



**GUÍA TÉCNICA DE INSTRUMENTOS
PARA MEDIR EL NÚMERO DE
PARTÍCULAS DE GASES DE ESCAPE
Parte 1: Requisitos metrológicos y
técnicos
V- 21.07.2021**

Guía técnica de instrumentos para medir el número de partículas de gases de escape

Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos – Versión 1.0

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 informativa 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.

Elaborado por:

Grupo de trabajo para la elaboración de métodos de medición de número de partículas en motores de combustión interna - CALAC+

Secretaría técnica:

Freddy Koch, Programa CALAC+

John Ramiro Agudelo, Docente investigador – Universidad de Antioquia Colombia

Edición: versión 2021-07-21

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

Miembros del grupo de trabajo para elaboración de métodos de medición de número de partículas en motores de combustión interna - CALAC+

México

Antonio Galván	Sedema
Sara Mercado	Sedema
Sergio Zirath Hernández Villaseñor	Sedema
Daniela Muñoz	Semovi
Rodrigo Díaz González	Semovi
Carolina García Cañón	Estado de México
Rocío Rojas	Estado de México
Biol. Francisco Javier Barrera Martínez	Estado de México
Dr. Luis Gerardo Ruiz	Inecc
Abraham Ortínez	Inecc
Claudia Octaviano	Inecc
Andrés Aguilar	Inecc
Rodrigo Perrusquía Máximo	Semarnat
Luis Felipe Acevedo Portilla	Semarnat
Daniel López Vicuña	Semarnat
Sergio Israel Mendoza Aguirre	Semarnat
Juan Manuel Flores Moreno	Semarnat
Adán Espejo Preciado	Jalisco
Dr. Víctor Hugo Páramo Figueroa	CAME
Ramiro Barrios	CAME
Arón Jazcilevich Diamant	UNAM
Enrique Rico Arzate	IPN
Isabel Kreiner	ITESM
Jose Ignacio Huertas	Inst. Tec. Monterrey

Chile

Nancy Manríquez	Ministerio del Medio Ambiente, MMA
Alfonso Cádiz	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, MTT
Rodrigo Tapia	Directorio de Transporte Público Metropolitano, DTPM
Aliosha Reinoso	GEASUR
Robert Fraser	PUREXHAUST
Nicolas Fraser	PUREXHAUST
Rigoberto Bahamonde	Opus Inspection

Colombia

Mayra Lancheros	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Johana Jiménez	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Mauricio Gaitán	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Hugo Sáenz	Secretaría Distrital de Ambiente
Jaime Rueda	Secretaría Distrital de Ambiente
Luis Galindo	Secretaría Distrital de Ambiente
Rafael Chaparro	Secretaría Distrital de Ambiente
John Ramiro Agudelo	Universidad de Antioquia
Maria Luisa Botero	Universidad de Antioquia
Edilia Arboleda	Área Metropolitana del Valle de Aburra AMVA
Gloria Ramirez	Área Metropolitana del Valle de Aburra AMVA
Ana Orrego	Área Metropolitana del Valle de Aburra AMVA

Perú

Rosa Azpilcueta	ATU
Claudia Ato	ATU
Luis Bravo	MINAM
Luis Antonio Ibañez	MINAM
Aldo Florez	MINAM
Milagros Morales	MTC
Ivan Maita	MTC
Orlando Dávila Vizconde	MTC Políticas
Iván Maita Gomez	MTC
María del Carmen Sánchez Orozco	MTC
Julien Noel	UTEC
Sthy Warren Flores Daorta	UTEC
Jose Cesar Ramos Saravia	UTEC

Ecuador y otras regiones

Roberto Custode	Consultor independiente
Eduard Fernández	CITA
Pascal Bukenhoudt	CITA
David Miller	3DATX
Mike Dio	3DATX

CALAC+

Adrián Montalvo
Freddy Koch
Santiago Morales
Gina Lombardi
Carol Arenas
Guisselle Castillo
Marco Balam
Andrés Díaz

Jefe de Proyecto
Coordinador Componente 1
Coordinador Componente 2
Asesora en comunicación
Coordinadora Chile
Coordinadora Perú
Coordinador México
Coordinador Colombia

Contenido

1. Introducción	6
2. Objetivo	7
3. Alcance	7
4. Referencias Normativas	8
5. Terminos y definiciones.....	12
6. Descripción del instrumento	16
7. Requisitos metrológicos	16
8. Requisitos técnicos.....	20
9. Inscripciones e instrucciones de funcionamiento	23
10. Información de Contacto.....	24
11. Referencias	25

1. Introducción

El conteo de partículas ha mostrado ser una alternativa más apropiada que la clásica prueba de opacidad de humo en aceleración libre, para detectar el correcto estado de operación de los motores de combustión diésel equipados con filtros de partículas. En el marco de la primera Conferencia Latinoamericana sobre emisión de nanopartículas en motores de combustión interna, organizada por 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+), 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 de humo tanto en los programas de revisión técnica vehicular como en las pruebas de carretera.

En diciembre de 2020 el programa CALAC+ coordinó la elaboración y publicación de la “*Guía técnica para la inspección técnica periódica (ITP) de vehículos provistos con filtros de partículas diésel basado en conteo de partículas*”, la cual fue el fruto del trabajo colaborativo entre los países que forman parte de CALAC+ (México, Chile, Colombia y Perú). Dicha guía tuvo 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. En ella se describen detalladamente los requerimientos básicos que deben cumplir los equipos contadores de partículas, independientemente de su principio de funcionamiento, así como el procedimiento de medición y definió el umbral de 250.000 #/cm³ como criterio de aprobación de la prueba.

