceite en el Motor

En forma general sobre el análisis de aceite realizado en dos tractores agrícolas de la marca Case IH Farmall T6.110A, los cuales presentan diferentes horas de trabajo acumuladas. El análisis de aceite desempeña un papel fundamental en la evaluación de la calidad y el estado del aceite lubricante del motor, así como en la determinación de la necesidad de cambio de aceite, la detección de problemas de desgaste y la implementación de medidas correctivas.

Se describen los parámetros esenciales para evaluar la calidad del aceite, incluyendo la presencia de metales y contaminantes. Se proporcionan los rangos de referencia específicos para el motor Diesel Case IH Farmall T6.110A, detallando los valores mínimos, normales y límites aceptables.

A continuación, se presentan las fichas técnicas de análisis de aceite correspondientes a los dos tractores. La primera ficha técnica corresponde al tractor con 5000 horas de

trabajo, y en ella se indica que los valores de desgaste interno del motor y las condiciones del aceite se encuentran dentro de los parámetros normales establecidos.

En la segunda ficha técnica, correspondiente al tractor con 20000 horas de trabajo, se detecta una disminución en la viscosidad del aceite por debajo de los niveles esperados para un aceite SAE 15W-40. Esta disminución se atribuye a una contaminación positiva causada por la presencia de combustible, partículas extrañas y otros elementos de desgaste. Se recomiendan acciones correctivas, como revisar los inyectores, verificar el estado del filtro de aire, cambiar el aceite y el filtro, y tomar una nueva muestra después de 600 horas.

Además, se presentan los resultados del análisis de aceite del tractor con 5000 horas de funcionamiento, donde se incluye una tabla con los valores mínimos, normales y máximos para varios elementos presentes en el lubricante del motor, como cobre, hierro, cromo, aluminio, plomo, entre otros. Estos valores permiten evaluar el nivel de desgaste y contaminación en el motor, lo cual facilita la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento y reemplazo del aceite.

Asimismo, se muestran los resultados del análisis de aceite del tractor con 20000 horas de funcionamiento. Se presenta una tabla similar a la anterior, con los valores mínimos, desgaste y máximos correspondientes a los elementos analizados. Estos resultados se utilizan como punto de referencia para comparar las diferencias con el tractor con 5000 horas de funcionamiento y evaluar el impacto del tiempo de operación en las propiedades y el estado del aceite lubricante.

4.9. Comparación de los Resultados

4.9.1 Análisis de Resultados de Encuestas

Según el análisis de los resultados en las encuestas aplicadas se puede comprobar que el personal que labora con tractores agrícolas desconoce el proceso de un mantenimiento predictivo y, además, según su experiencia en este tipo de máquinas se conoce que los problemas que se presentan con mayor frecuencia están relacionados al sistema de inyección de combustible (bomba de combustible, inyectores). Por tal razón la presente investigación es de gran aporte al campo agrícola, a través de la aplicación de una guía de mantenimiento predictivo mediante equipos de diagnóstico adecuados, con la finalidad de conocer el estado de los componentes de los sistemas que son más propensos a

presentar fallas mediante el desarrollo de pruebas de vibraciones mecánicas, termografía y análisis de aceite.

4.9.2. Análisis de Vibraciones

En la tabla 4.6 se indica una comparación de datos más precisa de los resultados presentados para diferentes condiciones del motor, como son en buen estado, con filtro de aire saturado y con falla en el inyector. Los valores indicados en la tabla representan la vibración RMS (mm/s) a 800 revoluciones por minuto.

A continuación, se detalla de manera más precisa los resultados comparativos:

A una velocidad de 800 RPM, se observan los siguientes promedios de vibración RMS: el motor en buen estado registra 1.73 RMS mm/s, el motor con filtro de aire saturado muestra 1.74 mm/s y el motor con falla en el inyector presenta 1.76 RMS mm/s.

Existe una ligera variación en los valores de vibración entre las distintas condiciones del motor. El motor con falla en el inyector presenta los valores promedio más altos, seguido por el de filtro de aire saturado, y el de buen estado muestra los valores promedio más bajos.

Los valores de vibración RMS más bajos están en el rango de 1.69 RMS mm/s a 1.74 RMS mm/s, correspondiendo tanto al motor en buen estado como al motor con filtro de aire saturado. Por otro lado, los valores más altos de vibración RMS se sitúan en el rango de 1.76 RMS mm/s a 1.79 RMS mm/s, correspondiendo al motor con falla en el inyector.

Tabla 21. Comparación de Datos Obtenidos del Análisis de Vibración.

Revoluciones	Motor en Buen Estado	Motor con Filtro de Aire Saturado	Motor con Falla en el Inyector
800 RPM	1,73 RMS (mm/s)	1,74 RMS (mm/s)	1,76 RMS (mm/s)
	1,71 RMS (mm/s)	1,73 RMS (mm/s)	1,78 RMS (mm/s)
	1,72 RMS (mm/s)	1,73 RMS (mm/s)	1,77 RMS (mm/s)
	1,69 RMS (mm/s)	1,71 RMS (mm/s)	1,73 RMS (mm/s)
	1,72 RMS (mm/s)	1,74 RMS (mm/s)	1,77 RMS (mm/s)
	1,71 RMS (mm/s)	1,73 RMS (mm/s)	1,76 RMS (mm/s)
	1,71 RMS (mm/s)	1,76 RMS (mm/s)	1,79 RMS (mm/s)
	1,74 RMS (mm/s)	1,75 RMS (mm/s)	1,77 RMS (mm/s)
	1,72 RMS (mm/s)	1,74 RMS (mm/s)	1,75 RMS (mm/s)
	1,73 RMS (mm/s)	1,74 RMS (mm/s)	1,76 RMS (mm/s)

En la figura 21, nos revelan que tanto el filtro de aire saturado como la falla en el inyector contribuyen a un aumento en la vibración RMS en comparación con el motor en buen estado. El incremento observado en la vibración puede ser atribuido a las siguientes razones:

- Motor con filtro de aire saturado: La obstrucción en el filtro de aire restringe el flujo de aire hacia las cámaras de compresión, lo que puede causar una combustión ineficiente. Esto se refleja en un incremento ligeramente mayor en la vibración RMS, con un promedio de 1.74 RMS mm/s. La restricción en el flujo de aire afecta negativamente la calidad de la combustión y puede generar vibraciones adicionales en el motor.
- Motor con falla en el inyector: La modificación de la presión de apertura del inyector afecta la cantidad de combustible inyectado en el motor, lo que puede resultar en una combustión deficiente. Como consecuencia, se produce un aumento significativo en la vibración RMS, con un promedio de 1.76 RMS mm/s. La mala combustión debido a la inyección inadecuada de combustible genera vibraciones adicionales en el motor.

