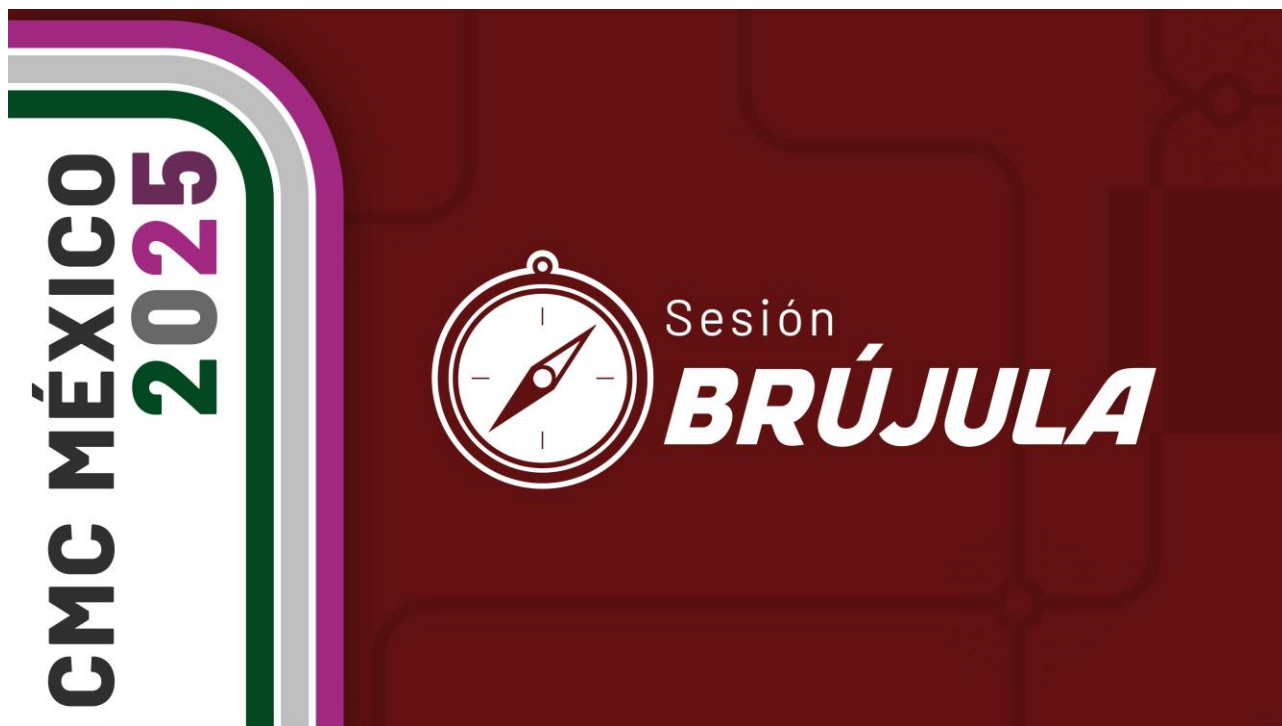




1



Cuando el análisis de aceite no basta: Nuevas ventanas de detección para anticipar fallas – Caso de estudio.



Gerardo Trujillo C.

Fundador del CMC

2

CONFIDENCIALIDAD

Este es un caso real.
Los datos específicos son
omitidos a solicitud expresa de
la compañía minera.

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18^a EDICIÓN

3

Haul Truck 797F - Motor C175 Caterpillar



Camión 797F

- Categoría Ultra-Clase
- Operación minera a cielo abierto
- Costo USD 5'000,000

Motor C175

- 20 cilindros en V
- 106 litros de cilindrada
- 4 turbocargadores
- Potencia 4,000 hp
- 3,785 litros de combustible
- Refrigerado por mezcla anticongelante
- Sistema de inyección Common Rail
- Tiempo de operación estimado 20,000 h
- 1,135 litros de aceite
- Costo del motor USD \$1'127,000
- Costo de reparación: entre 30 y 70% del costo del motor nuevo

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18^a EDICIÓN

4

PROBLEMA:

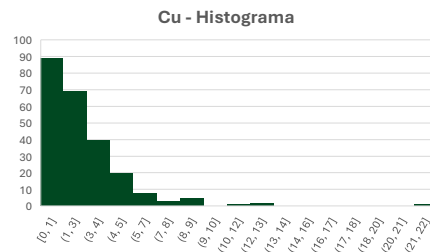
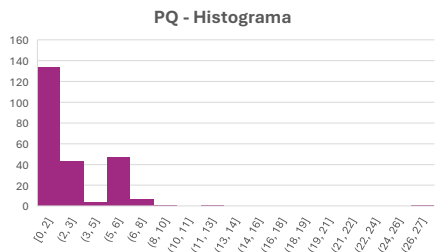
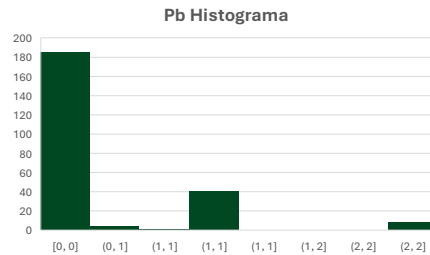
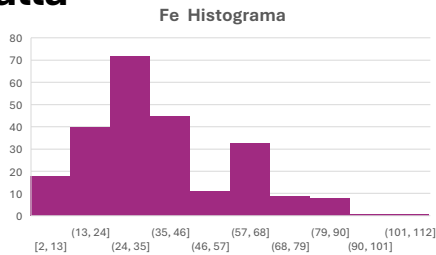
Varias Fallas **Catastróficas** sin detección previa

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

5

Resultados de Análisis de Lubricante ANTES de la Falla



#CMCMéxico2025

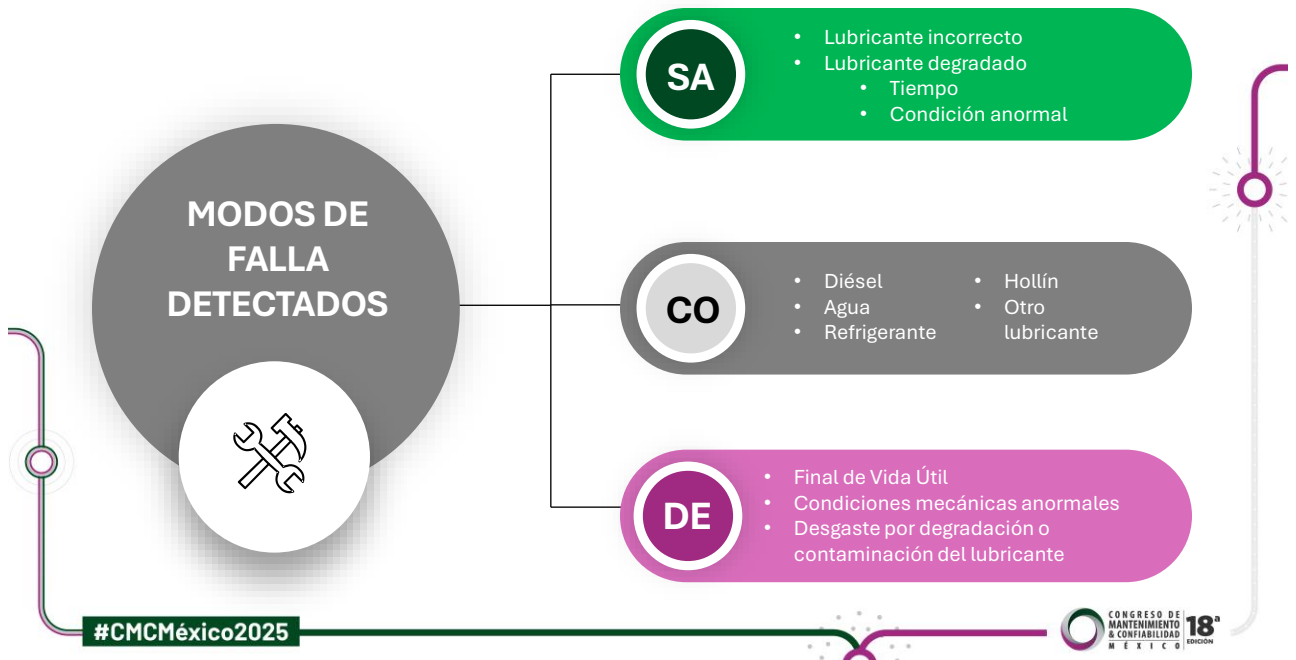
CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

