



Guía para el reacondicionamiento de maquinaria móvil fuera de ruta con filtros de partículas diésel en Chile

(Beratungsleitfaden für die Partikelfilternachrüstung - Umweltstandards für Baumachinen im Hoch- und Tiefbau im Rahmen öffentlicher Aufträge).

Documento elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 1) junto con el Ministerio del Medio Ambiente de Chile para el Ministerio de Obras Públicas de Chile. CALAC+ es un programa financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico – Swisscontact. Referencias a alguna empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o del programa CALAC+.

El contenido técnico de este documento se basa en su mayoría en la versión en idioma alemán del documento del Departamento de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Senado Berlín (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) versión septiembre de 2015, titulado *Guía de asesoramiento para el reacondicionamiento con filtros de partículas - Normas ambientales para la maquinaria de ingeniería y construcción civil en los contratos públicos (Beratungsleitfaden für die Partikelfilternachrüstung - Umweltstandards für Baummaschinen im Hoch- und Tiefbau im Rahmen öffentlicher Aufträge)*. Autor de la versión original en alemán: Dipl-Ing Volker Hensel de Aurigna Consulting GmbH. El Senado de Berlín (*hoy Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Abteilung I, Referat I C Immissionschutz*) y el autor autorizaron a CALAC+, de manera expresa por medio escrito, a realizar la traducción al español, adaptar y usar el contenido de la guía dentro del ámbito de aplicación del programa el día 03 de marzo del año 2020.

Re-edición y adaptación de versión en español por:

Nancy Manríquez Donoso

Encargada de Regulación de Fuentes Móviles
Ministerio del Medio Ambiente de Chile

Carol Arenas Ibarra

Coordinadora en Chile Programa CALAC+

Helberth Santiago Morales Pinilla

Coordinador Non-Road CALAC+

Edición: julio 2021

Revisado por:

Adrián Montalvo

Director Programa CALAC+

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

ÍNDICE

ACRÓNIMOS.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	5
2.1. LAS PARTÍCULAS DE HOLLÍN DEL DIÉSEL Y LA SALUD.....	5
2.2. LA EMISIÓN DE HOLLÍN Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	6
3. MAQUINARIA FUERA DE RUTA OBJETO DE REACONDICIONAMIENTO CON FILTRO DPF EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO.....	7
3.1. DEFINICIÓN.....	7
3.2. EXIGENCIA DE REACONDICIONAMIENTO DE MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN EN EL PPDA RM.....	8
3.3. MAQUINARIA EXCEPTUADA DE REACONDICIONAMIENTO CON DPF.....	8
3.4. CASOS EN QUE APLICA LA IMPLEMENTACIÓN DE DPF.....	9
3.5. SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE FILTRADO DE PARTÍCULAS..	9
3.6. FLUJOGRAMA PARA IDENTIFICAR LA MAQUINARIA OBJETO DE REACONDICIONAMIENTO.....	11
4. TECNOLOGÍAS DE FILTRO DE PARTÍCULAS.....	11
4.1. FILTRACIÓN DE PARTÍCULAS DE HOLLÍN DE DIÉSEL.....	13
4.2. REGENERACIÓN DE SISTEMAS DE FILTROS DE PARTÍCULAS.....	13
4.2.1. CONTROL ELECTRÓNICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DPF (DATALOGGER)	17
5. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE LA MAQUINARIA CON DPF	18
5.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FILTRO.....	18
5.2. ADQUISICIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN.....	19
5.3. ADECUACIÓN DE LA MAQUINARIA PARA UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO.....	21
PROCEDIMIENTO PRÁCTICO DE IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO.....	24
5.4. PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES POSIBLES.....	24
5.5. CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DPF.....	28
5.6. LIMPIEZA Y REMOCIÓN DE CENIZAS DEL FILTRO DPF.....	30
6. ANEXO: LISTAS EJEMPLO PARA EL CONTROL DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO.....	32
Ejemplo de la lista de control: Control antes de la instalación de un filtro de partículas ..	32

Ejemplo de la lista de control: Control después de la instalación de un filtro de partículas
33

Ejemplo de un acta de entrega 33

7. GLOSARIO 34

ACRÓNIMOS

CALAC+	Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina Plus
CARB	Junta de Recursos del Aire de California (en inglés <i>California Air Resources Board</i>)
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (en inglés <i>Swiss Agency for Development and Cooperation</i>)
DPF	Filtro de Partículas Diésel (en inglés <i>Diesel Particulate Filter</i>)
FOEN	Oficina Federal de Medio Ambiente de Suiza (en inglés <i>Federal Office for the Environment of Switzerland</i>)
MINSAL	Ministerio de Salud
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
MMFR	Maquinaria móvil fuera de ruta
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MTT	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
PPDA RM	Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana
VERT	Tecnologías de Verificación de Reducción de Emisiones de Suiza (en inglés <i>Verification of Emission Reduction Technologies</i>)

1. INTRODUCCIÓN



La primera iniciativa del gobierno de Chile para la reducción de emisiones de maquinaria móvil fuera de ruta se encuentra contenida en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (en adelante PPDA RM)¹, adoptado en 2017. En este plan, se estableció la obligatoriedad de implementación de filtros de partículas diésel (DPF) en maquinaria móvil fuera de ruta en obras ejecutadas por el Ministerio de Obras Públicas de Chile, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Salud. El cumplimiento de dicho requerimiento y éxito en la reducción de emisiones contaminantes de la maquinaria depende de una adecuada comprensión del contexto normativo aplicable y sus correspondientes elementos técnicos, de manera que se contribuya en conjunto desde el sector privado y público para cumplir esta meta de beneficio para el ambiente y la salud de todos los chilenos.

Por lo anterior, desde el Ministerio del Medio Ambiente de Chile en colaboración con el Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+) financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE se vio la necesidad de desarrollar la presente guía con objeto de aportar los elementos principales para la apropiación de conceptos y consideraciones para el reacondicionamiento de maquinaria de construcción con filtros de partículas diésel (DPF).

¹ website:

[https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/Decreto Supremo 31 2017 Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la RM 928 - 986.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/Decreto_Supremo_31_2017_Plan_de_Prevencion_y_Descontaminacion_Atmosferica_para_la_RM_928_-_986.pdf)

2. ANTECEDENTES TÉCNICOS

2.1. LAS PARTÍCULAS DE HOLLÍN DEL DIÉSEL Y LA SALUD

La mayoría de la maquinaria de construcción es impulsada por motores diésel. Estos motores son duraderos, eficientes, potentes y versátiles. Sin embargo, por más cualidades con que cuenten los motores diésel, tienen una desventaja: en un motor diésel, durante la combustión del carburante se forman numerosas sustancias indeseables que son muy peligrosas para la salud.

El hollín del diésel ha sido considerado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) igual de cancerígeno que el asbesto desde junio de 2012.

El enfoque sobre estas emisiones se encuentra en especial en las partículas de hollín del diésel. Estas partículas consisten en un núcleo de carbono elemental negro y numerosas sustancias adheridas, siendo todas consideradas como cancerígenas. La gran mayoría de las partículas de hollín del diésel son extremadamente pequeñas, en el rango de 100 nm e incluso menores (un nanómetro es una millonésima de milímetro). Esta característica aplica tanto a los motores diésel nuevos como a aquellos usados.

A modo de comparación: asumiendo que un cabello humano tiene un diámetro de aproximadamente 30.000 nm, que es tan grueso como 300 partículas de carbono negro de 100 nm (Ver figura 2). Debido a que las partículas de hollín del diésel son tan pequeñas, cuando se inhalan entran a los pulmones y desde allí pueden incluso llegar a la sangre. Esto puede conducir a varios problemas de salud: problemas respiratorios, bronquitis crónica, cáncer de pulmón, apoplejías, ataques cardíacos u otras enfermedades cardiovasculares. Existen concentraciones particularmente altas de partículas de hollín de diésel en las carreteras principales o en las obras de construcción donde se utiliza maquinaria de construcción con motores diésel. Los estudios^{1 2} sobre el tema "Riesgo de enfermedades respiratorias y de cáncer de pulmón en diversos grupos ocupacionales" mostraron que los trabajadores de la construcción se ven cada vez más afectados por estos riesgos. Por ejemplo, los trabajadores de la maquinaria pesada de construcción tenían más del doble de probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón que el promedio de la población.



Figura 1: Emisiones de hollín

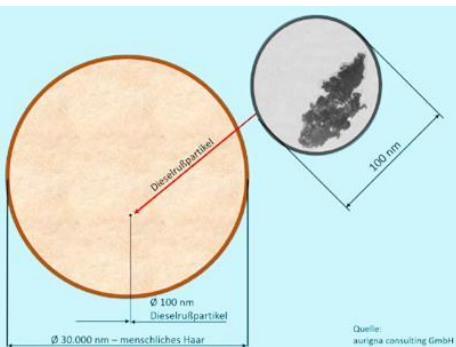


Figura 2: Comparación del tamaño de las partículas de hollín del diésel.

¹ Brüske-Hohlfeld I, Möhner M, Ahrens W, Pohlabein H, Heinrich J, Kreuzer M, Jöckel KH, Wichmann HE. Lung cancer risk in male workers occupationally exposed to Diesel motor emissions in Germany. Am J Ind Med 1999; 36: 405-414

² Bergdahl IA, Toren K, Eriksson K, Hedlund U, Nilsson T, Flodin R, Järholm B. Increased mortality in COPD among construction workers exposed to inorganic dust. Eur Respir J 2004; 23: 402-406

2.2. LA EMISIÓN DE HOLLÍN Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Los límites legales para las emisiones de hollín de la maquinaria de construcción están rezagados en su desarrollo en comparación con la legislación para los camiones. La maquinaria de construcción en el mundo continúa contribuyendo de manera significativa a la contaminación por partículas, en especial en las zonas urbanas. Este problema es aún más preocupante en Latinoamérica donde no se cuentan con límites de emisión para este tipo de fuentes.