Estos hallazgos resaltan la importancia de mantener el sistema de admisión y los inyectores en buen estado para evitar problemas de vibración en el motor. Un aumento en la vibración RMS puede indicar un rendimiento deficiente del motor y la necesidad de llevar a cabo un diagnóstico y reparación adecuados para resolver los problemas subyacentes.

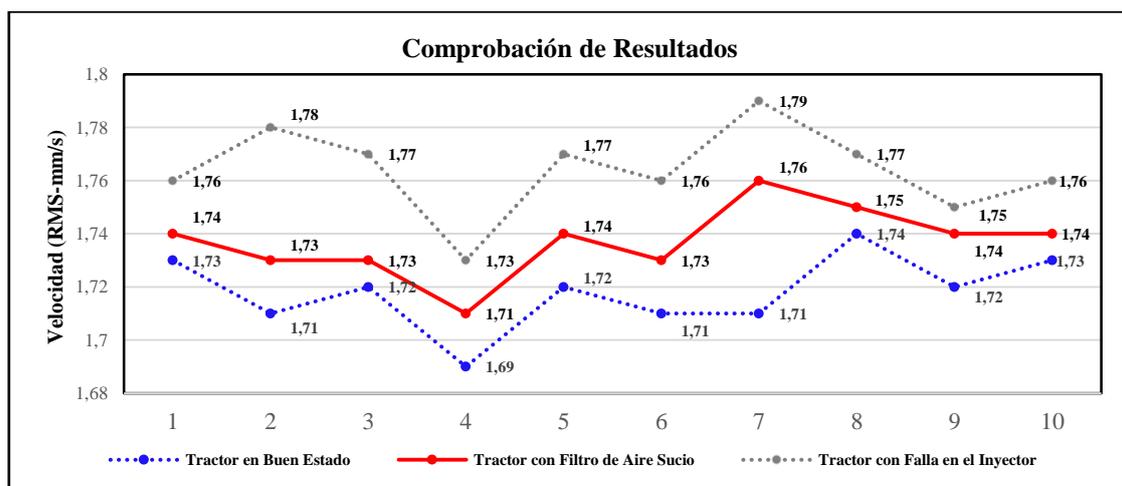


Fig. 54. Comparación de resultados del análisis de vibración.

4.9.3. Análisis de Termografía

Para comparar los resultados del análisis de termografía, examinemos los datos presentados en la tabla 22, que muestran las temperaturas registradas en el motor en diversas condiciones de funcionamiento.

A una velocidad constante de 800 RPM, se obtuvieron mediciones de temperatura en tres escenarios: motor con falla en el inyector, motor con filtro de aire saturado y motor en buen estado.

- En el caso de la falla en el inyector, se observa que las temperaturas registradas oscilan entre 80,50 °C y 89,30 °C. Estos valores indican que la inadecuada inyección de combustible afecta la combustión y disminuye la temperatura del motor en comparación con su estado óptimo.
- En cuanto al motor con filtro de aire saturado, las temperaturas varían entre 90,00 °C y 96,80 °C. Estos valores, aunque más altos que los de la falla en el inyector, siguen siendo inferiores a los registrados en el motor en buen estado. Esto sugiere que la obstrucción del filtro de aire restringe el flujo de aire y afecta la combustión, generando un aumento de temperatura en el motor.
- Por último, en el caso del motor en buen estado, las temperaturas se sitúan en un rango de 100,60 °C a 108,70 °C. Estos valores reflejan un funcionamiento adecuado y eficiente del motor.

Tabla 22. Comparación de datos obtenidos del análisis de termografía.

Revoluciones	Motor con Falla en el Inyector	Motor con Filtro de Aire Saturado	Motor en Buen Estado
800 RPM	89,30 °c	96,80 °c	100,60 °c
	87,20 °c	96,50 °c	101,40 °c
	87,90 °c	95,70 °c	102,60 °c
	85,90 °c	95,20 °c	103,20 °c
	85,30 °c	94,20 °c	104,20 °c
	83,90 °c	93,50 °c	105,00 °c
	84,30 °c	92,80 °c	105,70 °c
	83,90 °c	92,40 °c	106,30 °c
	82,30 °c	91,60 °c	107,80 °c
	80,50 °c	90,00 °c	108,70 °c

En la figura 55, al comparar las temperaturas entre las diferentes condiciones, se observa que, durante la falla en el inyector, las temperaturas son más bajas que el motor en buen estado y el filtro de aire saturado. Esto indica que la falla en el inyector puede estar afectando la combustión y generando una disminución en la temperatura del motor.

Por otro lado, durante la condición de filtro de aire saturado, las temperaturas son ligeramente más altas que durante la falla en el inyector, pero aún inferiores a las del motor en buen estado. Esto sugiere que la obstrucción del filtro de aire puede estar limitando el flujo de aire y afectando la combustión, generando una disminución en la temperatura del motor.

