UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

# CURSO DE CAPACITACIÓN

# ESTADO ACTUAL DE LAS NORMAS DE EMISIONES Y DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES EN COLOMBIA: PROPUESTA DE UNA NUEVA PRUEBA DE REVISIÓN TÉCNICO-MECÁNICA DE VEHÍCULOS DIÉSEL BASADA EN EL CONTEO DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS

**24 de Noviembre de 2020**

Futuro sostenible

@areametropol | www.metropol.gov.co

Área METROPOLITANA Valle de Aburrá 40 años

# Contenido

Revisión de los impactos de la calidad de combustibles, el uso de biocombustibles y la tecnología de control de emisiones (normas Euro) sobre las emisiones de NOx y material particulado en MEC

Opacidad de humo vs. densidad de humo vs. conteo de partículas

Equipos de medición de conteo de partículas: principios de operación, protocolo de medición, y pruebas de repetibilidad

Definición de indicadores para determinar el tiempo de validez de la prueba de conteo de partículas y determinación del nuevo umbral de partículas

Análisis Modal de Emisiones: potente herramienta para evaluar el impacto medioambiental de la tecnología/tipología de los vehículos en diferentes escenarios de movilidad

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

Área Metropolitana Valle de Aburrá 40 años

Ingeniera Química (2008) y M.Sc (2010) UNAL Medellín
PhD. University of Cambridge (2015)

Investigadora en CARES
(Cambridge Centre for Advanced Research and Education) en Singapur (2015-2018)

Desde hace 2 años en UdeA
Investigadora grupo GIMEL
Profesora cátedra posgrado Ingeniería Química

Futuro sostenible

# CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

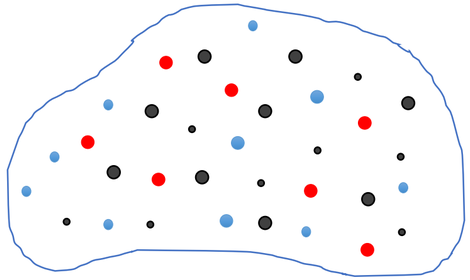
2. DISTRIBUCIÓN Y CONTEO DE PARTÍCULAS
   - Principios de medición
   - Tipos de equipos
   - Ventajas y desventajas

3. PRUEBA DE INSPECCIÓN TÉCNICA BASADA EN CONTEO DE PARTÍCULAS (PTI-PN)
   - Especificaciones del equipo de medición
   - Procedimiento de la prueba: referencia Suiza, Holanda.
   - Procedimiento de la prueba AMVA-UdeA distintivo ambiental
   - Pruebas preliminares AMVA-UdeA

# AEROSOLES ATMOSFÉRICOS

## ¿Qué es un aerosol?

Colección de partículas líquidas y/o solidas suspendidas en un gas



Tamaños típicos 1 nm – 100 µm

## Impacto de los aerosoles atmosféricos

Contaminación atmosférica
- Transporte y formación de contaminantes
- Problemas de visibilidad
- Smog

Efectos en la salud
- Problemas respiratorios
- Morbi-mortalidad por nano-partículas suspendidas

Calentamiento global
- Contribuye calentamiento por radiación

Pérdida de ozono
- Reacciones que consumen ozono

## Caracterización de aerosoles

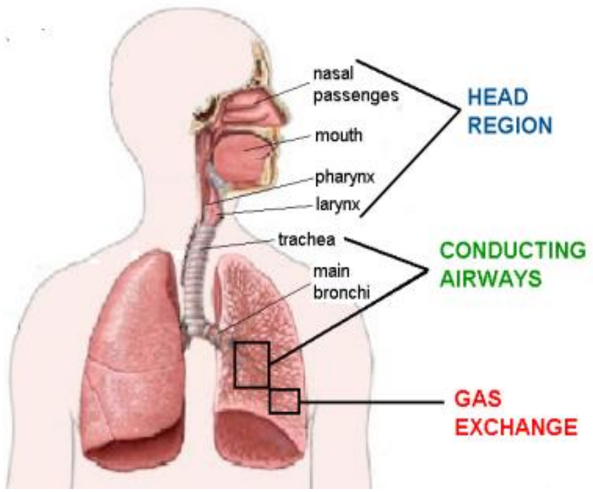
- Tamaño de partícula
- **Número**
- Masa
- Forma
- Composición

**regulación**

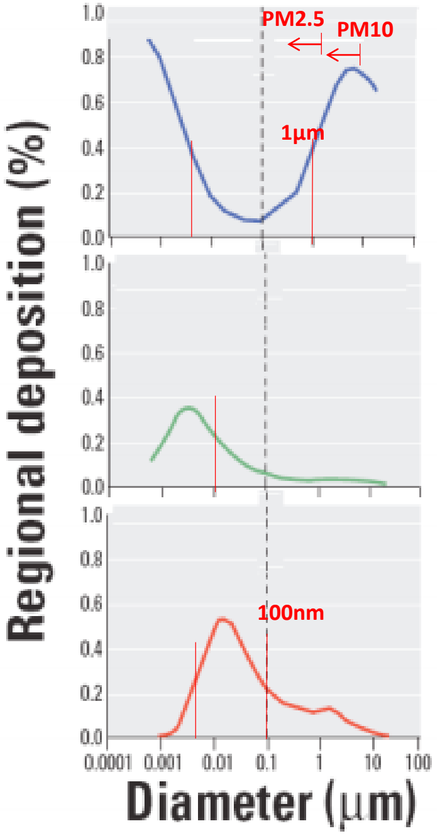
El tamaño de partícula es la propiedad más importante para caracterizar el comportamiento de un aerosol
En el ambiente existe una distribución de tamaños

El tamaño de partícula es la propiedad más importante para caracterizar el comportamiento de un aerosol

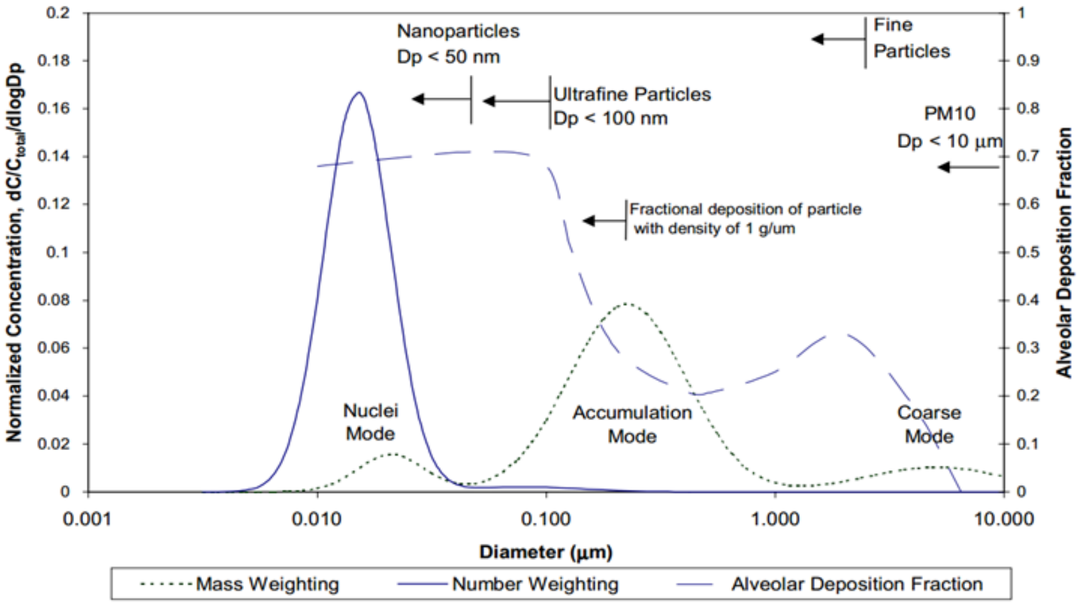
## Deposición de partículas en sistema respiratorio




Fuente: Oberdörster et al 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles




## EMISIONES DE ESCAPE DE VEHÍCULOS DIESEL




Fuente: Kittelson et al 1998. Engines and nanoparticles: a review

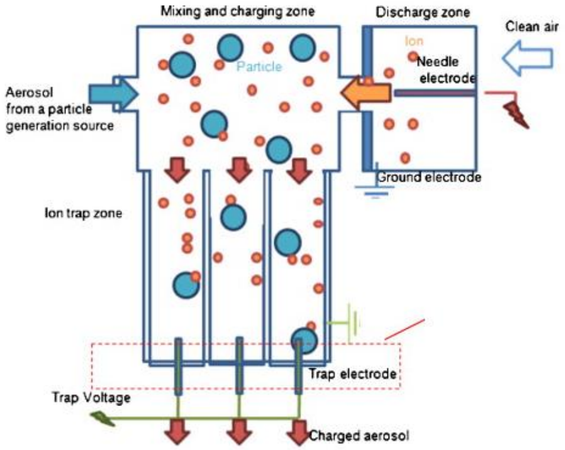
Mayoría Diesel PM < 250 nm

# Medición de distribución de tamaño de partículas (PSD)

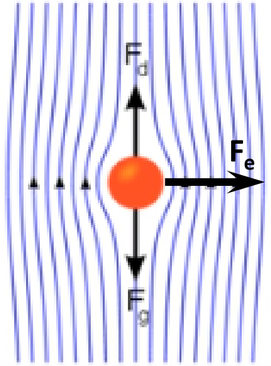
Área METROPOLITANA Valle de Aburrá 40 años

