



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL TREN MOTRIZ DE UN
TRACTOR.**

AUTOR:

MUÑOZ AREVALO JOFRE SANTIAGO

DIRECTOR:

ING. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO, MSc.

Ibarra, 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL TREN MOTRIZ DE UN TRACTOR”, presentado por el señor: MUÑOZ AREVALO JOFRE SANTIAGO con número de cédula 040161805-3, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 21 días del mes de enero del 2022.

Atentamente:

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a circular stamp. The signature is stylized and appears to read 'Carlos Mafla'.

Ing. Carlos Mafla, MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE 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:	040161805-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Muñoz Arevalo Jofre Santiago		
DIRECCIÓN:	El Ángel		
EMAIL:	jofre010@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0997698991

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL TREN MOTRIZ DE UN TRACTOR"
AUTOR (ES):	Muñoz Arevalo Jofre Santiago
FECHA:	07-02-2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de febrero del 2022.

AUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Santiago Muñoz Arévalo', written over a horizontal line.

Firma

Muñoz Arévalo Jofre Santiago

040161805-3

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Principalmente a Dios padre, por ser el creador de la vida, por ser el fiel confidente de mis actos, por guiarme siempre en el camino del bien y protegerme de toda adversidad que se ha presentado en este camino de mi vida personal y profesional, por darme la fortaleza, la salud y esperanza de seguir cosechando logros en mi humilde vida.

A mis padres, Hernando Muñoz y María Arevalo, por su apoyo, trabajo y sacrificio brindado en todos estos años, gracias a sus enseñanzas, valores y consejos he logrado llegar hasta aquí con la frente bien en alto. Es un orgullo y un privilegio ser su hijo.

A mis dos hermanas por su apoyo incondicional, por siempre estar presentes durante todo este proceso formativo. A toda mi familia por todo el cariño que me han brindado y ser parte de mi vida.

Finalmente les dedico esta tesis a mis amigos que siempre estuvieron conmigo apoyándome, por extender su mano en los buenos y malos momentos de este largo camino.

Jofre Santiago Muñoz Arevalo

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por ser mi guía y bendecirme siempre, por no abandonarme nunca en cada paso que doy.

De manera especial agradecer a mis padres, Hernando y María, que me han apoyado e inculcado siempre a formar un futuro lleno de éxitos, son los mejores padres. Este logro es de ustedes.

Quisiera agradecer a la Universidad Técnica Del Norte, a la Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas (FICA), en especial a mi director de tesis, Ing. Carlos Mafla MSc, por la paciencia, el apoyo y por haberme compartido su sabiduría en los momentos que necesitaba para poder culminar este trabajo.

Agradecido con mis amigos y futuros colegas que me apoyaron y me ayudaron de una manera desinteresada, a lograr culminar mi trabajo de tesis y cumplir con una meta más en mi vida.

Agradecido infinitamente con los docentes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que siempre compartieron sus conocimientos para formar excelentes profesionales.

Jofre Santiago Muñoz Arevalo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos Específicos	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 ANTECEDENTES	3
1.5 TRACTOR AGRÍCOLA	4
1.6 CLASIFICACIÓN DE TRACTORES AGRÍCOLAS	7
1.6.1 Según la tracción de las ruedas	7
1.6.2 Según su elemento de rodadura	7
1.6.3 Según su especialización agrícola	7
1.6.4 Según su potencia y peso	8
1.6.5 Según el tipo de motor	8
1.7 COMPONENTES DE UN TRACTOR	8
1.7.1 Ruedas motrices	9
1.7.2 Motor del tractor	9
1.7.3 Embrague	10
1.7.4 Diferencial	10
1.7.5 Reducción final	12
1.7.6 Caja de velocidades o de cambios	12
1.7.7 Toma de fuerza	13
1.7.8 Bastidor	14
1.8 ELEMENTOS DEL MOTOR DEL TRACTOR	15
1.8.1 Distribución	16
1.8.2 Cárter	17

1.8.3	Cigüeñal	17
1.8.4	Biela	18
1.8.5	Pistón	19
1.8.6	Culata	20
1.8.7	Bloque de cilindros	20
1.9	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	22
1.9.1	Ciclo del mantenimiento predictivo	22
1.9.2	Técnicas en el mantenimiento predictivo	23
1.10	NORMAS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES	24
1.10.1	Clasificación de condiciones de la máquina	25
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1	INTRODUCCIÓN	26
2.2	MATERIALES	26
2.2.1	Tractor agrícola	26
2.2.2	Analizador de vibraciones	27
2.3	MÉTODO	29
2.3.1	Encuesta dirigida a mecánicos de tractores agrícolas	29
2.3.2	Encuesta dirigida a operadores de tractores agrícolas	30
2.3.3	Localización	31
2.3.4	Condiciones de medición en el tractor	31
2.3.5	Puntos de medición	33
2.4	MEDICIÓN DE VIBRACIONES	35
2.4.1	Procedimiento de medición	35
2.4.2	Datos a obtener	36
2.5	DEFECTOLOGÍAS EN EL TRACTOR AGRÍCOLA	38
2.5.1	Problema en la alimentación de aire	38
2.5.2	Problema en el sistema de inyección de combustible	39
2.6	PRUEBAS CON EL TRACTOR EN BUEN ESTADO	39
2.6.1	Registro de valores en el PMS	40
2.6.2	Registro de valores en el PMI	40

2.7 PRUEBAS EN EL TRACTOR – DEFECTOLOGÍA ADMISIÓN DE AIRE	41
2.7.1 Registro de valores en el PMS	41
2.7.2 Registro de valores en el PMI	42
2.8 PRUEBAS EN EL TRACTOR - DEFECTOLOGÍA EN LA INYECCIÓN	43
2.8.1 Registro de valores en el PMS	43
2.8.2 Registro de valores en el PMI	44
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1 INTRODUCCIÓN	45
3.2 RESULTADOS DE ENCUESTAS	45
3.2.1 Encuestas aplicadas a mecánicos	45
3.2.2 Encuestas aplicadas a operarios	48
3.2.3 Análisis de resultados de encuestas	50
3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE VIBRACIONES	50
3.3.1 Vibraciones en el punto muerto superior (PMS)	50
3.3.2 Vibraciones en el punto muerto inferior (PMI)	52
3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
3.4.1 Metodología de mantenimiento a base de vibraciones para tractores agrícolas	52
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
4.1 CONCLUSIONES	56
4.2 RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Tractores agrícolas	5
1.2	Evolución del tractor agrícola.	6
1.3	Estructura del tractor.	9
1.4	Diferencial simple	11
1.5	Traba del diferencial	11
1.6	Reducción final del tractor	12
1.7	Caja de velocidades	13
1.8	Elemento toma de fuerza TDF	14
1.9	Bastidor del tractor	15
1.10	Elementos que conforman el motor	16
1.11	Sistema de distribución por engranajes	16
1.12	Sistema de distribución por engranajes	17
1.13	Cigüeñal	18
1.14	Biela del motor	19
1.15	Pistón	19
1.16	Culata	20
1.17	Bloque de cilindros integral	21
1.18	Bloque de cilindros con camisa	21
1.19	Ciclo del mantenimiento predictivo	23
1.20	Estimación de estado del componente según sus vibraciones.	25
2.1	Analizador de vibraciones.	27
2.2	Ubicación geográfica donde se realizarán las pruebas en el tractor.	31
2.3	Petrocomercial Espejo	33
2.4	Punto de medición PMS lado derecho.	34
2.5	Punto de medición PMI lado izquierdo.	34
2.6	Plantilla de Microsoft Excel.	36
2.7	Hoja de gráfico.	37
2.8	Tabla Excel que utiliza el analizador de vibraciones Fluke 805FC.	37
2.9	Filtro de aire saturado de impurezas.	39
2.10	Vibraciones del tractor en buen estado – PMS.	40
2.11	Vibraciones del tractor en buen estado – PMI.	41
2.12	Vibraciones con defectología en la admisión - PMS.	42
2.13	Vibraciones con defectología en la admisión - PMI.	42

2.14	Vibraciones con defectología en la inyección - PMS.	43
2.15	Vibraciones con defectología en la inyección - PMI.	44
3.1	Años de experiencia en mecánica de tractores.	46
3.2	Daños mecánicos más comunes en tractores.	46
3.3	Horas de trabajo de un motor para hacer mantenimiento.	47
3.4	Tiempo de trabajo como operador.	48
3.5	Operarios con conocimiento en mecánica.	48
3.6	Problemas mecánicos identificados por los operarios.	49
3.7	Resultado de vibraciones - PMS.	51
3.8	Promedio de vibraciones - PMS.	51
3.9	Resultados de vibraciones – PMI.	52
3.10	Promedio de vibraciones - PMS.	53
3.11	Resultados de vibraciones en el PMS y PMI.	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Especificaciones del tractor John Deere 6110D	27
2.2	Especificaciones analizador de vibraciones Fluke 805FC	28
2.3	Especificaciones del diésel Premium	32
2.4	Especificaciones de los datos que se utilizan para el análisis de vibraciones.	38
3.1	Análisis de vibraciones.	54
3.2	Nivel de vibraciones de los componentes del tren motriz.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
-----------------------	--------------------	---------------

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio de los desperfectos mecánicos en motores de tractores agrícolas, a través de la obtención de datos de vibraciones mecánicas para el análisis del estado de funcionamiento de los componentes que conforman el tren motriz del tractor agrícola. Para lo cual se realizó un análisis de vibraciones en el PMS y PMI en el motor de un tractor agrícola en buenas condiciones de funcionamiento y con defectologías en el sistema de admisión de aire e inyección de combustible. En el desarrollo de la investigación se aplica una encuesta dirigida a los mecánicos y operadores de tractores agrícolas, a través de la cual se desea obtener información de los daños más comunes en el motor y con los resultados obtenidos seleccionar los componentes adecuados para su diagnóstico; mientras que en la parte experimental se utilizará un analizador de vibraciones marca Fluke 805FC, con el cual se obtiene datos en puntos estratégicos del motor y de esta manera realizar un análisis de vibraciones con un diagnóstico confiable y de calidad. En el motor a buenas condiciones de funcionamiento se obtiene un nivel de vibraciones mecánicas que oscilan entre 1,76 y 1,63 RMS, con un promedio de 1,69 RMS en el PMS; mientras que en el PMI se obtiene oscilaciones de entre 1,30 y 1,19 RMS, con un promedio de 1,24 RMS. En el punto muerto superior (PMS) se identifica una disminución del 0,8% de vibraciones mecánicas con la anomalía en la admisión y un aumento del 16,9% con la anomalía presente en el sistema de inyección, mientras que en el punto muerto inferior (PMI) se obtiene una disminución del 4,4% de vibraciones mecánicas con la anomalía en la admisión y un aumento del 3,3% con la anomalía presente en el sistema de inyección, comparado con los valores obtenidos en las pruebas realizadas con el tractor en buenas condiciones. Los resultados obtenidos muestran un mayor nivel de vibraciones mecánicas en el punto muerto superior (PMS) comparado con los obtenidos en el punto muerto inferior (PMI), donde se evidencia un aumento de vibraciones mecánicas en el PMS en promedios del 26,6%, 29,2% y 35,18% en las condiciones de buen estado, anomalía en la admisión y anomalía en la inyección, respectivamente, comparado con los valores obtenidos en el PMI, que son provocados por las fallas presentes en los componentes del sistema de inyección de combustible que ocasionan un nivel de vibraciones mayores en el motor, debido a un proceso de combustión ineficiente en los cilindros.

ABSTRACT

The present work has the objective of carrying out a study of the mechanical defects in agricultural tractor engines, through the obtaining of data of mechanical vibrations for the analysis of the operating state of the components that make up the powertrain of the agricultural tractor. For which a vibration analysis was carried out in the PMS and PMI in the engine of an agricultural tractor in good operating conditions and with defects in the air intake and fuel injection system. In the development of the research, a survey is applied to the mechanics and operators of agricultural tractors, through which it is desired to obtain information on the most common damages in the engine and with the results obtained, select the appropriate components for diagnosis; while in the experimental part, a Fluke 805FC brand vibration analyzer will be used, with which data is obtained at strategic points of the engine and thus perform a vibration analysis for a reliable and quality diagnosis. In the engine in good operating conditions, a level of mechanical vibrations is obtained that oscillates between 1.76 and 1.63 RMS, with an average of 1.69 RMS in the PMS; while in the PMI oscillations of between 1.30 and 1.19 RMS are obtained, with an average of 1.24 RMS. In the top dead center (PMS) a decrease of 0.8% of mechanical vibrations is identified with the defectology in the intake and an increase of 16.9% with the defectology present in the injection system, while in the neutral center lower (PMI), a 4.4% decrease in mechanical vibrations is obtained with the intake defectology and a 3.3% increase with the defectology present in the injection system, compared to the values obtained in the tests carried out with the tractor in good condition. The results obtained show a higher level of mechanical vibrations at the top dead center (PMS) compared to those obtained at the bottom dead center (PMI), where an increase in mechanical vibrations at the PMS is evidenced in averages of 26.6%, 29.2% and 35.18% in the conditions of good condition, intake defectology and injection defectology, respectively, compared to the values obtained in the PMI, which are caused by the faults present in the components of the fuel system, fuel injection that cause a higher level of vibrations in the engine, due to an inefficient combustion process in the cylinders.

INTRODUCCIÓN

La agricultura desempeña un papel importante en la economía de un país, siendo la columna vertebral de nuestro sistema económico, no sólo proporciona alimentos y materias primas, sino también oportunidades de empleo a una importante cantidad de población. Es por ello que se debe brindar mucha importancia a este sector y a la maquinaria que se utiliza para las diferentes actividades en el campo, como es el caso de los tractores agrícolas que son la herramienta principal para el trabajo de los agricultores.

Por lo expuesto anteriormente, en el presente proyecto se desarrollará una metodología de mantenimiento predictivo en el tren motriz de un tractor agrícola a través de la aplicación de equipos de diagnóstico que permitan obtener el rango de vibraciones mecánicas en zonas específicas del motor, con la finalidad de conocer el estado de funcionamiento del tractor agrícola y las posibles fallas de sus diferentes componentes.

El primer capítulo detalla el objetivo principal y los específicos, la justificación y alcance de la investigación, así como el marco contextual del problema, conceptos y elementos constitutivos de los tractores agrícolas, así como también se aborda lo relacionado a mantenimiento predictivo y las normas a considerar para el diagnóstico de resultados.

En el segundo capítulo se describe la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación, así como los materiales utilizados para su ejecución y el procedimiento seguido para la obtención de los valores de vibraciones mecánicas, además de las encuestas aplicadas a los mecánicos y operarios de tractores agrícolas para obtener información que permita seleccionar de mejor manera las zonas del motor para obtención de datos.

En el tercer capítulo se realiza la comparación de los resultados obtenidos en las vibraciones mecánicas con el tractor en buenas condiciones de funcionamiento y con anomalías en el sistema de admisión e inyección de combustible. De esta forma se identifica la variación de vibraciones en el punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI) para realizar un diagnóstico del estado de componentes a través de los valores obtenidos con el analizador de vibraciones.

Finalmente, en el cuarto capítulo se detalla las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, en relación al análisis de vibraciones mecánicas en el tren motriz de un tractor agrícola.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar una metodología de mantenimiento predictivo en el tren motriz de un tractor agrícola marca John Deere serie 6110D modelo 2018 para aumentar su tiempo de vida útil en la industria agrícola.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los desperfectos mecánicos en motores de tractores agrícolas para realizar su respectivo mantenimiento.
- Medir vibraciones mecánicas en motores para conocer y valorar el estado mecánico del tractor.
- Establecer los parámetros de vibraciones mecánicas para relacionarlos con el estado mecánico en el que se encuentra el tractor.
- Sugerir una metodología de mantenimiento predictivo conociendo la tendencia de los valores que estamos analizando.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La agricultura desempeña un papel importante en la economía de un país, siendo la columna vertebral de nuestro sistema económico, no sólo proporciona alimentos y materias primas, sino también oportunidades de empleo a una importante cantidad de población. En nuestro país los últimos gobiernos, dentro de su plataforma electoral, han ofrecido “volver los ojos al agro” y, sin embargo, nunca se ha delineado una verdadera política agraria coherente y sustentable; siempre ha sido el sector más desprotegido de la sociedad, manteniéndose a los pequeños y medianos agricultores en un completo abandono.

El Ecuador al ser un país agrícola tiene el beneficio de cultivar toda clase de alimentos provenientes de la tierra para el consumo humano y en todas estas actividades los

agricultores utilizan los tractores agrícolas para la preparación de suelos, transporte de productos, remolcar herramientas agrícolas y de esta manera garantizar que los cultivos de los alimentos sean aptos para el consumo humano.

Las actividades antes mencionadas se realizan en zonas alejadas de las ciudades, lo que complica el seguimiento del buen funcionamiento de la maquinaria por parte del personal técnico, ocasionando que los tractores detengan su trabajo y sean trasladados a centros de mantenimiento. Además, los propietarios u operadores de los tractores agrícolas no poseen los conocimientos adecuados para realizar el trabajo de mantenimiento preventivo y ciertas actividades las realizan de una forma no técnica y artesanal, provocando mayores daños en su funcionamiento y reduciendo la vida útil de sus componentes.

Un óptimo funcionamiento del tren motriz del tractor agrícola se logra con la aplicación de un mantenimiento preventivo adecuado a los diferentes sistemas y componentes del tractor, es por ello que el presente proyecto beneficiará a los agricultores para que puedan dar un mantenimiento más oportuno a la maquinaria y reducir tiempos de parada y costos de mantenimiento. Además, con esto se cumple con lo expuesto en el Plan de Desarrollo para el Buen Vivir donde se abarca en los siguientes objetivos:

- Objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.
- Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral (Desarrollo, 2017).

1.3 ALCANCE

En el presente proyecto se desarrollará una metodología de mantenimiento predictivo en el tren motriz de un tractor agrícola a través de la aplicación de equipos de diagnóstico que permitan obtener el rango de vibraciones mecánicas en zonas específicas del motor. Los valores registrados permitirán conocer el estado de funcionamiento del tractor agrícola y las posibles fallas de sus diferentes componentes.

La investigación se realizará en un tractor agrícola John Deere de serie 6110D - modelo 2018. La información obtenida en las diferentes pruebas realizadas permitirá desarrollar un análisis adecuado del estado de funcionamiento y componentes del tractor agrícola John Deere. Además, con los resultados obtenidos y analizados es posible establecer los

parámetros de vibraciones mecánicas para relacionarlos con el estado mecánico en el que se encuentra el tractor y sugerir un plan de mantenimiento para prolongar la vida útil del tractor agrícola.

Este estudio es de gran importancia para aportar a la comunidad del sector agrícola, ya que con la aplicación de una metodología de mantenimiento predictivo beneficiará a los agricultores para que puedan dar un mantenimiento más oportuno a la maquinaria y de esta manera reducir tiempos de parada y costos de mantenimiento.