Dicha guía adaptó a los requerimientos de los países de la Región la propuesta de normatividad desarrollada por 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), el cual reemplazará la actual norma de opacidad de humo para ITP de vehículos diésel en los Países Bajos a partir del 1 de enero de 2022.

La presente guía, tiene por finalidad establecer las recomendaciones que deben cumplir los equipos que miden la concentración volumétrica de partículas utilizados para ITP y para control en carretera. La guía se divide en dos partes:

Parte 1: Requisitos metroológicos y técnicos, y

Parte 2: Control metroológico y pruebas de funcionamiento

Los documentos base de trabajo sobre los cuales se ha desarrollado esta guía fueron los propuestos por el NMI (Países Bajos): *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.*

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 los aspectos metrológicos y requerimientos técnicos de los instrumentos para medir la concentración volumétrica del número de partículas en las emisiones de escape de motores de combustión equipados con filtros de partículas diésel.

3. Alcance

En esta Guía se especifican los requisitos y pruebas metrológicas y técnicas de los instrumentos de medición digital (en adelante denominados "instrumento(s)") que sirven para determinar el número de partículas por unidad de volumen de los gases de escape que emanan de los motores de combustión. También se establecen las condiciones que deberán cumplir esos instrumentos para satisfacer los requisitos de funcionamiento.

La Guía es aplicable a los instrumentos destinados a la inspección y el mantenimiento de los motores de combustión. Estos instrumentos se utilizan para determinar el número de partículas por volumen de tamaños de partículas definidos en el gas de escape bruto (sin dilución).

Esta Recomendación no se aplica a los equipos de diagnóstico a bordo incorporados en los vehículos de motor de combustión.

4. Referencias Normativas

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 Guía 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).
- Contador del número de partículas. Versión 2019-10-16. Instrumentos para medir el número de partículas en gases de escape vehicular. Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos.
- Contador del número de partículas. Versión 2019-10-16. Instrumentos para medir el número de partículas en gases de escape vehicular. Parte 2: Controles metrológicos y pruebas de desempeño.

Para otras referencias sobre antecedentes y evolución de las pruebas de conteo del número de partículas en ITP de vehículos con DPF se recomienda ver la Guía No. 1 de CALAC+.

4.1 Normas ISO

ISO 3929 (2003), Road vehicles - Measurement methods for exhaust gas emissions during inspection or maintenance (Vehículos de carretera - Métodos de medición de las emisiones de gases de escape durante la inspección o el mantenimiento).

ISO 7637-1 (2002) y Enmienda 1 (2008), Road vehicles - Electrical disturbance from conducting and coupling - Part 1: Definitions and general considerations (Vehículos de carretera - perturbaciones eléctricas por conducción y acoplamiento – Parte 1: Definiciones y consideraciones generales)

ISO 7637-2 (2011), Road vehicles - Electrical disturbance from conducting and coupling - Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only (Vehículos de carretera - Conducción de transitorios eléctricos a lo largo de las líneas de suministro solamente).

ISO 7637-3 (2007) Road vehicles — Electrical disturbance by conducting and coupling — Part 3: Passenger cars and light commercial vehicles with nominal 12 V supply voltage and commercial vehicles with 24 V supply voltage — Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than supply lines (Vehículos de carretera -

Perturbación eléctrica por conducción y acoplamiento - Parte 3: Vehículos de pasajeros y vehículos comerciales ligeros con una tensión de alimentación nominal de 12 V y vehículos comerciales con una tensión de alimentación de 24 V - Transmisión de transitorios eléctricos por acoplamiento capacitivo e inductivo a través de líneas distintas a las de suministro).

ISO 14912 (2003) con corrección 1 (2006), Gas analysis – conversion of gas mixture composition data (Análisis de gas - conversión de datos de composición de mezclas gaseosas)

ISO 15900 (2009) Determination of particle size distribution -- Differential electrical mobility analysis for aerosol particles (Determinación de la distribución del tamaño de partículas -- Análisis de movilidad eléctrica diferencial para partículas de aerosol)

ISO 16750-2 Ed. 4.0 (2012), Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment -- Part 2: Electrical loads (Vehículos de carretera – Condiciones ambientales y pruebas para equipos eléctricos y electrónicos – Parte 2: Cargas eléctricas)

ISO 27891 (2015), Aerosol particle number concentration – Calibration of condensation particle counters (Concentración del número de partículas de aerosol – Calibración de los contadores de partículas de condensación)

4.2 Normas IEC

IEC 60068-2-1 Ed. 6.0 (2007-03), Environmental testing - Part 2: Test methods - Section 1: Test A: Cold (Pruebas ambientales - Parte 2: Métodos de prueba - Sección 1: Prueba A: Frío)

IEC 60068-2-2 Ed. 5.0 (2007-07), Environmental testing - Part 2: Test methods - Section 1: Test B: Dry heat (Pruebas ambientales - Parte 2: Métodos de prueba - Sección 1: Prueba B: Calor seco)