## CARGA → CLASIFICACIÓN → CONTEO

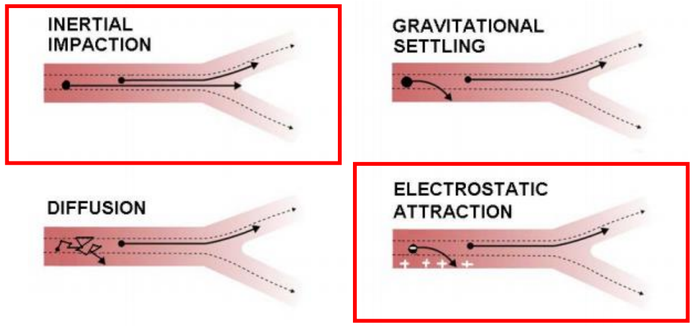
Descarga de corona ioniza aire



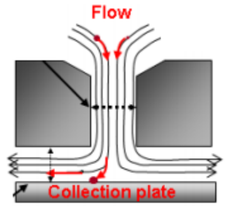

**DC**
**Diffusion charger**




Deposición partículas según tamaño

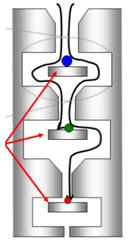



Impactador

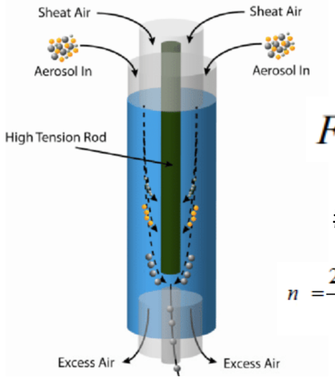



$$F_D = 3\pi\eta V d_p$$

diámetro partícula



Clasificador electrostático

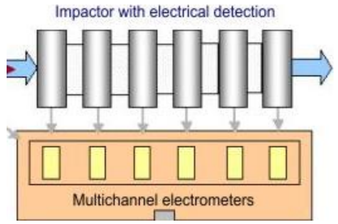


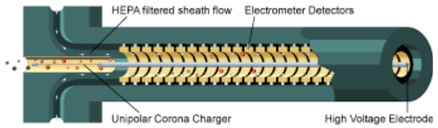

$$F_E = neE$$

# cargas

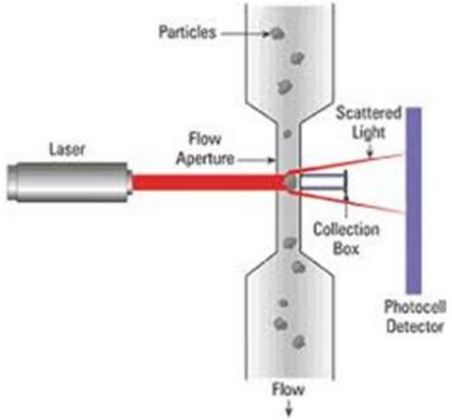
$$n = \frac{2\pi\varepsilon_0 d_p kT}{e^2}\ln\left(1+\frac{d_p c_i e^2 N_i t}{8\varepsilon_0 kT}\right)$$

- Sensor eléctrico
- Óptica: dispersión de luz




**Electrómetros**




**OPC**
**optical particle counter**

Futuro sostenible

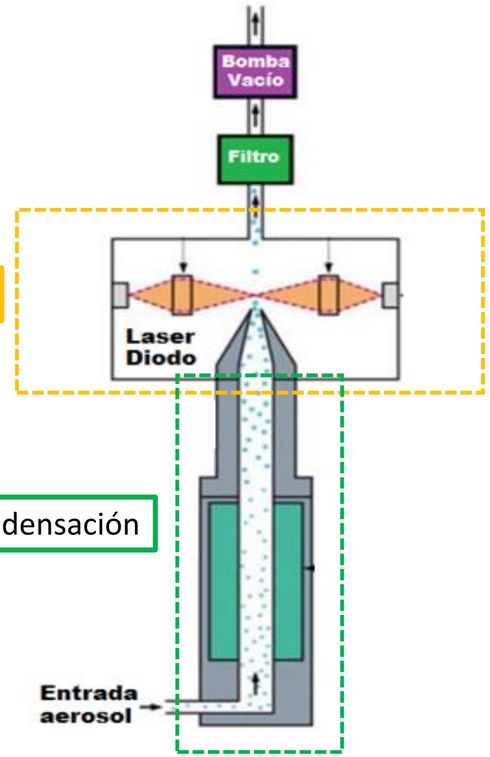
# EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE PSD

| | SMPS (TSI) | EEPS (TSI) | DMS (Cambustion) | ELPI (Dekati) |
|---|---|---|---|---|
| Principio medición | Movilidad eléctrica | Movilidad eléctrica | Movilidad eléctrica | Inercia |
| Rango de tamaño | 3 – 1000 nm | 5.6 – 560 nm | 5 – 1000 nm | 6 – 1000 nm |
| Rango de concentración | 1 – $10^7$ #/cm$^3$ | $10^5$ – $10^9$ #/cm$^3$ | $10^5$ – $10^9$ #/cm$^3$ | 1 – $10^7$ #/cm$^3$ |
| Tiempo respuesta | <15 s (60-120 s) | <100 ms | 200 ms | < 1 s |
| Tipo de cargador | Neutralizador | Corona | Corona | Corona |
| Tipo de detector | CPC | Electrómetro | Electrómetro | Electrómetro |
| Precio | ~ 90.000 – 120.000 USD$ | | | |

**OTROS**
EAS (Electrical Aerosol Spectrometer), vende AIREL. *Mirme 2011, PhD Tesis*
BCAC (Bipolar Charge Aerosol Clasifier) *Kulon et al 2001. IEEE*
EMS (Electrical Mobility Spectrometer) *Intra and Tippayawong 2011, Korean Journal of Engineering*

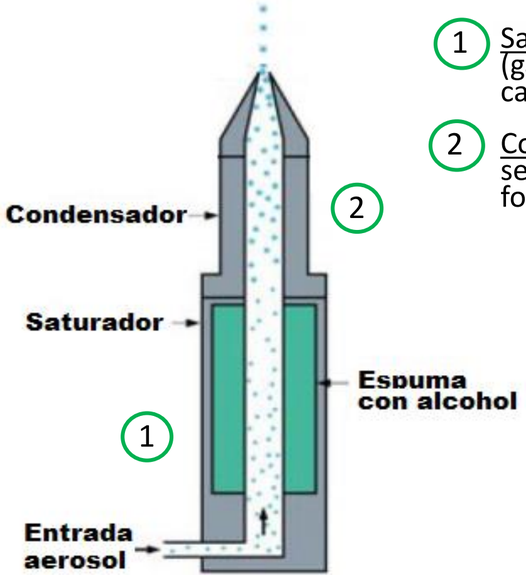
# SISTEMAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS
# CPC

## Condensation Particle Counter (CPC)




Sistema de conteo óptico

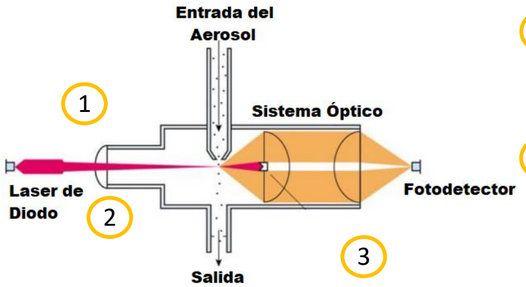
Sistema de condensación




Todas las gotas tienen el mismo tamaño, sin importar de qué tamaño inicial era la partícula

Sistema de condensación

1. Saturación (~30°C): la muestra (gas con partículas) pasa por un cartucho saturado de alcohol (IPA)
2. Condensación (~20°C): el alcohol se condensa sobre las partículas y forma una "gota"




Sistema de conteo óptico

1. Se diluye el gas de manera que las gotas pasan una a una por una boquilla.
2. Al pasar la gota por el láser la luz de éste se dispersa y un fotodetector la detecta
3. Se cuenta cada gota que dispersa la luz (sin importar el tamaño inicial de la partícula)

# SISTEMAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS
## CPC 3795 (NPET)

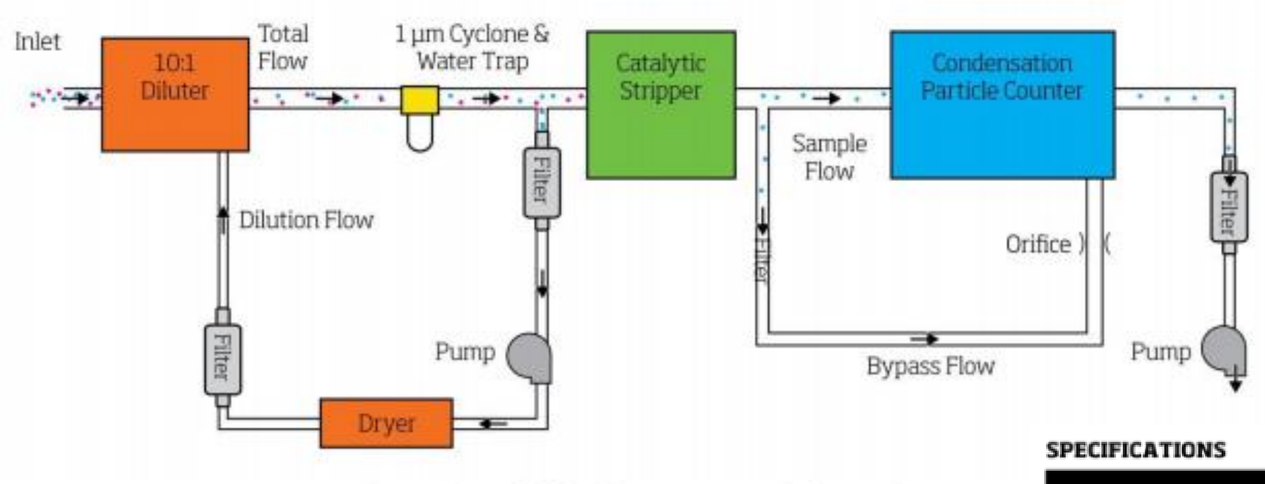
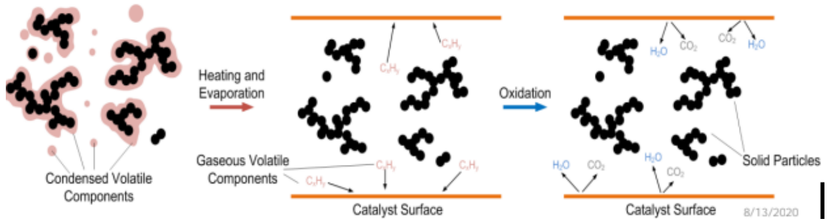



**Figure 1: Model 3795 Instrument Schematic**

+ **Catalytic stripper**
  - Evaporates volatile material
  - Volatiles are oxidized using a catalyst to prevent them from re-condensing