1.4 ANTECEDENTES

Para los usuarios de maquinaria agrícola, resulta una prioridad contar con mecanismos que permitan dar seguridad al usuario final o productor agrícola en el funcionamiento y calidad de los tractores. A la hora de comprar un equipo, es importante que el agricultor conozca sus características técnicas, con el fin de saber si es el adecuado para las actividades que se pretenden realizar, de esta forma reducirá los costos de producción, contribuirá al ahorro energético y disminuirá la emisión de elementos contaminantes, nocivos para el medio ambiente (Arnal, 2001).

La mecanización de la agricultura ha permitido aumentar la capacidad de trabajo, la producción y ejecutar las operaciones con mayor oportunidad y calidad, reduciendo y dignificando el esfuerzo físico del hombre (De Erbiti, 1999).

El tractor agrícola se define como una maquinaria que tiene fuente de potencia propia y medios de locomoción (ruedas/cadenas) utilizada, principalmente, como sistema de tracción y transporte de otros equipos, con el fin de ejecutar las diversas operaciones dentro de la propiedad rural (Machado, 2010).

En todas las empresas estatales, cooperativas, fincas de productores familiares y otras unidades productivas y de servicios del Ministerio de la Agricultura y de otros ministerios, se dispone de maquinaria agrícola, talleres y otros medios para atender las necesidades de estas entidades productivas (Suárez, 2011).

Los agricultores deben adaptarse a estas situaciones y aplicar diferentes máquinas para transportar madera desde el punto de corte hasta el camino forestal. Además del deslizamiento, el transporte de madera desde terrenos difíciles se realiza con mayor

frecuencia con sistemas de cables o tractores de diferentes potencias y características. Esto es cierto para las operaciones forestales comunes ejecutadas por profesionales forestales y contratistas calificados y debidamente equipados (Jurij Marence, 2016).

El tractor se destaca en el desarrollo agrícola mundial, debido a su versatilidad, que sirve como fuente de energía y tracción para numerosos implementos y maquinaria agrícola utilizada en operaciones mecanizadas en una granja. Como una herramienta fundamental para elevar los estándares de producción, el tractor ahora tiene un uso generalizado, lo que genera una aceleración en su producción (Marquez, 1990).

La potencia y el consumo de combustible de los tractores agrícolas se pueden obtener en la toma de fuerza (PTO) utilizando un dinamómetro de freno. A su vez, el rendimiento de tracción de un tractor se obtiene realizando una prueba de barra de tracción, en la que el tractor tira de una carga determinada a través de una pista de concreto (Silveira & Sierra, 2010).

Paralelamente al desarrollo en tecnología, el uso de máquinas en procesos de mecanización de productos agrícolas y la producción ha provocado factores como el ruido, la vibración, el gas, etc., que afectan el entorno de trabajo de los usuarios e inspectores de esas máquinas. Para aumentar el éxito en el trabajo de las máquinas y brindar seguridad y comodidad a los usuarios, estas máquinas deben diseñarse con respecto a las características humanas (Liljedahl JB, 2013).

1.5 TRACTOR AGRÍCOLA

El tractor es un indispensable instrumento de trabajo, tiene sus propias exigencias, con un límite de posibilidades que no se pueden sobrepasar como el tipo de tracción, su sistema motriz y su potencia (González, 2011, pág. 7). Es una máquina robusta que consta de un motor que permite el desplazamiento, tiene diferentes funciones de trabajo y está diseñado para acoplar implementos especiales de empuje o arrastre. En la Figura 1, se indica los tipos de tractores más utilizados.



Figura 1.1 Tractores agrícolas

En los tiempos antiguos los animales (caballos, bueyes), eran utilizados para realizar los trabajos de labranza y movimiento de equipos estacionarios. Con el paso del tiempo las áreas de la agricultura fueron expandiéndose y surgió la necesidad de tener una máquina con motor que pueda desplazarse y tirar de equipos de labranza más grandes, eficientes y que sus implementos puedan ser accionados por el mismo motor (Flores, 2011).

James Watts había inventado la máquina de vapor poco antes, en 1776 y los ingenieros estaban buscándole aplicaciones en todos los aspectos (CurioSfera, 2020). En 1858 J. W. Fawkes construyó un arado con motor de vapor y desde entonces se fabricaron arados de vapor aproximadamente 40 años; en la última década del siglo XIX se construyeron tractores de vapor que resultaron demasiado pesados y difíciles de operar (JIMDO, 2020).

En el año de 1982 John Froelich agregó un motor de gasolina al chasis de un tractor de vapor

y lo equipó con un dispositivo de transmisión de su propio diseño (Hermosillo Nieto, 2014). A mediados de 1935 el irlandés Harry Ferguson inventa el sistema elevador que permite regular la altura de los brazos elevadores y adaptar la posición del apero a las condiciones del trabajo. De esa época es también la utilización de neumáticos de baja presión, poco a poco fueron llegando la dirección asistida, la normalización de los acoplamientos rápidos hidráulicos (Lopes, 2018).

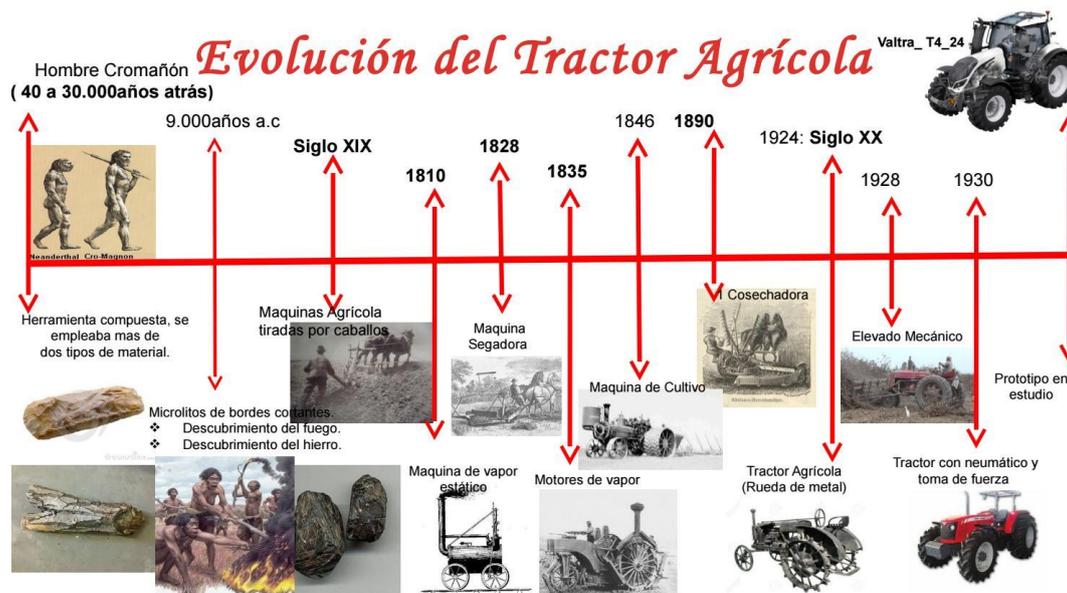


Figura 1.2 Evolución del tractor agrícola.

En los últimos años se emplea dispositivos electrónicos e informáticos cada vez más sofisticados, que además miden variables diversas como presión y temperaturas, registran grandes dosis de información y resultan determinantes para la toma de decisiones respecto a los cultivos (Albacete Agrícola, 2018).

A lo largo del siglo XX, el tractor ha evolucionado para permitir a las explotaciones agrícolas ser más eficientes y con la tecnología las actividades de agricultura es capaz de producir mayor cantidad de alimentos con menos recurso humano, es decir, se cultiva la misma superficie de tierra con menos personas (Calvo, 2019).

Con el pasar del tiempo se han ido mejorando todos los sistemas del tractor agrícola como: sistemas eléctricos, sistemas hidráulicos, transmisiones de potencia entre otros, llegando a obtener un tractor con más potencia, más eficiente y facilitar su operación (Han, Bohn, & Bauer, 2020).

1.6 CLASIFICACIÓN DE TRACTORES AGRÍCOLAS

En la industria existen diversos tipos de tractores para atender varias necesidades en el momento de realizar su trabajo. Los tipos de tractores que se puede encontrar se indican a continuación:

1.6.1 SEGÚN LA TRACCIÓN DE LAS RUEDAS

Según la tracción de las ruedas los tractores se clasifican en:

- a) **Tractor de dos ejes motrices.** Son utilizados en suelos secos con un nivel de pendiente bajo.
- b) **Tractor de cuatro ejes motrices.** Son los más sofisticados para realizar trabajos de alta exigencia, en suelos muy húmedos con pendientes pronunciadas.

1.6.2 SEGÚN SU ELEMENTO DE RODADURA

Según el elemento de rodadura la clasificación de los tractores es la siguiente:

- a) **Tractores con ruedas neumáticas.** Son diseñados con neumáticos para recorrer mayor distancia y desarrollar una mayor velocidad que los de orugas.
- b) **Tractores con bandas (orugas).** Se usan para un tipo de suelo irregular, tienen más adherencia al suelo repartiendo su peso de una forma homogénea.

1.6.3 SEGÚN SU ESPECIALIZACIÓN AGRÍCOLA

Según su especialización agrícola los tractores se clasifican en:

- a) **Tractor estándar.** Es un tractor que realiza varias funciones, es utilizado para el accionamiento de máquinas agrícolas y aperos.
- b) **Motocultor.** Es un tipo vehículo autopulsado similar a un pequeño tractor, pero de un solo eje (con dos ruedas neumáticas); se dirige mediante unas manceras o brazos y normalmente se maneja de pie (también sentado si admite remolque) (Pons, 2019).
- c) **Fruteros o viñeros.** Son empleados en zonas de frutales con marcos de plantación mayores o bien en viñedos con marcos más estrechos de hasta 2,5 m de ancho. Este tipo de tractores especiales tienen fácil accesibilidad a estas áreas, ya que presentan una cabina estrecha, sin dejar de ser confortables y este diseño permite maximizar

los rendimientos de la cosecha; normalmente son de entre 60-90 CV (Revuelta, 2017).

- d) **Elevados.** También llamados tractor zancudo, cuentan con una distancia libre al suelo superior a 1.000 mm y su uso es restringido a cultivos como el arroz (Larrazabal, 2019).
- e) **Forestales.** Son muy parecidos a los tractores agrícolas, La diferencia es que éstos están preparados para trabajar en las condiciones a las que nos enfrentamos en las zonas de bosque o monte. Es decir, zonas con pasos estrechos, pendientes pronunciadas y suelos habitualmente repletos de hojarasca y residuos madereros procedentes de los árboles (Ramos, 2019).

1.6.4 SEGÚN SU POTENCIA Y PESO

La clasificación de los tractores según (Naranjo, 2012) es:

- a) **Tractores livianos.** Son también llamados mini tractores, potencia entre 10 y 45 HP, peso entre 450 y 1500 kg.
- b) **Tractores medianos.** Estos tienen un tipo de uso general, potencia entre 45 y 129 HP, peso entre 1500 y 6000 kg.
- c) **Tractores pesados.** Son los que realizan un trabajo muy pesado y que requieren mayor potencia, potencia entre 120 y 450 HP.

1.6.5 SEGÚN EL TIPO DE MOTOR

En los motores de los tractores tenemos los siguientes:

- a) **Por su diseño de fabricación.** Motores en línea, motores en V y motores horizontales.
- b) **Por el número de cilindros.** El motor del tractor consta de 1, 2, 3, 4 o hasta más cilindros.
- c) **Por el ciclo de trabajo.** Motor de 4 tiempos, motor de dos tiempos.

1.7 COMPONENTES DE UN TRACTOR

El tractor agrícola funciona de manera similar a un vehículo. En la Figura 2 se muestra el esquema general de la estructura del tractor. En ella se puede observar que la energía producida por la combustión dentro del motor se transforma en energía mecánica, que es

utilizada para el funcionamiento del sistema hidráulico, el eje toma de fuerza (TDF) y las ruedas motrices para desarrollar las diferentes labores agrícolas (González, 2011).

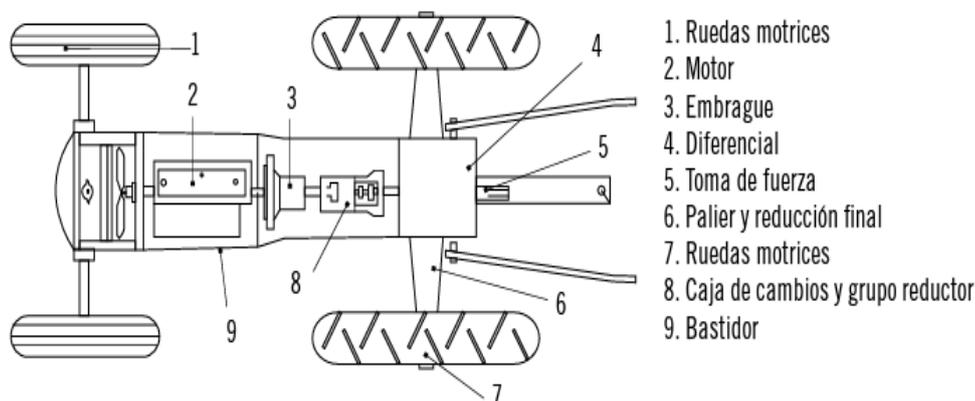


Figura 1.3 Estructura del tractor.

Fuente: (González, 2011)

1.7.1 RUEDAS MOTRICES

Las ruedas son las que transmiten la fuerza del par motor que se aplica a la tracción que se ejerce entre los neumáticos y la calzada logrando mover al tractor. Los neumáticos tienen gran importancia en el desarrollo de las labores agrícolas, ya que al ser el elemento de contacto con el suelo determinan el comportamiento del tractor o máquina en cuanto a tracción, rodadura, resbalamiento y compactación, lo que está relacionado con la productividad, el ahorro de combustible y la conservación del suelo (Blanco Roldan & Gil Ribes, 2016).

1.7.2 MOTOR DEL TRACTOR

Los motores diésel son motores de combustión interna que transforman el calor generado por la combustión del combustible en los cilindros en trabajo útil. El principio de funcionamiento es sencillo: la expansión de los gases producidos por la combustión dentro del cilindro empuja al pistón que, unido a la biela, hacen girar al cigüeñal (González, 2011, pág. 13).

El motor del tractor es un motor de expansión, lo definen como un conjunto de elementos, y que por medio de los sistemas que lo componen aprovecha la energía química que tenemos en el combustible para transformarla en energía mecánica, producida por la ignición dentro

de la cámara de combustión.

Esta expansión provoca que el pistón reciba toda la fuerza producida, obligándolo a bajar al punto muerto inferior (PMI), el pistón al estar unido con la biela y conjuntamente al cigüeñal produce un movimiento conocido como biela-manivela (transformando el movimiento rectilíneo en un movimiento giratorio). El movimiento producido es trasladado al volante de inercia, caja de velocidades, transmisión, y finalmente llegando a las ruedas motrices o también a la toma de fuerza del tractor (TDF) (Arnold & Chipayo, 2003).

1.7.3 EMBRAGUE

Es el sistema que permite controlar el acoplamiento entre el motor y la caja de cambios, desconectando el motor de las ruedas en el momento de arrancar o realizar un cambio de marcha y por lo tanto se afirma que el embrague resulta necesario en los vehículos automóviles dotados de motor térmico. Situado entre el motor y la caja de cambios concretamente entre el cigüeñal y el eje primario transmite el par motor de forma progresiva ya que tiene capacidad de resbalamiento y con el vehículo en movimiento el acoplamiento se debe convertir en rígido (Catalan Morrogon, 2016).

El embrague del tractor no necesita de mantenimiento y está compuesto de un conjunto de 3, 4 o 5 discos tienen un diámetro 225 mm y se encuentran bañados en aceite. Al momento de transferir la potencia que se genera en el motor y pasa a la caja de velocidades, la transfiere sin pérdidas, haciéndolo más eficiente que los embragues normales. Los tractores actuales están implementados con un sistema de power reverser (inversor electrohidráulico), que permite cambiar el sentido de marcha hacia adelante o hacia atrás sin la necesidad de pisar el embrague (Paraforos & Griepentrog, 2019).

1.7.4 DIFERENCIAL

El diferencial es un elemento mecánico encargado de trasladar la rotación producida por el motor hacia las ruedas encargadas de la tracción, es decir, permite que las llantas de la derecha y de la izquierda giren a velocidades distintas según la curva que esté tomando el coche, esto significa que cuando un coche toma una curva hacia la derecha, la rueda de este lado gira un recorrido más corto con respecto a la rueda izquierda, y lo mismo sucede en el caso contrario (Aranguren, 2018).

En el caso de los tractores agrícolas, el eje de transferencia de salida de la caja de velocidades llega directamente al tren posterior en donde está ubicado el diferencial, los semiejes y la reducción final. En los tractores se puede distinguir los diferenciales simples, que en su mecanismo del tiene un tren planetario con piñones de tipo cónicos, que tienen la función de permitir que las ruedas motrices del tractor giren a velocidades distintas cuando toma una curva (Molina Aiz, 2010).

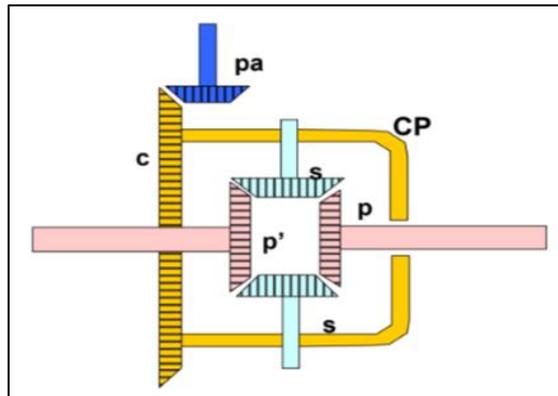


Figura 1.4 Diferencial simple

Fuente: (Molina Aiz, 2010)

Por otra parte, se tiene los diferenciales autoblocantes mecánicos, que son mayormente utilizados en las tracciones posteriores. Estos diferenciales tienen una gran potencia cuando se producen aceleraciones bruscas y uno de los neumáticos puede perder adherencia, para contrarrestar esto se auto bloquea el mecanismo y se logra evitar un sobre viraje en el vehículo, además permiten repartir revoluciones a los semiejes y estos se bloquean cuando un semieje se revoluciona más que el otro produciendo el patinaje del neumático (Meganeboy, 2014).