IEC 60068-2-30 Ed 3.0 (2005-08), Environmental testing – Part 2: Test methods – Section 30: Test Db: Damp heat, cyclic (12 + 12 hour cycle) (Pruebas ambientales - Parte 2: Métodos de prueba - Sección 30: Prueba Db: Calor húmedo, cíclico (ciclo de 12 + 12 horas))

IEC 60068-2-78 Ed. 2.0 (2012-10), Environmental testing — Part 2: Tests methods — Section 78: Test Cab: Damp heat, steady state (Pruebas ambientales - Parte 2: Métodos de prueba - Sección 78: Cabina de prueba: Calor húmedo, estado estable)

IEC 60068-2-31 Ed. 2.0 (2008-05), Environmental testing — Part 2: Tests methods — Section 31: Test Ec: Rough handling shocks, primarily for equipment-type specimens (Pruebas ambientales - Parte 2: Métodos de prueba - Sección 31: Prueba Ec: Choques de manejo brusco, principalmente para muestras de tipo equipo)

IEC 60068-2-64 Ed 2.0 (2008-04), Environmental testing – Part 2: Test methods – Section 64: Test Fh: Vibration, broad-band random and guidance (Pruebas ambientales - Parte 2: Métodos de prueba - Sección 64: Prueba Fh: Vibración, aleatorio de banda ancha y orientación)

IEC 60068-3-1 Ed. 2.0 (2011-08), Environmental testing – Part 3: Supporting documentation and guidance – Section 1: Cold and dry heat tests (Pruebas ambientales - Parte 3: Documentación de apoyo y orientación - Sección 1: Pruebas de frío y calor seco)

IEC 60068-3-4 Ed. 1.0 (2001-08), Environmental testing – Part 3: Supporting documentation and guidance - Section 4: Damp heat tests (Pruebas ambientales – Parte 3: Documentación de apoyo y orientación – Sección 4: Pruebas de calor húmedo)

IEC/TR 61000-2-1 Ed. 1.0 (1990-05), Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment – Section 1: Description of the environment – Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signaling in public power supply systems (Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 2: Entorno – Sección 1: Descripción del entorno – Entorno electromagnético para las perturbaciones conducidas a baja frecuencia y la señalización en los sistemas de suministro de energía pública)

IEC 61000-4-2 Ed. 2.0 (2008-12), Basic EMC Publication – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 2: Electrostatic discharge immunity test (Publicación Básica de CEM - Compatibilidad electromagnética (CEM) - Parte 4: Técnicas de prueba y medición – Sección 2: Prueba de inmunidad a las descargas electrostáticas)

IEC 61000-4-3 consolidado Ed. 3.2 (2010-04) Basic EMC Publication – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (Publicación básica sobre compatibilidad electromagnética (CEM) - Parte 4: Técnicas de prueba y medición – Sección 3: Prueba de inmunidad a los campos electromagnéticos radiados y de radiofrecuencia)

IEC 61000-4-4 Ed. 3.0 (2012-04), Basic EMC Publication – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 4: Electrical fast transient/burst immunity test (Publicación Básica de CEM - Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4: Técnicas de prueba y medición – Sección 4: Prueba de inmunidad a los transitorios rápidos/ráfagas eléctricas)

IEC 61000-4-5 (2005), Corrección 1 sobre Ed. 2.0 (2009-10), Basic EMC Publication, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 5: Surge immunity test (Publicación Básica de CEM, Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4: Técnicas de prueba y medición – Sección 5: Prueba de inmunidad ante las sobretensiones)

IEC 61000-4-6 Ed 4.0 (2013-10), Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 6: Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields (Compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4: Técnicas de prueba y medición – Sección 6: Inmunidad a las perturbaciones conducidas, inducidas por campos de radiofrecuencia)

IEC 61000-4-8 Ed. 2.0 (2009-09). Basic EMC Publication – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 8: Power frequency magnetic

field immunity test (Publicación básica sobre compatibilidad electromagnética (CEM) – Parte 4: Técnicas de prueba y medición – Sección 8: Prueba de inmunidad al campo magnético de frecuencia eléctrica)

4.3 Publicaciones de la OIML

OIML V 1 (2013) Vocabulario internacional de términos en metrología legal (VIML)

OIML V 2-200 (2012) Vocabulario internacional de metrología - Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM)

OIML D 11 (2013) Requisitos generales para los instrumentos de medición - Condiciones ambientales

4.4 Publicaciones de la CEPE de la ONU

Reglamento No 83 de la CEPE, Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos por lo que respecta a la emisión de contaminantes según las necesidades del motor en materia de combustible. Anexo 4a, Apéndice 5.

En 2011 se introdujo una medición del número de partículas (PN) en la legislación europea de emisiones para la homologación de tipo de vehículos diésel de carga ligera. Los vehículos han sido probados en un dinamómetro de chasis con un sistema llamado de muestreo a volumen constante (CVS, por su sigla en inglés). El sistema CVS, que funciona con gases de escape altamente diluidos, está equipado con un contador de partículas y un sistema de acondicionamiento de muestras. El sistema de acondicionamiento de muestras elimina las partículas volátiles. La concentración volumétrica de partículas sólidas restantes se mide en el contador de partículas, que tiene una eficiencia de conteo dependiente del tamaño y un rango de medición de alrededor de 0 a 25,000 #/cm³.

