

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“DIAGNÓSTICO DEL FLUIDO HIDRÁULICO DE LA MAQUINARIA PESADA  
UTILIZADA POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS  
DEL AZUAY, MEDIANTE EL CONTEO DE PARTÍCULAS, PARA  
DETERMINAR SU ESTADO”**

**AUTORES:**

KLEBER ANDRES CHUCHUCA AJILA

ERICK MAURICIO RODAS JADAN

**TUTOR:**

ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Kleber Andres Chuchuca Ajila con documento de identificación N° 0706487550 y Erick Mauricio Rodas Jadan con documento de identificación N° 0106000656, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DIAGNÓSTICO DEL FLUIDO HIDRÁULICO DE LA MAQUINARIA PESADA UTILIZADA POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL AZUAY, MEDIANTE EL CONTEO DE PARTÍCULAS, PARA DETERMINAR SU ESTADO”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2020

---

Kleber Andres Chuchuca Ajila

C.I. 0706487550

---

Erick Mauricio Rodas Jadan

C.I. 0106000656

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DIAGNÓSTICO DEL FLUIDO HIDRÁULICO DE LA MAQUINARIA PESADA UTILIZADA POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL AZUAY, MEDIANTE EL CONTEO DE PARTÍCULAS, PARA DETERMINAR SU ESTADO”**, realizado por Kleber Andres Chuchuca Ajila y Erick Mauricio Rodas Jadan, obteniendo el *Proyecto técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2020



---

Ing. Milton Oswaldo García Tobar, MSc.

C.I. 0104282181

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Kleber Andres Chuchuca Ajila con documento de identificación N° 0706487550 y Erick Mauricio Rodas Jadan con documento de identificación N° 0106000656, autores del trabajo de titulación: **“DIAGNÓSTICO DEL FLUIDO HIDRÁULICO DE LA MAQUINARIA PESADA UTILIZADA POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL AZUAY, MEDIANTE EL CONTEO DE PARTÍCULAS, PARA DETERMINAR SU ESTADO”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2020



---

Kleber Andres Chuchuca Ajila

C.I. 0706487550



---

Erick Mauricio Rodas Jadan

C.I. 0106000656

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero empezar agradeciendo a Dios por la fortaleza en los momentos de dificultad y la claridad para poder culminar mi carrera universitaria.

A mis padres por el apoyo incondicional que me supieron brindar día a día, por su cariño y amor y por ser siempre ese pilar fundamental en el cual encontré la fortaleza para el día de hoy verme realizado como un profesional.

Al Ingeniero Milton García quien fue parte fundamental en el aporte de la valiosa información y conocimientos para la realización de este proyecto.

ANDRES

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres, porque a través de su esfuerzo, amor, constancia y dedicación me impulsaron día a día para poder alcanzar esta meta.

Al Ingeniero Milton García por su confianza, enseñanza y consejos durante todo este tiempo.

A Dios padre que gracias a él todo esto es posible.

ERICK

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres Santos y Martha quienes a lo largo de los cinco años de mi carrera universitaria me han apoyado sin desfallecer un momento.

A mis hermanas Janeth, Maritza, Gaby y a mi hermano Jordan quienes fueron ese refugio y lugar de calma para los momentos difíciles.

Por último, quiero dedicar este trabajo a mis amigos con quienes tuvimos la dicha de compartir 5 años de triunfos y fracasos, de buenos y malos momentos que quedaran como recordatorio del significado de amistad.

ANDRES

## **DEDICATORIA**

A mis padres Elizabeth y Mauricio por brindarme su apoyo incondicional, enseñarme a vivir correctamente y velar por mí durante todo este tiempo.

A mis hermanos Carlos, Sebastián y Victoria quienes con amor sincero llenan de alegría y satisfacción mis días.

Gracias al personal del MTOP por abrirnos las puertas de su institución y permitirnos disfrutar de un ambiente de profesionalismo.

ERICK



## RESUMEN

Esta investigación consiste en determinar el estado del fluido hidráulico de la maquinaria pesada utilizada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Azuay, luego de haber seguido un proceso de cebado utilizando aceite hidráulico en un intervalo de funcionamiento de aproximadamente 2000 horas.

Se inició con un estudio de los tipos de maquinaria pesada con los cuales cuenta el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Azuay, así como de los principales sistemas que componen dicha maquinaria, haciendo énfasis en el sistema hidráulico. Posteriormente se analizó los fallos principales que se producen en el sistema hidráulico debido a la contaminación presente en el sistema y las consecuencias que podrían acarrear en el correcto desempeño de la maquinaria.

Para la cuantificación de los datos se realizó una revisión bibliográfica acerca de los principales métodos y equipos utilizados en el análisis de aceites. Se estableció un protocolo de muestreo teniendo en cuenta las respectivas normas para asegurar muestras sin impurezas externas.

Se utilizó el método de conteo de partículas para determinar el nivel de contaminación presente en el fluido SAE 10W, los resultados obtenidos se presentan mediante dos tipos de análisis gráficos. Mediante el análisis de los diagramas de Box-Plot se establece la reacción de cada una de las maquinarias a la adición del fluido hidráulico, mientras que, con las gráficas de tendencia se llega a determinar el intervalo en el cual la adición de fluido es viable para cada caso.

A partir de los cuadros comparativos se logró determinar que una de las maquinarias utilizadas en el estudio reacciona con una efectividad del 87,5% y en un promedio de cinco intervalos de adición, mientras que las otras restantes llegan únicamente hasta un 50% de efectividad en los procesos de cebado.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos se establecieron las recomendaciones pertinentes a tomar en cuenta a fin de mejorar los procesos de cebado y con ello potenciar la disponibilidad de la maquinaria y reducir costos de operación a largo plazo.



## SUMMARY

This project it's about to know the state of the hydraulic fluid of the heavy machinery used by the Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Azuay during a fluid addition process in an operating interval of approximately 2000 hours sampling period.

The study begun with an investigation also a description of the types of heavy machinery, as well as the main systems that are part of this machinery, with greater emphasis on the hydraulic system. Subsequently, were analyzed the main types of failures that can appear in the hydraulic system due to the contamination in the system and the consequences that could bring the correct performance of the machinery.

For the quantification of the data it was carried out a review of the bibliography for the main methods and equipment used for oil analysis. A sampling protocol was established with the respective standards to ensure a sample without external particles.

The method used to determine the level of contamination present in the SAE 10W fluid was the particle counting, the results were explained by two types of graphic analysis. Through the analysis of Box-Plot diagrams were presented the reaction of each machinery to the addition of hydraulic fluid, while, with the Trend graphs were presented the interval up to which the addition of fluid is viable for each case.

From the comparative tables of all machinery used in the study, it was established that one of them reacts with an effectiveness of 87.5% and an average of five addition intervals, while the remaining others react with 50% of effectiveness during all the addition process.

Finally, based on the results obtained, were established the pertinent recommendations to be taken in order to improve the priming processes and thereby enhance the availability of the machinery and reduce long-term operating costs.

# INDICE GENERAL

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA ...</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>7</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>10</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>13</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 1: Fundamentación Teórica .....</b>	<b>1</b>
Fundamentación Teórica .....	1
1.1. MÁQUINARIA PESADA .....	1
1.1.1. Clasificación general .....	1
1.1.2. Sistemas principales .....	5
1.2. SISTEMA HIDRÁULICO .....	8
1.2.1. Constitución de un sistema hidráulico .....	8
1.2.2. Principales causas de fallo de los sistemas hidráulicos .....	11
1.3. FLUIDO HIDRÁULICO PARA MÁQUINARIA PESADA .....	12
1.3.1. Propiedades de los fluidos hidráulicos .....	13
1.3.2. Tipos de fluidos hidráulicos utilizados en maquinaria pesada .....	14
1.4. ANÁLISIS DE FLUIDOS HIDRÁULICOS .....	14
1.4.1. Contaminación del aceite .....	15
1.5. TÉCNICAS DE MEDICIÓN .....	16
1.5.1. Ferrografía .....	16
1.5.2. Análisis Espectrográfico .....	17
1.5.3. Análisis infrarrojo diferencial .....	18
1.5.4. Conteo de partículas .....	19
1.6. NORMA ISO 4406 .....	19
<b>Capítulo 2: Recolección de Muestras .....</b>	<b>21</b>
2.1. DETERMINACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MUESTREO .....	21
2.1.1. Protocolo de muestreo .....	21
2.1.2. Punto de extracción de la muestra .....	25
2.2. ENVASE PARA ALMACENAMIENTO .....	26
2.2.1. Técnica para la hermeticidad con el ambiente .....	26

2.2.2. Etiquetado de las muestras de fluido .....	27
2.3. PROCESO DE MUESTREO .....	28
2.4. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.....	31
2.5. MÁQUINAS ANALIZADAS.....	31
<b>Capítulo 3: Análisis de Resultados</b> .....	<b>36</b>
3.1. ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE BOX-PLOT .....	36
3.1.1. Concentración y dispersión de los datos en el diagrama de Blox-Plot.....	37
3.2. ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE TENDENCIA .....	56
<b>Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>75</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	75
4.2. RECOMENDACIONES .....	78
<b>Capítulo 5: Bibliografía</b> .....	<b>80</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Excavadora típica. [1].....	2
<b>Figura 2:</b> Retroexcavadora típica. [1] .....	2
<b>Figura 3:</b> Tractor con hoja de empuje típico. [1] .....	3
<b>Figura 4:</b> Pala cargadora. [1].....	3
<b>Figura 5:</b> Motoniveladora. [2].....	4
<b>Figura 6:</b> Rodillo liso. [3].....	5
<b>Figura 7:</b> Camión volqueta. [4].....	5
<b>Figura 8:</b> Esquema típico del tren de fuerzas. [5] .....	6
<b>Figura 9:</b> Tren de rodaje por cadenas u orugas. [6] .....	7
<b>Figura 10:</b> Neumáticos usados en equipos de maquinaria pesada. [1].....	7
<b>Figura 11:</b> Circuito hidráulico típico. [1].....	8
<b>Figura 12:</b> Bomba de pistón con eje en ángulo. [8] .....	9
<b>Figura 13:</b> Conjunto de válvulas de control. [1] .....	10
<b>Figura 14:</b> Disposición de los cilindros hidráulicos en una excavadora. [1].....	11
<b>Figura 15:</b> Filtros utilizados dentro de la maquinaria pesada. [9].....	11
<b>Figura 16:</b> Equipo Ferrógrafo para muestras de aceite. [15].....	17
<b>Figura 17:</b> Principio espectrográfico. [17] .....	18
<b>Figura 18:</b> Espectrómetro PerkinElmer transformada de Fourier. [18] .....	19
<b>Figura 19:</b> Contador óptico. [22] .....	20
<b>Figura 20:</b> Contador por bloqueo de poro. [22] .....	20
<b>Figura 21:</b> Extracción por válvula de muestreo. [23].....	22
<b>Figura 22:</b> Implementos necesarios para la toma de muestras. [25] .....	23
<b>Figura 23:</b> Extracción de muestra por vacío. [23].....	23
<b>Figura 24:</b> Implementos necesarios para la extracción de la muestra. [25] .....	24
<b>Figura 25:</b> Tapón para el drenaje del aceite. [25] .....	24
<b>Figura 26:</b> Envase de plástico. <b>Fuente:</b> Autores.....	26
<b>Figura 27:</b> Envases para muestras sellados. <b>Fuente:</b> Autores .....	27
<b>Figura 28:</b> Bolsa de cierre hermético. <b>Fuente:</b> Autores .....	28
<b>Figura 29:</b> Envase para muestra. <b>Fuente:</b> Autores .....	28
<b>Figura 30:</b> Envase enroscado en bomba de vacío. <b>Fuente:</b> Autores.....	29
<b>Figura 31:</b> Longitud de la manguera. <b>Fuente:</b> Autores .....	29
<b>Figura 32:</b> Manguera en bomba. <b>Fuente:</b> Autores.....	29
<b>Figura 33:</b> Manguera en el depósito del sistema hidráulico. <b>Fuente:</b> Autores .....	30
<b>Figura 34:</b> Succión del aceite usado. <b>Fuente:</b> Autores .....	30
<b>Figura 35:</b> Envase en la bolsa cierre hermético. <b>Fuente:</b> Autores.....	30

<b>Figura 36:</b> Pala cargadora. <b>Fuente:</b> Autores.....	31
<b>Figura 37:</b> Volquete. <b>Fuente:</b> Autores.....	32
<b>Figura 38:</b> Volquete. <b>Fuente:</b> Autores.....	32
<b>Figura 39:</b> Pala cargadora. <b>Fuente:</b> Autores.....	33
<b>Figura 40:</b> Pala cargadora. <b>Fuente:</b> Autores.....	33
<b>Figura 41:</b> Volquete. <b>Fuente:</b> Autores.....	34
<b>Figura 42:</b> Pala cargadora. <b>Fuente:</b> Autores.....	34
<b>Figura 43:</b> Volquete. <b>Fuente:</b> Autores.....	35
<b>Figura 44:</b> Diagrama de caja y bigotes. <b>Fuente:</b> Autores. ....	36
<b>Figura 45:</b> Graficas de dispersión para partículas de 1 micra. <b>Fuente:</b> Autores. ....	40
<b>Figura 46:</b> Graficas de dispersión para partículas de 5 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	42
<b>Figura 47:</b> Graficas de dispersión para partículas de 10 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	44
<b>Figura 48:</b> Graficas de dispersión para partículas de 15 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	46
<b>Figura 49:</b> Graficas de dispersión para partículas de 20 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	48
<b>Figura 50:</b> Graficas de dispersión para partículas de 30 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	50
<b>Figura 51:</b> Graficas de dispersión para partículas de 50 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	52
<b>Figura 52:</b> Graficas de dispersión para partículas de 70 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	54
<b>Figura 53:</b> Tendencia para partículas de 1 micra. <b>Fuente:</b> Autores. ....	58
<b>Figura 54:</b> Tendencia para partículas de 5 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	60
<b>Figura. 55:</b> Tendencia para partículas de 10 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	62
<b>Figura. 56:</b> Tendencia para partículas de 15 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	64
<b>Figura. 57:</b> Tendencia para partículas de 20 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	66
<b>Figura 58:</b> Tendencia para partículas de 30 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	68
<b>Figura 59:</b> Tendencia para partículas de 50 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	70
<b>Figura 60:</b> Tendencia para partículas de 70 micras. <b>Fuente:</b> Autores.....	72

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Tipos de fluidos hidráulicos de acuerdo a la norma ISO 6743-4:1999. [10] .....	14
<b>Tabla 2:</b> Etiquetado para las muestras. <b>Fuente:</b> Autores .....	28
<b>Tabla 3:</b> Listado de máquinas analizadas. <b>Fuente:</b> Autores. ....	35
<b>Tabla 4:</b> Análisis de dispersión para partículas de 1 micra. <b>Fuente:</b> Autores. ....	41
<b>Tabla 5:</b> Análisis de dispersión para partículas de 5 micra. <b>Fuente:</b> Autores. ....	43
<b>Tabla 6:</b> Análisis de dispersión para partículas de 10 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	45
<b>Tabla 7:</b> Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 15 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	47
<b>Tabla 8:</b> Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 20 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	49
<b>Tabla 9:</b> Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 30 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	51
<b>Tabla 10:</b> Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 50 micras. <b>Fuente:</b> Autores .....	53
<b>Tabla 11:</b> Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 70 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	55
<b>Tabla 12:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 1 micra. <b>Fuente:</b> Autores. ....	59
<b>Tabla 13:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 5 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	61
<b>Tabla 14:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 10 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	63
<b>Tabla 15:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 15 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	65
<b>Tabla 16:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 20 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	67
<b>Tabla 17:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 30 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	69
<b>Tabla 18:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 50 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	71
<b>Tabla 19:</b> Parámetros analizados en la tendencia para 70 micras. <b>Fuente:</b> Autores. ....	73
<b>Tabla 20:</b> Resumen del análisis de tendencia. <b>Fuente:</b> Autores. ....	74
<b>Tabla 21:</b> Resumen del análisis de Box-Plot. <b>Fuente:</b> Autores. ....	74



## Capítulo 1

# Fundamentación Teórica

### 1.1. MÁQUINARIA PESADA

Maquinaria pesada es un término general para referirse a una categoría diversa de vehículos de grandes proporciones geométricas, además de un volumen y peso considerables, operados fuera de carreteras y autopistas con diseños especiales para realizar una amplia variedad de tareas industriales. Si bien el equipo puede compartir muchas características de los vehículos de carretera construidos principalmente para transportar personas y mercancías a alta velocidad, la maquinaria pesada funciona en amplios sectores industriales, como la minería, la agricultura, la construcción, manejo de materiales, etc. Las velocidades de estos equipos no deben exceder los 72 kilómetros por hora, y no debe haber capacidad para transportar ocupantes que no sean el conductor y el personal de operación.

#### 1.1.1. Clasificación general

Para establecer una clasificación general para la maquinaria pesada se pueden tomar en cuenta diferentes criterios, siendo los más comunes los señalados a continuación:

- Según la fuente de energía
- Según el sistema de traslación
- Según las operaciones que realizan

Tomando en cuenta el criterio de acuerdo a la operación que realizan se tienen los siguientes tipos de maquinaria pesada:

#### - **Excavadora**

Son un tipo de maquinaria pesada que se usan comúnmente en aplicaciones de movimiento de tierras, excavación de zanjas y carga. Cuenta con una gran pluma de cuello



de cisne y un cucharón en la parte frontal de la máquina que se montan con una cabina para el operador en una plataforma giratoria. La plataforma puede girar 360 grados para permitir que el operador gire la pluma y el cucharón en cualquier dirección. Esta máquina es autopropulsada ya sea por orugas o ruedas. [1]

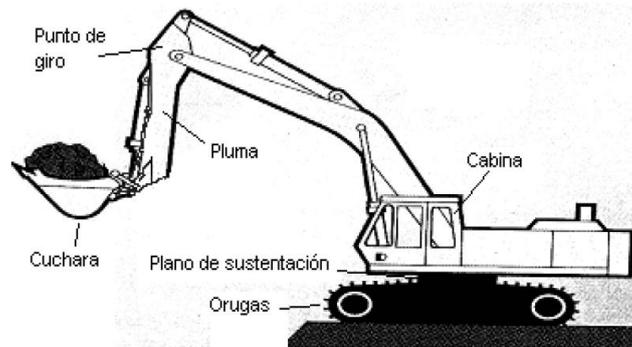


Figura 1: Excavadora típica. [1]

#### - Retroexcavadora

Es un tipo de maquinaria pesada que dispone de una pala ancha capaz de mover volúmenes considerables de tierras y por otro lado dispone de una pala con brazo articulado muy práctica para la ejecución de zanjas, trabajos en taludes, desescombro, etc. Por su reducido volumen y practico diseño es capaz de moverse en terrenos difíciles por lo cual su uso es imprescindible en cualquier empresa dedicada al movimiento de tierras y/o construcción.



Figura 2: Retroexcavadora típica. [1]



- **Tractor con hoja de empuje**

Máquina para movimiento de tierra que cuenta con una gran potencia y robustez, se mueve sobre orugas y tiene una hoja ancha montada en la parte delantera, esta se controla hidráulicamente, por lo general, puede elevarse, bajarse e inclinarse para adaptarse a necesidades específicas. En esta máquina son montados diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, además debido a su gran potencia tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten.

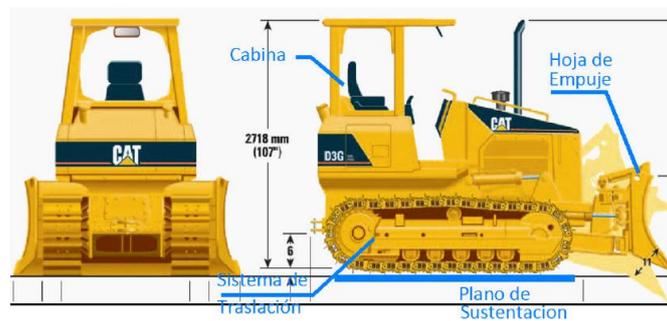


Figura 3: Tractor con hoja de empuje típico. [1]

- **Pala cargadora**

Una pala cargadora es un tipo de maquinaria que tiene una pala de considerable volumen montada en la parte frontal de la máquina, se asemeja al tractor con hoja de empuje con la diferencia de que mientras el tractor está diseñado para empujar material, la pala cargadora está diseñada para recoger material, transportarlo a un área diferente y descargarlo. Uno de los beneficios de esta máquina es que los brazos se pueden elevar lo suficientemente alto como para descargar material en pilas o en un camión volqueta.



Figura 4: Pala cargadora. [1]



### - Motoniveladora

Es un tipo de maquinaria pesada usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Generalmente se la considera dentro del área de conformación o terminación superficial. De cierta forma puede imitar la función de los tractores, pero su diferencia radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor. Por lo cual es más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisión.