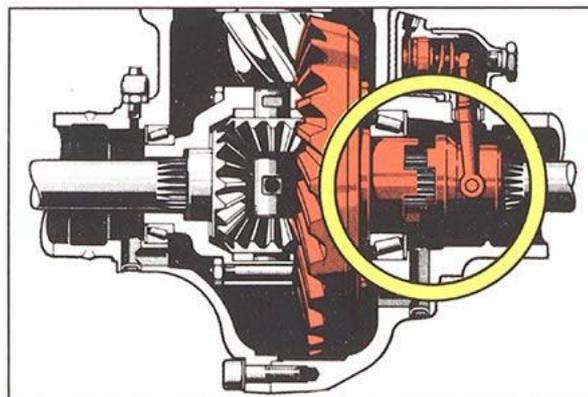


Figura 1.5 Traba del diferencial

Fuente: (Meganeboy, 2014)

1.7.5 REDUCCIÓN FINAL

La reducción final se encuentra en el puente trasero y en los tractores de doble tracción también en el delantero. La reducción final está formada por un bloque central y por los palieres, en cuyos extremos se encuentran las ruedas, además estos ejes transmiten el movimiento desde el diferencial hasta las ruedas (Balsari et al., 2021).

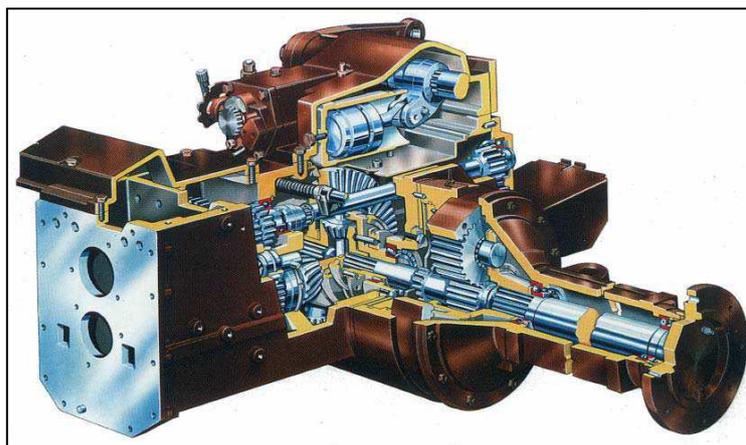


Figura 1.6 Reducción final del tractor

Fuente: (Molina Aiz, 2010)

En los tractores agrícolas se requiere velocidades muy bajas para que la calidad de sus trabajos sea mejor. La velocidad de giro del eje de salida del diferencial sigue siendo alta, por lo que se necesita de una reducción final, para que la velocidad en las ruedas sea la óptima para desempeñar un trabajo agrícola (Balsari et al., 2021). La reducción final se logra en la parte que está en medio de las ruedas motrices y el diferencial, y se divide en dos principales clases:

- a) **De engranajes constantes.** Las reducciones de engranajes constantes consisten en un piñón pequeño acoplado al semipalier que viene del diferencial y engrana con un piñón de mayor diámetro acoplado al palier de la rueda.
- b) **De engranajes planetarios.** Las reducciones epicicloidales constan de un piñón planetario solidario al eje de salida del diferencial y una caja de tres satélites que engranan con la corona que permanece fija (Molina Aiz, 2010, pág. 134).

En las reducciones finales se trabaja con relaciones de desmultiplicación de $1/3$ y de $1/5$.

1.7.6 CAJA DE VELOCIDADES O DE CAMBIOS

Es el conjunto de ejes y engranajes colocados en la parte media del tractor, cuya función

principal es adecuar el punto de funcionamiento del motor a las necesidades de cada situación en cuanto a la velocidad de avance y el esfuerzo de tracción requeridos (Martines Gonzales, 2018, pág. 11).

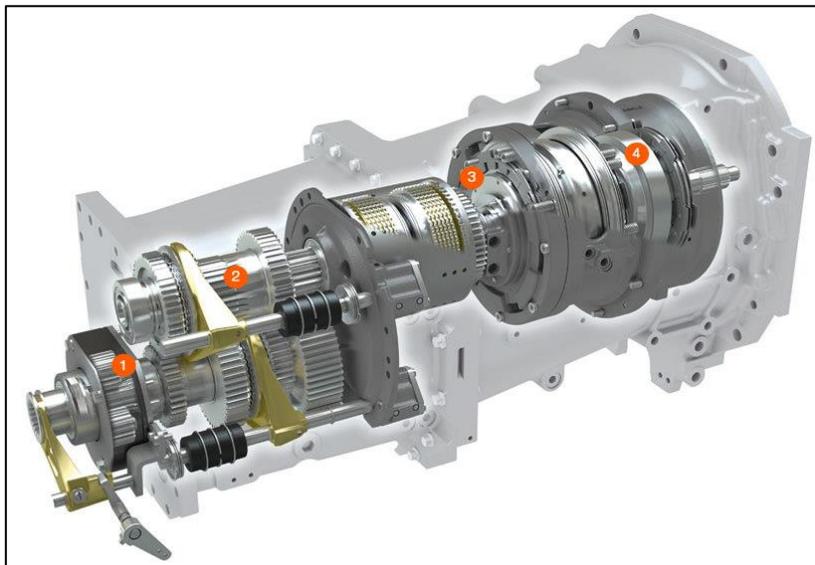


Figura 1.7 Caja de velocidades

Fuente: (Linares , 2019)

La caja de velocidades está compuesta de muchos engranajes de diferentes tamaños o de relación de transmisión según requiera el esfuerzo de tracción de trabajo en sus marchas hacia adelante o hacia atrás. Es muy indispensable en la hora de trabajo porque permite escoger una marcha de velocidad más adecuada cuando se realiza algún tipo de trabajo como: el arrastre de aperos agrícolas, arrastre de remolques vacíos o con carga, levantar y trasladar diferentes objetos, entre otros (Linares , 2019).

1.7.7 TOMA DE FUERZA

Es un eje en rotación que transmite energía para el accionamiento de las máquinas acopladas al tractor, situado normalmente en la parte posterior del mismo. Además de este eje se constituyen los componentes necesarios para dicho accionamiento, un árbol de transmisión articulado mediante juntas que se denomina “cardan” para permitir el cambio de dirección (Murphy, 2014).



Figura 1.8 Elemento toma de fuerza TDF

Fuente: (Ratto, 2018).

Es un eje estriado por el cual se transmite la potencia del motor, tiene la función de dar movimiento a diversas máquinas que no tienen un motor propio y que pueden acoplarse al tractor, como: bombas de agua, cosechadoras, molinos, sembradoras, abonadoras, corta malezas, entre otras. La potencia que es entregada por la toma de fuerza depende del número de estrías y del diámetro del eje, entre ellos tenemos los siguientes:

- De 6 estrías y un diámetro de 3.5 centímetros, el eje gira a 540 revoluciones por minuto.
- De 21 estrías y un diámetro de 3.5 centímetros, el eje gira a 1000 revoluciones por minuto.
- De 20 estrías y un diámetro de 4.5 centímetros, el eje gira a 1000 revoluciones por minuto.

Los rangos de trabajo para accionar la toma de fuerza (TDF) están entre las 2000 y 2200 revoluciones por minuto (RPM) de trabajo del motor (Ratto, 2018).

1.7.8 BASTIDOR

El bastidor del tractor es un cuerpo de metal rígido de gran espesor para soportar todo el peso de los elementos que componen el tractor, empezando por su parte frontal donde van ubicadas varias pesas de 43 KG cada una (ayudan a obtener una mejor tracción a las ruedas directrices delanteras), siguiendo por la parte media que soporta el peso de la cabina (habitáculo), el motor y a la caja de velocidades, tanque de combustible, entre otros, y finalmente en la parte posterior se une con toda la carcasa de la transmisión y el hidráulico (Palma & Gonzales , 2012, pág. 71).



Figura 1.9 Bastidor del tractor

Fuente: (Catalán, 2018)

En la parte posterior es donde soporta también el peso de los aperos agrícolas entre otras máquinas que van acopladas al tractor, estas pueden ser de levantamiento (en el sistema de levantamiento de tres puntos) o de arrastre (en la barra de tiro). El bastidor también cuenta en la parte central con puntos donde se le puede acoplar palas cargadoras y por estas razones el bastidor del tractor es rígido, porque no sufre torsión ni flexión como en el caso de bastidores de los camiones, camionetas, etc (Catalán, 2018).

1.8 ELEMENTOS DEL MOTOR DEL TRACTOR

El motor representa una parte esencial en la vida automotriz de un tractor, ciertamente todas sus partes realizan una función, pero el motor es el encargado de transformar energía en movimiento. En la siguiente Figura se indican los elementos que conforman el motor de un tractor agrícola.

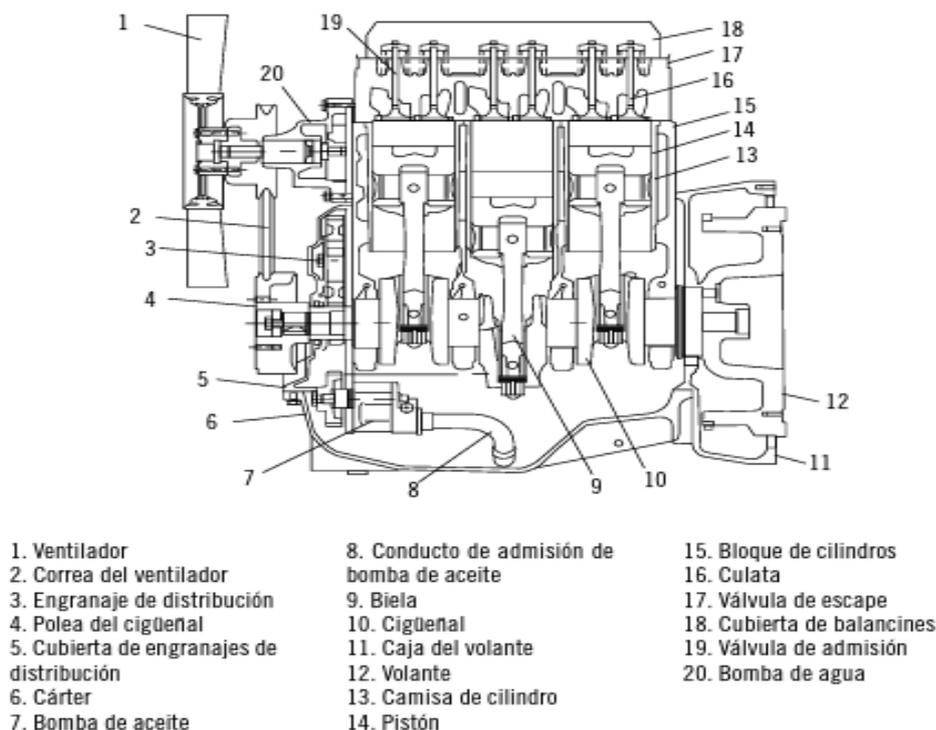


Figura 1.10 Elementos que conforman el motor

Fuente: (González, 2011)

1.8.1 DISTRIBUCIÓN

Este sistema se basa en la transmisión de movimiento por engranajes o ruedas dentadas y es muy empleado en motores de gran potencia y con grandes transmisiones de esfuerzo. Así, cuando las distancias son cortas, se utilizan solo dos engranajes y cuando las distancias son mayores se utilizan trenes de engranajes con ruedas intermedias (Sánchez Gutiérrez, 2012, pág. 305).

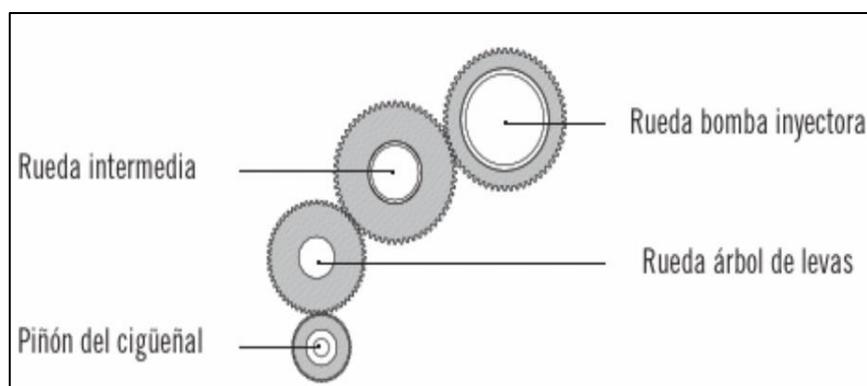


Figura 1.11 Sistema de distribución por engranajes

Fuente: (Sánchez Gutiérrez, 2012).

Los engranajes están ubicados normalmente en la parte interior frontal del motor y

transmiten el movimiento de forma sincronizada. El movimiento se transmite mediante engranajes, desde el cigüeñal hacia el árbol de levas, acciona a la bomba de inyección y también a la bomba de aceite (Sánchez Gutiérrez, 2012).

1.8.2 CÁRTER

Se une al bloque formando la tapa inferior del motor, es fabricado en hierro fundido, aleaciones ligeras de aluminio o láminas aceradas, porque debe ser resistente a los golpes dadas las condiciones difíciles en que suelen trabajar los tractores agrícolas, además, contiene el aceite y su respectiva bomba para lubricar las piezas del motor (González, 2011, pág. 16).

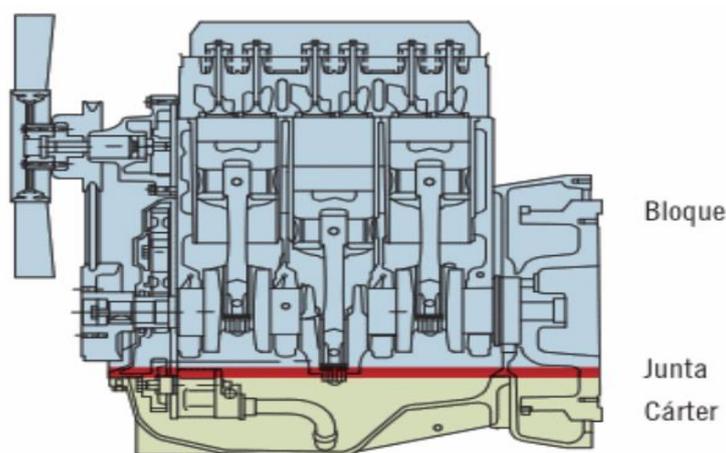


Figura 1.12 Sistema de distribución por engranajes

Fuente: (Sánchez Gutiérrez, 2012).

El cárter del tractor es un elemento muy fundamental, porque en él se deposita el aceite que sirve para la lubricación de los elementos móviles del motor. Está fabricado del mismo material del bloque y bastidor, por el motivo que se encuentra en la parte inferior del tractor y puede sufrir golpes a la hora de realizar su trabajo en superficies irregulares. Este componente es refrigerado por aire ya que se encuentra debajo del bastidor y por ende está expuesto a que el aire del ambiente le llegue directamente, evacuando el calor producido por la combustión (Sánchez Gutiérrez, 2012).

1.8.3 CIGÜEÑAL

Es un eje acodado fabricado en una sola pieza, de aleaciones especiales que le proporcionan mucha resistencia a la flexión, torsión, fricción y fuerzas de corte. Su función es convertir en giro la fuerza de propulsión del pistón a través de la biela y presenta contrapesos que

sirven para darle estabilidad de giro (González, 2011, pág. 15).

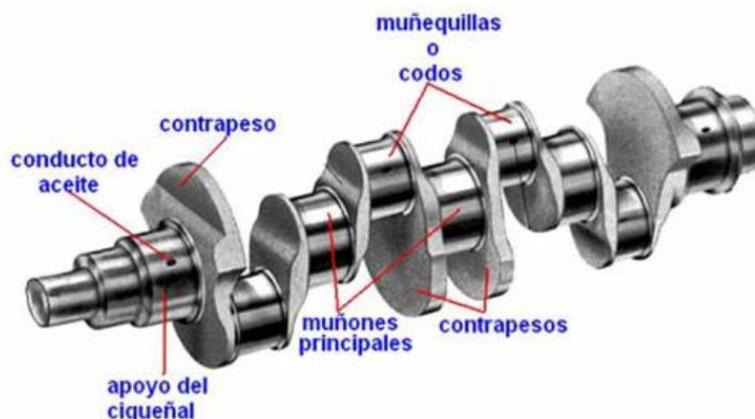


Figura 1.13 Cigüeñal
Fuente: (Gutierrez Quispe, 2015)

Está formado por un árbol acodado con muñequillas (donde va acoplada la cabeza de la biela mediante cojinetes), muñones de apoyo (van sujetos en las bancadas del bloque mediante cojinetes) y contrapesos (tienen la función de mantener un equilibrio estático y dinámico cuando está girando para compensar la fuerza de empuje en las muñequillas y puntos de apoyo).

El material que se utiliza para la fabricación del cigüeñal es de acero al carbono con aleaciones variables de níquel (Ni), cromo (Cr), cobalto (Co), y molibdeno (Mo), en pequeños porcentajes para que adopten las características de resistencia a la fatiga, la elasticidad, dureza, resistencia al desgaste entre otras (Gutierrez Quispe, 2015).

1.8.4 BIELA

Son piezas alargadas con una forma que les permite conectarse al pistón a través del bulón, por la parte superior, y al cigüeñal por la parte inferior. Su función es controlar la carrera vertical del pistón, transmitir (del pistón al cigüeñal) la presión resultante de la combustión y ayudar a transformar el movimiento de vaivén del pistón en movimiento circular del cigüeñal (Martines Gonzales, 2018, pág. 15).

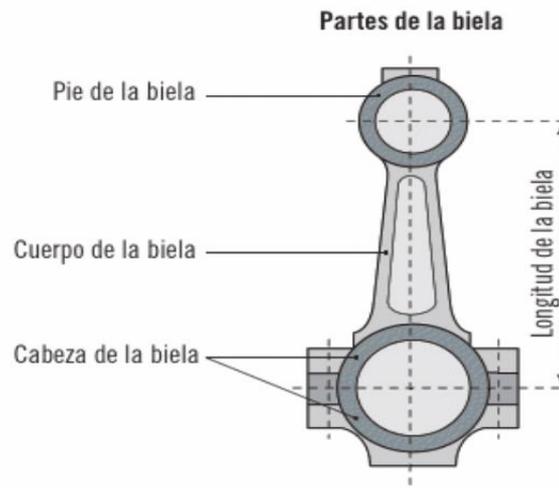


Figura 1.14 Biela del motor
Fuente: (Sánchez Gutiérrez, 2012)

El material de fabricación más utilizada de la biela es de acero forjado, por sus características de ser rígida y ligera. La biela es el elemento clave en el momento de transformar el movimiento lineal que realiza el pistón, en movimiento circular de las muñequillas del cigüeñal (Sánchez Gutiérrez, 2012).

1.8.5 PISTÓN

Está unido al cigüeñal mediante el bulón y la biela, para su desplazamiento dentro del cilindro y por la acción de la fuerza de expansión de los gases durante la combustión (Molina Aiz, 2010, pág. 25).