La prueba de emisiones en la homologación de tipo consiste en un ciclo de conducción definido y se mide continuamente la emisión de PN volumétrica de la muestra diluida. El resultado final de la prueba se expresa en partículas por kilómetro (#/km).

Debido a la elevada eficiencia de los filtros de partículas aplicados en los vehículos, la concentración de PN de los gases de escape no diluidos a ralentí está alrededor o por debajo de la concentración de PN del aire ambiente. La fuga del DPF conducirá a un aumento de la emisión del PN y la eliminación del DPF produce en su mayoría una emisión del PN a velocidad de ralentí en el rango de 1 a 15 millones de #/cm³.

4.5 Otras publicaciones

Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), (1995): Publicación conjunta de la BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, y OIML.

Verordnung des EJPD über Abgasmessgeräte für Verbrennungsmotoren.

5. Terminos y definiciones

A los efectos de la presente Guía, se aplican los siguientes 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 (#/cm³). 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 cuál se absorben/adsorben compuestos orgánicos del gas de escape.

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.

Sonda de muestreo: Tubo que se introduce en el tubo de escape de un vehículo para tomar muestras de gas.

Filtro HEPA: Dispositivo que elimina las partículas del aire

Nota: HEPA significa High Efficiency Particulate Air (Filtro de Alta Eficiencia para Partículas de Aire).

Sistema de manejo de gas: Componentes del instrumento, desde la sonda de muestreo hasta la salida de la muestra de gas, a través de la cual la muestra de gas de escape es transportada por la bomba.

Ajuste (de un sistema de medición): Conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medición para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud a medir (VIML, 0.15).

Sistema de ajuste semiautomático: Sistema que permite al usuario iniciar un ajuste del instrumento sin tener la posibilidad de influir en su magnitud, independientemente de que el ajuste se requiera automáticamente o no.

Nota: Para aquellos instrumentos que requieren que los valores de la referencia de ajuste se introduzcan manualmente, el dispositivo se considera semiautomático.

Sistema de ajuste automático: Sistema que realiza el ajuste del instrumento según lo programado sin la intervención del usuario, para iniciar el ajuste o su magnitud.

Dispositivo de puesta a cero: Dispositivo para poner a cero la indicación del instrumento.

Sistema de ajuste interno: Sistema para ajustar el instrumento a un valor designado sin utilizar una referencia de ajuste externo.

Tiempo de calentamiento: Tiempo transcurrido entre el momento en que se aplica la potencia a un instrumento y el momento en que el instrumento es capaz de cumplir con los requisitos metrológicos.

Tiempo de respuesta (a escalón): Duración entre el instante en que un valor de cantidad de entrada de un instrumento de medición o sistema de medición se somete a un cambio brusco entre dos valores de cantidad constante especificados y el instante en que una indicación correspondiente se establece dentro de los límites especificados en torno a su valor estable final (VIM, 4.23).

Valor (la cantidad) de referencia: Valor referencial utilizado como base para la comparación con los valores de las cantidades de la misma clase (VIM, 5.18).

Error (de medición): Valor medido menos un valor referencial (VIM, 2.16).

Error relativo: Error de medición dividido entre el valor referencial del medidor.

Falla: Diferencia entre el error de indicación y el error intrínseco de un instrumento de medición (VIML, 5.14).

Falla significativa: Falla que sobrepasa la falla límite aplicable (VIML, 5.14).

Nota: Las siguientes fallas se consideran no significativas:

- a) fallas que resultan de causas simultáneas y mutuamente independientes en un instrumento de medición o en sus sistemas de verificación;
- b) fallas que hacen imposible realizar cualquier medición;
- c) fallas transitorias que provienen de variaciones momentáneas de la indicación y que no se pueden interpretar, memorizar o transmitir como un resultado de medición;
- d) fallas que producen variaciones del resultado de medición lo suficientemente importantes para ser identificadas por todos los interesados en el resultado de medición.

Magnitud de influencia: Magnitud que, en una medición directa, no afecta la cantidad que se mide realmente, sino que afecta la relación entre la indicación y el resultado de medición (VIM, 2.52).

Tolerancia: Dado que una cierta cantidad de error ocurrirá inevitablemente entre el valor medido y el valor verdadero, en términos de medición, la diferencia entre las dimensiones máximas y mínimas de los errores permitidos se denomina "tolerancia".

Condiciones nominales de funcionamiento: Condición de funcionamiento que debe cumplirse durante la medición para que un instrumento o sistema de medición funcione según lo previsto (VIM, 4.9).

Perturbación: Magnitud de influencia cuyo valor se encuentra dentro de los límites especificados en esta Guía, pero fuera de las condiciones nominales de funcionamiento de un instrumento de medición (VIML, 5.19).

Condición de referencia: Condición de funcionamiento prescrita para evaluar el comportamiento de un instrumento o sistema de medición o para comparar resultados de medición (VIML, 4.11).

Sistema de verificación: Sistema incorporado en un instrumento de medición que permite detectar y poner en evidencia fallas significativas (VIML, 5.07).

Nota: "Poner en evidencia" se refiere a cualquier respuesta adecuada del instrumento de medición (señal luminosa, señal acústica, bloqueo del proceso de medición, etc).

Sistema de verificación automática: Sistema de verificación que funciona sin la intervención del usuario.

Software legalmente relevante: Cualquier parte del software, incluidos los parámetros almacenados, que influye en el resultado de la medición calculada, visualizada, transmitida o almacenada.