6

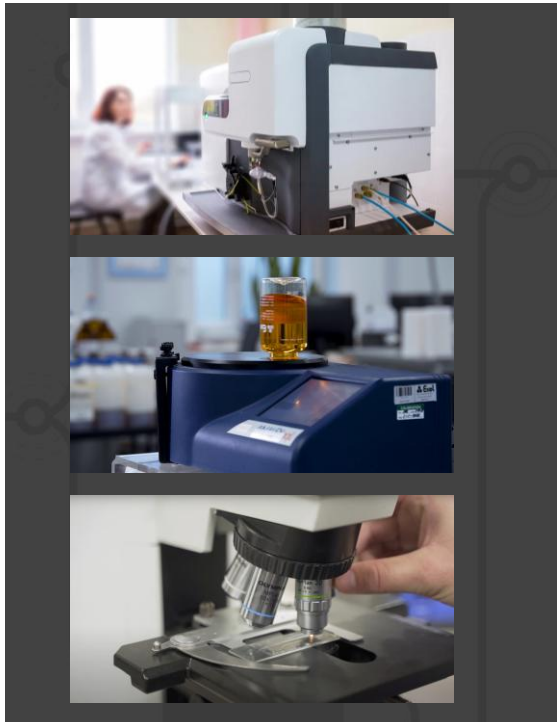
Pruebas Actuales



7



8



Espectroscopía de Emisión Atómica (AES)

- Elemento atómico
- Concentración en ppm
- Partículas < 8µm

Cuantificador de partículas ferromagnéticas

- Partículas ferromagnéticas (Fe, Ni, Acero inoxidable)
- Concentración en ppm o Índice
- Partículas >1µm

Ferrografía Analítica

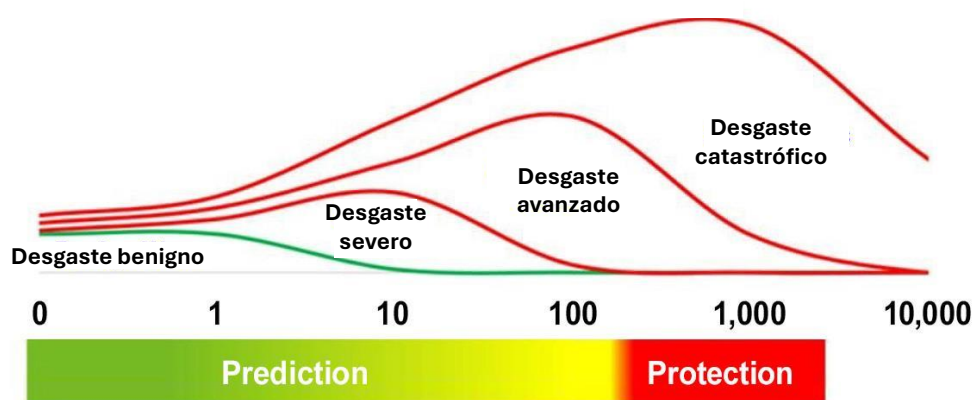
- Partículas ferromagnéticas (Ferrograma)
- Todas las partículas (filtrograma)
- Tamaño
- Color
- Forma
- Apariencia
- Magnetismo



