



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**TEMA: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN
TRACTORES AGRÍCOLAS**

AUTOR: ÁLVAREZ RODRÍGUEZ RICHARD BRANDON

DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YEPEZ, MSc.

Ibarra, Febrero 2023

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 "Gestión de Mantenimiento Predictivo en Tractores Agrícolas" presentado por el señor: Álvarez Rodríguez Richard Brandon con número de cédula 1721033254, 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 03 días del mes de enero del 2023.

Atentamente



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:	1721033254		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Álvarez Rodríguez Richard Brandon		
DIRECCIÓN:	Guayllabamba Av. Simón Bolívar, barrio La Merced		
EMAIL:	rbalvarezr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2368896	TELÉFONO MÓVIL:	0983351160

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Gestión de Mantenimiento Predictivo en Tractores Agrícolas
AUTOR (ES):	Richard Brandon Álvarez Rodríguez
FECHA: DD/MM/AAAA	13/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Paúl Hernández, MSc. Jorge Melo/ Msc. Carlos Mafla

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 13 días del mes de febrero del 2023

EL AUTOR:

Brandon Álvarez

Nombre: Brandon Álvarez

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres, quienes, mediante su esfuerzo y sacrificio constante, han conseguido brindarme todas las facilidades para lograr convertirme en un profesional.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado las bases necesarias para desempeñarme en el ámbito profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz, que de una u otra manera han intervenido en el transcurso de mis estudios universitarios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	ix
SITUACIÓN ACTUAL.....	ix
PROSPECTIVA.....	ix
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	x
OBJETIVO GENERAL.....	x
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	x
ALCANCE.....	xi
JUSTIFICACIÓN	xi
CONTEXTO	xii
CAPÍTULO I.....	1
1 MARCO TEÓRICO	1
1.1 Tractor agrícola.....	1
1.1.1 Tipos de tractores.....	1
1.1.1.1 Tractor pequeño	2
1.1.1.2 Tractor mediano	2
1.1.1.3 Tractor grande.....	2
1.1.1.4 Tractor muy grande.....	2
1.1.2 Aplicaciones y usos	3
1.1.3 Potencia del motor	3
1.1.4 Torque del motor	4
1.2 Mantenimiento automotriz.....	5
1.2.1 Tipos de mantenimiento	6
1.2.1.1 Mantenimiento correctivo.....	6
1.2.1.2 Mantenimiento preventivo	6
1.2.1.3 Mantenimiento predictivo	7
1.3 Técnicas de mantenimiento predictivo	8
1.3.1 Análisis de vibraciones	8
1.3.2 Análisis de temperatura	9
1.3.3 Análisis de aceite	9
1.4 Herramientas estadísticas.....	11
1.4.1 Media.....	11
1.4.2 Media cuadrática (rms).....	11

1.4.3	Mediana	11
1.4.4	Moda.....	12
1.4.5	Varianza.....	12
1.4.6	Asimetría	12
1.4.7	Curtosis.....	13
1.5	Mantenimiento basado en la disponibilidad	14
1.5.1	Ventajas de su aplicación	15
1.6	Monitoreo.....	15
1.6.1	Monitoreo discreto.....	15
1.6.2	Monitoreo continuo	16
1.7	Sistema de adquisición de datos	16
1.7.1	Sensores o transductores.....	17
1.7.2	Acondicionador de señal	17
1.7.3	Convertidor analógico – digital (adc).....	18
1.8	Termocupla	18
1.8.1	Tipos de termocuplas.....	19
1.8.1.1	Termocuplas tipo k	19
1.8.1.2	Termocupla tipo J	20
1.8.1.3	Termocupla tipo R, S	20
CAPÍTULO II.....		21
2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1	Materiales.....	21
2.1.1	reactor same, modelo explorer 95	21
2.1.2	Termocupla, inkbird, tipo k	24
2.1.3	Labview	25
2.1.4	Matlab.....	25
2.1.5	Dispositivo daq, national instruments, modelo usb-6008.....	26
2.2	Metodología.....	28
2.2.1	Selección de maquinaria.....	29
2.2.2	Determinación de parámetros y ubicación	29
2.2.2.1	Dimensionamiento del múltiple de escape	30
2.2.2.2	Ubicación para la toma de datos	31
2.2.2.3	Determinación de parámetros de temperatura	32
2.2.3	Obtención de datos	32
2.2.3.1	Diseño del programa ejecutable para la adquisición de datos	33
2.2.3.2	Evaluación del instrumento de adquisición de datos	39

2.2.3.3	Procedimiento para la adquisición de datos	42
2.2.3.4	Manipulación de datos	43
2.2.4	Interpretación de datos (Valoración de la salud)	50
2.2.4.1	Análisis estadístico.....	51
2.2.5	Comparación de datos	53
2.2.6	Predicción y diagnóstico.....	54
2.2.6.1	Procedimiento para la predicción de datos	55
CAPÍTULO III		56
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
3.1	Análisis del instrumento de medición diseñado.....	56
3.2	Indicadores de falla	58
3.2.1	Buen estado (be)	59
3.2.2	Mal estado por inyección.....	60
3.2.3	Mal estado por válvulas	62
3.2.4	Mal estado por tiempo	63
3.3	Análisis del árbol de decisiones	65
CAPÍTULO IV.....		73
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
4.1	Conclusiones	73
4.2	Recomendaciones	74
ANEXOS.....		79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Comparación de curvas del motor	4
Figura 1.2 Tipos de Asimetría.....	13
Figura 1.3 Tipos de Curtosis	14
Figura 1.4 Sistema de adquisición de datos.....	17
Figura 1.5 Termocupla larga conectada a un medidor	18
Figura 2.1 Tractor Same Explorer 95	21
Figura 2.2 Pinout NI USB-6008.....	26
Figura 2.3 Ubicación del colector de escape en el tractor	30
Figura 2.4 Tapones del colector de escape cilindro 2,3 y 4	30
Figura 2.5 Tapón 1 del colector de escape cilindro 1	31
Figura 2.6 Gráfica de la interfaz lógica	33
Figura 2.7 Gráfica de señal de temperatura sin filtro	34
Figura 2.8 Gráfica de señal de temperatura con filtro	34
Figura 2.9 Diagrama de simulación de temperatura.....	35
Figura 2.10 Diagrama de obtención de temperatura en tiempo real.....	36
Figura 2.11 Diagrama de almacenamiento y obtención de datos en tiempo real.	37
Figura 2.12 Panel frontal del programa ejecutable elaborado.	38
Figura 2.13 Evaluación del instrumento de medición, tractor Deutz Fahr, Agromaxx 55.	38
Figura 2.14 Evaluación de retardo de tiempo cada 100 ms.....	39
Figura 2.15 Evaluación de retardo de tiempo cada 250 ms.....	40
Figura 2.16 Evaluación de retardo de tiempo cada 500 ms.....	40
Figura 2.17 Comparación entre pistola infrarroja e instrumento desarrollado.....	41
Figura 2.18 Tractor Same Explorer 95 con 5 000 horas de trabajo.....	43
Figura 2.19 Diagrama ejecutable con alarmas de advertencia	44
Figura 2.20 Tractor Same Explorer 95 con 11 350 horas de trabajo.....	46
Figura 2.21 Juego de válvulas Tractor Same Explorer 95.....	47
Figura 2.22 Tractor Same Explorer 95 con 15 000 horas de trabajo.....	48
Figura 2.23 Programación de cálculo estadístico	52
Figura 2.24 Sección de tabla de base de datos	53
Figura 2.25 Programación para generar el árbol de decisiones.....	54
Figura 2.26 Árbol de clasificación	54
Figura 3.1 Toma de datos de un cilindro en Buen Estado (BE)	59
Figura 3.2 Medidas máximas y mínimas de la base de datos.....	60
Figura 3.3 Calibración de bomba de inyección	61
Figura 3.4 Calibración de válvulas	63
Figura 3.5 Calibración de bomba de inyección	64
Figura 3.6 Árbol de decisiones.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Tractores utilizados para la gestión de mantenimiento predictivo	22
Tabla 2.2	Especificaciones técnicas, tractor Same Explorer 95	23
Tabla 2.3	Especificaciones termocupla tipo K	24
Tabla 2.4	Descripción Pinout NI USB-6008	27
Tabla 2.5	Temperatura nominal.....	44
Tabla 2.6	Incremento de temperatura por calibración de válvulas	47
Tabla 2.7	Temperatura por cilindro tractor 15 000 horas de trabajo	49
Tabla 2.8	Rango de temperatura de indicadores de fallas	51
Tabla 2.9	Ejemplo de análisis estadístico por muestra	52
Tabla 3.1	Tipos de calibraciones	57
Tabla 3.2	Temperatura nominal.....	58
Tabla 3.3	Tabla de comparación de datos	65
Tabla 3.4	Resultados de una muestra en BE.....	66
Tabla 3.5	Intervalos por indicador de falla.....	71
Tabla 3.6	Mantenimiento preventivo básico y monitoreo discreto de temperatura	72

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Calibración y comprobación de termocupla	80
2. Motor para reparación tractor Same Explorer 95	81
3. Calibración de tiempo de inyección	82
4. Toma de datos con termómetro infrarrojo	83
5. Problema por descalibración de combas de inyección	84
6. Corrección de descalibración de bombas de inyección	84
7. Termocupla con indicios de aceite	85
8. Toma de datos tractor Same Explorer 95	86
9. Certificado de Urkund.....	87

RESUMEN

El objeto de la presente investigación consiste en inducir a las personas a practicar el mantenimiento predictivo en tractores agrícolas Same Explorer 95 mediante el monitoreo discreto de la temperatura en el múltiple de escape. Para lo cual fue necesario diseñar un instrumento de adquisición de datos que permita visualizar en tiempo real el comportamiento de la temperatura en el colector de escape y a su vez almacenar y exportar la información obtenida. Este instrumento cuenta con tres elementos principales: una termocupla tipo K que permite medir temperaturas desde 0°C hasta 400°C, el dispositivo DAQ USB-6008 el cual es la interfaz entre el ordenador y la termocupla tipo K y un ordenador para la gestión de las plataformas y la visualización y exportación de datos.

Una vez que se diseñó el instrumento de medición, se realizó su calibración hasta alcanzar un punto de equilibrio entre suavizar la curva de la temperatura y no perder información. Para conseguir este punto de equilibrio fue necesario determinar dos constantes, el tiempo de cada medición y la cantidad de valores medidos en este lapso de tiempo, que fue de 250ms y 100 valores respectivamente.

Con el instrumento calibrado y listo para usar se procedió a la adquisición de datos en tres tractores con diferentes horas de trabajo y bajo distintos controles en cuanto a mantenimiento, el primero con menos de 5 000 horas de trabajo el cual permitió determinar de forma hipotética la temperatura nominal en el múltiple de escape de 80°C, el segundo con 11 500 horas de trabajo y con antecedentes de mantenimientos preventivos inadecuados que se utilizó para la detección de fallas como el desajuste de válvulas cuando existen temperaturas por debajo de los 73°C, el retardo del tiempo de inyección si la temperatura es inferior a los 63°C o la descalibración angular de la bomba de inyección al existir temperaturas superiores a 85°C. Finalmente, un tercer tractor con más de 15 000 horas de trabajo al cual se le han realizado los mantenimientos preventivos adecuados y permitió comprobar que la hipótesis planteada es verdadera ya que la media promedio de todos sus cilindros fue de aproximadamente 80°C. Luego de la toma de datos se seleccionó 205 muestras y se las sometió a un análisis estadístico con la ayuda de la plataforma Matlab donde se obtuvo como resultado un método de predicción que permite determinar de forma autónoma el estado en el que se encuentra el cilindro sometido a estudio.

ABSTRACT

The purpose of this research is to induce people to practice predictive maintenance on Same Explorer 95 agricultural tractors through discrete monitoring of the temperature in the exhaust manifold. For which it was necessary to design a data acquisition instrument that allows visualizing in real time the behavior of the temperature in the exhaust manifold and, in turn, storing and exporting the information obtained. This instrument has three main elements: a K-type thermocouple that allows measuring temperatures from 0°C to 400°C, the USB-6008 DAQ device, which is the interface between the computer and the K-type thermocouple, and a computer for management of the platforms and the visualization and export of data.

Once the measurement instrument was designed, it was calibrated until a balance point was reached between smoothing the temperature curve and not losing information. To achieve this equilibrium point it was necessary to determine two constants, the time of each measurement and the number of values measured in this period of time, which was 250ms and 100 values respectively.

With the instrument calibrated and ready to use, data was acquired on three tractors with different working hours and under different maintenance controls, the first with less than 5,000 working hours, which allowed hypothetical determination of the nominal temperature in the exhaust manifold of 80°C. The second with 11,500 hours of work and with a history of inadequate preventive maintenance that was used for the detection of failures such as valve misalignment when there are temperatures below 73°C, the injection time delay if the temperature is below 63°C or the angular miscalibration of the injection pump when there are temperatures above 85°C. Finally, a third tractor with more than 15,000 hours of work to which the appropriate preventive maintenance has been carried out and allowed to verify that the proposed hypothesis is true since the average of all its cylinders was approximately 80°C. After the data collection, 205 samples were selected and subjected to a statistical analysis with the help of the Matlab platform, where a prediction method was obtained as a result, which allows to determine autonomously the state in which the subjected cylinder is located to study.

INTRODUCCIÓN

SITUACIÓN ACTUAL

Las actividades de mantenimiento predictivo en los tractores agrícolas conllevan a un monitoreo planificado en sus diferentes sistemas, lo cual es de suma importancia en la actualidad ya que al contar con una máquina en buenas condiciones se aprovecha su máximo rendimiento y se obtiene la mayor eficiencia en cuanto a producción. Además, este tipo de mantenimiento proporciona caminos para evitar la contaminación ambiental dado que ofrece fiabilidad y disponibilidad de la maquinaria, en otras palabras podemos disminuir paros innecesarios por fallos que se pueden prevenir como derrames de fluidos contaminantes necesarios para el funcionamiento del tractor, combustible, aceite y grasa a causa de cañerías, mangueras o sellos en malas condiciones, emisiones de gases tóxicos perjudiciales para la salud debido a un funcionamiento inadecuado del sistema de alimentación y accidentes laborales producidos por sistemas de seguridad deficientes.

PROSPECTIVA

El proyecto de investigación mediante la planificación del mantenimiento predictivo de tractores agrícolas pretende definir actividades de seguimiento y monitoreo discreto con el fin de obtener datos a través del acoplamiento de una herramienta de medición de temperatura, para realizar una comparación con parámetros de funcionamiento preestablecidos por el fabricante u obtenidos de tractores en perfectas condiciones, con la finalidad de proyectar una tendencia, que permita predecir daños futuros en los tractores principalmente en lo que refiere al sistema de inyección y la pérdida de compresión del motor debido al mal estado del conjunto cilindro pistón, que por lo general es un daño al que se le practica un mantenimiento correctivo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El precio de una reparación de un tractor agrícola es elevado, este varía dependiendo de diferentes factores como: su gravedad, marca, potencia o categoría. Esto no es una limitante para empresas o personas naturales que cuentan con este tipo de maquinaria ya que son máquinas de uso diario y explotación severa, requieren una reparación pronta para cumplir con la producción establecida. El problema nace debido a que no se planifican las reparaciones y solo se practica el mantenimiento correctivo después del fallo, lo cual hace que en ocasiones una reparación que por lo general dura entre dos y tres días sea muy extensiva por la indisponibilidad de repuestos, llegando a estar el tractor parado en muchos casos hasta más de un mes, ya que en el país las empresas y casas comerciales que garantizan la disponibilidad de repuestos no cuentan con el stock de productos necesarios y requieren realizar importaciones, por tal motivo varias empresas se ven obligas al alquiler momentáneo de maquinaria para no retrasar su producción generando así un gasto adicional.

OBJETIVO GENERAL

Realizar la gestión de mantenimiento predictivo en tractores agrícolas Same Explorer 95 mediante el monitoreo discreto de temperatura en el múltiple de escape, con el fin de identificar indicadores de fallas que permitan predecir daños futuros, incrementar la fiabilidad y disponibilidad del equipo para disminuir pérdidas de producción y costos de reparación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de la temperatura y dimensiones del múltiple de escape para elegir el tipo de herramienta que se utilizará para realizar las mediciones.
- Diseñar, la estructura para el montaje del sensor de temperatura.
- Utilizar un sistema de adquisición de datos para el registro de la información y su futuro análisis.

- Comparar los datos medidos con los preestablecidos por el fabricante u obtenidos de tractores en perfectas condiciones para determinar defectologías.

ALCANCE

La gestión del mantenimiento predictivo se realizará en la ciudad de Cayambe, en tractores agrícolas de marca Same, específicamente en el modelo Explorer 95.

Existen diferentes técnicas, herramientas y puntos de medición para poner en práctica este tipo de mantenimiento, pero para esta investigación se utilizará la técnica de temperatura, una termocupla como herramienta y las mediciones se realizarán en un punto del múltiple de escape.

Para el registro de la información y la visualización en tiempo real será necesario valerse de un sistema de adquisición de datos.

JUSTIFICACIÓN

La agricultura es una de las actividades más representativas en el país ya que más del 50% de la población se beneficia directa e indirectamente de esta actividad, de acuerdo con Pérez, Suárez, Vivas y García (2017), la gestión de maquinaria agrícola es una de las acciones principales del sector agropecuario ecuatoriano que nos permite identificar dos variables: los costos de operación y el rendimiento de las máquinas. Por lo tanto, la investigación propuesta pretende incrementar la disponibilidad de los tractores y disminuir sus costos de reparación suscitados por actividades no planificadas contribuyendo de esta manera a cumplir con el objetivo número 5 del plan nacional del buen vivir “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria” (Senplades, 2017).

Según el análisis de la política 5.5 del objetivo número 5 del del plan nacional del buen vivir el impulso a la productividad genera mayor competencia entre las entidades que conforman

la industria agrícola, al existir dicha competencia la calidad de los productos también incrementa y tienen mayor probabilidad de ser exportados como es el caso de las flores y las rosas, en la ciudad de Cayambe existen varias empresas que se dedican a su cultivo y la maquinaria agrícola es parte fundamental de sus procesos productivos, siendo el tractor agrícola una de las máquinas más utilizadas para la preparación de suelos es necesario realizar una planificación de seguimiento, mantenimiento y monitoreo para garantizar su buen funcionamiento y aprovechar al máximo su rendimiento logrando de esta manera evitar tiempos muertos en la maquinaria y gastos adicionales por el alquiler momentáneo a terceros.

CONTEXTO

En el país vecino de Colombia Grajales Yeraldyn y Mosalve Juan (2019), plantean como trabajo de investigación el diseño de un instrumento de medición de temperatura utilizando una termocupla y un controlador mediante la metodología del protocolo de comunicación SPI obteniendo como resultado una herramienta capaz de emitir el valor de la temperatura de la termocupla en tiempo real en una pantalla LCD y plantean que la complementación o un futuro trabajo será la exportación de los datos medidos que es una de las actividades que se quiere lograr para la gestión del mantenimiento predictivo de tractores agrícolas Same Explorer 95.

Por otra parte, es indispensable que la herramienta a diseñar esté ligada a un valor accesible y que funcione de manera adecuada ya que como se conoce y menciona en la investigación de mantenimiento predictivo de motores a diésel marinos mediante la correlación de imágenes termográficas y análisis de vibraciones en el apartado de los antecedentes, es un procedimiento bastante extenso en cuanto a lo económico y fiable para grandes empresas. Por lo tanto, el aporte de la presente investigación es el diseño de un instrumento de medición de temperatura que incite a las empresas o personas naturales propietarias de un tractor a poner en práctica el mantenimiento predictivo partiendo de indicadores que por lo general se utilizan en este tipo de mantenimiento como son: temperatura, vibración y presión.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 TRACTOR AGRÍCOLA

El tractor agrícola es una máquina de trabajo severo que consta de un motor de combustión interna para su desplazamiento, sus principales funciones son el remolque, empuje y accionamiento de diferentes aperos e implementos elaborados para realizar un trabajo en conjunto. Este tipo de máquinas han evolucionado con el pasar del tiempo partiendo de máquinas con motores a vapor sumamente pesadas a diseños hergonómicos con motores diésel de inyección directa y control electrónico, utilizadas para la mecanización de los procesos en la agricultura.

Alvarado Armando (2004) dice que “el tractor es el vehículo mas importante para los labores del campo” pero como ya se mencionó requiere de un trabajo en conjunto con aperos o implementos, ya que, por si sólo no estaría en la capacidad de realizar ningún tipo de actividad agrícola. Es muy importante tener en cuenta que depende de las prestaciones del motor, el correcto funcionamiento de los aperos, así como también del sistema hidráulico debido a que en la mayoría de ocaciones la conexión entre el tractor y los aperos se realiza mediante este sistema.

1.1.1 TIPOS DE TRACTORES

Existe una gran variedad de tractores y se los clasifica en distintos grupos dependiendo de diferentes factores tales como: la manera de desplazarse, su tamaño, la funcionalidad que cumplen, los mecanismos que poseen, la fuente de energía que utilizan, entre otras clasificaciones. Pero de todas estas una forma global y práctica para clasificarlos es mediante su potencia.

La potencia del tractor es directamente proporcional al tamaño de la máquina, por lo tanto la clasificación inicia con tractores pequeños de baja potencia y finaliza con tractores de potencias elevadas y gran tamaño. Es pertinente dar a conocer que la siguiente clasificación se enfoca en tractores con arquitectura convencional, que son máquinas con ruedas de diferentes tamaños, utilizados por lo general en la rama agrícola para los cultivos Catalán Heliodoro (2016).

1.1.1.1 Tractor pequeño

También conocidos como tractores de primera categoría, su rango de potencia está entre los 40 y 70 CV, tienen motores de 3 o 4 cilindros y su relación peso potencia es de hasta 40 kg/CV.

1.1.1.2 Tractor mediano

Conocidos también como tractores de segunda categoría, su potencia puede variar entre los 70 y 115 CV, al igual que los tractores pequeños disponen de motores con 3 o 4 cilindros y su relación peso potencia es alrededor de 44 kg/CV.

1.1.1.3 Tractor grande

Sus motores cuentan con 4 o 6 cilindros, son considerados como tractores de tercera categoría y pertenecen a este grupo todos los tractores que posean potencias dentro del rango de 115 a 165 CV y alcancen un peso máximo de aproximadamente 6 000 kg.

1.1.1.4 Tractor muy grande

Como se mencionó anteriormente la potencia es proporcional al tamaño del tractor, por lo tanto se puede ver como a medida que incrementa su potencia es necesario mayor cantidad

de cilindros es decir un motor mas grande. El rango de potencia para estos tractores es de 165 a 250 CV, son considerados como tractores de categoría alta y el peso máximo que pueden alcanzar es alrededor de 8 500 kg. Los tractores que sobrepasan los 250 CV son considerados como tractores extragandes y por lo general se utilizan en actividades específicas, en nuestro medio los tractores con mayor demanda son los de primera y segunda categoría debido a la geografía de la zona.