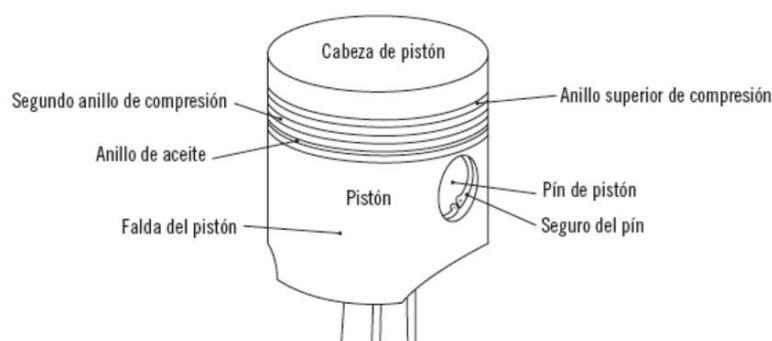


Figura 1.15 Pistón
Fuente: (Martines Gonzales, 2018).

El pistón es un elemento fundamental del motor, su fabricación es de aleación de aluminio y en su cuerpo cuenta con tres ranuras donde van ubicados los anillos. Los anillos del pistón son elásticos su fabricación es de aceros especiales, y cumplen la función de sellar entre el pistón y la pared interior del cilindro, con lo que evitan por un lado que no haya fuga de

compresión y del otro impiden el paso de aceite a la cámara de expansión (Martines Gonzales, 2018). El pistón está compuesto por:

- Cabeza del pistón
- Anillo superior de compresión
- Segundo anillo de compresión
- Anillo de aceite
- Falda del pistón

1.8.6 CULATA

Tapa el bloque de cilindros por la parte superior y está fabricada de una sola pieza de hierro o aleaciones de aluminio. Está compuesto por orificios que permiten el paso del agua de refrigeración, las varillas empujadoras de la distribución, los espárragos de sujeción del bloque, la entrada del aire de admisión, la salida de los gases de escape y el aceite para lubricar las partes superiores (González, 2011, pág. 13).

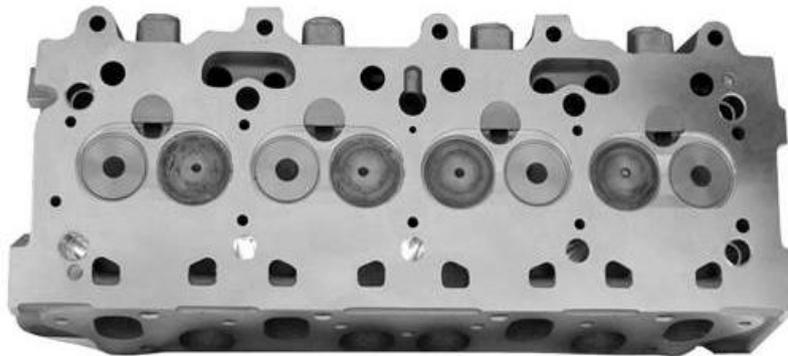


Figura 1.16 Culata

Fuente: (Gutierrez Quispe, 2015).

La culata es conocida como la cabeza del motor, es la que sella por la parte superior a los cilindros, evita que se produzca perdidas de compresión. Está acoplada al bloque del motor mediante tornillos y una junta que tiene la función de mejorar el sellado del bloque y la culata, soportando temperaturas muy elevadas (Gutierrez Quispe, 2015).

1.8.7 BLOQUE DE CILINDROS

Los distintos cilindros del motor están ubicados en una pieza única llamada bloque, que debe ser rígida, resistente a la corrosión y lo más ligera posible. Se une mediante tornillos al cárter, quedando abrazado entre ambas piezas. El bloque es considerado el cuerpo del motor, en él se encuentran los cilindros, su fabricación es de fundición de hierro reforzado para soportar

mayor temperatura y el torque que se genera en los cilindros que están en su interior (Molina Aiz, 2010, pág. 23).

El bloque de cilindros está dividido en dos tipos:

- **Bloque integral.** Los cilindros se los mecaniza en el mismo cuerpo del bloque, el cilindro se lo obtiene mediante un proceso de mandrinado teniendo una gran precisión dimensional y geométrica para lograr un excelente acabado.



Figura 1.17 Bloque de cilindros integral

Fuente: (Molina Aiz, 2010).

- **Bloque con camisas.** Las camisas son cilindros que se pueden montar y desmontar en el bloque del motor, se las puede fabricar de diferentes materiales más resistentes al desgaste. Según el tipo de material de fabricación de las camisas, ayudaría a aumentar la eficiencia para evacuar el calor que se produce en su interior (Molina Aiz, 2010).



Figura 1.18 Bloque de cilindros con camisa

Fuente: (Molina Aiz, 2010)

1.9 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El diagnóstico predictivo de maquinaria se desarrolla en la industria desde mediados de los ochenta a mediados de los noventa del siglo XX. Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos (RCM, ISO 55001, RBM...) (Alava, 2020).

El mantenimiento predictivo se basa en la condición que se encuentra una máquina, diagnosticando el estado de los componentes para predecir a tiempo real el fallo del componente. Con el desarrollo de un análisis correcto se puede aprovechar al máximo la vida útil de los componentes, se puede programar la sustitución de algún componente y no tener paros innecesarios, logrando minimizar los costos del mantenimiento (Navarro Elola, Pastor Tejedor, & Mugaburu Lacabrera, 1997, pág. 35).

Los operadores deben cuidar al tractor, operándolo en una forma correcta, respetando y realizando los diferentes mantenimientos que se necesita para cuidar y al mismo tiempo alargar la vida útil de los componentes que conforman el tractor. Los operadores de los tractores agrícolas deben tener conocimiento de los mantenimientos adecuados que requiere la máquina.

La vida útil de muchos componentes de máquinas no se puede establecer con precisión ya que depende de multitud de parámetros, por lo que el mantenimiento preventivo tiende a sustituir los componentes antes del final de su vida útil. Para evitar la sustitución prematura de los componentes por desconocimiento de su estado real se puede recurrir a la diagnosis mediante instrumentación, con lo que se consigue información más precisa sobre el estado de los componentes mientras siguen operativos (Besa González & Carballeira Morado, 2018, pág. 89).

1.9.1 CICLO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Las máquinas con partes móviles vibran durante su trabajo, en ocasiones estas vibraciones se pueden apreciar directamente debido al sonido emitido cuando su frecuencia está dentro del rango apreciable por el oído humano o el tacto sobre la máquina (Besa González & Carballeira Morado, 2018, pág. 87).

Dentro del mantenimiento predictivo existen diversas técnicas para detectar los posibles fallos de una máquina, los más comunes son los sentidos humanos como (vista, oído, tacto

y olfato), hasta los más sofisticados como (herramientas estadísticas, uso de datos de control de procesos, control de calidad), y técnicas de análisis como (vibraciones, ultrasonido, termografía, tribología) (Jardine, Lin, & Banjevic, 2006).

Este proceso consta de tres pasos fundamentales para lograr un mantenimiento preciso y de calidad:

- Detección. - Encontrar el problema de la máquina.
- Análisis. - Analizar el estado y la causa del problema detectado en la máquina.
- Corrección. - Programar un tiempo eficiente para su reparación o sustitución.

Los parámetros a controlar pueden ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caída de temperatura, ruido, vibraciones, dimensiones de una cota, etc (Navarro Elola, Pastor Tejedor, & Mugaburu Lacabrera, 1997, pág. 36).

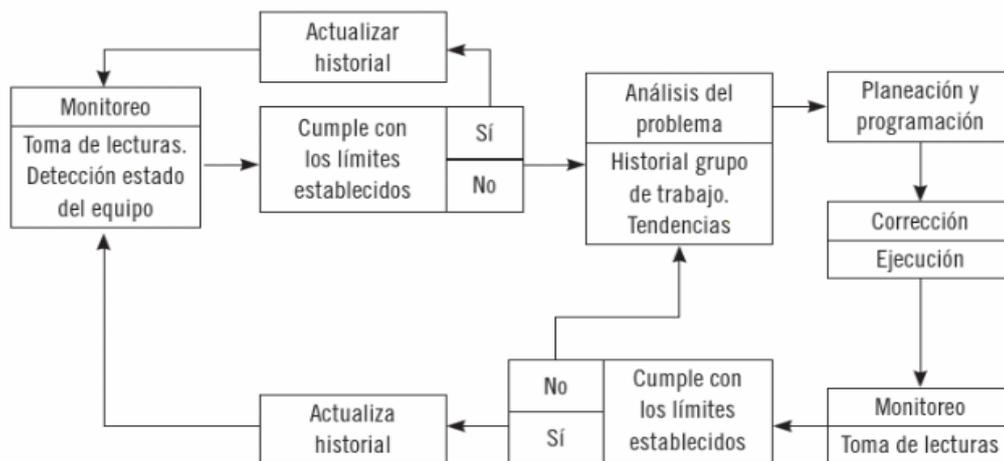


Figura 1.19 Ciclo del mantenimiento predictivo

Fuente: (Jiménez Raya, 2015).

1.9.2 TÉCNICAS EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Las técnicas que se aplican dentro del mantenimiento predictivo permite conocer el momento en el que puede fallar un componente, pero no dan la solución como evitar el problema del fallo (Ruiz-Gonzalez, 2014).

Las principales técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo son:

- Medición y análisis de vibraciones.** Se basa en el principio de que toda máquina vibra al estar en operación; cuando esta vibración se mantiene en un nivel aceptable

no provoca daño en el equipo, pero si aumenta significa que ha ocurrido un desperfecto de tipo mecánico. Es posible identificar la falla debido a que cada tipo ocasiona una vibración única (Medrano Márquez, González Ajuech, & Días de León Santiago, 2017, pág. 101).

La toma de mediciones de amplitud vs frecuencia en vibraciones, se mide en las siguientes unidades según (Mantetronic, 2013):

- Velocidad. En (mm/seg) para analizar problemas de desalineación, desbalanceo, soldaduras mecánicas, lubricación, problemas estructurales, base, resonancia, etapa de falla en un rodamiento.
- Aceleración. (G's) para analizar problemas a altas frecuencias piñones, cajas reductoras, daño de rodamientos.
- Enveloping. (Ge) para analizar problemas de rozamientos mecánicos, desgastes en bujes, filtrar frecuencias específicas para análisis de rodamientos (frecuencias de pista exterior, interior, bolas, canastilla).
- Onda en el tiempo. (Tiempo/seg) para analizar problemas de engranajes, piñones con dientes picados, daño de rodamientos.

b) Termografía. La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo en la que una imagen captada con infrarrojos se transforma en una imagen radiométrica que permite leer los valores de temperatura.

c) Ultrasonido. Esta técnica de mantenimiento predictivo mediante emisiones acústicas por encima de las frecuencias del rango perceptible permite la detección de fallas que con otras técnicas pasarían inadvertidas.

d) Tribología. La tribología es la que estudia la fricción, la lubricación y el desgaste de dos superficies en contacto.

e) Mediciones eléctricas. Las condiciones eléctricas en los motores eléctricos son las más frecuentes y se realizan para detectar el estado del aislamiento eléctrico y el consumo de corriente (Medrano Márquez, González Ajuech, & Días de León Santiago, 2017, pág. 111).

1.10 NORMAS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Se tiene una gran variedad de normas de análisis de vibraciones en máquinas registradas por la organización internacional de normalización (ISO), debido a que existe una amplia gama de categorías de máquinas en las que se puede realizar el análisis. En este caso se ha optado

por la norma que más sea pertinente para ejecutar las pruebas de vibraciones y que se detalla a continuación:

- ISO 10816-3: Vibración mecánica –Evaluación de la vibración de máquinas en base a su medición en Partes No-Rotatorias –Parte 3: Máquinas industriales con potencia nominal sobre 15 kW y velocidades nominales entre 120 r/min y 15000 r/min cuando se mide en terreno (Gomez, 2021, pág. 11).

Velocidad de la vibración Vrms	Máquina		Clase I Máquinas pequeñas	Clase II Máquinas medianas	Clase III Base rígida grande	Clase IV Base blanda grande
	pulg/s	mm/s				
0,01	0,28					
0,02	0,45					
0,03	0,71			BUENO		
0,04	1,12					
0,07	1,80					
0,11	2,80		SATISFACTORIO			
0,18	4,50					
0,28	7,10		NO SATISFACTORIO			
0,44	11,20					
0,70	18,00					
1,10	28,00		INACEPTABLE			
1,77	45,9					

Figura 1.20 Estimación de estado del componente según sus vibraciones.

Fuente: (FLUKE, 2012, pág. 32)

1.10.1 CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES DE LA MÁQUINA

Dentro de las normas de vibraciones se definen 4 zonas para medir la calidad de los componentes que se están analizando, según (Gomez, 2021, pág. 5) son las siguientes:

- Zona A: (Buena). La vibración de las máquinas nuevas puestas en servicio normalmente está dentro de esta zona, condición óptima.
- Zona B: (Satisfactoria). Máquinas con vibración en esta zona se consideran aceptables para operación a largo plazo sin restricción.
- Zona C: (Insatisfactoria). Máquinas dentro de esta zona se consideran insatisfactorias para operación continua a largo plazo. Generalmente la máquina puede continuar operando hasta que llegue a la detención programada para reparación.
- Zona D: (Inaceptable). Los valores de vibración dentro de esta zona son considerados de suficiente severidad para causar daño a la máquina.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizará un estudio de los desperfectos mecánicos en motores de tractores agrícolas, y mediante la obtención de datos de vibraciones mecánicas se determinará el estado de funcionamiento de los componentes que conforman el tren motriz del tractor agrícola.

En el desarrollo de la investigación se aplica una encuesta dirigida a los mecánicos y operadores de tractores agrícolas, a través de la cual se desea obtener información de los daños más comunes en el motor y con los resultados obtenidos seleccionar los componentes adecuados para su diagnóstico.

En la parte experimental se utilizará un analizador de vibraciones marca Fluke 805FC, con el cual se obtiene datos en puntos estratégicos del motor y de esta manera realizar un análisis de vibraciones para un diagnóstico confiable y de calidad. El objetivo del análisis de vibraciones es saber el estado en que se encuentran las partes móviles del motor y de esta manera predecir el tiempo de vida útil de los componentes del tractor agrícola.

2.2 MATERIALES

Los equipos utilizados para la presente investigación con sus respectivas especificaciones técnicas, se detallan a continuación:

2.2.1 TRACTOR AGRÍCOLA

Para el diagnóstico de los componentes se utilizó en un tractor de marca John Deere 6110D modelo 2018, que pertenece al Sr. Hernando Muñoz de la provincia del Carchi en la ciudad de El Ángel, parroquia La Libertad, el estado de trabajo del tractor se encuentra en 1300 horas. Las horas de trabajo están en un promedio de 80h/mes, y la actividad que se realiza es la preparación de suelos con sus respectivos aperos como: arado, rastra, huachadora, subsoladores, sembradoras entre otros.

Tabla 2.1. Especificaciones del tractor John Deere 6110D

Motor	6110D
Marca	John Deere
Modelo	Power Tech 4045T
Potencia a régimen nominal	106 hp (79 kw)
Régimen nominal	2100 rpm
Cilindros	4
Cilindrada	4.5 L
Aspiración	Turbocargador
Filtro de aire	PowerCore tipo seco con elemento de seguridad pre limpiador
Pre filtro de combustible	Si
Lubricación	A Presión total con filtro de caudal total
Acelerador	Accionado con la mano y el pedal
Bomba de inyección	Rotativa
Transmisión	
Velocidades	12 avance/ 12 reversa PowerReverser
Toma de fuerza	
Potencia máxima a la TDF	91.6 hp
Tipo	Independiente
Accionamiento	Electrohidráulico
Velocidad	540/1000 rpm

Fuente: (JOHN DEERE, 2018)

2.2.2 ANALIZADOR DE VIBRACIONES

Es un instrumento que sirve para la medición y análisis de vibraciones que emiten las máquinas en su trabajo diario. Para la toma de datos no es necesario detener la máquina y es posible obtener las mediciones durante su funcionamiento, teniendo la ventaja de no perder tiempo en el proceso de trabajo.



Figura 2.1 Analizador de vibraciones.

Las herramientas de análisis de vibraciones están diseñadas para predecir los fallos que se puedan presentar en un futuro en las máquinas, cuando se realiza un control permanente con este instrumento se suele diagnosticar los fallos tempranamente, hacer un análisis del estado de los componentes y tomar acciones correctivas de forma adecuada.

Para exportar los datos obtenidos del medidor de vibraciones, a un ordenador o PC se utiliza una conexión USB, se descarga una plantilla de Microsoft Excel al PC para evaluar las mediciones adquiridas a través de gráficos. También se puede vincular con un Smartphone por medio de la aplicación Fluke Connect que se conecta por vía Bluetooth.

A continuación, en la tabla 2.2 se indica las especificaciones del equipo analizador de vibraciones Fluke 805FC.

Tabla 2.2. Especificaciones analizador de vibraciones Fluke 805FC

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 flash 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

Fuente: (FLUKE, 2019)

2.3 MÉTODO

La investigación desarrollada es de tipo experimental, pues se fundamenta en el manejo de parámetros de vibraciones mecánicas con las que se predice el estado de los componentes del tractor agrícola, con el objetivo de realizar acciones correctivas adecuadas para alargar el tiempo de vida útil de los mismos. En el desarrollo del estudio de mantenimiento predictivo de un tractor John Deere 6110D se utilizó un analizador de vibraciones Fluke 805FC, con el cual se obtiene información que permita conocer el estado de funcionamiento del tractor.

Para seleccionar los componentes a analizar, se aplica una encuesta dirigida a mecánicos y operadores que tengan suficiente experiencia trabajando con tractores agrícolas, las mismas que se indican a continuación.

2.3.1 ENCUESTA DIRIGIDA A MECÁNICOS DE TRACTORES AGRÍCOLAS

En esta encuesta se necesita la ayuda de mecánicos con amplia experiencia trabajando con maquinaria agrícola. El objetivo de la encuesta es conocer los daños más comunes que se presentan en el funcionamiento del tren motriz de los tractores, y con el análisis de la información recolectada se procederá a seleccionar los elementos del motor que sufren daños con más frecuencia y que necesitan ser analizados profundamente durante la vida útil de trabajo.

A continuación, se indica la encuesta aplicada:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

ENCUESTA SOBRE LOS DAÑOS MAS COMUNES QUE TIENE EL TRACTOR AGRÍCOLA

Mecánico:

Empresa de trabajo:

Encuestador:

1. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con maquinaria agrícola?
2. Según su experiencia con tractores agrícolas ¿Cuáles son los daños más comunes que se presentan en el motor de un tractor?

3. Según las horas de trabajo ¿A qué horas más o menos suelen presentarse los daños más comunes del motor de un tractor?
4. ¿A las cuantas horas se repara un motor de tractor?
5. En su amplia experiencia de trabajo con tractores agrícolas ¿A trabajado usted con equipos de mantenimiento predictivo?

2.3.2 ENCUESTA DIRIGIDA A OPERADORES DE TRACTORES AGRÍCOLAS

Al igual que la encuesta que se realizará a los mecánicos, el objetivo principal es conocer los daños más frecuentes que se han presentado durante su amplia trayectoria como operadores de tractores agrícolas, y por medio de un analizador de vibraciones controlar el desempeño de la vida útil de los componentes del motor.