**SPECIFICATIONS**

| | |
|---|---|
| Particle Size Range | <50% at 23 nm<br>>50% at 41 nm<br>Solid particles from 23 nm to 1 µm |
| Concentration Accuracy | ± 10% |
| Response Time | $T_{10\%-90\%}$ and $T_{90\%-10\%}$ 4 ± 0.5 seconds |
| Sampling flow | 0.7 L/min (nominal) |
| Working fluid | 99.5%+ reagent-grade isopropyl alcohol; one charge lasts up to 4 hours |
| Catalytic Stripper | Removes >99% of volatile particles (Equivalent 30 nm Number Median Diameter (NMD), Polydisperse $C_{40}H_{82}$) |
| Dimensions (H x W x D) | 10.2" x 13" x 22.4" (26 cm x 33 cm x 57 cm) |
| Weight | 13.1 kg (28.9 lbs.) |

# SISTEMAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS
# CARGA POR DIFUSIÓN (DC)

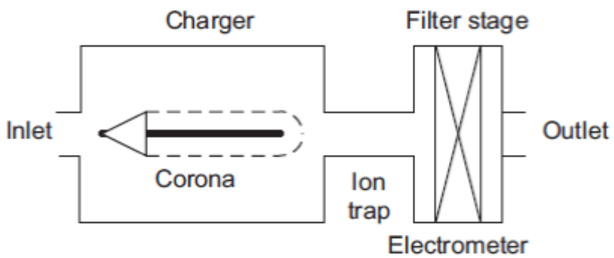



**Figure 1.2:** *Schematic of a diffusion charger.*

1. Partículas se cargan por medio de una descarga de corona
2. Electrómetro registran la corriente proporcional al número de partículas y la carga promedio por partícula

Eficiencia: $E = \frac{R}{PN}$

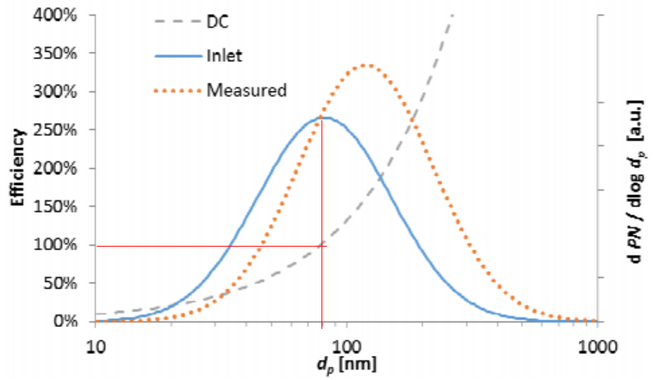



**Figure 2.3:** *Example of a DC efficiency curve and inlet and measured 'seen' size distributions (GMD=80 nm). DC with $d_p$^1.15 was calibrated at (monodisperse) 80 nm to have 100% efficiency.*

La respuesta aumenta a medida que el diámetro aumenta

Corriente medida $\sim d_p^x$

| Charger type | Response | Range | Aerosol | Reference |
|---|---|---|---|---|
| Direct | 1.64 | 8-23 | Ag / DOS | Ntziachristos et al. (2004) |
| Direct | 1.32 | 23-700 | Ag / DOS | Ntziachristos et al. (2004) |
| Direct | 1.41 | 30-460 | Diesel | Ntziachristos et al. (2004) |
| Direct | 1.91 | 30-112 | NaCl / DOS | Park et al. (2007) |
| Direct | 1.27 | 112-700 | NaCl / DOS | Park et al. (2007) |
| Indirect | 1.12 | 20-700 | NaCl / DOP | Liu and Pui (1975) |
| Indirect | 1.11 | 20-240 | NaCl | Fierz et al. (2008) |
| Indirect | 1.36 | 30-150 | NaCl / Diesel | Jung and Kittelson (2005) |
| Turbulent jet | 1.13 | 30-150 | NaCl / Diesel | Jung and Kittelson (2005) |
| Turbulent jet | 1.13 | 6-100 | Ag | Fissan et al. (2007) |
| Turbulent jet | 1.17 | 30-700 | NaCl / DOS | Park et al. (2007) |

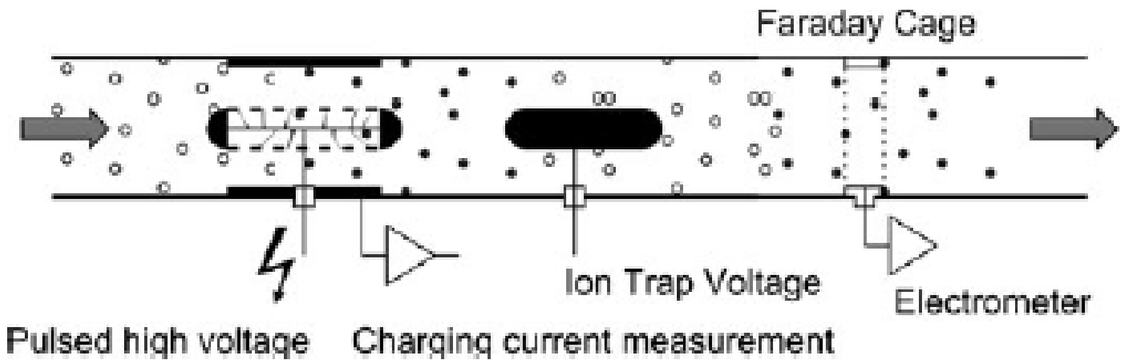
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC93743/pn-pems_lab_06b_online.pdf

## Otros factores que afectan la señal de DC

- Volátiles: reducen la movilidad de las partículas y aumentan su masa.
- Temperatura: aumenta la velocidad de los iones y partículas grandes pueden adquirir más carga (+10°C → 2% aumento en carga partículas de 100 nm)
- Morfología partículas: tener en cuenta en la calibración con factores de corrección
- Cargas pre-existentes ó concentraciones de partículas muy altas

# SISTEMAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS
## DC por corriente inducida

Corriente inducida: fracción de partículas cargadas que no se depositan inducen una corriente cuando la concentración del aerosol cambia mucho en el tiempo




1. Partículas se cargan por medio de una descarga de corona
2. **Detección de la carga en Celda Faraday (SIN CONTACTO)**

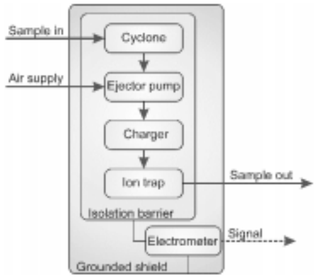
Celda Faraday: la capa interna de la celda adquiere una carga imagen de manera que se cancele el campo inducido por la corriente.

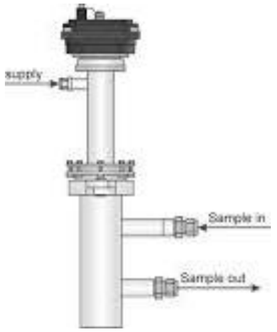
- El electrodo no debe capturar (depositar) partículas
- Se debe generar una corriente inducida incluso en estado estacionario (corona se opera en pulsos)

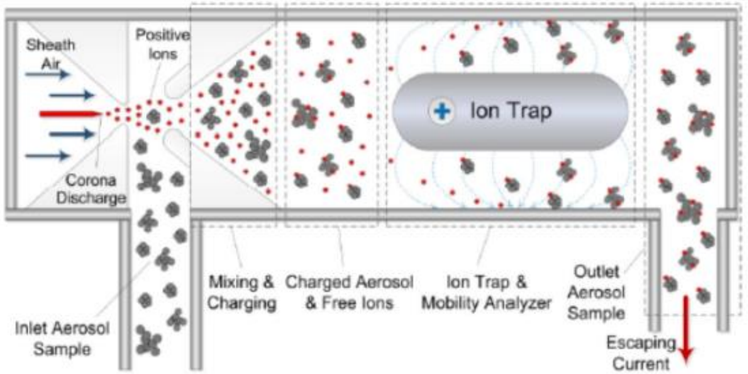
*Fierz et al 2014. Aerosol Science and Technology, 48:4, p. 350-357*

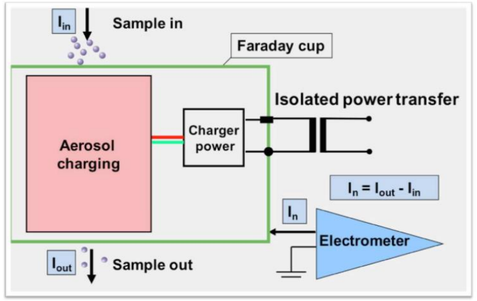
# SISTEMAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS

## Pegasor PPM:





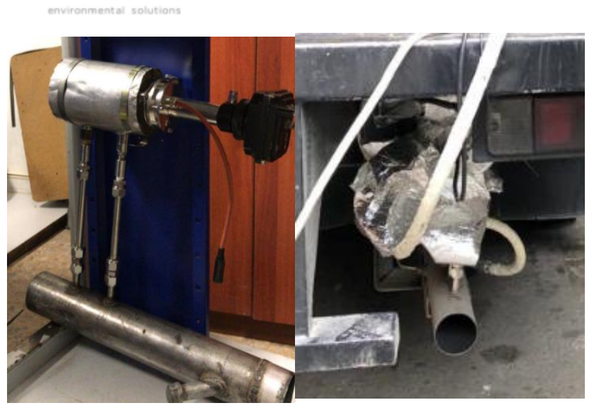




## PPS Parámetros Operativos

- Temperatura autorregulada a 200 ºC de la línea de muestreo
- Temperatura del sensor autorregulada a 200 ºC
- Concentraciones másicas desde < 1 µg/m³ a 350 mg/m³
- Concentraciones numéricas desde 600 #/cm³ hasta 1.3e9 #/cm³
- Tiempo de respuesta 0,2 s (medida)

