

Guía técnica para la Inspección Técnica Periódica (ITP) de vehículos provistos con filtros de partículas diésel basado en el conteo de partículas

Versión 2020-12-11

Este documento ha sido elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 1) 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

La presente guía metodológica es de carácter informativo y no necesariamente refleja los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes.

Las denominaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican en lo absoluto la expresión de ninguna opinión sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades.

Lo contenido en este documento debe ser estudiado con cuidado, por las entidades o gobiernos interesados, considerando las condiciones locales propias (ej. riesgos para salud, viabilidad tecnológica, aspectos económicos, factores políticos y sociales, nivel de desarrollo, la capacidad nacional o local, entre otros) antes de adoptar total o parcialmente contenidos de esta guía directamente en instrumentos con validez jurídica.

Contenido

1. Introducción
2. Objetivo
3. Alcance
4. Términos y definiciones
5. Referencias normativas
6. Equipo de prueba
7. Procedimiento de prueba de emisiones de la ITP
8. Valores límite

Información de contacto

Lista de abreviaturas

Anexos

1. Introducción

La primera Conferencia Latinoamericana sobre emisión de nanopartículas en motores de combustión interna, se llevó a cabo del 15 al 17 de octubre de 2019 en Ciudad de México. La organización estuvo a cargo de la Secretaría del Medioambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA), con el apoyo del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina – Plus (CALAC+). El objetivo de la Conferencia fue ampliar el conocimiento sobre la contaminación e impactos en la salud humana provocados por estas fuentes de emisión, además de compartir experiencias tanto de Europa, Norteamérica y Latinoamérica acerca de las tecnologías utilizadas para el control y reducción de la emisión de nanopartículas, las normas y políticas públicas para su control y finalmente mostrar los avances en Santiago de Chile, Lima, Ciudad de México y Bogotá en estos temas.

En el marco de la Conferencia, se reconoció la necesidad que tienen todos los países de la Región de normar la medición de número de partículas en motores de combustión interna, como una forma efectiva de reemplazar la medición de opacidad tanto en los programas de revisión técnica vehicular como en las pruebas de carretera.

La presente guía tiene por finalidad servir de apoyo para aquellos países de la Región, y principalmente los que forman parte del programa CALAC+, como instrumento para armonizar la sustitución de la prueba de opacidad de humo por la de conteo de partículas en vehículos provistos con filtros de partículas diésel durante la inspección técnica periódica. La guía ha sido elaborada con la colaboración de un grupo de expertos de los

países miembros de CALAC+, y ha contado con la asesoría técnica de *Gerrit Kadjik*, experto del instituto de investigación holandés TNO, quien ha liderado las investigaciones conducentes a la nueva ley de inspección técnica periódica de vehículos diésel mediante el conteo de partículas en Holanda. Para la elaboración de este documento se ha contado con la información técnica y legal disponible en Europa y especialmente en los Países Bajos, además de una serie de artículos y literatura científica disponible a la fecha.

El uso de filtros de partículas diésel (DPF) ha disminuido significativamente la emisión de partículas provenientes de estos vehículos. Debido a su elevada eficiencia de filtración, la concentración del número de partículas (PN) en los gases de escape no diluidos, con el motor a velocidad de ralentí, está alrededor o por debajo de la concentración del número de partículas del aire ambiente. La detección de fallas de un DPF en una prueba de inspección técnica periódica (ITP) de vehículos sólo es posible cuando los requerimientos se vuelven más severos y se logra implementar una prueba de emisiones más sofisticada. El actual reglamento internacional para el control periódico de los vehículos de carretera en uso, basado en la prueba de opacidad en aceleración libre sin carga, no es confiable para aquellos vehículos que vienen dotados de fábrica con DPF, porque la sensibilidad de los opacímetros es demasiado baja, la señal se ve interferida por la emisión de algunos gases que emiten los vehículos diésel, particularmente el dióxido de nitrógeno (NO₂), el cual inhibe la luz del sensor del opacímetro, y la medida de estos equipos es imprecisa para tamaños de material particulado inferior a 250 nm, las cuales representan más de la mitad de las emisiones de los vehículos diésel actuales [Jones, 2002; Kadjik, G. et al. 2016].