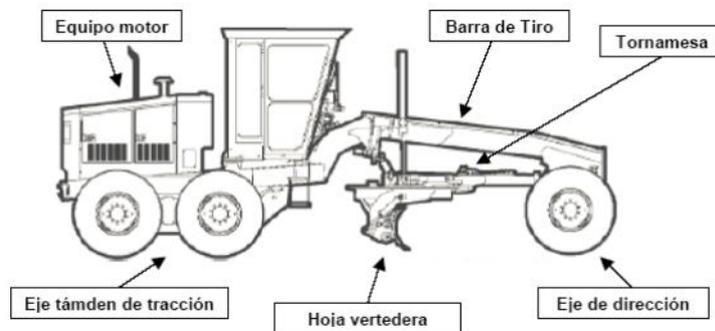


Figura 5: Motoniveladora. [2]

### - Rodillo compactador

Dentro de las máquinas compactadoras se pueden tener las siguientes:

- De rodillo liso
- Rodillos con salientes
- Rodillos neumáticos
- Compactadoras de impacto

De manera general un rodillo compactador consiste en un cilindro de acero con un determinado peso que compacta el material por presión, por peso propio durante la operación.



Figura 6: Rodillo liso. [3]

- **Unidades de acarreo o transporte**

Generalmente definidos como camiones volquete, este tipo de maquinaria tienen como propósito fundamental mover con seguridad grandes cantidades de material de un lugar a otro. Poseen una tolva cuya capacidad puede ser al ras o colmada, el peso a cargar en dicha tolva está en función del tipo de material.

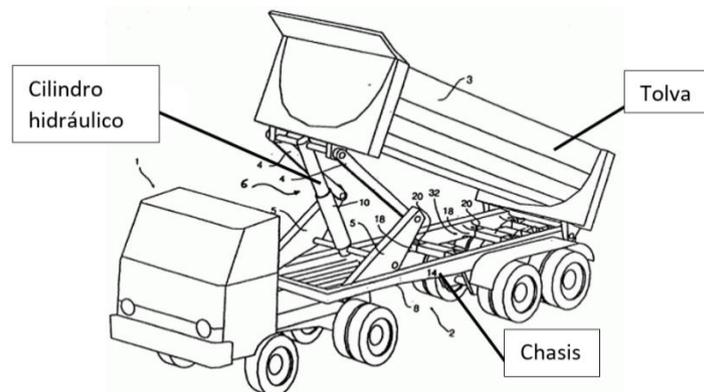


Figura 7: Camión volqueta. [4]

1.1.2. Sistemas principales

Dentro de los elementos principales que componen los equipos de maquinaria pesada se distinguen los siguientes:

- **Potencia y fuentes de energía**

Tanto la potencia como el torque requerido por la maquinaria pesada deben estar acorde a los requerimientos de los diversos tipos de maquinaria ya que cada uno se desarrolla en operaciones diferentes como se detalló en los apartados anteriores.



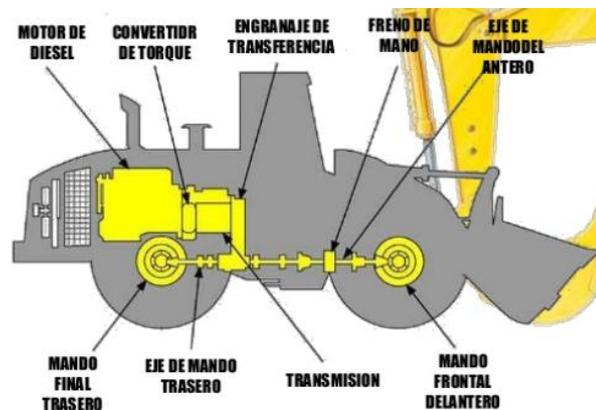
La fuente de energía ideal para conseguir las mejores prestaciones y un óptimo desempeño de la maquinaria pesada se consigue a través de la transformación de la energía química en energía térmica cuyo proceso se lleva a cabo en el interior de un motor de combustión interna a Diésel.

- **Tren de fuerzas**

El tren de fuerzas tiene como misión principal convertir la energía generada por el motor de combustión interna en movimiento ya sea para trasladar a la maquinaria o para que la misma efectúe determinada acción.

Dentro de los elementos que conforman el tren de fuerza motriz se recalcan los siguientes:

- Embragues
- Engranajes
- Frenos
- Rodamientos y cojinetes



*Figura 8: Esquema típico del tren de fuerzas. [5]*

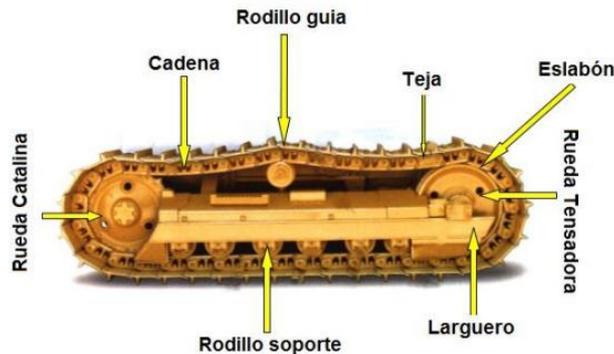
- **Actuadores: Palas, baldes y cuchillas**

Comprende los elementos mediante los cuales se distinguen los diferentes tipos de maquinaria y con los cuales realizan las respectivas operaciones para las cuales fueron diseñados.



- **Sistemas de traslación: ruedas neumáticas o de oruga**

- **Cadenas u orugas:** generalmente se utilizan en terrenos inestables de topografía accidentada estas presentan mayor tracción en el suelo, pero menor velocidad de desplazamiento.



*Figura 9: Tren de rodaje por cadenas u orugas. [6]*

- **Neumáticos:** este tipo de locomoción se utiliza generalmente para terrenos firmes de topografía relativamente plana, a diferencia de las orugas presentan menor tracción en el suelo y una mayor velocidad de desplazamiento.



*Figura 10: Neumáticos usados en equipos de maquinaria pesada. [1]*

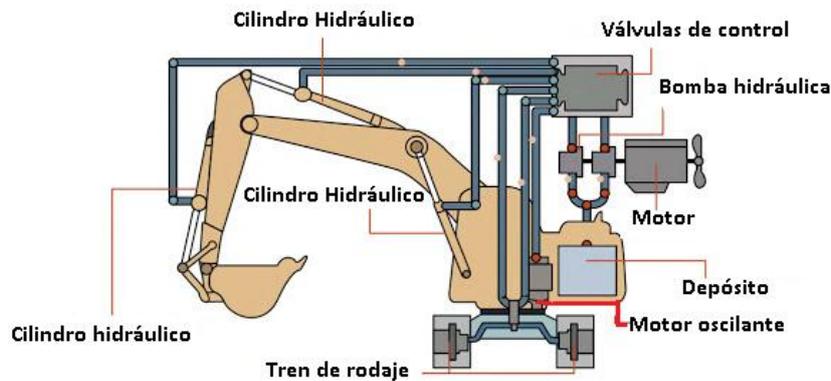
- **Sistemas Hidráulicos**

En la actualidad todas las máquinas destinadas a trabajos de gran envergadura utilizan los sistemas hidráulicos para su funcionamiento; de ahí la importancia que estos tienen en la configuración de los equipos y en su funcionamiento. Un sistema hidráulico proporciona la fuerza necesaria para el accionamiento de plumas, gatos estabilizadores, baldes o palas, utilizando para este fin bombas, cilindros, émbolos, válvulas, sellos y mangueras.



## 1.2. SISTEMA HIDRÁULICO

En un sistema de transmisión de energía hidráulica, la energía generada por el grupo hidráulico es transmitida por el fluido y convertida en energía mecánica por medio de actuadores lineales o rotativos. La transmisión de la energía se produce por medio de tubería y válvulas de no ser así debería realizarse por medio de transmisiones mecánicas, embragues, frenos, etc. Además, una misma fuente primaria de potencia hidráulica puede utilizarse para resolver los distintos movimientos de una misma máquina. Por ejemplo, en una pala excavadora, tanto los cilindros lineales como los motores de la transmisión pueden moverse simultáneamente sin que se observe apenas influencia de unos en los otros. [7]



*Figura 11: Circuito hidráulico típico. [1]*

### 1.2.1. Constitución de un sistema hidráulico

Generalmente se puede decir que en todo circuito hidráulico hay tres partes bien diferenciadas:

- El grupo generador de presión
- Los sistemas de mando
- Los actuadores

De donde se desglosan diferentes elementos, tales como:

- Depósito
- Bombas hidráulicas
- Válvulas hidráulicas
- Cilindros hidráulicos o actuadores
- Filtros



- **Deposito**

La principal función del depósito es almacenar el fluido, pero no siendo la única. Una cualidad muy importante de los depósitos es que deben ser totalmente herméticos, de esta manera se impedirá tanto fugas como ingreso de agentes externos que pueden perjudicar al desempeño de todo el circuito hidráulico.

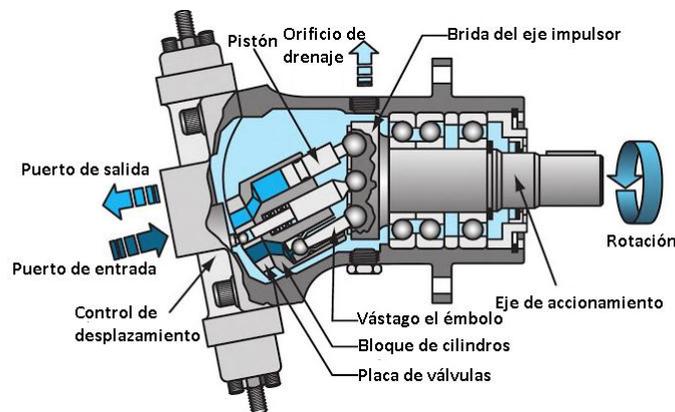
- **Bomba hidráulica**

El propósito de una bomba hidráulica es proporcionar al sistema hidráulico de la máquina el flujo requerido de fluido hidráulico para que el sistema pueda funcionar correctamente.

El flujo de fluido es utilizado en última instancia por los actuadores del sistema para realizar las diferentes operaciones. Una bomba hidráulica es una máquina de conversión de energía que cambia la salida de potencia mecánica giratoria del motor primario (generalmente un motor Diésel) a potencia de fluido hidráulico.

Las bombas no producen presión; solo producen flujo. Sin embargo, el flujo que producen debe superar la presión desarrollada en el sistema. Esta presión se produce principalmente por la carga que el sistema está diseñado para mover. Algunos ejemplos de cargas con las que se encuentra una máquina pueden ser levantar grandes pesos, cavar en tierras duras pulverizar rocas, mover grandes cantidades de tierras, etc.

Dentro de la maquinaria pesada el tipo de bomba más utilizada es la de pistones debido a que producen mayor fuerza.



**Figura 12:** Bomba de pistón con eje en ángulo. [8]



- **Válvulas**

Las válvulas se utilizan para gestionar el flujo y la presión en los circuitos hidráulicos. La presión del fluido hidráulico en un circuito y en todo el sistema debe controlarse a niveles de presión específicos para evitar daños en los componentes y permitir que el sistema funcione según lo diseñado. Las válvulas de regulación de presión se controlan principalmente mediante la presión del resorte que se puede ajustar manualmente, pero podrían ajustarse de forma electrónica o hidráulica. Existen tres tipos básicos de válvulas utilizadas en los sistemas hidráulicos.



*Figura 13: Conjunto de válvulas de control. [1]*

- Válvulas de control de presión
- Válvulas de control direccional
- Válvulas de control de flujo

- **Cilindros hidráulicos o actuadores**

Los actuadores convierten la energía hidráulica en energía mecánica para realizar las operaciones de trabajo.

Los cilindros hidráulicos producen un movimiento lineal utilizado para operar cucharones, hojas, plumas y otros implementos.

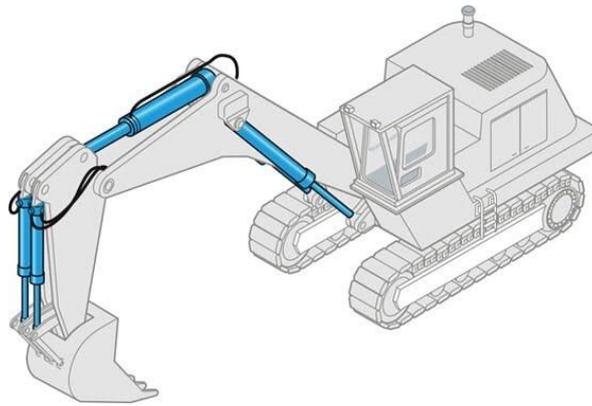


Figura 14: Disposición de los cilindros hidráulicos en una excavadora. [1]

### - Filtros

Los filtros son una parte esencial para conservar la integridad del fluido y asegurar el buen funcionamiento de los sistemas hidráulicos. Estos elementos se emplean para el control de la contaminación por partículas sólidas de origen externo y las generadas internamente por procesos de desgaste o de erosión de las superficies de la maquinaria, permitiendo preservar la vida útil tanto de los componentes del equipo como del fluido hidráulico.

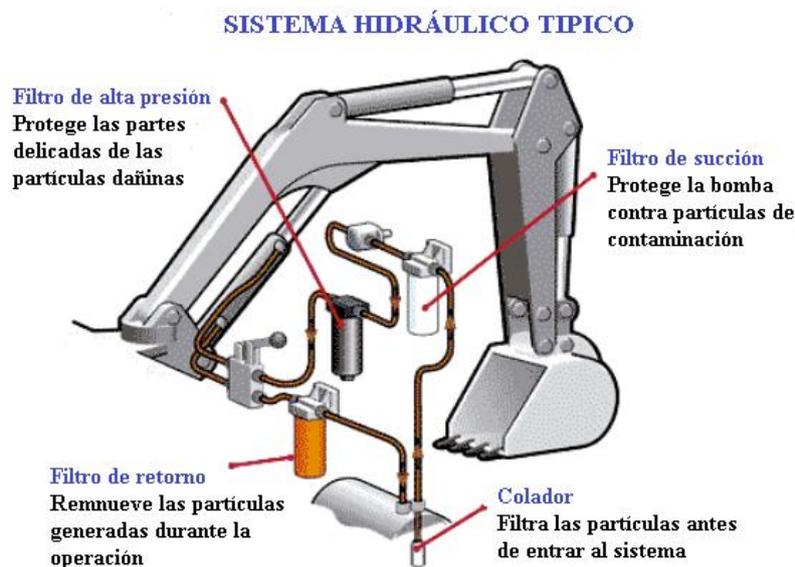


Figura 15: Filtros utilizados dentro de la maquinaria pesada. [9]

### 1.2.2. Principales causas de fallo de los sistemas hidráulicos

“Según un estudio del MIT, las causas de fallo en una instalación hidráulica se deben, en un 50%, al desgaste mecánico; en un 20%, a la corrosión; en un 15%, a los accidentes, y



sólo en un 15%, a la obsolescencia. Los fallos por desgaste mecánico se reparten entre abrasión, fatiga, adhesión por soldadura fría y erosión”. [7]

**Fallo de degradación:** tienden a ocurrir gradualmente durante largos períodos de tiempo. Por lo general, se asocian con el desgaste y se manifiestan con flujos disminuidos, velocidades reducidas del cilindro, fugas de la válvula y síntomas similares de deterioro general. Los problemas con la contaminación de fluidos pueden acelerar este tipo de fallas. [1]

**Fallos transitorios:** son intermitentes, pueden aparecer y desaparecer, pero generalmente indican un problema subyacente que deberá ser abordado. Por ejemplo, las partículas en el fluido contaminado podrían afectar temporalmente los engranajes en una bomba. Si las partículas se desprenden por sí mismas, la bomba podría volver temporalmente al funcionamiento normal. Sin embargo, la contaminación del fluido tendrá que abordarse para evitar fallas en los componentes. [1]

**Fallos catastróficos:** representan un mal funcionamiento completo de un componente o sistema. Ocurren de repente y sin previo aviso. La mayoría de las veces, las fallas catastróficas ocurren cuando las fallas transitorias se descuidan con el tiempo. Normalmente son las fallas que más tiempo y costes representan en su reparación. [1]

Si bien un programa de mantenimiento preventivo cuidadosamente desarrollado puede resolver muchos de estos problemas del sistema hidráulico, la verdad es que ningún programa de mantenimiento detectará y corregirá todos los problemas con anticipación. Los componentes se desgastan con el tiempo y no siempre se pueden diagnosticar en la medida en que puedan reemplazarse antes de que fallen. Pero desarrollar y seguir un programa de mantenimiento preventivo es la mejor manera de minimizar los problemas antes de que se conviertan en fallas costosas.

### 1.3. FLUIDO HIDRÁULICO PARA MÁQUINARIA PESADA

“Los fluidos utilizados en los sistemas hidráulicos tienen la misión de transmitir potencia, lubricar, minimizar fugas y pérdidas de carga. Una adecuada elección del fluido asegurará una durabilidad y rendimiento satisfactorio de los componentes del sistema, principalmente las bombas, los motores hidráulicos y los elementos actuadores”. [10]



### 1.3.1. Propiedades de los fluidos hidráulicos

Los fluidos hidráulicos deben reunir ciertas propiedades con la finalidad de asegurar el buen funcionamiento de todos los sistemas, entre las más importantes se encuentran las siguientes:

- **Punto de fluidez.** El punto de fluidez indica la temperatura más baja a la que puede fluir un líquido. Esta es una característica importante, sobre todo en los casos en que el sistema hidráulico trabaja a temperaturas muy bajas.
- **Compresibilidad.** Como se ha visto en la teoría de la mecánica de fluidos los líquidos son poco compresibles, y su grado de compresión aumenta al ser mayor su viscosidad.
- **Poder antiespumante.** La formación de espuma dependerá de la dispersión de aire en el aceite. Por lo cual un buen aceite contiene siempre aditivos que dificultan la absorción de gases y a su vez facilitan la separación del aire que haya penetrado en el aceite. Una cantidad considerable de espuma en el aceite producirá anomalías y ruidos durante el funcionamiento.
- **Poder anti emulsivo.** Es la capacidad que posee el aceite para mantener el agua separada del mismo. Si existiese mucha cantidad de agua en el aceite, se favorecería la acumulación de contaminantes que pueden originar un rápido desgaste.
- **Resistencia al envejecimiento.** Los aceites derivados del petróleo son particularmente susceptibles a la oxidación por acción del oxígeno, lo que reducirá apreciablemente su duración en óptimas condiciones de servicio. De igual forma el envejecimiento se favorece con la presencia de ciertos metales como el plomo, el latón o el cobre. El envejecimiento puede ser combatido incorporando aditivos que se depositen en forma de película sobre las superficies metálicas para evitar que sean atacadas químicamente.
- **Punto de congelación.** Es un concepto asociado a la viscosidad en frío e indica la temperatura a la cual un líquido deja de fluir libremente.
- **Punto de inflamación.** Indica la temperatura a la cual surge una llamarada de forma repentina sobre la superficie del aceite cuando se aproxima una llama o se hace saltar una chispa. Cuando la llama se mantiene, indica que se ha alcanzado el punto de combustión.



- **Punto de auto inflamación.** Es la temperatura a la cual los vapores de aceite se inflaman espontáneamente.
- **Untuosidad.** Es la propiedad de los aceites que representa su poder para adherirse a las superficies metálicas que necesitan lubricación.
- **Viscosidad.** La viscosidad es una de las características más importantes de los líquidos hidráulicos. Es una medida de la resistencia de un líquido a la circulación a lo largo de una tubería. Un líquido satisfactorio para un sistema hidráulico debe tener la viscosidad adecuada para que fluya correctamente por las tuberías y a la vez no produzca fugas internas en las bombas, motores y válvulas.

### 1.3.2. Tipos de fluidos hidráulicos utilizados en maquinaria pesada

De acuerdo a la norma ISO 6743-4:1999 que clasifica los fluidos hidráulicos según sus bases y propiedades particulares se tiene los siguientes tipos de fluidos para aplicaciones hidráulicas.

*Tabla 1: Tipos de fluidos hidráulicos de acuerdo a la norma ISO 6743-4:1999. [10]*

Denominación	Características	Aplicaciones
<b>HL</b>	Protección anticorrosiva y resistencia al envejecimiento, depresores de punto de congelación y antiespumante.	Equipos que realicen grandes esfuerzos térmicos. Equipos propicios a la corrosión debido a entradas de agua.
<b>HLP</b>	Igual que HL y mayor resistencia al desgaste.	Igual que los HL, y equipos con fricciones considerables.
<b>HV</b>	Basados en aceite mineral y poseen un muy alto índice de viscosidad.	Igual que los HLP y equipos con amplios rangos de temperatura de utilización.
<b>HG</b>	Hidráulicos en general y guías. Aditivos anti stock-slip.	Empleado en máquina herramienta.