Un aspecto de particular importancia respecto a las emisiones de maquinaria de construcción es que sus emisiones suelen concentrarse localmente cuando las máquinas funcionan durante muchas horas en el mismo lugar.

Debido a la producción de emisiones de polvo fino, la maquinaria de construcción a veces contribuye más a la contaminación local que el tráfico, incluso en una carretera concurrida. La figura 3 muestra el resultado de un modelo de cálculo obtenido de un estudio del Instituto de Energía y Protección del Medioambiente de Heidelberg – IFEU¹, por sus siglas en alemán. En este estudio se observó que cinco máquinas de construcción que funcionan de las 8 am y las 4 pm, en el transcurso de un año, provocan una contaminación adicional de 6 a 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, llegando en algunas horas a más de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el tráfico con 46.500 vehículos al día alcanza una contaminación máxima de 3 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en horas pico hasta 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Aunque la contaminación del aire por la maquinaria de construcción suele ser limitada en el tiempo, los picos de concentración muy elevados a corto plazo pueden contribuir a que se supere el valor límite de la calidad del aire del promedio diario.

La figura 3 muestra la contaminación promedio provocada por el hollín de diésel a lo largo de un año, comparando tráfico y construcción:

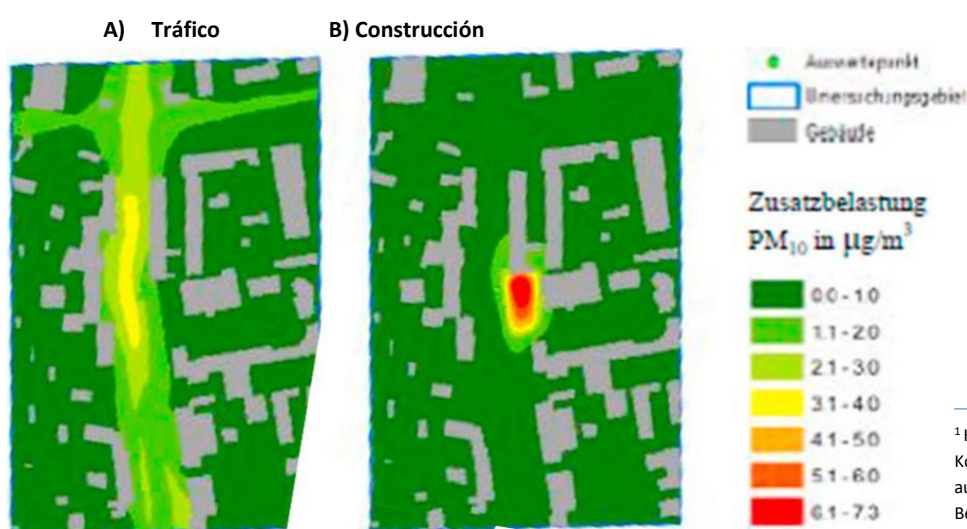


Figura 3: A) aproximadamente 46.500 vehículos por día, de los cuales aproximadamente 1.800 son camiones y autobuses; B) Efecto ambiental en una obra con 05 máquinas Stage II, en funcionamiento de 8 a.m. a 4 p.m.

¹ Helms, H. und Heidt, C.: Erarbeitung eines Konzepts zur Minimierung der Umweltbelastung aus NRMM (non-road mobile machinery) unter Berücksichtigung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionsverminderungsoptionen für den Bestand. IFEU-Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 24/2014

Hoy en día existen las tecnologías y viabilidad técnica para reducir las emisiones de hollín de la maquinaria de construcción y existe un potencial de reducción de emisiones considerable mediante la adaptación de filtros de partículas o recambio de la maquinaria por otras de última generación.

Los filtros de partículas modernos son capaces de reducir el número de partículas en más de un 99%. La figura 4 muestra cuánto hollín puede ser eliminado usando un filtro de partículas (conocidos como DPF por las siglas en inglés de *Diesel Particle Filter*), para un vehículo después de 80.000 km. Un vehículo Euro III sin filtro emitiría aprox. 3 kg (3000 g) de hollín, pero con un filtro de partículas emitiría tan sólo 100 g.

Figura 4: Comparación de las emisiones de hollín de un vehículo Euro III: A) con filtro de partículas 100 g y B) sin filtro de partículas 3 kg (3.000 g) de hollín.



3. MAQUINARIA FUERA DE RUTA OBJETO DE REACONDICIONAMIENTO CON FILTRO DPF EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

3.1. DEFINICIÓN

El Artículo 3 del PPDA RM, define la maquinaria móvil fuera de ruta como:

“Cualquier máquina móvil o equipo industrial portátil o vehículo con o sin carrocería, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, aptos para desplazarse sobre el suelo, con o sin carretera y que funciona en base a motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW e inferior o igual a 560 kW. Se excluyen los motores destinados a la propulsión de automotores, locomotoras u otros elementos y equipos ferroviarios que se desplacen sobre rieles, barcos, aeronaves y vehículos de recreación”.

3.2. EXIGENCIA DE REACONDICIONAMIENTO DE MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN EN EL PPDA RM

El Artículo 18 del PPDA RM de 2017, establece:

“A partir del año 2020, el Ministerio de Obras Públicas, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Salud, cuando ejecuten obras de construcción deberán usar filtros de partículas cerrados para el total de la maquinaria móvil fuera de ruta de construcción que tenga una potencia superior a 56 kW e inferior o igual a 560 kW. Si la ejecución de las obras de construcción se efectúa a través de terceros, la referida obligación de utilización de filtros deberá quedar contenida en las respectivas bases administrativas, términos de referencia y/o contratos. La obligación regirá para la maquinaria propia y la de terceros que ejecuten los proyectos de obras de construcción. Los Ministerios obligados podrán exceptuar el cumplimiento de la medida por medio de resolución fundada y previo informe favorable del Ministerio del Medio Ambiente.

La Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región Metropolitana coordinará con los Municipios de la Región Metropolitana de Santiago, a fin de evaluar la inclusión de la exigencia anterior, sea en las bases administrativas, términos de referencia, contratos u otro instrumento, cuando ejecuten obras de construcción de manera directa y/o a través de terceros”.

3.3. MAQUINARIA EXCEPTUADA DE REACONDICIONAMIENTO CON DPF

El MOP y el MMA señalan que se considerarán las siguientes alternativas por las cuales es técnicamente posible dar cumplimiento a dicha exigencia¹:

- a) Mediante el uso de maquinaria con motor diésel que cumpla el estándar de emisiones Stage V o Tier 4, que cuenten con DPF de fábrica.
- b) Mediante el uso de maquinaria con estándar de emisión Stage IIIB o Stage IV con certificación FOEN para tipo de motor original de fábrica conforme con la regulación SN277206 y publicada en el listado Engine Types (OEM)².
- c) Mediante el uso de maquinaria usada reacondicionada con filtro de partículas (DPF) certificado o verificado de acuerdo con los requisitos de VERT^{3 4}, FOEN⁵ o CARB-Nivel 3⁶ y que se encuentren publicados en los respectivos listados de sistemas autorizados.

Se presentan 2 situaciones en las cuales la maquinaria se podrá exceptuar de instalación de filtro debido a implicancias técnicas y/o jurídicas:

- d) Maquinaria que se encuentre dentro del período de garantía con certificado del representante de la marca o del fabricante. Una vez que la maquinaria cumpla su período de garantía original, se le exigirá que

¹ Informe ART 18 PPDA RM, del Of. 203220 del MMA.

² website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/info-specialists/particle-filter-list/particle-filter-system-types.html>

³ website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/info-specialists/particle-filter-list/engine-types-oem.html>

⁴ website: <https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/article/48/VERT-Filter-Liste-Sept-2017.pdf>

⁵ website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/info-specialists/particle-filter-list/particle-filter-system-types.html>

⁶ website: <https://www.arb.ca.gov/diesel/verdev/vt/cvt.html>

incorpore a ésta el filtro de partículas en el más breve plazo posible, a no ser que la maquinaria ya cumpla con las excepciones de reacondicionamiento mencionadas en los literales a), b) o c).

e) Imposibilidad técnica: en cuanto a la maquinaria que por razones técnicas fundadas no puedan utilizar filtro de partículas, deberán presentar caso a caso, los antecedentes y fundamentos a la Dirección General de Obras Públicas, debiendo justificarse ante el MOP la imposibilidad técnica.

3.4. CASOS EN QUE APLICA LA IMPLEMENTACIÓN DE DPF

La implementación de la exigencia de uso de filtros DPF en obras del MOP, se puede presentar en las siguientes circunstancias¹:

- Obras ejecutadas con maquinaria propia

En este caso la exigencia implica el uso obligatorio de filtros de partículas en la maquinaria propia del MOP, con motores de entre 56 y 560 kW, que realicen trabajos en la Región Metropolitana.

- Obras realizadas con presupuesto del MOP, pero subcontractadas a terceros

Corresponde a las obras que realiza el MOP en la Región Metropolitana con presupuesto propio, pero que no se ejecutan con flota propia, sino con maquinaria de terceros, por cualquier modalidad de leasing, arriendo, contrato o subcontrato.

En este caso, el MOP incorporará en los procesos de licitación, concurso, compra, arriendo, leasing, contrato o subcontrato, una cláusula con la exigencia de uso de filtros de partículas, bajo cualquiera de las tres modalidades a), b) o c) de lo mencionado anteriormente en el punto 3.3, para la maquinaria entre 56 y 560 kW.

- Obras concesionadas

Se trata de las obras públicas que son concesionadas a privados por la Dirección de Concesiones mediante procesos de licitación. En este caso el MOP incorporará en los procesos de licitación una cláusula con la exigencia de uso de filtros de partículas, bajo cualquiera de las tres modalidades a), b) o c), de lo mencionado en el punto 3.3, para la maquinaria entre 56 y 560 kW.