Actualmente se dispone de una prueba apropiada para verificar la eficiencia de filtrado en la Inspección Técnica Periódica (ITP) de estos vehículos de carretera dotados con DPF [Proposal for a particulate filter test with a particle counter, In the Netherlands PTI, version 2019-11-26, NMI (Holanda): Proposal Particulate Number Counter. Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 1: Metrological and technical requirements. 2019-10-16, Part 2: Metrological controls and performance tests]. La Organización Holandesa de Investigación Científica TNO, la Autoridad de Vehículos de los Países Bajos (RDW), el Instituto de Metrología de los Países Bajos (NMI) y el Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua han desarrollado un nuevo procedimiento de prueba para la ITP de vehículos de carretera provistos con DPF basado en el conteo del número de partículas (PN). La prueba se ejecuta en ralentí (marcha mínima) con un equipo contador de partículas sólidas por unidad de volumen (#/cm³).

La introducción de una prueba para verificar el correcto funcionamiento y el estado de los filtros de partículas forma parte del plan de acción de CALAC+ de armonizar el procedimiento de ITP de vehículos de carretera en uso en Latinoamérica.

El método para medir el número de partículas en el escape de vehículos provistos con DPF durante pruebas ITP ha sido desarrollado por un grupo de trabajo internacional (VERT-NPTI), en el que participa Holanda con representantes de TNO, NMI, RDW y el Ministerio de Infraestructura y Gestión del Agua. Además, en el grupo de trabajo estuvieron

representados Suiza, Alemania, Bélgica, la Comisión Europea (JRC) y varios fabricantes de equipos contadores de partículas. El grupo de trabajo estableció las especificaciones técnicas de los equipos para conteo de partículas para su uso directo en el escape de vehículos durante la prueba de ITP. El grupo de trabajo también debatió la manera en que debe realizarse la medición de partículas, así como la forma en la que debería establecerse el valor límite del número de partículas sólidas por centímetro cúbico para aprobar el procedimiento de evaluación.

2. Objetivo

Poner a disposición de los países miembros de CALAC+ y de la región de Latinoamérica en general la guía técnica para armonizar la elaboración de sus respectivas normas/regulaciones referidas a la descripción del procedimiento de prueba de emisiones para la ITP y la Inspección en Carretera (IC) a fin de evaluar el estado de los filtros de partículas diésel (DPF) mediante una prueba de concentración del número de partículas sólidas por centímetro cúbico de gas de escape ($\#/cm^3$), y a la vez revisar las experiencias internacionales de los procedimientos para regular los valores límites.

3. Alcance

Esta guía establece los requisitos que deben cumplir los equipos e instrumentos de medición del número de partículas para determinar la cantidad de partículas por volumen de los gases de escape producidos por los motores de combustión interna ($\#/cm^3$). Se describe el procedimiento de prueba, y se propone el límite máximo permisible de aprobación en el conteo de partículas.

3.1 Tipo de vehículos a los que aplica la guía

La guía aplica a todo vehículo de carretera, liviano o pesado, equipado con filtro de partículas diésel de flujo total a través de pared. La norma holandesa así lo considera, en tanto que la técnica de conteo de partículas en ITP de vehículos aplica para detectar el estado del DPF, independientemente del tamaño/peso del vehículo. Este alcance es válido para todo vehículo provisto de motor de encendido por compresión dotado o re-equipado con DPF, independientemente de su procedencia (país de origen), así como del estándar de emisiones bajo el cual haya sido homologado.

3.2 Tipo de DPF

Esta guía no aplica a vehículos con re-equipamiento de filtros de flujo parcial o filtros de oxidación catalítica de partículas. La experiencia europea en implementación de conteo de número de partículas para la ITP de vehículos diésel, tomada como referente técnico, se basó en ensayos sobre vehículos dotados con DPF de flujo total a través de pared. Se recomienda que la autoridad competente de cada país establezca los mecanismos para incluir la información de la tecnología del filtro de partículas diésel de cada vehículo.

3.3 Filtros de partículas de vehículos a gasolina (GPF)

La guía no aplica a motores de encendido provocado de inyección directa dotados con filtros de partículas, denominados OPF (*Otto particulate filter*), o GPF (*gasoline particle filter*). No hay suficiente soporte en la literatura técnica internacional al momento de la elaboración de esta guía que permita incluir este tipo de filtro. Por otra parte, se ha reportado que la menor emisión de partículas de este tipo de motores frente a los de encendido por compresión hace que el número de partículas emitidas con GPF esté dentro del rango de incertidumbre de los equipos actuales de conteo de partículas, lo que compromete, a la fecha, la repetibilidad y trazabilidad del resultado (TNO Report. TNO 2020 R10006. Follow-up research into the PN limit value and the measurement method for checking particulate filters with a particle number counter).