1.1.2 APLICACIONES Y USOS

- Trabajos de preparación de suelos mediante diferentes aperos como: rastras, azadones mecánicos, arados, desbrozadoras, chapeadoras, etc.
- Control de plagas perjudiciales para los cultivos a través de la aplicación de productos fitosanitarios con asperjadoras.
- Transporte de productos, abonos, materiales y desechos con remolques conectados a la barra de tiro.
- Transporte de tierra y desechos orgánicos siempre y cuando este tenga en su estructura una pala cargadora.
- Siembra y cosecha de diferentes productos alimenticios.

1.1.3 POTENCIA DEL MOTOR

La potencia de un motor se puede definir como la velocidad a la cual se efectúa el par motor, esta es definida y proporcionada por el fabricante como potencia indicada o potencia de salida, por lo tanto es necesario conocer cual es su diferencia. La potencia indicada siempre sera mayor que la potencia de salida por que es la que generan los cilindros del motor sin considerar las pérdidas por fricción existentes en su funcionamiento, mientras que la potencia de salida es la que el motor entrega al volante considerando todas estas pérdidas. Entonces se podría considerar que lo mas adecuado es conocer la potencia de salida, pero para el caso de los tractores lo que realmente interesa es la potencia medida en la toma de fuerza o en la barra de tiro ya que al conocerla podemos saber cual es la potencia final con la cual el tractor va a trabajar Alvarado Chaves (2004).

Otro factor importante que DEUTZ-FAHR (2015), recomienda tomar en cuenta es la norma con la cual se realiza los ensayos para medir la potencia del tractor ya que dependiendo de esta, la potencia de un mismo motor puede cambiar. Como ejemplo se puede citar que la potencia nominal del tractor Same Explorer 95 bajo normativa ECE-R24 es de 87 CV mientras que la potencia nominal del mismo tractor bajo normativa 200/25-CE es de 92 CV debido a que para valorar la potencia del tractor se utilizan restricciones tanto en la aspiración como en el escape y con la normativa ECE-R24 se realizan los ensayos incluyendo todos los accesorios requeridos en el funcionamiento del motor.

1.1.4 TORQUE DEL MOTOR

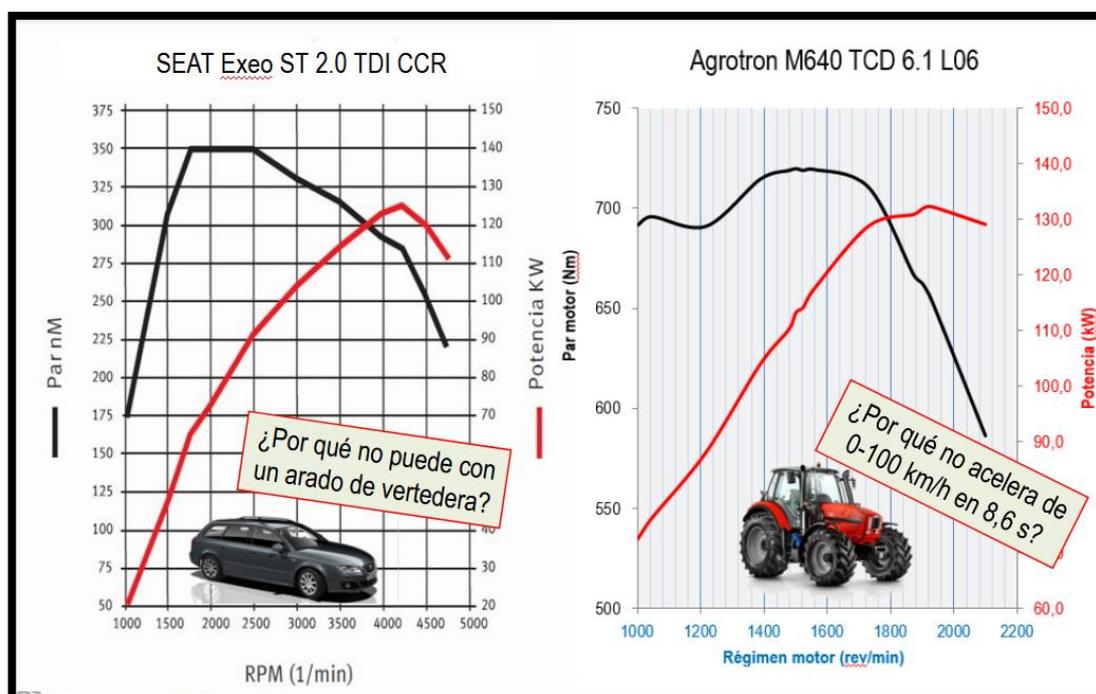


Figura 1.1 Comparación de curvas del motor

(DEUTZ-FAHR, 2015, p. 12)

El torque de un motor o un tractor es la fuerza con la cual gira el cigüeñal, la cual depende de dos factores que son: la fuerza originada por el pistón y el radio formado por la circunferencia del cigüeñal (DEUTZ-FAHR, 2015). Por lo general el par motor con el que trabajan los tractores es muy elevado, para tener una referencia comparativa con un vehículo convencional se puede analizar el siguiente ejemplo.

Un vehículo SEAT Exeo ST de 170 CV tiene un torque máximo de 350 Nm, mientras que un Tractor Fortis 180 de una potencia similar 174 CV tiene un torque máximo de 720 Nm que es más del doble de lo que puede alcanzar el automóvil. Entonces porque si ambos vehículos tienen una potencia similar su torque varía tanto, la respuesta radica en las prestaciones de sus motores, mientras que el automóvil tienen un motor pequeño que alcanza grandes revoluciones, el tractor posee un motor con mayor cilindrada y bajas revoluciones, en otras palabras el automóvil está diseñado para lograr alcanzar altas velocidades y el tractor para generar un elevado torque y lograr accionar los diferentes implementos de trabajo.

1.2 MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

Se puede definir al mantenimiento automotriz como el conjunto de acciones planificadas encaminadas a generar ahorro y mejorar el rendimiento de los diferentes tipos de vehículos, máquinas y equipos que existen dentro de la industria. Según Huerta Chimborazo y Quizhpilema Segundo (2017), el mantenimiento automotriz tiene como finalidad, prevenir fallas, alargar el tiempo de vida del automotor y conservar el buen estado de sus diferentes sistemas para de esta manera incrementar la disponibilidad y eficiencia de los automotores. Para García Córdoba (2017) el mantenimiento y los tipos de mantenimiento han evolucionado constantemente partiendo históricamente desde el empleo del mantenimiento correctivo y actualmente desarrollando mantenimientos que se fundamentan en la disponibilidad.

El mantenimiento basado en la disponibilidad es considerado como el mantenimiento del futuro y este tiene una estrecha relación con el estado técnico de las máquinas, por lo tanto, es necesario monitorear sus parámetros de funcionamiento máximos y mínimos a los que se puede llegar ya que trabajar fuera del rango de estos parámetros provoca desperfectos en las capacidades de las máquinas o en sus indistintos sistemas.

1.2.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen una gran cantidad de tipos de mantenimientos que nos permiten conservar las capacidades técnicas de los equipos, por ejemplo, Huerta Chimborazo y Quizhpilema Segundo (2017), consideran 4 tipos de mantenimiento, el preventivo, el predictivo, el correctivo y el modificado. Para González Sosa, Loyo, López Ontiveros, Pérez Montoya, & Cruz Hernández (2018), también son 4 los tipos de mantenimiento fundamentales, pero sustituyen al mantenimiento modificado con el análisis del mantenimiento proactivo, a su vez Shkiliova Ludmila y Sánchez Manuel (2011) incorporan la gran cantidad de mantenimientos en 3 grandes grupos, el sistema de mantenimiento correctivo, el sistema de mantenimiento preventivo y el sistema de mantenimiento predictivo que a continuación serán detallados.

1.2.1.1 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento fue el más utilizado hasta el primer semestre del siglo XX, consiste básicamente en la sustitución o reparación inmediata de una pieza luego de haber ocurrido la falla, es muy utilizado para piezas de sacrificio y recambio periódico como pasadores, rodamientos, retenedores, forros y todos los elementos y piezas que requieran una sustitución para recobrar su capacidad de trabajo.

1.2.1.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo son actividades programadas encaminadas a conservar y prolongar la vida útil de los equipos, tiene como finalidad reducir e identificar fallas frecuentes, así como también disminuir los costos de reparación y los tiempos muertos de parada. Las actividades que por lo general se realizan en este tipo de mantenimiento son la limpieza, la lubricación, inspección de ajustes y calibración. Actividades que generan un costo adicional, pero son contrarrestadas con fallas en menor cantidad y de menor gravedad.

1.2.1.3 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo fue incorporado aproximadamente en el año 2 000, para ponerlo en práctica es necesario una programación de acciones en base al estado del equipo y de esta manera prevenir la existencia de fallas a futuro (García Sierra, 2019). Una de las características más importantes de este mantenimiento es la necesidad en conjunto de elementos tecnológicos y habilidades humanas que permitan interpretar los datos obtenidos de variables físicas con datos técnicos preestablecidos.

La programación que se puede seguir para la implementación del mantenimiento predictivo es la siguiente.

- Selección de la máquina sometida a estudio
- Identificación adecuada de parámetros
- Obtención de datos
- Valoración e interpretación de datos
- Evaluación del estado de la máquina
- Evaluación del pronóstico
- Generación de asesoría

Como se puede observar esta programación se divide en siete pasos que nos permiten cumplir con el objetivo del mantenimiento predictivo que es suministrar información veraz del estado del equipo para identificar defectologías que nos permitan pronosticar futuras fallas. Además, se fundamenta en la norma ISO 13374-1 (Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation) que proporciona seis pasos fundamentales para alcanzar con la finalidad del mantenimiento mencionado (Sánchez Gómez , 2017).

1.3 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Como ya se mencionó el mantenimiento predictivo requiere de la medición de variables físicas que pueden ser obtenidas por diferentes tipos de técnicas.

Existen variables medibles que hacen referencias a atributos o propiedades que tienen las maquinarias y con el tiempo pueden incrementar o disminuir dependiendo del trabajo y mantenimiento al que estén sometidas. En un curso brindado por TECSUP (2017) sobre la implementación del mantenimiento predictivo se considera como variables principales a las siguientes: temperatura, vibración, condición del aceite y presión. Las mismas que serán detalladas líneas abajo. Para tener una visión real del estado global de la maquinaria es necesario una evaluación en conjunto de todas las variables principales, mientras que si se realiza el monitoreo de una sola variable se podrá obtener tan solo un panorama de un sistema o parte específica de la maquinaria o equipo sometido a estudio.

1.3.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Las vibraciones tienen una relación directa con el tiempo de vida de la maquinaria por el siguiente motivo, un nivel bajo de vibraciones hace referencia a una larga durabilidad de la maquinaria mientras que un incremento o elevado nivel de vibraciones es un indicador de una futura falla, se debe recalcar que por el mismo funcionamiento y trabajo al que están sometidas las maquinarias, no todas las vibraciones se pueden evitar por lo tanto una buena práctica es determinar un rango permisible de vibraciones para elegir cuales necesitan ser corregidas. (Turónaza, et al., 2015)

En este tipo de análisis se pueden utilizar tres tipos de métodos para la obtención de los parámetros de vibración como son la cifra frontal, el control de impulsos de choque y el análisis de frecuencia. Todos los métodos mencionados pueden ser aplicables sin alterar ni modificar el funcionamiento de los equipos y se requiere un grado de especialización medio para los dos primeros métodos, mientras que para el último el grado de especialización es muy alto.

1.3.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURA

La temperatura es una técnica que nos permite medir la variación de calor en forma de temperatura en las superficies del equipo, Sierra Fernández & Andrea Calvo (2017) mencionan que existen dos tipos de equipos para su medición, los spot radiometers que permiten definir la temperatura en un punto y los equipos infrarrojos que actualmente son los mas utilizados por su versatilidad ya que permiten capturar diferentes puntos en distintas áreas. La termografía es una práctica muy utilizada en el mantenimiento predictivo por que permite determinar anomalías de temperatura de equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos en tiempo real y sin contacto. González González & Pizarro Martínez (2005)

Los análisis de temperatura son muy importantes para el mantenimiento predictivo ya que por lo general las fallas generan un crecimiento o decrecimiento de temperatura, por ejemplo una mala compresión en el motor puede disminuir la temperatura que existe en la camara de combustión, mientras que una mezcla rica en combustible puede producir lo contrario. Estas dos variaciones podrían ser analizadas en el multiple de escape para su posterior corrección planificada.

Los instrumentos que por lo general se utilizan en el análisis de temperatura tienen un grado de complejidad medio y al igual que los instrumentos utilizados para el análisis de vibración son aplicables sin alteraciones ni desmontajes en los equipos. No necesitan un grado de especialización las cintas térmicas, termómetros y termopares pero si lo requieren los medidores y scanners de infrarrojo que son instrumentos muy utilizados para el análisis de temperatura.

1.3.3 ANÁLISIS DE ACEITE

Los lubricantes son sustancias elementales para el funcionamiento de un motor es por esta razón que su análisis es fundamental para prevenir fallos, el aceite reduce la fricción entre dos superficies y de esta manera también disminuye las perdidas de energía provocadas por la transmisión de calor, obteniendo como resultado un mejor rendimiento del motor. Pero como mencionan Quiñonez Arroyo, et al. (2020) los aceites son sustancias complejas que

pierden sus propiedades en un determinado tiempo y este disminuye por su combinación con contaminantes, producto de la combustión del motor como la oxidación y la nitración.

Estos contaminantes y otros factores se pueden determinar mediante un análisis (FTIR) Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier, el Test de Karl Fisher, un análisis ICP, entre otras técnicas, que nos permiten identificar defectologías como que el motor esté trabajando con una mezcla no estratificada y a temperaturas bajas por la presencia de una nitración excesiva o la presencia de partículas de desgaste de (Al) que pueden provenir de elementos del motor como pistones y cojinetes.

A diferencia de los métodos de instrumentación para el análisis de vibraciones y temperatura, el control de lubricantes se puede considerar como un trabajo en línea y fuera de línea, ya que son métodos no invasivos para los equipos o maquinarias, pero requieren extraer un elemento (el aceite) para su respectivo análisis. La mayor parte de los métodos que se pueden emplear para este tipo de análisis requieren un grado de especialización medio y son los siguientes: clavijas magnéticas, ferrografía y espectroscopia, todas estas actividades se basan en el análisis de los diferentes sedimentos existentes en el aceite y se diferencian en su alcance ya que mientras que con el método de clavijas magnéticas se pueden analizar sedimentos entre 10 a 100 micras con la espectroscopia se alcanza a analizar sedimentos desde 0 hasta 10 micras.

Es necesario aclarar que se considera un análisis o trabajo en línea cuando los métodos de instrumentación son no invasivos, es decir no perjudican el funcionamiento normal de los equipos y por el contrario cuando se considera un trabajo fuera de línea existe la afectación en el funcionamiento de los equipos ya que es preciso el paro de las máquinas debido al desmontaje o sustracción de algún elemento o pieza para su posterior análisis, Sierra Fernández & Andrea Calvo (2017).

Existen otros tipos de técnicas que pueden ser utilizadas para el mantenimiento predictivo como el control de corrosiones, agrietamientos y tintas penetrantes pero para el trabajo en curso se especifica solo las más frecuentes. Análisis de: lubricantes, temperatura y vibraciones.

1.4 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Las herramientas estadísticas son técnicas que permiten proponer soluciones a partir de diferentes cálculos y mediciones a un grupo de datos numéricos.

1.4.1 MEDIA

La media es una de las medidas de tendencia central más utilizada, ya que no es más que el promedio de un grupo de números. Como un ejemplo sencillo se puede mencionar que la media de 4,5 y 9 es 3. La manera de obtener este resultado es sumando todos los valores de un grupo determinado de elementos y dividiendo este valor para el número de elementos promediados.

1.4.2 MEDIA CUADRÁTICA (RMS)

La media cuadrática, también es una medida de posición central, se diferencia de la media aritmética porque nos permite obtener un resultado estadístico de un grupo de valores positivos y negativos. Por tal motivo es necesario elevar cada elemento al cuadrado para convertirlo en positivo, para posteriormente calcular la media aritmética y finalmente obtener su raíz cuadrada, en otras palabras, la media cuadrática es igual a la raíz cuadrada del promedio del cuadrado de los datos.

1.4.3 MEDIANA

La mediana es una medida de tendencia central tanto para datos agrupados como no agrupados, se la considera como el punto central de un grupo de datos ordenados de mayor a menor. Pueden existir dos posibilidades para el cálculo de esta variable, dependiendo si la cantidad de datos son impares o pares.

Para el primer caso se puede determinar la mediana de forma directa mediante la siguiente fórmula. $Mediana = (n + 1)/2$, la cual se puede interpretar de la siguiente manera, n

representa el número de datos u observaciones que se requiere analizar. Por lo tanto, a este número es necesario sumarle una unidad y dividirlo para 2 para obtener el valor central (mediana) de un grupo de datos impar. En el segundo caso se requiere obtener dos valores centrales, el primer valor es igual a la mitad del total de número de datos ($n/2$), mientras que para obtener el segundo se aplica la fórmula utilizada para casos de grupos de datos impares. Una vez obtenidos los dos valores centrales se procede a calcular la mediana realizando un promedio de estos dos números.

1.4.4 MODA

Como su nombre lo indica la moda es el elemento con mayor repetición en un grupo de elementos o datos que se requieren analizar. Como ejemplo se puede citar el siguiente, la moda de 4, 5, 8, 5, 9,6 es 5 ya que es el elemento de mayor frecuencia en este grupo de números. La desventaja de esta medida de tendencia central es que en muchos análisis no existe un número con mayor frecuencia o existe más de una moda que se da cuando existen varios números que se repiten el mismo número de veces, es por esta razón que la moda no es tan utilizada para cálculos numéricos.

1.4.5 VARIANZA

La varianza es una medida de dispersión, la cual nos permite conocer la proximidad que tienen del centro cada elemento de un conjunto de datos. Se puede definir a la varianza como el promedio del cuadrado de las desviaciones con referencia a la media de un conjunto de datos estadísticos. Entendiendo como desviación el resultado de la diferencia entre cada elemento y la media de una distribución estadística o conjunto de datos (López , 2017).

1.4.6 ASIMETRÍA

La asimetría es una medida de forma que permite conocer la distribución de un grupo de datos, su existencia se da cuando la distribución carece de simetría es decir cuando existen

valores muy altos o muy bajos. Si el coeficiente de asimetría es igual a 0 significa que hay una distribución simétrica, en otras palabras, la media coincide con la mediana. Pero si la media es mayor o menor que la mediana existe una distribución asimétrica positiva o negativa respectivamente. Por lo general el coeficiente de asimetría se encuentra entre el intervalo de -3 y +3, cuando este se aproxima a los límites se trata de una distribución muy asimétrica, pero si al contrario se aproxima a 0 se considera como una distribución que tiende a ser simétrica. A continuación, se muestra en la figura 1.2 un gráfico para una mayor comprensión.

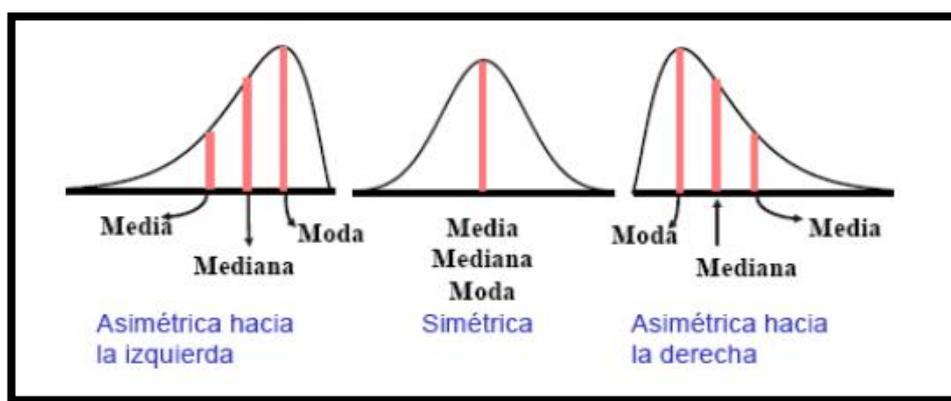


Figura 1.2 Tipos de Asimetría

(Salazar & Del Castillo, Fundamentos Básicos de Estadística, 2018, p. 77)

1.4.7 CURTOSIS

Al igual que la varianza es una medida de forma, con la diferencia que la curtosis nos permite identificar el grado de concentración que existe en una distribución estadística con respecto a la mediana, es decir, existe un grado de mayor concentración cuando la dispersión de los valores es mínima o próxima a la media aritmética y cuando existe una gran dispersión de los valores con referencia a la media aritmética hay un grado de menor concentración.

Al ser una medida de forma se puede identificar según el grado de apuntamiento de las gráficas, cuando el resultado es una gráfica con gran apuntamiento se conoce como curtosis leptocúrtica y su concentración de valores respecto a la media es grande, si el resultado es una gráfica achatada es trata de una curtosis platicúrtica y su concentración de valores respecto a su media es pequeña mientras que si la gráfica no es ni muy apuntalada ni muy

achatada se denomina curtosis mesocúrtica y la concentración de los valores en torno a su media es normal. Se puede visualizar una gráfica de los tipos de curtosis a continuación (San Juan, 2017).

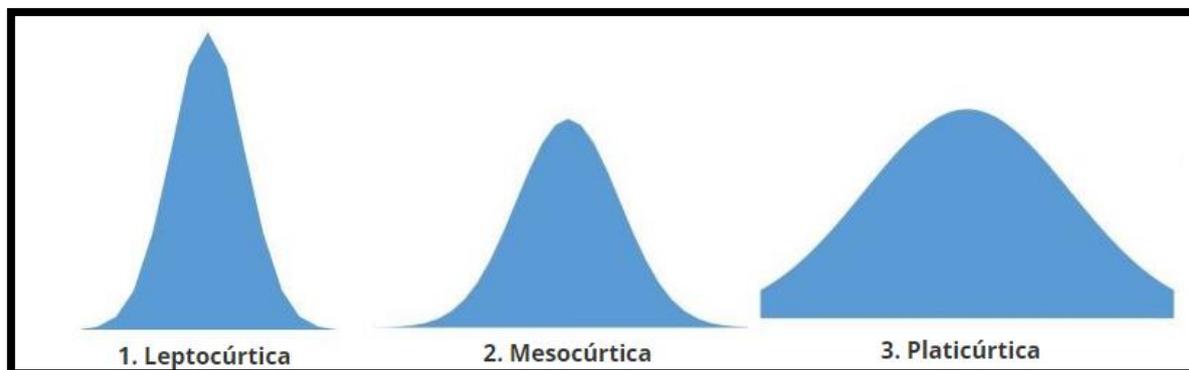


Figura 1.3 Tipos de Curtosis

(Salazar & Del Castillo, Fundamentos Básicos de Estadística, 2018, p. 78)

1.5 MANTENIMIENTO BASADO EN LA DISPONIBILIDAD

La gestión de mantenimiento es un procedimiento ordenado de actividades encaminadas a lograr un Mantenimiento Productivo Total, el cual involucra a todo el personal de una empresa, organización o institución en la colaboración con el mantenimiento de la maquinaria, es decir se asigna pequeñas tareas de mantenimiento a diferentes áreas, por ejemplo a los encargados de la producción se les puede transferir pequeñas tareas de lubricación, ajuste y limpieza, mientras que otra sub-area puede encargarse del proceso y administración de los datos proporcionados por los técnicos encargados del mantenimiento, como ordenes de trabajo y cartas de lubricación, Fernández , Canales Velazco, & Martínez Pérez (2019).