## PPS Ventajas

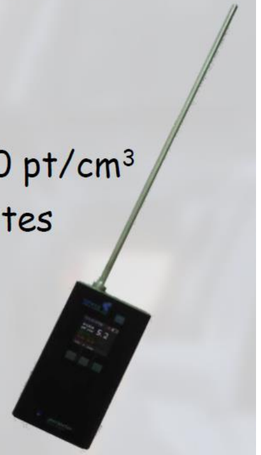
- Tiempo de respuesta de 0,2 s
- Medida por inserción en el flujo de escape (sin captación)
- Funcionamiento continuo
- Medida por inserción, sin dilución
- Mide la superficie activa de las partículas – ajustable a bajo $D_p$
  - Calibración precisa disponible para ambos
  - Concentración másica de partículas
  - Concentración numérica de partículas



# SISTEMAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS
# PARTECTOR

## DC + Celda FARADAY

- Only change vs standard device: larger battery + heater
- Weight 700g, Size 13x8x6cm
- Battery lifetime ~6h
- Concentrations: 1'000 – 5'000'000 pt/cm$^3$
- $\Delta$T vs ambient: 15-25°C, 5-10 Minutes warmup time



martin.fierz@naneos.ch ETH 2018

- Advantages vs. CPC
  - No working fluid, no hassle, no flooding
  - Short warmup time
  - Smaller + lighter
  - Better concentration range for this application

- Advantages vs. traditional DC:
  - Insensitive to electrometer offset drift
  - No filter, no clogging, little maintenance

# Ventajas y Desventajas
# DC vs CPC

## Ventajas DC

- Smaller
- Lower power consumption
- No working fluids
- Insensitive to orientation
- Low sensitivity to temperatures
- Larger possibilities of adjusting settings

## Desventajas DC

- Less accurate (±30% exactitud en el rango de 20-300 nm)
- Baseline noise of ~ 500 $cm^{-3}$
- Larger morphology dependence
- Charging may depend on carrier gas composition
- Dependent on initial charge state of the aerosol
- Less nice counting efficiency curve
- Higher sensitivity to flow rate
- Mayores pérdidas por difusión de partículas pequeñas

Pegasor EUR$ 25.000

## Ventajas CPC

- Mide el # de partículas directamente
- Excluye volátiles
- Alta exactitud (desviación < ±10%)
- Eficiencia 100% (en rangos de interés 50-200 nm)
- Calibración norma ISO 27891:2015

## Desventajas CPC

- Tamaño (no es portátil)
- Sensible a la vibración y orientación (no se puede usar en mediciones a bordo)
- Uso de fluido de trabajo

NPET (CPC 3795) USD$ 40.000

# CONTEO DE PARTÍCULAS para PTI
## Equipos

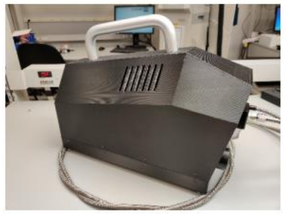
Holanda – TNO:

Expected price range of PTI PN testers € 4,500 to € 8,500.

| Trade mark | TSI | TSI | TSI | Sensors | Naneos |
|---|---|---|---|---|---|
| Type | NPET | PTI | APET | APA | Partector |
| Status device | Approved | Proto | Proto | Proto | Proto |
| VPR | Yes | No | Yes | No | No |
| Sample dilution | Yes | Yes | Yes | Yes | No |
| Measuring principle | CPC | CPC | CPC | CPC | DC |
| Meas. range [#/cm³] | $50 * 10^6$ | $5 * 10^6$ | $5 * 10^6$ | $5 * 10^6$ | $5 * 10^6$ |
| Particle size range [nm] | 23 - 1000 | | | | 10 - 10,000 |
| Power source | 230V | Battery | Battery | Battery | Battery |

+ TSI APET (Automotive Particle Emission Tester)
- Built on pedigree of CPC technology, already established for Euro 5 & 6 type approval plus in-use compliance testing
- Complete measurement system: Sampling + aerosol conditioning + particle counting
- Portable (built-in battery)
- Robust (no free liquid)
- Low maintenance

Submitted to type approval at Dutch NMi in August

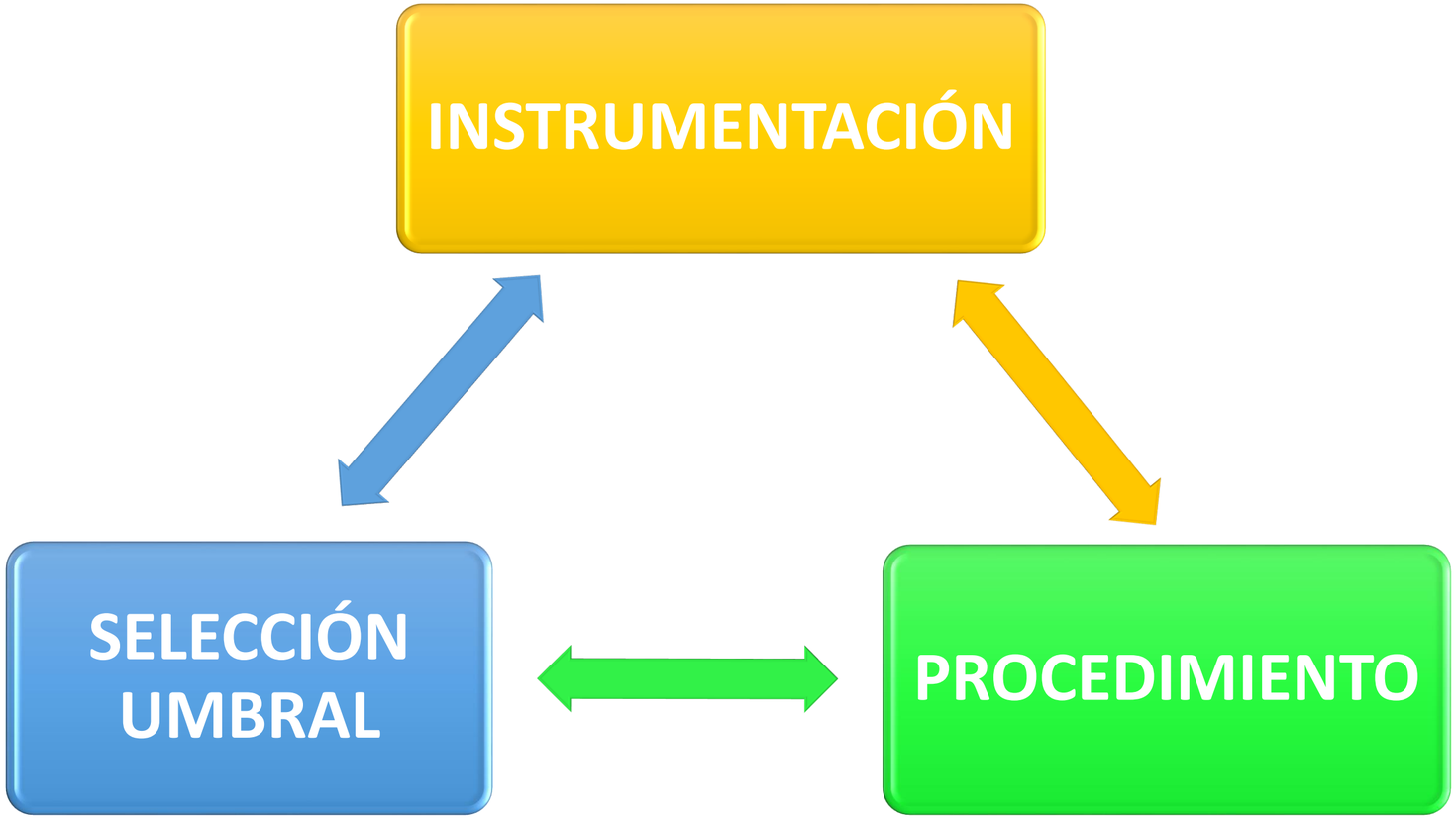


Potential suppliers of PTI-PN testers:

- TSI
- Testo
- Naneos
- Sensors
- AVL
- Dekati
- TEN
- MAHA
- Premier Diagnostics
- Pegasor
- Continental
- Mahle
- TEXA

| | > 23 nm solid | > 23 nm solid | > 20 nm solid+volatile | > 10 nm solid+volatile |
|---|---|---|---|---|
| DF | 100 | 10 | 1 | 1 |
| Max. | $5^E07$ | $5^E06$ | $5^E05$ | $1^E05$ |

# INSPECCIÓN TÉCNICA PERIÓDICA: CONTEO DE PARTÍCULAS




Clase prof. Ricardo Moreno

# PTI – INSTRUMENTACIÓN: Requisitos

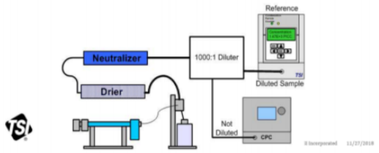
- ✓ Trazabilidad (verificación en proceso de homologación)

**¿Cómo se demuestra la trazabilidad en la calibración, es un patrón de calibración?**

La trazabilidad se establece con una muestra de PN de referencia, producida por un generador de aerosoles, medida por un contador de PN de CPC más preciso (CPC de referencia). La concentración de PN medida con el CPC de referencia se compara con la señal de medición del contador PTI-PN.

**CALIBRATION TEST SET UP (ISO 27891: 2015)**

+ Dilution Bench
- Reference: Single flow, single particle counting CPC
- Adjusted diluter - Exact diluter ratio determined
- Can measure up to 10 million particles/cc




Every new PTI PN counter must be tested in this test set up by the manufacturer.

In field calibration requires a PN source and a validated PN counter similar to the test sample.

- ✓ Calibración frecuente con equipos de referencia

TNO innovation for life

› 1. Initial verification of a protype PN tester by the metrological institute.
› (Type approval)

› 2. Subsequent verification for every new PN tester by the manufacturer.

› 3. Yearly (in field) verification for in use PN tester by the calibration service.

- ✓ Repetible en rangos de concentración y eficiencias de conteo definidos
- ✓ Bajo costo (max 10.000 Euros – **Alemania**, 4.500 – 8.000 Euros **Holanda** )
- ✓ Bajos costos de mantenimiento y calibración

- ✓ Mediano/largo plazo: reducción umbral, estándar futuro, GDI, sub 23nm (<10 nm)

Horizonte 2020 (sub 23 nm)

PEMs4Nano *https://pems4nano.eu/*
DownTo10 *http://www.downtoten.com/*
Sureal-23 *http://sureal-23.cperi.certh.gr/*

# PTI – INSTRUMENTACIÓN: Requisitos

## Suiza (METAS)

- B Requisitos metrológicos
- 1 rango de medida

1.1 El rango de medición para la concentración numérica de partículas es al menos entre $5 \times 10^{4}$ cm$^{-3}$ y $5 \times 10^{6}$ cm$^{-3}$ .