3.4 Máquinas no de carretera

Por cuanto el enfoque de desarrollo de esta guía tuvo en cuenta únicamente las particularidades de operación de vehículos de carretera, se recomienda una revisión cuidadosa de su validez y aplicabilidad para la medición de Maquinaria No de Carretera equipada con filtro de partículas.

3.5 Otras limitaciones

La guía no aplica para eventos en los cuales se produce la regeneración del DPF.

No aplica a vehículos dotados con motores de encendido provocado operando con gas natural comprimido como combustible. La literatura técnica coincide en que la mayor parte de las nanopartículas emitidas por este tipo de motores son consideradas partículas volátiles (inferiores a 23nm) (Holmen, B., Ayala, A. Ultrafine PM emissions from Natural Gas, oxidation-catalyst diesel, and particle-trap heavy-duty transit buses. *Environmental Science and Technology*, 36 (2002). 5041-5050).

4. Términos y definiciones

Diámetro de movilidad: Diámetro de una partícula que muestra la misma movilidad eléctrica que una partícula esférica cuando se mide en un analizador de movilidad de acuerdo con la norma ISO 15900:2009.

Nanopartículas: Son una sub-clasificación de las partículas ultrafinas con longitudes en dos o tres dimensiones mayores a 1 nm y menores a 100 nm y que pueden o no exhibir propiedades intensivas (función de la masa) relacionadas con su tamaño. Su definición es objeto de controversia actualmente. Su uso común en el ámbito de motores de combustión interna hace énfasis en su tamaño y no en sus propiedades. La escala de medición puede ser con base en su diámetro de movilidad o en su diámetro aerodinámico [ASTM E2456].

Concentración del número de partículas: Número de partículas sólidas con un diámetro de movilidad entre 20 y 300 nm por unidad de volumen de gas, especificado por centímetro cúbico ($\#/cm^3$). Las gotas líquidas (condensados) se remueven de la corriente de gas mediante un sistema de dilución con aire filtrado y el uso de un sistema de remoción térmico o catalítico. [SN 277206:2014].

Eficiencia (E): Cociente de la concentración del número de partículas mostrada en el instrumento incluyendo la unidad de muestreo y la concentración del número de partículas determinada con un contador de partículas de referencia.

Partículas totales: Las partículas diésel consisten principalmente de material carbonoso (hollín o partículas sólidas) generado durante la combustión, sobre el cual se absorben/adsorben compuestos orgánicos del gas de escape. Su composición a temperatura ambiente incluye hidrocarburos sin quemar provenientes del combustible y del aceite lubricante, hidrocarburos oxigenados como cetonas, ésteres, éteres y ácidos orgánicos, y compuestos aromáticos policíclicos. Dependiendo del contenido de azufre del combustible pueden aparecer especies tales como óxidos de azufre y ácido sulfúrico (Maricq, M. 2007).

Partículas sólidas: Son la fracción sólida de las partículas totales, se consideran aquellas cuyo tamaño es mayor o igual a 23 nm.

Partículas volátiles: Son la fracción volátil de las partículas totales, normalmente menor a 23 nm de tamaño. Suelen formarse a partir de la condensación de compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Inspección técnica periódica de vehículos: Revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes que se realiza con una frecuencia establecida por la autoridad competente de cada país para la verificación del cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión contaminantes definidos por ley para vehículos en uso. Terminología por país: México: Inspección Técnica Vehicular (ITV), México: Verificación vehicular de emisiones. Chile: Revisión técnica y de emisiones de vehículos motorizados. Colombia: Revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes. Perú: Inspección Técnica Vehicular.

Inspección en carretera: Revisión de emisiones contaminantes que realiza la autoridad competente sobre vehículos en la vía pública, para la verificación del cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión definidos por ley para los vehículos en circulación.

Peso bruto vehicular: Peso máximo de diseño del vehículo cargado, especificado por su fabricante, que consiste del peso nominal del vehículo sumado al de su máxima capacidad de carga con el tanque de combustible lleno y los niveles de fluidos del motor completos.

Filtro de partículas: Es un filtro que reduce la emisión de partículas generadas en el proceso de combustión del motor. Para los filtros instalados en vehículos que utilizan motor de encendido por compresión, se identifican con las siglas en inglés DPF (*Diesel particulate Filter*), mientras que, para motores de encendido provocado, se identifican como GPF (*Gasoline particulate filter*). El material en cual se fabrican suele ser cerámico o de metal sinterizado.