### 1.4. ANÁLISIS DE FLUIDOS HIDRÁULICOS

Se basa en un conjunto de procedimientos, mediciones y pruebas, utilizadas para el control del estado del fluido. El análisis del aceite también nos puede dar pautas para conocer la condición actual de las partes de la maquinaria.



Tiene la finalidad de recopilar información, para poder establecer acciones, minimizar los gastos operativos mediante el correcto mantenimiento de la maquinaria y aprovechando la vida útil total de estos fluidos. [11]

Al conocer el estado actual del fluido se puede determinar de una manera más precisa los periodos de reemplazo del mismo, sustituyendo lo establecido por el fabricante. En numerosos casos, reemplazar los fluidos hidráulicos resulta innecesario debido a que estos se encuentran aún en condiciones aptas para su correcto desempeño [12]. La pérdida de producción es el costo más representativo en la mayor parte de las empresas, la cual se da cuando la maquinaria no trabaja por paradas de mantenimiento [13].

Por lo cual, si el estado del fluido hidráulico se controla adecuadamente hasta alcanzar los límites de degradación con un método de análisis como el conteo de partículas, los intervalos de reemplazo de aceite se pueden optimizar, lo que significa que la disponibilidad de la maquinaria pesada aumenta, así como su tiempo de producción y reducción de los costos de operación.

Dado que el fluido hidráulico usado contiene un número elevado de partículas estas pueden ser analizadas con la finalidad de conocer el estado de los componentes hidráulicos y determinar los tipos de desperfectos que se pueden dar en los mismos.

#### 1.4.1. Contaminación del aceite

El principal problema de los sistemas hidráulicos es la contaminación, ya sea del ambiente o del interior de los mismos. En la siguiente sección se especifican cuatro tipos de contaminantes más comunes en los aceites hidráulicos y de lubricación.

- **Contaminación por partículas:** Se conoce que las partículas abrasivas son las causantes de la mayor parte de los desgastes que a su vez terminan en fallas.
- **Contaminación por humedad:** Es la que más afecta a los sistemas hidráulicos y mecanismos lubricados. El agua es el segundo contaminante que más daños produce en los equipos.
- **Contaminación por combustible:** Afecta a motores automotrices dado que generalmente los aceites de motor contienen un porcentaje concentración de combustible que se produce durante el funcionamiento.



- **Contaminación por Hollín:** El hollín se produce en la combustión, este se acumula por prologar el cambio de aceite o una mala combustión en los cilindros del motor. [14]

## 1.5. TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Con la finalidad de analizar el aceite hidráulico usado, se puede utilizar una gran variedad de técnicas para conocer el estado del mismo, una de los procedimientos más utilizado es el conteo de partículas, del cual se van a destacar:

### 1.5.1. Ferrografía

Es una técnica analítica que separa las partículas pequeñas (1-20 $\mu$ m) de las muestras de fluido usado, este proceso se realiza con una resolución muy alta con la finalidad de analizar la morfología detalladamente. Se base en separar mediante un proceso magnético las partículas, lo cual explica por qué se utiliza solo para analizar materiales ferromagnéticos.

Lo anterior explica porque se utiliza esta técnica para el análisis de desgastes dado que se omite las demás impurezas que no son atraídas por el campo magnético. La ferrografía utiliza dos procedimientos la analítica y de lectura.

- **Ferrografía analítica**

Se base en hace fluir la muestra de aceite sobre un plano con una determinada inclinación aplicando un campo magnético muy elevado. Este dispositivo se denomina ferrógrado en cual cuenta con una bomba que desplaza a una velocidad baja y constante la muestra de fluido, un electroimán produce el campo magnético y una placa para la adherencia de la particular.

Cuando la muestra esta diluida con un solvente, con la finalidad de facilitar la deposición de las partículas ferrosas, se bombea sobre la placa que esta inclinada. Con el proceso anterior las partículas se aferran a la placa y se agrupan según su volumen, en la parte superior las partículas las de mayor volumen y en las de menor volumen en la parte inferior ya que las fuerzas gravitatorias las desplazan hacia abajo de la placa.

En aceite sobrante se retira con un diluyente y las partículas se aferran a la placa con un fijador. De la distribución de las partículas sobre la placa proviene el nombre ferrograma.



- **Ferrografía de lectura**

Se basa en la determinación de la concentración de los elementos de la muestra mediante dos lecturas particulares del ferrograma.



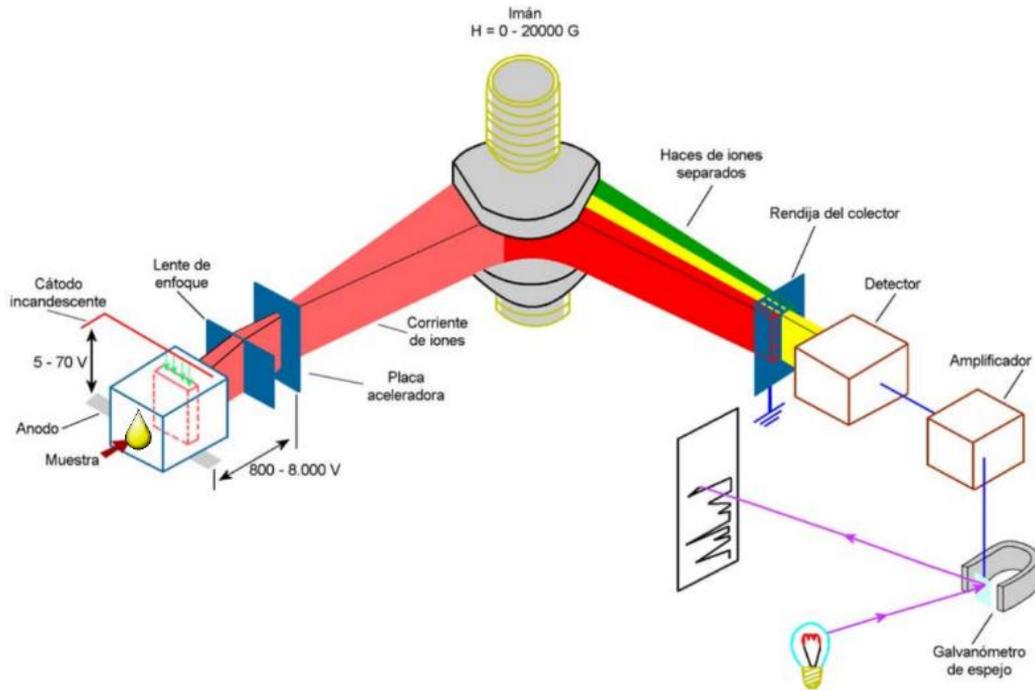
*Figura 16: Equipo Ferrógrafo para muestras de aceite. [15]*

### 1.5.2. Análisis Espectrográfico

Determina el contenido de metales en el fluido hidráulico en partes por millón(ppm), la prueba se desarrolla mediante espectrofotometría y absorción atómica. Al desarrollar la prueba los equipos usan cantidades de energía muy elevadas para poder excitar la muestra, lo que da como resultado la disociación de compuestos químicos.

Con la anterior se producen dos espectros característicos de átomos que contiene el fluido hidráulico y se definen por un línea fina y definida. Las líneas de emisión pueden ser, las atómicas cuando el electrón se desprende y las líneas iónicas productoras de un catión después de la pérdida de uno de sus electrones.

El resultado de desgaste de los elementos da la posibilidad de construir una curva tribológica de los elementos metálicos. Cuando se cambia el aceite se efectúan análisis determinados por el tipo de equipo y las características tribológicas, con esto podemos cuantificar el porcentaje de partes por millón de los metales que se contiene en la muestra. [16]



*Figura 17: Principio espectrográfico. [17]*

### 1.5.3. Análisis infrarrojo diferencial

Esta técnica forma parte de la espectrometría infrarroja, con este proceso se puede cuantificar y cualificar los elementos que contiene la muestra basándose en el análisis de las longitudes de onda que absorben radiación infrarroja.

En forma general se usa la comparativa de cualidades del aceite usado y el aceite nuevo, utilizando un equipo de doble haz para los análisis. Con los equipos correctos se pueden encontrar:

- Contaminación por agua
- Contaminantes de oxidación
- Contaminantes de nitración
- Contaminantes por glicol
- Combustible diluido



*Figura 18: Espectrómetro PerkinElmer transformada de Fourier. [18]*

#### 1.5.4. Conteo de partículas

Esta técnica determina el tamaño y como están dispuestas las partículas de la muestra, pero no proporciona datos sobre los elementos que las forman. También nos da el número de partículas diferenciadas por el volumen. Una de las normativas generalmente usadas para definir la cuantificación de las partículas es la norma ISO 4406. [19]

#### 1.6. NORMA ISO 4406

La Organización Internacional de Normalización (ISO) creó la norma de limpieza 4406:1999 para cuantificar los niveles de contaminación de partículas por mililitro de fluido en tres tamaños:  $4\mu$ ,  $6\mu$  y  $14\mu$ . Así mismo, según esta norma ISO se expresa en grupos de 3 números: 19/17/14. Cada número representa un nivel de contaminación de partículas según el tamaño correspondiente. El código incluye todas las partículas del tamaño especificado. Es importante tener en cuenta que, con cada aumento del número de código, el rango de cantidad de partículas se duplica. En la siguiente tabla se puede ver la tabla de códigos. [20]

A continuación, se presentarán los equipos generalmente utilizados para análisis de aceite por conteo de partículas.

- **Contadores ópticos**

El contador de bloqueo por luz blanca cuenta con un rayo perpendicular al fluido, que hace pasar las partículas a través de la celda de detección creando una sombra detrás del fluido. De esta forma se produce una caída de voltaje o energía, que es proporcional al tamaño de sombra y, por tanto, de partícula. [21]

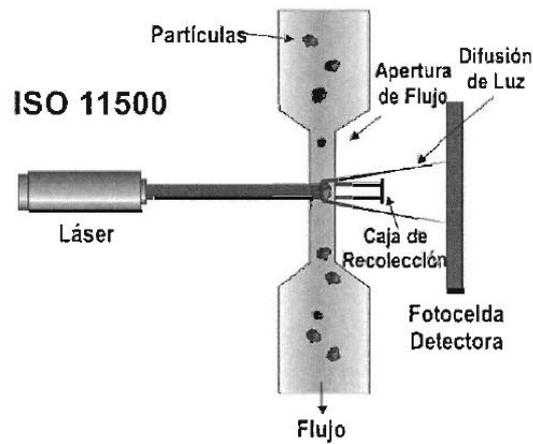


Figura 19: Contador óptico. [22]

- **Contadores por bloqueo de poro**

Emplean una malla fina por la cual se acumulan partículas en la malla. Estos contadores de partículas se basan en un diseño de flujo constante o de presión constante. Los instrumentos de flujo constante miden la caída de presión a través de la malla mientras mantienen el flujo constante. A diferencia de los contadores ópticos los contadores por bloqueo de poro cuentan con la ventaja de que los datos arrojados no se ven afectados por la presencia de burbujas de aire o agua ya que únicamente miden partículas sólidas. [21]

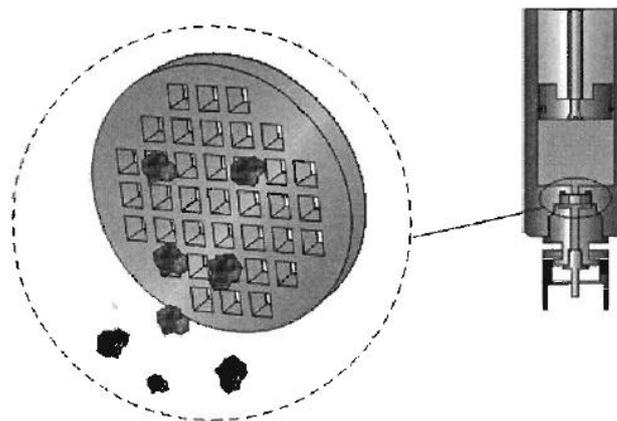


Figura 20: Contador por bloqueo de poro. [22]



## Recolección de Muestras

### 2.1. DETERMINACIÓN DE UN PROTOCOLO DE MUESTREO

Con la finalidad de llevar a cabo una recolección limpia de muestras se debe establecer un proceso ordenado que siga una secuencia en donde se evite contaminar las muestras con agentes externos, para de esta manera llevar a cabo un diagnóstico idóneo del estado de los sistemas hidráulicos de la maquinaria pesada del MTOP.

#### 2.1.1. Protocolo de muestreo

El diagnóstico se inicia con el proceso de toma de muestras. Es de vital importancia que la muestra se tome correctamente. Si la muestra de aceite no es representativa, entonces los resultados no reflejarán la verdadera imagen de lo que está sucediendo dentro del componente. El resultado final será un diagnóstico incorrecto en base a una muestra mal tomada.

##### - **Recomendaciones**

Es importante contar con un proceso eficiente para la toma de muestras, de una manera que pueda ser repetido y que represente la condición actual del aceite en el equipo.

Se deben tomar las muestras con las máquinas operando. No se deben tomar muestras en sistemas “fríos”. La metodología del análisis de aceite es similar a tomar una fotografía “instantánea” del sistema en el momento del muestreo. Ese momento debe ser cuando el sistema se encuentra en condiciones normales de operación y carga.

Se deben tomar las muestras antes de los filtros y a la salida de los componentes de la máquina tales como las bombas, cilindros, cojinetes o engranajes.



Los frascos tienen que estar sellados herméticamente y sólo deben ser abiertos al momento de la toma de la muestra, posterior a ello deben ser cerrados inmediatamente.

Es importante etiquetar cada una de las muestras indicando el equipo al que pertenecen, para poder llevar un adecuado historial de muestreo.

- **Métodos de muestreo**

Generalmente existen tres métodos para la toma de muestras:

- Mediante válvulas de muestreo
- Mediante extracción por vacío
- Desde el tapón de drenaje

**Extracción mediante las válvulas de muestreo**



*Figura 21: Extracción por válvula de muestreo. [23]*

Un equipo hidráulico, debería tener un punto de muestreo instalado donde se pueda tomar las muestras en operación normal. Esta válvula debería ser instalada delante del filtro para captar todas las partículas. Debe estar donde el aceite circula bajo presión, y no así en el reservorio o área sin movimiento. [24]

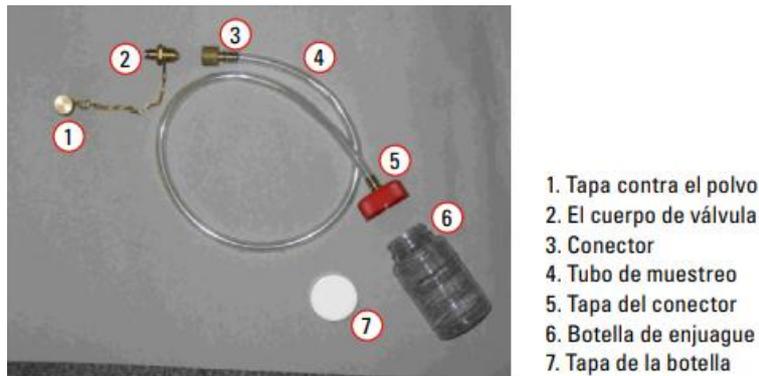


Figura 22: Implementos necesarios para la toma de muestras. [25]

Procedimiento:

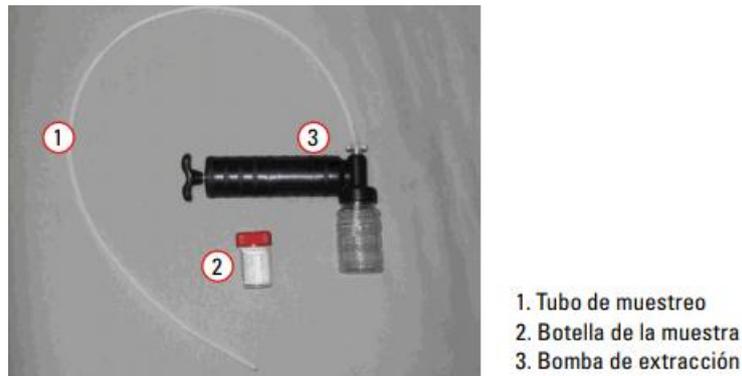
- Asegúrese que el aceite esté a la temperatura de operación - esto asegurará que el aceite se mezcle bien.
- Retire la cubierta de polvo, limpiar el orificio de la válvula y conecte el conector.
- Permitir que alrededor de medio litro de aceite se drene hacia la botella de enjuague con el fin de purgar el tubo de muestreo.
- Desconectar la botella de enjuague y coloque la botella de muestra.
- Llene la botella de la muestra hasta alrededor de las tres terceras partes.

### Método de extracción por vacío



Figura 23: Extracción de muestra por vacío. [23]

Este método para tomar muestras requiere una bomba de vacío. Se debe utilizar este método para los sistemas bajo presión que no están equipados con válvulas para tomar muestras.



**Figura 24:** Implementos necesarios para la extracción de la muestra. [25]

Procedimiento:

- Asegúrese de que el aceite esté a la temperatura de operación, esto asegurará que el aceite se mezcle bien.
- Insertar el tubo de muestra en el agujero de la varilla de medición o puerto de muestreo.
- Extraiga una pequeña muestra del aceite en la botella de enjuague con el fin de enjuagar el tubo de muestra.
- Coloque la botella de la muestra en la bomba y llene hasta las tres cuartas partes de la misma.

### Extracción por el tapón de drenaje

La recolección de muestras por el tapón de drenaje es el método menos confiable debido a que la contaminación de la muestra es posible por suciedad alrededor del tapón y los residuos que reposan en la parte inferior del sumidero. [25]



**Figura 25:** Tapón para el drenaje del aceite. [25]



Procedimiento:

- Asegúrese de que el aceite esté a la temperatura de operación.
- Esto asegurará que el aceite se mezcle bien.
- Limpiar alrededor del tapón del sumidero para eliminar cualquier suciedad que podría contaminar la muestra.
- Retire el tapón y dejar que alrededor de medio litro de aceite drene a los residuos, esto va a evitar la contaminación por los desechos en la parte inferior del sumidero.
- Llene la botella de la muestra hasta aproximadamente los tres cuartos de nivel.

### 2.1.2. Punto de extracción de la muestra

Los puertos para la toma de muestras se clasifican generalmente en dos categorías:

- Puertos primarios
- Puertos secundarios

#### **Puertos primarios**

Son los lugares donde se toman las muestras de rutina. El fluido obtenido en estos puntos es normalmente usado para el monitoreo de la contaminación del aceite, las partículas de desgaste y las propiedades físicas y químicas del aceite. Los puertos primarios de toma de muestras varían de sistema a sistema, sin embargo, siempre están colocados en una línea simple de retorno antes de que el aceite llegue al tanque o depósito. [26]

Las muestras tomadas en el puerto primario nos indican que algo cambia dentro del sistema, pero no en concreto que es lo que ha cambiado.

#### **- Puertos secundarios**

Los puertos secundarios de toma de muestra pueden ser colocados en cualquier lugar del sistema para aislar sus componentes. Ese es el lugar donde se puede encontrar la contaminación y el desgaste aportado por cada componente. [26]

A diferencia de los puertos primarios, las muestras tomadas en los puertos secundarios nos señalan con precisión la localización del problema.



Es necesario tomar muestras de múltiples puntos de un equipo con esto se elimina la mayoría de las conjeturas para señalar el componente problema. Se debe utilizar en combinación los puntos de muestreo señalados anteriormente para programar las paradas de la maquinaria y evitar el mantenimiento a componentes que no requieren reemplazo.

## 2.2. ENVASE PARA ALMACENAMIENTO

Para extraer muestras de aceite necesitamos un envase limpio, esto es primordial para el análisis en los sistemas hidráulicos, dado que al encontrarse contaminada la muestra la prueba tendrá resultado erróneos.



**Figura 26:** *Envase de plástico. Fuente: Autores*

Los tipos de envases están estandarizados con la norma ISO 3722 Hydraulic fluid power -Fluid sample containers - Qualifying and controlling cleaning methods, en las siguientes categorías diferenciadas por su limpieza. [27]

- Ultra-limpias: Número de partículas menor a 1 en 10  $\mu\text{m}/\text{ml}$  de fluido.
- Súper-limpia: Número de partículas menor a 10 en 10  $\mu\text{m}/\text{ml}$  de fluido.
- Limpia: Número de partículas menor a 100 en 10  $\mu\text{m}/\text{ml}$  de fluido.