Muestra de PN de referencia: Aerosol de suficiente estabilidad y homogeneidad cuya composición está debidamente establecida para su uso en diversas pruebas de funcionamiento.

Tipos de instrumentos (analizadores):

- a) *Instrumento manual:* Tipo de instrumento (analizador) que está diseñado para ser usado de forma manual por una persona y con sus accesorios estándar.
- b) *Instrumento (Analizador) transportable:* Tipo de instrumento (analizador) ensamblado sobre una superficie adecuada durante su uso, que puede estar diseñado para ser transportado a mano por una persona junto con sus accesorios estándar.

Vehículo de motor: Unidad de transporte terrestre de carga o de pasajeros, propulsado por su propia fuente motriz, que funciona con gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural, diesel u otros combustibles alternos; enajenado por lo menos en una ocasión y que cuenta con permiso para circular por la red vial.

Nota: Normalmente se utiliza para aplicaciones como:

- transporte de personas y/o mercancías;

- remolque de vehículos utilizados para el transporte de personas y/o mercancías.

5.1 Abreviaturas

AC	Corriente Alterna
AM	Amplitud Modulada
ASD	Densidad Espectral de Aceleración
DC	Corriente Continua
CEM	Compatibilidad electromagnética
f.e.m.	fuerza electromotriz
EUT	Equipo bajo prueba
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
ISO	Organización Internacional de Normalización
MPE	Error máximo permitido
OIML	Organización Internacional de Metrología Legal
PN	Número de partículas
DPF	Filtro de partículas diésel (Diesel particulate filter)
ITV	Inspección Técnica Vehicular (Periodic Technical Inspection)
NMi	Instituto Metrológico Holandés (Nederlands Meetinstituut)
NPTI	Nueva Inspección Técnica Vehicular (New Periodic Technical Inspection)
OBD	Diagnóstico a bordo (On-board diagnostics)
PMP	Programa de medición de partículas (Particle Measurement Programme)
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)

6. Descripción del instrumento

Generalmente, el instrumento proporciona un medio para tomar muestras y luego medir los gases de escape emitidos por el tubo de escape de un vehículo de motor. Una bomba proporciona el medio para transportar la muestra de gas a través de un sistema de manejo de gas. Uno o más dispositivos de detección, incorporados en el sistema de manejo de gas analizan la muestra y proporcionan señales relacionadas con el número de partículas por unidad de volumen. Las señales del detector se procesan eléctricamente para mostrar y posiblemente registrar los resultados de una medición del número de partículas sólidas.

Los principales componentes del instrumento son:

- Sonda de muestreo introducida en el tubo de escape de un vehículo de motor en funcionamiento para recoger la muestra de gases de escape;
- Bomba(s) para transportar los gases a través del instrumento;
- dispositivo(s) para evitar que se forme una condensación de agua en la línea de muestreo y en el instrumento;
- Filtro(s) para eliminar las partículas que podrían causar la contaminación de varias partes sensibles del instrumento;
- Puertos para introducir el aire ambiente y la muestra de PN de referencia cuando lo requiera la tecnología utilizada;
- Dispositivo para eliminar las partículas volátiles de la muestra,
- Dispositivos de detección para medir el número de partículas de la muestra de gas;
- Un sistema de datos para procesar la señal que incluye un dispositivo indicador para mostrar los resultados de una medición; y
- Un sistema de control para iniciar y verificar las operaciones de los instrumentos y un sistema de ajuste semiautomático o automático para establecer los parámetros de funcionamiento de los instrumentos dentro de los límites prescritos.

7. Requisitos metrológicos

7.1 Indicación del resultado de medición

El número de partículas por unidad de volumen se expresará como número de partículas por cm^3 en el caso de las partículas de tamaño especificado. Las inscripciones para esta unidad se asignarán inequívocamente a la indicación, " $\#/ \text{cm}^3$ ".

7.2 Rango de medición

El rango mínimo que puede ser subdividido, será de 5.000 a 5'000.000 $\#/ \text{cm}^3$. El instrumento indica (visiblemente) si se ha excedido el rango.

7.3 Resolución de la indicación

Como se indica en la sección de *Alcance*, la presente Guía se refiere únicamente a los instrumentos indicadores digitales. Las cifras digitales deberán tener una altura mínima de

5 mm. La cifra menos significativa de la indicación deberá proporcionar una resolución mínima de 1000 #/cm³.

7.4 Registro duradero de los resultados de medición

Los resultados de medición se registrarán por un medio duradero, acompañados de información para identificar la medición en particular.

7.5 Errores máximos permitidos

7.5.1 Error máximo permitido

<i>Tipo de error</i>	<i>Error máximo permitido* [#/cm³]</i>
Absoluto	25.000
Relativo	± 25% del valor real
* Absoluto o relativo, lo que sea mayor	

7.5.2 Falla límite

La falla límite es de 25.000 #/cm³

7.6 Magnitudes de influencia

7.6.1 Condiciones de referencia

a) temperatura ambiente	20 °C ± 2 °C;
b) humedad relativa	50 % ± 20 %;
c) presión atmosférica	ambiente estable;
d) tensión de red	voltaje nominal ± 2 %;
e) frecuencia de red	frecuencia nominal ± 1 %;
f) vibración	ninguna / insignificante;
g) voltaje de la batería	voltaje nominal de la batería