EGR (Exhaust gas recirculation): Fracción de gases de escape que se recircula al múltiple de admisión para diluir la mezcla que ingresa al cilindro y disminuir la temperatura dentro de la cámara de combustión. Se emplea para disminuir los óxidos de nitrógeno.

Motor de encendido por compresión: Motor de combustión interna cuya operación se basa en un ciclo termodinámico en el cual se inyecta el combustible directamente en la cámara. La combustión se produce por autoencendido del combustible en un entorno de aire comprimido a elevada presión y temperatura.

Motor de encendido provocado: Motor de combustión interna cuya operación se basa en un ciclo termodinámico en el cual la combustión de la mezcla aire-combustible a elevada presión y temperatura se produce por una bujía.

Conteo de partículas por condensación (CPC): Esta medida provee un método de conteo de partículas emitidas en el cual se cuenta cada partícula que ha sido previamente desvolatilizada y saturada con un fluido de trabajo, normalmente alcohol isopropílico, cuya función es incrementar el tamaño de la partícula condensada. Debido a que resultan gotas después del proceso de condensación, el conteo no es sensible al tamaño de partícula. La concentración del número de partículas se obtiene del conteo del número de pulsos y del flujo volumétrico de muestra.

Conteo de partículas por carga difusiva (DC): En este método de conteo de partículas, la muestra proveniente de la corriente de gases de escape es forzada a pasar a través de un espacio confinado donde las partículas se cargan electrostáticamente. Las partículas pasan a la cámara de medida, la cual puede consistir de uno o varios electrodos de alto voltaje cargado(s) positivamente y rodeado(s) por uno o varios electrómetros, o de una caja de Faraday (Fierz et al, 2014). La cantidad medida es el área superficial activa de la partícula cargada. La corriente medida en el electrómetro es proporcional al diámetro de movilidad de la partícula elevada a un exponente que suele variar entre 1.1 y 1.4. Estos equipos requieren conocer el diámetro medio de partículas, para convertir la corriente medida a la concentración del número de partículas (Giechaskiel, et al. 2014, JRC Report No. JRC93743).

5. Referencias

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones que, mediante referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente guía.

No se aplican las enmiendas o revisiones posteriores de las referencias fechadas. Sin embargo, se alienta a las partes en acuerdos basados en la presente propuesta de norma a que investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de los documentos normativos que se indican a continuación. En el caso de las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento normativo mencionado.

Los miembros de la ISO, la IEC y la OIML mantienen registros de las normas internacionales actualmente válidas. El estado actual de las Normas a las que se hace referencia también se puede encontrar en Internet:

- Publicaciones de la IEC: <http://www.iec.ch>
- Publicaciones de la ISO: <http://www.iso.org>

- Publicaciones de la OIML: <http://www.oiml.org> (con descarga gratuita de archivos PDF).
- Propuesta para una prueba de filtro de partículas con un contador de partículas, en la ITP de los Países Bajos, versión 2019-11-26
- Contador del número de partículas. Versión 2019-06-28. Instrumentos para medir el número de partículas en gases de escape vehicular. Parte 1: Requisitos metroológicos y técnicos.
- Contador del número de partículas. Versión 2019-06-28. Instrumentos para medir el número de partículas en gases de escape vehicular. Parte 2: Controles metroológicos y pruebas de desempeño.

6. Equipo de prueba

Las especificaciones de este instrumento de medición han sido elaboradas por el instituto holandés de metrología (NMI) en consulta con los fabricantes de equipos contadores de partículas. Las especificaciones relevantes han sido establecidas por NMI. Alemania propuso la armonización mundial de las especificaciones de los contadores de partículas para la ITP de vehículos en el marco de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML). El instituto de metrología alemán PTB (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*) y el NMI han asumido la tarea de iniciar esta armonización mundial.