### 2.2.1. Técnica para la hermeticidad con el ambiente

Para asegurar que la muestra no tenga modificaciones por agentes externos del ambiente al momento de la extracción. Dado que el ambiente presenta un sin número de impurezas es recomendable colocar al envase de la muestra que contiene el fluido hidráulico dentro de una bolsa plástica con características de hermeticidad, esta debe ser cerrada al momento de extraer la muestra. [11]



**Figura 27:** Envases para muestras sellados. **Fuente:** Autores

### 2.2.2. Etiquetado de las muestras de fluido

Los envases donde serán extraídas las muestras de fluido hidráulico usado contarán con un rotulado abreviado para identificarlas y no tener problemas al momento de diferenciarlas. Para organizar la información en el rotulado se dividirá en las siguientes secciones:

- Datos generales: Esta sección está en color celeste.

Institución

Fecha de muestreo

Ubicación

- Datos de la máquina: Esta sección está en color crema.

Registro

Modelo

Horas de la Máquina

- Datos de la muestra: Esta sección estará en color verde.

Marca de Fluido

Grado de Fluido

El rotulado contara con la siguiente información de acuerdo a nuestras necesidades como se puede ver en la siguiente tabla:



Tabla 2: Etiquetado para las muestras. Fuente: Autores

Muestra de Fluido Hidráulico			
Institución		Modelo	
Fecha		Horas	
Ubicación		Marca fluido	
Registro		Grado fluido	

### 2.3. PROCESO DE MUESTREO

En el siguiente apartado, se describe el procedimiento para la adquisición de muestras de aceite con el mínimo grado de contaminación.

- A. Preparar una bolsa hermética que se ajuste a las dimensiones del recipiente que contiene la muestra de fluido hidráulico.



Figura 28: Bolsa de cierre hermético. Fuente: Autores

- B. Disponer del envase para la recolección de la muestra, el mismo debe estar libre de cualquier contaminante externo.

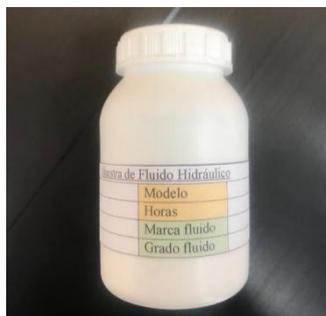


Figura 29: Envase para muestra. Fuente: Autores



- C. Con la bolsa sellada para evitar contaminación enroscar el envase en la bomba de vacío.



**Figura 30:** Envase enroscado en bomba de vacío. **Fuente:** Autores

- D. Cortar 1 metro de manguera, dado que esa es la longitud media de la profundidad de los depósitos de aceite hidráulico de la maquinaria pesada a analizar.



**Figura 31:** Longitud de la manguera. **Fuente:** Autores

- E. Encajar 8 cm de la manguera en la bomba de vacío y apretar el sistema de sujeción.



**Figura 32:** Manguera en bomba. **Fuente:** Autores



- F. Insertar la manguera en el depósito del sistema hidráulico de la respectiva máquina.



**Figura 33:** Manguera en el depósito del sistema hidráulico. **Fuente:** Autores

- G. Presionar reiteradamente la bomba de vacío hasta extraer 70 ml de aceite usado.



**Figura 34:** Succión del aceite usado. **Fuente:** Autores

- H. Desenroscar el envase de la bomba, colocar la tapa y sellar el mismo herméticamente con la bolsa.



**Figura 35:** Envase en la bolsa cierre hermético. **Fuente:** Autores



## 2.4. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Las altas temperaturas, como el frío pueden modificar la estabilidad interna del fluido hidráulico. Dado que el calor aumentara el nivel de oxidación del aceite. Las bajas temperatura da la posibilidad de generación de ceras y posible sedimentación. También es importante señalar que si se expone a variaciones bruscas de temperatura existe la posibilidad de aspiración de humedad en los envases.

Por los dicho anteriormente es importante tomar en cuenta los siguientes puntos para el correcto almacenamiento de las muestras.

- Mantener las muestras en un lugar seco y fresco, el rango de temperatura debe estar entre 0°C a + 25°C.
- Las partículas en el ambiente deben ser mínimas. Al aislar las muestras de agentes externos las mismas no presentaran deterioro en el envase o la etiqueta.
- Es importante limpiar las tapas y las esquinas de los envases antes de abrirlos. [28]

## 2.5. MÁQUINAS ANALIZADAS

### 1. Pala cargadora

**Marca:** CAT

**Ubicación:** Sevilla de Oro



*Figura 36: Pala cargadora. Fuente: Autores.*



2. Volquete

**Marca:** Volkswagen

**Ubicación:** Sevilla de Oro



*Figura 37: Volquete. Fuente: Autores.*

3. Volquete

**Marca:** INTERNATIONAL

**Ubicación:** Sevilla de Oro



*Figura 38: Volquete. Fuente: Autores.*



4. Pala cargadora

**Marca:** CASE

**Ubicación:** Cuenca



*Figura 39: Pala cargadora. Fuente: Autores.*

5. Pala cargadora

**Marca:** CAT

**Ubicación:** Cuenca



*Figura 40: Pala cargadora. Fuente: Autores*



6. Volquete

**Marca:** INTERNATIONAL

**Ubicación:** Cuenca



*Figura 41: Volquete. Fuente: Autores.*

7. Pala cargadora

**Marca:** DRESSER

**Ubicación:** Girón-Pasaje



*Figura 42: Pala cargadora. Fuente: Autores.*



8. Volquete

**Marca:** INTERNATIONAL

**Ubicación:** Molleturo



*Figura 43: Volquete. Fuente: Autores.*

Cabe recalcar que la vida útil de las máquinas analizadas varía de 10000 a 12000 horas según el fabricante, lo que es igual a un promedio de 6 años y el cambio de aceite hidráulico se recomienda cada 2000 horas o 6 meses.

Las máquinas analizadas están operativas un promedio de 18 años y el cambio de aceite se realiza cada 1000 horas, dado al presupuesto de ministerio de transporte de obras públicas no se puede adquirir nueva maquinaria.

Es importante recalcar que las máquinas analizadas se dividen en volquetes y excavadoras las cuales tienen una capacidad promedio de fluido hidráulico de 110 litros o 29 galones y 45,4 litros o 12 galones respectivamente.

*Tabla 3: Listado de máquinas analizadas. Fuente: Autores.*

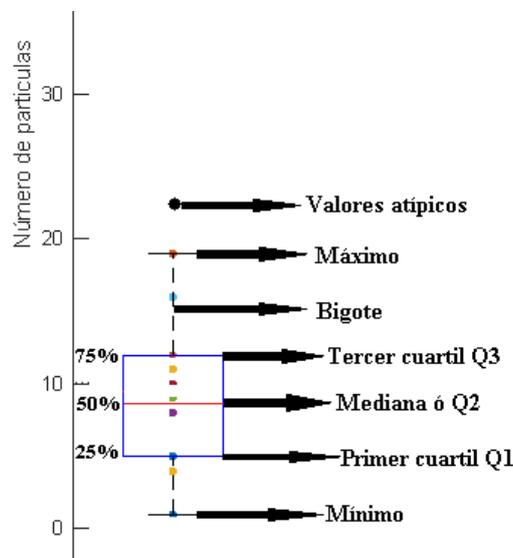
Máquina	Tipo	Marca	Ubicación
1	Pala cargadora	CAT	Sevilla de oro
2	Volquete	Volkswagen	Sevilla de oro
3	Volquete	INTERNATIONAL	Sevilla de oro
4	Pala cargadora	CASE	Cuenca
5	Pala cargadora	CAT	Cuenca
6	Volquete	INTERNATIONAL	Cuenca
7	Pala cargadora	DRESSER	Girón-Pasaje
8	Volquete	INTERNATIONAL	Molleturo



## Análisis de Resultados

### 3.1. ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE BOX-PLOT

Los diagramas de caja y bigotes o también conocidos como Box-Plot se utilizan para interpretar un conjunto de datos dispersos de manera lineal, dichos diagramas son de gran utilidad al momento de analizar la simetría que existe en la dispersión del conjunto de datos con los cuales se está trabajando. Además, en el diagrama de caja y bigotes se puede diferenciar otro parámetro muy relevante que son los valores atípicos.



**Figura 44:** Diagrama de caja y bigotes. **Fuente:** Autores.

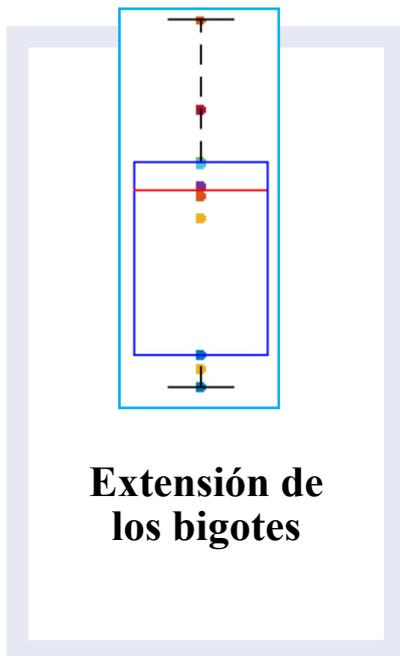
En la figura número 44 se observan las partes que componen un diagrama de caja y bigotes. A continuación, se describen cada una de ellas.

- Mínimo: es el valor más bajo del conjunto de datos.
- Primer cuartil Q1: indica el primer 25% del conjunto de datos, es la mediana de los datos comprendidos entre el mínimo y la mediana o Q2.



- Mediana o Q2: indica el 50% del conjunto de datos.
- Tercer cuartil Q3: indica el 75% del conjunto de datos, es la mediana de los datos comprendidos entre la mediana o Q2 y el máximo.
- Bigote: son los brazos que sobresalen del rectángulo. La extensión de los bigotes son un indicativo de cuán concentrados se encuentran los datos en el primer y el último 25%.
- Máximo: es el valor máximo del conjunto de datos.
- Valores atípicos: son valores que se encuentran por debajo del mínimo o sobre el máximo. Son datos que no tienen relación con el conjunto de datos.

### 3.1.1. Concentración y dispersión de los datos en el diagrama de Blox-Plot

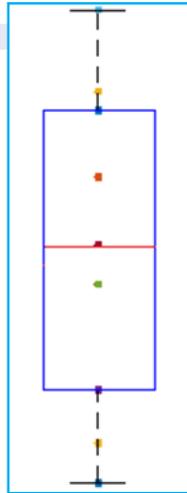


La extensión de los bigotes depende de la concentración o la dispersión de los datos tanto en el primer como en el último 25% del conjunto de datos.

Ya sea el bigote inferior o el superior pueden ser o más largos o más cortos esto depende de la dispersión de los datos.

Como se puede observar en la imagen el bigote inferior es más corto puesto que en esa sección los datos están más agrupados.

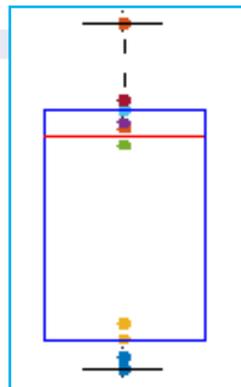
Mientras que el bigote superior es mucho más largo ya que los datos están más separados.



**Distribución simétrica**

La mediana se posiciona en el centro de la caja.

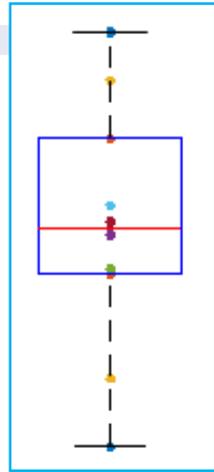
Los bigotes tienen la misma extensión.



**Distribución asimétrica negativa**

La mediana está posicionada más cerca del tercer cuartil Q3.

El diagrama se presenta de esta manera cuando los datos que se encuentran entre el 50 y el 75% están más agrupados.



**Distribución asimétrica  
positiva**

La mediana está posicionada más cerca del primer cuartil Q1.

El diagrama se presenta de esta forma cuando los datos que se encuentran entre el 25 y el 50 % están más agrupados.



Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 1 micra.

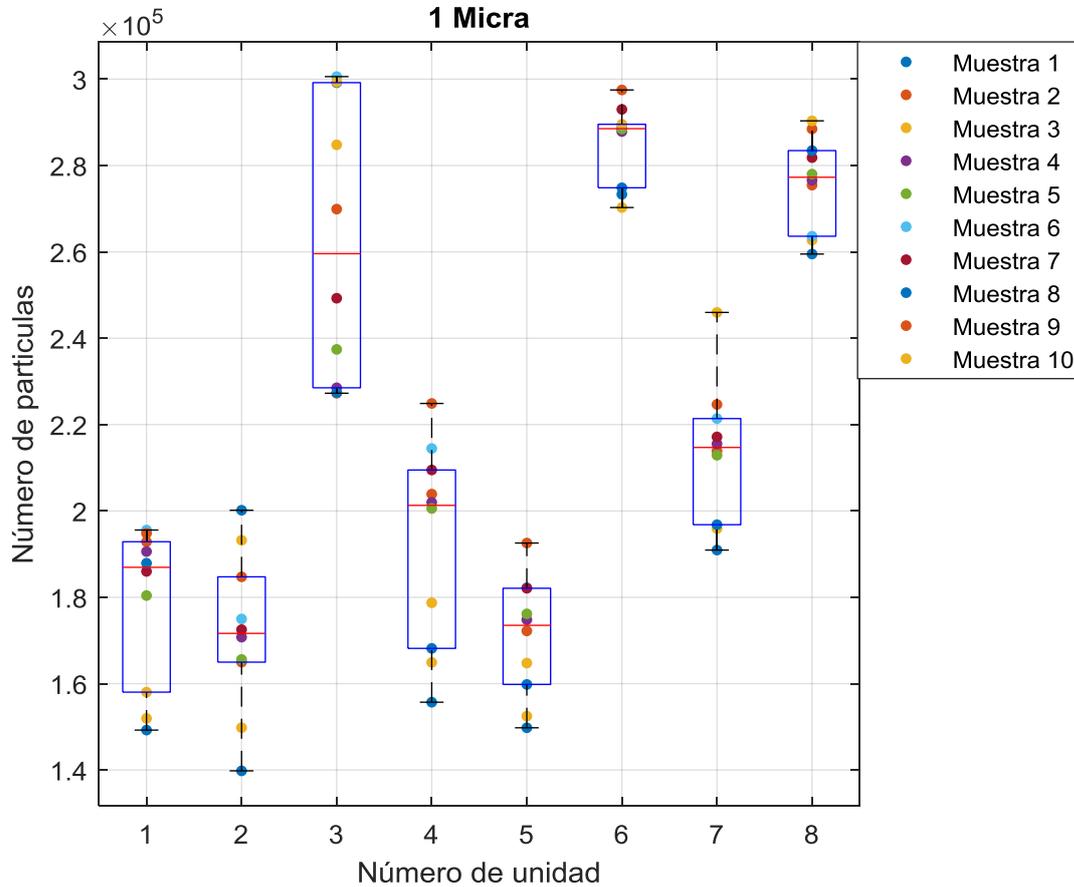


Figura 45: Graficas de dispersión para partículas de 1 micra. Fuente: Autores.

De acuerdo a la gráfica se puede observar que para tamaños de partículas de 1 micra se tiene una distribución en su mayoría negativa, lo que quiere decir que las partículas se están aglomerando en cantidades elevadas, lo cual no es beneficioso para el correcto funcionamiento de las máquinas.



**Análisis de graficas por dispersión en partículas de 1 micra.**

*Tabla 4: Análisis de dispersión para partículas de 1 micra. Fuente: Autores.*

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica negativa	No presenta	Se tiene mayor concentración de los datos en el bigote superior.	Por la posición de la mediana en el diagrama se determina que el cebado no logra mitigar el nivel de contaminación.
2	Asimétrica positiva	No presenta	Datos más concentrados del 25 al 50% de las muestras.	El nivel de contaminación es controlado medianamente, pues como se observa la mediana está desplazada hacia la parte inferior de la caja.
3	Asimétrica positiva	No presenta	La concentración de los datos en los bigotes es mayor que dentro de la caja.	Si bien el rango del nivel de contaminación es alto, el cebado logra mantener una concentración equilibrada.
4	Asimétrica negativa	No presenta	Datos más concentrados del 50 al 75% de las muestras.	Al igual que en el caso de la maquina 1 el cebado ya no logra controlar la contaminación presente en el circuito.
5	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos por debajo y sobre la mediana están bastante concentrados.	Con los consiguientes aditamentos de fluido hidráulico nuevo ya no se logra mitigar la contaminación puesto que la mediana tiende hacia una distribución negativa.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Datos bastante concentrados en el primer 25% y a partir del 50 al 100% de las muestras.	El aditamento deja de ser menos efectivo, lo que quiere decir que los intervalos y las cantidades de cebado no son adecuadas.
7	Asimétrica negativa	No presenta	Mayor concentración de los datos a partir del 50 al 75% de las muestras.	El desplazamiento de la mediana es un indicativo de que los niveles de contaminación tienden a aumentar, el cebado no logra mitigar la suciedad presente en el circuito.
8	Asimétrica negativa	No presenta	Mayor aglomeración de datos en el segundo rango intercuartílico.	Se observa que el cebado ya no es viable ya que la cantidad de fluido sucio presente en el circuito está compuesto de demasiada impurezas.



Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 5 micras.

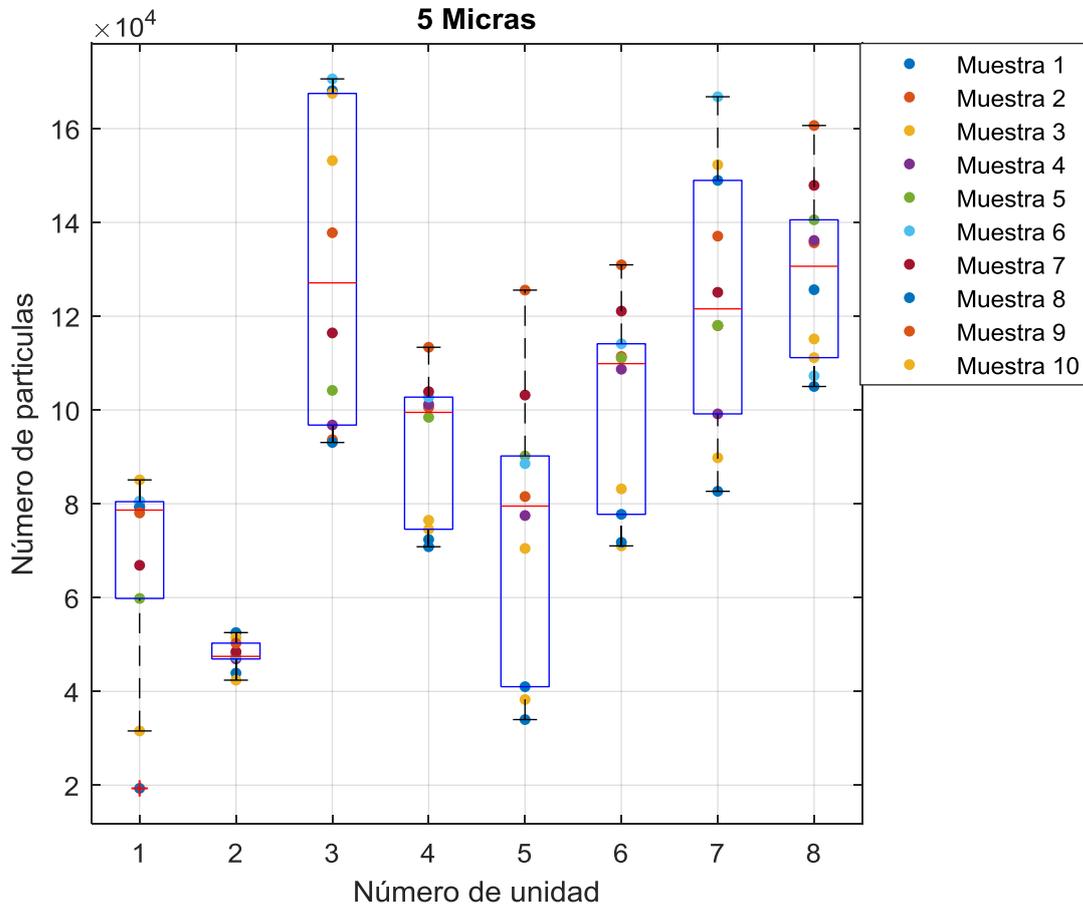


Figura 46: Graficas de dispersión para partículas de 5 micras. Fuente: Autores.

Basados en el estudio de la gráfica anterior se puede decir que se presentan partículas más dispersas para la mayoría de las máquinas, pero se continua con el comportamiento de una distribución negativa, esto representa una concentración de un número alto de partículas para cada unidad analizada.