En conclusión para Huancahuire Champi & Quispe Ponce de León (2018), la gestión de mantenimiento es una administración que programa, ordena, direcciona y evalúa todas las actividades propias del mantenimiento y es de mucha importancia ya que su eficiente aplicación permite incrementar la producción y calidad de las empresas mediante la disponibilidad y fiabilidad de las máquinas y equipos.

1.5.1 VENTAJAS DE SU APLICACIÓN

- Incremento de la disponibilidad y fiabilidad de los equipos.
- Disminución de los costos de reparación y tiempos de parada de las máquinas.
- Incremento en la producción y calidad.
- Disponibilidad de documentación como: historiales de fallas, mantenibilidad y cartas de lubricación.
- Conservación del tiempo de vida útil de los equipos y maquinarias.
- Conocimiento general y específico de las máquinas.
- Planificación de mantenimientos que no interfieran con la producción.
- Planificación y cumplimiento de objetivos.

1.6 MONITOREO

El monitoreo es una herramienta de la gestión la cual nos permite recolectar información de un determinado parámetro, sistema o elemento con la finalidad de verificar su estado para posteriormente determinar si es o no necesario realizar alguna actividad de corrección o mejora. Hidalgo Ávila , Real Pérez , & Llosas Albuérne (2017) clasifican al monitoreo en dos tipos, según las inspecciones que se realice.

1.6.1 MONITOREO DISCRETO

Este tipo de monitoreo es muy utilizado debido a que las inspecciones programadas se efectúan con cierta regularidad y no es necesario el montaje permanente de instrumentos o equipos de medición.

1.6.2 MONITOREO CONTINUO

A diferencia del anterior monitoreo, las actividades de inspección programadas son constantes y el uso de herramientas o aparatos de medición necesariamente deben estar montadas de forma continua en la máquina.

El monitoreo continuo tiene una gran ventaja debido a que la actividad de corrección puede ser aplicada muy próxima a su estado límite, pero a su vez, puede ser menos accesible económica y técnicamente, ya que, no siempre será posible adaptar de manera permanente instrumentos o equipos de monitoreo en especial si se trata de maquinaria destinada al trabajo severo.

1.7 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para definir al sistema de adquisición de datos abreviado frecuentemente como DAQ o DAS se puede utilizar la analogía realizada por Azúa Barrón , Vázquez Peña , Arteaga Ramírez , & Hernández Saucedo (2017) donde se compara a las habilidades sensoriales que posee el ser humano para captar información del ambiente y tomar decisiones, con los diferentes sensores que utilizan los sistemas electrónicos para obtener información de la realidad, ya que un sistema DAQ es un proceso en el cual se toma información de fenómenos físicos en forma de señales de voltaje o corriente para posteriormente utilizarlos en una determinada actividad, como puede ser la visualización de estos valores en tiempo real o un análisis a futuro de los datos obtenidos y almacenados. Actualmente los sistemas de adquisición de datos para la medición procesamiento y análisis de los fenómenos físicos utilizan los siguientes componentes: sensores, acondicionadores de señal, convertidores de señal y una computadora Dewesoft (2020).



Figura 1.4 Sistema de adquisición de datos

(Flórez Martínez & Vargas Flórez, 2015, p. 46)

1.7.1 SENSORES O TRANSDUCTORES

Para Duarte Forero, Berrio Orozco, & Guzmán Fruto (2019), antes de elegir los instrumentos de medición es necesario definir cuales son las magnitudes físicas que se desea medir, posterior a ello se debe proceder a la elección del instrumento mas adecuado en base al funcionamiento, posición y condiciones de trabajo a las que va estar sometido. Los instrumentos de medición son sensores o trasductores cuya función es captar una magnitud física y convertirla en una señal eléctrica cuantitativa, en función del sensor que se utilice para la medición se puede obtener diferentes señales eléctricas de salida como voltaje, resistencia o corriente, National Instrument (2017).

1.7.2 ACONDICIONADOR DE SEÑAL

Los acondicionadores de señal toman las señales análogas de los sensores y como su nombre lo indica acondicionan estas señales para que el convertidor análogo digital sea capaz de convertirlas en señales digitales que son mas fácil de interpretarlas para su posterior análisis y almacenamiento. Según Duarte Forero, Berrio Orozco, & Guzmán Fruto (2019) para acondicionar la señal se deben ejecutar 3 etapas, linealizar la señal análoga resivida por el sensor, filtrarla o aislarla y finalmente relizar su conversión.

1.7.3 CONVERTIDOR ANALÓGICO – DIGITAL (ADC)

Osorio, Pérez Ramirez, & Rodríguez Barrera (2010), consideran que un sistema de adquisición de datos consta de cuatro etapas, la primera que consiste en la obtención de las señales mediante sensores, la segunda que compete al acondicionamiento de la señal, seguida de la etapa de conversión de la señal donde se utiliza las señales tomadas del entorno, para cuantificarlas, convertirlas en un código digital equivalente y mandarlas a una computadora mediante un protocolo de comunicación. Finalmente en la última etapa utilizar un software que permita procesar los parametros obtenidos para su respectiva manipulación.

En conclusión el convertidor ADC es un componente electrónico fundamental en los sistemas de adquisición de datos, que nos permite cambiar la señal análoga que proporcionan los inductores o sensores a una señal digital equivalente. Dewesoft (2020), menciona que se puede hacer uso directo de una tarjeta A/D o a su vez de un subsistema.

1.8 TERMOCUPLA

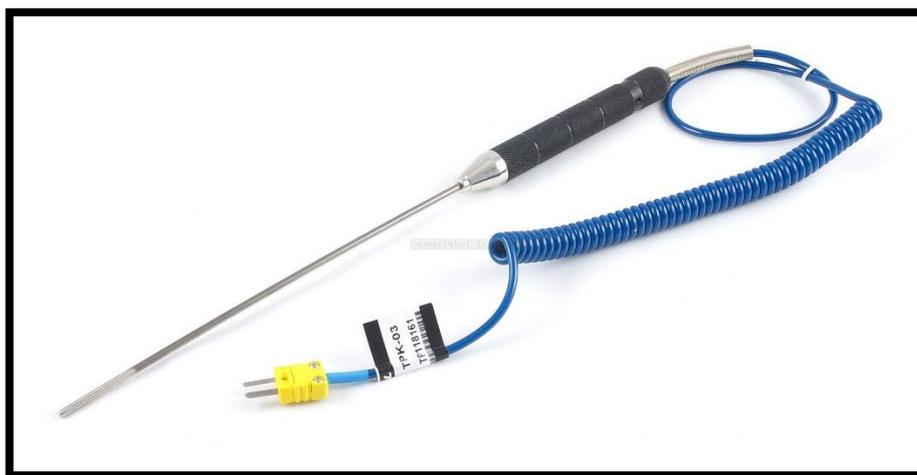


Figura 1.5 Termocupla larga conectada a un medidor

(Dewesoft, 2020)

La temperatura es la magnitud física mas utilizada Dewesoft (2020), para determinar diferentes anomalías en el cuerpo humano, los vehículos o las distintas máquinas o equipos

utilizados en la industria. Existen diferentes instrumentos que nos permiten medir la temperatura pero el termopar es uno de los transductores mas demandados debido a su accesibilidad económica, intercambiabilidad, precisión y su extenso intervalo de trabajo.

Una termocupla está elaborada bajo el principio de Seebeck el cual menciona que se puede producir electricidad al aplicar temperatura a un par de metales de distinto material conectados al mismo circuito Gamarra Ojeda & Zaballa Pozo (2017). Por lo general las termocuplas vienen contenidas en tubos de acero e internamente se encuentra localizado en un extremo los alambres unidos regularmente por soldadura y al otro lado el cabezal, que es una envoltura circular de aluminio que recubre al terminal eléctrico de los cables.

1.8.1 TIPOS DE TERMOCUPLAS

Existe una variedad muy grande de termocuplas, ya que dependiendo de la configuración de los materiales que se utilizan para su construcción se puede incrementar o reducir su intervalo de medición. A pesar de que existe una gran variedad de termopares, el 90% de termocuplas mas utilizados son los de tipo J y los de tipo K.

1.8.1.1 Termocuplas tipo k

Este tipo de termocuplas tienen un intervalo de medición de temperatura que va desde los -250°C hasta los 1250°C Grajales Erazo & Monsalve Vargas (2019), el par de materiales con el que están construidas es níquel y cromo o a su vez níquel y aluminio. Generalmente se utilizan en procesos de fundición y en hornos que trabajen con temperaturas dentro del rango de medición especificado.

1.8.1.2 Termocupla tipo J

Los materiales con los que están elaboradas son una aleación de zinc conocida como (zamac) y aluminio Gamarra Ojeda & Zavalla Pozo (2017), pueden trabajar en intervalos desde -180°C hasta un máximo de 750°C y son muy utilizadas en la industria del plástico para medir generalmente bajas temperaturas.

1.8.1.3 Termocupla tipo R, S

Este tipo de termocuplas están construidas para los dos casos con platino y rodio, su rango de trabajo va desde los -50°C hasta los 3214°C su diferencia es el porcentaje utilizado de los materiales mencionados ya que en la termocupla tipo R es mayor. Por lo general este grupo de termopares son muy utilizados en la industria de la fundición de acero.

Como ya se mencionó existe una gran variedad de termopares pero solo se han detallado los que más se utilizan, una gran diferencia entre las termocuplas de tipo J y K con las de tipo R y S es que el primer grupo está elaborado con metales base y el segundo grupo, con materiales nobles los cuales no son magnéticos y tampoco pueden introducirse en tubos metálicos mientras las termocuplas construidas de metales base sí (Dewesoft, 2020).

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

Para la elección de los materiales fue necesario definir la magnitud física que se desea medir, posterior a ello determinar la ubicación y las condiciones de trabajo a las cuales van a estar sometidos y finalmente se procedió a la selección de los materiales idóneos, que a continuación serán detallados.

2.1.1 TRACTOR SAME, MODELO EXPLORER 95



Figura 2.1 Tractor Same Explorer 95

(SAME, 2017, p. 2)

Los tractores SAME tienen su origen en el año 1942, cuando Francesco (1906-1973) y Eugenio Cassani (1909-1959) fundan esta empresa en Treviglio para la producción en serie de tractores agrícolas refrigerados por aire. Luego de una década de la fundación de la empresa, Francesco diseña el primer tractor a nivel mundial con tracción a las cuatro ruedas

logrando alcanzar una gran demanda, de tal manera que tienen la necesidad de construir una nueva planta de producción y para 1957 alcanzan una producción anual de 3 000 tractores.

En el periodo de 1973 a 1979 SAME adquiere la marca Lamborghini y la marca Suiza Hürliman logrando así un realce cualitativo y tecnológico debido a la implementación de un sistema de refrigeración por agua para el motor. En 1995 SAME forma una alianza estratégica con la histórica marca alemana Deutz Fahr, luego de adquirir la sección de tractores y cosechadoras formando así el grupo SAME DEUTZ-FAHR (SDF) que hoy en día cuenta con más de 3 100 distribuidores a nivel mundial (SDF, 2018).

Para la presente investigación se utilizó tres tractores Same Explorer 95 con diferentes horas de trabajo y bajo distinto cuidado, por lo que se encuentran en diferentes etapas de su vida útil, la tabla 2.1 define la fase por la cual están cruzando cada uno de estos equipos con base a su tiempo de recorrido.

Tabla 2.1 Tractores utilizados para la gestión de mantenimiento predictivo

MODELO	SERIE	HORAS DE TRABAJO	ETAPA
Same Explorer 95	94601	5 000	Fase de juventud
Same Explorer 95	94594	11 500	Fase de madurez
Same Explorer 95	92290	15 500	Fase de envejecimiento

Estos tractores son uno de los varios modelos que la empresa multinacional SDF fabrica, poseen un motor sobrealimentado, refrigerado por líquido de cuatro cilindros de $4\,000\text{ cm}^3$ diseñado bajo normativa EURO I. Las características técnicas relevantes de estas máquinas son, su sistema de inyección BOSCH de alta presión de bombas independientes UPS, el sistema de freno de discos a las 4 ruedas en baño de aceite, la transmisión directa de potencia del motor a la toma de fuerza y el diseño y fabricación propio de transmisión, que les permiten alcanzar una mayor eficiencia, seguridad y confianza. Pero ante todas estas características, el motivo por el cual se optó por este modelo de tractor fue su versatilidad y fácil acceso al múltiple de escape para poder realizar las mediciones. A continuación se detalla en tabla 2.2 las especificaciones técnicas de dicho tractor.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas, tractor Same Explorer 95

MOTOR: SAME		MODELO: 1 000.4WT	
Cilindros	#	4	
Cilindrada	cm ³	4 000	
Potencia máxima homologada (2.000/25/CE)	CV	92	
Régimen de potencia máxima	rpm	2 350	
Par máximo	Nm	330	
Reserva de Par	%	32	
Refrigeración		Líquido	
Capacidad de tanque de combustible	litros	100	
DIMENSIONES Y PESOS			
Longitud máxima sin estevas	mm	4 075	
Ancho mínimo y máximo	mm	2 050-2 250	
Altura máxima	mm	2 480	
Distancia entre ejes	mm	2 360	
Peso máximo	kg	3 200	
Llantas		T: 18.4R30 D:14.9R24	
TRANSMISIÓN			
Embrague		Monodisco en seco	
Caja de velocidades		Cambio mecánico con 5 velocidades sincronizadas por 4 gamas con super reductor. 20 AD + 20 AT	
Velocidad máxima	km/h	0,38-40	
Inversor		Sincronizado	
Bloqueo diferencial trasero		Mecánico	
Lubricación		Forzada con radiador aceite transmisión	
FRENOS Y DIRECCIÓN			
Freno		De discos en baño de aceite en las 4 ruedas y mando hidrostático	
Dirección		Hidrostática	
PUENTE DELANTERO			
Conexión de la tracción 4WD		Mecánico	
Bloqueo diferencial delantero		Mecánico	
Contrapesos delanteros		Máximo 8 de 40 kg c/u	
T.D.F TRASERA			
Embrague		Independiente con discos múltiples en baño de aceite	
Velocidad	Rev/min	540 / 1 000	
ALCE HIDRÁULICO			
Elevador trasero		Mecánico	
Capacidad máxima de elevación	kg	4 200	
Caudal de la bomba	l/min	56	

Fuente: (SAME-DEUTZ FAHR, 2010, pp. 212-213)

2.1.2 TERMOCUPLA, INKBIRD, TIPO K

La selección de la termocupla adecuada para la medición de la temperatura en el múltiple de escape del tractor sometido a estudio fue la base para iniciar con el proyecto, ya que antes de su elección se tuvo que determinar la temperatura que alcanzan los gases en el múltiple de escape, la manera de anclar el termopar de forma segura al colector de escape y también verificar si este tipo de termocuplas se pueden conectar de manera directa al dispositivo DAQ o requieren de algún tipo de acondicionador de señal.

Ante estas adversidades, se seleccionó la termocupla roscada tipo K, la misma que cuenta con una rosca milimétrica de 6 mm de diámetro, 1 mm de paso y su rango de temperatura es de 0 a 400°C, líneas abajo en la tabla 2.3, se puede visualizar las especificaciones de este instrumento de medición.

Tabla 2.3 Especificaciones termocupla tipo K

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN	UNIDADES
Rango de temperatura	0-400	°C
Diámetro del sensor	4,5	mm
Diámetro de rosca	6	mm
Paso de la rosca	1	mm
Extensión de cable	2	m
Blindaje externo	Blindaje aislado	
Aislamiento interno	Fibra de vidrio	

2.1.3 LABVIEW

LabVIEW es un laboratorio virtual, extenso que posee distintos paquetes de herramientas orientados a diferentes áreas específicas, que simplifica la programación y ejecución de un programa gracias a su plataforma gráfica. Es por esta razón que para la programación del proyecto en curso se usó el módulo LabVIEW en tiempo real el cual permitió diseñar un conjunto de funciones ordenadas ejecutables, para el monitoreo discreto de la temperatura mediante la adquisición de datos y su visualización en vivo (NI, 2022).

Este software es un instrumento virtual conformado por dos pantallas, la primera conocida como diagrama de bloque y la segunda llamada panel frontal las cuales permitieron realizar la programación y efectuar la interacción hombre máquina respectivamente. En ambos casos mediante paletas de control y paletas de funciones se seleccionó los controladores e indicadores necesarios para realizar el programa ejecutable y conseguir medir la temperatura.

2.1.4 MATLAB

MATLAB es una herramienta profesional de ingeniería útil para resolver problemas matemáticos de manera sencilla, la palabra MATLAB es la conjunción de dos palabras en inglés, Matrix y Laboratory, que significan laboratorio matricial, como su nombre lo indica este software se especializa en la resolución de matrices y vectores pero además permite realizar una infinidad de cosas como por ejemplo: cálculos numéricos, crear programas, simular procesos, realizar análisis estadísticos, crear interfaces gráficas y predecir resultados.

MATLAB utiliza una programación de alto nivel, elaborada para suministrar sencillez y permitir a las personas realizar programaciones sin tener un conocimiento amplio en programación gracias a su entorno de desarrollo íntegro y propio lenguaje de programación (Ramos Flores, 2012).

2.1.5 DISPOSITIVO DAQ, NATIONAL INSTRUMENTS, MODELO USB-6008

El dispositivo (DAQ) es la interfaz que permite conectar de manera sencilla sensores y señales con un ordenador, con el fin de visualizar datos en tiempo real o almacenarlos para su posterior análisis o estudio. Para la visualización de la temperatura en el múltiple de escape y su almacenamiento fue necesario utilizar el dispositivo de adquisición de datos (DAQ) USB-6008, el cual posee las siguientes características, costo accesible, entradas y salidas analógicas y digitales, un contador de 32 bits, conexión de terminal sencilla tipo tornillo y fácil portabilidad debido a su alimentación por bus y peso ligero de 3 onzas, además incorpora un controlador NI-DAQmx que permite sintetizar las mediciones y su configuración convirtiéndolo en el instrumento ideal para aplicaciones de registros de datos y experimentaciones académicas.

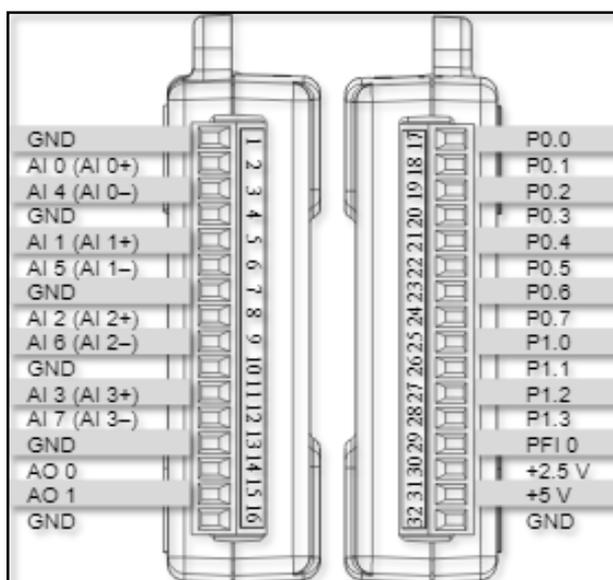


Figura 2.2 Pinout NI USB-6008

(National Instruments, 2022)

La figura 2.2 presenta el pinout del dispositivo DAQ USB-6008 en donde se pueden apreciar claramente la distribución de los pines, los cuales serán detallados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Descripción Pinout NI USB-6008

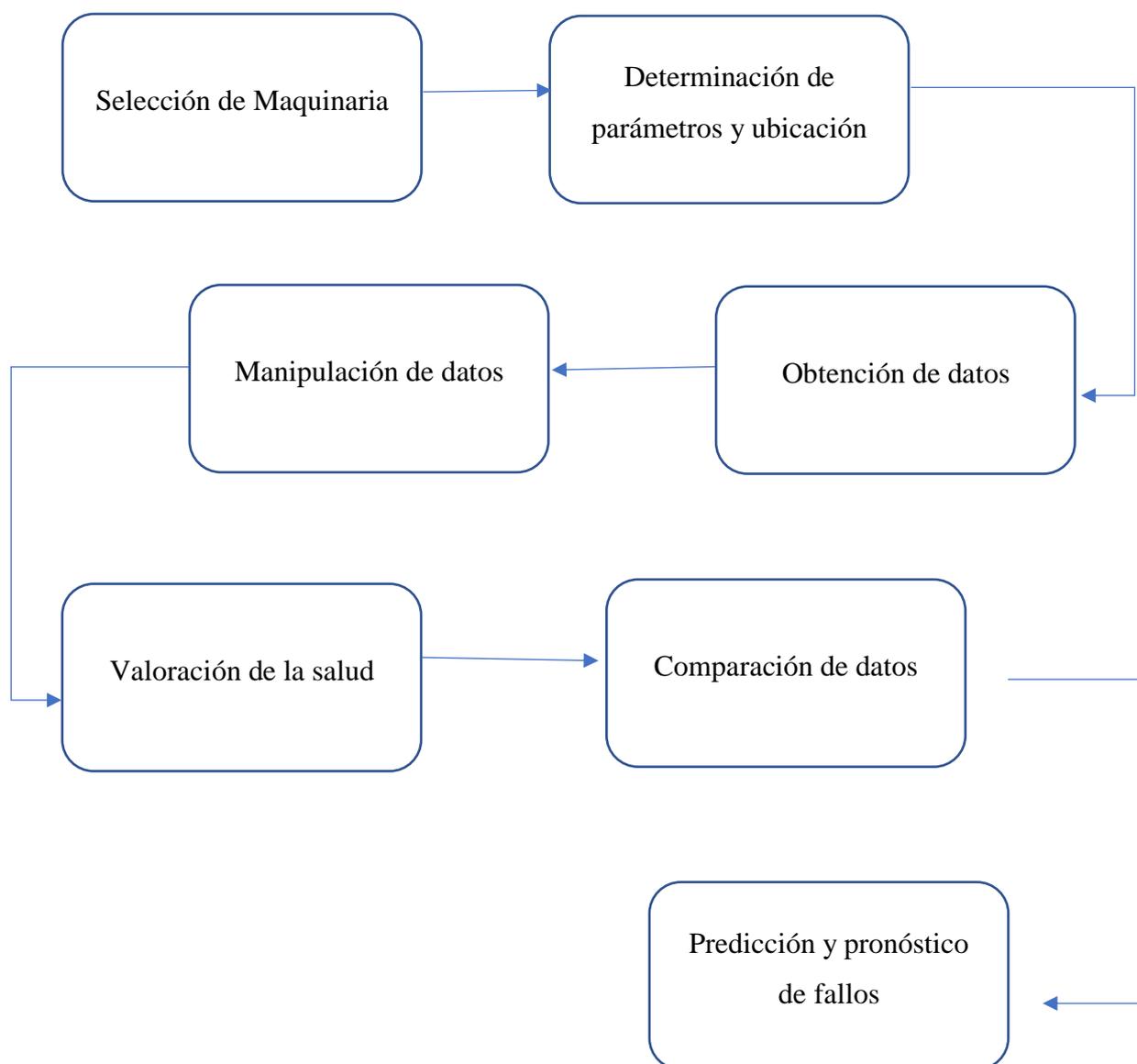
NOMBRE DE LA SEÑAL	REFERENCIA	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
GND	-	-	Tierra, punto de referencia para: mediciones AI, voltajes de OA, señales digitales, suministro de +5VCC y 2,5 VCC, en el conector de E/S.
AI <0...7>	Varía	Aporte	Canales de entrada analógica de 0 a 7, se utiliza en mediciones de un solo extremo, cada señal es un canal de voltaje de entrada analógica. Ejemplo los conectores de AI 0 y AI 4 son las entradas (+) y (-) del canal de AI diferencial 0 al igual que los siguientes pares: IA <1,5>, IA<2,6>, IA<3,7>.
AO <0,1>	Tierra	Producción	Canales de salida analógica 0 y 1, suministra la salida de voltaje tanto del canal 0 como del canal 1.
P0. <0...7>	Tierra	Entrada o salida	Puerto 0 entradas y salidas digitales, canales del 0 al 7, se usa para configurar de forma individual cada señal de entrada o salida
P1. <0...3>	Tierra	Entrada o salida	Puerto 1 entradas y salidas digitales, canales del 0 al 3, utilizado para configurar de forma individual cada señal de entrada o salida
PFI 0	Tierra	Aporte	PFI 0, este pin se puede configurar como disparador digital o entrada de controlador de eventos
+2,5 V	Tierra	Producción	Referencia externa de +2,5V, proporciona una referencia para la prueba de reinicio
+5V	Tierra	Producción	Fuente de alimentación de +5V

Fuente: (National Instruments, 2022)

2.2 METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo experimental se fundamentó en reglas generales que propone la norma ISO 13374-1, la cual presenta una serie de pasos consecutivos que permiten cumplir con los objetivos del mantenimiento predictivo, basado en el monitoreo de la condición o el estado de una máquina o equipo.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que permite comprender de manera simplificada la metodología utilizada para cumplir con los objetivos planteados.