3.5. SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE FILTRADO DE PARTÍCULAS

La certificación de los sistemas de filtrado de partículas garantiza que los operadores de maquinaria de construcción cumplan los requisitos de calidad pertinentes. Esto se aplica en particular a las tasas de separación de las partículas de hollín, pero también para garantizar un funcionamiento seguro

¹ Informe ART 18 PPDA RM, del Of. 203220 del MMA

y duradero. Los procedimientos de certificación que se listan a continuación cumplen los requisitos para su uso en las obras de construcción de la Región Metropolitana:

NOTA: Los enlaces de la World Wide Web indicados a continuación son aportados como guía. En caso de que sean actualizados o cambiados por las instituciones mencionadas, deberá remitirse a las páginas web oficiales de cada una de las instituciones para la búsqueda de las listas correspondientes.

VERT, Verificación de las tecnologías de reducción de emisiones (Verification of Emission Reduction Technologies – Normas Suizas)^{1 2}

- VERT promueve tecnologías posibles para la minimización de partículas y es ampliamente reconocida en el mundo.
- Los sistemas aprobados por VERT se pueden encontrar bajo el enlace https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/article/48/VERT-Filter-List_Ostober2020.pdf

FOEN³, Oficina Federal del Medio Ambiente de Suiza (Federal Office for the Environment of Switzerland)⁴:

- Los sistemas aprobados por FOEN se pueden encontrar bajo el enlace: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/info-specialists/particle-filter-list/particle-filter-system-types.html>
- Sistemas de filtros, que en Suiza se encuentran en la lista de filtros FOEN bajo el enlace <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/partikelfilterliste.html> también son aprobados por VERT

CARB, Junta de Recursos del Aire de California (California Air Resources Board)⁵:

- CARB tiene la tarea de desarrollar y adoptar las reglas y regulaciones específicas necesarias para lograr una calidad de aire saludable.
- Los sistemas aprobados por CARB se pueden encontrar bajo el enlace: [Verification Procedure: Currently Verified | California Air Resources Board](https://www.arb.ca.gov/diesel/verification/verified.htm)

¹ website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/info-specialists/particle-filter-list/engine-types--oem-.html>

² website: https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/article/48/VERT-Filter-List_Ostober2020.pdf

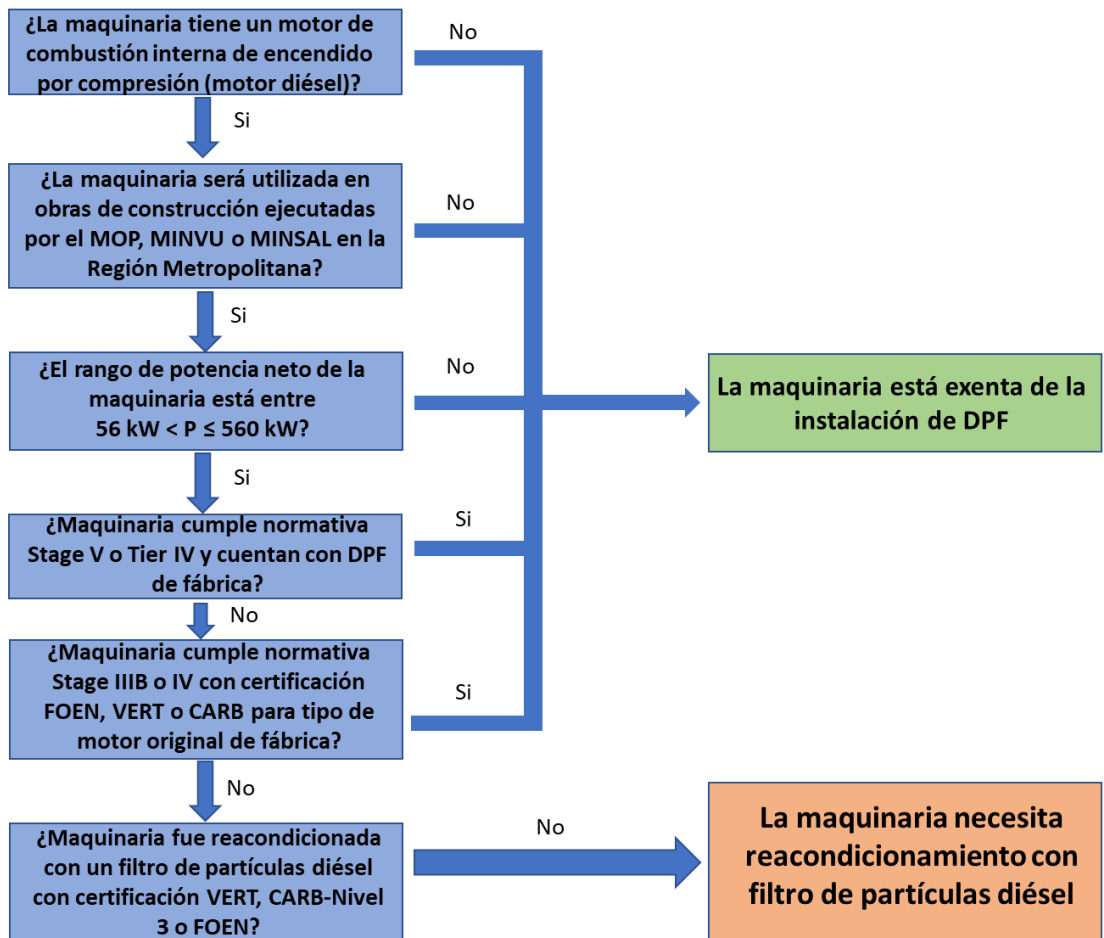
³ También se emplea el acrónimo BAFU por ser las siglas en alemán de esta misma entidad

⁴ website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/info-specialists/particle-filter-list/particle-filter-system-types.html>

⁵ website: <https://www.arb.ca.gov/diesel/verification/vt/cvt.htm>

3.6. FLUJOGRAMA PARA IDENTIFICAR LA MAQUINARIA OBJETO DE RECONDICIONAMIENTO

Figura 5: Diagrama de flujo para identificar si la maquinaria necesita reacondicionamiento con DPF. Fuente: Elaboración propia



Con base en lo anteriormente expuesto, se observa que son varias las condiciones para saber cuándo le aplica o no la obligatoriedad de instalación de filtro DPF a una máquina, por lo cual en el presente numeral se incluye un flujograma para proveer un mecanismo sencillo del paso a paso en la evaluación de los criterios decisivos y que ayudará a identificar fácilmente si puede seguir utilizando su máquina sin cambios o si es necesario un reacondicionamiento.

4. TECNOLOGÍAS DE FILTRO DE PARTÍCULAS

Los sistemas de filtros de partículas permiten separar los componentes de las partículas del flujo de gases de escape, asegurando tasas de retención permanentes de al menos el 90% de la masa de partículas. Las modificaciones específicas del motor en las piezas y componentes electrónicos, así como la

recirculación de los gases de escape en el motor, no son considerados como sistemas de reducción de partículas.

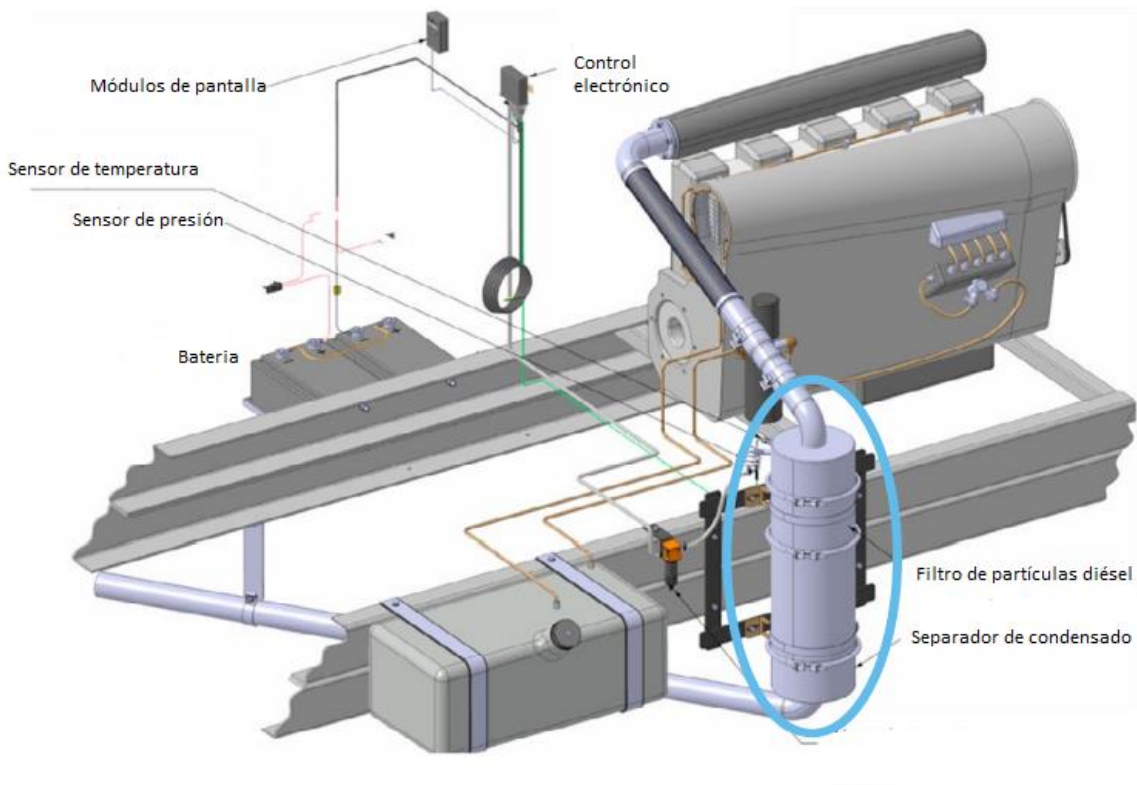


Figura 6: Sistema de filtro de partículas en la instalación

Además de la separación del hollín, los sistemas de filtrado de partículas deben cumplir otras funciones importantes a fin de garantizar el buen funcionamiento del filtro y de la máquina.