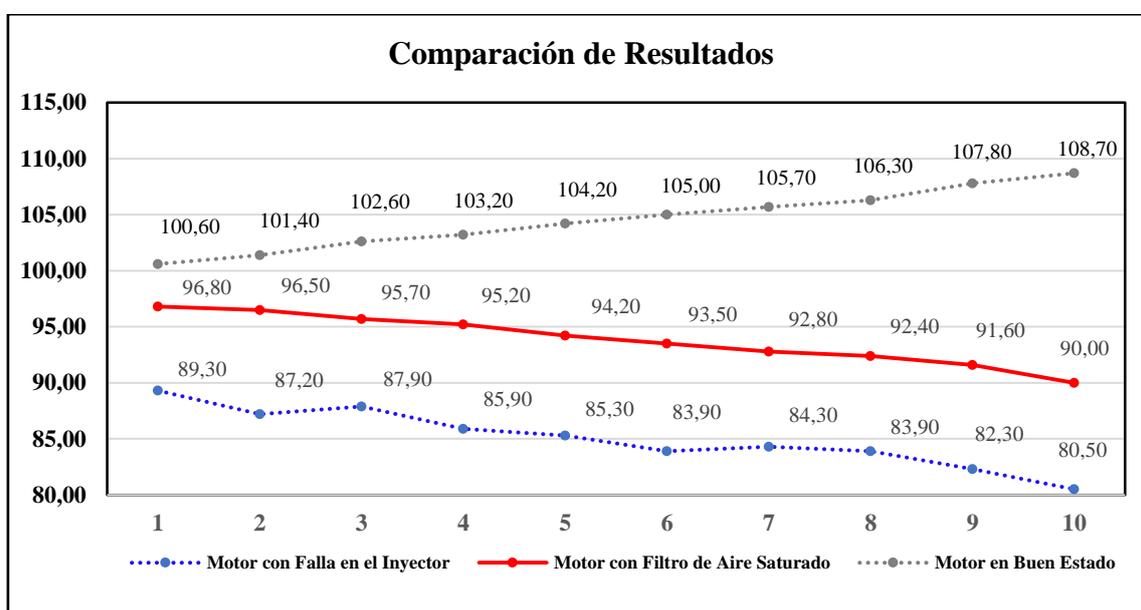


Fig. 55. Comparación de resultados obtenidos en el análisis de termografía.

4.9.4 Análisis de Aceite

Al analizar los datos presentados en la tabla 23 del análisis de aceite, que muestra los niveles de diferentes elementos en el aceite, se observan diferencias entre los valores normales y los valores de desgaste para cada elemento.

- En general, la mayoría de los elementos muestran un ligero aumento en los niveles de desgaste frente a los valores normales. El cobre aumenta 11 ppm frente a los 8 ppm normales, y el hierro experimenta 20 ppm frente a los 15 ppm normales.
- Algunos elementos, como el cromo, níquel, plata, titanio, vanadio, cadmio y bario, se mantienen en niveles normales tanto en condiciones normales como de desgaste, con valores de 0 ppm.

- Por otro lado, hay elementos como el silicio, sodio, potasio y manganeso que muestran aumentos significativos en los niveles de desgaste en comparación con los valores normales. Por ejemplo, el silicio aumenta de 15 ppm a 18 ppm, el sodio aumenta de 8 ppm a 11 ppm y el potasio aumenta ligeramente de 10 ppm a 13 ppm. El manganeso también muestra un aumento de 1 ppm a 3.5 ppm.

Tabla 23. Comparación de datos obtenidos del análisis de aceite.

Símbolo	Nombre	Normal	Desgaste
Cu	Cobre	8 ppm	11 ppm
Fe	Hierro	15 ppm	20 ppm
Cr	Cromo	0 ppm	0,5 ppm
Al	Aluminio	10 ppm	11 ppm
Pb	Plomo	2 ppm	3,5 ppm
Sn	Estaño	2 ppm	3 ppm
Si	Silicio	15 ppm	18 ppm
Na	Sodio	8 ppm	11 ppm
K	Potasio	10 ppm	13 ppm
Mo	Molibdeno	5 ppm	7 ppm
Ni	Níquel	0 ppm	0 ppm
Ag	Plata	0 ppm	0 ppm
Ti	Titanio	0 ppm	0 ppm
V	Vanadio	0 ppm	0 ppm
Mn	Manganeso	1 ppm	3,5 ppm
Cd	Cadmio	0 ppm	0 ppm
Ba	Bario	0 ppm	0 ppm
B	Boro	10 ppm	14 ppm

Al examinar los datos mostrados en la figura 56, se observa que algunos elementos presentan un ligero aumento en los niveles de desgaste en comparación con los valores normales. Estos aumentos pueden tener efectos adversos en el motor.

- Por ejemplo, el aumento en los niveles de cobre y hierro puede indicar un desgaste anormal en los componentes del motor, como los cojinetes y las superficies de fricción. Esto puede resultar en un mayor rozamiento y desgaste prematuro de las piezas, lo que a su vez puede afectar la eficiencia y el rendimiento del motor.
- Además, el incremento en los niveles de silicio, sodio, potasio y manganeso también puede tener implicaciones negativas. Estos elementos suelen estar asociados con la presencia de contaminantes, como partículas abrasivas o productos de combustión. El aumento en sus niveles puede indicar una mayor

presencia de estos contaminantes en el aceite, lo que puede causar un desgaste acelerado de los componentes internos del motor, disminuir la lubricación efectiva y comprometer la vida útil de las piezas.