2.2.1 SELECCIÓN DE MAQUINARIA

Para comenzar, se eligió tres tractores SAME, modelo Explorer 95 con diferentes horas de trabajo y bajo distintos controles en cuanto al mantenimiento, el primero fue un tractor con menos de 5 000 horas que permitió determinar la temperatura de trabajo nominal en el múltiple de escape a la cual deberían asemejarse los otros dos tractores si no presentaran ningún fallo en el sistema de inyección el conjunto pistón cilindro no tuviese desgastes considerables y la sincronización de sus bombas de inyección fuese la adecuada.

El segundo tractor con 11 350 horas de trabajo y antecedentes de mantenimientos preventivos inadecuados como, el uso de filtros y aceites de mala calidad, la utilización de agua para la refrigeración y el incumplimiento de los plazos de mantenimiento que preestablece el fabricante. Finalmente, un tractor con aproximadamente 15 000 horas de trabajo al cual se le han realizado los mantenimientos preventivos de forma adecuada respetando los periodos de mantenimiento preestablecidos y haciendo uso de aceites y filtros de buena calidad, en su mayor parte originales. Esto con la finalidad de valorar el estado de dichos tractores, realizar comparaciones, identificar inconsistencias y establecer parámetros que permitan pronosticar fallos ya que las tres máquinas se encuentran operables y presumiblemente no presentan ningún problema.

2.2.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y UBICACIÓN

La ubicación del instrumento de medición que para el caso fue la termocupla tipo K va de la mano con la selección del tractor, debido a que, como ya se mencionó en el apartado de materiales, este modelo de tractores tiene como particularidad el fácil acceso al múltiple de escape el mismo que cuenta con cuatro orificios taponados por pernos, ubicados de forma estratégica a la salida de cada cilindro para realizar la sincronización de las bombas de inyección de alta presión UPS. Es por esta razón que se optó por el colector de escape para realizar la gestión de mantenimiento predictivo mediante el monitoreo discreto de la temperatura.



Figura 2.3 Ubicación del colector de escape en el tractor

2.2.2.1 Dimensionamiento del múltiple de escape

El colector de escape en su estructura tiene 4 orificios roscados con paso de 1mm y 6 mm de diámetro. Tanto para el cilindro 2,3 y 4 los orificios se encuentran en la parte central del múltiple de escape y tienen una profundidad de 67 mm como se puede apreciar en las siguientes figuras.



Figura 2.4 Tapones del colector de escape cilindro 2,3 y 4

Pero para el caso del cilindro 1 el orificio se encuentra ubicado en la parte inferior del múltiple de escape como se puede observar en la figura 2.4 por lo que fue necesario tomar una medida adicional que va desde la parte inferior del colector de escape hasta la zona media en donde se ubican todos los otros orificios siendo esta igual a 37 mm.



Figura 2.5 Tapón 1 del colector de escape cilindro 1

2.2.2.2 Ubicación para la toma de datos

Como se pudo observar en la figura 2.5 y 2.4 el colector de escape posee 4 orificios en los que se puede montar la termocupla para realizar el mantenimiento predictivo mediante el monitoreo discreto de temperatura, pero fue necesario determinar cuál de estos es el más adecuado para hacerlo, descartando las opciones que presentan complicaciones para el montaje, que a continuación serán detalladas.

El orificio del primer cilindro fue la primera opción que se descartó debido a que su ubicación es diferente a la de los 3 restantes y su accesibilidad es un tanto complicada ya que se encuentra en la parte inferior del múltiple de escape y para el montaje de la termocupla es necesario liberar la cañería de lubricación del turbo aflojando sus dos pernos de sujeción.

La segunda opción que se descartó fue el orificio del cuarto cilindro, tiene un fácil acceso para el montaje de la termocupla, pero se encuentra muy próximo al tubo de escape por lo que se tomó la decisión de no realizar mediciones en este orificio por seguridad. El tercer

orificio presenta el mismo inconveniente que el cuarto, su accesibilidad es idónea para el montaje del termopar, pero la proximidad al tubo de escape podría ocasionar incidentes al realizar las mediciones de temperatura. Quedándonos, como última opción el orificio del cilindro número dos, el cual posee fácil accesibilidad y ofrece mayor seguridad que todos los antes mencionados, es por esta razón que se optó por esta opción para realizar el monitoreo discreto de temperatura para la obtención de datos ya que cumple con uno de los objetivos del mantenimiento predictivo que es realizarlo sin interferir en su estructura y mientras la máquina se encuentra en operación.

2.2.2.3 Determinación de parámetros de temperatura

Para la determinación de los parámetros de temperatura se utilizó en primera instancia una cámara termográfica la cual permitió conocer de manera instantánea la temperatura en el múltiple de escape, teniendo como resultado una temperatura máxima de 180°C con el tractor a régimen de trabajo. Luego de tener una temperatura referencial se consultó con técnicos experimentados en este tipo de tractores, los cuales manifestaron que en su experiencia han realizado mediciones y la máxima temperatura a la que un tractor SAME Explorer 95 puede llegar sin riesgos es de 240°C trabajando a su máxima potencia.

Es por estas razones que se determinó el rango de temperatura de la termocupla tipo K de (0 a 400° C), para tener un margen considerable entre la máxima y mínima temperatura que pueden alcanzar los gases dentro del colector de escape.

2.2.3 OBTENCIÓN DE DATOS

Para la obtención de datos se hizo uso del dispositivo DAQ USB-6008 el cual fue la interfaz entre la termocupla tipo K y el ordenador, logrando de esta manera la adquisición de datos en tiempo real y también la exportación de estos, mediante la creación de un programa ejecutable en la plataforma LabVIEW que a continuación será detallado.

2.2.3.1 Diseño del programa ejecutable para la adquisición de datos

El primer paso para la creación del programa ejecutable fue poner un indicador (while loop) que se puede ver en la parte inferior derecha de la figura 2.6, el cual permite que el programa se ejecute de forma continua mientras una condición sea verdadera, en este caso, hasta que se aplaste el botón stop, con la singularidad de que antes de parar se terminen de ejecutar todos los procesos (adquirir, mostrar y guardar) ya que de no hacerlo de esta manera se podrían perder datos y también forzar a los dispositivos a parar de manera inadecuada, en otras palabras se generó una interfaz lógica.

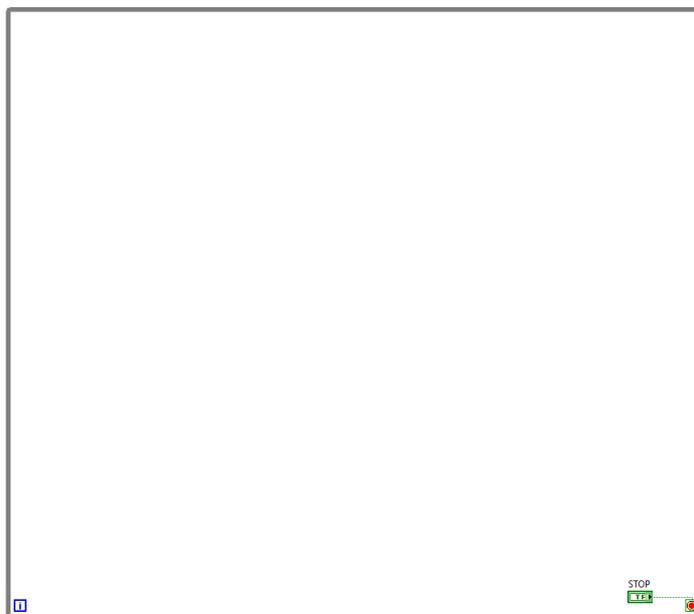


Figura 2.6 Gráfica de la interfaz lógica

Por lo general cuando se realizan mediciones de temperatura se tienen ruidos inherentes a la longitud del conductor (entre la termocupla y el punto de adquisición de datos), por lo tanto, el siguiente paso fue la creación de un filtro que permitió suavizar las variaciones de temperatura logrando pasar de una señal de temperatura muy variable a una señal progresiva de incremento y decrecimiento de temperatura como se puede visualizar en la figura 2.7 y 2.8 respectivamente.

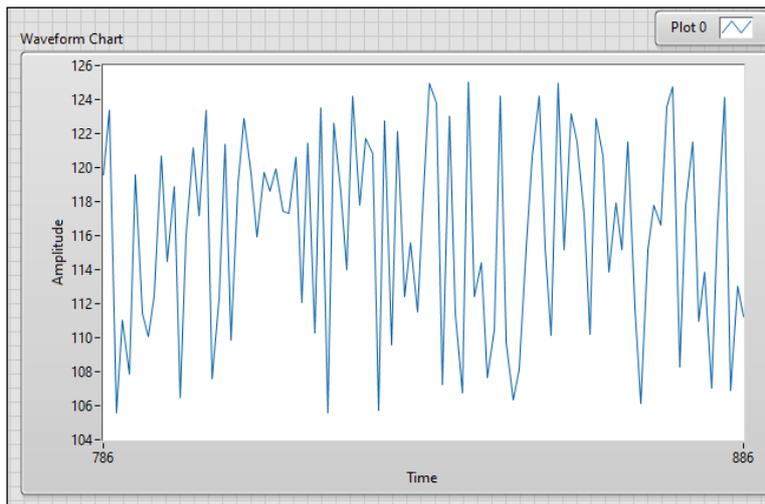


Figura 2.7 Gráfica de señal de temperatura sin filtro

La figura 2.7 muestra la señal que se logró obtener mediante una simulación de variación de temperatura que mas adelante sera detallada. Como se puede ver, es una señal muy variable en el tiempo, su aumento y decrecimiento no se da de forma progresiva por lo que fue necesario filtrar esta señal de ruidos con la finalidad de conseguir una señal de temperatura real y libre de perturbaciones.

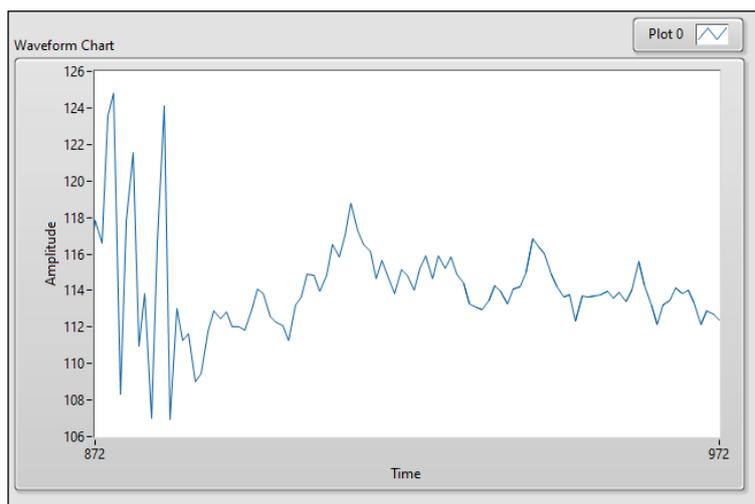


Figura 2.8 Gráfica de señal de temperatura con filtro

Primeramente, mediante una simulación de variación de temperatura se utilizó, una señal aleatoria proveniente de un controlador randomico representado en forma de datos en la siguiente figura, este fue multiplicado por un número entero (20) para ampliar su rango de

variación. Además, para que la temperatura suba y baje se sumó un indicador dial graduado de 0 a 100° C. Como constantes de filtración, se determinó 10 valores para la media aritmética (MEAN) y 0,1 segundos de tiempo de retardo, es decir se calibró al filtro para que cada 100 ms se obtenga un valor promediado de 10 muestras, con la finalidad de conseguir una señal filtrada como se puede apreciar en la figura 2.8.

El valor de temperatura variable se conectó a un termómetro y a su vez a una pantalla para poder verificar en tiempo real los cambios de temperatura simulados, a continuación, se puede ver en la figura 2.9, el diagrama utilizado para la simulación de variación de temperatura.

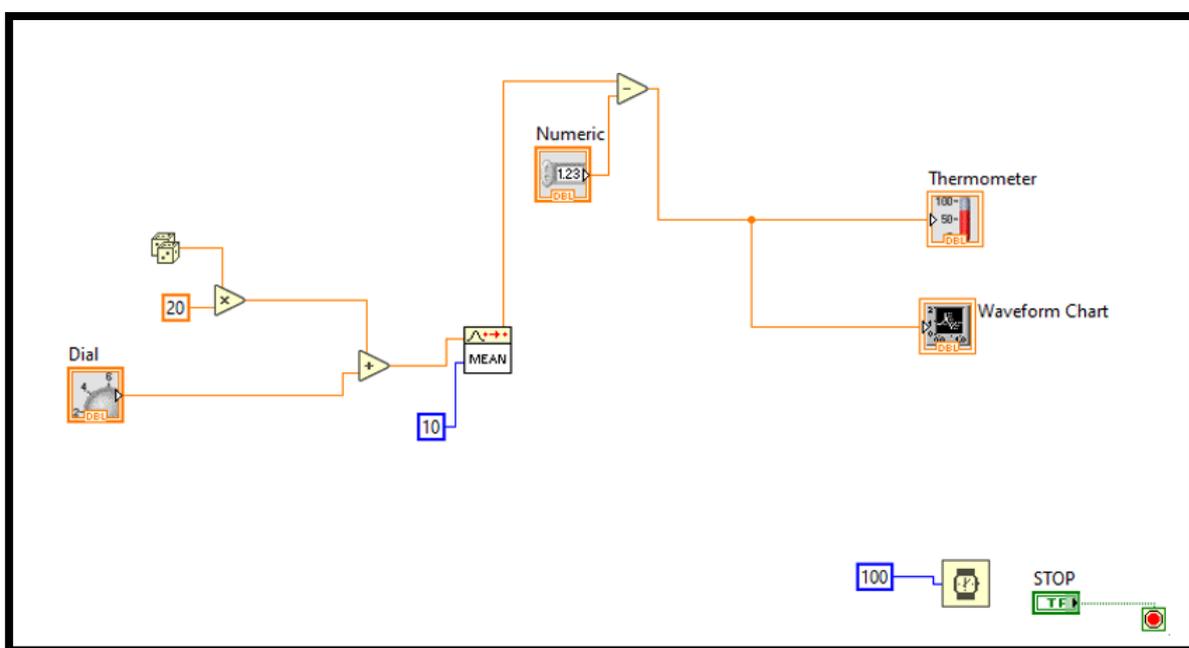


Figura 2.9 Diagrama de simulación de temperatura

Una vez creado el filtro para linealizar el ruido, se eliminó el controlador randomico y se procedió a conectar y configurar la DAQ USB-6008 como se puede mirar en la figura 2.10, siguiendo las instrucciones que el programa proporciona mediante la opción del asistente de adquisición de datos. Este facilitó una lista desplegable de alternativas, para cada una de las siguientes opciones: función que se desea realizar, tipo de conexión (entrada), magnitud e instrumento de medición. De las cuales se seleccionó, adquisición de datos en tiempo real,

conexión a los terminales (AI0, AI4) en las entradas analógicas que posee la DAQ, temperatura y la termocupla respectivamente.

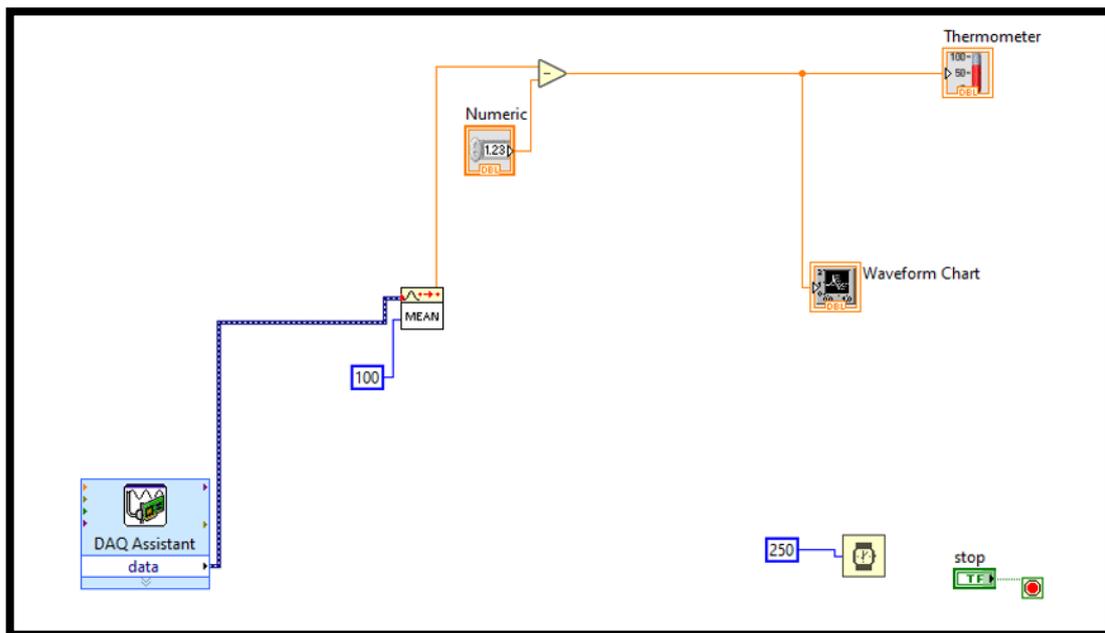


Figura 2.10 Diagrama de obtención de temperatura en tiempo real

Luego de seguir el procedimiento adecuado para la conexión de la DAQ, se logró obtener un instrumento de medición de temperatura en tiempo real, por lo que el siguiente paso fue añadir al diagrama ejecutable una subrutina existente en Labview denominada VIAI la cual permite generar y guardar un archivo de datos. Lo primordial en esta subrutina fue determinar el lugar donde se van a guardar los archivos y la señal que se desea guardar. En el diagrama que se desarrolló, se añadió un PATH (dirección universal de señal) como almacenador de archivos y se cableo la señal proveniente de la DAQ al VIAI para que en cada interacción el valor que se grafique también se almacene en un archivo LabVIEW y posteriormente se pueda exportar y reproducir. Inmediatamente se puede ver el diagrama ejecutable con todos los instrumentos antes mencionados tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloque.

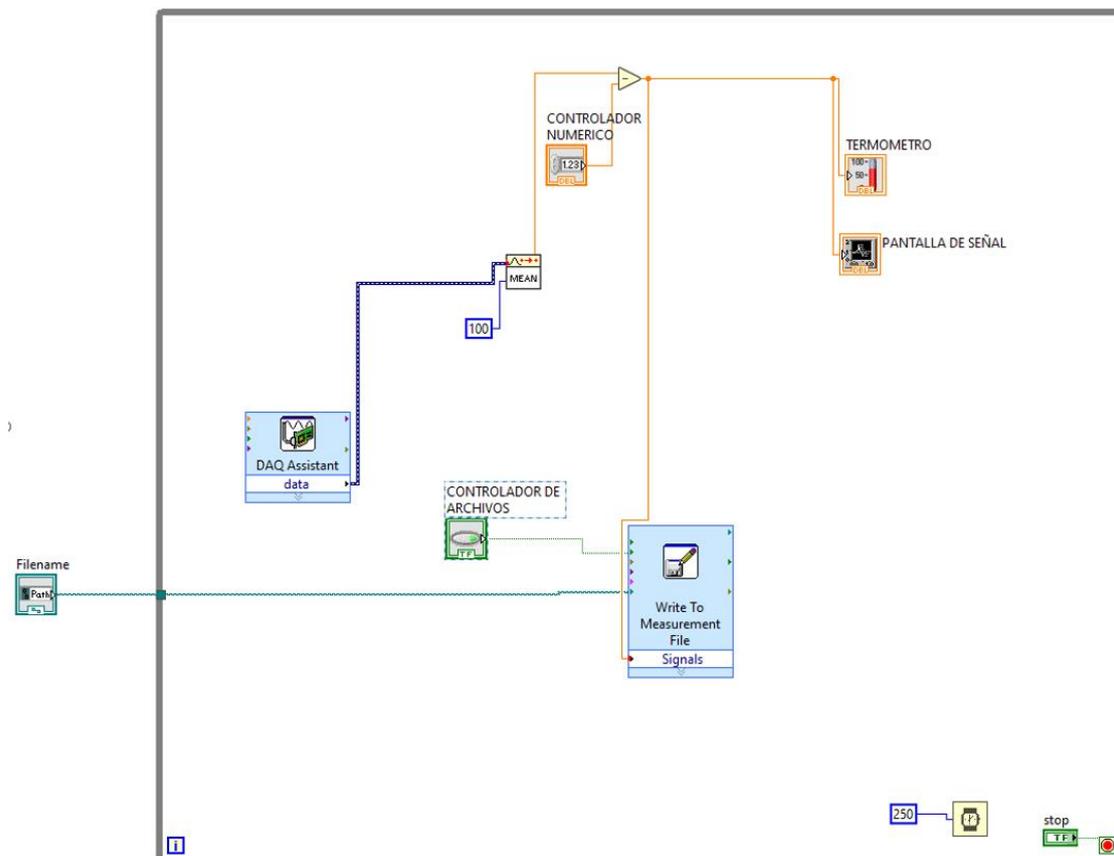


Figura 2.11 Diagrama de almacenamiento y obtención de datos en tiempo real.