- 3 Errores máximos permitidos (MPE)

Los EMT se definen de la siguiente manera:
Dependiendo del tamaño y la composición de las partículas, el instrumento de medición debe mantener en todo el rango de medición una eficiencia *E* dentro de los límites establecidos en la Tabla 1.
Eficiencia de los instrumentos de medición de nanopartículas*tabla 1*

| Diámetro de movilidad | Límites de eficiencia *E* |
|---|---|
| Nanopartículas de 23 nm | *E* <50% |
| Nanopartículas de 41 nm | *E* > 40% |
| Nanopartículas de 80 nm | 70% < *E* <130% |
| Nanopartículas de 200 nm | *E* <200% |
| Gotas de tetracontano de 30 nm (concentración numérica hasta $10^{5}$ cm$^{-3}$ ) | *E* <5% |

TNO innovation for life

## SPECIFICATION OF NEW PTI PN TESTER

- Particle size: 70 nm.
- Counting efficiency 100%
- Measuring range: 0 – 5.000.000 #/cm³.
- No catalytic stripper (solid + volatile particles)
- Recommendation: Heated PN device @ 120 – 140 °C.

*In order to have a PTI PN counter with an acceptable price (< 5000 Euro) a simplified specification of the PN tester is needed.*

*Currently, the Dutch Metrological institute (NMI) prepares a draft specification of a new PTI-PN-tester.*

## Holanda NMi

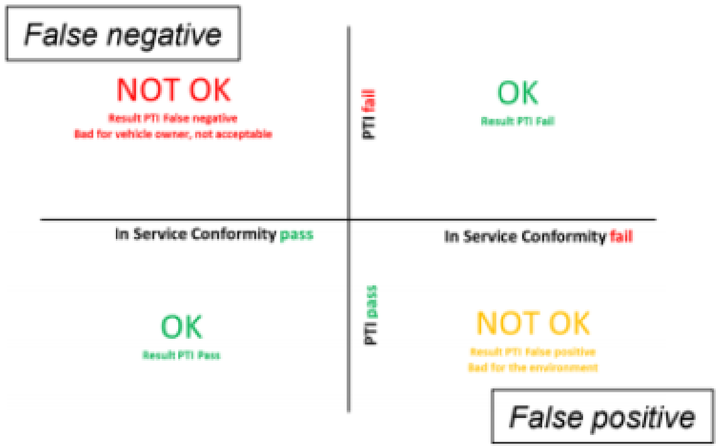
A Particulate Number (PN) tester measures the volumetric PN concentration (solid particles) in the tail pipe. The main characteristics of the PN-tester, as described in the document with the draft specifications, are as follows:

- Applicable for diesel and gasoline engines.
- The tester contains a sampling system, a volatile particle remover (VPR) and a PN-counter.
- The tester is characterized with particle sizes of 23, 50 and 80 nm.
- The volatile particle remover has an efficiency of more than 95%.
- Particle size for calibration and linearity check is > 50 nm.
- Measuring range: 0 – 5,000,000 #/cm³.
- Measuring accuracy +/- 25%.
- Stabilization time (T0 – T95) of the PN-counter (incl. sample line) is less than 15 seconds.
- Measuring frequency of the PN-counter is at least 1 Hz.

# PTI – PROCEDIMIENTO: Requisitos

- ✓ <u>Producir resultados repetibles de **PN**</u>
  Reducir al máximo variaciones en resultados, especialmente cerca al umbral
  Meta: evitar falsos aprobados/<u>desaprobados</u>

- ✓ Aplicabilidad: en CDA, pruebas en carretera
- ✓ Simplicidad
- ✓ Rentabilidad: bajo costo, corta duración (<2 min)




***Pass/fail criteria of the PTI test must be related to the pass/fail criteria of the in-service conformity or type-approval test but less stringent.***

TNO innovation for life

## 4. REQUIREMENTS PTI EMISSION TEST

- Fast and easy operation (i.e. 30 seconds and a simple test).
- Low cost emission tester, easy calibration.
- Repeatable and reproducible test procedure.
- < 3% false positive and no false negative test results.
- Less stringent than type approval and In Service Conformity levels.



*H. Burtscher et al. Emission Control Science and Technology, Vol 5, pp. 279-287(2019)*

# PTI – Procedimiento: Requisitos

## Suiza

- Vehículo encendido y apagado por usuario
- Sin interrupciones
- Valor medio a partir de 3 valores:
  - 15 s retención
  - 5 s 1° medición
  - 5 s pausa
  - 5 s 2° medición
  - 5 s pausa
  - 5 s 3° medición
- Umbral: 250.000 partículas/cm$^3$
- Acondicionamiento: operación motor constante a máxima velocidad en neutro
- Valor referencia es análogo a 1 x $10^{12}$ partículas/kWh
- Frecuencia de prueba: Bi-Anual

## Holanda

TNO innovation for life

Previo a muestreo

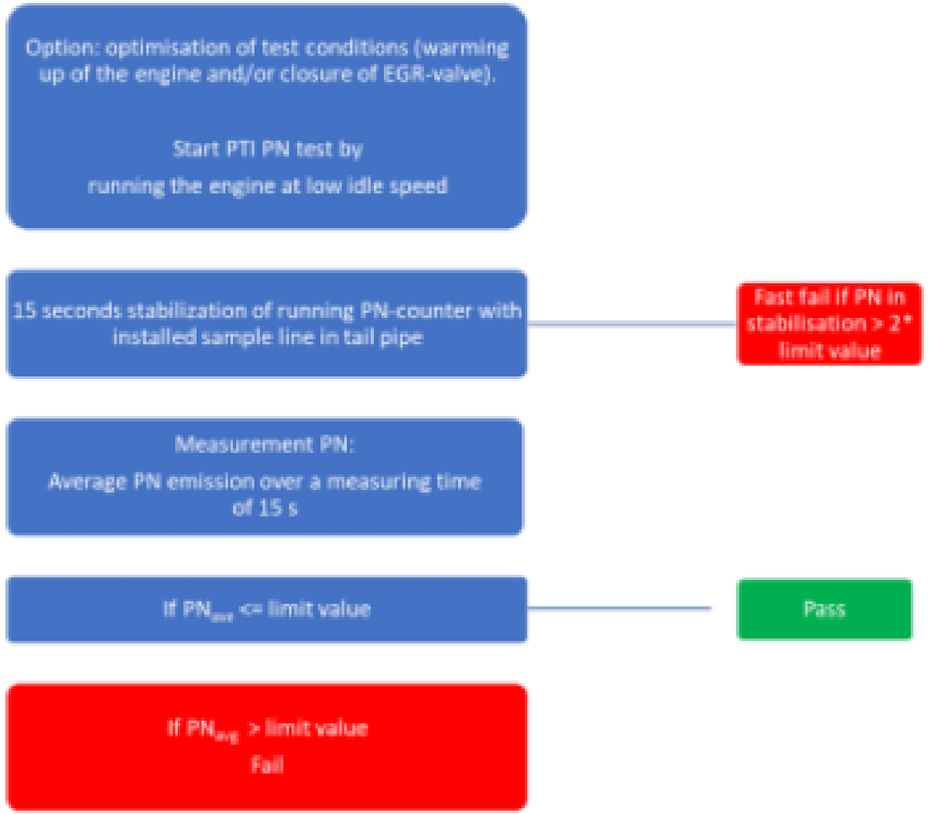
1. Chequeo del ZERO del equipo de PN con filtro HEPA, una vez al día (<5000 #/cm$^{-3}$)
2. Motor del vehículo debe estar caliente

Table 1: Proposed PTI PN limit values for diesel cars with a factory fitted DPF.

| Fuel | Date of first registration | Euro class | Proposed limit value [#/cm$^3$] |
|---|---|---|---|
| Diesel | < 1-1-2015 | Euro 3, 4, 5a, 5b, Euro-VI | 1,000,000 |
| Diesel | >= 1-1-2015 | Euro 5b, Euro 6 Euro-VI | 250,000 |

- Frecuencia: a partir de los 3 años, anual

Muestreo



# PROCEDIMIENTO DE PRUEBA AMVA-UdeA

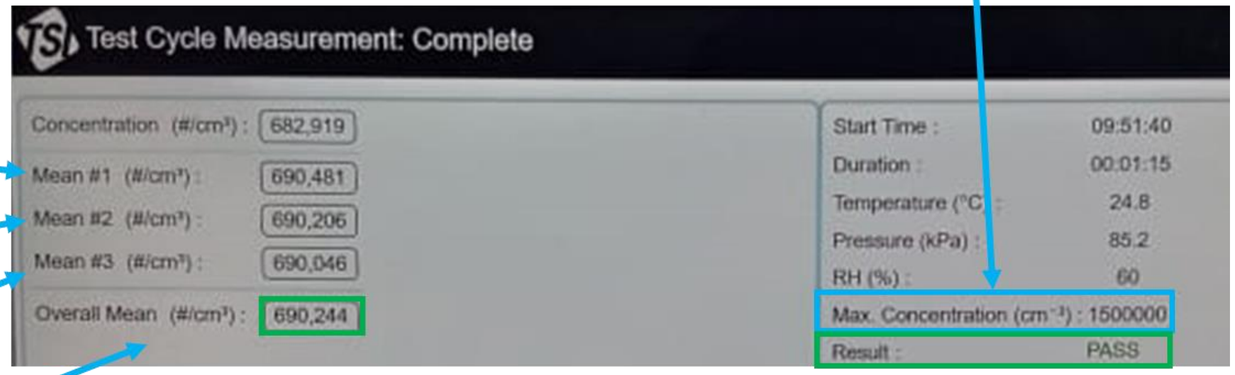
Al empezar el día CHEQUEO CERO: se filtra una muestra de aire y se comprueba que el equipo mida menos de 5000 #/cm$^3$

## Prueba:

1. Se ubica la sonda en el tubo de escape. <u>20 segundos de estabilización</u>
2. Medición por 15 segundos. 5 segundos estabilización
3. Medición por 15 segundos. 5 segundos estabilización
4. Medición por 15 segundos. 5 segundos estabilización
5. Promedio total durante los 45 segundos de medición

Tiempo total prueba: 80 segundos

Límite: 1.500.000 #/cm$^3$




Promedio total < límite APRUEBA
Promedio total ≥ límite NO APRUEBA

Equipo NPET-3795 HC de TSI

*En conformidad con regulación Suiza SR941.242 para vehículos off-road*

# PRUEBAS PREELIMINARES AMVA-UdeA

¿Bajo qué condiciones de operación/preparación del vehículo la prueba es repetible?
¿Cómo se debe preparar el vehículo antes de la prueba?