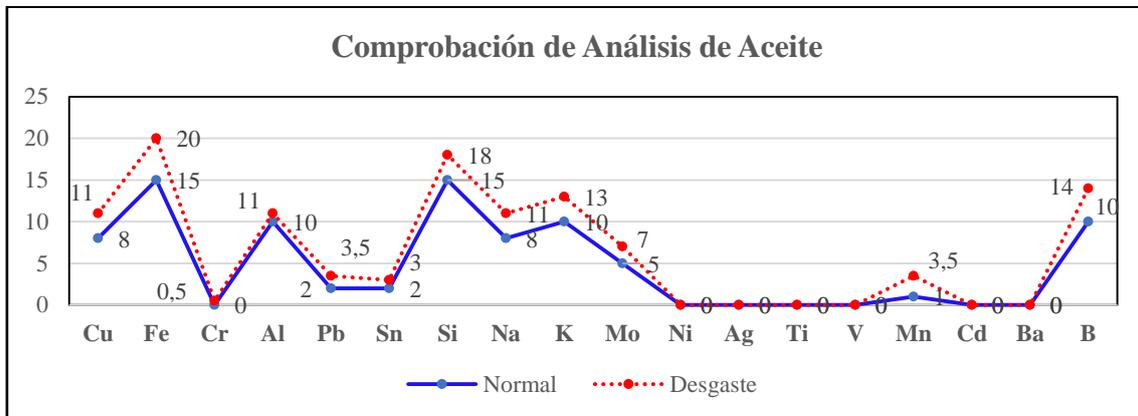


Fig. 56. Comparación de resultados obtenidos en el análisis de aceite.

CAPÍTULO V PROPUESTA

5.1. Presentación

La propuesta de mantenimiento predictivo se centrará en implementar técnicas avanzadas para el monitoreo del estado de salud del motor y otros componentes críticos. El uso de análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite permitirá detectar problemas antes de que se conviertan en fallos mayores, optimizando el tiempo de actividad del tractor y reduciendo costos de reparaciones inesperadas. Esta propuesta no solo extiende la vida útil de los tractores, sino que también incrementa la eficiencia en el campo.

5.2 Diagnostico Estratégico

Los usuarios de tractores agrícolas, como productores y ganaderos, buscan maximizar la disponibilidad de su maquinaria sin comprometer la calidad de sus labores. Los consumidores valoran especialmente la reducción de tiempos de inactividad, ya que un tractor fuera de servicio puede afectar directamente la productividad en épocas críticas de siembra o cosecha. La mayoría de los agricultores prefieren soluciones que les permitan predecir posibles fallos y realizar el mantenimiento de forma preventiva en lugar de correctiva.

5.3 Beneficiarios de la propuesta

Los principales beneficiarios de esta propuesta son los propietarios y operadores de tractores agrícolas. Al implementar un sistema de mantenimiento predictivo, se podrán anticipar fallos, prolongar la vida útil de los tractores y reducir los costos operativos. Además, los mecánicos especializados también se beneficiarán al tener diagnósticos más precisos, reduciendo el tiempo de reparación.

Justificación

El mantenimiento predictivo es una herramienta clave en la agricultura moderna, donde la maquinaria agrícola juega un rol crucial en la productividad. A través de esta propuesta, se busca prevenir los fallos inesperados del tractor agrícolas y garantizar su funcionamiento óptimo. Los datos obtenidos mediante estas técnicas permitirán tomar decisiones informadas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los costos de reparación.

5.4 Objetivos de la propuesta

5.4.1 Objetivo General

Implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en técnicas avanzadas de análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite en los tractores agrícolas, para prolongar la vida útil de los equipos y optimizar su rendimiento en el campo.

5.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un monitoreo constante de los componentes críticos del motor mediante el análisis de vibraciones y termografía.
- Implementar un sistema de análisis de aceite para evaluar el estado interno del motor y sus componentes.
- Capacitar a los operadores y mecánicos en el uso de tecnologías predictivas para mejorar el diagnóstico de fallos.
- Reducir los costos de mantenimiento correctivo y tiempos de inactividad de los tractores en campo.

5.5 Plan de Acción a desarrollar Factibilidad de Implementación

A continuación, en la tabla 24 nos describe la información del plan de mantenimiento basado en los resultados y análisis previos realizados a los tractores, que contiene aspectos que definen el diseño que sustenta la propuesta de esta investigación.

Tabla 24. Plan de mantenimiento predictivo basado en los resultados.

Actividad	Descripción
Programa de Mantenimiento Periódico	
Análisis de Vibraciones	Realizar un análisis de vibraciones cada 6 meses utilizando el Analizador de Vibraciones Fluke 805FC para verificar las vibraciones en el motor y detectar posibles fallas antes de que dañen los componentes internos.
Análisis de Termografía	Realizar un análisis de termografía cada 6 meses utilizando la Cámara de Imagen Térmica IR0019 para verificar las temperaturas en el motor y detectar posibles fallas antes de que dañen los componentes internos.
Análisis de Aceite	Realizar un análisis de aceite cada 6 meses utilizando el Kit de Análisis de Aceite para verificar las propiedades del aceite y detectar posibles fallas incipientes en los componentes internos del motor.
Acciones Basadas en los Resultados de los Análisis	
Análisis de Vibraciones	
Incremento en vibración RMS	Realizar un diagnóstico detallado para identificar la causa de la vibración y tomar las acciones correctivas correspondientes.
Vibración en motor con filtro de aire saturado	Verificar y limpiar/reemplazar el filtro de aire.
Vibración en motor con falla en el inyector	Realizar un diagnóstico y reparación adecuada del inyector para garantizar una inyección de combustible adecuada.
Análisis de Termografía	
Temperaturas bajas en motor con filtro de aire saturado	Verificar y limpiar/reemplazar el filtro de aire para mejorar el flujo de aire y evitar una combustión ineficiente.
Temperaturas bajas en motor con falla en el inyector	Realizar un diagnóstico y reparación adecuada del inyector para garantizar una combustión adecuada.
Análisis de Aceite	
Niveles elevados de desgaste en elementos como cobre y hierro	Inspeccionar los componentes correspondientes y tomar las acciones correctivas necesarias, como el reemplazo de piezas desgastadas.
Aumento significativo de elementos como silicio, sodio, potasio y manganeso	Investigar la presencia de contaminantes en el aceite y tomar medidas para reducir la entrada de contaminantes al motor, como mejorar los sistemas de filtración y mantener adecuadamente el motor.
Costos	El costo total del plan de mantenimiento, incluyendo las técnicas de análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite, es de \$600. Este costo incluye la utilización de los equipos mencionados y la capacitación especializada asociada.
Observaciones	Es importante adaptar el plan de mantenimiento a las especificaciones y necesidades del motor y equipo. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante y contar con personal capacitado para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.