7.6.2 Condiciones de nominales de funcionamiento

a) temperatura ambiente	+ 5 °C a + 40 °C (1);
b) humedad relativa	hasta el 85 %, sin condensación (lugar cerrado); hasta el 95 % de condensación (lugar abierto) (2); 860 hPa a 1 060 hPa (3);
c) presión atmosférica	750 hPa a 1 060 hPa (3);
d) tensión de red	– 15 % a + 10 % del voltaje nominal;
e) frecuencia de red	± 2 % de la frecuencia nominal;
f) voltaje de la batería del vehículo automotor	batería de 12 V: 9 V a 16 V;

	batería de 24 V: 16 V a 32 V;
g) voltaje de la batería interna	bajo voltaje según lo especificado por el fabricante, hasta el voltaje de una batería nueva o totalmente cargada del tipo especificado.
<p>⁽¹⁾ A menos que el fabricante especifique lo contrario, estos son los rangos estandarizados para la temperatura ambiente. El fabricante, sin embargo, puede especificar diferentes rangos bajo las siguientes condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la temperatura más baja será de 5 °C o menos; • la temperatura más alta será de 40 °C o más. <p>Fuera del rango de temperaturas, el instrumento no indicará el valor medido, sino que indicará una advertencia de que la temperatura está fuera del rango.</p> <p>⁽²⁾ Lugar cerrado: el instrumento está destinado a ser usado en el interior; lugar abierto: el instrumento está destinado a ser usado en el exterior.</p> <p>⁽³⁾ A menos que el fabricante especifique lo contrario, éste es el rango normalizado para la presión atmosférica. El fabricante puede especificar un rango ampliado para la presión atmosférica que incluya el rango normalizado. Los equipos que trabajen fuera de este rango deberán contar con un compensador barométrico para su correcta medición y la certificación de calibración realizada a la presión especificada.</p>	

7.6.3 Influencia del tamaño de partículas

El diseño del instrumento será tal que la eficiencia de detección relacionada con el tamaño de partículas sea la siguiente:

Eficiencia de conteo	Tamaño de partículas [nm]
0,2 – 0,6	23 +/- 5%
0,6 – 1,3	50 +/- 5%
0,7 – 1,3	80 +/- 5%

7.7 Perturbaciones

Las fallas significativas definidas en la sección 5 no se producirán o se detectarán y se pondrán en evidencia mediante sistemas de verificación en caso de las siguientes perturbaciones:

Choque mecánico	Manual: 1 caída de 1 m en cada borde inferior Transportable: 1 caída de 50 mm en cada borde inferior
Vibración	10 Hz a 150 Hz, 1.6 ms ⁻² , 0.05 m2s ⁻³ , -3 dB/octava
Caídas de tensión de la red de corriente alterna (AC), breves interrupciones y reducciones	0.5 ciclos reducción al 0 %. 1 ciclo reducción al 0 % 10/12 (*) ciclos reducción al 40 % 25/30 (*) ciclos reducción al 70 % 250/300 (*) reducción al 80 % 250/300 (*) reducción al 0 % (*) Para 50 Hz/ 60 Hz respectivamente
Ráfagas (transitorias) en la red de AC	Amplitud 2 kV Tasa de repetición 5 kHz
Ráfagas (transitorias) en las líneas de señal, datos y control	Amplitud 1 kV Tasa de repetición 5 kHz

Sobretensiones en las líneas de alimentación de la red de AC	De línea a línea 1.0 kV Línea a tierra 2.0 kV
Sobretensiones en las líneas de señal, datos y control	De línea a línea 1.0 kV Línea a tierra 2.0 kV
Descarga electrostática	6 kV descarga de contacto 8 kV descarga de aire
Campos electromagnéticos, radiados y de radiofrecuencia	80 (26) MHz hasta 6 GHz, 10 V/m
Campos de radiofrecuencia conducida	0.15 hasta 80 MHz, 10 V (f.e.m.)
Campos magnéticos de frecuencia eléctrica	Continuo 100 A/m Corta duración 1000 A/m durante 1 s
<i>Para los instrumentos que funcionan con la batería de un vehículo motor:</i>	
Conducción de transitorios eléctricos en líneas de suministro	Pulsos 2a, 2b, 3a, 3b, nivel de prueba IV (ISO 7637-2)
Conducción de transitorios eléctricos a través de líneas que no sean las de suministro	Pulsos a y b, nivel de prueba IV (ISO 7637-3)
Sobretensión por desconexión de carga.	Prueba B (ISO 16750-2)

7.8 Tiempo de respuesta

Para la medición de la concentración de PN, el instrumento que incluye el sistema de manejo de gas especificado indicará el 95 % del valor final (determinado con muestras de PN de referencia) en un plazo de 15 s después de cambiar del aire ambiente. El instrumento puede estar provisto de un dispositivo de registro para verificar este requisito.

7.9 Tiempo de calentamiento

Después del tiempo de calentamiento, el instrumento deberá cumplir los requisitos metrológicos establecidos en esta Guía. El instrumento evitará que se indique el número de partículas medidas durante el tiempo de calentamiento.