9

Severidad del desgaste – Tamaño de partículas

Tamaño de partícula de desgaste en µm

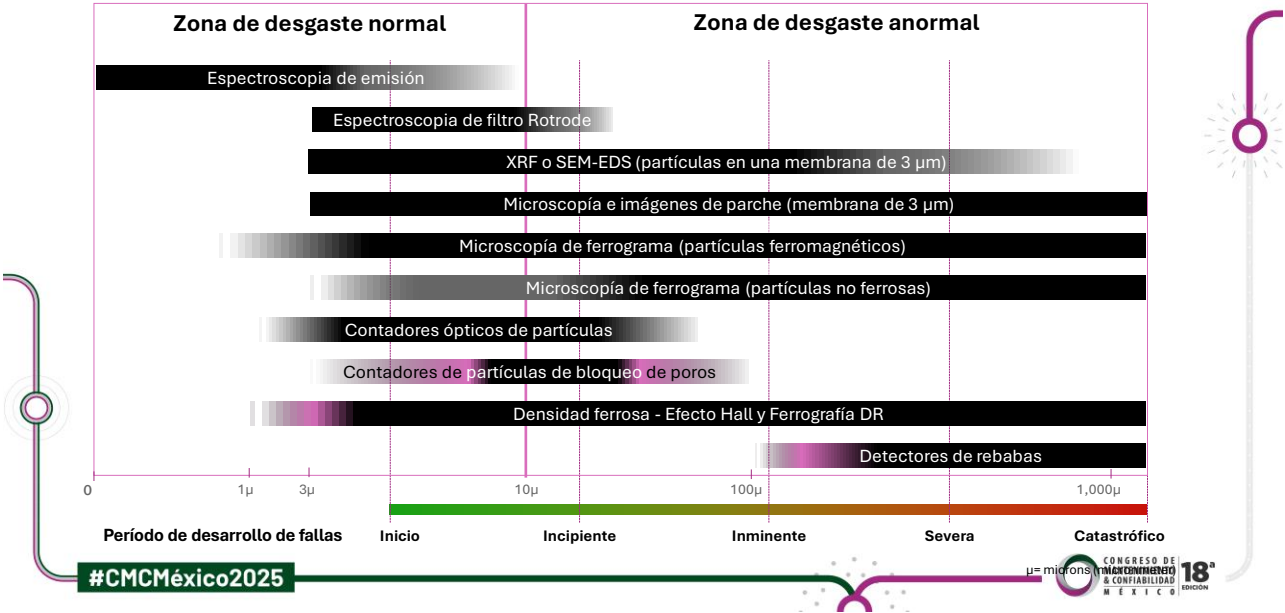


#CMCMéxico2025



10

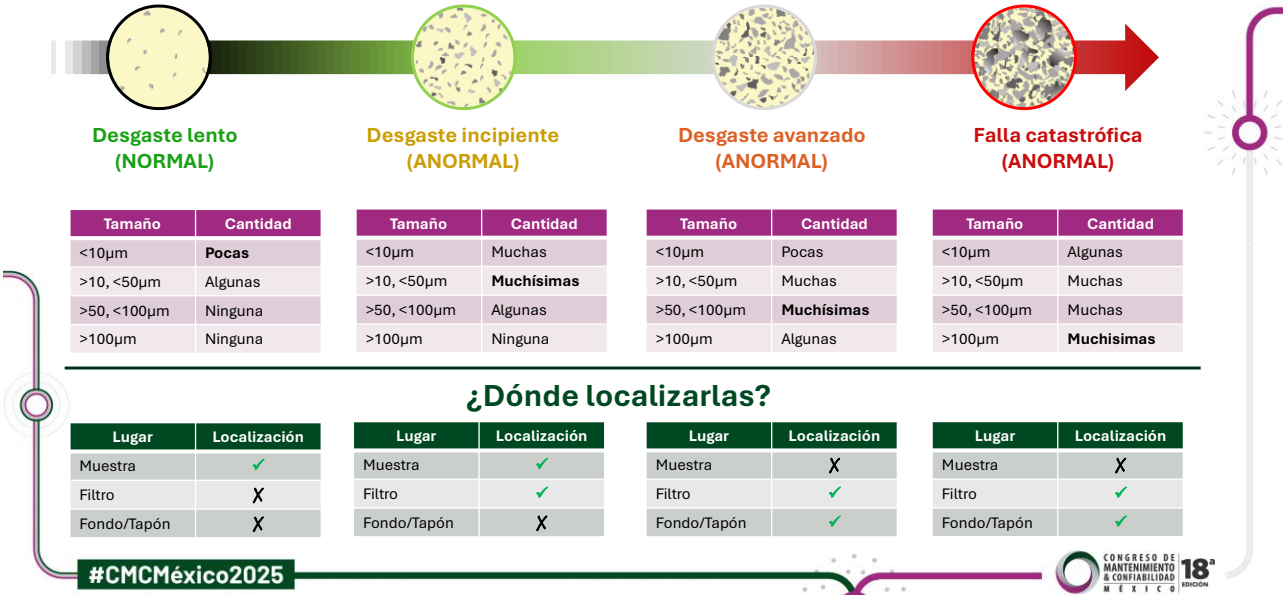
Sensibilidad de las Tecnologías al Tamaño de las Partículas



11

¿Cómo se identifica el desgaste?

Las partículas >10μm **NO** serán detectadas por espectrometría de elementos.



12



La versión LMR Low Maintenance Ratio utiliza el sistema SCF (Self Cleaning Filter) y el Centrifugal Oil Filter.