5.6 Factibilidad de Implementación

La implementación de este plan de mantenimiento predictivo es factible desde el punto de vista técnico y económico. Las herramientas necesarias, como el medidor de vibraciones Fluke 805 FC, la cámara térmica IR0019 y el equipo para el análisis de aceite, están disponibles en el mercado a un costo accesible para empresas agrícolas. Además, la inversión inicial se verá compensada con la reducción de tiempos de inactividad y costos por reparaciones inesperadas. La capacitación del personal se puede llevar a cabo en talleres especializados, lo que facilita su implementación en cualquier operación agrícola.

5.7. Análisis de Costos

En la tabla 25 que se presenta a continuación, se detalla la información de los costos asociados a la toma de datos según el tipo de técnica de mantenimiento predictivo a realizar. Los costos se fundamentan en las actividades y equipos necesarios para analizar los tractores, tal como se ha establecido en los resultados y análisis previos.

Tabla 25. Costos de toma de datos por técnica de mantenimiento predictivo.

Técnica	Actividades	Equipos	Costo
Análisis de Vibración	Realizar análisis de vibraciones	Analizador de Vibraciones Fluke 805FC	\$150
Análisis de Termografía	Realizar análisis de termografía	Cámara de Imagen Térmica IR0019	\$150
Análisis de Aceite	Realizar análisis de aceite	Kit de Análisis de Aceite	\$300
Total			\$600

Cabe destacar que los costos indicados en la tabla 25, son aproximados y pueden variar dependiendo de factores como la ubicación geográfica, proveedores de equipos y servicios, entre otros. Además, es importante tener en cuenta que estos costos son solo una parte del plan de mantenimiento y deben considerarse junto con otros costos asociados a actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

El establecimiento de estos costos se basa en la información recopilada en los análisis previos a los tractores, para estimar con precisión y transparencia los recursos necesarios para realizar las técnicas de mantenimiento predictivo. Estos costos son fundamentales para una adecuada planificación y asignación de recursos, así como para evaluar la

relación costo-beneficio de implementar estas técnicas en el mantenimiento de los tractores.

Es importante mencionar que estos costos son parte de un enfoque integral de mantenimiento, que busca prevenir fallas y optimizar el rendimiento de los tractores agrícolas. Al utilizar estas técnicas de mantenimiento predictivo, se logra maximizar la eficiencia operativa, prolongar la vida útil de los equipos y minimizar los riesgos de interrupciones no programadas, lo que conlleva a un ahorro significativo en costos de reparación y un aumento en la productividad y rentabilidad de las operaciones agrícolas.

5.8. Beneficios de Utilizar Técnicas de Mantenimiento Predictivo

El uso de técnicas de mantenimiento predictivo, como el análisis de vibración, análisis de termografía y análisis de aceite, en los tractores agrícolas Case IH Farmall T6.110 A, ofrece una serie de beneficios significativos. A partir de las pruebas realizadas en la presente investigación, se pueden destacar los siguientes beneficios clave:

5.8.1. Detección temprana de fallas

El uso de técnicas de mantenimiento predictivo permite adelantarnos a posibles fallas en el motor del tractor. Al realizar análisis de vibración, termografía y aceite, podrán identificar señales o indicios de problemas incipientes antes de que se conviertan en fallas más graves. Esta detección temprana nos permite tomar acciones preventivas o correctivas a tiempo, evitando averías mayores y costosas reparaciones.

5.8.2. Mantenimiento preventivo y correctivo

Al anticiparnos a las posibles fallas, podrán realizar mantenimientos preventivos programados de acuerdo con los resultados de los análisis. Esto implica llevar a cabo acciones como la limpieza o reemplazo de componentes, ajustes o calibraciones, lubricación adecuada, entre otros. También podemos realizar correcciones o reparaciones específicas para resolver problemas identificados. Estas medidas contribuyen a mantener el tractor en condiciones óptimas de funcionamiento y prolongar su vida útil.

5.8.3. Ahorro económico y operativo

Al evitar averías mayores y costosas reparaciones, el uso de técnicas de mantenimiento predictivo resulta en un ahorro económico significativo a largo plazo. Además, se minimiza el tiempo de inactividad del tractor, ya que los mantenimientos y reparaciones se realizan de manera planificada y programada, evitando interrupciones inesperadas en las tareas agrícolas. El tractor puede cumplir sus funciones con mayor fiabilidad y

eficiencia, lo que contribuye a mejorar la productividad y rentabilidad de las operaciones agrícolas.

5.8.4. Establecimiento de un historial de condiciones

Mediante el uso de las técnicas de mantenimiento predictivo, se genera un historial del tractor que registra las condiciones de operación y los resultados de los análisis realizados. Este historial es valioso tanto para el propietario actual como para posibles compradores del tractor en el futuro. Proporciona información objetiva y confiable sobre el estado real del motor, lo cual facilita la toma de decisiones en cuanto a su mantenimiento, reparaciones necesarias y valor de reventa.

5.8.5. Referencias para diagnósticos futuros

Al establecer rangos de operación normales a partir de los datos recopilados en condiciones óptimas, se crea una base de datos que sirve como referencia para diagnosticar otros tractores similares. Los parámetros establecidos permiten identificar desviaciones y anomalías en nuevos análisis, lo que facilita la detección temprana de futuras averías en otros equipos. Esto agiliza el proceso de diagnóstico y permite tomar acciones rápidas para evitar daños mayores.