Filtración	Regeneración	Control	Reducción de Ruido
Un elemento filtrante, en su mayoría de cerámica o metal sinterizado, retiene el hollín y las partículas incombustibles como las cenizas del lubricante del motor.	+ Un motor produce más hollín del que un filtro puede absorber, por lo tanto, en este proceso de regeneración el hollín acumulado es quemado.	+ El funcionamiento del filtro es supervisado mediante sensores de temperatura y de presión. .	+ Dado que el filtro de partículas por lo general reemplaza al silenciador, éste tendrá que asumir su función.

Tabla 1: Funciones principales de un sistema de filtro de partículas

4.1. FILTRACIÓN DE PARTÍCULAS DE HOLLÍN DE DIÉSEL

Se distingue entre "sistemas cerrados" (filtros de flujo de pared o de "wall flow") y "sistemas abiertos" (filtros de flujo parcial o "partial flow"). Los sistemas de filtro abierto se utilizan, por ejemplo, en el reacondicionamiento de los coches de pasajeros que tienen un grado bajo de filtración.

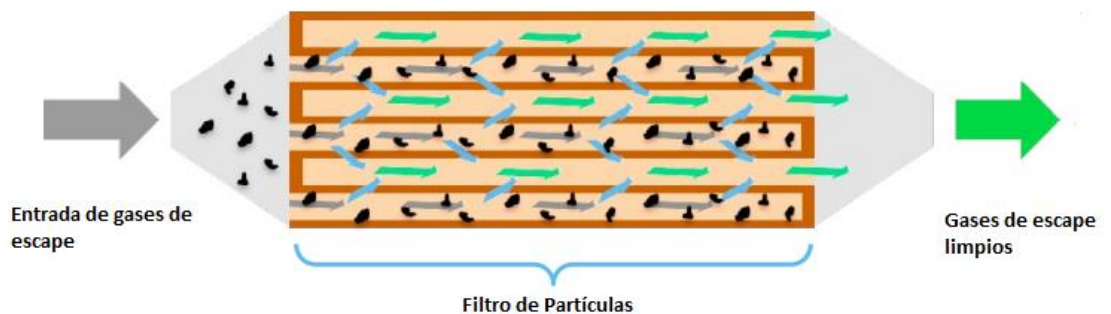
Sólo los "sistemas cerrados" están permitidos según lo mencionado en el artículo 18 del PPDA RM para la maquinaria de construcción, ya que sólo estos sistemas cumplen con las tasas de reducción de partículas requeridas > 90 %. Los "sistemas abiertos" no cumplen con los requisitos.



Figura 7: Filtros de Partículas

Un filtro de partículas cerrado consiste en una disposición de canales con material de pared poroso y permeable al gas, cerrados en los extremos. Los gases de escape se dirigen a canales que en los extremos están cerrados. Por lo tanto, se ven obligados a fluir a través de las paredes porosas del material filtrante. En el proceso, las partículas de hollín se depositan en la superficie y en el sustrato poroso de las paredes del canal del filtro.

Figura 8: Diagrama del flujo de la pared a través de un filtro



Como sustratos para sistemas cerrados se utilizan casi exclusivamente materiales cerámicos y de metal sinterizado. Según el proceso de regeneración y el uso previsto, existen diferentes ventajas y desventajas para estos materiales.

Los sustratos utilizados son capaces de filtrar eficazmente todas las partículas de los gases de escape, incluso las más finas.

4.2. REGENERACIÓN DE SISTEMAS DE FILTROS DE PARTÍCULAS

El filtro de partículas recoge todas las partículas del gas de escape. La mayoría de ellas consisten en hollín, que es susceptible de ser quemado, y cenizas no combustibles que provienen, por ejemplo, del aceite del motor. Los sistemas de filtros de partículas deben ser regenerados, es decir, liberados de hollín, para que la contrapresión de los gases de escape no crezca demasiado, el consumo de combustible no aumente y no se causen daños al motor.

¡La regeneración no es igual a la limpieza! La regeneración significa remover el hollín del filtro, en la mayoría de los sistemas de filtros de partículas esto se hace automáticamente durante el funcionamiento. Limpiar significa eliminar del filtro los residuos que no se queman del aceite, las partículas de metal y los silicatos, esto es parte del mantenimiento regular del filtro.

El hollín se quema a aproximadamente 600 °C. Si esta temperatura en el flujo de gases de escape no es alcanzada en el filtro de partículas, es necesario tomar medidas técnicas para eliminar el hollín de forma permanente o regular del elemento filtrante. Si esto no sucede, en pocas horas o días de funcionamiento se crea una contrapresión de escape tan alta que los filtros y las máquinas ya no funcionan o se dañan.

Para ello, se han desarrollado y comercializado durante muchos años diversas tecnologías y conceptos.

Se distingue entre "sistemas de regeneración pasivos" y "sistemas de regeneración activos", así como entre "sistemas de filtros intercambiables" (sin sistemas de regeneración) y combinaciones de sistemas activos y pasivos.

“La regeneración pasiva “

Los sistemas de filtros de regeneración pasiva queman el hollín depositado en el filtro, **sin necesidad de suministro de energía externa**, dado que los gases de escape alcanzan la temperatura suficiente para que este proceso ocurra. Por lo tanto, este proceso depende en gran medida de la temperatura de los gases de escape, el tiempo de duración de estas temperaturas y la condición del flujo del gas de escape. La regeneración se lleva a cabo, ya sea por el gas NO₂, a través de la capa oxidativa del recubrimiento del filtro o mediante el uso de aditivos.

Es aconsejable que este tipo de sistemas sean instalados lo más cerca posible del motor. La regeneración del filtro requiere altas temperaturas de escape y éstas disminuyen con la distancia del motor.

Los proveedores de sistemas pasivos pueden proporcionar tablas y diagramas que muestran los rangos de temperatura en los que una máquina debe ser operada para asegurar un funcionamiento sin problemas. Por lo tanto, el comportamiento de la temperatura en el gas de escape debe ser conocida, es decir, medida antes de reacondicionamiento.



Figura 9: Filtro pasivo

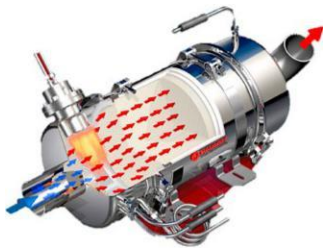


Figura 10: Filtro activo

“La regeneración activa “

Con los métodos de regeneración activa, **se utiliza energía externa suministrada activamente al filtro**. Esto puede hacerse por medio de un combustible y quemadores, asistido eléctricamente en combinación con un sistema de aditivos o mediante la inyección de combustible diésel en un convertidor catalítico. Sin aditivos, el gas de escape debe ser calentado a más de 600 °C para quemar el hollín.



Figura 11: Filtro intercambiable

“Los sistemas de filtros intercambiables”

Los sistemas de filtros intercambiables no llevan integrado la función de regeneración (quema de hollín). Por esta razón, el elemento filtrante debe ser liberado del hollín o reemplazado externamente cada cierto tiempo a través de un proceso térmico y/o limpieza.

Los sistemas de filtros intercambiables suelen ser conectados directamente al extremo del tubo de escape y están diseñados para un uso temporal o para máquinas con sólo unas pocas horas de funcionamiento. En los sistemas con filtros cerámicos o de metal sinterizado, los elementos filtrantes se retiran de la carcasa, se limpian de hollín según el procedimiento especificado por el fabricante; que por lo general consiste en la combustión y/o limpieza térmica, para que posteriormente puedan ser utilizados en otras operaciones. Como este proceso puede llevar varias horas, es aconsejable trabajar con elementos filtrantes de repuesto para reducir al mínimo el tiempo de inactividad de la máquina. Se utiliza un sistema integrado de control de la contrapresión de escape para comprobar la carga del filtro y, por tanto, el intervalo de mantenimiento. Los intervalos de tiempo pueden variar enormemente dependiendo del vehículo y su uso y, por lo tanto, deben determinarse individualmente.

Tabla 2: Comparación de los sistemas de filtrado.

Sistemas	Ventajas	Desventajas	Campos de aplicación típicos
Sistemas Pasivos	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje simple. • Normalmente el filtro de partículas reemplaza al silenciador. • No requiere energía adicional para que el proceso ocurra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deben ser alcanzados ciertos rangos de temperatura en el gas de escape. • Requiere de un registro de datos previo (pre-datalogging). • Se deben tener perfiles de carga similares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas con carga mediana o alta. • Mismas condiciones de operación de la máquina. • Perfiles de carga y temperatura conocidas.
Sistemas Activos	<ul style="list-style-type: none"> • No depende de los perfiles de carga. • Ideal para diferentes usos. • También funciona en el caso de temperaturas bajas de los gases de escape. 	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje del filtro más complicado. • Costos de adquisición más altos. • Sistemas complejos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los tipos de máquina. • A menudo utilizado por los fabricantes de motores como solución en nuevas máquinas.
Filtros Intercambiables	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje simple del filtro. • Costos bajos de adquisición. • Costos de uso aceptables si el uso no es permanente. • Fácil mantenimiento por regeneración del filtro fuera de la máquina o reemplazo del cartucho del filtro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Después de unas 8-50 horas de trabajo o al alcanzar la contrapresión máxima de los gases de escape el elemento filtrante debe ser renovado o limpiado. • Gastos más altos en caso de uso prolongado por cambios regulares o limpieza. • Los elementos de repuestos deben estar a la mano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas con pocas horas de trabajo o donde el mantenimiento regular en intervalos cortos es aceptable. • Uso temporal en actividades que involucran altas emisiones, por ejemplo, actividades en espacios cerrados. • Equipos de alquiler

La acumulación de sustancias incombustibles conduce a un lento y continuo aumento de la contrapresión de los gases de escape. Cuando se alcanza un valor crítico, se debe llevar a cabo el mantenimiento del filtro, es decir, la limpieza del filtro. Esto se lleva a cabo normalmente en el plazo de un año.