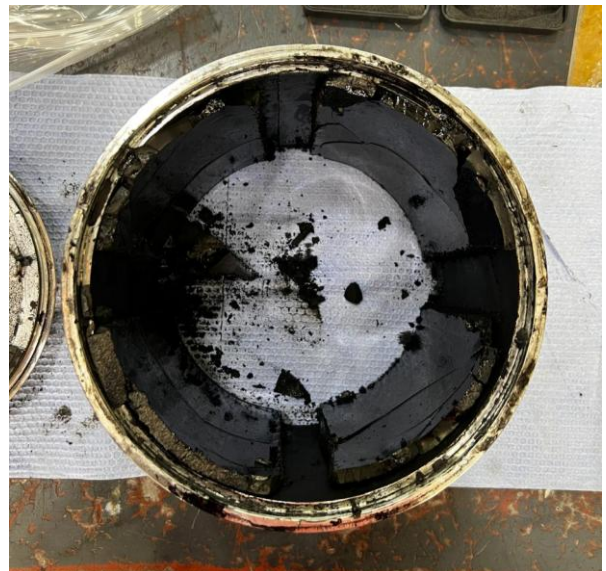
Centrifugal Oil Filter - COF

- Función: **Eliminar** partículas ultrafinas $<5\mu\text{m}$
- La **fuerza centrífuga** separa partículas metálicas, hollín y contaminantes pesados (entre 6,000 y 8,000 rpm)
- Los contaminantes se **adhieren** a las paredes del filtro **formando una torta de pasta negra**
- Sin caída de presión ni **consumibles**
- Limpieza del Aceite **ISO 17/15/12** o mejor
- Periodos de **drenado de 500 h** o más
- **Limpieza periódica** (500 – 1,000 h)

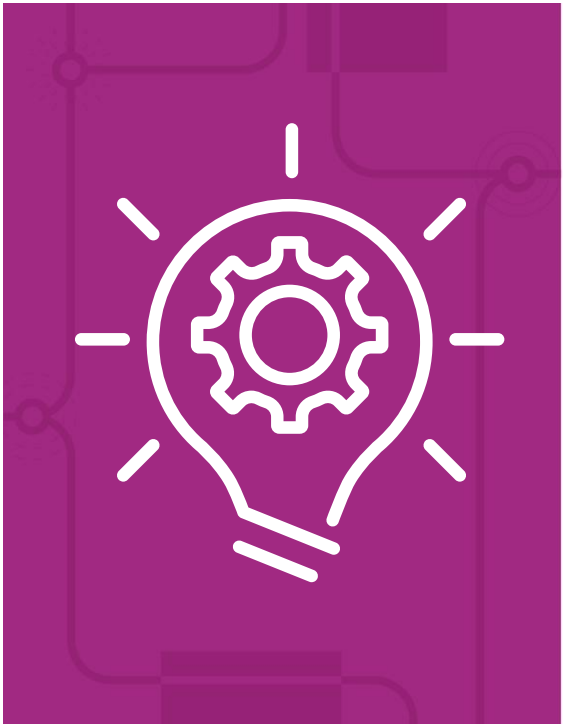
13

<2 μm

Es **TAN BUENO** el Filtro..... que remueve la información



14



Remover el COF y colocar **filtros** de media sintética



Desarrollar **una prueba** en laboratorio interno para analizar el **material retenido** por el filtro que permita identificar **condiciones anormales** con anticipación.

Diseño de la Solución



Laboratorio de Investigación y Desarrollo

- Scanning Electron Microscopy - **SEM**
- X-Ray Dispersive Spectroscopy - **EDS**

Equipos de alta tecnología y expertos en investigación y desarrollo

- Análisis de aceite (**mismas pruebas**)
- Análisis de **gota** (Método Lantos)
- Análisis de metales de **cojinetes**
- Análisis de **torta COF** por filtrograma y análisis microscópico



17



ANÁLISIS DE PARTÍCULAS DE DESGASTE A TRAVÉS DEL MICROSCÓPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

#Filtros
#BuenasPrácticas
#Confiabilidad
#MantenimientoIndustrial

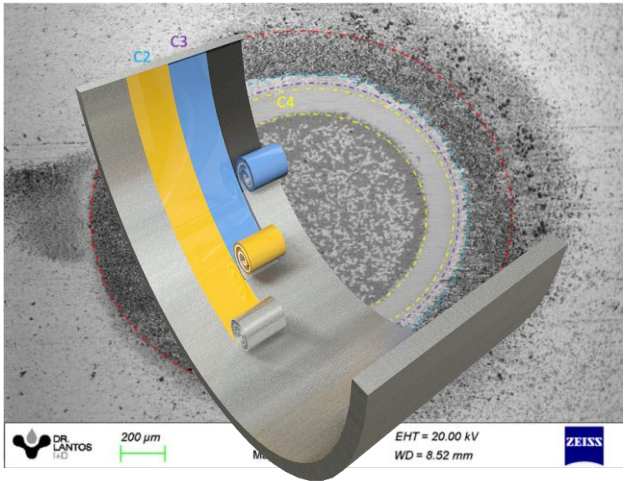
#CMCMéxico2025



18

Investigación Previa – Laboratorio LANTOS

Capa	Espesor (µm)	Principales elementos
Superficie	-	Plomo, Indio
C1	17	Plomo, Aluminio
C2	4	Plomo
C3	2	Estaño, Cobre, Niquel
C4	4	Estaño, Indio, Niquel
Sustrato	-	Cobre