1. Pruebas de temperatura controlada: Realizar la medición de PN al vehículo con 3 temperaturas de motor diferentes

2. Pruebas de repetibilidad: Realizar la medición de PN cada cierto período de tiempo
   - Sin pre-acondicionamiento
   - Con pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración)

# PRUEBAS PREELIMINARES: TEMPERATURA CONTROLADA

## Procedimiento:

Vehículo llega a la zona de pruebas

↓

Se deja enfriar apagado (T < 65°C)

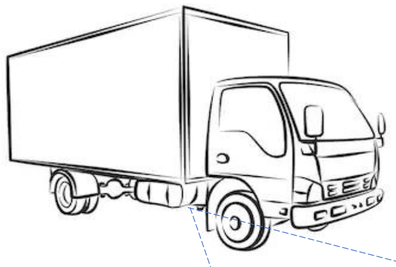
↓

Aceleración estacionado T intermedia

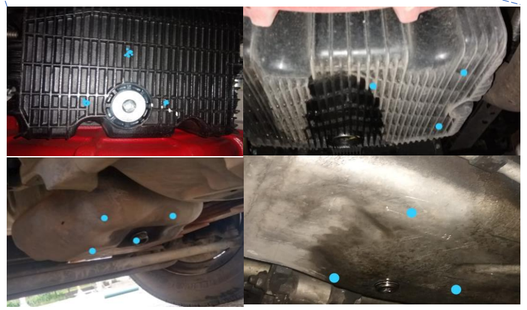
↓

Aceleración estacionado T alta

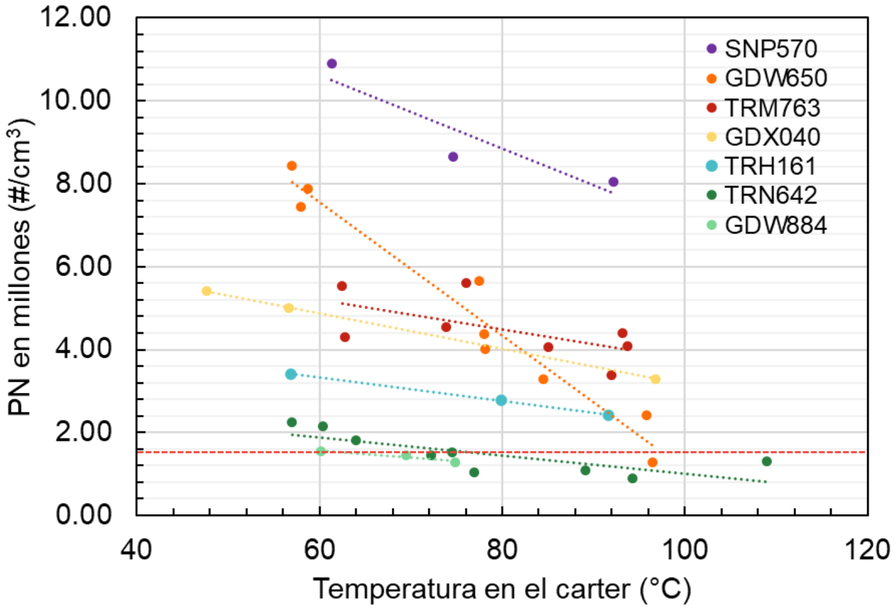
→ Medición **PN**



Vehículos medidos:
Furgones
Modelos 2010-2020
Cilindrada 2460-5200 c.c.
Capacidad 1410-5950 kg



Medición temperatura en el carter:
promedio 3 mediciones alrededor del tapón




Mayor temperatura → Menor emisión **PN**

El impacto de la temperatura no es igual en todos los vehículos

# PRUEBAS PREELIMINARES: REPETIBILIDAD

## ¿Qué se evalúa?

- Repetibilidad de prueba sin pre-acondicionar el vehículo
  - Efecto ralentí prolongado
  - Efecto apagar el vehículo
- Repetibilidad de prueba después de pre-acondicionar el vehículo (ciclo de aceleración)
  - Efecto de realizar ciclo - estacionado
  - Efecto de realizar ciclo - movimiento
- Rangos de repetibilidad

# PRUEBAS PREELIMINARES: REPETIBILIDAD

## Vehículos ISUZU

Furgón c.c 2999
(capacidad 2446 kg)
Motor ISUZU
Modelo 2016
km: 137.566

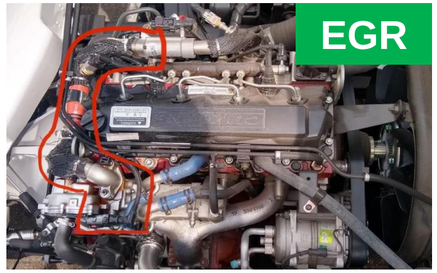
DISTINTIVO: 1.18 (#/cm$^3$)

Furgón c.c 5193
(capacidad 5950 kg)
Motor ISUZU
Modelo 2016
km: 198.198
NO APROBÓ: 1.58 (#/cm$^3$)
DISTINTIVO: 1.30 (#/cm$^3$)

*EGR: exhaust gas recirculation*

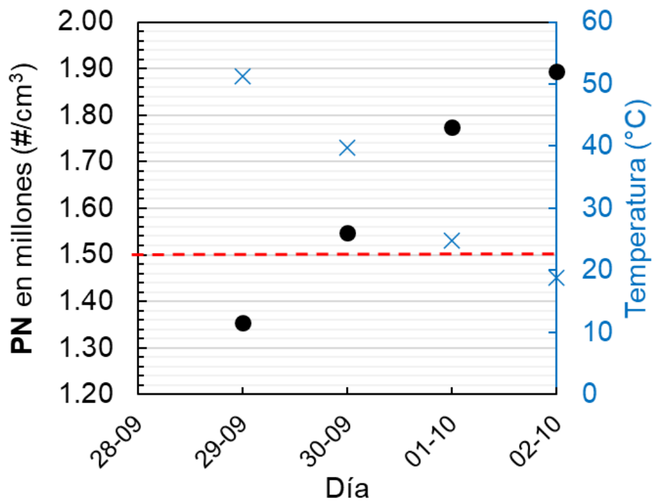
## Vehículo CUMMINS

Furgón c.c 3750
(capacidad 5000 kg)
Motor CUMMINS
Modelo 2021
km: 19



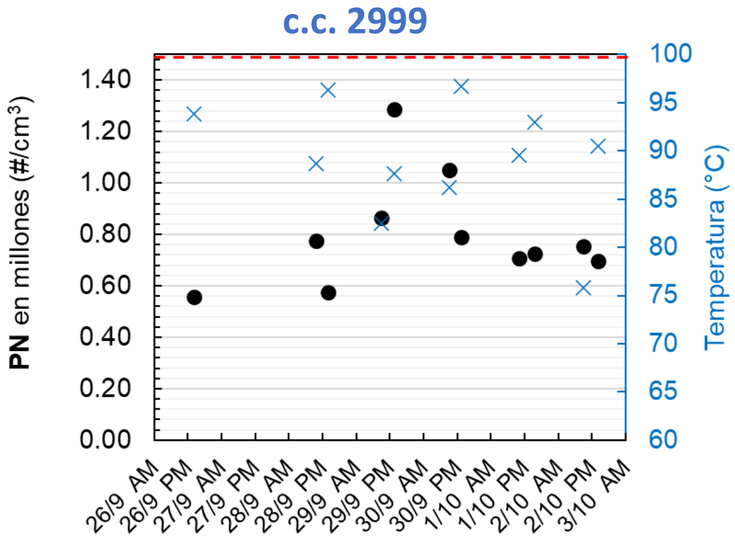
# PRUEBAS PREELIMINARES: REPETIBILIDAD SIN PRE-ACONDICIONAMIENTO

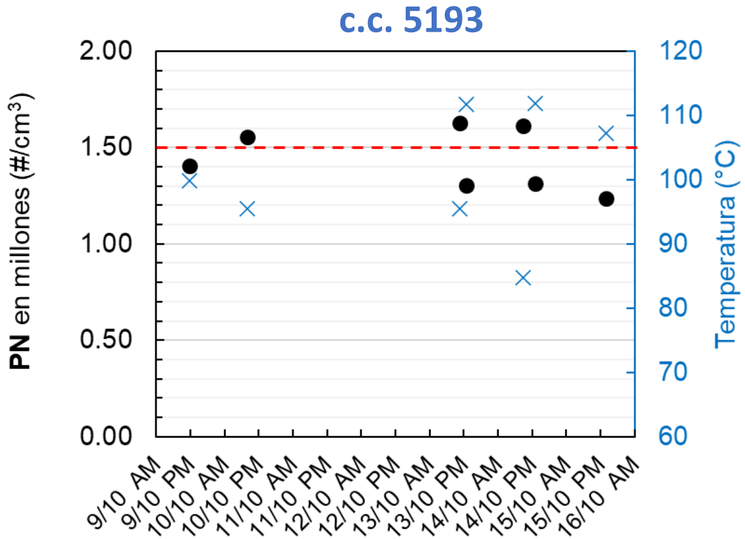
## Vehículo CUMNINS




El encendido en frío aumenta las emisiones de **PN**

## Vehículos ISUZU

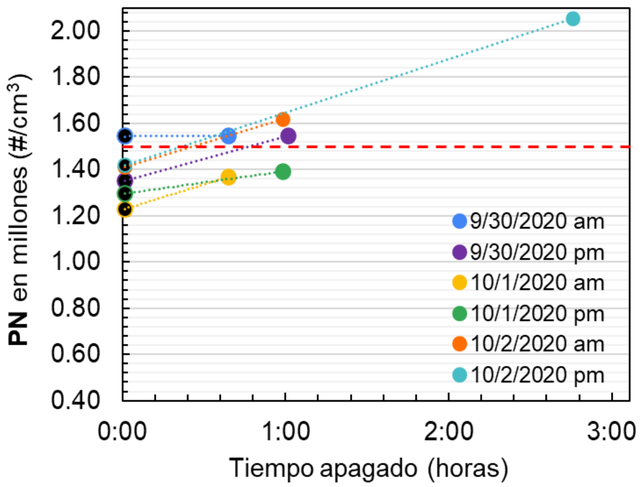



1. Sin pre-acondicionamiento la medición **no es repetible** para **vehículos sin DPF**.
2. La temperatura no es un indicador absoluto para la repetibilidad de la medición. El ciclo de conducción (historial térmico) influye en la medición.