A continuación, se indica la encuesta aplicada:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

ENCUESTA SOBRE LOS DAÑOS MAS COMUNES QUE TIENE EL TRACTOR AGRÍCOLA

Operador:

Encuestador:

1. ¿Cuántos años más o menos lleva usted operando tractores agrícolas?
2. ¿Tiene usted conocimiento de mecánica o solo tiene conocimientos de manejo de tractores?
3. Según sus años de experiencia operando tractores ¿Qué problemas del motor ha tenido en el tractor?
4. ¿Qué clase de mantenimiento le realiza al tractor?
5. Tiene usted conocimiento ¿Que es el mantenimiento predictivo?
6. ¿Le gustaría que realice un mantenimiento predictivo en el tractor que usted opera?

2.3.3 LOCALIZACIÓN

La investigación se realiza en la ciudad de El Ángel parroquia La Libertad, que se encuentra ubicada a 3088 msnm, con una estimación de temperatura ambiente que varía entre los 13 °C y los 17 °C aproximadamente.

A continuación, en la Figura 2.2 se indica la ubicación de la toma de datos.



Figura 2.2 Ubicación geográfica donde se realizarán las pruebas en el tractor.

2.3.4 CONDICIONES DE MEDICIÓN EN EL TRACTOR

a) Condiciones del motor

Durante las pruebas, el motor del tractor debe encontrarse a la temperatura de trabajo que oscila entre los 87 °C y 89 °C, en estado de ralentí (sin acelerar). La toma de datos se realizará a una altura de 3088 msnm, con una temperatura ambiente que se encuentra entre los 13°C a 17°C y se utilizará un medidor de vibraciones marca Fluke 805FC.

Para el diseño del mantenimiento predictivo, se medirá las vibraciones que producen las partes móviles del motor de un tractor, lo cual permitirá identificar y determinar los fenómenos que tienen lugar en los sistemas mecánicos, observando y midiendo los parámetros de vibración a través del procesamiento y análisis de las señales emitidas por los mismos durante su funcionamiento para luego llevar un registro de diagnóstico y pronosticar un fallo futuro en el motor del tractor agrícola.

b) Mantenimiento

El tractor se encuentra en 1300 horas de trabajo y se realizó mantenimientos previos como: cambio de aceite y sustitución de filtros de aceite, cambio de filtros de combustible (primario

y secundario), limpieza del filtro de admisión de aire del motor.

c) Combustible

La calidad del combustible diésel y su contenido en azufre debe cumplir con todas las reglamentaciones de emisiones vigentes en el lugar de uso del motor y no se debe utilizar combustible diésel con un contenido de azufre superior a 10000 mg/kg (10000 ppm).

En Ecuador se comercializa tres tipos de combustible diésel según (Normalizacion, 2013, pág. 1), que se clasifican en:

- Diésel No 1. Combustible utilizado en aparatos de combustión externa industriales o domésticos.
- Diésel No 2. Combustible que se utiliza en los siguientes sectores: industrial, pesquero, eléctrico, naviero, etc, excepto para uso automotriz.
- Diésel Premium. Es el combustible utilizado en motores de autoignición para la propulsión de vehículos del sector automotriz a nivel nacional.

En la Tabla 2.3 se indica las especificaciones del diésel Premium utilizado durante las pruebas realizadas.

Tabla 2.3. Especificaciones del diésel Premium

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de agua y rendimiento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% de destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	-	0,05	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495

Fuente: (Normalizacion, 2013, pág. 2)

Para el funcionamiento del tractor se utiliza el combustible diésel Premium y el abastecimiento se realiza en la estación de servicio Petrocomercial Espejo que se encuentra ubicada en la ciudad de El Ángel.



Figura 2.3 Petrocomercial Espejo

El combustible es un factor muy importante e indispensable en los motores, por eso se requiere de un mantenimiento preventivo en el sistema de alimentación con la finalidad de proteger a los componentes principales del sistema de inyección como: bomba de combustible e inyectores. En el Ecuador el combustible diésel supera las 100 partículas por millón de azufre, lo que únicamente permite utilizarlo en vehículos con tecnología Euro 3.

2.3.5 PUNTOS DE MEDICIÓN

Para realizar las mediciones se tomarán puntos estratégicos en el motor del tractor para obtener la información más confiable y realizar un diagnóstico confiable de sus componentes. En la Figura 2.4 se indica la posición referencial del punto muerto superior (PMS), el cual es estratégico para realizar la toma de datos con el analizador de vibraciones a diferentes elementos que se encuentran cerca a esta posición. De esta manera se realiza un análisis minucioso como, por ejemplo: golpeteos de válvulas con la cabeza del pistón, golpeteo del pistón con el cabezote, válvulas dobladas, válvulas desalineadas, válvulas mal calibradas, golpeteos del pistón, análisis en la cámara de combustión, inyectores defectuosos.



Figura 2.4 Punto de medición PMS lado derecho.

En la Figura 2.5 se indica la referencia de toma de datos en el punto muerto inferior (PMI) y que se encuentra cerca al centro del bloque. Este punto es muy ventajoso para realizar mediciones con el analizador de vibraciones a elementos como: golpeteo de la falda del pistón, desgaste prematuro de los anillos del pistón, desbalance del cigüeñal, bielas dobladas, holgura excesiva de las muñequillas del cigüeñal y cojinetes, bancadas flojas o mal ajustadas, desgaste excesivo de los cojinetes, demasiada holgura entre el bulón y el eje del pistón.



Figura 2.5 Punto de medición PMI lado izquierdo.

Se optó realizar las mediciones de vibraciones en el bloque porque en su interior se encuentra

la mayoría de los elementos móviles que componen el motor del tractor y se encuentra la cámara de combustión. Los elementos que se encuentran en el bloque son: los pistones, camisas, bielas, anillos del pistón, bulón, cojinetes, cigüeñal, bancadas y también se las puede considerar a las válvulas e inyectores.

2.4 MEDICIÓN DE VIBRACIONES

Las mediciones se las realizará en la parte externa del bloque, en puntos estratégicos que se encuentren alineados con los cilindros y teniendo de referencias 2 puntos claves respecto a los pistones: uno en el lado derecho del motor a la altura del punto muerto superior (PMS) y el otro en el lado izquierdo a la altura del punto muerto inferior (PMI).

2.4.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Para proceder con las mediciones se mantiene encendido el motor del tractor 15 a 20 minutos para alcanzar una temperatura adecuada de trabajo. Sin carga de revoluciones en el motor y utilizando un medidor de vibraciones marca Fluke 805FC para la toma de datos, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Pulse botón de encendido.
2. La pantalla aparece sin ninguna identificación ni categoría de máquina.
3. Pulse botón “MEASURE”.
4. Poner la punta del medidor de vibraciones a 90° sobre el punto de medición y hacer presión hasta que se encienda el “led verde”.
5. Tener presionado hasta que se apague el “led verde” y se muestra el resultado de la prueba (Si se enciende el “led rojo” vuelva a repetir los pasos 3, 4 y 5 hasta obtener los resultados en la pantalla).
6. Presionar el botón “SAVE”.
7. Seleccione Guardar en: Conf. Existente y presionar “ENTER”.
8. Escoger la opción “por nombre” presionar “ENTER”.
9. Seleccionar la configuración correspondiente y guardar presionando el botón “ENTER”.
10. Presionar el botón “MEMORY” para revisar los datos guardados.
11. Para realizar una nueva medición repetir los pasos del 3 al 9 (Máximo 3500 mediciones).

12. Para exportar los datos conectar el cable USB al PC o conectar vía Bluetooth con un Smartphone.

Se realizará 50 mediciones en cada punto seleccionado y el intervalo de tiempo que se tiene entre una medición y otra son 25 segundos aproximadamente (Tiempo que se demora en guardar los datos el medidor de vibraciones).

2.4.2 DATOS A OBTENER

Luego de realizar las mediciones con el analizador de vibraciones Fluke 805FC, se procede a exportar los datos obtenidos a una PC o a un dispositivo móvil por medio de una conexión USB o por conexión vía Bluetooth.

En el caso de vincular el equipo de medición con la PC es necesario descargar una plantilla de Microsoft Excel de internet, conectar con el cable USB la PC y el equipo de medición para exportar los datos tomados en las mediciones del bloque del tractor.

En la plantilla de Microsoft Excel se despliega una tabla como la que se indica en la Figura 2.6; esta plantilla se utiliza para analizar y graficar los datos obtenidos en las mediciones de vibración en el tractor. También se tiene tres opciones de hojas Excel que son: la hoja de configuración, hoja de gráfico y la hoja de vista de datos.

The image shows a screenshot of a web-based software interface for a Fluke device. The interface is titled 'FLUKE' and 'Ver 2.7'. It features two main sections: 'Import Database File' and 'Machine Configuration Details'. The 'Import Database File' section includes a 'File Name' input field and a 'Browse' button. The 'Machine Configuration Details' section includes four input fields: 'Device ID', 'Machine Category', 'Machine Name', and 'Secondary Name'. Below these fields are two buttons: 'Configure Graph' and 'View Data'. A blue arrow points to the right, indicating a navigation or action button. The interface is displayed in a browser window with the address bar showing 'D23456887' and 'Demo Fan 101'.

Figura 2.6 Plantilla de Microsoft Excel.

En esta interfaz se selecciona los archivos que se requiere importar a Microsoft Excel y también incluye los siguientes campos:

- Identificación del dispositivo de medición.
- Identificación de la maquina en la que se realizó las pruebas.
- La categoría de la máquina.
- Nombre de la prueba realizada.

En la segunda hoja de Excel se dispone de la opción de graficar los resultados para proceder a analizarlos como se indica en la Figura 2.7, y contiene opciones para cambiar las configuraciones del gráfico.

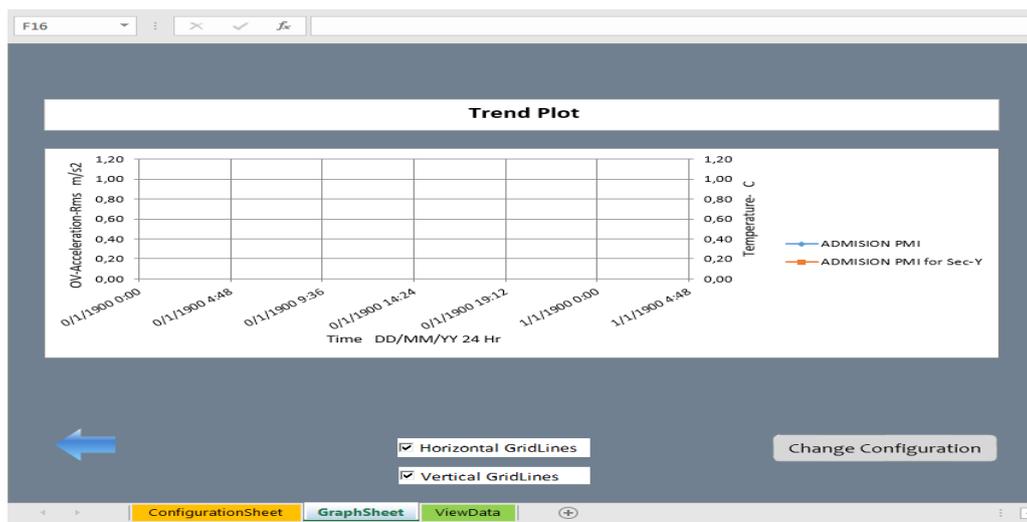


Figura 2.7 Hoja de gráfico.

En la tercera hoja Excel se tiene todos los datos obtenidos en las pruebas realizadas, que se puede graficar en la segunda hoja Excel para su análisis.

Record No	Peak (g)	Peak (m/s ²)	Rms (m/s ²)	Pk-Pk (m/s ²)	Peak (mm/s)	Rms (mm/s)	Pk-Pk (mm/s)	Peak (mm)	Rms (mm)	Pk-Pk (mm)	Peak (g)	Rms (g)	Pk-Pk (g)	Peak (Centigrade)	Peak (Fahrenheit)
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															

Figura 2.8 Tabla Excel que utiliza el analizador de vibraciones Fluke 805FC.

A continuación, en la Tabla 2.4 se detalla las unidades de los parámetros que se determina con el medidor de vibraciones Fluke 805FC y son utilizados para analizar y graficar en Microsoft Excel.

Tabla 2.4 Especificaciones de los datos que se utilizan para el análisis de vibraciones.

Datos	Descripción
Record No	Numero de prueba
Date & Time (DD/MM/YY 24 Hr)	Fecha y hora de la prueba
OV-Acceleration	Aceleración General
OV-Velocity	Velocidad General
OV-Displacement	Desplazamiento General
Temperature	Temperatura
CFPlus	Factor de Cresta
Peak	Pico
RMS	Raíz Cuadrada Media
Pk-Pk	De pico a Pico
g	Gravedad
m/s ²	Metro sobre segundo al cuadrado
in/s	Pulgada sobre segundo
mm/s	Milímetro sobre segundo
mils	Milésimas de pulgadas
µm	Micras
Centigrade	Centígrados (°C)
Fahrenheit	Fahrenheit (°F)

2.5 DEFECTOLOGÍAS EN EL TRACTOR AGRÍCOLA

2.5.1 PROBLEMA EN LA ALIMENTACIÓN DE AIRE

El sistema de admisión de aire del tractor John Deere cuenta con elementos como: filtro de aire, turbocargador, múltiple de admisión, cabezote y válvula de admisión. Para el análisis de vibraciones se provoca una falla en el sistema de admisión con la finalidad de conocer los parámetros de vibraciones posibles en estos componentes.

En este caso el elemento que puede causar la alteración de las vibraciones es el filtro de admisión de aire, ya sea por obstrucciones con impurezas, filtro. Como se observa en la Figura 2.9, el filtro de aire del tractor está saturado de impurezas, ocasionando que el flujo de aire requerido por el motor no sea el suficiente.



Figura 2.9 Filtro de aire saturado de impurezas.

2.5.2 PROBLEMA EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

La línea de inyección de combustible del tractor John Deere está compuesta por: el tanque de combustible, bomba de alimentación, filtro primario, filtro secundario, bomba de inyección, cañerías e inyectores. Se realizó las pruebas con el analizador de vibraciones Fluke 805FC con la finalidad de obtener los rangos adecuados con los componentes en buenas condiciones de funcionamiento y fallas en los mismos.

Uno de los componentes de mayor falla en el sistema de inyección son los propios inyectores, mismos que pueden presentar las fallas siguientes:

- Bloqueo de la aguja
- Suciedad en el asiento de la tobera
- Obstrucción de los orificios
- Perdida de presión

Posibles causas por las que falla el inyector:

- Combustible de mala calidad (sucio)
- Filtros de combustible sucios
- Generación de residuos de carbón que se obtiene por la combustión

2.6 PRUEBAS CON EL TRACTOR EN BUEN ESTADO

A continuación, se indica los resultados de vibraciones mecánicas obtenidas con el tractor

en buenas condiciones de funcionamiento, mismos que serán utilizados como referencia para identificar la variación en sus valores cuando algún componente se encuentre en mal estado provocando un funcionamiento ineficiente en el tractor agrícola.

2.6.1 REGISTRO DE VALORES EN EL PMS

En la Figura 2.10 se indica los resultados de vibraciones mecánicas registradas por el equipo de diagnóstico en el punto muerto superior (PMS) del motor en el tractor agrícola a prueba. Se puede observar que los valores de vibraciones oscilan entre 1,76 y 1,63 RMS, que pueden ser ocasionados por el funcionamiento de los componentes que constituyen la parte superior del motor como: válvulas, movimiento del pistón, trabajo de inyectores y efectos de la combustión de la mezcla.

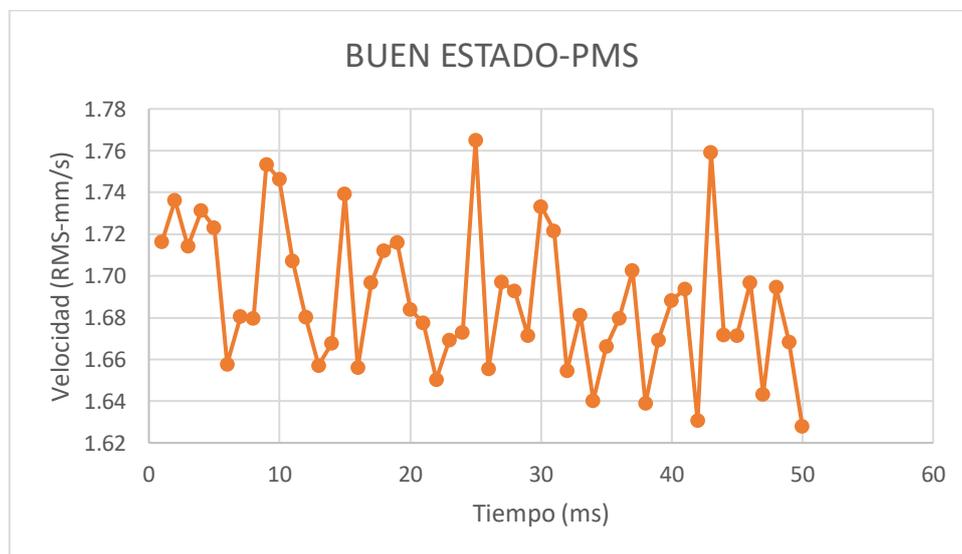


Figura 2.10 Vibraciones del tractor en buen estado – PMS.

De los resultados obtenidos se tiene un promedio de 1,69 RMS, lo que indica que el nivel de vibraciones en la zona seleccionada muestra una condición óptima de funcionamiento del motor, según los rangos que se presentan en la Figura 1.17 de estimaciones de estado de componentes según sus vibraciones para las máquinas de Clase III (Base rígida grande).

2.6.2 REGISTRO DE VALORES EN EL PMI

Los resultados de vibraciones mecánicas registradas por el equipo de diagnóstico en el punto muerto inferior (PMI) se indican en la Figura 2.11, donde se puede observar que los valores de vibraciones oscilan entre 1,30 y 1,19 RMS. Las vibraciones en esta zona del motor pueden ser ocasionados por el funcionamiento de los componentes como: falda del pistón, giro del cigüeñal, bielas, cojinetes.