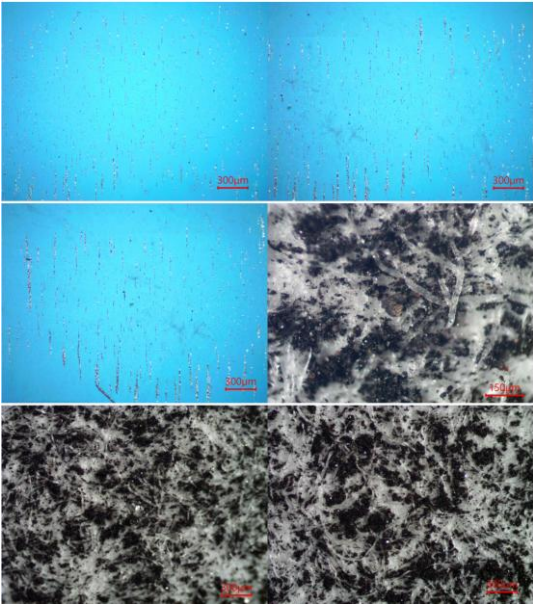


Análisis de “torta” de COF

Análisis espectrométrico (desgaste)

Cobre - Cu	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	3
Hierro - Fe	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	37
Cromo - Cr	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	< 1
Niquel - Ni	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	< 1
Manganeso - Mn	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	< 1
Estaño - Sn	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	< 1
Plomo - Pb	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	< 1
Plata - Ag	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	2
Aluminio - Al	ASTM D5185	mg/kg (ppm)	7

- 1. Bajo microscopio óptico se analizan las partículas de desgaste halladas en los residuos carbonosos.
- 2. En el análisis de ferrografía analítica e encuentran **apreciable cantidad de partículas metálicas ferrosas**, agrupadas en bandas alineadas según el campo magnético aplicado. Estas partículas mayormente poseen tamaños inferiores a los 20 micrones.
- 3. Mediante filtrografía se encuentran también **partículas ferrosas tipo laminares** de hasta 40 micrones, y partículas tipo plaquetas de hasta 100 micrones **pertenecientes a metal blanco (es decir material de cojinetes)**, asociadas a un desgaste por fatiga del material.



Combustión, Hollín, Dispersancia, Refrigerante y Combustible

Método LANTOS
Cromatografía plana



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

21

Hallazgos en LANTOS I+D

- Modo de **desgaste por fatiga**
- Desgaste **incipiente**
- El **desgaste adhesivo y abrasivo** son modos de desgaste **predominantes**
- El desgaste **no relacionado** por **eventos puntuales**, como la falta de aceite o la sobrecarga.
- El tamaño de las partículas se encuentra principalmente en el **rango medio a bajo (<60 µm)**
- **Aleaciones** de desgaste detectadas
 - Pb-Sn-In: **cojinetes** principales y de biela
 - Acero al carbono: **ejes, bielas**
 - Acero con bajo Cr (AISI 52100): **árbol de levas, engranajes**

Se confirma que
las **partículas
grandes** están en
el filtro y que
pueden ser
**analizadas por
microscopio**

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

22

DESARROLLO DE LA PRUEBA EN SITIO

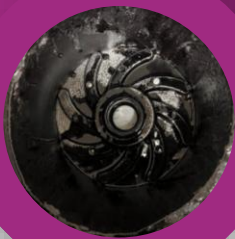
#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

23

01

Inspección y
Medición de
espesor de Torta
del COF



Preparar
Filtrograma

02



03

Inspeccionar
filtrograma en
microscopio



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

24

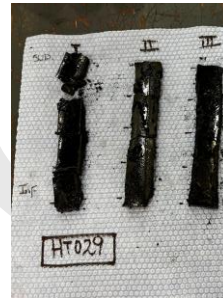
Análisis del Filtro Centrífugo - MUESTREO