Una de las últimas fases de la creación de este diagrama ejecutable para medir la temperatura en el múltiple de escape en tractores Same Explorer 95, fue añadir un controlador booleano que habilite y deshabilite el proceso de la producción del archivo de datos, en otras palabras se introdujo un interruptor que permita decidir, cuando grabar, para de esta forma evitar almacenar información no útil. Este interruptor se lo puede ver tanto en la figura 2.11 como en la figura 2.12 como controlador de archivos ya que ambas figuras representan el programa desarrollado para la presente investigación con la diferencia que la figura 2.11 muestra la programación, mientras que la figura 2.12 representa esta programación de forma gráfica y mas amigable para quienes interactúan con el sistema, se podría decir que es la interfaz entre el hombre y la máquina.

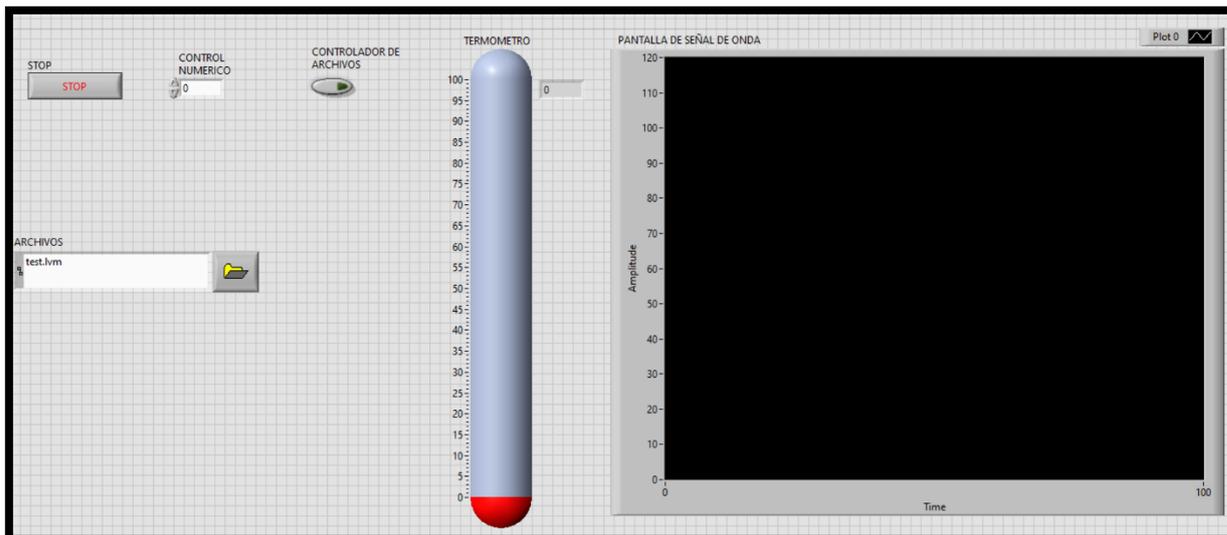


Figura 2.12 Panel frontal del programa ejecutable elaborado.

Finalmente, luego de concluir con el desarrollo del diagrama ejecutable para la adquisición de datos en tiempo real de la temperatura y la exportación de estos, se tuvo que evaluar el funcionamiento del instrumento de medición elaborado, haciendo uso del método heurístico prueba y error hasta determinar las constantes más idóneas que permitan obtener una señal de temperatura progresiva. Para lo cual fue necesario realizar la calibración del tiempo de medición y la media aritmética que se puede visualizar en la figura 2.9 en forma de reloj y bloque (Mean) respectivamente.



Figura 2.13 Evaluación del instrumento de medición, tractor Deutz Fahr, Agromaxx 55

Se realizaron diferentes comprobaciones midiendo la temperatura del múltiple de escape en un tractor, Deutz Fahr, Agromaxx 55 con menos de 10 horas de trabajo debido a que, al ser un tractor nuevo no contempla desperfectos, las oscilaciones de temperatura en el múltiple de escape tendrían que ser mínimas y por lo tanto se lograría una calibración adecuada del tiempo de medición y la media aritmética utilizada en la interfaz.

2.2.3.2 Evaluación del instrumento de adquisición de datos

La primera valoración se la realizó en un lapso de aproximadamente 4 minutos y a diferentes rpm, se determinó cómo constantes 100 valores como media aritmética para promediar cada 100 ms, donde se obtuvo como resultado 10 valores de temperatura por cada segundo y una señal un tanto variable como se puede ver en la figura 2.14.

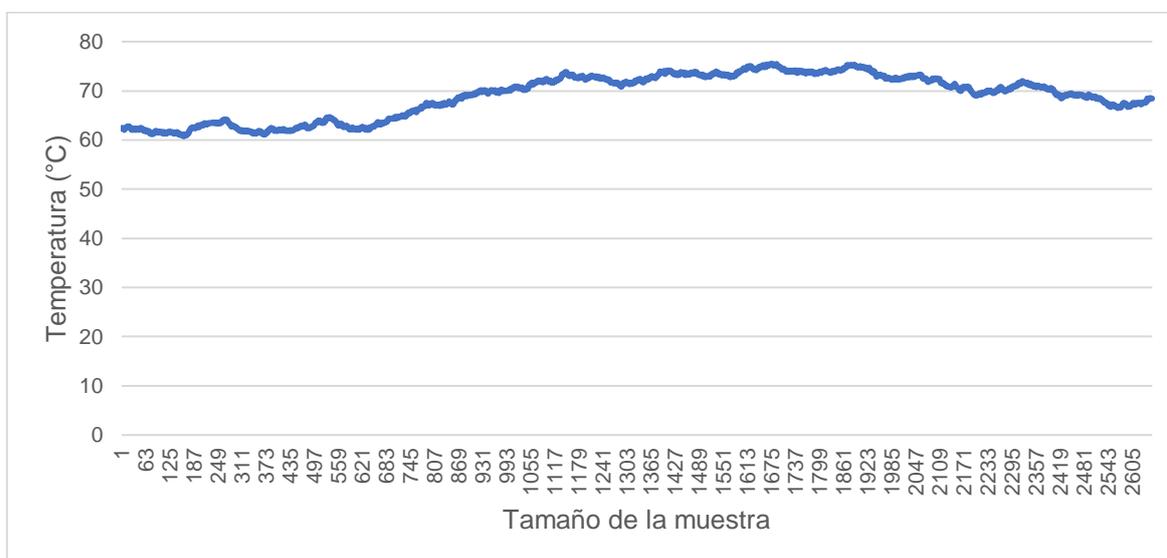


Figura 2.14 Evaluación de retardo de tiempo cada 100 ms

La segunda valoración se la realizó durante aproximadamente un minuto y medio, se utilizó la misma constante como media aritmética, pero se modificó el tiempo de medición en 250ms logrando disminuir las oscilaciones de la señal de la temperatura y también los datos obtenidos a 4 por segundo como se puede verificar en la figura 2.15.

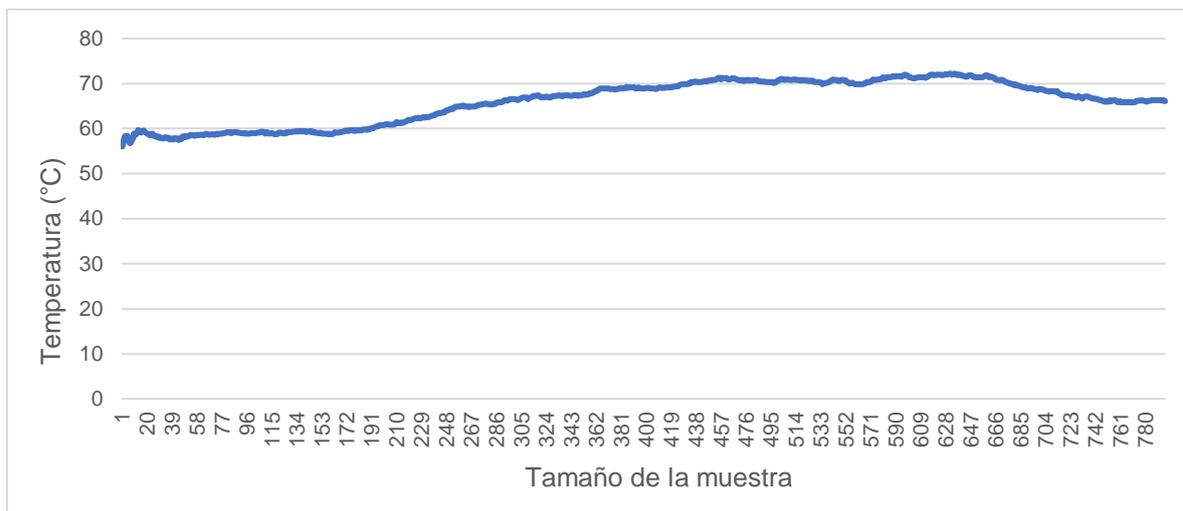


Figura 2.15 Evaluación de retardo de tiempo cada 250 ms

Por último, también se mantuvo los valores de muestra, se incrementó la constante de tiempo de retardo a 500 ms y se consiguió obtener 2 valores promediados cada segundo y además una señal progresiva de la temperatura, por lo que pudimos concluir que, con el incremento de la constante de tiempo, el ruido de la temperatura se linealiza y los cambios de temperatura se visualizan de forma más progresiva como se puede apreciar en la figura 2.16.

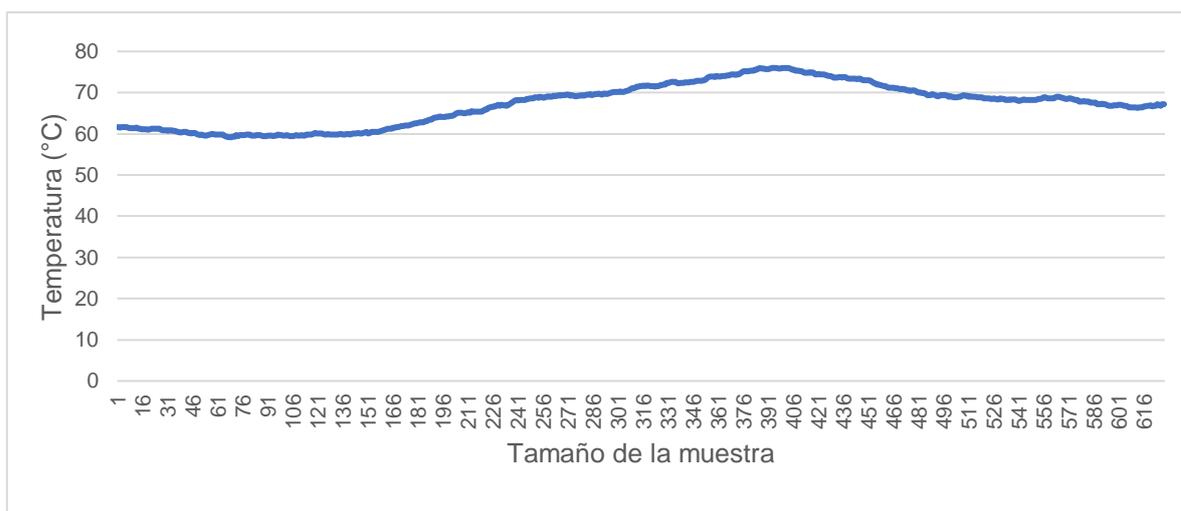


Figura 2.16 Evaluación de retardo de tiempo cada 500 ms

Lo ideal para la calibración es llegar a un punto de equilibrio entre suavizar la curva de la temperatura y no perder información. Entonces, se concluyó que la calibración más adecuada para la medición de temperatura en el múltiple de escape es la segunda ya que cumple con

estas condiciones de equilibrio entre la linealización de la señal y la cantidad de datos necesarios para un posterior análisis.

Luego que se creó una interfaz lógica para la obtención y exportación de datos en tiempo real y se la filtró de ruidos, fue necesario comparar los datos de temperatura obtenidos con un instrumento de medición ya existente en el mercado como son las pistolas infrarrojas, que permiten medir la temperatura de un objeto de forma instantánea.



Figura 2.17 Comparación entre pistola infrarroja e instrumento desarrollado

Cuando se realizó la comparativa entre el instrumento en desarrollo y la pistola infrarroja se pudo verificar que los datos obtenidos coincidían, pero por cualquier adversidad en el diagrama del programa ejecutable para la medición de temperatura se añadió con antelación un control numérico, cuya función es sumar o restar un número constante a los datos obtenidos si fuese necesario.

2.2.3.3 Procedimiento para la adquisición de datos

Con el instrumento de medición calibrado y listo para usar, se procedió a la toma de datos en los diferentes tractores seleccionados, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento.

- Ubicar el tractor en una zona abierta
- Encender el tractor y esperar entre 20 y 30 minutos hasta que el motor alcance su temperatura de funcionamiento
- Establecer 1 000 rpm con el acelerador manual
- Retirar los tapones ubicados en el colector de escape con una llave 10
- Montar la termocupla en el orificio del múltiple de escape correspondiente al cilindro número 2.
- Correr el programa elaborado en LabVIEW
- Esperar hasta que la temperatura se estabilice
- Crear un documento de texto para guardar la información
- Habilitar la creación del archivo de datos en formato LabVIEW durante dos minutos
- Deshabilitar la creación del archivo de datos
- Abrir el documento de texto en Excel, asegurarse que solo contenga números y proceder a guardar.

2.2.3.4 MANIPULACIÓN DE DATOS



Figura 2.18 Tractor Same Explorer 95 con 5 000 horas de trabajo

El primer tractor sometido a estudio pertenece a la finca Bella Rosa, este sufrió un recalentamiento del motor por un desperfecto en el radiador, por este motivo fue necesario realizarle una reparación parcial al motor que implicó la sustitución de las camisas del motor ya que por el uso de agua para la refrigeración del motor se pudo observar signos de corrosión en sus superficies, también se reemplazó los pistones y todo el conjunto de empaquetaduras del motor. Por este motivo este tractor fue seleccionado como referencia para la toma de datos de temperatura en el múltiple de escape ya que al tener aproximadamente 5 000 horas de trabajo se consideró hipotéticamente que su sistema de inyección se encuentra en buen estado y al practicarle una reparación parcial el conjunto camisa pistón de cada cilindro también.

Debido a que el fabricante en el manual de reparación, en el apartado de sincronización de bombas de inyección manifiesta que la diferencia de temperatura entre todos los cilindros debe ser de 15°C para que el tractor se encuentre trabajando bajo un campo ideal. Se utilizó esta premisa para establecer parámetros límites que nos alerten cuando exista una desincronización de las bombas u otros posibles fallos en el sistema de inyección o el conjunto camisa pistón. Por lo antes mencionado se consideró necesario crear dos alarmas

que alerten sobre posibles fallas cuando la temperatura sobrepase los parámetros máximos y mínimos preestablecidos. Mediante la selección de dos indicadores led de tipo booleanos que tienen como condición encenderse cuando dichos parámetros sean superados.

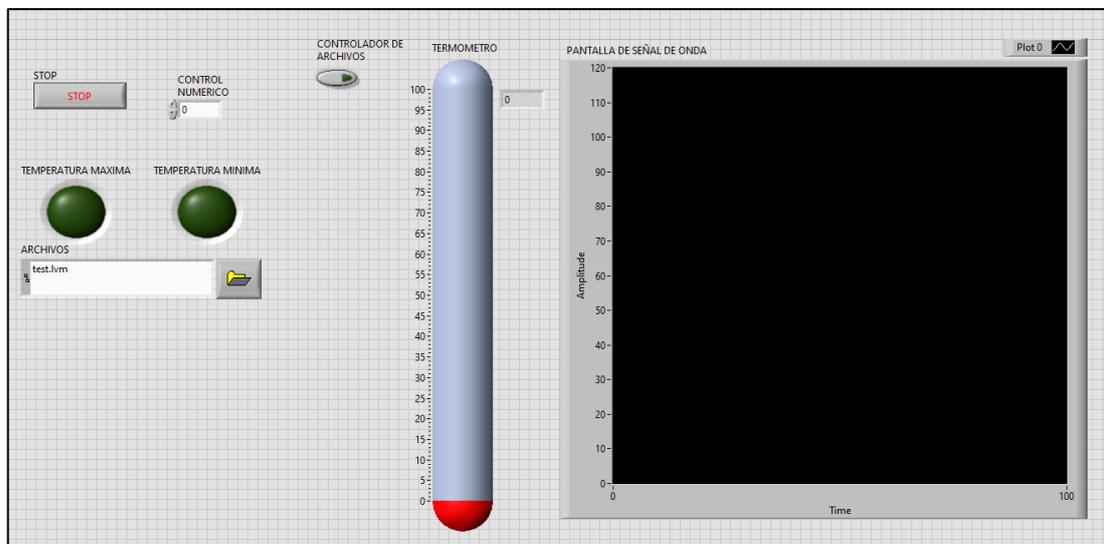


Figura 2.19 Diagrama ejecutable con alarmas de advertencia

Debido a que la información es muy limitada con respecto a la temperatura en el múltiple de escape se estableció como temperatura nominal, la temperatura promedio de la Tabla 2.5 obtenida de las mediciones del colector de escape en el tractor Same Explorer 95, motor SDF, modelo 1000.4WT1, serie *94601* con aproximadamente 5 000 horas de trabajo.

Tabla 2.5 Temperatura nominal

No de Cilindro	Temperatura (°C)
1	82
2	78
3	80
4	82

Dentro de la tabla, se puede observar la temperatura de cada cilindro, luego de haber realizado la pertinente calibración de bombas de inyección, la cual se la realiza siempre que estas son desmontadas del bloque del motor. Al ser este un motor reparado de forma parcial fue necesario ejecutar una calibración de bombas de inyección la cual consiste en ajustar la posición angular de estas, para hacerlo es necesario verificar la temperatura en cada cilindro

del motor y mover la o las bombas de inyección que requieran hacerlo ya sea por exceso o escasas de temperatura. Para el caso fue necesario mover la bomba de inyección del cilindro número 4 debido a que en este cilindro la temperatura obtenida fue de 52°C , para incrementar la temperatura se requiere incrementar el caudal de combustible, es por esta razón que la rotación de la bomba debe ser en sentido de las manecillas de reloj ya que al realizar este movimiento estamos moviendo la cremallera de la bomba de inyección hacia la zona de mayor dosificación, si, al contrario lo que se requiere es disminuir la temperatura se debe girar la bomba en sentido contrario al de las manecillas del reloj para de esta manera posicionar la cremallera en la zona de menor dosificación de combustible.

Se realizo, este ejercicio para lograr subir la temperatura de la bomba de inyección del cilindro número 4 pero solo se consiguió incrementar la temperatura entre $(5 \text{ y } 10)^{\circ}\text{C}$, por esta razón se optó por variar el tiempo de inyección en este cilindro, retirando una lana de regulación de la bomba de inyección para adelantar el tiempo de inyección. Los resultados que se obtuvieron fueron positivos ya que al retirar una lana de 0,30 milímetros de espesor se incrementó aproximadamente 25°C , lo que quiere decir que existe una relación que tiende a ser directamente proporcional entre el avance de inyección y el incremento de temperatura. Logrando de esta manera emparejar todas las temperaturas de los cilindros como se puede visualizar en la Tabla 2.5.

La temperatura media obtenida fue de 80°C a un régimen de 1 000 rpm con el motor a temperatura de trabajo, misma que fue tomada como referencia para establecer dos parámetros, un máximo de $87,5^{\circ}\text{C}$ y un mínimo de $72,5^{\circ}\text{C}$ para cumplir con la diferencia de temperatura entre todos los cilindros de 15°C que establece el fabricante para que el tractor trabaje dentro de un campo ideal.



Figura 2.20 Tractor Same Explorer 95 con 11 350 horas de trabajo

El segundo tractor sometido a investigación, motor SDF, modelo 100.4WT1, serie *94594* con 11 350 horas de trabajo presentaba antecedentes de mantenimientos preventivos inadecuados por lo que permitió identificar defectologías al realizar la obtención de datos.

Al ser un tractor al cual no se le practican los mantenimientos preventivos en los periodos de tiempo que recomienda el fabricante, se logró determinar el porcentaje gradual de incremento de temperatura luego de realizar una calibración de válvulas. Esto debido a que el propietario manifestó que había transcurrido mas de un año desde que realizó la última calibración de válvulas en su tractor, lo cual sobrepasa el periodo determinado por el fabricante que es de 1 000 horas de trabajo, ya que este tractor por lo general tiene una jornada de trabajo de 8 horas diarias de lunes a viernes.

Para cuantificar los grados de incremento de temperatura, por un juego excesivo entre el balancín y el pie de válvula debido al desgaste del resorte fue necesario realizar mediciones antes de la calibración y después de la regulación del juego de las válvulas en todos los cilindros, para de esta manera comprobar si existe un incremento de temperatura en el múltiple de escape.

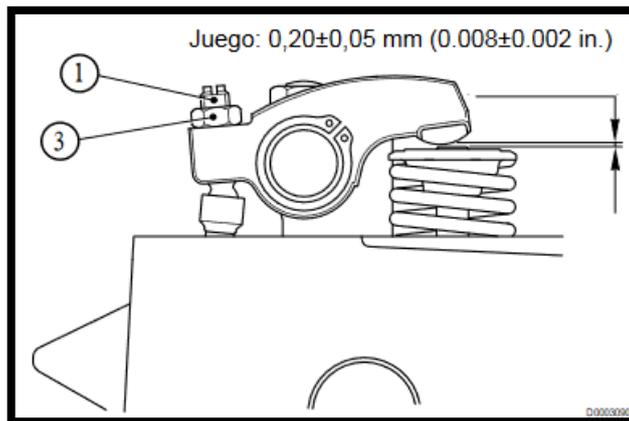


Figura 2.21 Juego de válvulas Tractor Same Explorer 95

(SAME, 2017, p. 2)

Como era de esperar existió un incremento en la temperatura de aproximadamente 5 °C por cada 0,10 mm de exceso de juego entre válvula y balancín, de acuerdo a acuerdo a la tabla 2.6 donde se muestra el incremento de temperatura provocado por el exceso de juego, luego de realizar la regulación del juego de las válvulas.