**Análisis de graficas por dispersión en partículas de 5 micras.**

*Tabla 5: Análisis de dispersión para partículas de 5 micra. Fuente: Autores.*

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica negativa	Se encuentra en la muestra número 1	La mayor aglomeración de datos se da a partir del 25 al 100% de las muestras.	La efectividad del cebado se va perdiendo con cada adición.
2	Asimétrica positiva	No presenta	El total de las muestras están bastante concentradas.	El aditamento logra mitigar los niveles de contaminación , se observa que la dispersión es mínima.
3	Asimétrica negativa	No presenta	La posición de la mediana se asemeja a una distribución simétrica.	Para este tamaño de micras el rango es elevado, pero la contaminación se logra mantener equilibrada, tendiendo a descender.
4	Asimétrica negativa	No presenta	Se observa mayor concentración de las muestras en el primer 25% y a partir del 50 al 75%.	No se logra mitigar la contaminación, la tendencia se basa en un mayor número de partículas.
5	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos dentro de la caja y en el bigote superior están mucho más separados entre sí.	El cebado es cada vez menos efectivo, en ciertos puntos se logra reducir la contaminación, pero tiende a subir nuevamente.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Se tiene una mayor concentración de las muestras tanto en el primer 25% y entre el 50 y el 75%.	La presencia de un gran porcentaje de fluido contaminado, provoca que no se pueda reducir los niveles de contaminación.
7	Asimétrica positiva	No presenta	Se asemeja a una distribución de datos simétrica.	Si bien en la primera parte se consigue mantener bajos los niveles, con el tiempo estos aumentan.
8	Asimétrica negativa	No presenta	La única concentración de datos que se observa es en el bigote inferior.	El elevado rango y el desplazamiento de la mediana son un indicativo bajo rendimiento del cebado.



Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 10 micras.

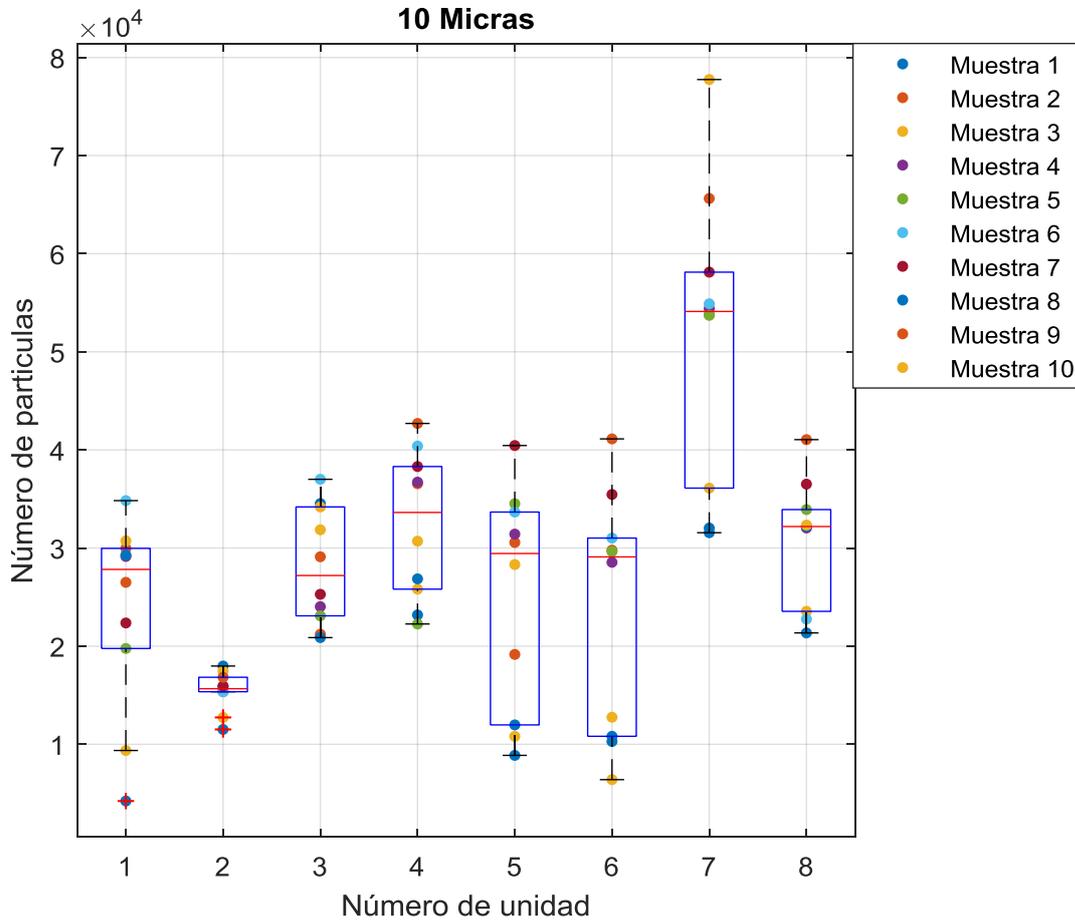


Figura 47: Graficas de dispersión para partículas de 10 micras. Fuente: Autores.

La grafica anterior nos muestra una distribución ligeramente similar en el caso de cada máquina lo que quiere decir que la reacción a la adición de fluido hidráulico tiende a ser equivalente.



**Análisis de graficas por dispersión en partículas de 10 micras.**

*Tabla 6: Análisis de dispersión para partículas de 10 micras. Fuente: Autores.*

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica negativa	Se presenta en la primera muestra	Se observa mayor aglomeración de datos en el segundo rango intercuartílico.	La concentración de las partículas son un claro indicativo de la poca efectividad del cebado.
2	Asimétrica positiva	Se presentan en la octava y decima muestra	La concentración de los datos a lo largo de todo el muestreo es bastante estrecha.	Se logra mitigar los niveles de contaminación, con lo cual se destaca que el cebado es adecuado hasta este punto.
3	Asimétrica positiva	No presenta	En el primer 25% así como en el primer rango intercuartílico las muestras están mucho más concentradas.	En este punto se observa que el rango logra disminuir, por otro lado se sigue manteniendo equilibrados los niveles de contaminación.
4	Asimétrica negativa	No presenta	La dispersión de los datos se ve reducida para el bigote inferior.	A corto plazo es efectivo el cebado alrededor de 5 muestras continuas, a partir de ahí se empiezan a elevar los niveles de contaminación.
5	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos se aglomeran a partir del 50% de las muestras.	No rinde efectividad el cebado, los niveles tienden a elevarse paulatinamente.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Se observa mayor concentración de datos alrededor del 50% de las muestras.	Al igual que en el caso anterior se pierde la estabilidad de la contaminación en niveles bajos.
7	Asimétrica negativa	No presenta	Existe aglomeración de datos en torno al 50% de las muestras.	El rango aumenta, con lo cual se observa que para el final del muestreo la adición de fluido nuevo deja de hacer efecto en la reducción de la contaminación.
8	Asimétrica negativa	No presenta	Se tiene una concentración de datos en el bigote inferior.	Con el continuo aditamento se logra mantener cierta estabilidad, pero posteriormente la tendencia indica un aumento en los niveles de contaminación.



Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 15 micras.

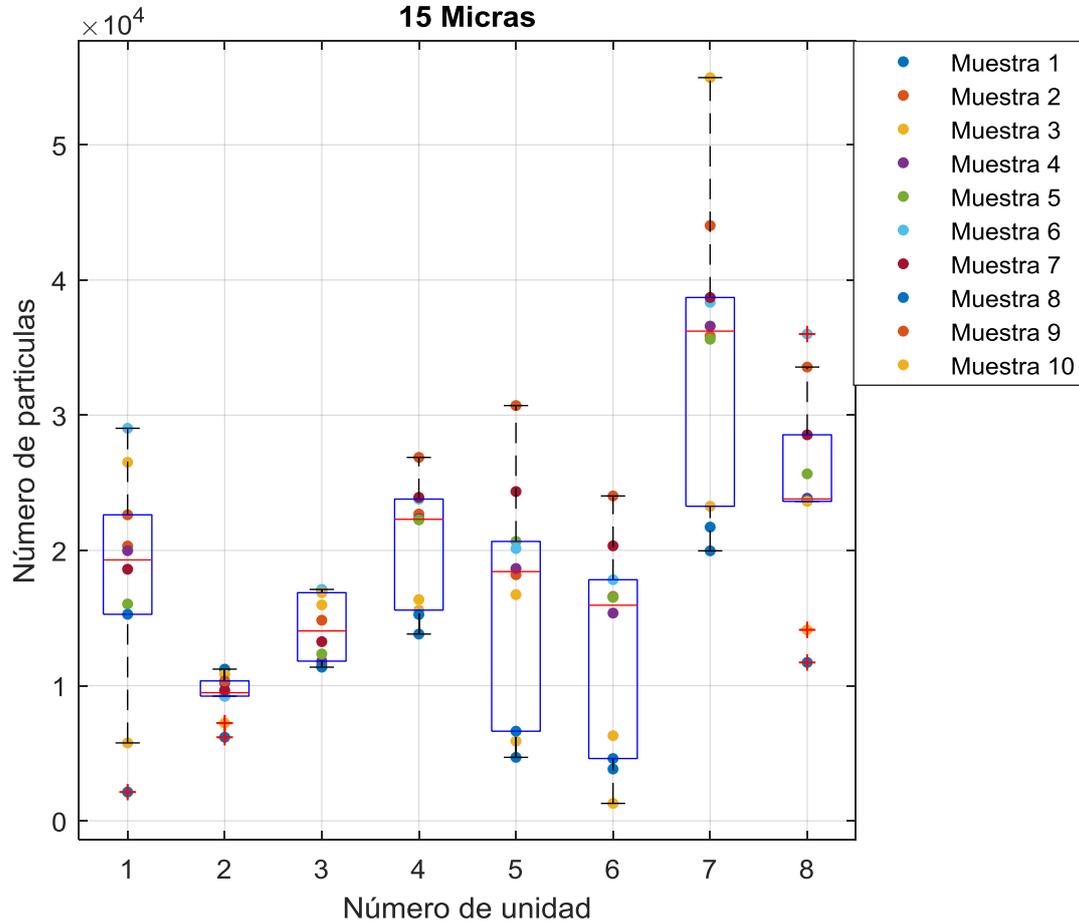


Figura 48: Graficas de dispersión para partículas de 15 micras. Fuente: Autores.

Para la gráfica de 15 micras se empieza a notar la aparición de valores atípicos en diversas máquinas, dichos valores se pueden despreciar por tratarse de datos ya sean demasiado altos o por el contrario muy bajos que no influyen en la totalidad de las muestras analizadas.

Los valores atípicos se deben a impurezas que generalmente no forman parte de la composición del fluido analizado por lo tanto no son tomados en cuenta.



Análisis de graficas por dispersión en partículas de 15 micras

Tabla 7: Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 15 micras. Fuente: Autores.

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica negativa	En la primera muestra	Mayor concentración de datos dentro de la caja.	Para este caso se logran mantener estables los niveles de contaminación la mayor parte del tiempo.
2	Asimétrica positiva	En la octava y la décima muestra	Datos muy concentrados a lo largo de todo el muestreo.	Buen comportamiento en la reducción de los niveles de contaminación, el cebado está siendo el adecuado.
3	Asimétrica positiva	No presenta	Dispersión de los datos bastante uniforme.	El desplazamiento de la mediana y la concentración de datos nos dan a entender que se puede optar por acortar los intervalos de cebado ya que se está llevando una tendencia equilibrada.
4	Asimétrica negativa	No presenta	Mayor concentración en el primer y el tercer 25% de las muestras.	El desplazamiento de la mediana de forma negativa es un claro indicativo de que los intervalos y cantidades de cebado no son los adecuados.
5	Asimétrica negativa	No presenta	Existe mayor separación de los datos en el primer rango intercuartílico.	De igual forma se observa una ineffectividad en las prácticas de cebado ya que la contaminación tiende a subir paulatinamente.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Se observa concentración de las muestras en torno al 50%.	Como en el caso anterior los elevados valores en los que se ubica la mediana denotan la poca efectividad que está teniendo el cebado en el sistema.
7	Asimétrica negativa	No presenta	Se tiene una gran separación de los datos en el bigote superior.	Para este caso se puede apreciar que la adición de fluido hidráulico nuevo ya no rinde efecto en el sistema.
8	Asimétrica positiva	3 en total	La dispersión de los datos entre el 0 hasta el 50% es mínima.	Descartando los valores atípicos se determina que el cebado ayuda de cierta manera a mitigar la contaminación.



Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 20 micras.

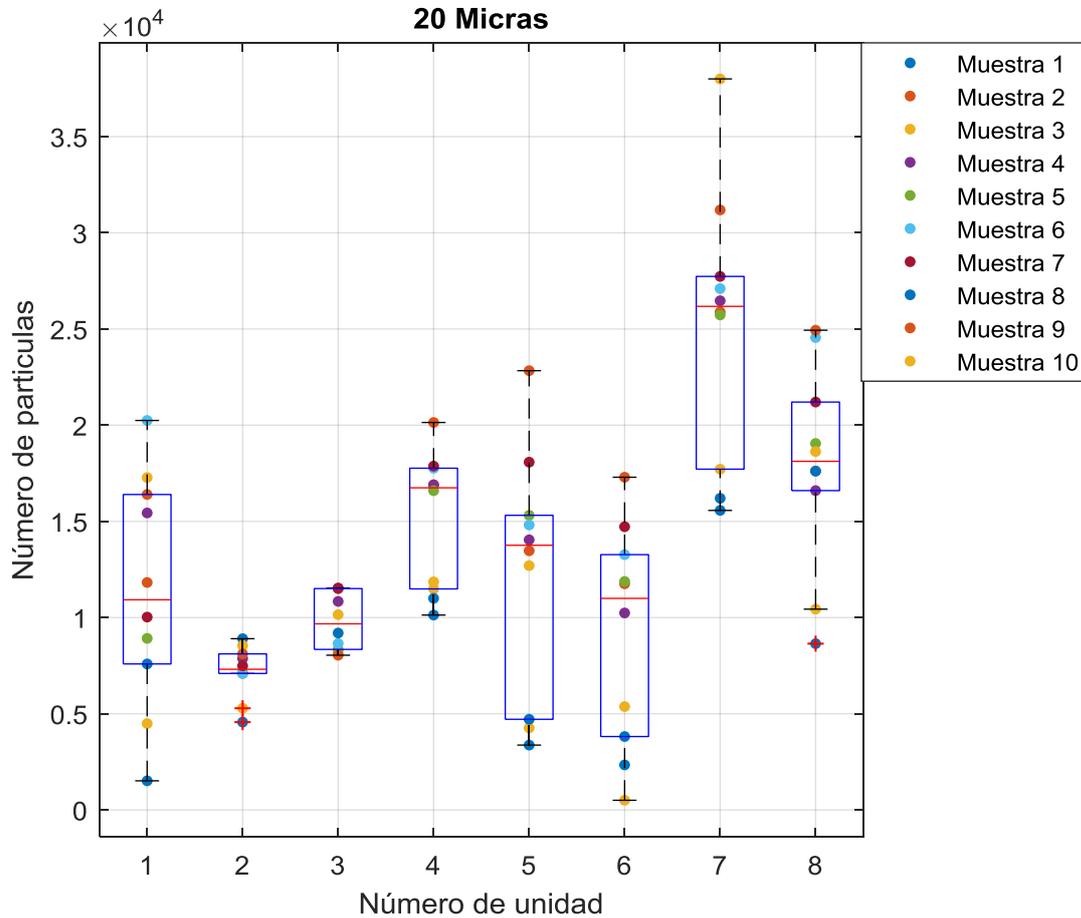


Figura 49: Graficas de dispersión para partículas de 20 micras. Fuente: Autores.

De acuerdo a lo que se observa en la figura 49 se puede apreciar que la distribución es positiva para el 50% de las unidades y negativa para el otro 50% del total de máquinas analizadas.



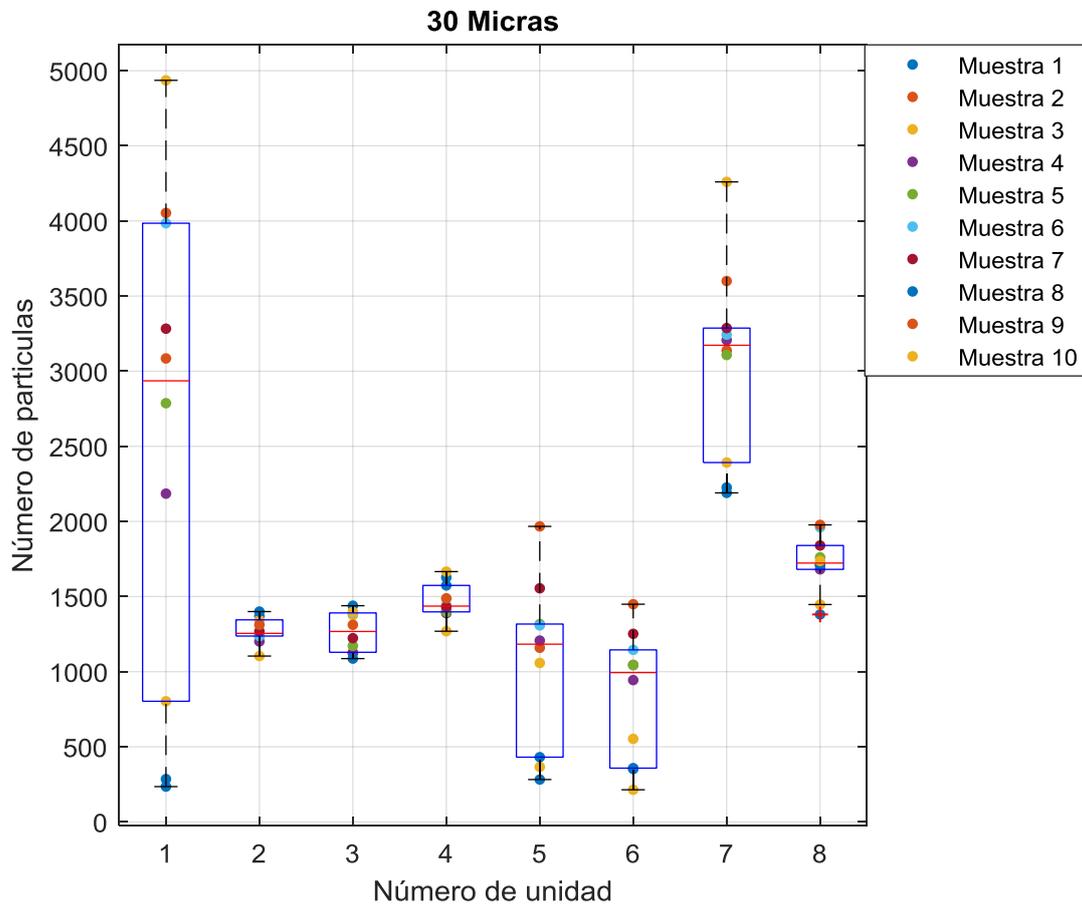
Análisis de graficas por dispersión en partículas de 20 micras

Tabla 8: Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 20 micras. Fuente: Autores.

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica positiva	No presenta	En el 25% las muestras están más concentradas.	La dispersión de las partículas muestra que el cebado no es eficiente.
2	Asimétrica positiva	Octava y décima entre 4565 y 5285 ppm	Los datos están concentrados a lo largo de la caja.	Se reduce los niveles de contaminación, el cebado es el adecuado.
3	Asimétrica positiva	No presenta	Los datos no presentan valores dispersos y el bigote superior está muy cercano a la caja.	El cebado está disminuyendo los niveles de contaminación, basándose en la dispersión de los datos.
4	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos se encuentran mayormente concentrados en el primer 25% de las muestras.	Por la posición de la mediana se puede decir que los intervalos y cantidades de cebado no son los adecuados
5	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos en el primer intercuartílico están dispersos.	El cebado no es el correcto ya que la contaminación tiende a aumentar.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Se observa una mayor concentración de las muestras en torno al 25% y 50% .	No se muestra mejora en el sistema por lo tanto se debe revisar los tiempos de adición de aceite.
7	Asimétrica negativa	No presenta	Dispersión de los datos en el bigote superior.	El cebado no es el adecuado ya que los niveles de contaminación tienden a subir.
8	Asimétrica positiva	Octava muestra con 8643	Se presenta dispersión de los datos en el bigote inferior.	El cebado está reduciendo y atenuando la contaminación, pero no óptimamente.



**Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 30 micras.**



**Figura 50:** Graficas de dispersión para partículas de 30 micras. Fuente: Autores.

Según la gráfica para las partículas de 30 micras se puede notar maquinas con distribuciones que difieren unas de otras, pero se sigue conservando una aglomeración en valores elevados.