Medir **espesor** de torta del COF



Cortar **sección** de torta del COF



Identificar muestra del COF



Colectar muestra

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

25

Preparación de Filtrograma y Ferrograma

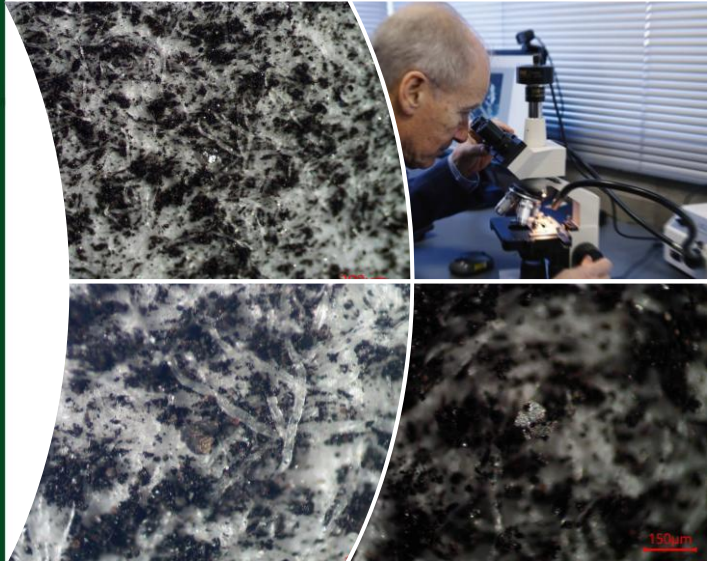


#CMCMéxico2025

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
MÉXICO 18ª
EDICIÓN

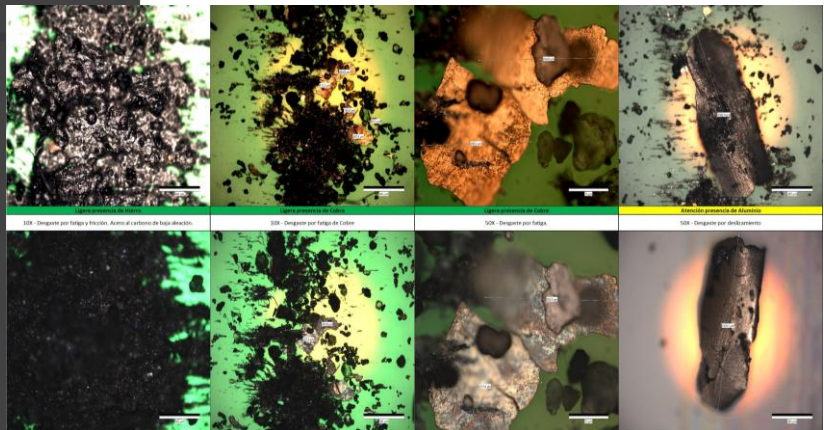
26

INSPECCIÓN DE FILTROGRAMA

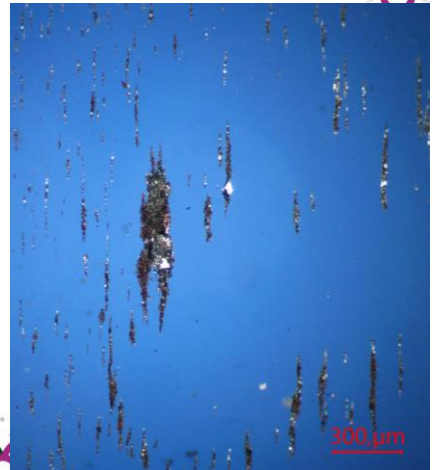
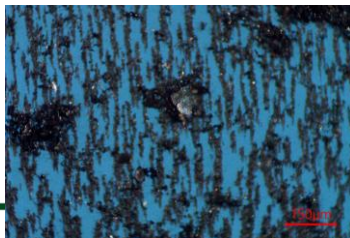
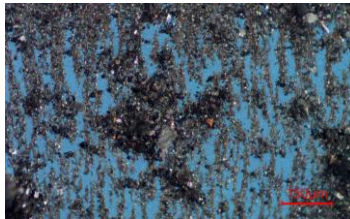
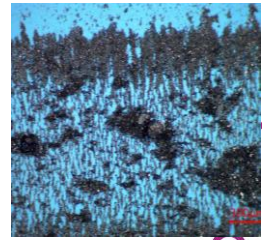
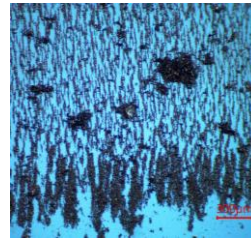