7.10 Estabilidad con el tiempo o la deriva

Cuando se utilicen de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento del fabricante, las mediciones realizadas por el instrumento, en condiciones ambientales estables y tras el ajuste mediante una muestra de PN de referencia o el sistema de ajuste interno, permanecerán dentro del error máximo permitido durante al menos 12 h sin necesidad de muestra de PN de referencia o de reajustes internos por parte del usuario. Si el instrumento está equipado con un medio de compensación de la deriva, como el cero automático o el ajuste interno automático, la acción de estos ajustes no producirá una indicación que pueda confundirse con una medición de un gas externo.

7.11 Repetibilidad

En el caso de 20 mediciones consecutivas de la misma muestra de PN de referencia realizadas por la misma persona con el mismo instrumento en intervalos de tiempo relativamente cortos, la desviación estándar experimental de los 20 resultados no deberá ser superior a un tercio del módulo del error máximo permitido para la muestra pertinente.

8. Requisitos técnicos

8.1 Comunicación

8.1.1 El instrumento de medición de NP deberá comunicarse con el software de la plataforma tecnológica de la línea de revisión técnica integral centralizada, garantizando la interconectividad entre el instrumento y la plataforma tecnológica de administración y control de la línea de revisión técnica vehicular.

8.1.2 El instrumento deberá contar con un protocolo visible y de comando de estabilización de la prueba de manera que ayude al operador a realizar la prueba de una manera correcta. En concordancia con lo mencionado en la Guía 1. Apartado 7.

8.1.3 El instrumento de medición de NP no deberá tener un visualizador del resultado de la prueba de medición en el equipo. Salvo los equipos a ser utilizados para fiscalización en ruta.

8.1.4 El instrumento deberá contar con protocolos de seguridad de medición correcta de manera que se pueda detectar mediciones fuera del escape. El protocolo de comunicación entre el equipo NP y la plataforma tecnológica de administración de la línea de revisión técnica vehicular deberá ser cifrado.

Nota: El protocolo de comunicación sugerido tiene como finalidad:

8.1.5 Evitar la manipulación del resultado por parte del operador en el centro de revisión técnico mecánica.

8.1.6 Permitir controlar y fijar los valores límite en un sistema centralizado administrado por la autoridad correspondiente.

8.2 Construcción

8.2.1 Todos los componentes del sistema de manejo de gas serán de material resistente a la corrosión. El material de la sonda de muestreo deberá soportar la temperatura del gas de escape. Los materiales utilizados no influirán en la composición de la muestra de gas.

8.2.2 La sonda de muestreo estará diseñada de tal manera que se pueda insertar al menos 30 cm en el tubo de escape del vehículo y mantenerse en su lugar mediante un dispositivo de retención, independientemente de la profundidad de inserción.

8.2.3 El instrumento contendrá un dispositivo que impida la formación de condensación de agua en la línea de muestreo y en los componentes de medición o un detector que dé una alarma e impida que se indique un resultado de medición.

Nota: Algunos ejemplos de dispositivos son: el calentamiento de la línea de muestreo o la dilución con aire ambiente cerca de la sonda de muestreo.

8.2.4 Si se necesita una referencia de ajuste debido a la técnica de medición, con el instrumento se dispondrá de medios sencillos para proporcionar esa muestra.

8.2.5 La bomba que transporta el gas de escape se montará de manera que sus vibraciones no afecten a las mediciones. El usuario podrá encender y apagar la bomba si no es posible realizar una medición cuando la bomba esté apagada.

Nota: Se recomienda que el sistema de manejo de gas se limpie automáticamente con aire ambiente antes de que se apague la bomba.

8.2.6 El instrumento estará equipado con un dispositivo que indique cuando el caudal de gas disminuye hasta un nivel que haga que la detección exceda el tiempo de respuesta o la mitad del módulo del error máximo permitido. Y, cuando se alcance ese límite, el dispositivo impedirá que se realicen mediciones.

8.2.7 El sistema de manejo de gas será hermético hasta tal punto que la influencia de la dilución con el aire ambiente en los resultados de la medición no será superior a la mitad del módulo del error máximo permitido.

El instrumento no podrá realizar una medición si se supera este valor.

En las instrucciones de funcionamiento del fabricante se proporcionará un procedimiento de prueba de aire limpio con suficiente precisión (por ejemplo, un filtro HEPA con una eficacia del 99,97%) para detectar esta fuga máxima específica.

El instrumento estará equipado con un dispositivo que en su primer uso, cada 24 h, realice un procedimiento automático de puesta a cero. Este dispositivo puede combinarse con el procedimiento de prueba de aire limpio.

8.2.8 El instrumento puede estar equipado con una interfaz que permite el acoplamiento a cualquier dispositivo periférico u otro instrumento.

Una interfaz no deberá permitir que las funciones metrológicas de los instrumentos o sus datos de medición se vean influenciadas por los dispositivos periféricos, por otros instrumentos interconectados o por perturbaciones que actúen sobre la interfaz.

Las funciones que se realicen o se inicien a través de una interfaz deberán cumplir los requisitos y condiciones pertinentes.

Si el instrumento está conectado a una impresora de datos o a un dispositivo externo de almacenamiento de datos, la transmisión de datos del instrumento a la impresora deberá estar diseñada de manera que los resultados no puedan ser falsificados.

No será posible imprimir un documento o almacenar los datos de la medición en un dispositivo externo para fines legales si el(los) sistema(s) de verificación del instrumento detecta(n) una falla significativa o un mal funcionamiento.