Un analizador del número de partículas (PN) mide la concentración volumétrica del PN (partículas sólidas) en el gas de escape. Las principales características del analizador del PN, como se describe en la propuesta de norma específica para el equipo de conteo de partículas, son las siguientes:

- Aplicable a motores de encendido por compresión y de encendido provocado.
- El analizador contiene una sonda de muestreo, un eliminador de partículas volátiles (VPR) y un contador del número de partículas (PN).
- El eliminador de partículas volátiles tiene una eficiencia de más del 95% medido con tetracontano como referencia.
- El analizador se caracteriza por contar partículas desde 23 nm.
- Rango de medición: 0 – 5,000,000 #/cm³.
- Precisión de la medición +/- 25%.
- Tiempo de estabilización (T0 - T95) del contador del PN (incluyendo la línea de muestra) es menos de 15 segundos.
- Tiempo de respuesta: 5.5 s a 10 s

Documento recomendado por el **Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina** (CALAC+)

- La frecuencia de medición del contador del PN es de al menos 1 Hz.

Condiciones ambientales climáticas, mecánicas y electromagnéticas: Deben cumplirse las siguientes condiciones nominales de funcionamiento:

- Rango de temperatura ambiente de 0 °C a 40 °C.
- Rango de presión ambiental de 700 hPa a 1060 hPa.
- Entorno mecánico clase M2.
- Entorno electromagnético clase E2.

En el caso latinoamericano habrá que utilizar equipos contadores de partículas aprobados por la entidad de metrología designada por cada país, o por una entidad de metrología de aquellos países involucrados en el desarrollo de equipos y/o normas de conteo de partículas. Esta guía propone el procedimiento para la homologación de prototipo, la primera inspección y la reinspección periódica de los equipos contadores de partículas para vehículos estacionarios con el motor en ralentí.

Se sugiere que la entidad de metrología de cada país emita los certificados nacionales de homologación para los equipos contadores de partículas. En caso de no existir patrones nacionales se sugiere aceptar los certificados de origen, siempre y cuando existan acuerdos de reconocimiento entre las entidades metrológicas, según la legislación de cada país miembro. Varios fabricantes han indicado que están trabajando en el desarrollo de prototipos de contadores de partículas para su uso en talleres automotrices dedicados a realizar la ITP de vehículos. Si estos fabricantes pasan el procedimiento de certificación de la entidad de metrología de reconocido prestigio internacional, los instrumentos desarrollados pueden ser puestos a disposición del mercado latinoamericano como instrumentos aprobados para verificar la emisión de partículas en las pruebas de las ITP de vehículos o para inspección en carretera.

Otra opción sería permitir la utilización de contadores de partículas aprobados por un organismo de inspección independiente con acreditación internacional, a condición de que los requisitos de admisión estén por lo menos al mismo nivel que los requisitos nacionales. Mientras no haya disponibles equipos certificados para prueba de inspección técnica periódica según lo dispuesto en esta guía, se sugiere reconocer como técnicamente aptos aquellos que sean aprobados por el instituto suizo de metrología (METAS) conforme la regulación suiza SR941.242 (2014) o sus versiones más recientes.

La propuesta de esquema de aprobación para los equipos de prueba será desarrollada en 2021 y que servirá como marco de referencia para cada país miembro.

7. Prueba de emisiones de la ITP y de inspección en carretera

La prueba del DPF durante la ITP del vehículo se lleva a cabo midiendo la concentración del número de partículas por centímetro cúbico ($\#/cm^3$) durante un período de al menos 15 segundos, precedido de un período de 15 segundos para la estabilización de la señal de medición.

El período de medición de al menos 15 segundos puede dividirse en varias partes con períodos intermedios sin medición. Si el promedio de la medición es inferior al valor límite del número de partículas, el vehículo pasa la prueba.

Un DPF que funciona bien es muy eficaz para la filtración de partículas. Las emisiones de partículas de un vehículo diésel con filtro, que funciona correctamente, no suelen superar las 5,000 $\#/cm^3$.

La prueba del DPF puede hacerse bajo cualquier condición de temperatura del motor desde frío hasta que alcanza la temperatura normal de funcionamiento. Esto es ventajoso ya que, por ejemplo, no es necesario hacer un recorrido de calentamiento para llevar el motor a la temperatura de funcionamiento antes de iniciar la prueba. Otro factor importante es si el sistema de recirculación de gases de escape (EGR) está activado o no. Cuando el sistema EGR está activado (válvula EGR abierta) conduce a mayor emisión de partículas. Se recomienda realizar la prueba de conteo de partículas con el sistema EGR apagado (válvula EGR cerrada). Esto se puede lograr dejando funcionar el vehículo con el motor encendido en ralentí durante algún tiempo o a través del conector de diagnóstico a bordo (OBD) o con un dispositivo de diagnóstico del motor (Apéndice 1).