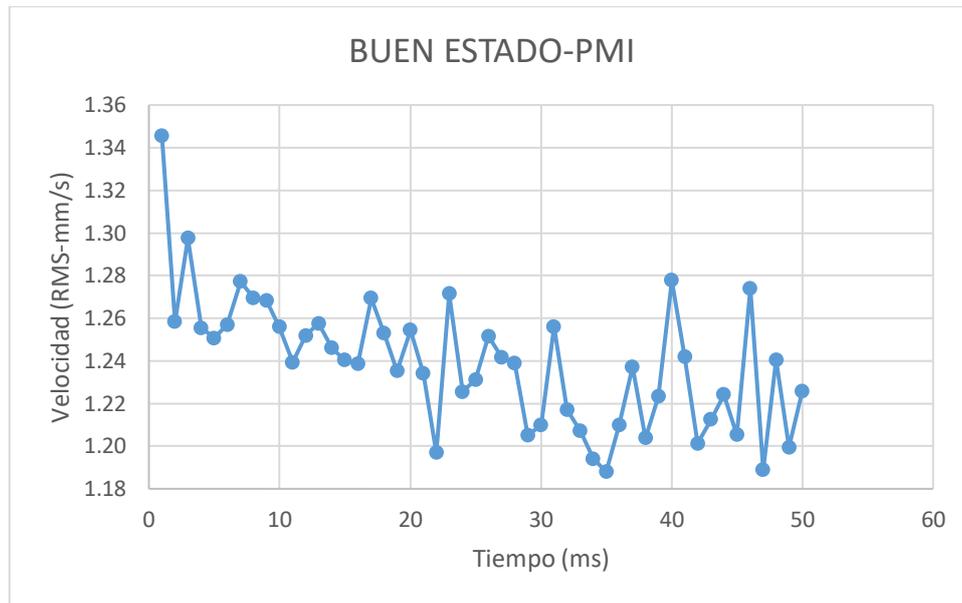


Figura 2.11 Vibraciones del tractor en buen estado – PMI.

En los resultados registrados se tiene un promedio de 1,24 RMS, lo que indica un óptimo funcionamiento del motor y de los componentes en la zona seleccionada para la obtención de datos, esto según los rangos que se muestran en la Figura 1.17.

2.7 PRUEBAS EN EL TRACTOR – DEFECTOLOGÍA EN LA ADMISIÓN DE AIRE

Una vez que se obtienen los rangos de vibraciones con el tractor agrícola en buenas condiciones de funcionamiento se procede a simular una falla en el sistema de admisión de aire, con la finalidad de conocer la variación en los valores de vibraciones mecánicas que se pueda registrar cuando existe deficiencia de ingreso de aire hacia el motor.

2.7.1 REGISTRO DE VALORES EN EL PMS

En la Figura 2.12 se muestra los resultados de vibraciones mecánicas registradas en el punto muerto superior (PMS) del motor en el tractor agrícola cuando se produce una obstrucción de ingreso de aire hacia los cilindros. Se puede observar que los valores de vibraciones oscilan entre 1,76 y 1,59 RMS, que luego serán comparados con los valores obtenidos en las pruebas con el tractor en buenas condiciones de funcionamiento.

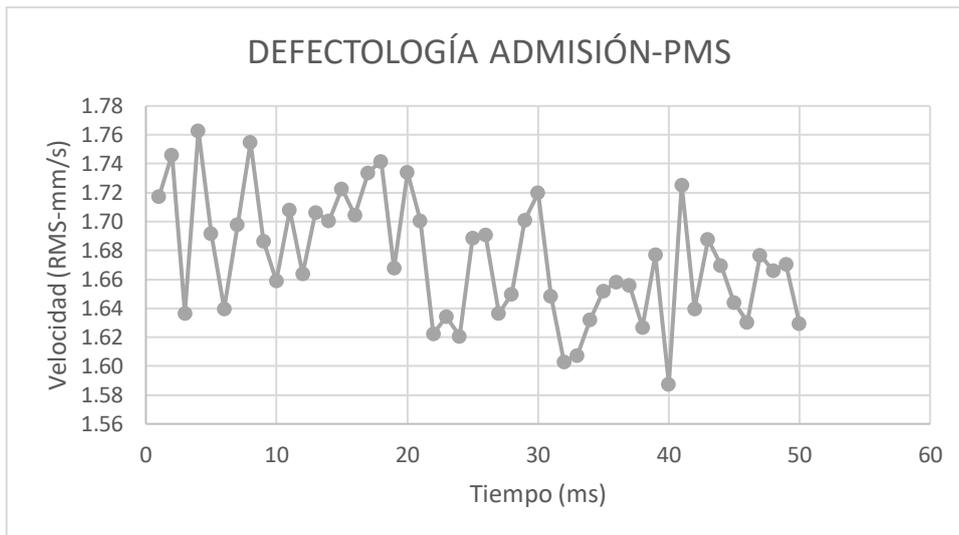


Figura 2.12 Vibraciones con defectología en la admisión - PMS.

En las pruebas realizadas se obtiene un promedio de 1,67 RMS, lo que indica que el nivel de vibraciones se encuentra en la zona A de la Figura de estimaciones de estado de componentes según sus vibraciones para las máquinas de Clase III, indicando que el motor se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento.

2.7.2 REGISTRO DE VALORES EN EL PMI

Los resultados de vibraciones mecánicas registradas en el punto muerto inferior (PMI) se indican en la Figura 2.13, donde se puede observar que los valores de vibraciones oscilan entre 1,24 y 1,15 RMS. Estos valores serán comparados con los registrados en el punto muerto inferior del tractor en buen funcionamiento.

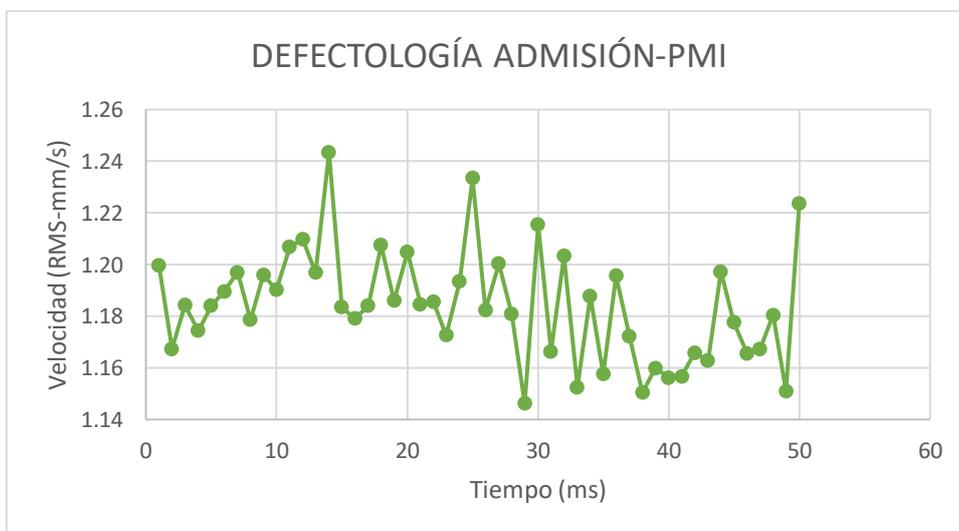


Figura 2.13 Vibraciones con defectología en la admisión - PMI.

En los resultados registrados se tiene un promedio de 1,18 RMS, lo que indica un óptimo funcionamiento del motor en la zona seleccionada para la obtención de datos.

2.8 PRUEBAS EN EL TRACTOR - DEFECTOLOGÍA EN LA INYECCIÓN

A continuación, se indica los resultados de vibraciones mecánicas obtenidas con el tractor al simular una falla en el sistema de inyección, con la finalidad de conocer la variación en los valores de vibraciones mecánicas que se pueda registrar cuando existe deficiencia de ingreso de combustible hacia los cilindros, además, serán utilizados como referencia para identificar la variación en sus valores cuando algún componente se encuentre en mal estado.

2.8.1 REGISTRO DE VALORES EN EL PMS

Las vibraciones mecánicas registradas por el equipo de diagnóstico en el punto muerto superior (PMS) se indican en la Figura 2.14, donde se puede observar que los valores de vibraciones oscilan entre 2,06 y 1,81 RMS. Estos valores son ocasionados por la deficiencia de ingreso de combustible que incide de forma directa en la combustión de la mezcla.

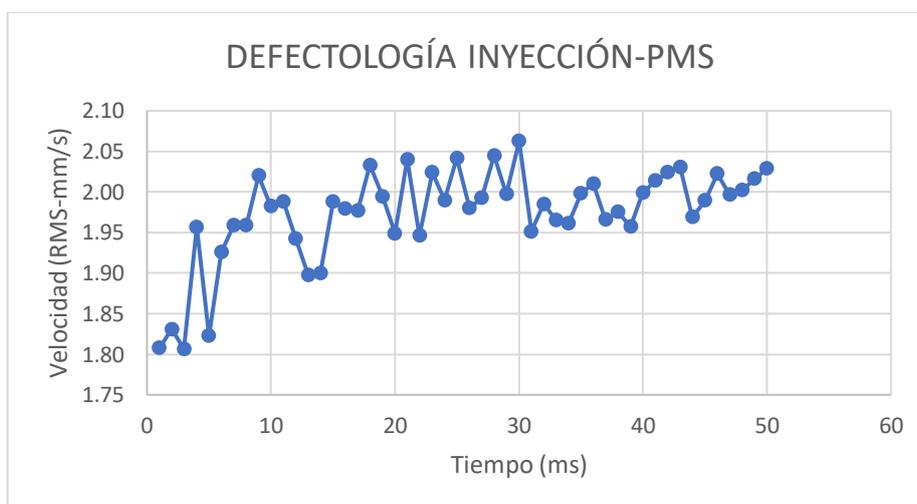


Figura 2.14 Vibraciones con defectología en la inyección - PMS.

En los resultados obtenidos se tiene un promedio de 1,97 RMS, lo que demuestra que el nivel de vibraciones en la zona seleccionada muestra una condición satisfactoria de funcionamiento del motor y según los rangos que se presentan en la Figura 1.17 los componentes se consideran aceptables para operación a largo plazo sin restricción.

2.8.2 REGISTRO DE VALORES EN EL PMI

En la Figura 2.15 se indican los resultados de vibraciones mecánicas registradas por el equipo de diagnóstico en el punto muerto inferior (PMI), donde se puede observar que los valores de vibraciones oscilan entre 1,37 y 1,22 RMS.

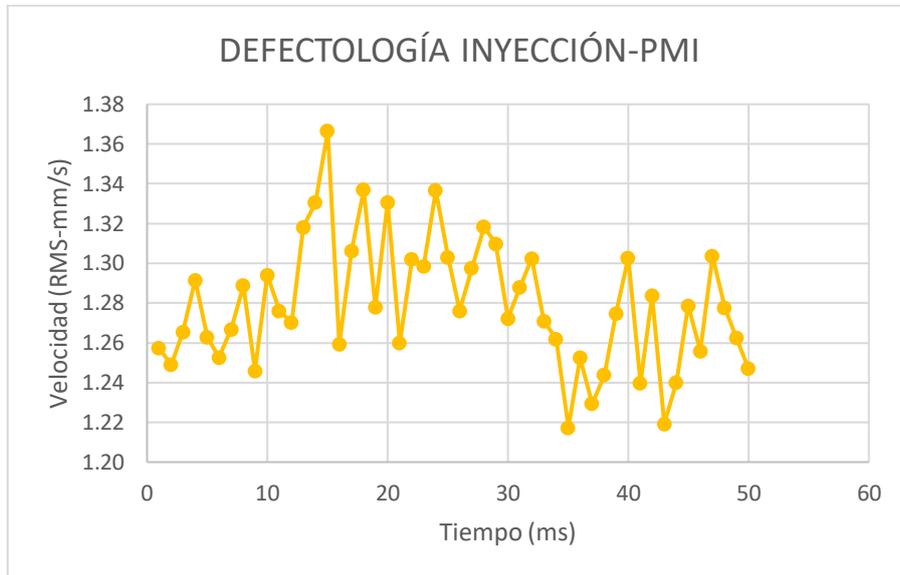


Figura 2.15 Vibraciones con defectología en la inyección - PMI.

En los resultados registrados se tiene un promedio de 1,28 RMS, lo que indica un óptimo funcionamiento del motor y de los componentes en la zona seleccionada para la obtención de datos.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se indica los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a los mecánicos y operarios de los tractores agrícolas de la zona en la que se desarrolla la investigación, así como también los valores de vibraciones mecánicas adquiridas con el tractor funcionando en buenas condiciones y con las fallas presentes en el sistema de admisión de aire y sistema de inyección de combustible. De esta manera se realizará un diagnóstico adecuado a través de los datos recolectados en las diferentes zonas del motor de combustión.

A continuación, se presenta los resultados de cada una de las preguntas aplicadas en las respectivas encuestas, además del análisis comparativo de las vibraciones mecánicas en el punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI) que serán presentadas a través de gráficas de línea del tiempo, para conocer la variación en los valores obtenidos de vibraciones en los diferentes estados de funcionamiento en el motor del tractor agrícola.

3.2 RESULTADOS DE ENCUESTAS

Las encuestas se aplicaron a mecánicos y operadores con suficiente experiencia en tractores agrícolas, con la finalidad de recolectar información sobre daños más frecuentes que se han presentado durante el tiempo de trabajo. Los resultados obtenidos se indican a continuación.

3.2.1 ENCUESTAS APLICADAS A MECÁNICOS

La encuesta aplicada a los mecánicos del sector es conocer los daños más comunes que se presentan en el funcionamiento del tren motriz de los tractores, con la finalidad de seleccionar los elementos del motor que sufren daños con más frecuencia y que necesitan ser analizados detalladamente durante la vida útil de trabajo. A continuación, se indica los resultados de cada pregunta:

- **Pregunta 1:** ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con maquinaria agrícola?

En referencia a la primera pregunta, el 75% de mecánicos encuestados tienen una amplia experiencia de 25 años en adelante, dando mantenimiento a tractores agrícolas.

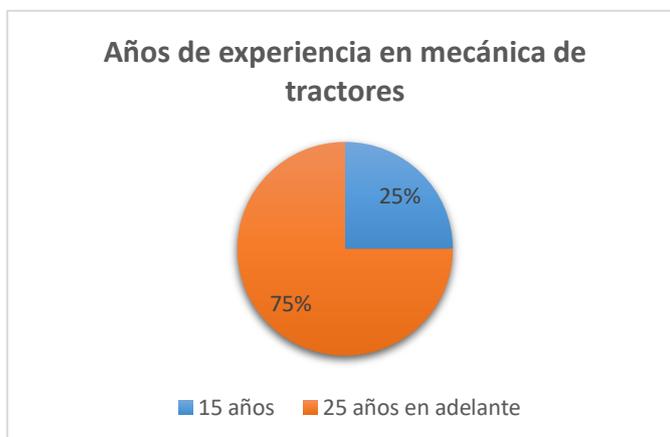


Figura 3.1 Años de experiencia en mecánica de tractores.

- **Pregunta 2:** Según su experiencia con tractores agrícolas ¿Cuáles son los daños más comunes que se presentan en el motor de un tractor?

Según la experiencia de los mecánicos, se llegó a conocer cuáles son los daños más comunes que se presentan en un motor de un tractor agrícola. De esta manera, el 80% de los mecánicos consideraron que los problemas que se presenta están en el sistema de combustible (bomba de combustible, inyectores), el 15% en el sistema de lubricación (consumo de aceite por desgaste de rines, guías de válvulas y bomba hidráulica) y el 5% consideraron el calentamiento del motor y desgaste de los elementos (cilindros, pistones, camisas, chaquetas).

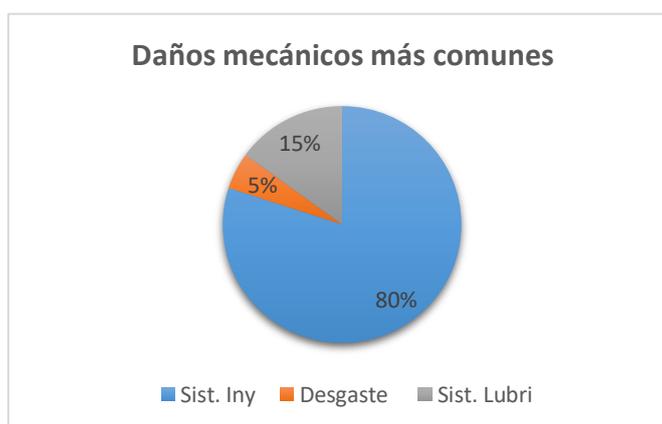


Figura 3.2 Daños mecánicos más comunes en tractores.

- **Pregunta 3:** Según las horas de trabajo ¿A qué horas más o menos suelen presentarse

los daños más comunes del motor de un tractor?

Los mecánicos manifiestan que no existe un tiempo estimado en horas de trabajo para que se presenten daños en el tractor y que estos dependen del mantenimiento que se aplique a todos sus componentes. Sin embargo, consideran que los daños podrían presentarse a partir de las 7 mil horas de trabajo en adelante.

- **Pregunta 4:** ¿A las cuántas horas se repara un motor de tractor?

Los resultados indican que el 50 % de mecánicos reparan el motor a las 20 mil horas, siempre y cuando durante este tiempo el motor haya tenido un buen mantenimiento. El 25 % de los mecánicos manifiestan que el motor se repara a partir de las 13 mil horas, considerando este tiempo a motores que no hayan tenido un buen mantenimiento y el 25 % restante manifiestan que no hay un límite de horas de trabajo de un motor para realizar una reparación, ya que esta depende de los mantenimientos respectivos que se le haya dado.

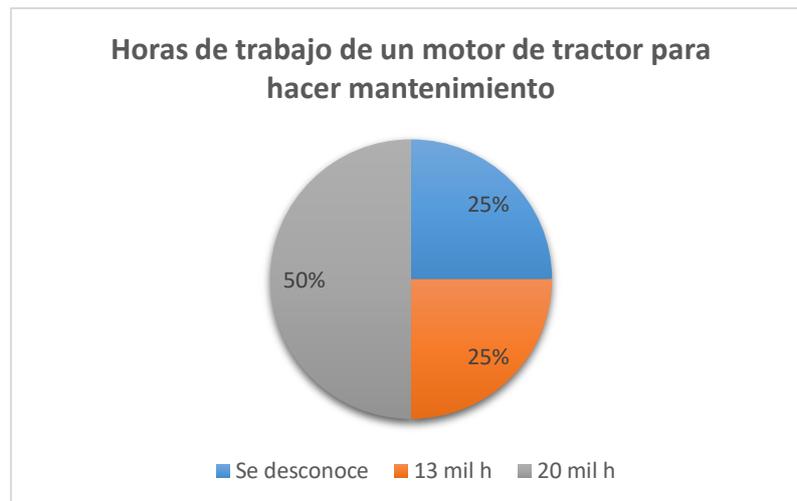


Figura 3.3 Horas de trabajo de un motor para hacer mantenimiento.

- **Pregunta 5:** En su amplia experiencia de trabajo con tractores agrícolas ¿A trabajado usted con equipos de mantenimiento predictivo?

En referencia a esta pregunta, todos los mecánicos manifiestan que no han trabajado con este tipo de mantenimiento, debido a que en nuestro medio no se hace mantenimientos predictivos y a la vez informaron que no están capacitados para manejar los equipos adecuados para realizar este tipo de actividades.

3.2.2 ENCUESTAS APLICADAS A OPERARIOS

Con las encuestas aplicadas a los operarios de este tipo de máquinas se conocerá los daños más frecuentes que se han presentado en su amplia trayectoria como operadores de tractores agrícolas, y por medio de un analizador de vibraciones controlar el desempeño de la vida útil de los componentes del motor. A continuación, se indica los resultados obtenidos:

- **Pregunta 1:** ¿Cuántos años más o menos lleva usted operando tractores agrícolas?
El 75% de los encuestados tienen entre 20 y 30 años de experiencia operando tractores agrícolas.