Tabla 2.6 Incremento de temperatura por calibración de válvulas

No de Cilindro	Antes de calibrar válvulas (°C)	Después de calibrar válvulas(°C)	Incremento de temperatura (°C)	Exceso de juego de válvulas (mm)
1	92	97	5	0,10
2	87	88	1	0,15
3	85	92	7	0,15
4	72	85	13	0,25

Se pudo comprobar que, al realizar una calibración de válvulas, la temperatura en todos los cilindros incrementa de forma equivalente con excepción del segundo cilindro ya que, en este, existió una variación casi nula en la temperatura, lo que permitió identificar otro indicio de falla en este tractor. Los valores obtenidos antes y después de la calibración fueron similares por lo que se presume que existe una pérdida de compresión en este cilindro, ya sea por empaquetaduras, sellos o rines en mal estado. Esto se pudo comprobar ya que al desmontar la termocupla del orificio del segundo cilindro esta salió empapada de aceite como se puede observar en el anexo número 7.

El fabricante manifiesta que es necesario ajustar la línea angular de las bombas de inyección si la diferencia de temperatura entre todos los cilindros es superior a los 15 °C, según los datos obtenidos en la tabla 2.6, antes de realizar la calibración de válvulas la diferencia de temperatura supera los 15 °C pero luego de regular el juego de las válvulas al preestablecido por el fabricante esta diferencia es inferior a los 15 °C, esto se debe a que la diferencia de temperatura se genera por el excedente juego de válvulas que existe en el cuarto cilindro. Se podría asumir que existe una sincronización en las bombas de inyección, pero estas requieren ajustar su posición angular en sentido contrario a las manecillas del reloj, ya que la temperatura resultante es muy elevada en comparación con la temperatura del tractor tomado como referencia y por lo tanto se estaría provocando un consumo mayor de combustible.



Figura 2.22 Tractor Same Explorer 95 con 15 000 horas de trabajo

Finalmente, el tercer tractor sometido a investigación, motor SDF, modelo 100.4WT1, serie *92290* con 15 000 horas de trabajo al cual se le han realizado los mantenimientos preventivos de forma adecuada respetando los periodos de mantenimiento preestablecidos nos permitió afirmar que la hipótesis planteada con anterioridad es verdadera, ya que al realizar las mediciones en todos los cilindros, estos se encontraron dentro de los parámetros máximos y mínimos preestablecidos como se puede verificar en la tabla 2.7, por lo que se

podría asegurar que este motor no presenta desperfectos en su sistema de inyección y tampoco en su conjunto camisa pistón.

Tabla 2.7 Temperatura por cilindro tractor 15 000 horas de trabajo

No de Cilindro	Temperatura (°C)
1	84
2	88
3	85
4	76

De los resultados obtenidos en la tabla 2.7 también podemos ratificar que los mantenimientos preventivos conservan la vida útil de las máquinas ya que como se puede apreciar este tractor es el más antiguo de los sometidos a investigación, pero el único al que no se le han realizado correcciones en el motor y a la fecha aparentemente se encuentra en buen estado, a diferencia del anterior tractor este no tiene presencia de aceite en ningún orificio del múltiple de escape y la diferencia de temperatura entre todos los cilindros es de 8 °C que nos garantiza que está trabajando bajo su campo ideal, pero empieza a existir un inconveniente en el segundo cilindro ya que su temperatura se encuentra en el límite máximo establecido.

Se mencionó con anterioridad en el apartado de la ubicación que el monitoreo discreto de temperatura en el múltiple de escape se realizará en el orificio del cilindro número 2 ya que otorga mayor accesibilidad y seguridad para el montaje del termopar. Pero fue necesario realizar las mediciones en todos los cilindros de los tractores sometidos a investigación para identificar indicadores de fallas como: la falta de temperatura por el exceso de juego de válvulas, la escasez de temperatura por un incorrecto avance de inyección, la invariabilidad de temperatura luego de calibrar válvulas por una pérdida de compresión y un incremento de temperatura por el posicionamiento de la cremallera de la bomba de inyección en la zona de mayor dosificación.

2.2.4 INTERPRETACIÓN DE DATOS (VALORACION DE LA SALUD)

Determinados todos estos indicadores de fallas se procedió a clasificarlos de acuerdo a la tabla 2.8 la cual nos permite identificar los límites máximos y mínimos de cada indicador de falla, los cuales fueron determinados de la siguiente manera.

BE: Estas siglas representan el buen estado del sistema de inyección, el rango determinado ya fue detallado con antelación en el apartado de manipulación de datos.

MI: hace referencia a un mal estado del sistema de inyección, debido a un posicionamiento de la cremallera de la bomba de inyección en la zona de mayor dosificación de combustible, los valores se determinaron luego que se pudo apreciar que al mover la bomba de inyección del cilindro número 4 del tractor con serie *94601* en sentido contrario al de las agujas del reloj existió un decrecimiento de la temperatura de máximo 10 (°C).

MEV: son las siglas que se refieren a un mal estado del juego de válvulas, de igual forma su rango se determinó utilizando los valores del tractor con serie *94594* al cual no se le habría realizado una calibración de válvulas en aproximadamente 2 000 horas de trabajo por tal motivo como resultado de la regulación del juego de válvulas presento un incremento de temperatura máximo de 13 (°C) en el cilindro número 4 por un excedente juego de 0.45 mm entre el balancín y las válvulas.

MT: significa un mal estado del tiempo de inyección, los valores fueron determinados debido a que, cuando se realizó la calibración de bombas de inyección en el tractor con serie *94601* se pudo verificar que al quitar una lina de regulación de la bomba de inyección se adelanta el tiempo de inyección y la temperatura incrementa notoriamente, pasando de 55 a 82 (°C) pero se consideró como limitante máxima de este indicador un valor de 63 (°C) ya que si al realizar las mediciones tenemos valores superiores a estos e inferiores a 73(°C), la falla se lograría corregir con una calibración de válvulas.

A continuación, en la tabla 2.8 se muestra los rangos de temperatura determinados para cada indicador.

Tabla 2.8 Rango de temperatura de indicadores de fallas

INDICADORES DE FALLAS	INTERVALO (°C)
BE	<87 - >73
MEV	>63 - <73
MT	55 - < 63
MI	>87 - 95

2.2.4.1 Análisis estadístico

Posterior a definir los rangos y los indicadores de fallos fue necesario la obtención de datos de diferentes tractores Same Explorer 95 existentes en la zona con la finalidad de practicar un análisis estadístico en MATLAB utilizando las siguientes mediciones: (RMS, varianza, media, valor máximo, valor mínimo, mediana, curtosis y asimetría), esto con el objetivo de poseer un base de datos robusta, misma que nos permita identificar de forma autónoma la condición en la que se encuentra el cilindro al que se le realice el análisis.

Para la elaboración de la base de datos, fue necesario realizar aproximadamente 200 muestras, cada una durante un lapso de tiempo de 120 segundos y con un total de 480 valores, obteniendo así una cantidad muy extensa de datos como para realizar su análisis y clasificarlos según los rangos de temperatura de los indicadores de fallas preestablecidos, por esta razón se practicó un análisis estadístico y se logró pasar de 98 400 a 2 005 valores, cantidad que se consideró pertinente para realizar el respectivo análisis y clasificación.

Cada muestra fue analizada y clasificada individualmente utilizando la siguiente programación en MATLAB que se puede visualizar en la figura 2.23 y será descrita líneas abajo.

```

clc;
%procesamiento de datos estadísticos (RMS, Curtosis y Varianza)
% abrir arbol_decision.m para la predicción de fallas (MEF1, MEF2, MEF3 Y
% FV)
%05-03-2022
Temperatura=xlsread("PRUEBA 3 BE"); %Ingrese el nombre entre las comillas de la tabla que contiene los
Datos=[Temperatura];
RMS=rms(Datos);
Varianza=var(Datos);
Media=mean(Datos);
Mximo=max(Datos);
Mnimo=min(Datos);
Mediana=median(Datos);
Curtosis=kurtosis(Datos);
Moda=mode(Datos);
Asimetria=skewness(Datos);
Dc=(Datos).^2;
Mdc=mean(Dc);
Mediacuadratica=(Mdc)^(1/2);
Tabla1=table(RMS, Varianza, Media,Mximo, Mnimo, Mediana, Curtosis, Moda, Asimetria, Mediacuadratica);
disp("Procesamiento de valores");
disp(Tabla1);

```

Figura 2.23 Programación de cálculo estadístico

La programación inicia con el comando (clc) para garantizar que la ventana de comandos se encuentre despejada, seguida de la función (xlsread) la cual permite al software leer los archivos de muestras que se encuentran en formato Excel. A continuación, se enlistan las funciones estadísticas que se desean medir (RMS, varianza, media, Mximo, Mnimo, mediana, curtosis, moda, asimetría y media cuadrática) y se crea una matriz con todas estas medidas de tendencia central y de forma, para finalmente concluir con el procesamiento de datos y la función disp que es la encargada de mostrar las 10 variables estadísticas en una tabla nombrada como Tabla1.

Para que el software corra la programación de una muestra es necesario colocar el nombre del archivo después de la función xlsread como se puede verificar en la figura 2.23, además es preciso que, en el directorio de trabajo actual, el cual se localiza en la parte izquierda del entorno de trabajo de la ventana de MATLAB se encuentre la carpeta de ubicación del archivo que se desea correr, para evitar errores, la programación se ejecute de manera adecuada y se consiga obtener una matriz igual a la de la siguiente tabla.

Tabla 2.9 Ejemplo de análisis estadístico por muestra

RMS	Varianza	Media	Mximo	Mnimo	Mediana	Curtosis	Moda	Asimetría	Media cuadrática
84,35	1,60	84,34	87,68	82,38	84,08	3,28	84,75	0,97	84,35

La Tabla 2.9 muestra los resultados luego de haber realizado el cálculo estadístico de la muestra llamada (PRUEBA 3 BE) la cual hace referencia a que es una muestra realizada en el cilindro de un tractor que se considera está en buen estado ya que su media de temperatura es de 84 °C y se encuentra dentro del rango del indicador de falla denominado BE (buen estado).

2.2.5 COMPARACIÓN DE DATOS

Adicional a las variables de cálculo estadístico se agregó una columna a la tabla que permita seleccionar el estado en el que se encuentra el cilindro analizado según corresponda, dicha columna se puede apreciar resaltada en la siguiente imagen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	RMS	Varianza	Media	Mximo	Mnimo	Mediana	Curtosis	Moda	Asimetria	Mediacuadratica	Estado
1	81.9121	2.3151	81.8980	84.1805	79.1471	82.0969	1.4721	82.0969	-0.2108	81.9121	BE
2	61.4089	1.8504	61.3938	63.2170	58.7080	61.9630	1.7187	58.9964	-0.4673	61.4089	MT
3	85.7798	3.5660	85.7590	88.1564	80.3322	86.2677	3.9934	86.2677	-1.3400	85.7798	BE
4	92.0478	0.3103	92.0461	92.9669	90.2916	92.1977	2.9702	91.8207	-0.7110	92.0478	MI
5	51.1339	0.6448	51.1276	52.5412	48.9628	51.0890	2.4800	50.8020	-0.3132	51.1339	MT
6	65.0055	0.9640	64.9981	67.0478	63.4053	64.7487	1.6852	64.5540	0.2374	65.0055	MT
7	73.2132	0.3448	73.2108	74.5845	72.1085	73.1577	1.9261	74.1088	0.2486	73.2132	MI
8	92.8780	0.3817	92.8760	94.6812	91.6280	92.9604	2.7696	93.1602	0.0623	92.8780	MI
9	53.2511	0.7286	53.2443	54.6693	51.0906	53.4087	2.2235	53.9938	-0.4417	53.2511	MT
10	66.5693	0.9964	66.5618	68.7592	64.5561	66.8443	2.0915	66.7487	-0.2328	66.5693	MEV
11	84.3478	1.6039	84.3384	87.6823	82.3799	84.0846	3.2835	84.7498	0.9657	84.3478	BE
12	87.9127	0.1622	87.9118	89.2174	87.0203	87.8708	3.2220	88.2481	0.4127	87.9127	MI
13	53.3710	0.4092	53.3672	54.8545	51.8650	53.4058	2.1530	53.4067	0.0069	53.3710	MT
14	67.4787	0.5024	67.4749	69.1421	66.1822	67.6099	2.1586	66.3748	-0.0138	67.4787	MEV
15	85.3834	0.5341	85.3803	86.7357	83.3233	85.5025	3.5326	84.8423	-0.8709	85.3834	BE
16	93.1146	0.4586	93.1121	94.9807	92.1048	92.9335	2.8922	92.5815	0.9228	93.1146	MI

Figura 2.24 Sección de tabla de base de datos

Como ya se mencionó con antelación el análisis estadístico y la clasificación del estado según los indicadores de fallos se los realizó de forma individual, por lo que, después de ejecutar la programación para cada muestra fue necesario añadir los resultados uno por uno a la tabla de datos que se puede ver en la figura 2.24 hasta obtener una matriz de 11 columnas y 205 filas y concluir con la creación de la base de datos. Cada muestra analizada, tiene un total de 10 resultados medidos estadísticamente los cuales fueron clasificados realizando una comparación entre estos resultados con los rangos preestablecidos para cada indicador de falla.

2.2.6 PREDICCIÓN Y DIAGNÓSTICO

Para la predicción de defectologías en este tipo de tractores mediante el monitoreo discreto de la temperatura, fue necesario realizar un barrido a todos los resultados del análisis estadístico practicado a cada muestra, mediante la función mean en MATLAB, así como también de la columna 11 de la matriz generada en la tabla de base de datos, correspondiente a los estados preestablecidos que se seleccionó dependiendo el rango del indicador de falla al que pertenece la media de cada prueba. A través de la propiedad species, como se puede apreciar en la figura 2.25, la cual muestra la programación utilizada para generar un árbol de decisiones.

```
close all
means=DATOS(:,1:10);
species=DATOS(:,11);
ctree=fitctree(means,species);
view(ctree)
view(ctree, 'mode', 'graph')|
```

Figura 2.25 Programación para generar el árbol de decisiones

Una vez realizado el barrido de todos los resultados de las 10 variables estadísticas y la lectura de la columna de estados con la ayuda de las funciones means y species respectivamente, se generó un árbol de decisiones sometiendo análisis estas dos funciones, logrando de esta manera obtener un modelo de predicción el cual será detallado en el apartado de resultados y discusión.

```
ClassificationTree
  PredictorNames: {1x10 cell}
  ResponseName: 'Estado'
  CategoricalPredictors: []
  ClassNames: [BE    MEV    MT    MI]
  ScoreTransform: 'none'
  NumObservations: 205
```

Figura 2.26 Árbol de clasificación

La figura 2.26 muestra cómo se encuentra estructurado el árbol de decisiones, este cuenta con un total de 205 muestras cada una de 10 valores resultantes de un análisis estadístico de medidas de tendencia central y de forma denominados (nombres predictores). Para cada muestra existe un nombre de respuesta llamado (estado) determinado del rango establecido para los siguientes indicadores de falla (BE, MEV, MT y MY). Esta estructura o clasificación del árbol de decisiones será la que permita predecir respuestas en el análisis de nuevos datos, utilizando el método de predicción.

2.2.6.1 Procedimiento para la predicción de datos

- Efectuar el procedimiento para la adquisición de datos
- Abrir el programa Matlab
- Asegurarse que el espacio de trabajo se encuentre el archivo de la base de datos
- Correr la programación del árbol de decisiones
- Ubicar el archivo Excel de la muestra tomada en el directorio de trabajo de Matlab
- Correr la programación de cálculo estadístico de la muestra, tomando en cuenta las recomendaciones realizadas en la descripción de esta.
- Utilizar el comando de predicción `Ynew=predict(ctree,[Tabla1])`
- Visualizar el diagnostico autónomo de la muestra sometida a evaluación

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detallarán todos los resultados obtenidos, empezando con la descripción del instrumento de medición diseñado, para después evaluar los rangos establecidos en cada indicador de falla con los resultados obtenidos del árbol de decisiones y finalmente analizar la base de datos en forma gráfica tomada de la aplicación, classification learner que proporciona MATLAB.

3.1 ANÁLISIS DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DISEÑADO

El instrumento de medición elaborado para el monitoreo discreto de temperatura en el múltiple de escape en los tractores SAME Explorer 95, funciona de manera óptima, para ello fue necesario realizar una calibración entre el tiempo de medición y la cantidad de muestras tomadas, que permita llegar a un punto de equilibrio entre suavizar la curva de la temperatura y no perder la información. Para conseguir este punto de equilibrio fue necesario determinar dos constantes, el tiempo de cada medición y la cantidad de valores medidos en este lapso de tiempo, que fue de 250 ms y 100 valores respectivamente.

Esta calibración fue definida luego de realizar diferentes pruebas, con diferentes tiempos de retardo y distintas cantidades de datos como se puede apreciar en la Tabla 3.1, llegando a la conclusión que entre menores son las constantes de calibración, la curva de temperatura es más variable por ejemplo cuando se miden 50 valores cada 100 ms, mientras que si los valores de las constantes son elevados se obtiene una curva de temperatura casi constante pero la cantidad de valores son mínimos y se podrían perder datos relevantes como es el caso de la calibración que utiliza un tamaño de muestra de 500 valores cada 500 ms, por tal motivo se determinó la calibración antes mencionada, logrando obtener 1 valor promediado de 100 valores cada 0.25 segundos y una curva de temperatura suavizada.

Tabla 3.1 Tipos de calibraciones

#	Tiempo de medición (ms)	Tamaño de la muestra	Curva de temperatura	Datos obtenidos por segundo
1	100	25		10
2	100	50		10
3	250	100		4
4	250	250		4
5	500	500		2

De la tabla 3.1 también podemos concluir que el tamaño de la muestra no interfiera con la cantidad de valores que se obtienen de las mediciones, pero si minimiza la curva de temperatura, como se puede apreciar en las calibraciones tres y cuatro, las cuales tienen como resultado la misma cantidad de datos obtenidos por segundo pero la curva de temperatura de la calibración número 4 tiende a ser más constante.

Además, se realizó una comparativa entre el dispositivo diseñado y un termómetro infrarrojo para comprobar si las mediciones obtenidas de estos dos instrumentos se asemejan, teniendo resultados positivos ya que la diferencia de temperatura entre los instrumentos fue de (1 a 2) °C. El dispositivo que se desarrolló, presenta algunas ventajas en comparación a los termómetros infrarrojos, que son los instrumentos de medición que por lo general se utilizan para realizar este tipo de mediciones. La ventaja significativa que posee este instrumento diseñado es la sujeción directa con el múltiple de escape, lo que evita la interferencia de agentes externos en la medición, garantiza que todas las mediciones se tomen del mismo punto y se logra obtener datos más exactos. Lo cual es más complicado lograr con los termómetros infrarrojos ya que un pequeño movimiento hacia arriba o abajo puede variar la temperatura hasta en 5°C.

Otra de las grandes ventajas, es el almacenamiento y exportación de datos masivo que permitió generar la base de datos utilizada para la creación del modelo de predicción.

Algunos termómetros infrarrojos como el OS534E y el OS532E también permiten el almacenamiento de datos, pero su valor comercial es muy extenso en comparación con el instrumento de medición que se elaboró.

3.2 INDICADORES DE FALLA

En primer lugar, para determinar los indicadores de falla, fue necesario conocer la temperatura nominal en el múltiple de escape de los tractores Same Explorer 95, la cual se tomó del tractor con menor horas de trabajo existente en la zona. Para ello se consideró de forma hipotética que, al tener aproximadamente 5 000 horas de trabajo, su sistema de inyección se encuentra en buen estado y su motor también, ya que este, sufrió un recalentamiento por fugas de líquido refrigerante y se le practicó una reparación parcial a finales del mes de mayo del año 2022, en la que fue necesario sustituir el conjunto camisa, pistón, segmentos de cada cilindro y todo el lote de juntas del motor.

Bajo estas consideraciones se realizó las mediciones en todos los cilindros de este tractor y se obtuvo como resultado los valores que se pueden apreciar en la tabla 3.2 donde se muestra la temperatura promedio en el colector de escape de 80.5°C, la cual fue considerada como temperatura nominal y permitió identificar los indicadores de fallas que a continuación serán explicados.

Tabla 3.2 Temperatura nominal

No de Cilindro	Temperatura (°C)
1	82
2	78
3	80
4	82
MEDIA	80,5

3.2.1 BUEN ESTADO (BE)

Para establecer el primer indicador, se partió de una de las indicaciones que facilita el fabricante en el manual de taller para tractores Same Explorer 95 en donde se manifiesta que para que el motor trabaje dentro de su campo ideal, el diferencial de temperatura máximo entre todos los cilindros debe ser 15 °C. Utilizando esta premisa se consideró que si la temperatura nominal es de 80,5 °C como se puede apreciar en la figura 3.1 los límites máximos y mínimos de temperatura para que un tractor se encuentre en buen estado deben ser 87°C y 73°C respectivamente. Con los límites determinados se estableció el primer indicador al que se le denominó “Buen Estado” (BE), el cual tiene un rango de temperatura de 15°C que cumple con la indicación que proporciona el fabricante para que el motor trabaje de manera óptima.



Figura 3.1 Toma de datos de un cilindro en Buen Estado (BE)

De las mediciones globales de temperatura realizadas a los tractores sometidos a estudio y bajo las consideraciones mencionadas en el procedimiento para la toma de datos se obtuvo como valor máximo 98°C y como valor mínimo 48°C, como se puede apreciar en la figura 3.2 la cual muestra de forma gráfica la base de datos utilizada para la creación del árbol de decisiones.