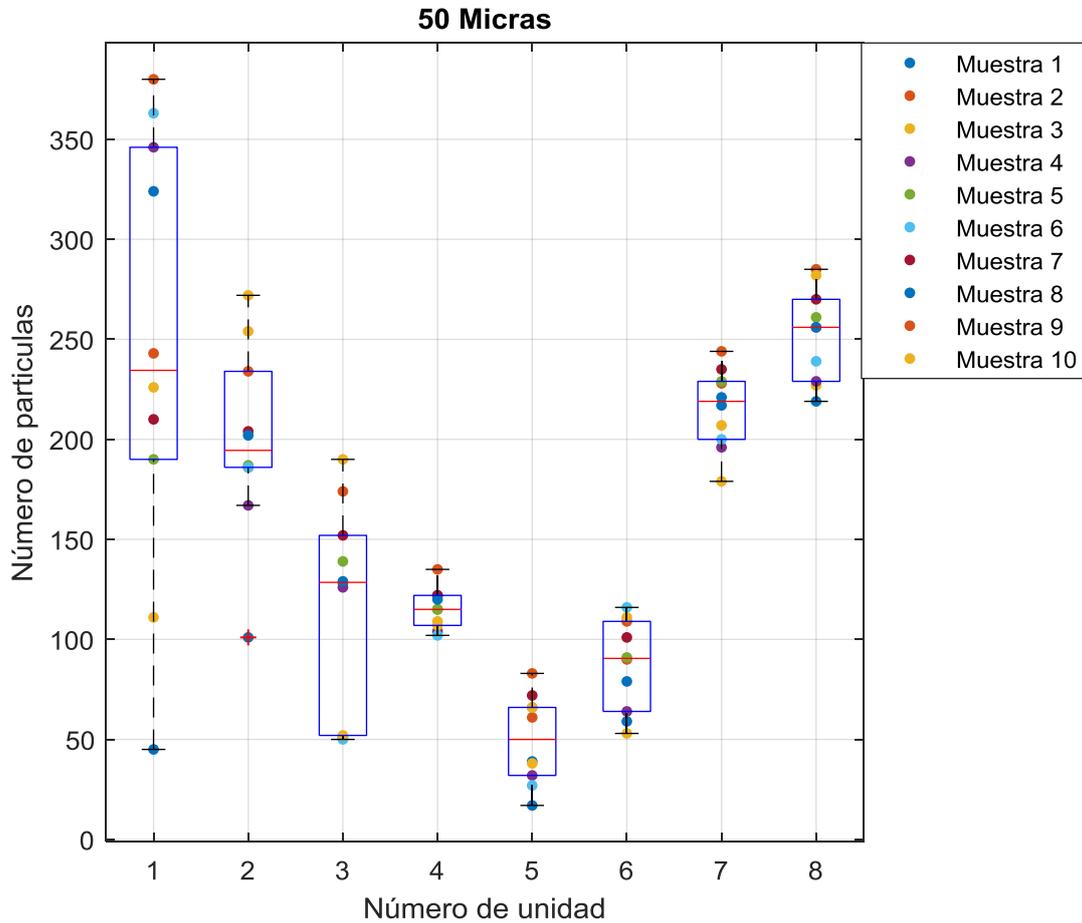
Análisis de graficas por dispersión en partículas de 30 micras

Tabla 9: Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 30 micras. Fuente: Autores.

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica positiva.	No presenta	El bigote superior muestra una mayor prolongación.	El cebado no muestra resultados ya que la contaminación aumenta, por lo que se debe mejorar los intervalos de adición.
2	Asimétrica positiva	No presenta	Las muestras están concentradas.	Se reducen los niveles de contaminación, el cebado es el adecuado.
3	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos muestran una dispersión uniforme sin grandes variaciones.	La concentración de datos alrededor de la media muestra un cebado eficiente.
4	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos se encuentran más concentrados del 25 al 50% de las muestras.	Se mitiga la contaminación, por lo tanto los intervalos de adicción se pueden mantener iguales.
5	Asimétrica positiva	No presenta	Se tiene mayor dispersión de los datos del 75 al 100%.	Según los datos, el cebado está disminuyendo la contaminación pero no es el adecuado.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Se presenta una mayor dispersión en el primer rango intercuartílico.	Se nota reducción y concentración que ayuda en la disminución de la contaminación.
7	Asimétrica negativa	No presenta	Mayor dispersión de los datos en el bigote superior.	Los datos se concentran en zonas de alta contaminación por lo que el adiconamiento no es el adecuado.
8	Asimétrica positiva	Octava con un valor de 1381	Los datos están concentrados a lo largo del 25% y 50% .	Es notable la disminución de contaminación dado a que los datos se están situando en niveles bajos suciedad.



**Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 50 micras.**



**Figura 51:** Graficas de dispersión para partículas de 50 micras. **Fuente:** Autores.

Se logra apreciar que por la forma de las distribuciones el cebado no rinde el efecto que se pudiera esperar ya que hay concentraciones de partículas en niveles altos.



Análisis de graficas por dispersión en partículas de 50 micras

Tabla 10: Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 50 micras. Fuente: Autores

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica positiva	No presenta	Bigote inferior muestra una mayor prolongación.	Por la dispersión de los datos se puede decir que el cebado no está ayudando a mitigar la contaminación.
2	Asimétrica positiva	Primera muestra de 101 ppm.	Dispersión de los datos en el bigote superior.	Se disminuye el nivel de contaminación, pero no se acerca al adecuado.
3	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos se encuentran más concentrados del 50 al 75% de las muestras.	La aglomeración en altas zonas de contaminación es perceptible por esa razón se debe mejorar el tiempo de cebado.
4	Asimétrica negativa	No presenta	Las muestras están concentradas por lo que la extensión de la caja es mínima.	La dispersión es mínima por lo que el cebado está disminuyendo óptimamente la suciedad.
5	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos se presentan uniformes durante el muestreo.	Los niveles bajos de contaminación y la dispersión muestra un cebado eficiente.
6	Asimétrica negativa	No presenta	Los datos se empiezan a aglomerar a partir del 50%.	El cebado está mitigando la contaminación del sistema.
7	Asimétrica negativa	No presenta	Dispersión del 25 al 50% de los datos.	Se presentan niveles de contaminación altos, pero se logran mantener en el mismo rango, el cebado es el correcto.
8	Asimétrica negativa	No presenta	Se presenta una mayor dispersión en el primer rango intercuartílico.	Los niveles se están concentrando, por lo que el aditamento ayuda a aplazar el cambio de fluido hidráulico,



Graficas de dispersión por niveles de contaminación en partículas de 70 micras.

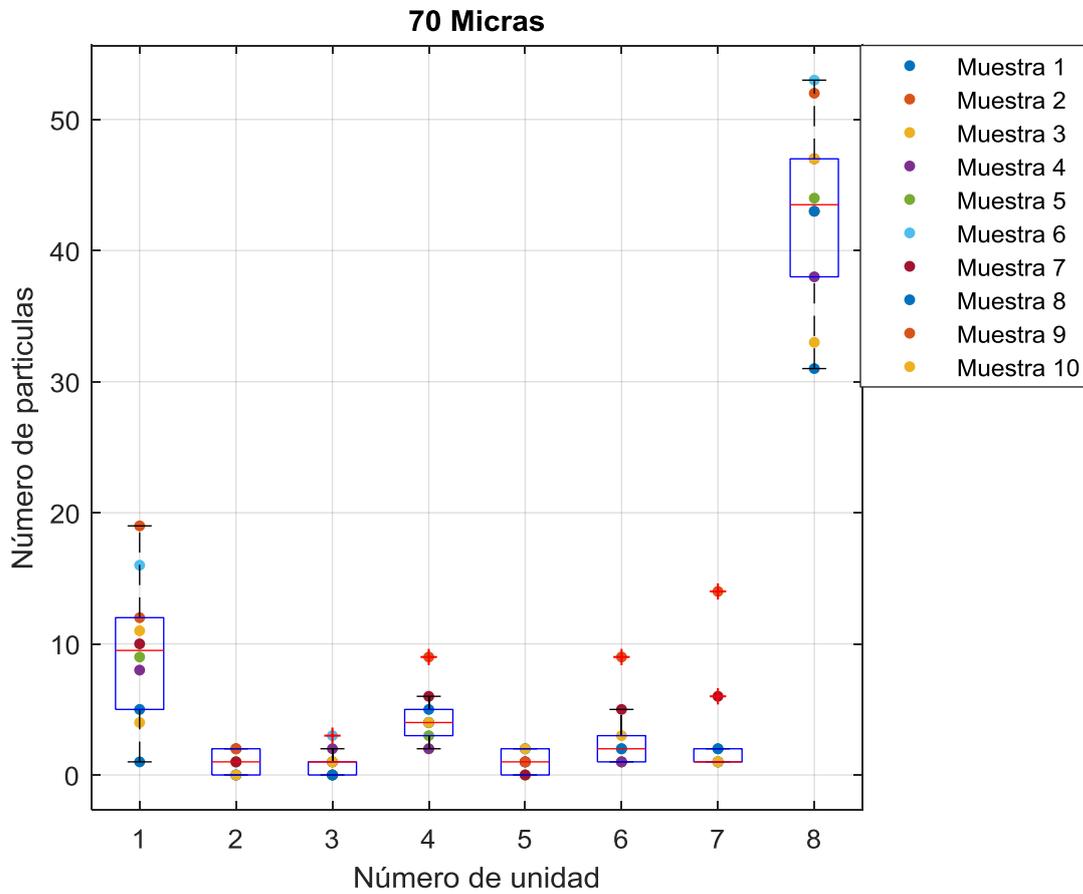


Figura 52: Graficas de dispersión para partículas de 70 micras. Fuente: Autores.

En la gráfica 52 se puede apreciar una menor dispersión para la mayoría de las maquinas exceptuando la máquina número 8, esto indica que las cantidades de las partículas son similares.



Análisis de graficas por dispersión en partículas de 70 micras

Tabla II: Análisis de los diagramas de caja y bigotes para partículas de 70 micras. Fuente: Autores.

M	Distribución	Valores atípicos	Observaciones	Análisis
1	Asimétrica negativa	No presenta	Concentración de datos dentro de la caja.	Los niveles de contaminación se concentran en una zona media, el cebado es correcto, pero no es óptimo.
2	Asimétrica negativa	No presenta	Los bigotes tienen amplitudes muy pequeñas.	La aglomeración de datos en una sola zona quiere decir que el cebado es el adecuado.
3	Asimétrica negativa	Se presenta en la sexta muestra con valor de 3	Bigote superior mucho más amplio.	Dejando de lado los valores descartables la adición del fluido ayuda a mitigar la contaminación en el sistema.
4	Asimétrica negativa	Se presenta en la novena muestra con un valor de 9	Los datos se presentan uniformes durante el muestreo.	El cebado está desarrollándose de tal manera que ayuda a mantener los niveles bajos de contaminación.
5	Asimétrica negativa	No presenta	El bigote superior e inferior son insignificantes.	La concentración en los niveles inferiores de contaminación se da por el correcto cebado.
6	Asimétrica negativa	Se presenta en la novena muestra con un valor de 9	El bigote superior se muestra mucho más amplio.	Se disminuye la contaminación presente en el sistema.
7	Asimétrica negativa	La muestra 7 con un valor de 6	Los bigotes tienen valores muy pequeños.	Se puede descartar los valores atípicos y el sistema presenta una respuesta eficiente al cebado.
8	Asimétrica positiva	No presenta	Los datos se presentan muy dispersos.	La contaminación se está aglomerando en niveles muy altos por lo que se debe cambiar el fluido.



### 3.2. ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE TENDENCIA

Las gráficas de tendencia nos muestran cómo ha variado la concentración de partículas contabilizadas en las muestras tomadas de cada una de las maquinarias luego del aditamento de fluido hidráulico.

Un pico máximo representa el mayor número de partículas que se encuentran presentes en la muestra antes del aditamento de fluido hidráulico.

Mientras que el descenso de este pico hacia un valor mínimo de concentración de partículas nos indica el nivel de limpieza al que se llega luego del aditamento de fluido hidráulico, en determinado periodo de trabajo.

Además, en cada una de las gráficas se distinguen intervalos que presenta ciertas irregularidades tales como:

- Ascensos continuos: se presentan cuando en todo el periodo de trabajo no se ha realizado ningún aditamento de fluido hidráulico nuevo.
- Descensos continuos: se presentan cuando la maquina tuvo un periodo sin operar.

Adicional a ello se tienen los límites para la identificación del nivel de suciedad del fluido en cada maquinaria, dichos parámetros se obtienen a partir del cálculo del promedio o media de la población y a cuyo valor se adiciona el valor calculado de la desviación estándar. De esta manera se obtiene lo siguiente:

- Promedio: representado con la línea roja, es un promedio de la concentración del número de partículas para cada caso.
- Límite de alerta (Lim +1): se trata del valor promedio más una desviación estándar, representado con la línea amarilla, es un indicativo de alerta en el nivel de suciedad del fluido.
- Limite critico (Lim +2): se trata del valor promedio más dos desviaciones estándar, representado con la línea púrpura, es un indicativo de nivel crítico de suciedad del fluido.

También se presentan parámetros ordenados en tablas para la identificación del nivel de suciedad del fluido según el análisis de cada gráfica.



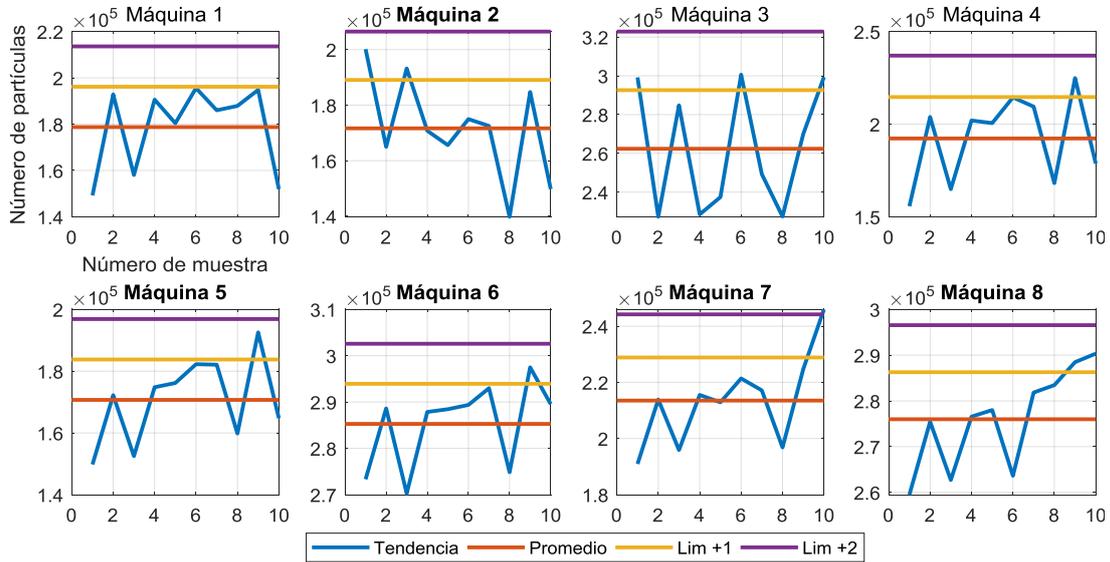
- Valor de pico mínimo en partículas por millón(VPMI): Es el punto con el menor número de partículas.
- Valor de pico máximo en partículas por millón(VPMA): Es el punto con el mayor número de partículas.
- Zonas irregulares: representa los periodos de tiempo los cuales se presentaron variaciones significativas.
- Observaciones en los límites: Son las variaciones significativas de cada grafica según los datos de las muestras de fluido.

Mediante las gráficas de tendencia se puede llegar a determinar ciertas particularidades, tales como, hasta qué número de muestra se considera viable continuar con el cebado y a partir de ello tomar medidas correctivas o preventivas para asegurar el buen funcionamiento del sistema hidráulico. Así también, de acuerdo al comportamiento de las gráficas de tendencia se puede establecer la proporción ideal entre el fluido contaminado y el fluido nuevo que se debe agregar al depósito con tal de mantener en niveles mínimos la contaminación.

Todos estos parámetros se detallan en las tablas adjuntas a cada gráfica.



**Graficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 1 micra.**



**Figura 53:** Tendencia para partículas de 1 micra. Fuente: Autores.

En el caso de las gráficas de tendencia para las partículas de 1 micra se observa que en la mayoría de las maquinarias se logra mantener la contaminación por debajo del límite de alerta hasta la cuarta o quinta muestra aproximadamente, posterior a ello se observa como la línea de tendencia sube paulatinamente hasta llegar a alcanzar o estar muy cerca del límite crítico.



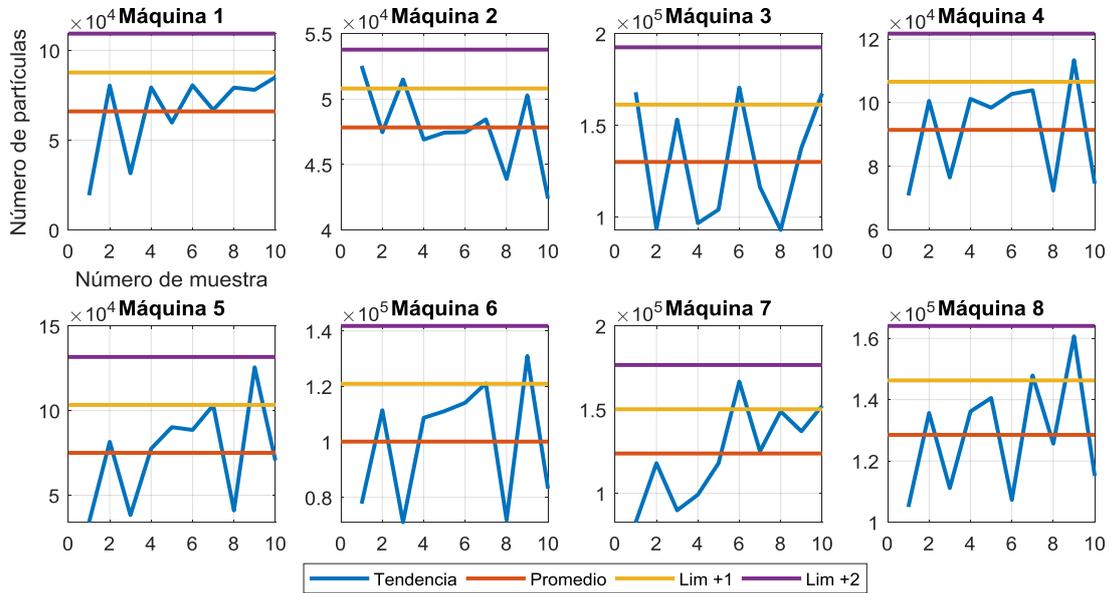
Análisis de graficas por tendencia en partículas de 1 micras.

Tabla 12: Parámetros analizados en la tendencia para 1 micra. Fuente: Autores.

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	149246	195583	Tramo 7-9	Siete muestras entre el promedio y el lim+1.	La metodología que se está siguiendo para realizar el cebado no es la adecuada, por lo que se observa que los picos cada vez decrecen menos.
2	139808	200158	Tramo 3-5 Tramo 6-8	Dos muestras entre el lim+1 y el lim+2, una de ellas muy próxima al lim+2.	Inicialmente el nivel de contaminación del fluido es alto, pero a medida que se continua con los procesos de cebado los picos bajan del límite de alerta.
3	227263	300594	Tramo 4-6 Tramo 6-8 Tramo 8-10	Tres muestras sobre el lim+1.	En cada adición de fluido nuevo se consigue llegar hasta un punto mínimo manteniéndose este patrón a lo largo del muestreo
4	155707	224897	Tramo 6-8	Una muestra sobre el lim+1.	La tendencia a aumentar no es muy precipitada, ya que al final se llega únicamente a un valor que sobrepasa el límite de alerta.
5	149783	192565	Tramo 4-6 Tramo 6-8	Una muestra muy próxima al lim+2.	A partir de la quinta muestra, el cebado se vuelve deficiente, ya que en el circuito se encuentra en mayor cantidad fluido contaminado
6	270268	297494	Tramo 4-7	Sin variaciones significativas.	La forma en la que se está adicionando el fluido es correcta, si bien es cierto tiende a subir, pero no lo hace súbitamente.
7	190938	245976	Tramo 6-8	La décima muestra llega al límite crítico.	Se lleva un buen proceso de cebado hasta llegar a la octava muestra, para la muestra nueve no se ha adicionado fluido nuevo por lo que el nivel de contaminación aumenta.
8	259501	290339	Tramo 6-10	Sin variaciones significativas.	Luego de la séptima muestra ya no existe un descenso de los picos, se está adicionando una mínima cantidad de fluido nuevo.



**Graficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 5 micras.**



**Figura 54:** Tendencia para partículas de 5 micras. **Fuente:** Autores.

Se alcanza a observar un patrón de comportamiento similar al descrito para las partículas de 1 micra, a excepción de que en ciertas máquinas se observan un aumento mucho más pronunciado que llegan a estar muy cercanas al límite crítico.



Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 5 micras.