4.2.1. CONTROL ELECTRÓNICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DPF (DATALOGGER)

Los sistemas de filtrado de partículas están equipados con un dispositivo de control electrónico que enciende una alarma (lámpara de advertencia en la cabina) claramente visible para el operador de la máquina cuando se excede el límite de contrapresión. Preferentemente, la alarma principal está precedida por la pre alarma para dar tiempo al mantenimiento del filtro. El dispositivo (datalogger) registra la temperatura del escape y la contrapresión del escape.

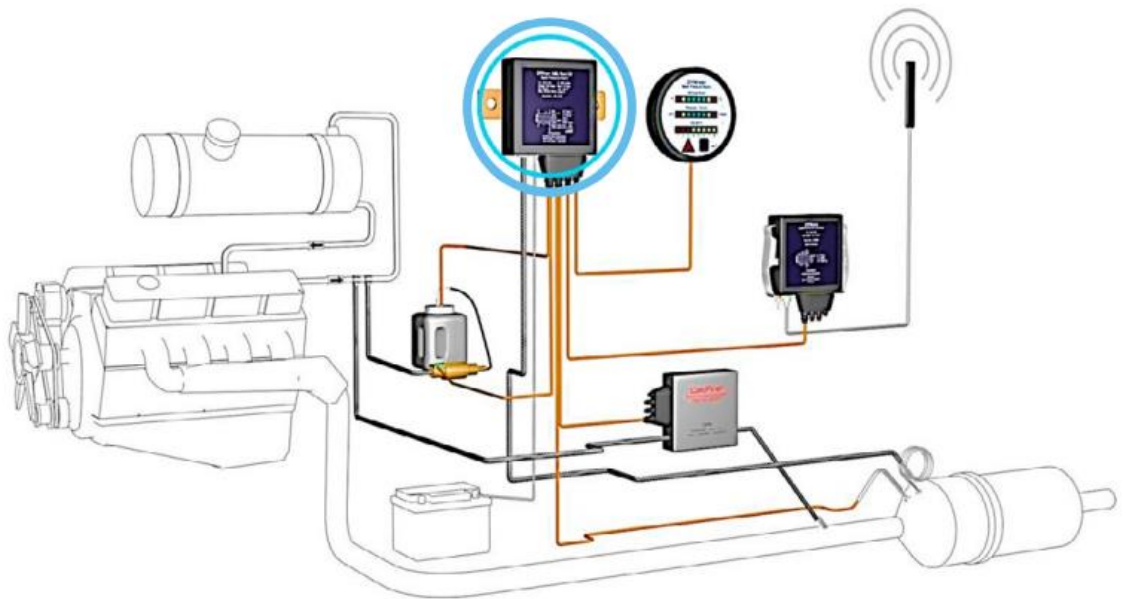


Figura 12: Ejemplo de los componentes electrónicos de un sistema de filtro de partículas incorporado. Lo que se marca en el círculo azul es el datalogger.

Aparte de la electrónica como unidad de control del propio filtro de partículas, también son posibles módulos de visualización en diversos diseños específicos del proveedor.

Figura 13: Electrónica y dos módulos de visualización.



Los sistemas que se aprecian en la figura 13 cuentan con luces de encendido de diferentes colores y en algunas ocasiones alarmas con sonido para alertar de diferentes situaciones que se puedan presentar con el filtro, por lo tanto, es conveniente que, al adquirir un sistema de seguimiento de este estilo, se solicite capacitación al proveedor y el respectivo instructivo para la interpretación de estas señales.

5. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE LA MAQUINARIA CON DPF

5.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FILTRO

La regla básica es:

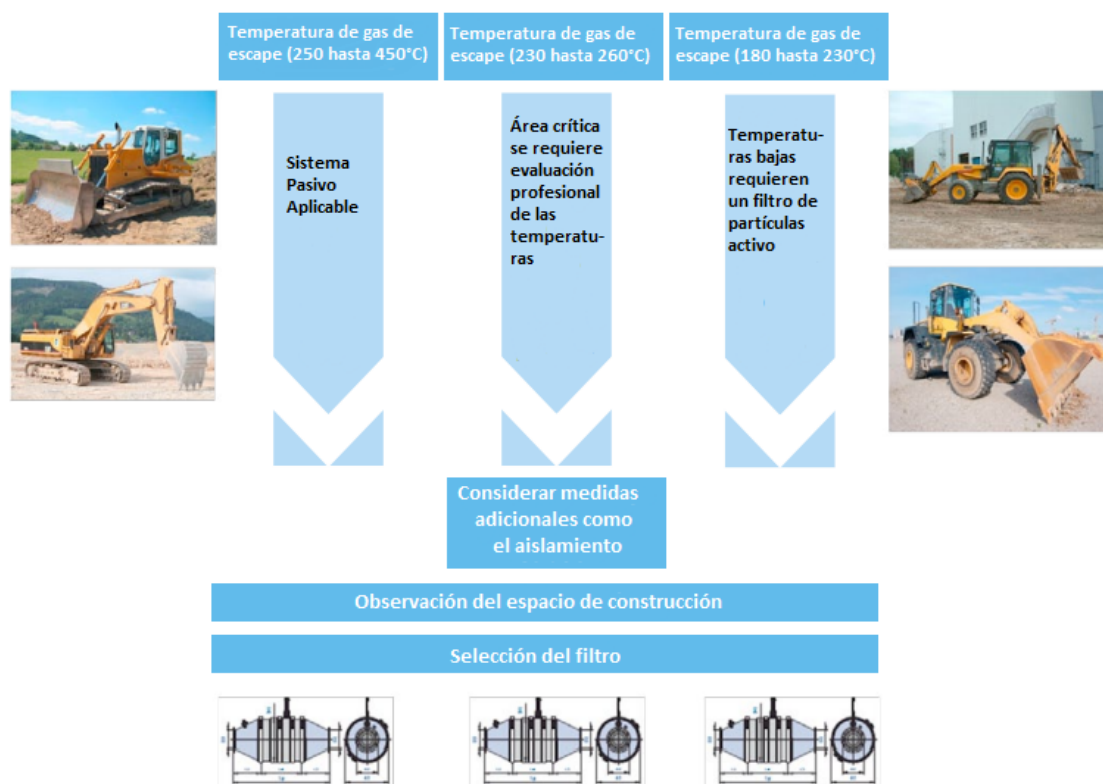
No existe un sistema de filtro universal, cada reacondicionamiento debe adaptarse a la respectiva máquina y a sus condiciones de funcionamiento para optimizar la función y los costos.

Los criterios de selección más importantes son el perfil de temperatura de la máquina, el espacio de instalación disponible y el tamaño del filtro de partículas. Se debe realizar el diseño del filtro considerando el tamaño del motor y el volumen de los gases de escape, de modo que se mantenga la contrapresión máxima permitida especificada por el fabricante del motor.

Cuanta más alta es la temperatura de los gases de escape del motor, más fácil es regenerar el hollín del filtro y se cuenta con mayor disponibilidad de sistemas de filtración.

En el caso de los sistemas pasivos, se recomienda medir la temperatura de los gases de escape del motor durante unas semanas en diferentes condiciones de operación de la máquina que incluya los perfiles de carga típicos y otras aplicaciones alternas con el mayor número posible de modos de funcionamiento. En base a estos datos, se puede seleccionar un sistema de regeneración adecuado para esta máquina.

Figura 14: Procedimiento al reacondicionar con filtros de partículas



5.2. ADQUISICIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

Si desea o tiene que reacondicionar una máquina con un sistema de filtro de partículas, primero debe informarse a fondo sobre las opciones. Se recomienda el siguiente procedimiento paso a paso:

Paso 1: Contactar al proveedor de maquinarias

Contacte con su proveedor de maquinarias y consulte si existen filtros aprobados para ser instalados, de acuerdo con los requisitos de certificación indicados en el punto 3.5.

Tome nota de los datos más importantes de su máquina y motor, como: marca, modelo y su potencia.

Paso 2: Evaluar otras fuentes de información

Si el proveedor de maquinaria no puede suministrar un sistema de filtrado, encontrará sistemas certificados en el capítulo 3.5.

Paso 3: Selección adecuada para la máquina y su aplicación

El sistema de filtro de partículas no sólo debe ajustarse a la máquina, sino también a su campo de aplicación: si la máquina tiene una intensidad de trabajo mayoritariamente baja, necesita un sistema de filtrado diferente a una máquina que funciona principalmente a plena carga. Por lo tanto, el proveedor de la máquina o del filtro le aconsejará que aclare los asuntos importantes de antemano con la ayuda de un registrador de datos (datalogger) antes de elegir el sistema de filtro de partículas. El registro de datos previos o pre-datalogging, es necesario para comprobar si los perfiles de temperatura de los sistemas pasivos se ajustan al filtro de partículas. Si esto no ocurre, pueden surgir problemas de funcionamiento y de avería más adelante. Los aspectos importantes son:

- ¿Cuál es la intensidad de trabajo: baja, alta, más bien constante o fluctuante?
- ¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento de la máquina?
- ¿El uso de la máquina es regular y siempre bajo las mismas condiciones o es un uso irregular con condiciones cambiantes?
- ¿Cuánto tiempo funciona normalmente la máquina?
- ¿Cuál es el período de uso: ¿funcionamiento por turnos, uso esporádico?
- ¿Porcentaje de carga completa o parcial?

¿Qué hay que tener en cuenta a la hora de elegir un proveedor de filtros de partículas?:

- ¿Existen referencias exitosas del DPF para la maquinaria?
- ¿Puede el proveedor medir la opacidad de los gases de escape para comprobar el estado del motor?
- Durante el período de garantía, ¿En cuánto tiempo un técnico de servicio puede llegar al lugar?
- ¿El proveedor ofrece sistemas pasivos y activos?
- ¿Quién instalará el filtro? ¿Hay una garantía para la instalación?
- ¿El proveedor puede proporcionar los certificados pertinentes para los sistemas de filtrado?
- ¿El proveedor ofrece apoyo con la instalación (puesta en marcha)?
- ¿El proveedor cuenta con un protocolo y un acta de entrega?
- ¿El proveedor ofrece directrices para la limpieza y mantenimiento, tanto del sistema como para las máquinas correspondientes?