Consideraciones previas a la prueba

- Antes de la prueba de emisiones para la ITP, se debe realizar una verificación a cero del equipo contador del PN con un filtro HEPA en la línea de muestra. La concentración del PN debe ser inferior a 5,000 $\#/cm^3$. Por día, sólo es necesario realizar una verificación a cero.
- Se debe revisar visualmente el estado del tubo de escape y del filtro de partículas, y de ser posible, el funcionamiento del DPF y el estado de la válvula EGR a través de parámetros como alertas del sistema OBD de información del vehículo.

Con el enfoque descrito anteriormente, se recomienda el siguiente procedimiento de prueba:

- Verificar que el motor se encuentre encendido y en régimen de temperatura normal de operación caliente, es decir, que la temperatura del aceite lubricante sea superior a 100°C, o que la temperatura exterior del cárter sea superior a 90 °C.
- Verificar que la válvula de EGR se encuentre cerrada

- Dejar el vehículo a ralentí (marcha mínima en vacío).
- Se ubica la sonda de muestreo del analizador de número de partículas en el tubo de escape cuidando que los fenómenos de turbulencia generados cerca a la finalización del tubo de escape no afectan el ingreso de la muestra a la sonda y asegurándola por estar en contraflujo de la corriente de gases, garantizando la toma de una muestra representativa de los gases de escape del motor en ralentí.
- Tras la estabilización del equipo de medición (15 segundos), se determina la emisión del número de partículas ($\#/cm^3$) del vehículo durante un tiempo de medición de 15 segundos (la frecuencia de medición es de 1 Hz). Si la emisión del PN está por debajo del valor límite del PN de la ITP del vehículo, se considera aprobado. Si la emisión del PN está por encima del valor límite, se considera rechazado. La prueba puede realizarse con un motor caliente y la válvula EGR cerrada. El Apéndice 2 contiene un resumen esquemático del procedimiento de prueba del DPF para la ITP.
- En caso de una emisión de PN sea dos veces el valor límite se debe detener la prueba de PTI inmediatamente y marcar el vehículo como no aprobado.
- El procedimiento sólo se aplica a vehículos diésel y no a los de encendido positivo (provocado). La necesidad de acondicionamiento del vehículo con respecto a la temperatura del motor y el estado de EGR se ilustra con un ejemplo en el Apéndice 1.

8. Valores límite

La norma europea de homologación de prototipo y sostenibilidad para el número de partículas emitidas por los automóviles de pasajeros y las camionetas/furgonetas de reparto a partir de la norma Euro 5b, y para los camiones y autobuses a partir de la norma Euro VI es de $250,000 \#/cm^3$. Los estudios realizados por el instituto de investigación holandés TNO y la comisión de investigación conjunta de Europa (JRC) muestran que el requisito de $250,000 \#/cm^3$ es de tres a cinco veces menos estricto que la norma Euro 5b para las emisiones de partículas de $6 \times 10^{11} \#/km$.

La figura 1 muestra la correlación entre la emisión del número de partículas sólidas en ralentí (NPS 23, mayores a 23 nm) medida por los contadores de partículas prototipo y los instrumentos que cumplen con los sistemas portables de medición de emisiones (PEMS) del NPS (valor límite $6 \times 10^{11} \#/km$). El estudio del JRC resumió los resultados de tres estudios diferentes, Figura 1: (1) estudio de TNO en ralentí con tres vehículos; (2) preevaluación de los instrumentos NPTI del JRC con un vehículo equipado con DPF con bypass en ralentí; y (3) estudio de evaluación de los PEMS del NPS utilizando datos en ralentí de los ciclos de conducción NEDC y WLTC.