# PRUEBAS PREELIMINARES: EFECTO DEL ENFRIAMIENTO PROLONGADO

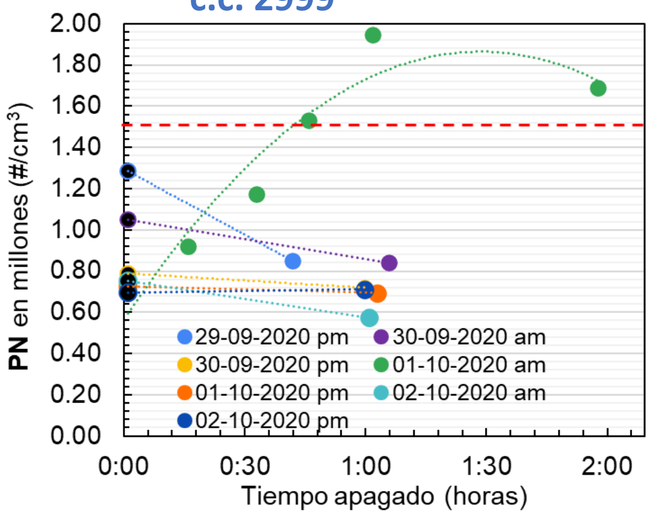
## Vehículo CUMNINS




Para vehículo con **POC** apagar el vehículo <u>aumenta</u> las emisiones de PN

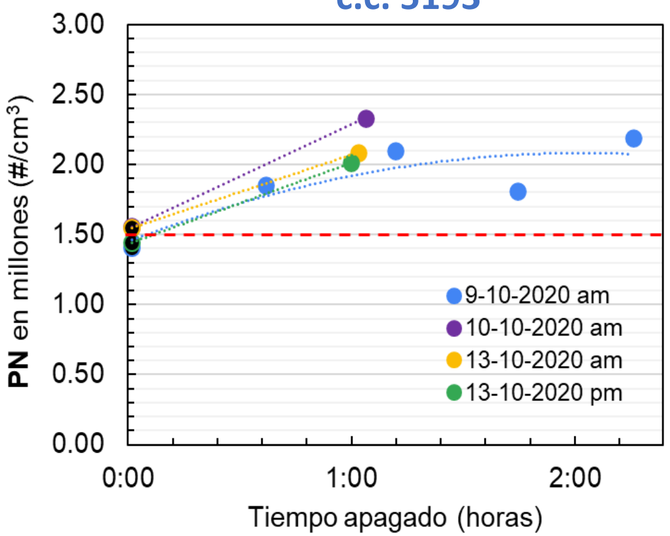
## Vehículos ISUZU

### c.c. 2999




Para este vehículo el efecto del apagado <u>no es concluyente</u>

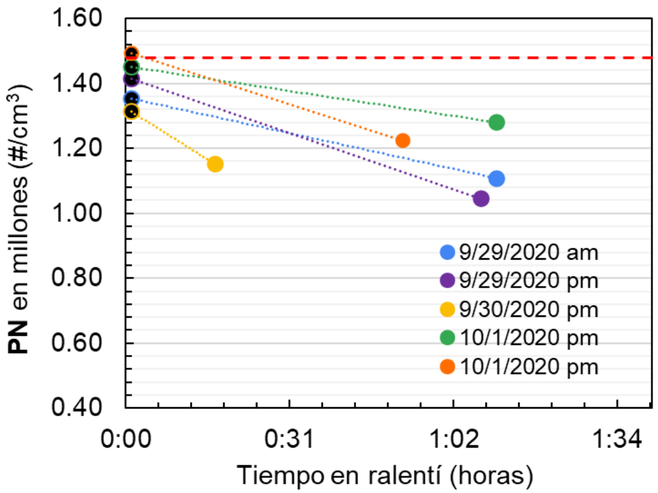
### c.c. 5193




Para este vehículo el efecto del apagado <u>aumenta</u> las emisiones de PN

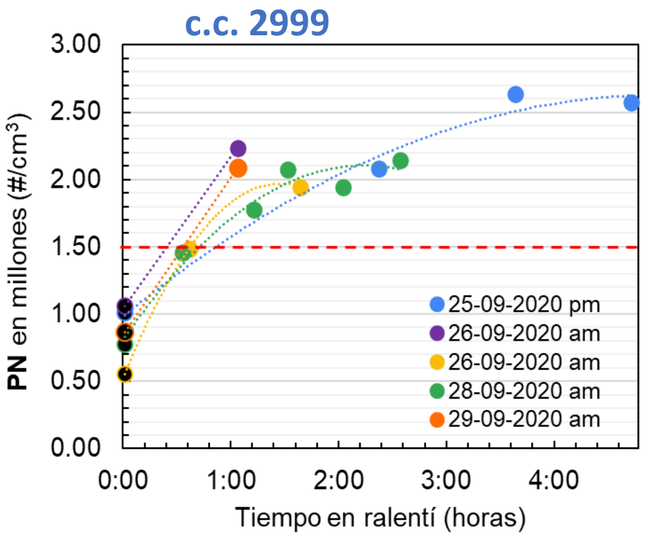
# PRUEBAS PREELIMINARES: EFECTO DEL RALENTÍ PROLONGADO

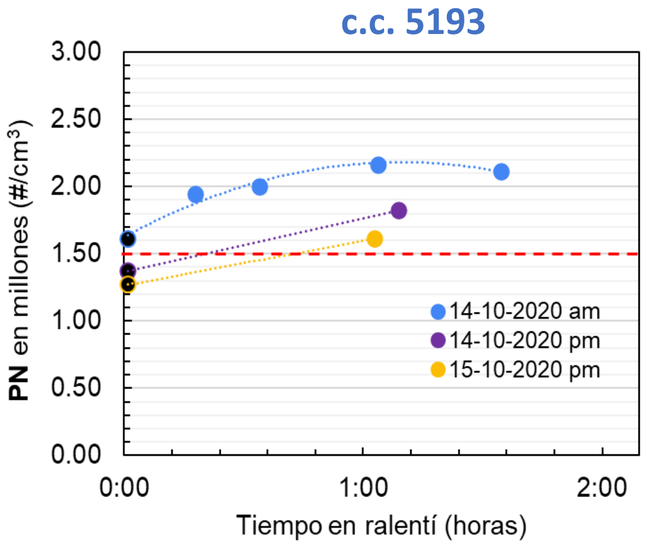
## Vehículo CUMNINS




Para vehículo con **POC** el ralentí <u>disminuye</u> las emisiones de PN

## Vehículos ISUZU




Para vehículo con **EGR** el ralentí prolongado <u>aumenta</u> las emisiones de PN

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: CICLO DE ACELERACIÓN

## Procedimiento:

Vehículo llega a la zona de pruebas

↓

Medición **PN**

↓

Se deja enfriar apagado/ralentí

↓

Medición **PN**

↓

Ciclo de aceleración con vehículo estacionado ó movimiento

↓

Medición **PN**

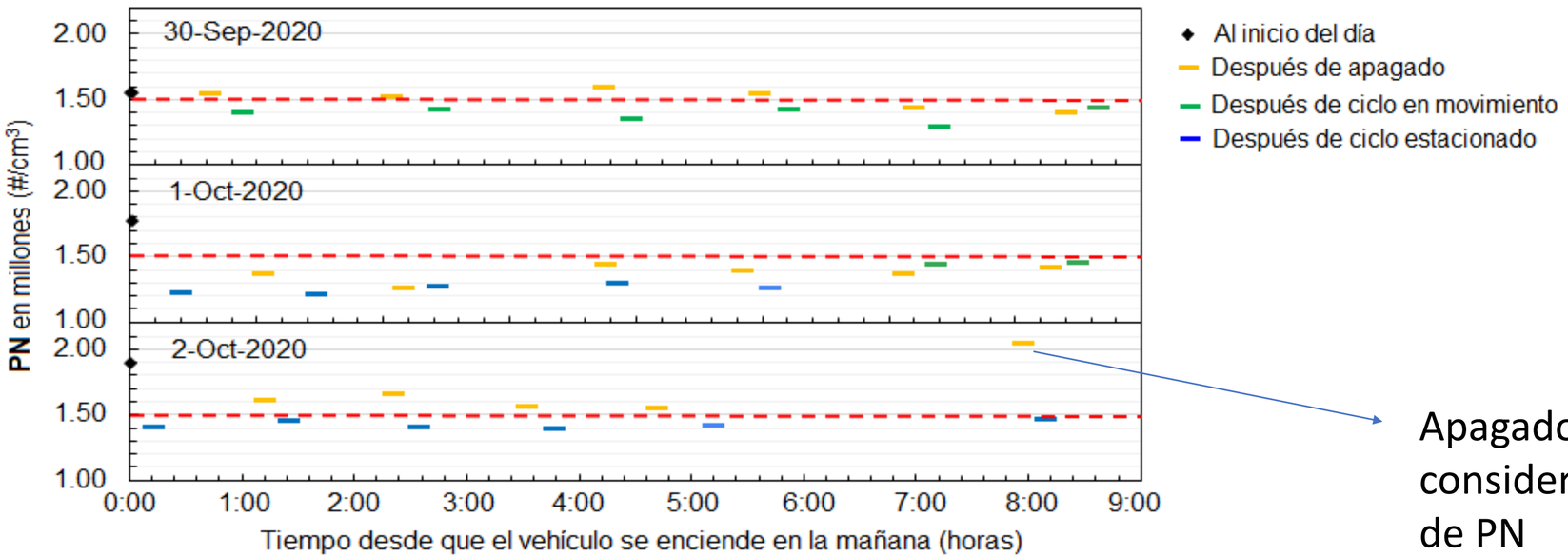
**Ciclo:** Acelera hasta 2500 rpm → Sostiene 5 segundos → desacelera
(Se repite por 10 minutos)