5.9 Costo /Beneficio

El análisis costo-beneficio demuestra que la inversión de \$600 en técnicas de mantenimiento predictivo, aunque representa un desembolso inicial, se justifica ampliamente por los múltiples beneficios que aporta. En primer lugar, al detectar fallas potenciales de manera temprana, se evita que problemas pequeños se conviertan en averías graves y costosas. Esto significa que los costos de reparación imprevistos, que podrían ser significativamente mayores que el costo del mantenimiento predictivo, se reducen o eliminan por completo. Además, al realizar mantenimiento planificado y preventivo, se incrementa la disponibilidad operativa del tractor, lo que se traduce en menores tiempos de inactividad y mayor productividad en las tareas agrícolas.

Otro aspecto importante es la prolongación de la vida útil del tractor. Con una detección y corrección oportuna de anomalías, se reduce el desgaste prematuro de los componentes, lo que permite que el equipo funcione de manera óptima durante más tiempo. Esto no solo reduce la necesidad de realizar costosas reparaciones o reemplazos de componentes, sino que también retrasa la necesidad de adquirir un nuevo tractor, lo que representa un ahorro significativo a largo plazo.

Asimismo, el mantenimiento predictivo genera un historial detallado del estado operativo del tractor, lo que añade valor en el momento de la reventa. Los compradores potenciales tendrán más confianza en la condición del equipo, lo que puede aumentar su precio de mercado. Este incremento en el valor de reventa, combinado con los ahorros en costos de reparación y tiempos de inactividad, asegura que la inversión inicial en mantenimiento predictivo sea recuperada con creces.

CONCLUSIONES

Las fallas más comunes en tractores agrícolas, se presenta en el sistema de combustible, ocasionando sobrecalentamiento y consumo excesivo de aceite, se deben principalmente a filtros obstruidos, inyectores defectuosos y componentes desgastados. El análisis de estas fallas sugiere la necesidad de realizar revisiones diarias y detalladas cada 50, 100, 200 y 600 horas, enfocándose en los sistemas de combustible, enfriamiento y lubricación. Este plan de mantenimiento predictivo no solo previene fallas costosas, sino que también optimiza el tiempo operativo y reduce los costos a largo plazo

Las técnicas de mantenimiento predictivo permiten anticipar fallas comunes y mejorar la confiabilidad de la maquinaria. El análisis de vibraciones detecta problemas mecánicos como la desalineación y el desgaste, mientras que la termografía identifica sobrecalentamientos y el análisis de aceite evalúa el estado de los lubricantes. Estas técnicas no solo previenen fallas críticas, sino que también optimizan la eficiencia operativa permitiendo que las horas de trabajo de los tractores sean las que el fabricante recomiende 24000 horas.

Los sistemas mecánicos y eléctricos son fundamentales para implementar controles sistemáticos que aseguren una alta confiabilidad operativa. El monitoreo de vibraciones es eficaz para detectar desalineación y desgaste en sistemas mecánicos, mientras que la termografía previene sobrecalentamientos en sistemas eléctricos. El análisis de aceite, al evaluar los lubricantes y detectar contaminantes, permite realizar intervenciones oportunas. Estas técnicas optimizan el control y la eficiencia en los procesos automotrices

El análisis de vibraciones del motor reveló un aumento progresivo en los valores de vibración RMS a medida que se presentaron fallas en los componentes. El motor en buen estado registró un promedio de 1.73 mm/s RMS. Cuando el motor operaba con un filtro de aire saturado, la vibración aumentó un 0.58%, alcanzando 1.74 mm/s. La situación más grave se observó en el motor con una falla en el inyector, con un incremento del 1.73%, alcanzando un promedio de 1.76 mm/s. Estos hallazgos destacan la necesidad de mantener el sistema de admisión y los inyectores en buen estado para evitar aumentos en las vibraciones que podrían afectar el rendimiento del motor.

El análisis de termografía revela que una falla en el inyector provoca una disminución promedio de la temperatura del 16.6%, con valores entre 80,50 °C y 89,30 °C, en comparación con un motor en buen estado, lo que indica una combustión ineficiente. En el caso de un filtro de aire saturado, las temperaturas varían entre 90 °C y 96,80 °C, representando una reducción del 7.8%, lo que sugiere un flujo de aire restringido. Estos resultados resaltan la importancia de un mantenimiento adecuado en los sistemas de inyección y admisión para asegurar una combustión eficiente y evitar el sobrecalentamiento del motor.

El análisis de aceite revela un aumento significativo en los niveles de varios elementos clave, lo que indica posibles problemas de desgaste y contaminación en el motor. Los aumentos más preocupantes se observan en el cobre (37.5%) y el hierro (33.3%), lo que sugiere desgaste en cojinetes y superficies de fricción. Asimismo, elementos como el silicio, sodio y potasio, relacionados con la contaminación, muestran incrementos del 20%, 37.5%, y 30%, respectivamente, lo que sugiere la presencia de partículas abrasivas. Estos resultados resaltan la necesidad de medidas correctivas inmediatas, como el cambio de aceite y la revisión de filtros y componentes, para prevenir daños mayores en el motor.

El plan de mantenimiento predictivo, basado en el análisis de vibraciones, termografía y aceite, es altamente eficiente para detectar fallas tempranas, evitar reparaciones costosas y minimizar tiempos de inactividad. Este enfoque optimiza la vida útil de los tractores, reduce los costos operativos y mejora la productividad, asegurando un balance costo-beneficio favorable y la sostenibilidad del equipo a largo plazo.

El análisis de costos para la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo en tractores, con un total aproximado de \$600, destaca la inversión necesaria para realizar análisis de vibración, termografía y aceite. Aunque estos costos pueden variar, son fundamentales para una planificación de mantenimiento efectiva. La adopción de estas técnicas permite prevenir fallas, optimizar el rendimiento, prolongar la vida útil de los equipos y minimizar interrupciones no programadas. Esta estrategia integral contribuye significativamente a la reducción de costos de reparación y al incremento de la productividad y rentabilidad en las operaciones agrícolas.

RECOMENDACIONES

Implementar un programa de mantenimiento predictivo que incluya revisiones diarias y chequeos detallados cada 50, 100, 200 y 600 horas. Esto debe enfocarse especialmente en los sistemas de combustible, enfriamiento y lubricación para identificar y resolver problemas antes de que se conviertan en fallas críticas.