5.3. ADECUACIÓN DE LA MAQUINARIA PARA UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO

Una máquina de construcción que va a ser reacondicionada debe estar en buenas condiciones de mantenimiento. De lo contrario, existe un riesgo considerable de que el filtro no funcione correctamente y se puedan producir daños en el filtro y en el motor.

Los requisitos básicos para el reacondicionamiento de un filtro de partículas son:

- Consumo de aceite por debajo del 0,5% del consumo de combustible.
- Los sistemas de filtros de aire, los filtros de combustible y los filtros de aceite deben cambiarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- Comprobar que la opacidad de los gases de escape es la aceptada para la adecuada instalación y funcionamiento del filtro de acuerdo con las condiciones del fabricante.

CONSIDERACIONES PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE UN FILTRO DE PARTÍCULAS

a) Verificación del motor diésel

Los requisitos de verificación del motor para el adecuado funcionamiento del filtro de partículas son:

- Comprobar que no existan daños evidentes, fugas, presencia de hollín, etc. El motor debe estar a toda potencia para realizar esta verificación.
- Verificar la inexistencia de fugas en el sistema de admisión.
- Inspeccionar y/o cambiar filtros de aire.
- Turbocargador.
- Sistema de refrigeración.
- Juego de válvulas correctamente ajustado.
- Alcanzar la presión de compresión especificada.
- Revisar gases de escape.

Antes de instalar el filtro de partículas deben comprobarse todas las funciones anteriores. Si los parámetros no coinciden con las especificaciones del fabricante, deben ser ajustados correctamente o los componentes defectuosos deben ser sustituidos por piezas nuevas.

b) Consumo de aceite lubricante

El consumo de aceite lubricante del motor diésel no debe exceder las especificaciones del fabricante y no debería superar el 0,5% del consumo de combustible diésel.

c) Control de la opacidad de los gases de escape

Para que el filtro de partículas funcione correctamente, es esencial que la opacidad de los gases de escape del motor se encuentre dentro de los valores especificados por el fabricante. Por esta razón, dichos valores deben ser comprobados antes de instalar el filtro. Si los valores de opacidad son demasiado altos, el filtro de partículas puede obstruirse y la contrapresión de los gases puede aumentar continuamente.

d) Combustible diésel

Es importante validar que las especificaciones del combustible diésel usado en la máquina sean compatibles con el sistema de filtración adquirido, en especial con respecto del contenido de azufre.

e) Contrapresión de los gases de escape

La contrapresión máxima permitida debe ser proporcionada siempre por el fabricante de la máquina o del motor y el sistema de filtrado instalado no debe exceder dicho valor.

f) Aspectos de seguridad en la instalación

Al instalar los sistemas de filtración, se debe prestar atención a los aspectos de seguridad para el futuro funcionamiento de la máquina. Debe garantizarse que no surja ningún riesgo potencial adicional, porque el equipo de trabajo no puede utilizarse sin que el empleador haya realizado una evaluación de los riesgos **antes de que se utilice la máquina** y sin las medidas de protección correspondientes.

■ No restringir la visibilidad

Los filtros de partículas deben colocarse de tal manera que no se restrinja la vista desde el asiento del conductor a la máquina y sus aditamentos. Esto puede lograrse colocando el filtro en la posición correcta, por ejemplo, instalándolo dentro de la cubierta de la máquina en lugar del silenciador.

Si no se puede evitar la instalación en el campo de visión, el propietario de la máquina, como responsable del reacondicionamiento, debe garantizar que el uso de los equipos de trabajo sea seguro. Esto debe garantizarse principalmente con soluciones técnicas como espejos especiales o cámaras.

Las ayudas visuales, como los monitores de los sistemas de cámaras o los espejos, deben instalarse en dirección de la vista del conductor, es decir, en la "dirección de avance". Las ayudas visuales no deben verse afectadas durante el trabajo por las partes móviles de la máquina, por ejemplo, el brazo del excavador. No se deben usar espejos que enfoquen a otros espejos; es preferible utilizar sistemas de cámara.

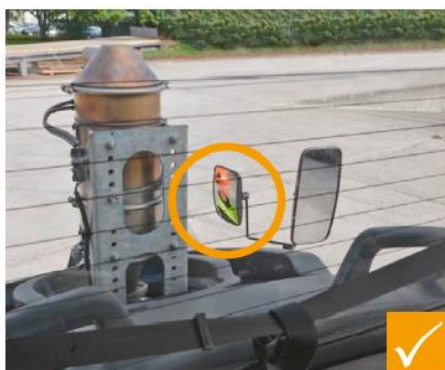


Figura 16: Ejemplos de montaje de espejos y cámaras adicionales.

Figura 15: Comparación de la instalación incorrecta y correcta de un filtro de partículas



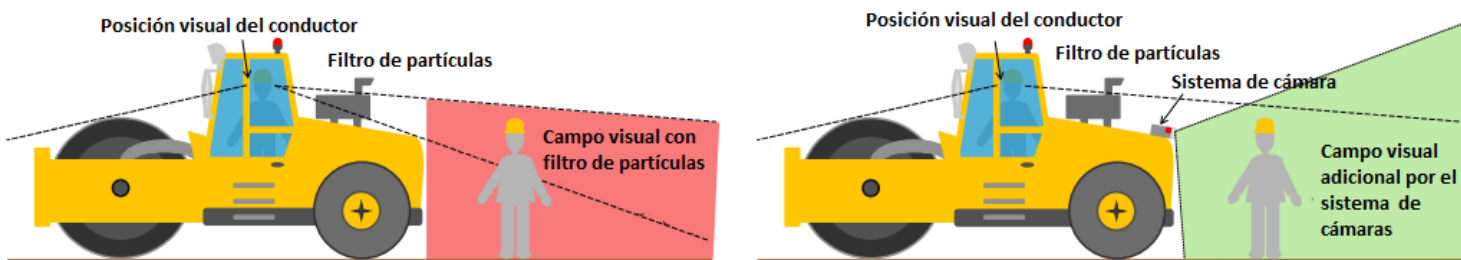


Figura 17: Campo de visión de un conductor de máquinas con y sin sistema de cámaras

■ Protección y aislamiento del calor

Durante la regeneración activa, la temperatura de la superficie de la carcasa de los filtros de partículas puede ser significativamente más alta que la temperatura de la superficie del silenciador que fue removido. Pueden darse temperaturas superiores a los 600 °C, por lo que deben cumplirse las medidas y distancias de aislamiento especiales según el tipo de filtro y el principio de regeneración. Tenga presente que cuanto más calor permanece en el sistema de filtro de partículas, mejor funciona.

- Para proteger las zonas adyacentes al sistema de filtrado del calor, éste debe ser revestido con material de aislamiento en su totalidad, si está encerrado al menos por dos lados (Figura 18.1).
- En otras situaciones de instalación, debe utilizarse protección térmica o de contacto (Figura 18.2). En casos que se requiera, por condiciones especiales de seguridad, se podrán tomar medidas de protección adicionales.
- También deben ser aislados los componentes con bajo punto de fusión con protección térmica, fácilmente combustibles o conductores, por ejemplo, los conductos del sistema de freno o de transporte de combustible, así como los conductos hidráulicos, que se encuentran en el entorno inmediato del filtro.
- Los empaques y accesorios conductores de partes que se encuentran en proximidad del filtro también deben ser protegidos del calor.
- Las estructuras de protección de la cabina contra el vuelco y la caída de objetos no deben ser dañadas durante la instalación, por ejemplo, mediante perforación y soldadura.
- Las salidas de emergencia de la cabina del conductor previstas por el fabricante no deben estar obstruidas, así como deben mantenerse despejadas las zonas de acceso.
- Asegúrese de que la instalación esté libre de tensión y que la conexión con el sistema de escape sea sólida y hermética.
- Todos los cables deben ser colocados sin rozaduras o torceduras y protegidos del sobrecalentamiento.
- Los cables y las mangueras deben fijarse sin tensión, con ataduras para cables cada 10-15 cm.
- Debe haber suficiente espacio libre para otros componentes, por ejemplo, las líneas hidráulicas.

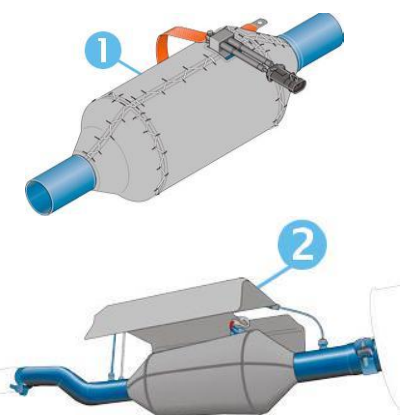


Figura 18: 1) Filtro de partículas revestido, 2) Protección térmica

g) Capacitación del personal que opera las máquinas reacondicionadas con DPF

Con el reacondicionamiento de un filtro de partículas, también se instalan módulos de visualización en la cabina del conductor. Hay que asegurarse de que el personal reciba una formación completa, en particular sobre cómo reaccionar ante las señales de advertencia (parpadeantes o de iluminación permanente). Pregunte al fabricante de filtros de partículas o al instalador si pueden ayudarle en esta materia. La instrucción se sugiere que sea documentada.

PROCEDIMIENTO PRÁCTICO DE IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO

A continuación, se enuncia en resumen la secuencia de pasos que se realizan en la práctica durante el proceso de reacondicionamiento del filtro:

- i. Revisión del motor y el estado de mantenimiento de la máquina.
- ii. Desinstalación del silenciador.
- iii. Instalación del filtro.
- iv. Prueba de funcionamiento del filtro.
- v. Verificación de que no han surgido riesgos adicionales para la seguridad (restricción del campo de visión, protección térmica).
- vi. Aprobación del sistema de filtro por el fabricante del filtro y el propietario de la máquina.