Figura 3.4 Tiempo de trabajo como operador.

- **Pregunta 2:** ¿Tiene usted conocimiento de mecánica o solo tiene conocimientos de manejo de tractores?
El 75% de los operadores contestaron que no tienen conocimientos de mecánica del tractor y únicamente el 25% tienen conocimiento de esta área.



Figura 3.5 Operarios con conocimiento en mecánica.

- **Pregunta 3:** Según sus años de experiencia operando tractores ¿Qué problemas del motor ha tenido en el tractor?

Según la experiencia de los operarios se llegó a conocer cuáles son los daños más comunes que se presentan en el motor de un tractor agrícola. El 75% de los operarios consideraron que los problemas que se presenta están en el sistema de combustible (bomba de combustible, inyectores), el 10% en el sistema de lubricación (consumo de aceite por desgaste de rines, guías de válvulas y bomba hidráulica). Por otra parte, el 10% de los operarios manifiestan problemas en el calentamiento del motor, desgaste de los elementos y únicamente el 5 % consideraron daños en el turbo.

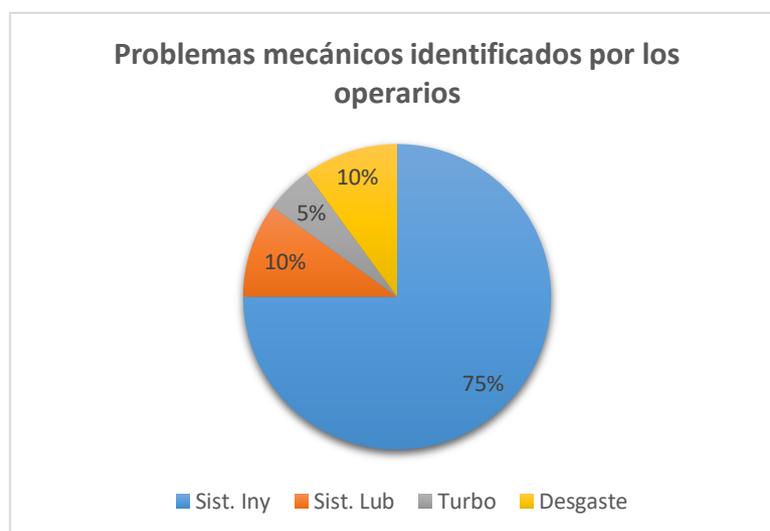


Figura 3.6 Problemas mecánicos identificados por los operarios.

- **Pregunta 4:** ¿Qué clase de mantenimiento le realiza al tractor?
Los operadores respondieron que realizan un mantenimiento preventivo como: cambio de aceite, filtros, engrases, reajustes y chequeo de niveles de líquidos.
- **Pregunta 5:** Tiene usted conocimiento ¿Que es el mantenimiento predictivo?
Todos los operadores respondieron que desconocen que es un mantenimiento predictivo en tractores agrícolas.
- **Pregunta 6:** ¿Le gustaría que realice un mantenimiento predictivo en el tractor que usted opera?
Todos los operadores muestran su interés en que se realice un mantenimiento predictivo en sus tractores, con la finalidad de conocer el estado de sus componentes

y el proceso de este tipo de mantenimiento.

3.2.3 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 desconocen 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.

3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE VIBRACIONES

A continuación, se presenta las comparaciones de los resultados obtenidos con el tractor en el PMS y PMI en buenas condiciones de funcionamiento y con fallas en los sistemas seleccionados.

3.3.1 VIBRACIONES EN EL PUNTO MUERTO SUPERIOR (PMS)

Una vez obtenidos los valores de vibraciones mecánicas en cada uno de los estados de funcionamiento del tractor agrícola, se realiza la comparación de resultados en el punto muerto superior (PMS) del motor. Como se observa en la Figura 3.7 las vibraciones que se obtiene con la anomalía en la admisión no presenta mucha variación con respecto al nivel de vibraciones que se presentan con el motor funcionando en buenas condiciones.

En referencia a la anomalía presente en el sistema de inyección, se observa una tendencia a aumentar en el nivel de vibraciones, en valores muy superiores a los presentes en los dos casos anteriores, llegando hasta 2,06 RMS.

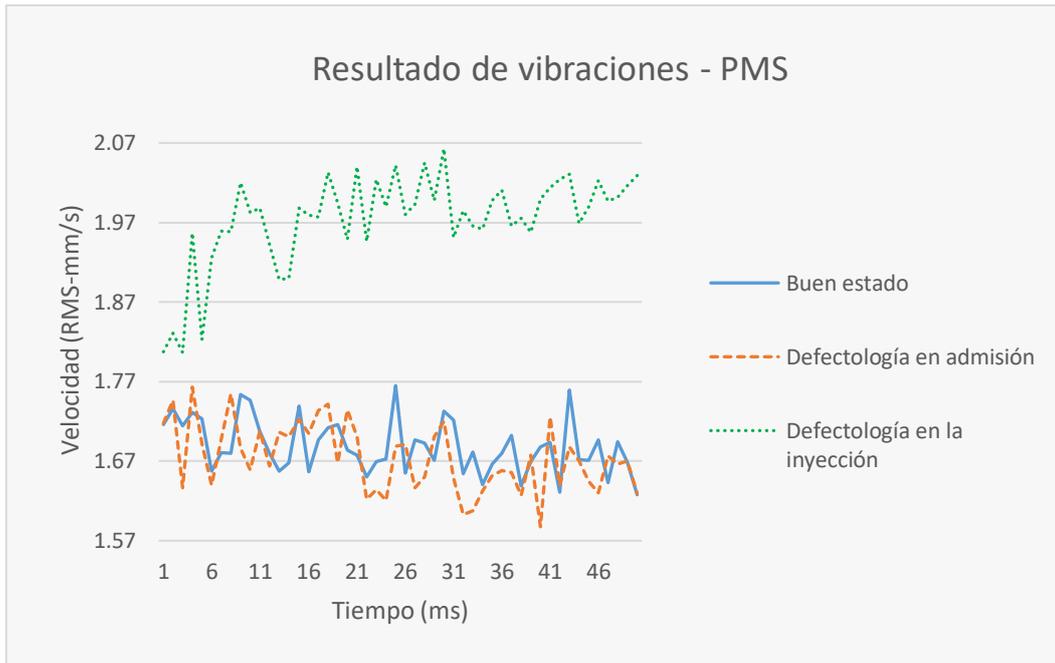


Figura 3.7 Resultado de vibraciones - PMS.

En la Figura 3.8 se presenta el promedio de vibraciones obtenidas en cada uno de las pruebas realizadas, donde se puede observar que la anomalía ocasionada en el sistema de admisión no incide en el nivel de vibraciones del motor, manteniendo sus valores cercanos a los obtenidos con el motor funcionando en buenas condiciones. En cambio, con la anomalía en el sistema de inyección ocasiona un aumento considerable en el nivel de vibraciones registradas por el equipo de diagnóstico, donde se obtienen un promedio de 1,97 RMS en el punto muerto superior (PMS).

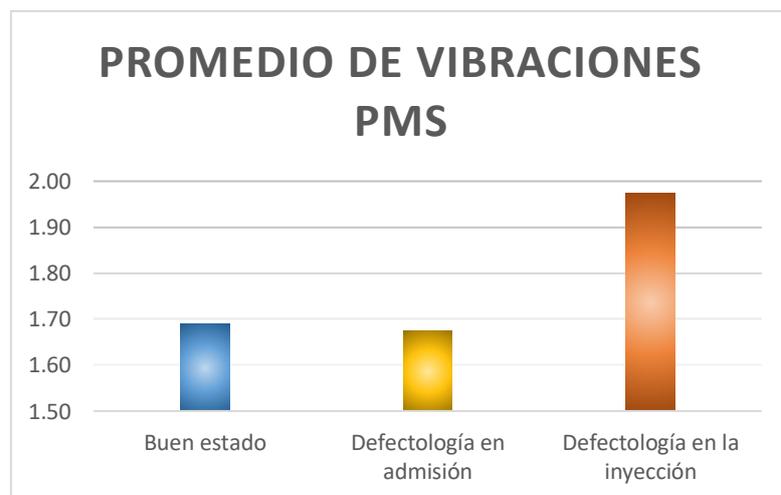


Figura 3.8 Promedio de vibraciones - PMS.

Con los promedios obtenidos se identifica una disminución del 0,8% de vibraciones mecánicas con la anomalía en la admisión y un aumento del 16,9% con la anomalía presente en el sistema de inyección, comparado con los valores obtenidos en las pruebas realizadas con el tractor en buenas condiciones. De esta manera se puede concluir que una falla en los componentes del sistema de inyección como bomba de inyección, inyector, filtros obstruidos, factores que puedan provocar una deficiencia en la alimentación de combustible, provocan un nivel de vibraciones mayores en el motor, debido a una combustión ineficiente en los cilindros.

3.3.2 VIBRACIONES EN EL PUNTO MUERTO INFERIOR (PMI)

Luego de realizar la comparación de resultados en el PMS, se procede a analizar los valores de vibraciones mecánicas en el punto muerto inferior (PMI) del motor, en cada uno de los estados de prueba. Como se observa en la Figura 3.9, con la anomalía presente en el sistema de admisión se obtiene una reducción de vibraciones mecánicas con relación a los valores obtenidos con el tractor en buenas condiciones de funcionamiento.

Por otra parte, con la anomalía presente en el sistema de inyección, se observa una tendencia a aumentar en el nivel de vibraciones, en valores muy superiores a los obtenidos con la anomalía en la admisión, llegando hasta 1,37 RMS.

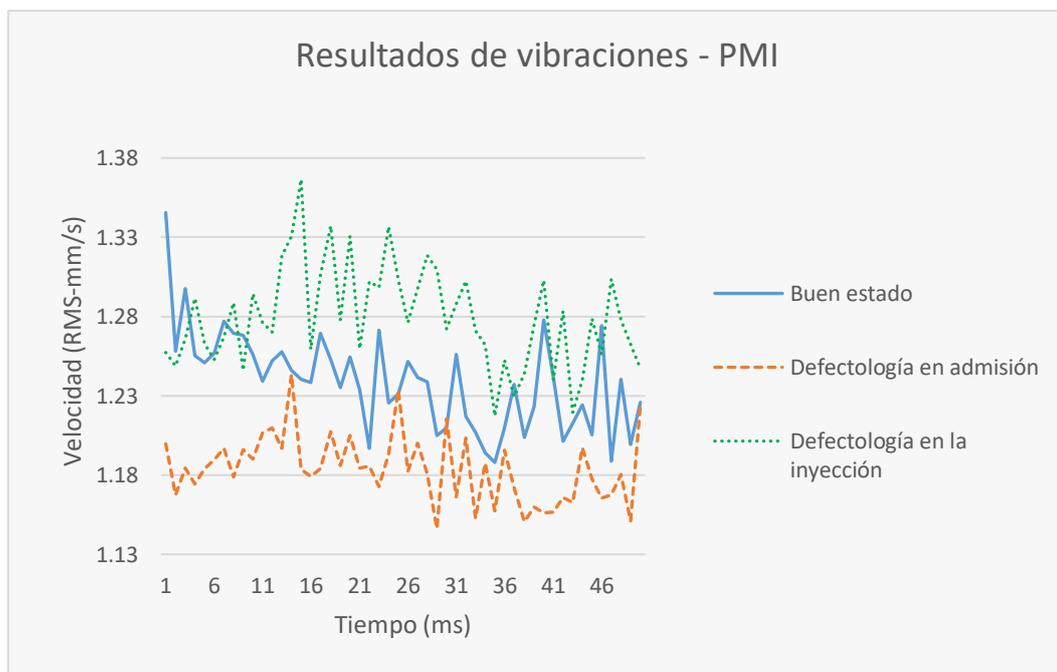


Figura 3.9 Resultados de vibraciones – PMI.

El promedio de vibraciones mecánicas obtenidas en cada uno de las pruebas realizadas se presenta en la Figura 3.10, donde se observa que con la anomalía ocasionada en el sistema de admisión se obtiene una disminución en el nivel de vibraciones del motor, comparados con los obtenidos con el tractor en buenas condiciones de funcionamiento, llegando a valores de 1,18 RMS. En cambio, con la anomalía presente en el sistema de inyección se presenta un aumento en el nivel de vibraciones con respecto a los casos indicados anteriormente, donde se obtiene un promedio de 1,28 RMS en el punto muerto inferior.

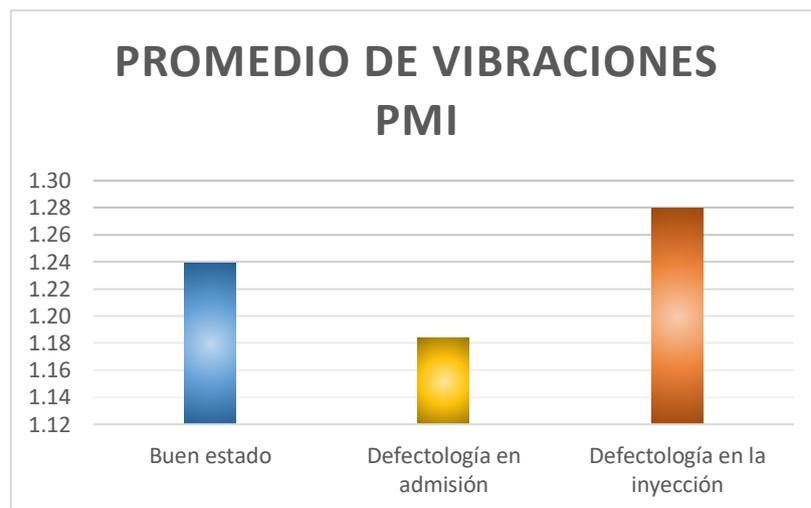


Figura 3.10 Promedio de vibraciones - PMS.

Los promedios obtenidos en cada una de las pruebas realizadas permiten identificar una disminución del 4,4% de vibraciones mecánicas con la anomalía en la admisión y un aumento del 3,3% con la anomalía presente en el sistema de inyección, comparado con los valores obtenidos en las pruebas realizadas con el tractor en buenas condiciones. Con los resultados obtenidos se concluye que las fallas presentes en los componentes del sistema de inyección de combustible ocasionan un mayor nivel de vibraciones en el PMI del tractor agrícola.

3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada una de las zonas de toma de datos muestran un mayor nivel de vibraciones mecánicas en el punto muerto superior (PMS), comparado con los obtenidos en el punto muerto inferior (PMI) en cada una de las pruebas realizadas. En la Figura 3.11 se indica los resultados de vibraciones en el PMS y PMI, donde se evidencia una disminución de vibraciones mecánicas en el PMI en promedios del 26,6%, 29,2% y 35,18% en las

condiciones de buen estado, defectología en la admisión y defectología en la inyección, respectivamente, comparado con los valores obtenidos en el PMS. De esta manera se concluye que el nivel de vibraciones es mayor en el PMS que pueden ser ocasionadas por los efectos de la inyección de combustible y combustión de la mezcla.

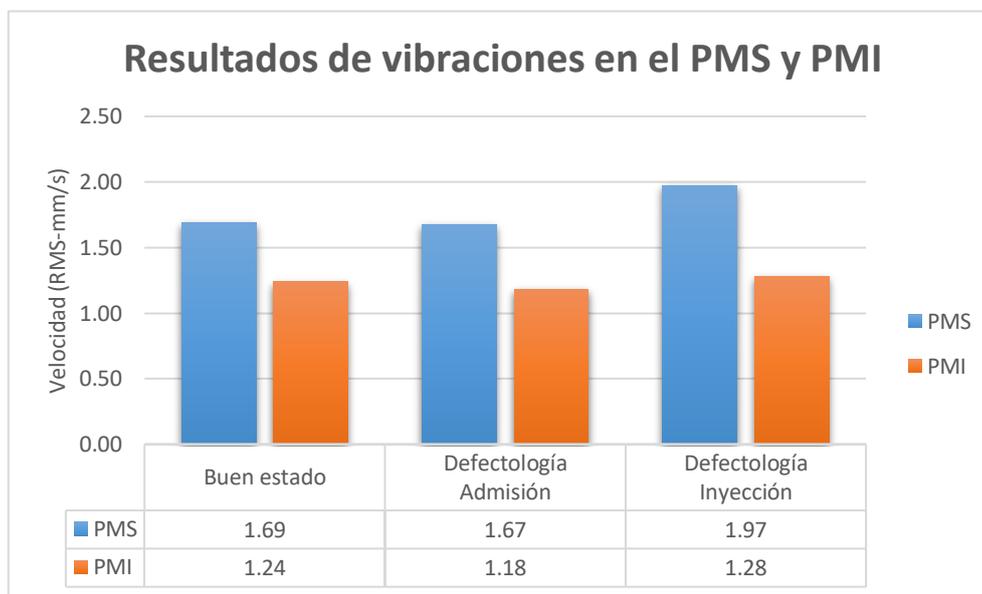


Figura 3.11 Resultados de vibraciones en el PMS y PMI.

Además, con el promedio de vibraciones se puede identificar el estado en el que se encuentra los componentes del tractor agrícola y de esta manera conseguir un mantenimiento predictivo adecuado con la finalidad de prolongar la vida útil de los componentes, reduciendo costos de mantenimiento y reparación. En la Tabla 3.1, se presenta los resultados de las vibraciones mecánicas en cada una de las pruebas realizadas y se relaciona con los límites de RMS indicados en la Figura 1.20 de estimaciones de estado de componentes según sus vibraciones para las máquinas de Clase III (Base rígida grande).

Tabla 3.1 Análisis de vibraciones.

Análisis de vibraciones			
Posición	Buen estado	Defectología Admisión	Defectología Inyección
PMS	1,69 (BUENO)	1,67 (BUENO)	1,97 (SATISFACTORIO)
PMI	1,24 (BUENO)	1,18 (BUENO)	1,28 (BUENO)

Según el análisis realizado se puede concluir que en todas las pruebas realizadas en los diferentes puntos del motor se obtiene un óptimo funcionamiento de sus componentes, a

excepción del valor obtenido con la anomalía en el sistema de inyección en el PMS que indica un estado satisfactorio de sus componentes, considerándolos aceptables para su operación a largo plazo sin restricción.

3.4.1 METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO A BASE DE VIBRACIONES PARA TRACTORES AGRÍCOLAS

En los resultados analizados de cada una de las pruebas realizadas en el motor del tractor agrícola, se obtiene valores de vibraciones que permiten conocer el estado de funcionamiento de los componentes como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Nivel de vibraciones de los componentes del tren motriz.