Realizar análisis de vibraciones de manera regular para detectar saturación de filtro de aire y fallas en inyectores y otros problemas mecánicos. Utilizar un analizador de vibraciones que permita establecer parámetros de operación normales y detectar desviaciones que puedan indicar la necesidad de intervención.

Utilizar la termografía para identificar sobrecalentamientos en sistemas eléctricos y mecánicos. Esta técnica es fundamental para detectar problemas en la entrada de aire y el rendimiento de los inyectores, lo que permite realizar ajustes necesarios y evitar fallos catastróficos.

Programar análisis de aceite para evaluar la calidad y detectar contaminantes. Esto es esencial para determinar el momento adecuado para cambiar el aceite y para identificar signos de desgaste en el motor, especialmente en tractores con altas horas de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] J. A. Angulo Aragón, “Identificación de los parámetros de vibraciones en motores de maquinaria agrícola,” Sep. 2020, Accessed: Sep. 11, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10578>
- [2] L. S. M. F. Shkiliova, “Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura,” p. 72, 2011.
- [3] R. Yasuní, “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida,” 2017. [Online]. Available: www.planificacion.gob.ec
- [4] “tractor, tractora | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://dle.rae.es/tractor>
- [5] D. Lang, D. ~W. Hogg, and D. Mykytyn, *The Tractor*. 2016.
- [6] Brian Boyce, “Guía de maquinaria: Tipos de tractores y categorías.” [Online]. Available: <https://www.agdaily.com/technology/machinery-guide-types-of-tractors-and-categories/>
- [7] María Martínez González, *Mantenimiento, preparación y manejo de tractores*. 2011. Accessed: Sep. 11, 2024. [Online]. Available: <https://reader.digitalbooks.pro/book/preview/18881/C1.html>
- [8] Motor, “Partes del motor: diésel y gasolina.” [Online]. Available: <https://club.autodoc.es/magazin/partes-del-motor-diesel-y-gasolina>
- [9] D. Utrilla, “PARTES DE UN MOTOR |.” [Online]. Available: <https://espaciocoches.com/partes-de-un-motor/>
- [10] D. Plaza, “¿Qué es el cárter? Funcionamiento y partes.” [Online]. Available: <https://www.motor.es/que-es/carter>
- [11] Gilbert Mauricio García Orozco, “Elementos que componen el motor.” [Online]. Available: <https://www.pruebaderuta.com/elementos-que-componen-el-motor.php>
- [12] Diego López Donaire, “La biela: qué es, qué partes tiene, tipos, función y materiales.” [Online]. Available: <https://www.actualidadmotor.com/la-biela-partes-y-funcin/#comments>
- [13] Y. Zuan and P. Xuan, “Estudio sobre el análisis de fallas del cigüeñal mediante el análisis de elementos finitos,” vol. 03001, 2021.
- [14] Félix Antonio Pérez Rondón, *Conceptos Generales En la Gestión del Mantenimiento Industrial*. 2021.

- [15] J. Holzner, "MANTENIMIENTO INDUSTRIAL," *Lexikon der Geisteswissenschaften*, pp. 28–31, 2011, doi: 10.7767/boehlau.9783205790099.28.
- [16] E. Álvarez Fernández, "Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM," 2018.
- [17] F. Villena, T. García, P. Ballesteros, and E. Pellicer, "International Congress on Project Management and Engineering Málaga, 10," vol. 029, no. July, p. 10, 2019.
- [18] A. M. Sánchez, "Técnicas De Mantenimiento Predictivo. Metodología De Aplicación En Las Organizaciones," 2017.
- [19] M. J. Griffin, "Vibraciones," *Enciclopedia De Salud Y Seguridad En El Trabajo en la OIT*, vol. II, p. 18, 2012, [Online]. Available: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Capítulo+50.+Vibraciones>
- [20] M. Jaureguiberry, "Ingeniería Industrial Seguridad e Higiene en el Trabajo," p. 7, 2018, [Online]. Available: <http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13-3/material/Vibraciones.pdf>
- [21] C. López L., "Evaluación, rediseño y validación de estructuras mediante análisis vibracional por funciones avanzadas," 2018.
- [22] "Normas ISO para evaluar la severidad de vibración en máquinas." Accessed: Oct. 18, 2024. [Online]. Available: <https://sedisaservicios.com/activos-industria/normas-iso-para-evaluar-la-severidad-de-vibracion-en-maquinas-rotativas/>
- [23] M. Y. Eléctrica, "Instituto politécnico nacional," 2018.
- [24] D. E. M. Versión and D. H. S. A, "Plan de ampliación de servicios de monitoreo de condición como valor agregado a clientes," 2021.
- [25] A. Iván, V. Jorge, A. Miguel, L. L. J. Rumbo-morales, and J. Yoe, "Aplicación Industrial del Análisis de Vibracione Revista de Ingeniería Industrial Aplicación Industrial del análisis de vibraciones Industrial Application of vibration analysis," vol. 2, no. February 2019, pp. 16–22, 2018.
- [26] A. V. . Oppenheim and R. W. . Schafer, *Discrete-time signal processing*. Pearson, 2010.
- [27] M. Gutiérrez, J. F. Iñiguez Izquierdo, X. Cadena, and G. Santiana, "Análisis De Las Vibraciones De Un Motor Ciclo Otto Con Una Mezcla Combustible A Base De Gasolina Y De Etanol," *INNOVA Research Journal*, vol. 2, no. 10.1, pp. 138–146, 2017, doi: 10.33890/innova.v2.n10.1.2017.568.