8.2.9 El instrumento tiene una frecuencia de notificación igual o superior a una frecuencia de 1 Hz.

8.2.10 El instrumento está diseñado de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería para asegurar que los factores de reducción de la concentración de partículas (por ejemplo, de un sistema de dilución) sean estables a lo largo de una prueba con un vehículo.

8.2.11 El instrumento alcanza una eficiencia de remoción de > 95 por ciento de las partículas de tetracontano de 30 nm (C₄₀H₈₂).

8.3 Seguridad de las operaciones

8.3.1 Si la detección de una o más de las perturbaciones enumeradas en la sección 7.7 “Perturbaciones” se logra mediante el uso de sistemas de verificación automática, será posible comprobar el correcto funcionamiento de dichos sistemas.

8.3.2 El instrumento será controlado por un sistema de verificación automática que funcionará de tal manera que, antes de que pueda indicarse o imprimirse una medición, se confirmarán todos los ajustes y todos los demás parámetros del sistema de verificación para determinar los valores o el estado adecuados (es decir, dentro de los límites).

8.3.3 Los instrumentos equipados con un sistema de ajuste automático o semiautomático no podrán efectuar una medición hasta que se hayan completado los ajustes correctos.

8.3.4 Los instrumentos equipados con un sistema de ajuste semiautomático no podrán hacer una medición cuando se requiera un ajuste.

8.3.5 Se puede prever un medio para advertir de un ajuste necesario en los sistemas de ajuste tanto automáticos como semiautomáticos.

8.3.6 Se proporcionarán dispositivos eficaces de sellado en todas las partes del instrumento que no estén materialmente protegidas de otra manera contra operaciones que puedan afectar la exactitud o la integridad del instrumento.

Esto se aplica en particular a:

- medios de ajuste;
- integridad del software.

8.3.7 El software legalmente relevante estará claramente identificado. La identificación se mostrará o imprimirá:

- a la orden o
- durante la operación o
- en el arranque para un instrumento de medición que puede ser apagado y encendido de nuevo.

8.3.8 El software se protegerá de tal manera que se disponga de pruebas de cualquier intervención (por ejemplo, actualizaciones de software, cambios de parámetros).

8.3.9 Las características metrológicas de un instrumento no se verán influenciadas en modo alguno por la conexión a él de otro dispositivo, por ninguna característica del propio dispositivo conectado o por ningún dispositivo remoto que se comunique con el instrumento de medición.

8.3.10 Un instrumento que funciona con pilas debe operar correctamente con pilas nuevas o totalmente cargadas del tipo especificado y continuar funcionando correctamente o no indicar ningún valor siempre que el voltaje esté por debajo del valor especificado por el fabricante.

Los límites de voltaje específicos para las baterías de vehículos de carretera se prescriben en la sección 7.6.2 “condiciones nominales de funcionamiento”.

9 Inscripciones e instrucciones de funcionamiento

9.1 Inscripciones

El instrumento tendrá una o varias etiquetas permanentes, intransferibles y fácilmente legibles que contengan la siguiente información:

- a) La marca y el nombre corporativo del fabricante;
- b) Año de fabricación;
- c) Marca de homologación de tipo y número de modelo;
- d) Número de serie del instrumento;
- e) Detalles de la energía eléctrica:
 - en el caso de la red eléctrica: el voltaje nominal de la red, la frecuencia y la potencia requerida;
 - en el caso de alimentación por la batería de un vehículo de carretera: el voltaje nominal de la batería y la potencia requerida;
 - en el caso de batería interna extraíble: el tipo y el voltaje nominal de la batería.

9.2 Instrucciones de funcionamiento

El fabricante proporcionará instrucciones de funcionamiento escritas para cada instrumento en el idioma o idiomas del país en el que se utilizará.

Las instrucciones de funcionamiento deberán incluir:

- a) Los intervalos de tiempo y los procedimientos de ajuste y mantenimiento que se seguirán para cumplir con los errores máximos permitidos (véase también 8.2);
- b) Una descripción del procedimiento de prueba de aire limpio;
- c) Si procede, el procedimiento de puesta a cero;
- d) Las temperaturas máxima y mínima de almacenamiento;
- e) Una declaración de las condiciones nominales de funcionamiento enumeradas en 7.6.2 y otras condiciones ambientales mecánicas y electromagnéticas pertinentes;
- f) Si procede, detalles sobre la compatibilidad con el equipo auxiliar;
- g) El rango de temperatura ambiente se incluirá en las instrucciones de funcionamiento;
- h) Cualquier condición de funcionamiento específica, por ejemplo, una limitación de la longitud de las líneas de señal, de datos o de control;
- i) Si procede, las especificaciones de la batería (véase 8.2);
- j) Una lista de mensajes de error con explicación.

10 Información de Contacto

Freddy Koch, Programa CALAC+

freddy.koch@swisscontact.org

Adrián Montalvo, Programa CALAC+

adrian.montalvo@swisscontact.org

John Ramiro Agudelo, Universidad de Antioquia

john.agudelo1@udea.edu.co

11 Referencias

NMi proposal for Particulate Number Counter version 2019-10-16. Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions. Part 1: Metrological and technical requirements.

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.



Es un Programa de:

Ejecutado por:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



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

Calle José Gálvez 692, Piso 7, Miraflores
Lima 15074 – Perú
Teléfonos: +511 2641707, 2642547
Fax: +511 2643212
www.swisscontact.org