Tabla 13: Parámetros analizados en la tendencia para 5 micras. Fuente: Autores.

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	19324	85089	Tramo 8-10	Sin variaciones significativas.	Se observa que a lo largo del muestreo los picos no descienden, ya que el fluido nuevo se adiciona en pequeñas cantidades.
2	42396	52537	Tramo 4-7	Una muestra próxima al límite crítico.	A partir de la cuarta muestra en donde se da un cambio casi total del fluido los niveles de contaminación descienden con respecto a los del principio.
3	93071	170599	Tramo 4-6 Tramo 8-10	Sin variaciones significativas.	Se lleva un control adecuado de las cantidades que se adicionan.
4	70843	113373	Tramo 5-7	Sin variaciones significativas.	La tendencia es a elevarse, no lo hace bruscamente, pero al final se logra sobrepasar el límite de alerta.
5	33987	125562	Tramo 3-5 Tramo 5-7	La muestra número nueve muy próxima al límite crítico.	Hasta la octava muestra los intervalos y cantidades de cebado son correctos, pero no los más adecuados ya que posteriormente se sobrepasa el límite de alerta
6	71023	130949	Tramo 3-7	La muestra número nueve comprendida entre el lim+1 y el lim+2.	Se inicia con valores que sobrepasan el promedio de contaminación un claro indicativo de que el sistema requiere una intervención a fin de cambiar de dirección la gráfica de tendencia
7	82663	166792	Tramo 3-6	La sexta muestra se encuentra próxima al lim+2.	Se logra mantener un buen comportamiento en el inicio del muestreo posteriormente al no darse un cebado la contaminación se eleva sin poder disminuirla hasta sus niveles de inicio
8	105011	160658	Tramo 3-5	La novena muestra está bastante cerca al límite crítico.	A partir de la sexta muestra el circuito hidráulico ya se encuentra con altos niveles de contaminación hasta llegar a un valor muy cercano al límite crítico



Gráficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 10 micras.

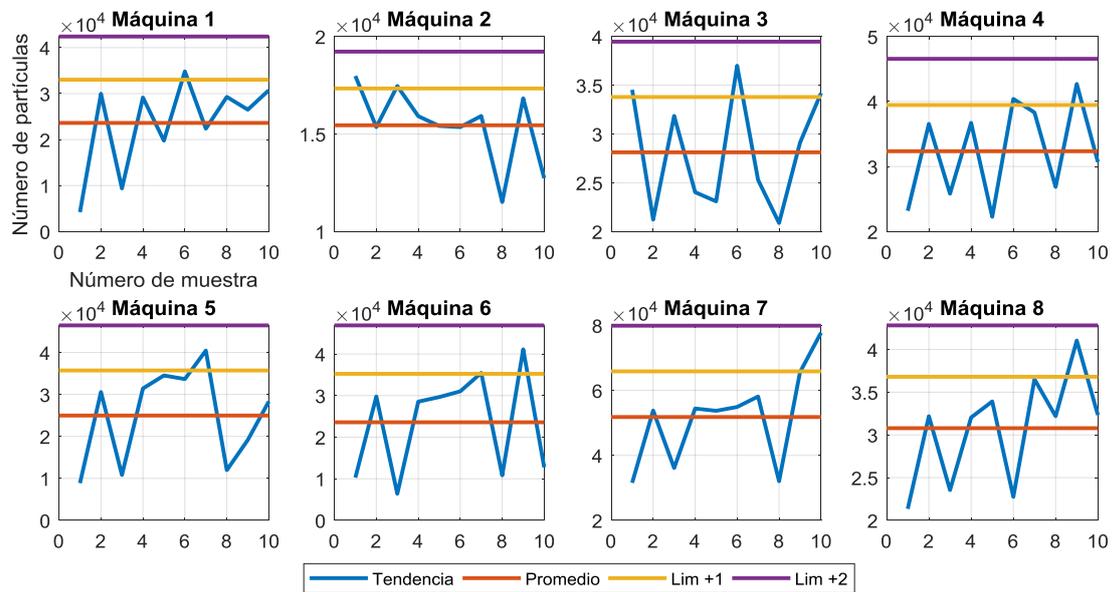


Figura. 55: Tendencia para partículas de 10 micras. Fuente: Autores.

Se visualizan líneas de tendencia que indican una viabilidad del cebado hasta aproximadamente un sexto intervalo luego de ello nuevamente los picos de contaminación no logran descender hasta los niveles de inicio.



**Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 10 micras.**

*Tabla 14: Parámetros analizados en la tendencia para 10 micras. Fuente: Autores.*

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	4213	34831	Sin zonas	Sin variaciones significativas.	Los resultados de los procesos de adición que se están dando hasta este punto es que el comportamiento de tendencia se repite como en los tamaños de 1 y 5 micras
2	11509	17975	Tramo 3-6	Sin variaciones significativas.	Inicialmente se sobrepasa el límite de alerta con acciones correctivas en el circuito hidráulico se logra reducir en gran medida los niveles de contaminación
3	20872	37004	Tramo 3-5 Tramo 8-10	Sexta muestra próxima al lim+2.	Se observa que a mitad del muestreo se tiende a sobrepasar el límite de alerta, por ende, se considera que en este punto es necesario tomar medidas correctivas
4	22260	42698	Tramo 6-8	Sin variaciones significativas.	La tendencia es ascendente pero no bruscamente, el cebado tiene un efecto que permite controlar la contaminación hasta aproximadamente la quinta adición
5	8869	40447	Tramo 3-5 Tramo 8-10	Séptima muestra sobre el lim+1.	A partir de la cuarta muestra se observa cómo se eleva la contaminación en el sistema, para la siguiente muestra se logra disminuir ese pico, pero se tienen indicios por el comportamiento de la novena muestra que la contaminación va a seguir en aumento
6	6395	41123	Tramo 4-7	La muestra número nueve sobre el lim+1.	Si bien es cierto en su mayoría los datos no están por sobre el límite de alerta, se debe poner atención a lo que sucede a partir de la octava muestra
7	31563	77746	Tramo 4-7 Tramo 8-10	La muestra 10 próxima al límite crítico.	El comportamiento que se consigue con el proceso de cebado es satisfactorio hasta la octava muestra, posterior a ello son necesarias medidas correctivas
8	21348	41048	Tramo 3-5	La muestra 9 se aproxima al límite crítico.	Como en el caso anterior la tendencia que se consigue es aceptable, repitiéndose un súbito aumento cuando en el circuito hidráulico está presente en mayor cantidad fluido contaminado



Gráficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 15 micras.

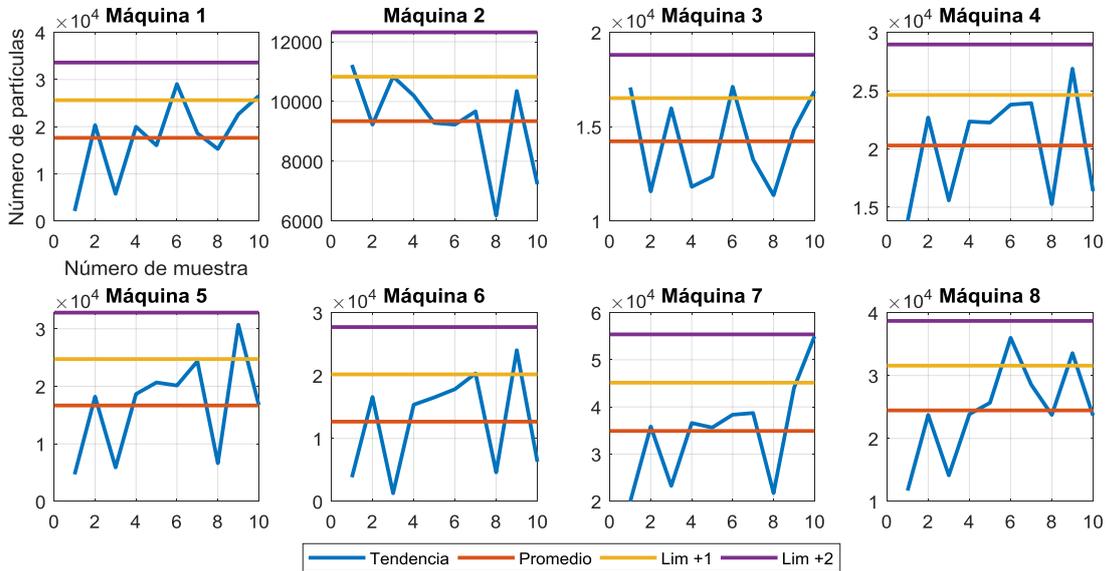


Figura. 56: Tendencia para partículas de 15 micras. Fuente: Autores.

Existen dos casos que se deben resaltar sobre los demás. Para la máquina número 1 que en las gráficas anteriores el aumento de la línea de tendencia se da de manera uniforme en este caso se observan picos mucho más pronunciados. El siguiente caso a destacar es para la máquina 2 en donde a diferencia del resto de máquinas se observa como a partir de la muestra número 5 se logra disminuir los niveles de contaminación.



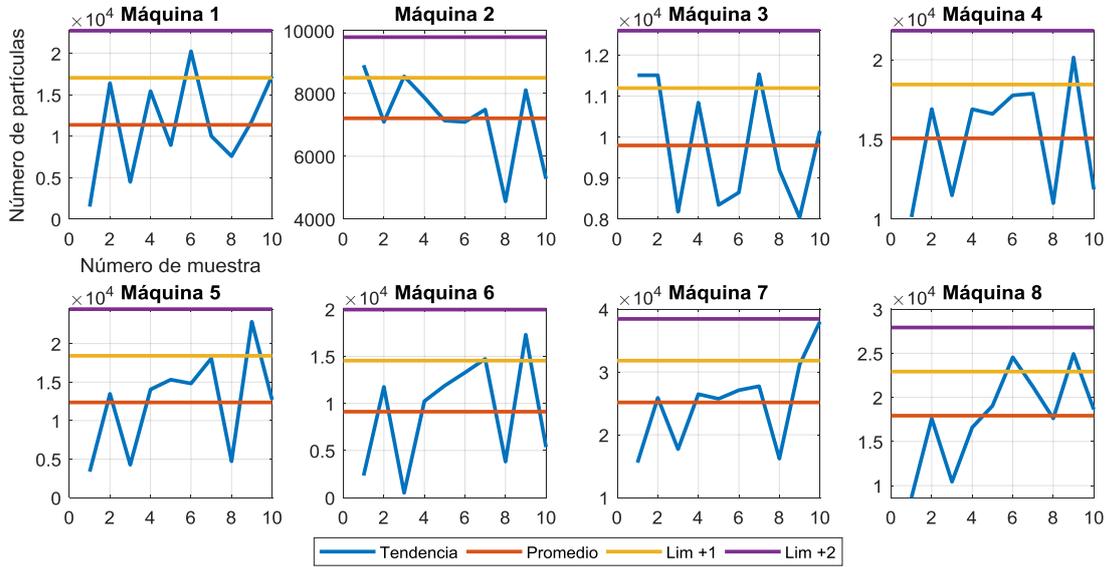
Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 15 micras.

Tabla 15: Parámetros analizados en la tendencia para 15 micras. Fuente: Autores.

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	2132	29035	Tramo 6-8 Tramo 8-10	Sin variaciones significativas.	El patrón que sigue empieza a presentar aumentos un poco más pronunciadas que en los casos anteriores como indicativo de que este tamaño de partículas puede tener algún riesgo para el sistema.
2	6184	11223	Tramo 3-6	Sin variaciones significativas.	De igual forma a partir del mantenimiento en el sistema hidráulico se tiene una baja significativa en los niveles de contaminación.
3	11368	17118	Tramo 4-6 Tramo 6-8 Tramo 8-10	Sin variaciones significativas.	En función al proceso seguido para la adición del fluido hidráulico limpio se consigue mantener un aumento y disminución equilibrada en los niveles de suciedad.
4	13817	26882	Tramo 4-7	Muestra número nueve cercana al lim+2.	Se tiene un comportamiento bastante similar en el caso de estas tres máquinas, el cebado es el adecuado hasta la octava fecha luego de ello el pico sobrepasa el límite de alerta.
5	4699	30715	Tramo 3-5 Tramo 5-7	Muestra número nueve muy próxima al lim+2.	
6	1293	24032	Tramo 3-7	Sin variaciones significativas.	
7	19971	54971	Tramo 4-7 Tramo 8-10	La décima muestra se encuentra en el límite crítico.	A raíz del proceso adecuado de cebado se logra mantener al nivel promedio la contaminación, a partir de la octava muestra al no darse una nueva adición en el sistema se llega al límite crítico
8	11717	36005	Tramo 3-6 Tramo 6-8	La sexta muestra se encuentra próxima al lim+2.	A comparación con los tamaños de partículas anteriores se observa que los picos empiezan a elevarse mucho antes como consecuencia de una mayor concentración de partículas de 15 micras en el sistema



**Gráficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 20 micras.**



**Figura. 57:** Tendencia para partículas de 20 micras. **Fuente:** Autores.

Se nota como el comportamiento de elevarse los niveles de contaminación a partir de la cuarta muestra se sigue manteniendo, a raíz de ello es posible establecer las medidas tanto correctivas y preventivas a tomarse para cada caso.



**Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 20 micras.**

*Tabla 16: Parámetros analizados en la tendencia para 20 micras. Fuente: Autores.*

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	1514	20246	Tramo 6-8	Sin variaciones significativas.	Se presenta disminución en los niveles de contaminación, pero en las últimas adiciones ya no se logra mitigar en gran medida la contaminación.
2	4565	8902	Tramo 5-8	Sin variaciones significativas.	Se tiene una baja significativa en los niveles de contaminación.
3	8043	11536	Tramo 1-2 Tramo 5-6 Tramo 8-10	Sin variaciones significativas.	Se consigue mantener un aumento y disminución equilibrado en los niveles de suciedad.
4	10130	20141	Tramo 4-7	Sin variaciones significativas.	El funcionamiento tiene similitudes en las tres máquinas, el cebado mitiga la contaminación, pero esta tiende a aumentar en las muestras finales.
5	3371	22834	Tramo 4-7	Muestra número nueve muy próxima al lim+2.	
6	502	17295	Tramo 4-7	Sin variaciones significativas.	
7	15569	38000	Tramo 4-7 Tramo 8-10	La décima muestra se encuentra en el límite crítico.	La contaminación se logra mantener mientras se realiza la adición de aceite, pero cuando se descuida la misma se presenta una alerta crítica.
8	8643	24936	Tramo 4-6	Sin variaciones significativas.	La contaminación aumenta significativamente, manteniéndose en niveles estables por la adición de fluido.



### Gráficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 30 micras.

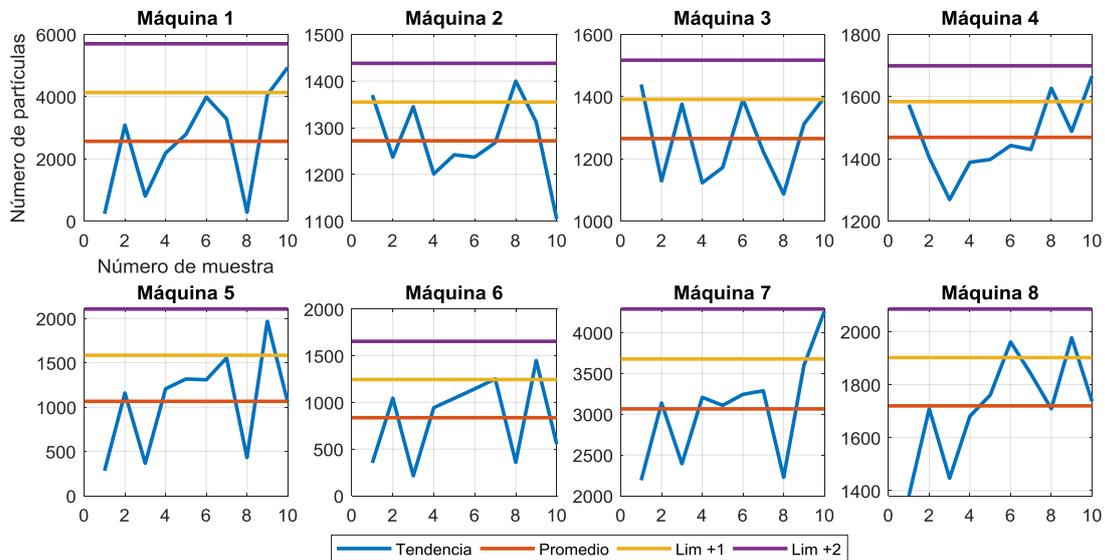


Figura 58: Tendencia para partículas de 30 micras. Fuente: Autores.

A excepción de la máquina número 3, se observa que el resto de casos, los picos están muy cercanos al límite crítico, nuevamente con la particularidad de que los niveles empiezan a ascender paulatinamente a partir de la cuarta o quinta muestra.



**Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 30 micras.**

*Tabla 17: Parámetros analizados en la tendencia para 30 micras. Fuente: Autores.*

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	235	4936	Tramo 4-7 Tramo 9-10	La décima muestra se acerca al lim+2.	En gran parte la contaminación se mantiene debajo del nivel de alerta, tiende a subir en las muestras finales.
2	1104	1400	Tramo 4-7 Tramo 9-10	La décima muestra se acerca al lim+2.	Se tiene una disminución significativa en los niveles de suciedad ya que el proceso de cebado es adecuado.
3	1087	1439	Tramo 4-6 Tramo 8-10	Muestra uno sobre el lim+1.	El proceso de cebado es óptimo, se presenta aumento y disminución equilibrado en los niveles de contaminación.
4	1269	1666	Tramo 3-7	La décima muestra se acerca al lim+2.	Al iniciar la adicción de fluido se presenta una mitigación significativa de la suciedad, pero esta tiende a subir progresivamente.
5	282	1967	Tramo 4-7	La novena muestra se acerca al lim+2.	Las máquinas tienen lecturas similares, hay un aumento constante en el nivel de contaminación.
6	214	1449	Tramo 4-7	La décima muestra se acerca al lim+2.	
7	2190	4260	Tramo 4-7 Tramo 9-10	La décima muestra llega al límite crítico.	Se logra mantener los niveles de contaminación, al no presentarse una adición significativa se tiene una alerta crítica.
8	1381	1977	Tramo 4-6	Las muestras número seis y nueve se encuentra sobre el lim+1.	Los picos tienden a elevarse, pero se estabilizan al momento del cebado con intervalos controlados.



### Gráficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 50 micras.

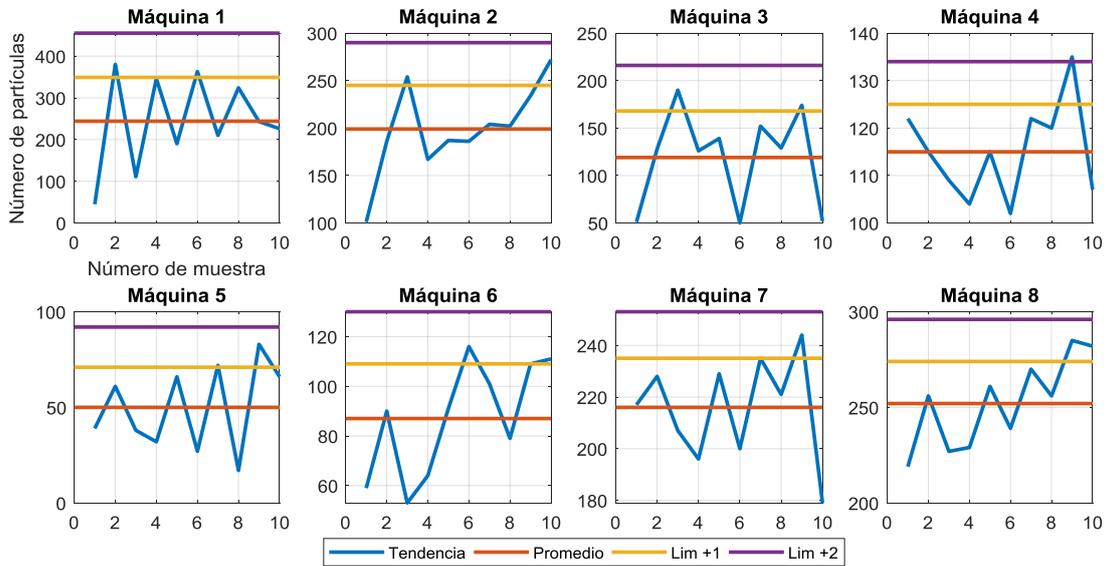


Figura 59: Tendencia para partículas de 50 micras. Fuente: Autores.

No son similares los tramos desde donde inicia el aumento de los niveles de contaminación, existe mayor variación entre cada una de las maquinarias a diferencia de los casos anteriores.



**Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 50 micras.**

*Tabla 18: Parámetros analizados en la tendencia para 50 micras. Fuente: Autores.*

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	45	380	Tramo 9-10	Muestra dos y seis sobre el lim+1.	Se tiene un patrón de disminución, dado que el cebado tiene un proceso adecuado.
2	101	272	Tramo 1-2 Tramo 4-10	La décima muestra se acerca al lim+2.	La adición no es la correcta ya que no tenemos una disminución deseada de los niveles de contaminación.
3	50	190	Tramo 1-2 Tramo 4-7	Muestra tres y nueve sobre el lim+1.	El nivel de contaminación se atenúa, dado que el cebado ayuda al sistema, pero no se lo realiza en los intervalos correctos.
4	102	135	Tramo 1-4 Tramo 6-9	La novena muestra sobrepasa el lim+2.	Los niveles de contaminación tienden a subir, la adición de fluido no es la correcta.
5	17	83	Tramo 3-4	La novena muestra se acerca al lim+2.	Al fijarse en el patrón se puede decir que la contaminación tiende a aumentar, el cebado es el correcto, pero es necesario sustituir el aceite.
6	53	116	Tramo 3-10	Muestra seis y diez sobre el lim+1.	Se tiene cambios bruscos en los niveles de contaminación ya que no se está siguiendo un proceso organizado para la adición de fluido.
7	179	244	Tramo 2-4	La novena muestra sobrepasa el lim+2.	Se logra controlar la contaminación en el sistema, pero esta tiende a subir ya que el cebado no es el adecuado.
8	219	285	Tramo 3-4	La novena muestra sobrepasa el lim+2.	La adición no da los resultados esperados ya que la contaminación aumenta.



### Gráficas de tendencia por niveles de contaminación en partículas de 70 micras.

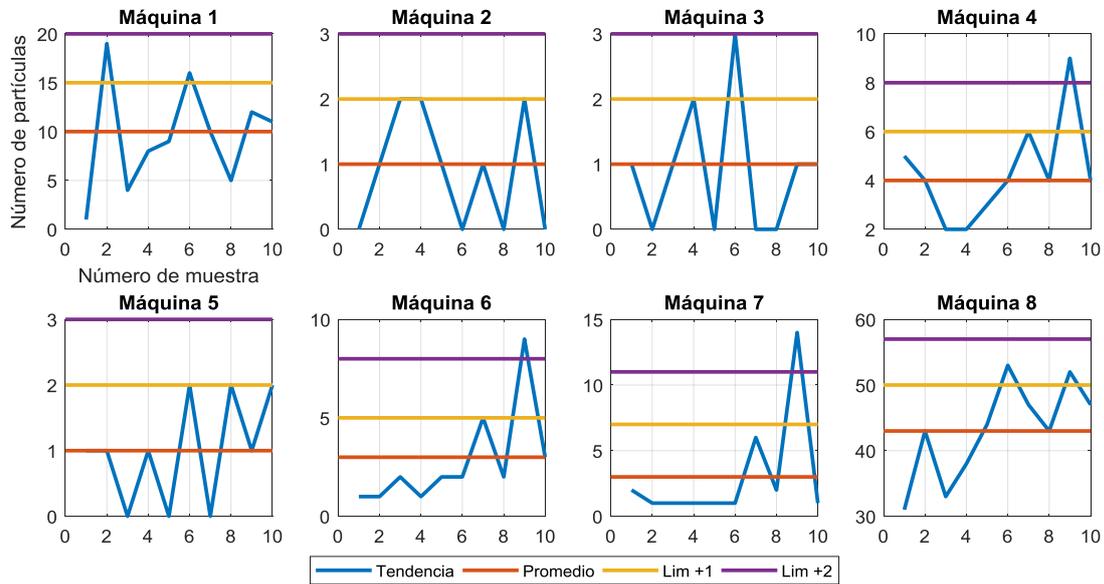


Figura 60: Tendencia para partículas de 70 micras. Fuente: Autores.

Se logra apreciar como la mayoría de las máquinas llegan e incluso sobrepasan el nivel crítico de contaminación, el patrón de comportamiento que se repetía constantemente en los casos anteriores ya no es tan notorio para el caso de las partículas de 70 micras se observan mayores variaciones.



Análisis de gráficas por tendencia en partículas de 70 micras.

Tabla 19: Parámetros analizados en la tendencia para 70 micras. Fuente: Autores.

M	VPMI (ppm)	VPMA (ppm)	Zonas irregulares	Observaciones en los límites	Análisis
1	1	19	Tramo 3-6	Muestra número dos muy próxima al lim+2.	Se mitiga los niveles de contaminación, pero los intervalos de adición no son los correctos.
2	0	2	Tramo 1-5 Tramo 8-10	Sin variaciones significativas.	Se logra mantener y mitigar los niveles de contaminación dado que el proceso de cebado es el correcto.
3	0	3	Tramo 5-10	La sexta muestra se encuentra en el lim+2.	Los niveles de suciedad no se mantienen constantes ya que la adición es irregular.
4	2	9	Tramo 1-6 Tramo 8-10	La novena muestra se encuentra en el lim+2.	La contaminación tiende a aumentar hasta llegar a dar un nivel de alerta crítico, el cebado ya no mitiga eficientemente.
5	1	2	Tramo 4-6	Sin variaciones significativas.	Al ver el patrón se puede decir que la contaminación disminuye y se mantiene, por lo que el cebado es efectivo.
6	1	9	Tramo 5-6 Tramo 7-8	La novena muestra sobrepasa el lim+2.	Tiende a subir la contaminación de manera progresiva, ya que el cebado presenta irregularidades.
7	1	14	Tramo 1-6	La novena muestra sobrepasa el lim+2.	
8	31	53	Tramo 3-6	Muestra seis y nueve sobre el lim+1.	Los niveles de contaminación tienden a mantenerse y a disminuir lo que quiere decir que la adición es la adecuada.



A continuación, se presenta un resumen de los resultados de las tablas descritas anteriormente.

**Tabla 20:** Resumen del análisis de tendencia. **Fuente:** Autores.

MÁQUINA	TAMAÑO DE MICRAS								Promedio
	1	5	10	15	20	30	50	70	
1	4	4	4	4	4	3	4	3	4
2	5	5	5	5	5	6	5	4	5
3	7	7	5	7	6	7	4	5	6
4	4	4	5	4	4	7	6	6	5
5	4	4	4	4	4	4	4	5	4
6	4	4	4	4	4	4	4	6	4
7	4	4	4	4	4	4	6	6	5
8	4	4	4	4	4	4	5	4	4

Los datos mostrados en la tabla 20 son un indicativo de los niveles de rendimiento en la adición de fluido hidráulico a lo largo de todo el muestreo, en donde se considera un rendimiento bajo para los intervalos de la primera a la tercera muestra mostrados de color rojo, de la cuarta hasta la sexta moderado representados por el color amarillo y de la séptima a la décima efectivo expuestos de color verde.

**Tabla 21:** Resumen del análisis de Box-Plot. **Fuente:** Autores.

MÁQUINA	TAMAÑO DE MICRAS								Efectividad
	1	5	10	15	20	30	50	70	
1	-	-	-	-	+	+	+	-	37,5 %
2	+	+	+	+	+	+	+	-	87,5 %
3	+	-	+	+	+	-	-	-	50,0 %
4	-	-	-	-	+	-	-	-	12,5 %
5	-	-	-	-	-	+	-	-	12,5 %
6	-	-	-	-	-	-	-	-	00,0 %
7	-	+	-	-	-	-	-	-	12,5 %
8	-	-	-	+	+	+	-	+	50,0 %

Los signos en la tabla 21 hacen referencia al comportamiento de la máquina a lo largo del muestreo, el negativo representa aglomeración de partículas sobre la mediana, lo que es indicativo de una baja efectividad del cebado, por el contrario, un signo positivo se traduce en una concentración de los datos por debajo de la mediana y ello se interpreta como una alta efectividad.



*Capítulo 4*

---

## Conclusiones y Recomendaciones

---

### 4.1. CONCLUSIONES

En función de los análisis de tendencia y dispersión se llega a las siguientes conclusiones para cada una de las maquinas:

- Para la Pala Cargadora CAT (Máquina 1)

De acuerdo al análisis de tendencia la adición de fluido hidráulico fue viable durante 4 intervalos debido a que los niveles de contaminación de partículas se mantuvieron sin elevaciones significativas durante ese tiempo. Por otro lado, el análisis de dispersión da como resultado que la máquina reaccionó positivamente para tres tamaños de partículas siendo estas de 20, 30 y 50 micras lo que representa una efectividad del 37,5 % del cebado a lo largo de todo el muestreo. Por lo tanto, el fluido hidráulico presenta niveles de contaminación elevados para el óptimo funcionamiento de la máquina.

- Para el Volquete VOLKSWAGEN (Máquina 2)

Según los datos de tendencia el cebado obtuvo resultados favorables durante un promedio de 5 intervalos, dado que no se presentó variaciones bruscas de la contaminación. El análisis de dispersión muestra que la máquina reacciono correctamente para nueve tamaños de partículas de 1 a 50 micras lo que representa una efectividad del 87,5 % de la adición. El aceite se encuentra dentro de los niveles de impurezas aceptables para su uso.



- Para el Volquete INTERNACIONAL (Máquina 3)

En el análisis de tendencia la adición de fluido hidráulico fue viable durante 6 intervalos de cebado ya que la cantidad de partículas están en rangos similares. Por otro lado, el análisis de dispersión da como resultado que la máquina reaccionó positivamente para cuatro tamaños de partículas siendo estas de 1, 10, 15 y 20 micras lo que representa una efectividad del 50 % en el proceso. La cantidad de partículas en el fluido es muy significativa para seguir utilizando el mismo.

- Para la Pala Cargadora CASE (Máquina 4)

Basados en el estudio de tendencia la adición de fluido hidráulico fue viable durante 5 intervalos, en este periodo el conteo no presenta oscilaciones distantes. Por otro lado, el análisis de dispersión da como resultado que la máquina reaccionó positivamente para un tamaño de partícula de 20 micras lo que representa una efectividad del 12,5 % del cebado. El aceite hidráulico presenta en su composición un número muy elevado de contaminantes lo que se representa un mal desempeño en el sistema.

- Para la Pala Cargadora CAT (Máquina 5)

Según los datos de tendencia el cebado obtuvo resultados favorables durante un promedio de 4 intervalos, porque en este tiempo los niveles de partículas son cercanos en cada muestra. El análisis de dispersión muestra que la máquina reacciono correctamente para un tamaño de partícula de 30 micras lo que representa una efectividad del 12,5 % de la adición. Los dos análisis muestran un aceite con aglomeraciones elevadas de contaminantes.

- Para el Volquete INTERNACIONAL (Máquina 6)

De acuerdo al análisis de tendencia la adición de fluido hidráulico fue viable durante 4 intervalos, dado que en los mismos la contaminación por partículas no presento cambios representativos. Por otro lado, el análisis de dispersión da como resultado que la máquina no reaccionó positivamente para ningún tamaño de partículas lo que representa una efectividad del 00,0 % del cebado a lo largo de todo el muestreo. La presencia de impurezas en el fluido



no permite que el mismo cuente con las propiedades para el correcto desempeño de la máquina.

- Para la Pala Cargadora DRESSER (Máquina 7)

Basados en el estudio de tendencia la adición de fluido hidráulico fue viable durante 5 intervalos, en estos rangos de tiempo la aglomeración de partículas contaminantes fue constante. Por otro lado, el análisis de dispersión da como resultado que la máquina reaccionó positivamente para un tamaño de partícula de 5 micras lo que representa una efectividad del 12,5 % del cebado. La cantidad de partículas contaminantes en el aceite no disminuye con el proceso implementado, dado a la presencia de saturación de impurezas.

- Para el Volquete INTERNACIONAL (Máquina 8)

En el análisis de tendencia la adición de fluido hidráulico fue viable durante 4 intervalos de cebado, esto quiere decir que no se presenta variaciones significativas en la contaminación durante los periodos mencionados. Por otro lado, el análisis de dispersión da como resultado que la máquina reaccionó positivamente para cuatro tamaños de partículas siendo estas de 15, 20, 30 y 70 micras, lo que representa una efectividad del 50 % en el proceso. El fluido hidráulico presenta un número elevado de contaminantes, por lo tanto, ya no cuenta con las prestaciones adecuadas para su correcto desempeño en la máquina.

Mediante la utilización de un protocolo detallado para la recolección de muestras se aseguran muestras lo suficientemente limpias para asegurar resultados confiables al momento de emitir un diagnóstico acertado acerca del estado del fluido hidráulico.

En base al empleo de las gráficas de tendencia y dispersión se consigue un contraste que permite dar a conocer datos que pueden pasar desapercibidos en caso de optar únicamente por uno de los dos tipos de gráfica ya que para este tipo de estudios que involucran una cierta cantidad de datos de muestreo es imprescindible que los mismos se organicen de manera que se pueda llegar a establecer resultados concluyentes del tema en cuestión. Por un lado, se tienen las gráficas de tendencia como indicativo de la variabilidad de la contaminación del fluido hidráulico en función del tiempo, mientras que, por otro lado, las gráficas de dispersión



muestran el comportamiento del grupo de datos organizados como un conjunto con lo cual es posible segmentar el nivel de contaminación presente en el fluido para cada una de las maquinarias.

Debido a que las maquinarias se encuentran en constante rotación de las localidades de trabajo no se puede establecer si existe mayor o menor contaminación del fluido a causa del lugar en donde se encuentra cada una.

## 4.2. RECOMENDACIONES

En primer lugar, para las máquinas que se encuentren trabajando bajo parámetros normales de funcionamiento en cuyo caso el cebado se hacía cada dos a tres semanas al igual que para las demás maquinarias lo que se recomienda es establecer este tiempo para cada dos semanas como máximo.

Para el caso de las máquinas que presenten problemas como fugas de fluido por las cañerías, retenedores y empaques o para aquellas que mediante una inspección visual se llegue a determinar un desgaste excesivo de los elementos que conforman el sistema hidráulico, se recomienda en primera instancia proceder con medidas correctivas a fin de solucionar los problemas mencionados anteriormente, de no ser posible llevar a cabo dichos procedimientos lo recomendable sería tener muy en cuenta tanto los intervalos como las cantidades de cebado.

En lo que respecta al muestreo se deben tener en cuenta ciertas consideraciones tales como, procurar que las máquinas con las cuales se esté trabajando no presenten fugas exageradas de líquido hidráulico. Así también, es imprescindible seguir el protocolo para la toma de muestras ya que con ello se aseguran muestras limpias y por consiguiente resultados confiables al final del estudio.

La limpieza al momento de la utilización del equipo contador de partículas es un factor determinante, ya que cualquier contaminante del exterior que ingrese en la muestra durante todo el proceso llegará a alterar por completo los datos obtenidos, teniendo como resultado



valores erróneos y siendo obligatorio repetir todo el proceso lo que se traduce en un gasto de recursos y tiempo.

Es recomendable llevar un registro detallado de las fechas puntuales de cebado en cada una de las máquinas con la finalidad de establecer medidas preventivas y correctivas a la maquinaria que lo requiera en el tiempo que lo requiera.

Para el caso de los análisis es viable optar por métodos gráficos ya que los mismos presentan una amplia gama para la organización de los datos con lo cual es posible una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

Concerniente al total de las maquinarias que se encuentran a disposición del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, es pertinente realizar una segmentación en base a las condiciones de cada una, con la finalidad de establecer planes de mantenimiento que se adapten a las necesidades específicas de dichas maquinarias.

Finalmente para tener un margen mucho más amplio de estudio y a fin de ofrecer un diagnóstico con un parámetro adicional que permita conocer los tipos de contaminantes presentes en el aceite hidráulico, se recomienda realizar un análisis metalográfico, mismo que ayudaría a determinar los diversos tipos de metales presentes en el fluido, con ello sería posible establecer hipótesis que permitan determinar el o los elementos de los cuales provienen las partículas contaminantes, tales como, rodamientos, bombas, actuadores, válvulas y demás componentes que forman parte de un sistema hidráulico.



Capítulo 5

Bibliografía

- [1] G. Wright, O. Duffy y S. Heard, *Fundamentals of Mobile Heavy Equipment*, Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2017.
- [2] Anter, «EQUIPOS DE NIVELACIÓN (MOTONIVELADORA),» Anter, Madrid.
- [3] CAT, «CAT,» [En línea]. Available: [https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment/compactors/vibratory-soil-compactors/18230166.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/compactors/vibratory-soil-compactors/18230166.html). [Último acceso: 21 07 2019].
- [4] H. Decock, «Patentados,» 16 01 2005. [En línea]. Available: <https://patentados.com/cip-2015/pinones-ruedas-sectores-dentados-bielas/>. [Último acceso: 21 07 2019].
- [5] V. Silva, «Maquinaria pesada y movimiento de tierras,» Tijuana, 2013.
- [6] C. Ferreira Castro, «Resistencia al desgaste de materiales de las orugas de tractores después del proceso de recuperación,» *Matéria*, vol. 20, nº 01, p. 10, 2015.
- [7] S. d. I. H. Jiménez, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [8] R. Huzij, A. Spano y . S. Bennett, *Modern Diesel Technology: Heavy Equipment Systems*, New York: Cengage Learning, 2013.
- [9] F. J. Moreno Rivas, «javiermk.blogspot,» 14 02 2015. [En línea]. Available: <http://javiermk.blogspot.com/2015/02/tecnologia-filtros-hidraulicos.html>. [Último acceso: 21 07 2019].
- [10] E. Águeda Casado, *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*, Madrid: Paraninfo, 2012.
- [11] D. . A. Betancourt Pineda y D. F. Flores Jaramillo, «DIAGNÓSTICO DEL ACEITE USADO DE MOTOR DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE URBANO LANCOMTRI S.A,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2018.



- [12] H. Raposo, J. Torres Farinha, I. Fonseca y A. Ferreira, «Condition Monitoring with Prediction Bases on Diesel Engine Oil Analysis: A Case Study for Urban Busses,» *Actuators*, pp. 1-2, 2019.
- [13] H. M. Maldonado Villavicencio y L. A. Sigüenza Maldonado, «Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria Pesada de la Empresa Minera Dynasty Mining del cantón Portovelo,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2012.
- [14] D. Troyer y J. Fitch, «OIL ANALYSIS,» Noria, León, 2004.
- [15] R. J. Dalley, «An overview of ferrography and its use in maintenance,» PREDICT, Cleveland, 1990.
- [16] J. H. M. Medina, «ANALISIS Y MONITOREO DEL ACEITE LUBRICANTE EN LA ANTICIPACION DE FALLAS DE MAQUINARIA PESADA, COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PROACTIVO,» Universidad Nacional de Trujillo , Trujillo, 2016.
- [17] Tecnoil, «Reacondicionamiento de aceite industrial,» 27 11 2015. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/a/tecnoil.mx/informacion-tecnica/analisis/analisis-espectografico>.
- [18] PekinElmer, «Infrared Spectroscopy (FT-IR),» [En línea]. Available: <https://www.perkinelmer.com/category/infrared-spectroscopy-ft-ir>. [Último acceso: 23 05 2019].
- [19] B. Tornos, «DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIESEL MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ACEITE USADO,» REVERTE, Valencia, 2009.
- [20] M. A. Ledesma Mercado, «ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO PARA IDENTIFICAR COMPONENTES DE DESGASTE EN EL SISTEMA DE IMPLEMENTOS DE EXCAVADORAS 336DL CAT,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, 2015.
- [21] M. Bilbao y A. Málaga, «Contaje de partículas,» IK4-TEKNIKER, 2014.
- [22] O. Catalán Rivera, «Oil Analysis,» Noria.
- [23] Caterpillar, «Cómo tomar una buena muestra de aceite,» Caterpillar, 2014.
- [24] W. I. SRL, «Widman,» 18 11 2018. [En línea]. Available: [https://www.widman.biz/Analisis/toma\\_muestras.html](https://www.widman.biz/Analisis/toma_muestras.html). [Último acceso: 21 07 2019].
- [25] Swissoil, «Cómo tomar muestras de lubricante usado,» Swissoil del Ecuador S.A, Guayaquil, 2016.



- [26] F. Páez, «Noria Latin America,» 28 04 2014. [En línea]. Available: <http://noria.mx/lublearn/toma-de-muestras-de-lubricantes-de-clase-mundial-es-posible/>. [Último acceso: 21 07 2019].
- [27] O. I. d. Normalización, «3722 Hydraulic fluid power -Fluid sample containers - Qualifying and controlling cleaning methods,» ISO, Ginebra, 1976.
- [28] Olipes, «Olipes The Professionals' Lubricants,» [En línea]. Available: <https://www.olipes.com/eu/es/module/csblog/post/69-3-almacenamiento-de-lubricantes-y-vida-util-estimada.html>. [Último acceso: 17 03 2020].