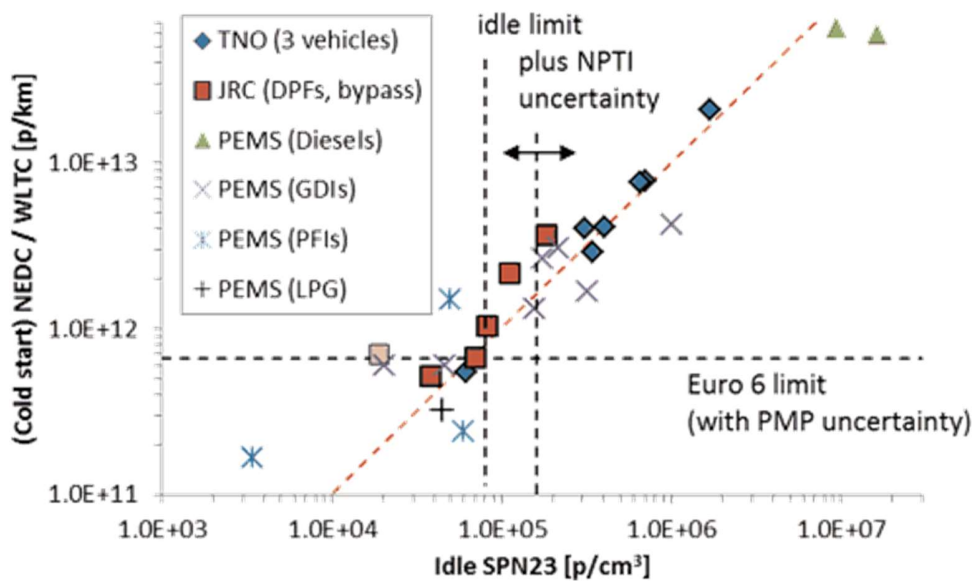


Figura 1. Factor de emisión (#/km) durante el ciclo de conducción NEDC o WLTC en función de la concentración de gas de escape bruto (#/cm³) medido en ralentí con diferentes instrumentos del PMP o de los PEMS del NPS (Fuente: JRC)

Aunque el valor límite de aprobación sugerido en esta guía es de 250.000 #/cm³, cada país tendría la misión de fijar el o los límites máximos permisibles. Una propuesta para fijar el límite podría ser partiendo de la norma europea explicitada, se pueda realizar campañas piloto de medición, y verificación de los percentiles de aprobación/reprobación de la prueba de la flota que cumpla con los requisitos descritos en el alcance de esta guía.

Información de contacto

Adrián Montalvo, Programa CALAC+

adrian.montalvo@swisscontact.org

Freddy Koch, Programa CALAC+

freddy.koch@swisscontact.org

John Ramiro Agudelo, Universidad de Antioquia

john.agudelo1@udea.edu.co

Lista de abreviaturas

DPF Filtro de partículas diésel (Diesel particulate filter)

EGR Recirculación de gases de escape (Exhaust gas recirculation)

GPF Filtro de partículas de gasolina (Gasoline particulate filter)

HEPA Filtro de Alta Eficiencia para Partículas de Aire (High Efficiency Particulate Air)

Documento recomendado por el **Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina** (CALAC+)

ITV Inspección Técnica Vehicular (Periodic Technical Inspection)

JRC Centro de Investigación Conjunta (Joint Research Centre)

NEDC Nuevo ciclo de conducción europeo (New European Driving Cycle)

NMi Instituto Metrológico Holandés (Nederlands Meetinstituut)

NPTI Nueva Inspección Técnica Vehicular (New Periodic Technical Inspection)

OBD Diagnóstico a bordo (On-board diagnostics)

OIML Organización Internacional de Metrología Legal (International Organization of Legal Metrology)

PEMS Sistema portátil de medición de emisiones (Portable Emissions Measurement System)

PMP Programa de medición de partículas (Particle Measurement Programme)

PN Número de partículas (Particle number)

PTB Instituto Nacional de Metrología de Alemania (Physikalisch-Technische Bundesanstalt)

RDW Autoridad Holandesa de Aprobación de Tipos (Rijksdienst voor Wegverkeer)

RSI Inspección en carretera (Road Side Inspection)

SPN Número de partículas sólidas (Solid Particle Number)

TNO Organización Holandesa de Investigación Científica Aplicada (Netherlands Organisation for Applied Research)

VPR Eliminador de partículas volátiles (Volatile Particle Remover)

WLTC Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizado a nivel mundial (Worldwide harmonized light vehicles test procedure)

Referencias:

Kadijk, G., Elstgeest, M., Ligterink, N., Van der Mark, P. J. (2016). Investigation into a Periodic Technical Inspection (PTI) test method to check for presence and proper functioning of Diesel Particulate Filters in light-duty diesel vehicles - part 2. Delft.

Jones, M. (2002). Do opacimeters have a role in future diesel exhaust gas legislation? *6th ETH Conference on Nanoparticles Measurement*, 2–6. Zurich.

Kadijk, G., Elstgeest, M., Van der Mark, P. J., Ligterink, N. (2020). Follow-up research into the PN limit value and the measurement method for checking particulate filters with a particle number counter. TNO report. TNO 2020 R10006.