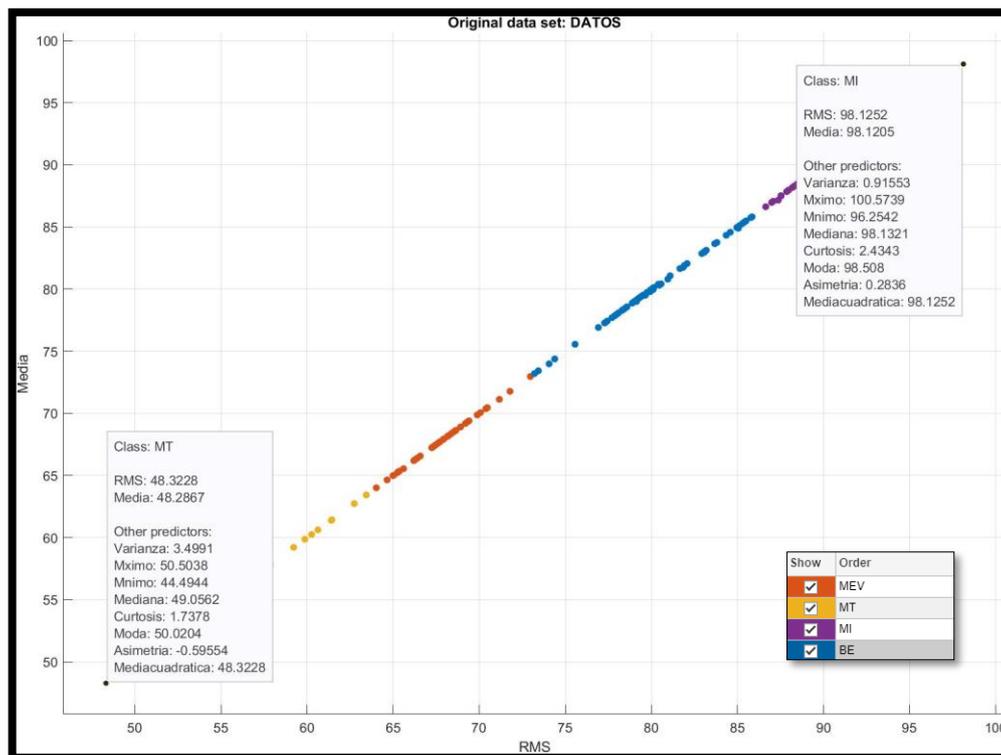


Figura 3.2 Medidas máximas y mínimas de la base de datos

Entre los dos valores que se puede apreciar en la figura 3.2 existe un diferencial de temperatura muy extenso en comparación a los 15°C que recomienda el fabricante para que el motor trabaje dentro de un campo ideal, por lo tanto, se determinó indicadores de fallas que permitan conocer las defectologías por las cuales existen temperaturas superiores a los límites establecidos en un tractor en buen estado.

3.2.2 MAL ESTADO POR INYECCIÓN

El fabricante también menciona que, si el diferencial de temperatura entre todos los cilindros excede los 15°C , es necesario efectuar una calibración de las bombas de inyección, en donde se requiere realizar un movimiento rotativo de la o las bombas que tienen exceso o escases de temperatura hasta que el diferencial de temperatura entre todos los cilindros sea inferior a 15°C . Por lo tanto, se realizó esta práctica en los cilindros cuya temperatura excede los límites del rango establecido en el indicador denominado buen estado, teniendo como resultado una variación de temperatura de hasta $\pm 10^{\circ}\text{C}$, dependiendo del sentido de giro

que se aplique a las bombas de inyección. Es decir, si se requiere disminuir la temperatura se debe mover la bomba de inyección en sentido contrario al de las manecillas del reloj para ubicar la cremallera en la zona de menor dosificación de combustible, mientras que si lo que se desea es incrementar la temperatura el giro debe ser en sentido de las manecillas de reloj para colocar la cremallera en la zona de mayor dosificación de combustible.

Con estos antecedentes, se pudo definir el siguiente indicador de falla llamado “Mal Estado Por Inyección” (MI), el cual hace referencia a una des calibración en las bombas de inyección por una entrega excesiva de combustible, lo que genera un incremento en la temperatura del múltiple de escape de hasta 10 °C. Por este motivo se determinó como límite máximo y mínimo el siguiente rango de temperatura (87°C - 95°C) ya que si al realizar la medición de temperatura en el múltiple de escape en los tractores Same Explorer 95 se obtiene valores dentro de este rango el problema se podría solucionar ajustando la posición angular de la bomba de inyección a una zona de menor dosificación de combustible, logrando así tener una aproximación a la temperatura nominal de 80°C como se puede apreciar en la figura 3.3 la cual muestra el ajuste angular de una bomba de inyección.

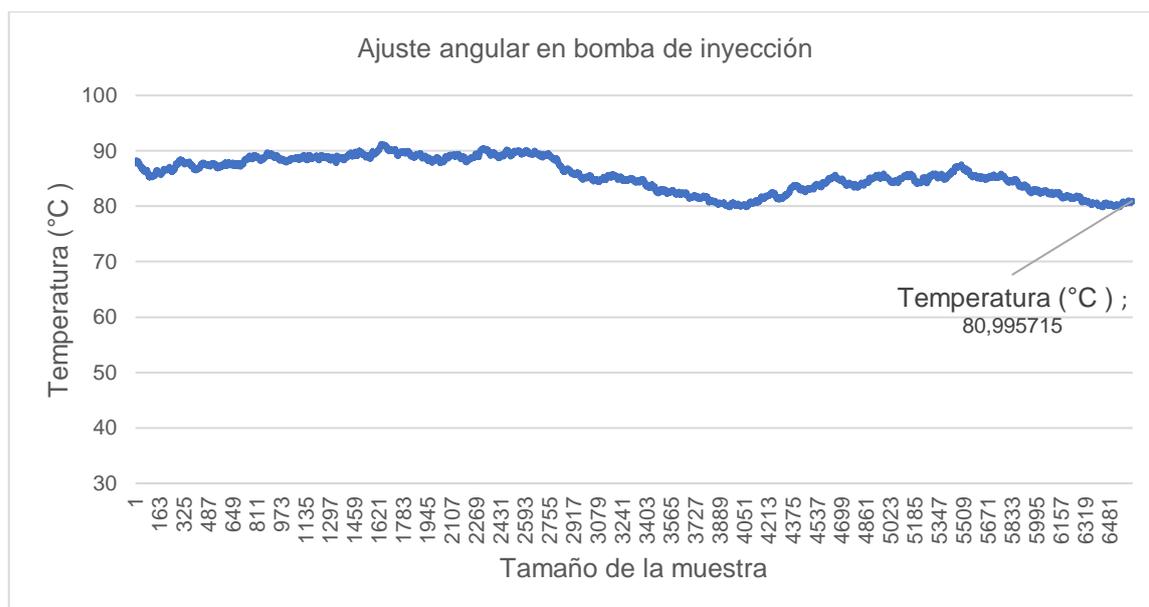


Figura 3.3 Calibración de bomba de inyección

La figura 3.3 muestra los resultados obtenidos en el transcurso de la calibración de la bomba de inyección, debido a que luego de realizar la medición de temperatura en el cilindro correspondiente se obtuvo un valor de 90°C , el cual sobrepasa los rangos establecidos para que el motor trabaje de forma eficiente. Por lo tanto, se realizó el ajuste de la bomba de inyección a la zona de menor dosificación de combustible, realizando un giro en sentido contrario al de las manecillas del reloj, logrando un decrecimiento de temperatura de 10°C y alcanzando la temperatura nominal establecida como se puede verificar en la figura anterior.

A partir de este punto inicia un incremento de temperatura de aproximadamente 5°C , debido a un giro de la bomba de inyección en sentido de las manecillas del reloj con la finalidad de comprobar lo antes mencionado referente al incremento y decrecimiento de la temperatura mediante el giro angular de la bomba de inyección. Finalmente existe un decrecimiento de temperatura ya que se realizó el ajuste de la bomba de inyección a la zona de menor dosificación de combustible para estabilizar la temperatura en la recomendada 80°C .

3.2.3 MAL ESTADO POR VÁLVULAS

Si tenemos temperaturas entre 70°C y 73°C , sería necesario realizar un ajuste de la posición de la bomba de inyección a una zona de dosificación de mayor combustible, para de esta manera incrementar la temperatura y aproximarla a la nominal con el fin de que el motor trabaje de forma eficiente. El indicador de falla que muestra esta imperfección, fue denominado MEV “Mal Estado Por Válvulas”. Esto debido a que una temperatura baja no solo hace referencia a una falta de combustible en la inyección, sino también a un juego excesivo entre válvula y balancín, por esta razón se dio el nombre de MEV como indicador de falla ya que su rango de temperatura abarca el rango antes mencionado por un desajuste de la bomba de inyección en la zona de menor dosificación de combustible.

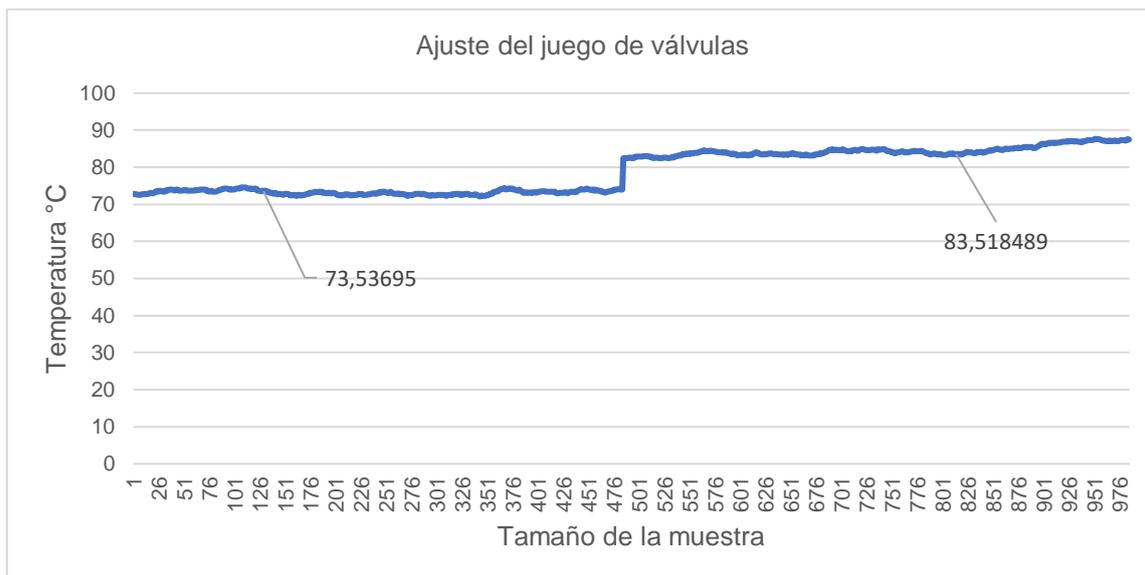


Figura 3.4 Calibración de válvulas

La figura 3.4 muestra el incremento de temperatura que se generó luego de realizar la calibración de válvulas, en un cilindro cuyo juego entre válvula y balancín excedía en 0,10mm al que recomienda el fabricante. De acuerdo a los datos de la Tabla 2.6 los cuales muestran los valores obtenidos antes y después de realizar el ajuste de válvulas al recomendado por el fabricante se obtuvo como resultado que existe una pérdida de temperatura de 5 °C por cada 0.10 mm de exceso de juego entre válvula y balancín, por esta razón se tomó como referencia el máximo juego de válvulas medido para determinar el límite máximo del rango de temperatura de este indicador de falla.

El mayor juego medido entre válvula y balancín fue de 0.45 mm, tomando en cuenta que el fabricante recomienda un juego de 0.20 mm se tendría un juego excedente de 0.25 mm y si por cada 0.10 mm existe un incremento de 5°C el límite máximo por descalibración de válvulas es 12.5°C menor que el valor mínimo del rango de la temperatura nominal, en otras palabras el rango definido para este indicador de falla sería el siguiente (62°C -73°C).

3.2.4 MAL ESTADO POR TIEMPO

Como se puede apreciar en la Figura 3.2 existen valores de hasta 48°C, que son valores muy bajos en comparación con los de la temperatura nominal, por lo que para incrementar la

temperatura se realizó un ajuste angular de la posición de la bomba de inyección a la zona de máxima dosificación de combustible, pero solo se consiguió incrementar la temperatura entre 8°C y 10°C.

Como síntoma de esta falla, se pudo observar que el tractor emitía humo de color blanco, lo cual es un indicador de una mala combustión ya sea por fallas en los elementos del sistema de inyección o porque el tiempo de avance de inyección es inadecuado, por lo que se procedió a adelantar el tiempo de inyección en el cilindro con escasez de temperatura, retirando una lana de regulación de la bomba de inyección, teniendo como resultado un incremento de aproximadamente 25 °C al quitar una lana de 0.30mm de espesor lo que quiere decir que el incremento de temperatura tiende a ser proporcional al avance de inyección.

A continuación, en la figura 3.5 se puede analizar el comportamiento de la temperatura al realizar el ajuste de la bomba de inyección a la zona de mayor dosificación de combustible y al quitar una lana de regulación para incrementar el avance de inyección, del cilindro en el que existía una escasez de temperatura.

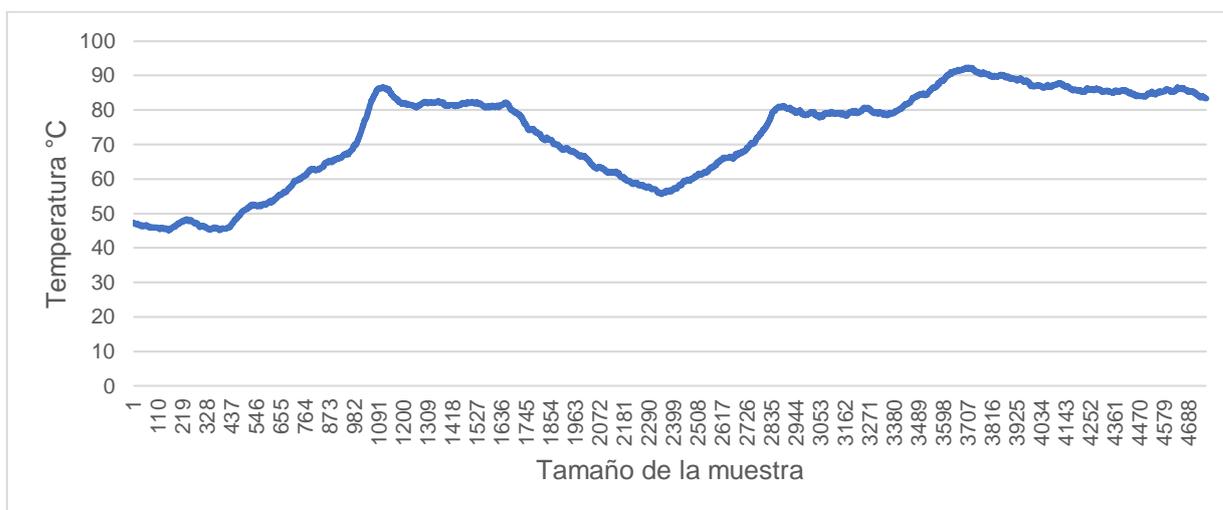


Figura 3.5 Calibración de bomba de inyección

La gráfica inicia con una temperatura de aproximadamente 48°C, tras realizar el ajuste angular de la bomba de inyección en sentido de las manecillas del reloj, existe una oscilación

significante de la curva de la temperatura, por lo que se aceleró el tractor a un mayor régimen hasta obtener una estabilidad en la temperatura nominal. Una vez estabilizada la temperatura se disminuyó la aceleración a 1 000 RPM, teniendo un decrecimiento de temperatura hasta alcanzar los 58°C como se puede verificar en la zona media de la gráfica. El siguiente incremento de temperatura se da debido a una nueva aceleración en el tractor hasta alcanzar estabilizar la temperatura en 80°C, pero esta vez se realizó el adelantó del tiempo de inyección quitando una lina de regulación de 0.30 mm de la bomba de inyección, logrando de esta manera alcanzar el rango de temperatura nominal de un tractor en buen estado al tener un incremento en la temperatura de aproximadamente 25°C como se puede mirar al final de la curva de temperatura. De estos resultados se podría manifestar que un ajuste de la posición angular de la bomba de inyección permite incrementar o disminuir la temperatura en hasta 10 °C, mientras que si se realiza un avance del tiempo de inyección el incremento de temperatura tiende a ser proporcional al espesor de la lámina de regulación que se retire o viceversa. En seguida se presenta la tabla 3.3 la cual muestra una comparación de todos los indicadores de fallas y el tipo de afectación que pueden producir.

Tabla 3.3 Tabla de comparación de datos

CARACTERÍSTICAS	MI (°C)	BE (°C)	MEV (°C)	MT (°C)
Temperatura máxima	85	85,16	73,08	63,72
Temperatura mínima	85,17	73,09	63,73	48
Afectación	media	nula	media	grave

3.3 ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE DECISIONES

El árbol de decisiones es el resultado del análisis estadístico de 205 muestras obtenidas del monitoreo discreto de la temperatura en el múltiple de escape de los tractores Same Explorer 95. Cada muestra contiene 480 valores, es decir que se cuenta con una base de datos de 98 400 datos de temperatura, los mismos que fueron reducidos a 2 050 tras la aplicación de las siguientes mediciones (RMS, varianza, mediana, media, mínimo, máximo, curtosis, moda, asimetría y media cuadrática) todas estas medidas permiten conocer los puntos fundamentales de cada muestra cómo se puede ver en la tabla 3.4 la cual muestra los

resultados obtenidos de una de las muestras tomadas para la creación del modelo de predicción.

Tabla 3.4 Resultados de una muestra en BE

Tipo de medición	Resultado
RMS	81,9121
Varianza	2,3151
Media	81,898
Máximo	84,1805
Mínimo	79,1471
Mediana	82,0969
Curtosis	1,4721
Moda	82,0969
Asimetría	-0,2108
Media cuadrática	81,9121

De los 480 valores obtenidos luego de tomar una muestra de temperatura en el múltiple de escape durante 120 segundos, tenemos como resultado 10 valores que detallan las características más importantes de esta medición.

Los valores con más relevancia de los resultados del análisis estadístico de cada muestra son los obtenidos de la media, y la media cuadrática ya que permiten conocer la temperatura promedio del conjunto de datos medidos. En el presente ejemplo se tiene una media de 81,90°C valor muy similar al cálculo de la media cuadrática o RMS, debido a que el resultado de esta medida no es más que la raíz cuadrada del promedio del cuadrado de los datos. Como se puede apreciar en Tabla 3.3 existe una variación mínima entre estos dos resultados ya que tanto la media como la media cuadrática o RMS pertenecen a las medidas de tendencia central y permiten conocer el promedio de un conjunto de valores, su diferencia radica en que la media se utiliza solo para valores positivos y la media cuadrática con valores positivos y negativos.

Por otra parte, si analizamos los resultados de las medidas de moda y mediana en la Tabla 3.3, podemos observar una coincidencia de valores lo cual es un indicador de que existe una distribución que tiende a ser simétrica, es decir que los valores equidistantes de la media son más o menos iguales, esto se puede corroborar con el coeficiente del resultado de la medida de asimetría que es igual a $-0,21$ ya que como manifiestan Cecilia Salazar & Santiago del Castillo (2018) en su libro de Fundamentos Básicos de Estadística, una distribución tiende a ser simétrica cuando el coeficiente de asimetría es próximo a 0, mientras que si su coeficiente se aproxima a los límites que por lo general son 3 y -3 la distribución tiende a ser asimétrica. El coeficiente de asimetría es igual a 0 cuando el valor de la media y la mediana coincide, en este caso es < 0 ya que el valor de la media está por debajo del valor de la mediana.

Como puntos máximos y mínimos se obtuvieron los siguientes valores 84°C y 79°C respectivamente, los cuales se encuentran dentro del rango del indicador establecido como “Buen Estado” (BE), el diferencial de temperatura entre límites existente es de 5°C , esto debido a que existe una desviación estándar de la varianza que muestra una variación de $1,5^{\circ}\text{C}$ por cada valor obtenido en la muestra analizada.

El incremento y decrecimiento en la temperatura se lo puede analizar con el resultado del coeficiente de curtosis, ya que este nos muestra el grado de concentración de los valores respecto a su media. El coeficiente de curtosis que se obtuvo es 1,5 lo cual indica que existe una baja concentración de valores en torno al valor central, es decir varios valores se aproximan a los puntos máximos y mínimos antes mencionados, ya que según Sanjuan Marco (2017), un coeficiente de curtosis < 3 es un indicador de una dispersión de los valores en cuanto a su valor central mientras que un coeficiente > 3 es señal de una gran concentración de los valores respecto a su media.

Como ya se mencionó el valor promedio de la muestra sometida a estudio es la medida más importante, ya que este, representa a todo el conjunto de datos obtenidos tras realizar la medición durante un periodo de tiempo determinado y nos permite seleccionar el estado en el que se encuentra el cilindro al que se le realizó las mediciones, esto se puede comprobar con los resultados del árbol de decisiones ya que como se puede apreciar en la figura 3.4 las

medidas determinantes para la predicción de defectologías son la media cuadrática o RMS y la mediana.

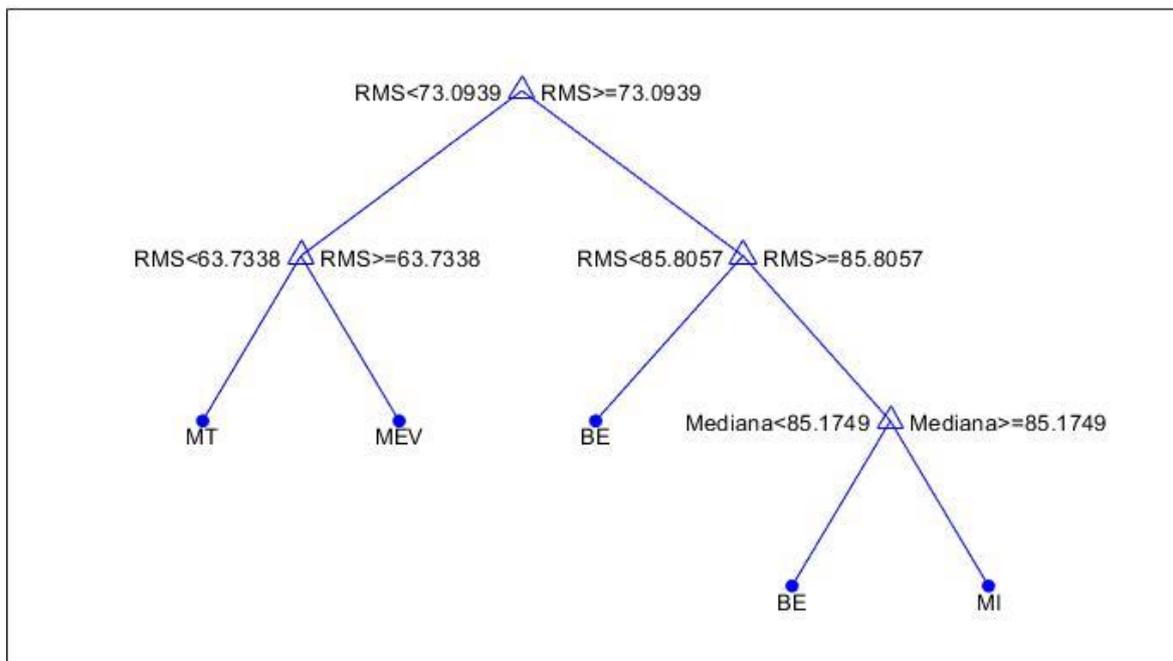


Figura 3.6 Árbol de decisiones

La figura 3.6 muestra los resultados del árbol de decisiones, en donde se determinan los rangos de los indicadores de fallas que se utilizaron para la creación de este modelo de predicción, el cual permite identificar defectologías, haciendo uso de los resultados obtenidos de 2 de los 10 tipos de medidas utilizadas en el análisis estadístico que son la media cuadrática o RMS y la mediana.