5.4. PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES POSIBLES

Algunas de las situaciones más frecuentes asociados a fallas en el funcionamiento del filtro son:

- Depósitos de hollín en la parte final del escape
- Humo negro al acelerar el motor
- Disminución notable de la potencia de la máquina
- Decoloración del material filtrante debido al sobrecalentamiento
- Grietas en la carcasa del filtro
- Ruidos inusuales

A continuación, se presentan causas y soluciones comunes a estos y otros problemas que se puedan presentar:

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Regeneración incompleta	Temperatura de gas de escape muy baja	Revisión completa (medición de la temperatura de los gases)
	Sistema de regeneración inadecuado	Solicitar asistencia técnica con el proveedor del filtro
Ruptura de filtro	Pueden ocurrir daños por la vibración del motor, en caso de desacople del filtro y/o desgaste del material aislante del filtro	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar el adecuado distanciamiento del filtro del motor y el chasis • Limpiar el filtro según las instrucciones del proveedor.
Ruptura completa del filtro	Sobrecarga del filtro	Cambiar el filtro lo antes posible y asegurar un adecuado control de la contrapresión
El indicador muestra una baja presión por un período prolongado	Conexión o conducto obstruido, cubierto de hielo o con fugas	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar conductos y conexiones. • Controlar fugas. • Instalar conductos de manera descendente y con trampa de condensados.
	Transmisor de presión defectuoso	Realizar prueba de aire comprimido con válvula reductora a 500 (mbar).
El indicador muestra lectura de presión alta y no regresa a cero al parar la máquina	Conexión o conducto obstruido	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar conexiones y conducto • Controlar fugas
	Transmisor de presión defectuoso	Instalar conductos de manera descendente y con trampa de condensados Realizar prueba de aire comprimido con válvula reductora a 500 mbar
Emisión de humo visible y contrapresión alta	Filtro sobrecargado	Regenerar el filtro a plena carga
	Regeneración ineficaz	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar el procedimiento de regeneración • Limpiar filtro (quemado de residuos y lavado profundo del filtro)
Emisión de humo visible y contrapresión baja	Elemento del filtro dañado	Cambiar el filtro
	Fuga entre elemento filtrante y carcasa exterior	Cambiar el filtro
Ruidos perceptibles	Frecuencia de ignición	Fuga en conexión de conductos (brida) o grieta en la entrada
	Ruido silbante	Fuga o grieta en la entrada
	Traqueteo, más alto durante la inactividad	Partes del filtro sueltas
	Zumbido de baja frecuencia	Verificar el adecuado distanciamiento entre el filtro y el motor o incorporar acoplamiento que disipe la vibración adecuadamente
Continuo aumento de la presión, no hay	Temperatura de los gases de escape demasiado baja	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el aislamiento térmico del sistema filtrante e ingreso de gases al filtro • Realizar un completo mantenimiento

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
regeneración		
Incremento rápido de la presión	Acumulación de partículas en el filtro	Regenerar el filtro
Permanece la presión alta después de la la regeneración activa	Temperatura demasiado baja	Registrar proceso de regeneración
	Oxígeno insuficiente	Medir el contenido de oxígeno
	Tiempo de regeneración muy corto	Consultar fabricante
	Grafitización del hollín	Aumentar la temperatura de regeneración y agregar aditivo
El nivel de presión base aumenta a pesar de la regeneración	Cenizas remanentes del aceite lubricante	Cambiar el aceite lubricante y/o revisión del motor
	Formación de yeso	Revisar el contenido de azufre en el diésel y/o en el aceite lubricante
	Cenizas remanentes de aditivos	Reducir la concentración de aditivos
	Polvo mineral	Usar filtro de aire con una porosidad más fina, prefiltro o ciclón Nunca abrir el eyector del filtro de aire antes del filtro
	Fibras de silenciador	No ubicar el silenciador antes del filtro (en los casos en que los filtros no se instalan en reemplazo del silenciador)
	Degaste del motor	Revisar el motor de inmediato
Los intervalos de regeneración son cada vez más cortos	Aumento del almacenamiento de cenizas	Limpiar el filtro
	Las emisiones del motor aumentaron fuertemente	Revisar el motor
	Regeneración incompleta	Verificar el proceso de la regeneración
La presión no disminuye después de la limpieza del filtro	Coquización en los poros	Someter el filtro a un quemado antes de la limpieza
	Depósitos pegados	
	Sinterización de cenizas	Cambiar el filtro
Hay presencia de chispas en el Escape	Sobrecarga en el filtro	Cambiar elementos del filtro
	Sedimentos a la salida del filtro	Revisar el control de presión
	Incrementos repentinos de temperatura de regeneración extremadamente altas	Verificar el proceso de la regeneración
Hay presencia de llamas en el escape	Deposición masiva de hidrocarburos no quemados a la salida del filtro debido a sobrecarga o daño	• Cambiar elementos del filtro
		• Verificar el proceso de la regeneración
		• Verificar las emisiones que salen directamente del motor y revise las boquillas

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
La temperatura inusualmente alta de los gases después del filtro	Regeneración descontrolada con altas cantidades de hollín	Verificar el sensor de contrapresión
		Revisar emisiones de hidrocarburos directamente desde el motor
Disminuye la potencia del motor	Alta contrapresión del filtro	Revisar la contrapresión del filtro, en caso de que esté bien, es necesario una investigación exhaustiva para identificar la causa alternativa
Elevado consumo de combustible	Alta contrapresión del filtro	
Aumento de la temperatura del agua	Alta contrapresión del filtro	
Emisiones de humo blanco	Formación de vapor de agua por condensación en el sistema de filtración en frío	
Emisiones de humo azul	Alto consumo de aceite para el motor o turbocompresor	Revisar el motor.
Deposición de hollín en el escape	Daño del filtro	Realizar mediciones de opacidad y/o número de partículas para verificar necesidad de recambio del filtro.

Nota: los problemas propios del motor, necesidades de ajuste y mantenimiento apenas podrán ser reconocidos por los gases de escape, ya que el humo azul y el hollín normalmente son atrapados en el filtro. Se recomienda realizar regularmente mediciones de opacidad antes y después de la instalación del filtro.

5.5. CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DPF

Mantenimiento del sistema de escape

Con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento del filtro, es aconsejable establecer un procedimiento de entrega, el cual debería incluir una medición de los gases de escape antes y después de la instalación del filtro.

Se recomienda realizar una medición de los gases de escape después de la instalación del filtro y cada 12 meses. De ser viable, se podría incorporar como parte del mantenimiento general de la máquina, a fin de disponer de datos fiables en caso de garantía o reclamaciones.

Para verificar las emisiones del escape, es necesario medir después del filtro (punto T2, ver figura 19) y adicionalmente se recomienda medir las emisiones del motor antes del filtro (punto T1, ver figura 19); esto último en caso de que se encuentre habilitado.

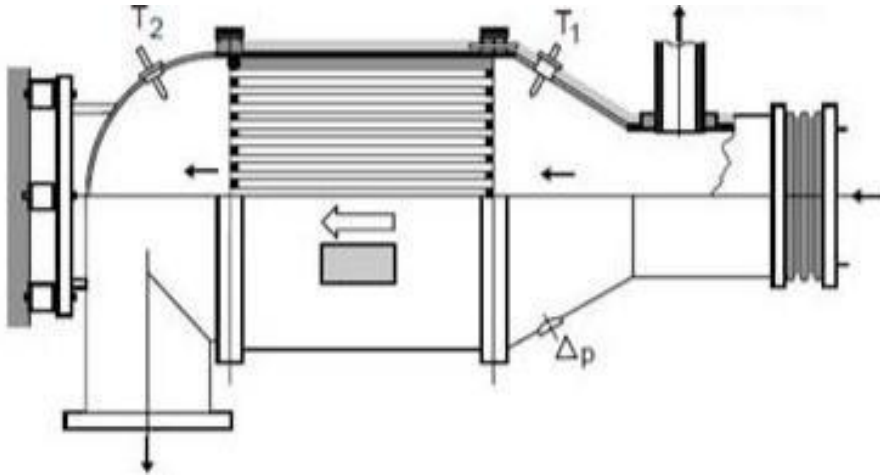


Figura 19: Puntos de medida de gases de escape en un filtro de partículas

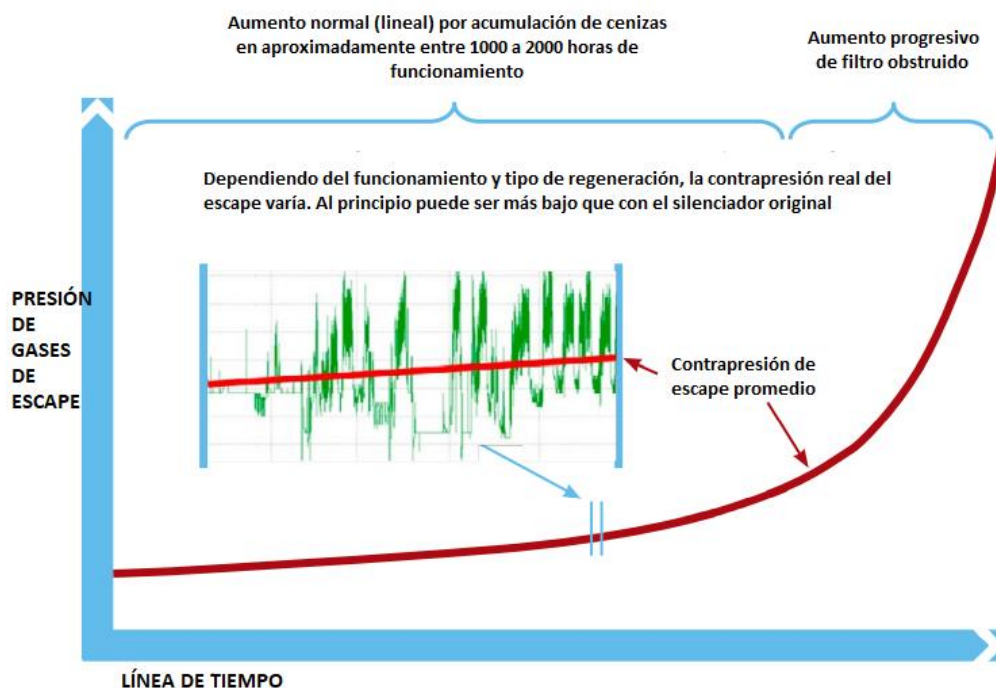
La contrapresión

Los filtros de partículas, cuando son nuevos, pueden producir una contrapresión ligeramente más alta o baja de los silenciadores que están reemplazando. Sin embargo, esta contrapresión aumenta debido a la carga de hollín y cenizas, la cual puede incluso tener un aumento progresivo, por cuanto el filtro se comienza a bloquear. La contrapresión¹ debe ser compensada por el motor, lo cual puede conllevar a una disminución de la potencia y a un aumento del consumo de combustible en aproximadamente 2%. Al mismo tiempo, las temperaturas de los componentes del filtro comienzan a aumentar ligeramente, la proporción de óxido de nitrógeno del gas de escape disminuye, y la proporción de oxígeno, monóxido de carbono y hollín aumenta, debido a la retención de los gases de escape. Los motores turbo alimentados son más sensibles que los motores sin turbo.