- [28] J. Gerardo, G. Olivares, P. Como, R. Parcial, O. El, and T. De:, “UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ‘ANTONIO NARRO’ DIVISION DE INGENIERIA”.
- [29] Case HI Agriculture, “Manual del Operario .”
- [30] R. Alconpat, “Potencial de análisis termográfico para evaluar manifestaciones patológicas en sistemas de revestimientos de fachadas,” vol. 1, pp. 38–50, 2018.
- [31] F. J. Rodr, A. Tutor, P. Luis, and C. Romero, “Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales Aplicaciones de la termografía infrarroja en las instalaciones eléctricas.,” 2020.
- [32] Termografía México, “Termografía Infrarroja ,” <https://termografia.com.mx/servicios.html>.
- [33] Edwin Copacondori Quispe, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN Enrique Guzmán y Valle Sistemas de Control de Temperatura,” 2018.
- [34] A. Jiménez, “Calor y calorimetría,” *Instituto Tecnológico de Costa Rica*, p. 20, 2018.
- [35] M. Herrera, L. Porras, and C. Estrella, “Propuesta De Declaración Del Espectro Electromagnético Para Ecuador,” *Revista Geoespacial*, vol. 15, no. 1, p. 15, 2019, doi: 10.24133/geoespacial.v15i1.1356.
- [36] J. Luque Ordóñez, “Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico,” *Acta, Núm. 62*, pp. 19–23, 2018, [Online]. Available: <https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/13-062>
- [37] A. S. Sánchez Ovando, “Recubrimientos de baja emisividad: escudos para combatir el calor,” 2018.
- [38] A. Domingo, “Apuntes de Trasmisión de Calor,” in *Arquitectura, Instalaciones E T S*, vol. 0, no. 0, 2018, pp. 40–70.
- [39] “HeatandMassTransfer7thEdition-Incropera-dewitt”.
- [40] FLIR Systems AB., “Guía de termografía para mantenimiento predictivo,” p. 45, 2018.
- [41] DEYCI PEÑA SANTOS, “Evaluación de la técnica de termografía para la detección de defectos en soldaduras deyci yamile peña santos,” 2012.
- [42] H. Raposo, J. T. Farinha, I. Fonseca, and L. A. Ferreira, “Condition monitoring with prediction based on diesel engine oil analysis: A case study for urban buses,” *Actuators*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.3390/act8010014.
- [43] Nain Aguado, “Toma de muestra para análisis de aceite,” <https://esp.cbmconnect.com/toma-de-muestra-para-analisis-de-aceite/>.

- [44] VM Phalle:, “TRIBOINDIA-2018,” 2018.
- [45] J. Villafuerte, “10/11/2020,” 2020.
- [46] M. D. Cookson and P. M. R. Stirk, “Estudio de Viabilidad para la Creación de un Centro Especializado en Análisis de Aceite de Motor para Vehículos,” 2019.
- [47] M. Niveló, K. Sebastián, P. Sánchez, and E. Enrique, “Diseño de una herramienta informática para el análisis de aceite lubricante en la flota de transporte de la EMAC,” 2022.
- [48] M. Niveló, K. Sebastián, P. Sánchez, and E. Enrique, “Diseño de una herramienta informática para el análisis de aceite lubricante en la flota de transporte de la EMAC,” 2022.
- [49] L. Viteri and J. Jaramillo, “Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del ilustre Municipio del Cantón Archidona,” 2011.
- [50] A. Wolak, G. Zajac, K. Fijorek, P. Janocha, and A. Matwijczuk, “Experimental investigation of the viscosity parameters ranges-case study of engine oils in the selected viscosity grade,” *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 12, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/en13123152.
- [51] C. O. Sergio Esteban, “Análisis de lubricantes para mejora del plan de mantenimiento en la flota de camiones Fotón de Cemex premezclados,” 2019.
- [52] S. A. Mercantil, “4JJ1 DE LA EMPRESA COORDINADORA Autor : Juan Daniel Cañaveral Barrientos Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería , Departamento de Ingeniería Mecánica,” 2021.
- [53] L. Buchelli Carpio and V. Garcia Granizo, “Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite / The use of using oil analysis for early detection of faults in diesel internal combustion engines,” *Ciencia Unemi*, vol. 8, no. 15, pp. 84–95, 2015, doi: 10.29076/issn.2528-7737vol8iss15.2015pp84-95p.
- [54] T. Edición and G. de Trabajo, “ESPECIFICACIÓN ISO/TS TÉCNICA 16949 Sistemas de Administración de Calidad-Requerimientos Particulares para la Aplicación de ISO 9001: 2008 para Organizaciones Automotrices de Partes para Producción y Servicios Relevantes Copia para,” 2009. [Online]. Available: www.iso.ch
- [55] I. Badr and M. Badaoui, “Modelisation of the maintenance-production couple by a graph of scheduling.”

- [56] “norma española,” 2003.
- [57] Jesus Gozalez, *Diagnostico Técnico para Detección de Fallas en Tractores*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.
- [58] CASE IH, “CASE IH ,” 2018.
- [59] Fluke Corporation, “Medidor de vibraciones Fluke 805,” 2019, [Online]. Available: <http://www.fluke.com/fluke/coes/Analizadores-de-Vibraciones/Fluke-805-Vibration-Meter.htm?PID=74298>
- [60] P. Prime, “Cámara infrarroja,” pp. 1–4, 2018.
- [61] STAUFF, “ Catalogue 8 STAUFF Diagtronic,” <https://cdn-assets.stauff.com/pdfcatalogs/en/STAUFF-Catalogue-8-STAUFF-Diagtronic-English.pdf>.
- [62] caseih, “mycnhstore,” <https://www.mycnhstore.com/sa/es/caseih/sa/engines/fpt/saam45fpt033f2ceseries/engine-pn-5802422507-260kw/general-pictorial-index/pictorial-index-main-sections/cn/B6957234-4658-4A8C-AD7A-71998090A9EB/912E320A-23D6-49EC-8502-F7CE578D8466>.
- [63] iasaglobal.com, “Laboratorio ,” <https://iasaglobal.com/ecuador/servicios/servicios-camiones/laboratorio-camiones/>.

ANEXOS