ASTM E2456-06 (2020) Standard Terminology Relating to Nanotechnology

Documento recomendado por el **Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina** (CALAC+)

SN 277306 (2020) Swiss standard: Internal combustion engines - exhaust gas after-treatment - particle filter systems - testing method

Maricq, M. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Journal of Aerosol Science*. 38 (2007) 1079-1118

Fierz, M. et al. (2014) Aerosol measurement by induced currents, *Aerosol Science and Technology* 48 (4), 350-357.

Giechaskiel, B., Riccobono, F., Bonnel, P. (2014). Feasibility study on the extension of the Real Driving Emissions (RDE) procedure to particle number (PN): Experimental evaluation of portable emission measurement systems (PEMS) with diffusion chargers (DCs) to measure particle number (PN) concentration.

Joint Research Centre (JRC), European Commission. Brussels: Publications Office of the European Union. Retrieved from <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC93743>

Apéndice 1. Acondicionamiento del vehículo

Un DPF en correcto funcionamiento puede reducir considerablemente las emisiones del número de partículas. Un filtro que funciona bien permite que alrededor de una de cada mil partículas pasen a través de él.

Por lo tanto, si los valores de la medición en ralentí en un vehículo son de $5,000,000 \text{ \#/ cm}^3$, la concentración del número de partículas después del DPF será de alrededor de $5,000,000 / 1,000 = 5,000 \text{ \#/ cm}^3$.

Sin embargo, si la eficiencia del filtro es menor, se debe tomar una decisión clara sobre si un vehículo pasa la prueba o no. Para ello, es importante el acondicionamiento del vehículo con respecto a la temperatura del motor y el estado de la EGR (válvula de EGR cerrada). Esto se ilustra con el siguiente ejemplo.

Un vehículo tiene un valor de la emisión en ralentí de $15,000,000 \text{ \#/ cm}^3$ con el motor frío y la válvula EGR abierta, y con el motor caliente y la válvula EGR cerrada, el valor de la emisión es de $5,000,000 \text{ \#/ cm}^3$. Además, el filtro del vehículo tiene una pequeña grieta, por lo que el 10% de las partículas pasan a través del filtro. Por último, el vehículo fue registrado antes de 2015, por lo que el valor límite del número de partículas para la ITP es de $1,000,000 \text{ \#/ cm}^3$.

Con un motor frío y la válvula EGR abierta (EGR en funcionamiento), la concentración del número de partículas después del DPF será de $15,000,000 / 10 = 1,500,000 \text{ \#/ cm}^3$. Por lo tanto, el vehículo no pasará la primera prueba. Con el motor caliente y la válvula EGR cerrada (EGR no funciona, modo taxi), la concentración del número de partículas después del DPF será de $5,000,000 / 10 = 500,000 \text{ \#/ cm}^3$. Así que el vehículo pasará la segunda prueba. Normalmente, el filtro funcionará bien en la mayoría de los casos ($> 90\%$). Por lo tanto, también con un motor frío y un estado de EGR desconocido un vehículo pasará la prueba. Sin embargo, en el caso de un DPF con una pequeña grieta, la temperatura del motor y el estado de EGR también determinarán si un vehículo pasa la prueba o no.

Si un vehículo no pasa una prueba (menos del 10% de los casos), se puede hacer una nueva prueba con el motor caliente y el motor funcionando en ralentí durante algún tiempo, de modo que el vehículo tenga la oportunidad de entrar en modo taxi (válvula EGR cerrada). Con sólo una pequeña grieta en el filtro, el vehículo pasará la nueva prueba.

Sin embargo, con un filtro removido o completamente dañado, el vehículo tampoco pasará la nueva prueba.

La posibilidad de hacer una nueva prueba con un motor caliente y en modo taxi es de particular interés cuando se hacen pruebas de ITP en talleres de servicio. En los Países Bajos, en muchos casos los controles del DPF para la ITP se harán con un motor frío. Con el procedimiento propuesto, los inspectores de la ITP no tienen que realizar un recorrido de calentamiento y esperar algunos minutos antes de poder hacer el control del DPF con un

Documento recomendado por el **Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+)**

contador de partículas. Sólo cuando un vehículo no pasa la prueba (menos del 10% de los casos), tendrían que hacer una nueva prueba después de haber hecho un recorrido de calentamiento y esperar algunos minutos o cerrar la válvula EGR activamente con un analizador OBD.

Apéndice 2. Resumen del procedimiento de prueba del DPF para la ITP de vehículos