Los efectos negativos de la contrapresión, mencionados anteriormente, aumentan entre mayor sea la contrapresión, por lo cual debe ser controlado y limitado a fin de evitar el sobrecalentamiento del motor. Esta situación aumenta el riesgo de afectaciones por sobrecarga del filtro, que puede conducir a una liberación descontrolada de calor.

¹ Siempre debe verificarse que los valores de contrapresión no excedan los máximos permitidos por el fabricante

Figura 20: Esquema de la contrapresión de una máquina con filtro de partículas



5.6. LIMPIEZA Y REMOCIÓN DE CENIZAS DEL FILTRO DPF

Los sistemas de filtros de partículas no sólo separan las partículas de hollín sino también todas las demás partículas sólidas. Se trata de partículas de óxido metálico procedentes del desgaste del motor y de los aditivos del aceite lubricante, así como de partículas de aditivos y polvo mineral del aire exterior que podrían pasar por el filtro de aire de admisión del motor. A diferencia del hollín, estas otras partículas sólidas no se queman durante el proceso de regeneración, sino que permanecen en el filtro y lo obstruyen (bloquean) gradualmente si el filtro no es limpiado con regularidad. La limpieza debe realizarse siempre que se alcance el valor límite respectivo de la contrapresión, por ejemplo, a 200 mbar. Con motores con buen mantenimiento esto puede esperarse después de 750 a 2.000 horas de funcionamiento.

Se recomienda utilizar aceites de baja ceniza (los llamados “aceites de bajo SAPS”) para reducir al mínimo las cenizas en el propio filtro. Hay que tener en cuenta que estos aceites estén aprobados por los fabricantes de máquinas o motores.

El proceso de limpieza por lo general consta de dos etapas: 1) Quemar el hollín en un horno y 2) Retirar con aire comprimido o lavar las cenizas, esto se puede realizar por ejemplo en un dispositivo automático o con la ayuda de un soporte especial.

Al limpiar el filtro, tomar en cuenta lo siguiente:

- El procedimiento para la limpieza adecuada debe ser determinado por el proveedor del filtro, ya que existe un gran número de filtros diferentes con características variadas.
- Un filtro no se puede limpiar completamente utilizando solo aire, porque de esta forma solo se eliminaría un poco de polvo. Adicionalmente, esto sería riesgoso para los empleados, puesto que las máscaras respiratorias comunes no retienen eficazmente las partículas finas liberadas.
- En las máquinas modernas para limpieza de filtros, el aire es conducido a una velocidad extremadamente alta a los canales de la matriz del filtro. Este impulso llega hasta el extremo del canal del filtro y elimina incluso los tapones de ceniza más resistentes, lo que logra una eficiencia de limpieza de más del 99%. Después de la limpieza, los canales quedan disponibles como los de un nuevo filtro. En este proceso no se ve afectado el revestimiento catalítico, sin embargo, sí se logran eliminar los depósitos de cenizas (Ver figura 23).
- En el caso de los filtros de metal sinterizado (si el fabricante lo aprueba), también es posible lavar el hollín y las cenizas con un limpiador de alta presión disponible en el mercado. Esto debe llevarse a cabo sobre un separador de aceite y no deben ser inhaladas las gotitas dispersadas (ver figura 24).
- Por razones de protección de la salud, está prohibido operar un filtro de partículas en el sentido inverso al de la corriente (contrario a la dirección de la flecha). En principio esto tampoco es posible por el diseño en el sistema de filtrado.
- La limpieza de filtros también se ofrece como un servicio de las empresas especializadas en este campo y, por lo tanto, se puede llevar a cabo externamente.



Figura 21: Filtro obstruido



Figura 22: Filtro bien limpiado



Figura 23: Ejemplo de un sistema de limpieza de filtros



Figura 24: Limpieza del filtro por medio de agua a alta presión

Precaución: Una limpieza inadecuada del filtro puede dañarlo, de ser así, el filtro debe ser reemplazado.



Figura 25: Filtro dañado

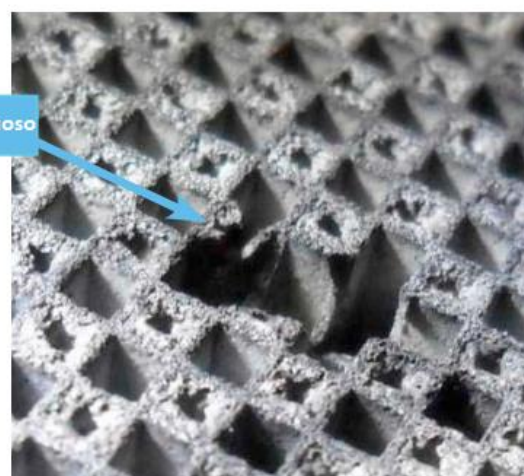


Figura 26: Substrato dañado

Hay proveedores que se encargan del servicio de limpieza y de la adecuada disposición final de residuos, de acuerdo con las normativas vigentes.

6. ANEXO: LISTAS EJEMPLO PARA EL CONTROL DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO

Ejemplo de la lista de verificación: Inspección previa a la instalación de un filtro de partículas

Inspeccionar	Resultado de inspección
Motor diésel	
Filtro de aire / Sistema de admisión	
Turbocargador	
Sistema de enfriamiento	
Horas de funcionamiento/ Año de construcción del motor	Horas: Año:
N° de serie del motor	
N° de serie de la máquina	
Velocidad nominal (número de revoluciones máximas)	
Consumo de aceite (máx. 0,5% del consumo del diésel)	
Medición de emisiones de escape: Opacidad (aceleración libre) Número de Partículas, NP (ralentí)	Valor K al acelerar: NP:
Contenido de azufre en el diésel	ppm azufre
¿Se agregan aditivos en el diésel?	En caso afirmativo, indicar su descripción

Ejemplo de la lista de verificación: Inspección después de la instalación de un filtro de partículas

Inspeccionar:	Resultado de inspección:
Contrapresión	mbar
Verificación de encendido de luz de emergencia por contrapresión alta (no debe exceder la máxima permitida por el fabricante de la máquina)	
Verificación de encendido de señal acústica por contrapresión alta	
Valor de contrapresión a plena carga	mbar
Medición de emisiones de escape: Opacidad (aceleración libre) Número de Partículas, NP (ralentí)	Valor K al acelerar: NP:

Ejemplo de un acta de entrega

Acta de entrega de un filtro de partículas	
Filtro de partículas	
Fabricante (marca)	
Cantidad	
Tipo de regeneración	
Modelo del filtro	
Entidad y número del certificado de conformidad	
Fecha de instalación	
Registrador de datos (datalogger)	
Descripción	
Sistema de dosificación de aditivos (si aplica)	
Descripción	
Descripción de la máquina	
Fabricante (marca y modelo)	
Tipo	
Año de fabricación	
Número de chasis	
Motor	
Fabricante (marca y modelo)	
Tipo	
Año de fabricación	
Potencia (kW) de la máquina	
Horas de funcionamiento	
Opacímetro	
Fabricante (marca y modelo)	
Tipo	
Medidor de número de partículas (NP)	
Fabricante (marca y modelo)	
Tipo	

Acta de entrega de un filtro de partículas	
Inspección	
Fecha de control	
Lugar de inspección	
Empresa que realiza la instalación del filtro	
Responsable de la instalación	
Firma	

7. GLOSARIO

- a) **Datalogger:** unidad de memoria que registra los datos de temperatura y contrapresión como control de operación del filtro de partículas.
- b) **Emisiones directas del motor:** son las emisiones producidas por el propio motor sin considerarse el sistema de filtración posterior de los gases de escape.
- c) **Norma Stage:** es una reglamentación del parlamento europeo, sobre los requisitos relativos a los límites de emisiones de gases y partículas contaminantes y a la homologación de tipo para los motores de combustión interna que se instalen en las máquinas móviles no de carretera.
- d) **Norma Tier:** es una reglamentación de Estados Unidos, creada por la EPA (Environmental Protection Agency), que busca regular y controlar las emisiones producto de la combustión interna en vehículos de distinto tamaño.
- e) **Opacidad del gas:** un método de medición óptica para determinar el contenido de hollín en los gases de escape. Se mide la atenuación de un haz de luz al pasar por una muestra de los gases de escape. Los dispositivos para realizar estas mediciones se llaman "opacímetros" y los valores se reportan normalmente como VALOR K en m^{-1} como unidad.
- f) **Revestimiento catalítico:** en un filtro de partículas el revestimiento catalítico apoya la regeneración, es decir, la quema de hollín. Esto puede hacerse por oxidación o por la formación de dióxido de nitrógeno (NO_2).
- g) **Turbocargador:** es un sistema rotatorio de sobrealimentación de aire a presión para aumentar la potencia de motores de combustión interna, diseñado para utilizar la energía de los gases de escape.



Es un Programa de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**

Ejecutado por:



calac@swisscontact.org.pe
www.programacalac.com
Facebook: @CALACplus
Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692, Miraflores
Lima 15073 – Perú
Teléfono: +511 5005075
www.swisscontact.org