Los resultados del cálculo de la media cuadrática de una muestra permiten identificar si el cilindro en el que se realizaron las mediciones se encuentra, en buen estado o presenta las siguientes defectologías: descalibración de válvulas, tiempo de inyección incorrecto y desajuste de la bomba de inyección en la zona de menor dosificación de combustible. Mientras que los valores obtenidos en el cálculo de la mediana también ayudan a determinar, si el cilindro sometido a análisis se encuentra en buen estado o a su vez si existe una descalibración de la bomba de inyección por un desajuste en la zona de mayor dosificación de combustible.

Según los resultados obtenidos en el árbol de decisiones o también denominado modelo de predicción, para que un cilindro se encuentre en óptimas condiciones la temperatura promedio resultante del cálculo de la media cuadrática debe estar dentro de los siguientes límites. Como temperatura mínima puede llegar hasta una temperatura igual o mayor a $73,1^{\circ}\text{C}$ y como límite máximo alcanzar valores inferiores a $85,81^{\circ}\text{C}$. Si el resultado del cálculo de la media cuadrática supera estos límites es necesario realizar un análisis para determinar las causas por las cuales existe una temperatura fuera del rango determinado, en otras palabras, identificar las defectologías que producen temperaturas fuera del rango definido como BE (Buen Estado).

Todo valor que se obtenga del cálculo de la media cuadrática, igual o mayor en hasta 10 unidades al límite máximo del rango definido como buen estado es un indicador de la existencia de un mayor consumo de combustible por un posicionamiento de la cremallera de la bomba de inyección en la zona de mayor dosificación de combustible. Este indicador fue definido como MI que hace referencia a un mal estado por inyección y el rango que determina esta falla tiene como límite máximo y mínimo los siguientes valores $85,81^{\circ}\text{C}$ y 95°C respectivamente, es decir que cualquier valor medido en el múltiple de escape de los tractores Same Explorer 95 que se encuentre dentro de este rango será diagnosticado de forma autónoma como mal estado por inyección MI.

De igual forma valores obtenidos de la media cuadrática inferiores al límite mínimo del rango determinado como buen estado, son indicadores de defectologías que pueden presentarse por un juego excesivo de válvulas, una descalibración de la bomba de inyección por un posicionamiento de la cremallera en la zona de menor dosificación de combustible o a su vez por un retardo en el tiempo de inyección.

Como ya se mencionó la figura 3.4 también presenta los valores que permiten determinar las defectologías que originan el decrecimiento de temperatura en el múltiple de escape. Un juego excesivo de válvulas se puede identificar si al realizar las mediciones pertinentes se obtienen valores menores al límite mínimo del rango definido como buen estado, ya que se pudo comprobar que existe un decrecimiento de temperatura de 5°C por cada 0,10 mm de juego de válvulas excedente al que recomienda el fabricante. Si analizamos los resultados del modelo de predicción podemos ver que se considera como límite de este indicador hasta

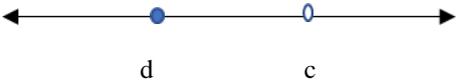
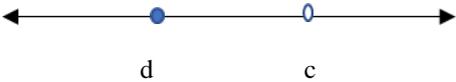
10°C menos que el límite mínimo del rango definido como buen estado, por lo tanto, todo valor obtenido de la media cuadrática inferior a 73°C y mayor o igual a 63.03°C será considerado automáticamente como MEV.

Valores muy alejados del límite mínimo definido como buen estado son indicadores de la existencia de una mala combustión dentro de la cámara de compresión debido a un retardo en el tiempo de inyección. Esto se pudo evidenciar ya que al retirar una lana de regulación de 0.30mm de la bomba de inyección, se obtuvo como resultado un incremento de 25°C. Por lo que si al realizar las mediciones pertinentes de temperatura en el múltiple de escape se obtienen valores inferiores al límite máximo del rango definido como MEV el modelo de predicción detectara de forma independiente la existencia de un retardo del tiempo de inyección MT, como se puede apreciar en la gráfica del árbol de decisiones no existe un límite máximo para este indicador por lo que se colocó el menor valor obtenido del cálculo de la media cuadrática en todas las mediciones realizadas durante la investigación que es igual a 48°C.

Para finalizar con el análisis del árbol de decisiones se presenta a continuación la Tabla 3.5 en donde se muestra los intervalos de temperatura de cada indicador de falla en donde se explica de manera concisa la metodología utilizada para la predicción de fallos. Cada intervalo muestra los valores que los indicadores pueden tener, de tal forma que al realizar las mediciones en el múltiple de escape en un tractor Same Explore 95 se puede identificar de manera inmediata el estado del cilindro sometido a análisis ubicando los resultados obtenidos dentro del intervalo del indicador que corresponda.

Por ejemplo si al realizar el análisis estadístico de una muestra se tiene como resultado de la media cuadrática un valor de 70 °C, como primer paso será necesario ubicar entre que intervalo se encuentra este valor, para el caso estaría entre el intervalo d y c correspondiente al indicador que hace referencia a un desajuste de válvulas (MEV) ya que a este pertenecen todos los valores de RMS mayores o iguales a d= 63,73 pero menores a c=73,09.

Tabla 3.5 Intervalos por indicador de falla

Nomenclatura (C)	Indicador	Intervalo Gráfico	Descripción
a=95	MI		Conjunto de valores formado por b y los números comprendidos entre b y a.
b=85,17	BE		Conjunto de valores formado por c y los números comprendidos entre c y b.
c=73,09			Conjunto de valores formado por d y los números comprendidos entre d y c.
d=63,73	MEV		Conjunto de valores formado por d y los números comprendidos entre d y c.
e=48	MT		Conjunto de valores formado por e y los números comprendidos entre e y d.

Hay que mencionar que pueden existir otro tipo de defectologías que pueden incrementar y disminuir la temperatura en el múltiple de escape, como por ejemplo una descalibración en el regulador, inyectores en mal estado, falta de lubricación en el motor, sistema de refrigeración defectuoso, entre otros daños que por lo general serán más fáciles de identificar y se enfocan más a un mantenimiento correctivo. Los indicadores definidos y detallados con antelación son defectologías que por lo general no son perceptibles y tampoco generan algún código de falla o encienden luces testigos. Es por esta razón que son necesarios para la implementación del mantenimiento predictivo y para llevarlo a cabo se requiere de un monitoreo discreto de la temperatura cada que se practique un mantenimiento preventivo básico el cual hace referencia a la siguiente tabla.

Tabla 3.6 Mantenimiento preventivo básico y monitoreo discreto de temperatura

Descripción	Periodo (Hrs)	Referencia	Cantidad (L)
Cambio de aceite motor	150	15w40	11
Cambio aceite reductores delanteros	150	10W30 hidráulico	6
Descripción	Periodo (Hrs)	Referencia	Cantidad
Cambio de filtro motor	150	2.4419.340.0	1
Cambio filtro de combustible	150	2.4319.060.1	1
Cambio filtro separador	150	0.009.1359.3	1
Descripción	Periodo (Hrs)	Referencia	Cantidad (s)
Monitoreo discreto de temperatura en el múltiple de escape	150	-	120

La tabla 3.6 muestra las actividades que se deben realizar en un mantenimiento preventivo básico, adicional se incluye el monitoreo de temperatura en el múltiple de escape, la cual es la actividad que permite predecir fallos o identificar fallas en su etapa inicial mediante el análisis periódico de la temperatura. Esta técnica al igual que todas las técnicas del mantenimiento predictivo se la puede realizar con el equipo trabajando a su máxima velocidad, pero para la gestión del mantenimiento predictivo en tractores Same Explorer 95 mediante el análisis de temperatura en el múltiple de escape es necesario seguir el procedimiento de adquisición de datos establecido en el apartado de metodología ya que todos los datos obtenidos y analizados se fundamentan en los parámetros establecidos en este procedimiento.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Se puede concluir que por cada 0,10 mm excedentes al juego que recomienda el fabricante entre válvula y balancín existe un decrecimiento de temperatura en el múltiple de escape de 5°C, por esta razón, cuando se obtengan valores inferiores a 73,09°C será necesario realizar una calibración de válvulas para que el cilindro trabaje de manera óptima.

El movimiento angular de las bombas de inyección permite aumentar o disminuir en hasta 10°C la temperatura en el múltiple de escape, por lo que, cuando se obtienen temperaturas superiores a 85°C es necesario realizar el movimiento de la bomba en sentido contrario al de las manecillas del reloj para posicionar la cremallera en una zona de menor dosificación y evitar tener un mayor consumo de combustible.

Un cilindro del motor se encuentra funcionando de manera adecuada cuando se obtienen como resultados del análisis estadístico valores de RMS iguales o superiores a 73,09°C o a su vez valores de RMS o mediana inferiores a 85 °C, lo cual se puede corroborar con los resultados del modelo de predicción obtenido de la plataforma Matlab y coinciden con la temperatura nominal definida.

Las medidas estadísticas determinantes para la predicción de defectologías son, la media cuadrática (RMS) y la mediana, las cuales permiten identificar el juego excesivo entre válvula y balancín al obtener como resultado valores mayores o iguales 63,73 °C y el desajuste angular de la bomba de inyección al conseguir valores superiores a 85.17 °C respectivamente

4.2 RECOMENDACIONES

Incorporar al dispositivo DAQ USB-6008 3 termopares tipo K adicionales para lograr visualizar en conjunto el comportamiento de la temperatura en todos los cilindros del motor.

Desarrollar una investigación para determinar la sincronización de las bombas de inyección UPS mediante el monitoreo de la temperatura en el múltiple de escape.

Utilizar el dispositivo DAQ USB-6008 para comparar el comportamiento de la temperatura en tractores con la misma plataforma y de similares características.

Utilizar las herramientas y el EPP adecuado para evitar incidentes al realizar las mediciones en el múltiple de escape.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Chaves, A. (2004). *Maquinaria Agrícola y Mecanización Agrícola*. San Jose: EUNED.
- Alvarado Chávez , A. (2004). *Maquinaria y Mecanización Agrícola*. San Jose: EUNED (Editorial Universidad Estatal a Distancia).
- Azoy Capote, A. (2014). Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento. *Ingeniería Agrícola*, 45-49.
- Azúa Barrón , M., Vázquez Peña , M. A., Arteaga Ramírez , R., & Hernández Saucedo, R. (2017). Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* , 1-12.
- Catalán , H. (2016). Que es un tractor de alta potencia? *Grandes Cultivos*.
- DEUTZ-FAHR, S. (2015). *Motores*. Lima.
- Dewesoft. (24 de Enero de 2020). Obtenido de <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos>
- Dewesoft. (15 de Mayo de 2020). *Medición de temperaturas con Termopares*. Obtenido de <https://dewesoft.com/es/daq/temperatura-medicion-termopar-sensores>
- Duarte Forero, J., Berrio Orozco, K., & Guzmán Fruto, A. (2019). Caracterización de un sistema de adquisición de fatos para un banco de prueba de Motor Diésel Monocilíndrico. *INGE CUC*, 155-167.
- Fernández , A., Canales Velazco, B., & Martínez Pérez , F. (2019). Las Herramientas de Inspección y Diagnóstico en el Mantenimiento. *Mantenimiento en Latinoamérica (La Revista para la Gestión Confiable de los Activos)*, 13-19.
- Fernández Sánchez , M. (2015). Cálculo de indicadores de mantenimiento de los tractores Belarus-892. *La Técnica* , 38-45.
- Fernández Sánchez , M., & Shkiliova, L. (2015). Cálculo de indicadores de mantenimiento de los tractores Belarus-892. *Revista La Técnica*, 41.
- Flórez Martínez , A., & Vargas Flórez, O. V. (2015). Caracterización del Proceso térmico sobre-amortiguado utilizando técnicas de control en lazo abierto de primer orden para el M2CI. *VISIÓN-Revista de Investigaciones uniciencia*, 46.
- Gamarra Ojeda, V., & Zaballa Pozo , E. (2017). *Solución automatizada para el control térmico del horno de tratamiento de turbinas Pelto-Francis utilizando hardware y software libre*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.

- Gamarra Ojeda, V., & Zavalla Pozo, E. (2017). *Solución automatizada para el control térmico del horno de tratamiento de turbinas Pelton - Francis utilizando hardware y software libre*. Cusco: Universidad Andina del Cusco .
- García Córdoba , M. (2017). Una polémica trascendental sobre el mantenimiento Preventivo y Predictivo. *Revista de Investigaciones Sociales*, 1-2.
- García Sierra, J. (2019). Importancia del mantenimiento, aplicación a una industria textil y su evolución en eficiencia. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 61-62.
- González González , D. A., & Pizarro Martínez , J. L. (2005). *Mantenimiento predictivo de motores diésel marinos mediante correlación de imágenes termográficas y análisis de vibraciones*. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar .
- González Sosa, J. V., Loyo, J., López Ontiveros, M. Á., Pérez Montoya, P., & Cruz Hernández , A. (2018). Mantenimiento industrial en maquinas herramientas por medio de AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, 2011-2012.
- Grajales Erazo, Y., & Monsalve Vargas , J. F. (2019). *Diseño de un instrumento de adquisición de temperatura a través de termocupla tipo K y microcontrolador usando el protocolo de comunicación SPI*. Bogota: Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.
- Grajales Erazo, Y., & Monsalve Vargas, J. F. (2019). *Diseño de un instrumento de adquisición de temperatura a través de termocupla tipo K y microcontrolador usando el protocolo de comunicación SPI*. Bogota: Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.
- Hernández Reyes, J. G. (2017). Implementación del Mantenimiento Predictivo. *TECSUP-PFR*, 89-98.
- Hidalgo Ávila , A. A., Real Pérez , G. L., & Llosas Albuérne, Y. E. (2017). *Administración de operaciones y mantenimiento*. Alexis Cuzme: MAR ABIERTO.
- Huancahuire Champi, S., & Quispe Ponce de León , K. (2018). *Mejora de la Gestión de Mantenimiento, Basada en la Mantenibilidad y el Incremento de la Disponibilidad de la Flota de Tractores Oruga Bulldozer D475 en la Empresa Komatsu Mitsui 2017*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Huancahuire Champi, S., & Quispe Ponce de León , K. (2018). *Mejora de la Gestión de Mantenimiento, Basada en la Mantenibilidad y el Incremento de la Disponibilidad de la Flota de Tractores Oruga Bulldozer D475 en la Empresa Komatsu Mitsui 2017*. Cuzco: Universidad Andina del Cusco.
- Huancahuire Champi, S., & Quispe Ponce de León , K. (2018). *Mejora de la Gestión de Mantenimiento, Basada en la Mantenibilidad y el Incremento de la Disponibilidad de la Flota de Tractores Oruga Bulldozer D475 en la Empresa Komatsu Mitsui 2017*. Cuzco: Universidad Andina del Cusco.

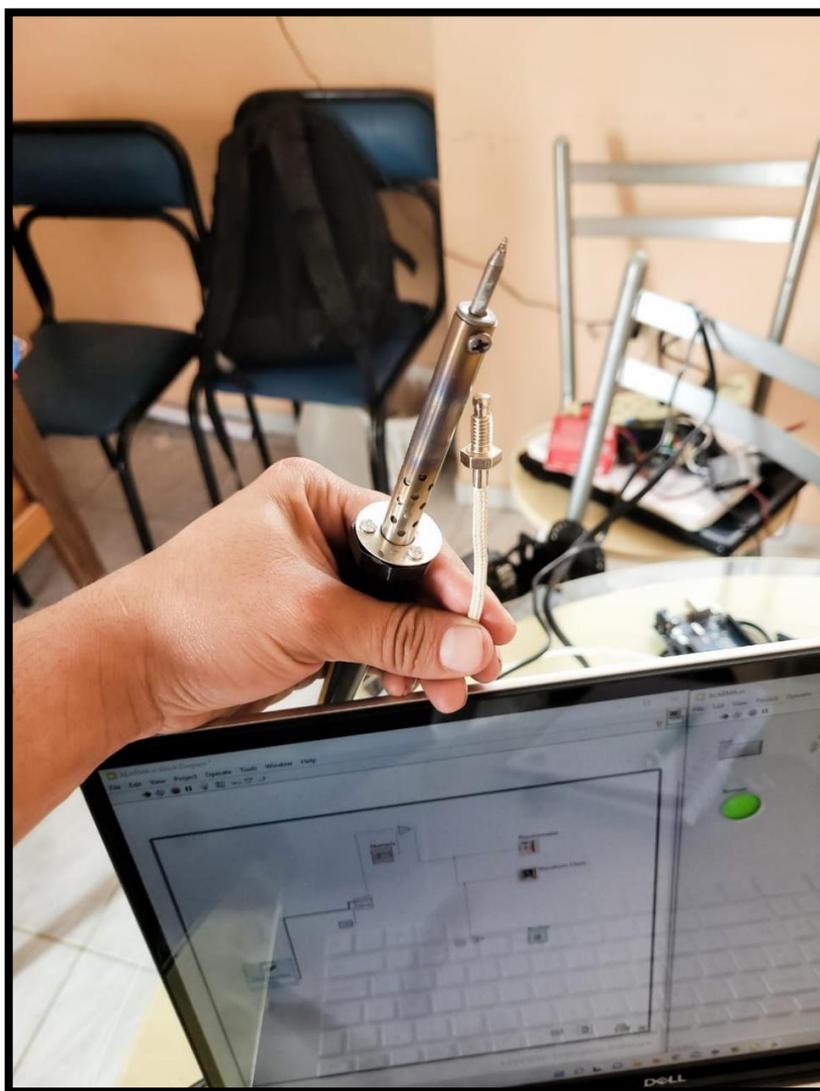
- Huerta Chimborazo , S. F., & Quizhpilema Acero, S. N. (2017). *Implementación de un plan de gestión de mantenimiento mediante un software adecuado para el control de horómetros y odómetros en la flota vehicular del gobierno autónomo descentralizado de la provincia de Cañar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Huerta Chimborazo , S., & Quizhpilema Acero, S. (2017). *Implementación de un plan de gestión de mantenimiento mediante un software adecuado para el control de horómetros y odómetros en la flota vehicular del gobierno autónomo descentralizado de la provincia de Cañar*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Instruments, N. (2017). *DAQ*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/data-acquisition.html>
- López , J. F. (18 de Noviembre de 2017). *Varianza*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/varianza.html>
- National Instruments. (03 de 05 de 2022). Obtenido de <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usb-6008-specs/page/specs.html>
- National Instruments. (2022). *Pinout y descripciones de la señal*. Obtenido de <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usb-6008-6009-feature/page/pinout-signal-descrip.html>
- NI. (2022). *NI Engineer Ambitiously*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/software/products/labview-real-time-module.html>
- Osorio, J. E., Pérez Ramirez, J. D., & Rodríguez Barrera, M. A. (2010). Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente directa. *Tecnura*, 60-69.
- Perez , J., Suarez, M., Vivas, R., & García , G. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica. *SIEMBRE*, 4(1), 59-65.
- Quiñonez Arroyo, D., Nazareno Arce, K., Cuello Pérez , M., Gamboa, I., Recio, A., & Cabrera Blanco, O. (2020). Evaluación de la calidad de aceites lubricantes de motores de la central térmica esmeraldas ii, por ftir. *UTCiencia*, 50-59.
- Ramos Flores, S. I. (2012). *Aplicación del programa MATLAB en la resolución de ecuaciones diferenciales aplicado a la materia de Cálculo Tres*. Guayaquil 63: Unisersidad Catolica de Santiago de Guayaquil.
- Salazar, C., & Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*.
- Salazar, C., & Del Castilo, S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística* (Primera Edición ed.).
- SAME. (2017). Manual de taller . En *Regulaciones de los juegos de las válvulas* (pág. 1/4).
- SAME-DEUTZ FAHR. (2010). *Uso y Mantenimiento EXPLORER 95*.

- San Juan, F. J. (02 de Octubre de 2017). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/curtosis.html>
- Sánchez Gómez , A. M. (2017). *Técnicas de Mantenimiento Predictivo. Metodología de Aplicación en las Organizaciones*. Bogota: Universidad Católica de Colombia.
- Sanjuan, M. (02 de 10 de 2017). *Curtosis*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/curtosis.html>
- SDF. (2018). Archivo Storico. *Archivo Storico e Museo SAME*, 4-8.
- Senplades. (2017). *Plan Nacional Para el Buen Vivir 2017-2021*. Quito.
- Shkiliova, L., & Sánchez , M. (2011). Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 73-74.
- Sierra Fernández , C., & Andrea Calvo, E. (2017). Técnicas de mantenimiento Predictivo. En *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras* (pág. 24). Santander: Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.
- Sierra Fernández , C., & Andrea Calvo, E. (2017). Técnicas de Mantenimiento Predictivo. En *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras* (págs. 8-10). Santander: Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.
- Turonaza, A., Martínez , A., Ávila , E., Bolivar , D., Matos, G., Bravo, E., . . . Fernández , N. (2015). Bienes y Servicios de Mantenimiento. *Revista Mantenimiento*, 13-14.
- Zambrano, E., Prieto , A., & Castillo , R. (2015). Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones de educacion superior del municipio Cabimas. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales.* , 495-511.

ANEXOS

ANEXO I

CALIBRACIÓN Y COMPROBACIÓN DE TERMOCUPLA



ANEXO II

MOTOR PARA REPARACIÓN TRACTOR SAME EXPLORER 95



ANEXO III

CALIBRACIÓN DE TIEMPO DE INYECCIÓN



ANEXO IV

TOMA DE DATOS CON TERMÓMETRO INFRARROJO



ANEXO V

PROBLEMA POR DESCALIBRACIÓN DE BOMBAS DE INYECCIÓN



ANEXO VI

CORRECCIÓN DE DESCALIBRACIÓN DE BOMBAS DE INYECCIÓN



ANEXO VII
TERMOCUPLA CON INDICIOS DE ACEITE



ANEXO VIII

TOMA DE DATOS TRACTOR SAME EXPLORER 95



ANEXO IX

CERTIFICADO DE URKUND



Document Information

Analyzed document	DOCUMENTO URKUND Álvarez Richar.docx (D157670332)
Submitted	2/2/2023 5:47:00 PM
Submitted by	
Submitter email	cnmafla@utn.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	cnmafla.utn@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE / PRESENTACION DE MARCO TEÓRICO URKUND.docx	 23
	Document PRESENTACION DE MARCO TEÓRICO URKUND.docx (D99005405)	
	Submitted by: rbalvarezr@utn.edu.ec	
	Receiver: cnmafla.utn@analysis.orkund.com	

Entire Document

1 MARCO TEÓRICO
1.1