27

Identificación y Clasificación de Partículas y Desgaste



28



#CMCMéxico2025

29

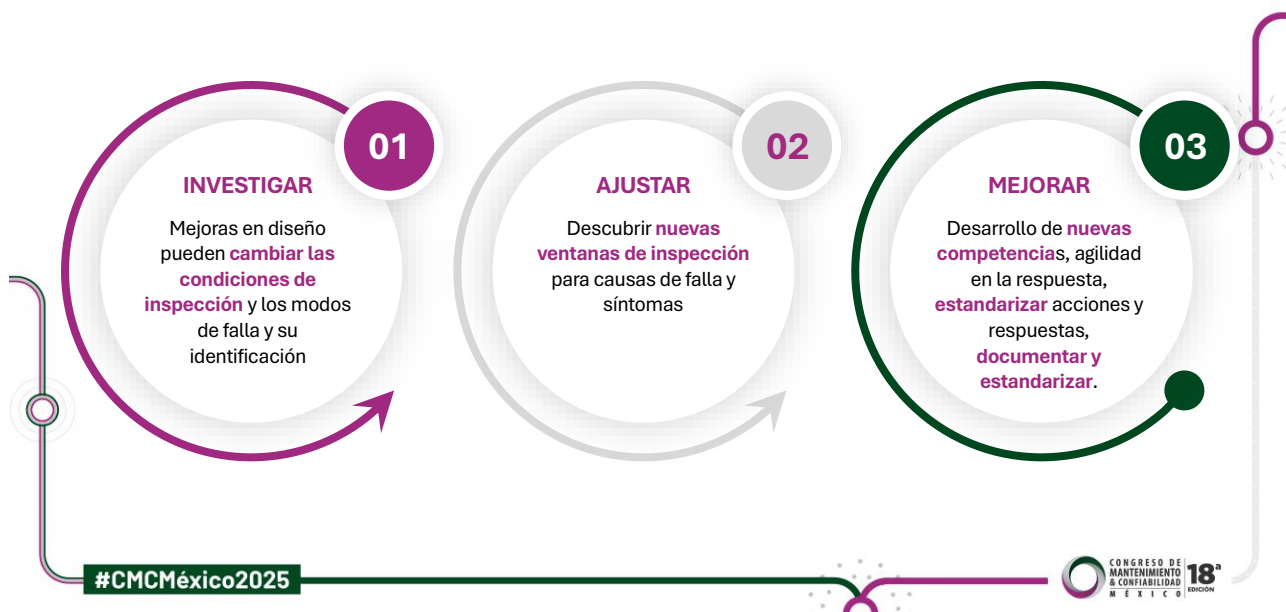
Criterios de Alerta y Acciones Recomendadas

MF	Alerta	Acción	Crítico	Acción
Combustión incorrecta	Espesor de torta >25mm, <35mm	Revisar filtros admisión, consumo de combustible, operación y carga. Muestra LAB, Programar inspección en taller.	Espesor de Torta >35mm	Revisar filtros admisión, consumo de combustible, operación y carga. Muestra LAB, Inspección en taller Urgente
Contaminación con partículas	Partículas abrasivas (algunas) y partículas de corte > 25µm, <50µm	Revisar filtro admisión, tapones y mangueras. Programar inspección al taller.	Partículas abrasivas (muchas) y partículas de corte > 50µm	Revisar filtro admisión, tapones y mangueras. URGENTE inspección al taller.
Desgaste Anormal Pistones / Ejes	Partículas ferrosas de desgaste de fatiga o adhesivo >40µm <100µm	Revisar temperaturas de operación, carga, presión aceite. Programar inspección en taller	Partículas ferrosas de desgaste de fatiga o adhesivo >100µm	Revisar temperaturas de operación, carga, presión aceite. Inspección en taller URGENTE.
Desgaste Anormal Cojinetes	Partículas no ferrosas de desgaste de fatiga o adhesivo >40µm <100µm	Revisar temperaturas de operación, carga, presión, temperatura y nivel de aceite. Programar inspección en taller	Partículas no ferrosas de desgaste de fatiga o adhesivo >100µm	Revisar temperaturas de operación, carga, presión, temperatura y nivel de aceite. Programar inspección en taller URGENTE.

#CMCMéxico2025

30

Lecciones Aprendidas



31



32