Sistema	Componente	Nivel de vibraciones Vrms			
		Bueno	Satisfactorio	No satisfactorio	Inaceptable
Sistema de inyección	Inyectores	De 0.28 Hasta 1.80 (mm/s)	De 1.81 Hasta 4.50 (mm/s)	De 4.51 Hasta 11.20 (mm/s)	De 11.21 Hasta 45.90 (mm/s)
	Bomba de inyección				
	Cañerías de combustible				
	Filtro de combustible primario				
	Filtro de combustible secundario				
Sistema de admisión	Filtro de aire				
	Turbo alimentador				
	Válvula de admisión				

Como se observa en la Tabla 3.2, se tiene cuatro factores de gravedad de vibraciones: buen estado, estado satisfactorio, estado no satisfactorio y el estado inaceptable.

En el rango de buen estado se obtiene un nivel de vibraciones de 0,28 a 1,80 RMS, lo que indica que los componentes están óptimos para su funcionamiento en un largo tiempo; si el valor de vibraciones se encuentra entre 1,81 y 4,50 RMS indica que los componentes pueden presentar anomalías. De igual manera si se obtiene valores entre 4,51 a 11,20 RMS se entiende que los componentes están llegando al final de su vida útil y si las vibraciones oscilan entre 11,21 a 45,90 RMS indica que los componentes están obligados a ser sustituidos para continuar con su funcionamiento.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El estudio se realizó en el motor de un tractor agrícola de marca John Deere 6110D funcionando a ralentí en las diferentes condiciones de prueba. En el análisis inicial del tractor en buenas condiciones de funcionamiento se obtiene un nivel de vibraciones mecánicas que oscilan entre 1,76 y 1,63 RMS, con un promedio de 1,69 RMS en el PMS; mientras que en el PMI se obtiene oscilaciones de entre 1,30 y 1,19 RMS, con un promedio de 1,24 RMS en vibraciones mecánicas.
- El análisis realizado en el punto muerto superior PMS indica que la anomalía ocasionada en el sistema de admisión no incide en el nivel de vibraciones del motor, mientras que con la anomalía en el sistema de inyección ocasiona un aumento considerable en el nivel de vibraciones de hasta 1,97 RMS. Se identifica una disminución del 0,8% de vibraciones mecánicas con la anomalía en la admisión y un aumento del 16,9% con la anomalía presente en el sistema de inyección, comparado con los valores obtenidos en las pruebas realizadas con el tractor en buenas condiciones.
- En el PMI con la anomalía ocasionada en el sistema de admisión se obtiene una disminución en el nivel de vibraciones del motor llegando a valores de 1,18 RMS y con la anomalía en el sistema de inyección se obtiene un aumento de hasta 1,28 RMS. Los promedios obtenidos en cada una de las pruebas realizadas permiten identificar una disminución del 4,4% de vibraciones mecánicas con la anomalía en la admisión y un aumento del 3,3% con la anomalía presente en el sistema de inyección.
- Los resultados obtenidos muestran un mayor nivel de vibraciones mecánicas en el punto muerto superior (PMS) comparado con los obtenidos en el punto muerto inferior (PMI), donde se evidencia un aumento de vibraciones mecánicas en el PMS

en promedios del 26,6%, 29,2% y 35,18% en las condiciones de buen estado, defectología en la admisión y defectología en la inyección, respectivamente, comparado con los valores obtenidos en el PMI.

- Las fallas presentes en los componentes del sistema de inyección de combustible como bomba de inyección, inyector, filtros obstruidos, factores que puedan inducir una deficiencia en la alimentación de combustible, provocan un nivel de vibraciones mayores en el motor, debido a un proceso de combustión ineficiente en los cilindros.
- El uso del analizador de vibraciones en el desarrollo de un mantenimiento predictivo permite identificar el estado en el que se encuentra los componentes del tractor agrícola, y de esta manera realizar un mantenimiento adecuado y a tiempo, prolongando la vida útil de los componentes, reduciendo costos de mantenimiento y reparación.

4.2 RECOMENDACIONES

- En investigaciones posteriores se recomienda realizar pruebas experimentales en diferentes zonas del motor de un tractor agrícola, con la finalidad de elaborar una base de datos que permita diagnosticar el estado de funcionamiento de cada uno de sus componentes.
- Se recomienda realizar el análisis de vibraciones mecánicas a diferentes RPM de funcionamiento del motor, para identificar la influencia de este factor en la variación del nivel de vibraciones en las diferentes zonas del motor de combustión.
- Se recomienda leer y analizar el manual de usuario del equipo analizador de vibraciones antes de iniciar con la obtención de valores, con la finalidad de realizar una configuración correcta y así obtener información de forma segura y de calidad.
- Utilizar el equipo de seguridad personal adecuado mientras se realizan las pruebas de obtención de datos para evitar accidentes en las actividades ejecutadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alava, G. (5 de Febrero de 2020). *Preditec*. Obtenido de Preditec:
<http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/#:~:text=El%20mantenimiento%20predictivo%20es%20un,de%20equipos%20al%20m%C3%ADnimo%20costo.>
- Albacete Agrícola. (21 de Marzo de 2018). *Albacete Agrícola*. Obtenido de Albacete Agrícola: <https://albaceteagricola.com/2018/03/21/maquinaria-agricola/>
- Aranguren, A. (28 de Enero de 2018). *Motor y Racing*. Obtenido de Motor y Racing: <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/el-diferencial-sus-partes-tipos-y-su-funcionamiento/>
- Arnal, A. P. (2001). Potencia de los tractores agrícolas. *Mecanización Agraria-Universidad Pública de Navarra*, 20-28.
- Associates, M. B. (2005). Bumper to Bumper. Mike Byrnes & Associates, Inc.
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*.
- Besa González, A., & Carballeira Morado, J. (2018). *Diagnóstico y corrección de fallos de componentes mecánicos (2a. ed.)*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Blanco Roldan, G., & Gil Ribes, J. (12 de Abril de 2016). *INNOVAGRI*. Obtenido de INNOVAGRI: <https://www.innovagri.es/investigacion-desarrollo-inovacion/caracteristicas-de-los-neumaticos-para-aplicaciones-agricolas.html>
- Brain-Bee. (2014). Especificaciones técnicas analizador de gases de escape AGS-688.
- Calvo, A. (31 de 12 de 2019). *Agroptima*. Obtenido de Agroptima: <https://www.agroptima.com/es/blog/tecnologia-agricola-evolucion-tractor/>
- Carrera de Agropecuaria. (23 de 03 de 2017). *La Importancia de la Agricultura en nuestro país*. Obtenido de La Importancia de la Agricultura en nuestro país: <http://www.utn.edu.ec/ficaya/carreras/agropecuaria/?p=1091>
- Carreras, R., Álvarez Flórez, J., & Callejón, A. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Catalan Morrogon, H. (01 de Marzo de 2016). *Mas Que Maquinas Agricolas*. Obtenido de Mas Que Maquinas Agricolas: <http://www.masquemaquina.com/2016/03/el-embrague-del-tractor-agricola-y-es.html>

- Catalán, H. (10 de Febrero de 2018). *Al pie del campo*. Obtenido de Al pie del campo: http://oa.upm.es/14334/1/separata_jd_final.pdf
- CISE-Electrónica. (2019). *CISE Electrónica*. Obtenido de <http://www.cise.com>
- Constitucion de la Republica del Ecuador*. (2008). Quito.
- CurioSfera. (23 de Junio de 2020). *CurioSfera Historia*. Obtenido de CurioSfera Historia: <https://curiosfera-historia.com/historia-del-tractor-y-su-inventor/#:~:text=millones%20de%20personas.-,Qui%C3%A9n%20invent%C3%B3%20el%20tractor,interna%2C%20pero%20solo%20vende%20dos.&text=En%20Inglaterra%2C%20el%20primer%20tractor,fabrica%20Dan%20Albone>
- De Erbiti, M. E. (1999). Indicadores energéticos de dos conjuntos agrícolas utilizados en la siembra y cosecha de la papa en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 1-7.
- Delgadillo, W. L. (2003). *Verificacion y Cuantificacion de gases contaminantes producidos por automoviles en la Ceja de el Alto*. La Paz-Bolivia.
- desarrollo, S. N. (22 de Septiembre de 2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. Obtenido de Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Desarrollo, S. N. (13 de Julio de 2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Obtenido de Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021: <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>
- ECUADORINMEDIATO.COM*. (10 de AGOSTO de 2008). Obtenido de ECUADORINMEDIATO.COM: http://www.ecuadorinmediato.com/Noticias/news_user_view/corpaire_asegura_que_aire_de_quito_esta_menos_contaminado--84758
- El Comercio. (13 de Marzo de 2018). Calidad del diésel mejora, pero la norma todavía es permisiva en Quito. *Calidad del diésel mejora, pero la norma todavía es permisiva en Quito*, págs. 2-3. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/calidad-diesel-mejora-norma-quito.html>

- El Tiempo*. (19 de Abril de 2013). Obtenido de El Tiempo Casa Editorial:
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12750994>
- Ellinger, H. (1992). *Ajuste de Motores y Control de Emisiones*. Mexico: Prentice-Hall.
- Fernández, R. V. (2005). *Gestión ambiental de tránsito: cómo la ingeniería de transporte puede contribuir a la mejoría del ambiente urbano*. .
- FLUKE. (02 de Mayo de 2012). *805/805FC Manual de uso*. Obtenido de 805/805FC Manual de uso: <https://docs.rs-online.com/6af2/0900766b81718afb.pdf>
- FLUKE. (2019). *Medidor de vibraciones Fluke 805 FC datos tecnicos*. Obtenido de Medidor de vibraciones Fluke 805 FC datos tecnicos: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/6002302e-es-805fc-ds-w_0.pdf?sSjxtT3W77kcpdoCNGi0bf5HWQFObzVF
- Gomez, D. (01 de Febrero de 2021). *Pdfcoffee*. Obtenido de Pdfcoffee: <https://pdfcoffee.com/prsentacion-norma-iso-10816-3-3-pdf-free.html#Eduardo+PV>
- González, M. M. (2011). *Mantenimiento, preperacion y manejo de tractores*. Málaga: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S.L.
- Guías de calidad. (2005). *Revista Organizacion Mundial de la salud "Calidad del aire (exterior) y salud"*, 25.
- Gutierrez Quispe, D. (28 de Abril de 2015). *monografias.com*. Obtenido de monografias.com: <https://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel.shtml>
- Hermosillo Nieto, J. (27 de Mayo de 2014). *Maquinaria Agricola por Raúl*. Obtenido de Maquinaria Agricola por Raúl: <https://sites.google.com/site/maquinariaagricolaporraul/home/historia-del-tractor>
- INEN, N. (2017). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA*. Quito, Ecuador.
- JIMDO. (31 de Marzo de 2020). *Datos agropecuarios*. Obtenido de Datos agropecuarios: <https://datosagropecuarios.jimdofree.com/agronomia/tractor-agricola-un-poco-de-historia/>
- Jiménez Raya, F. (2015). *Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. ELEM0311*. Andalucía, España: IC Editorial.
- John Deere. (2014). *Combustibles, lubricantes y refrigerantes del motor*. Moline, Illinois:

- Industrias John Deere S.A. de C.V. .
- JOHN DEERE. (2018). *Series 6D Tractores Jonm deere*.
- Jurij Marence, J. K. (2016). Posibilidades de utilizar pequeños tractores para operaciones forestales en propiedades privadas. *Croata de ingeniería forestal*, 151-156.
- Larrazabal, M. (19 de Julio de 2019). *Tractores Agrícolas. Tipos, Clasificación y Características*. Obtenido de Tractores Agrícolas. Tipos, Clasificación y Características: <https://www.bialarblog.com/tractores-agricolas-tipos-clasificacion-caracteristicas/>
- Larrea Serrano, I. H. (29 de 02 de 2016). *La agricultura en el Ecuador*. Obtenido de La agricultura en el Ecuador: <https://www.eluniverso.com/opinion/2016/02/29/nota/5435295/agricultura-ecuador>
- Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial*. (2014).
- Liljedahl JB, T. P. (2013). Tractors y sus unidades de potencia. *Mediciones en Ingeniería*, 44-50.
- Lina Manjarrez, P. R. (2011). *Transporte urbano, movilidad cotidiana y ambiente en el modelo de ciudad sostenible: bases conceptuales*. México, D.F: Plaza y Valdés, S.A.
- Linares , P. (09 de Mayo de 2019). *Canales Sectoriales, Agricultura*. Obtenido de Canales Sectoriales, Agricultura: [https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/244642-Gestion-conjunta-motor-transmission-en-tractores-con-cambio-escalonado-\(II\).html](https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/244642-Gestion-conjunta-motor-transmission-en-tractores-con-cambio-escalonado-(II).html)
- Lopes, G. (30 de Octubre de 2018). *Lopez Garrido*. Obtenido de Lopez Garrido: <https://www.lopezgarrido.com/origen-y-evolucion-de-la-maquinaria-agricola/#:~:text=El%20origen%20de%20lo%20que,ah%C3%AD%20a%20a%20peros%20de%20hierro>.
- Machado, A. L. (2010). Tractores para agricultura familiar guía de referencia. *Ed. Universitaria UFPEL, Brasil*, 15-27.
- Mantetronic. (12 de Marzo de 2013). *Mantenimiento Predictivo Mecanico*. Obtenido de Mantenimiento Predictivo Mecanico: <http://www.mantetronic.com/es/servicios/vista/category/mantenimiento-predictivo-mecanico>
- Marquez, L. (1990). tecnología y utilizacion. *Tractores agricolas*, 844-848.
- Martines Gonzales, M. (2018). *Mantenimiento, preparación y manejo de tractores (2°*

- Edicion ed.). Malaga: IC Editorial.
- Mazda. (2015). *Ficha técnica Mazda CX-5*. Japón.
- Medrano Márquez, J., González Ajuech, V., & Días de León Santiago, V. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. México: Grupo Editorial Patria.
- Meganeboy, D. (22 de Octubre de 2014). *Aficionados por la mecanica*. Obtenido de Aficionados por la mecanica:
<http://www.aficionadosalamecanica.net/transmisiones-4x4.htm>
- Milla, J. C. (2016). *Estudio del funcionamiento de un motor de inyección electrónica directa a gasolina en diferentes alturas con respecto al nivel del mar*. Quito.
- Mitsubishi. (2003). *Manual de taller Mitsubishi Lancer Cedia*. Tokio.
- Molina Aiz, F. D. (2010). *Motores y Maquinas Agricolas*. Almeria: Publicaciones Almeria.
- Murphy, D. (20 de Noviembre de 2014). *Penn State Extension*. Obtenido de Penn State Extension:
[http://www.carm.es/web/servlet/integra.servlets.Blob?ARCHIVO=Ficha%20toma%20de%20fuerza.pdf&TABLA=ARCHIVOS&CAMPOCLAVE=IDARCHIVO&VALORCLAVE=24991&CAMPOIMAGEN=ARCHIVO&IDTIPO=60&RASTRO=c740\\$m7064](http://www.carm.es/web/servlet/integra.servlets.Blob?ARCHIVO=Ficha%20toma%20de%20fuerza.pdf&TABLA=ARCHIVOS&CAMPOCLAVE=IDARCHIVO&VALORCLAVE=24991&CAMPOIMAGEN=ARCHIVO&IDTIPO=60&RASTRO=c740$m7064)
- Naranjo. (30 de Octubre de 2012). *MECANIZACION AGRICOLA*. Obtenido de MECANIZACION AGRICOLA:
<http://mecanizacionagricolanaranjos.blogspot.com/2012/10/clasificacion-de-tractores.html>
- Navarro Elola, L., Pastor Tejedor, A., & Mugaburu Lacabrera, J. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona: Marcombo.
- Normalizacion, I. I. (14 de Junio de 2013). *Control de Hidrocarburos*. Obtenido de Control de Hidrocarburos: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/NTE-INEN-1489-7-ENMIENDA-1.pdf>
- Ortiz, S. (2003). *BUSCANDO COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS BIOETANOL*. España.
- Palma, A., & Gonzales , B. (12 de Mayo de 2012). *Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica*. Obtenido de Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica:
http://oa.upm.es/20318/1/INVE_MEM_2012_133244.pdf
- Pardiñas, J. (2012). *Sistemas auxiliares del motor*. España: Editorial Editex.

- Pardiñas, J. (2012). *Sistemas Auxiliares del Motor*. España: Editex.
- Plan Nacional de Desarrollo*. (2017-2021).
- PNUMA, ORGANIZACION MUNDIAL DEL COMERCIO. (2009). *El comercio y el cambio climático*. Suiza: Secretaría de la OMC.
- Pons, A. (05 de Septiembre de 2019). *Andres Pons Ferrer*. Obtenido de Andres Pons Ferrer: andresponsferrer.com/que-es-un-motocultor/
- Pruebaderuta.com*. (s.f.). Obtenido de Mantenimiento del motor: <https://talleresyrepuestos.com/documentacion-tecnica/mantenimiento-del-motor/455-la-relacion-de-la-altura-con-la-potencia-del-motor>
- Quimbita Panchi, A. I., & Guallichico Suntasig, E. X. (2017). Determinación del potencial energético y mecánico del motor Mazda F2 al utilizar los tipos de gasolina comercial empleados en el Ecuador. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Ramos, E. d. (12 de Mayo de 2019). *Tractores y Maquinas*. Obtenido de Tractores y Maquinas: tractoresymaquinas.com/tractores-forestales-tipos-implementos-precios-y-modelos/
- Ratto, H. (01 de Marzo de 2018). *Rattohnos*. Obtenido de Rattohnos: <http://www.rattohnos.com.ar/page/es/tractores/tractores-medianos/6110e/>
- Revuelta, M. (22 de Marzo de 2017). *Tractores y Maquinas*. Obtenido de Tractores y Maquinas: <https://www.tractoresymaquinas.com/tipos-de-tractores-usos-principales/>
- Riesco-Ávila, J. G.-M.-S. (2009). Procesos alternativos de combustión en motores de combustión interna. *Universidad de Guanajuato*, 37-54.
- Rodríguez Melchor, J. C. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. IC Editorial.
- Rodríguez, M. J. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. España: IC Editorial.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid: UNED.
- Sánchez Gutiérrez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos (UF 1214)*. Malaga: IC Editorial.
- Sánchez, G. M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. España: IC Editorial.
- Silveira, G., & Sierra. (2010). Eficiencia energética de tractores agrícolas brasileños.

Brasileira de Engenharia Agrícola y Ambiental, 418-424. doi:10.1590 / S1415-43662010000400011.

Suárez, J. e. (2011). Unidades integrales de servicios tecnicos de maquinaria agricola.

Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 20, 5-12.

THIESSEN. (2000). *Manual de Ssistemas de fuel Inyeccion.* . Mexico: Prentice-Hall.

Volkswagen. (2002). Inyección directa de gasolina con Bosch Monotronic MED 7.

Wolfsburg: Robert Bosch GmbH.

Winston, P. C. (2006). *Estimacion de las emiciones contaminantes por fuentes moviles a nivel nacional y formulacion de liniamentos tecnicos paara el ajuste de normas emision.* Bogota, D.C.

ANEXOS