En movimiento (dando vueltas a la zona de pruebas)
Estacionado (en neutra)

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de apagar

### Vehículo Cummins

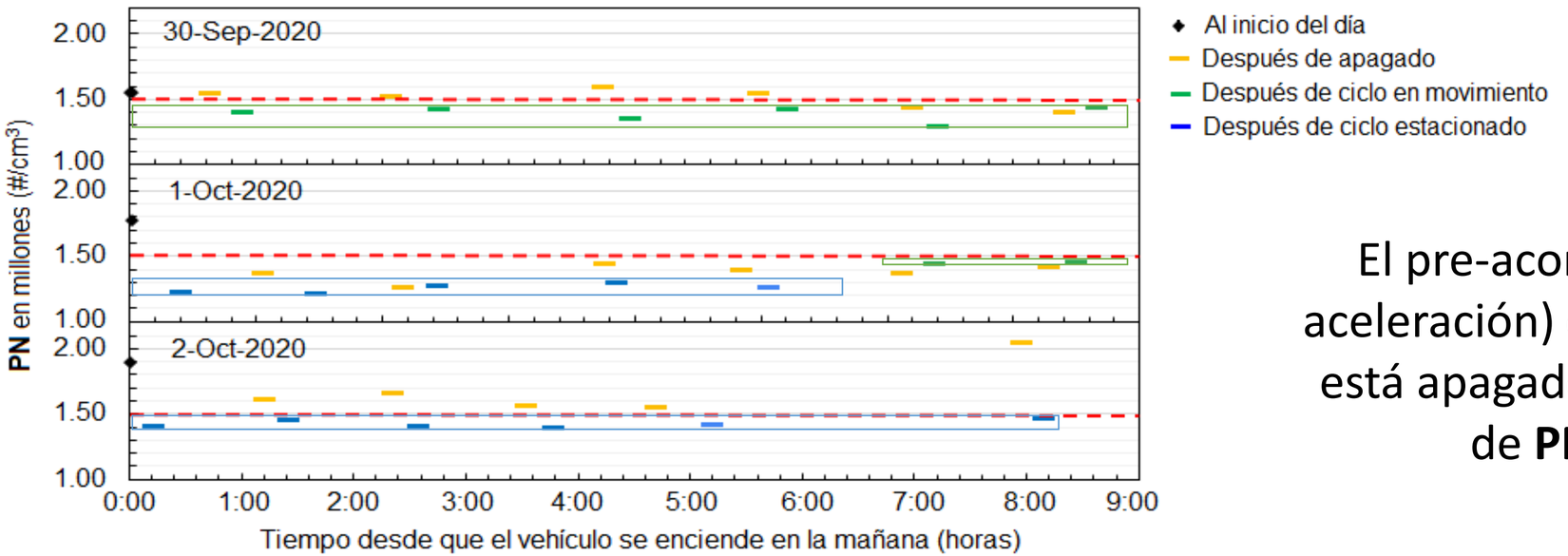



Apagado prolongado aumenta considerablemente la emisión de PN

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de apagar

### Vehículo Cummins

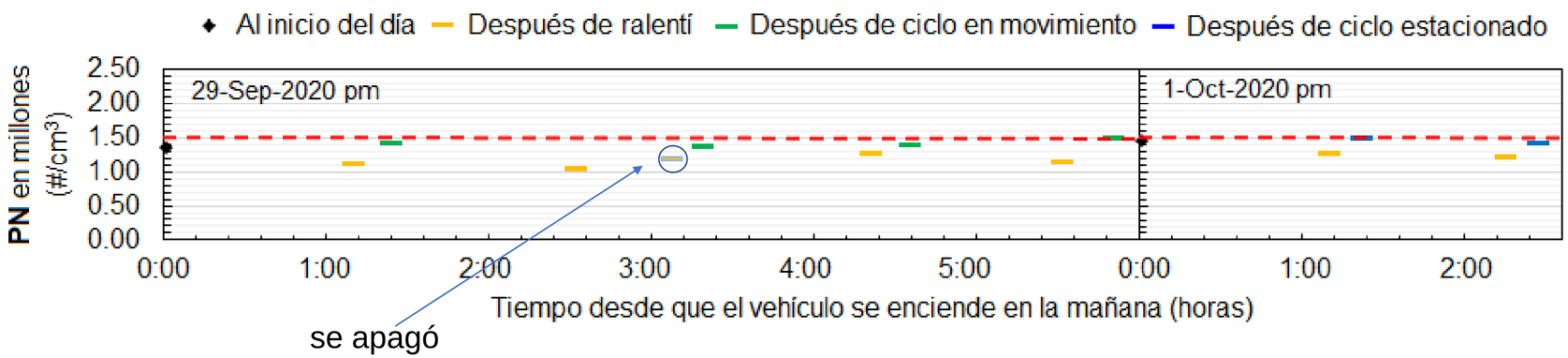



El pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración) después de que el vehículo está apagado es repetible en un rango de **PN** de ± 0.1 millones

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de ralentí

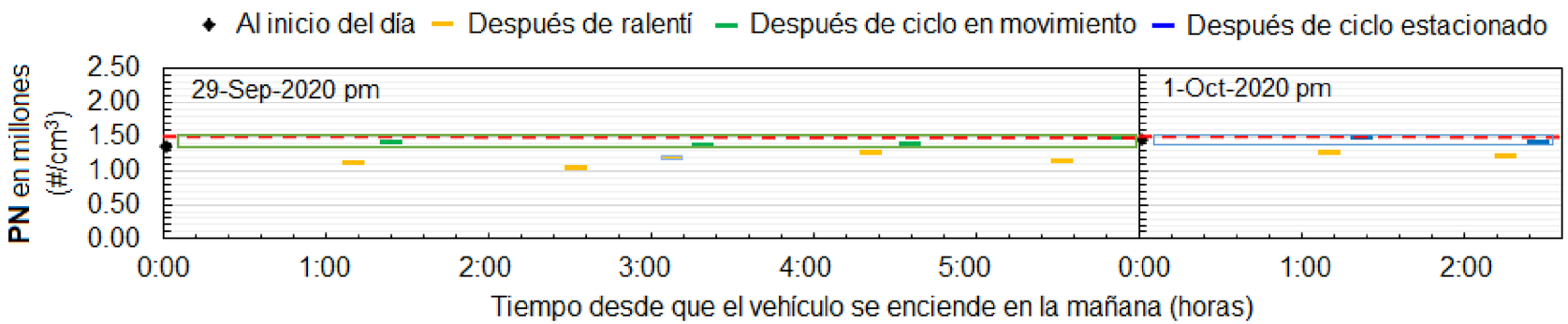
### Vehículo Cummins



# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de ralentí

### Vehículo Cummins



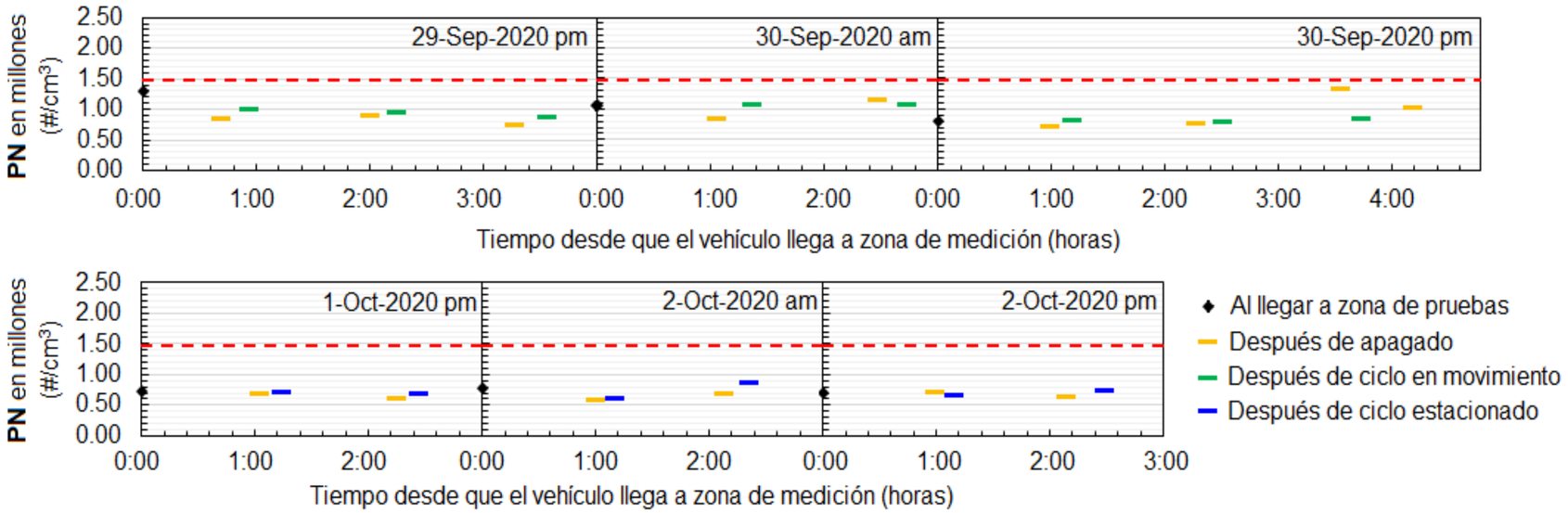

El efecto de los ciclos en movimiento y estacionado es similar

El pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración) después de que el vehículo está en ralentí es repetible en un rango de **PN** de ± 0.1 millones

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de apagar

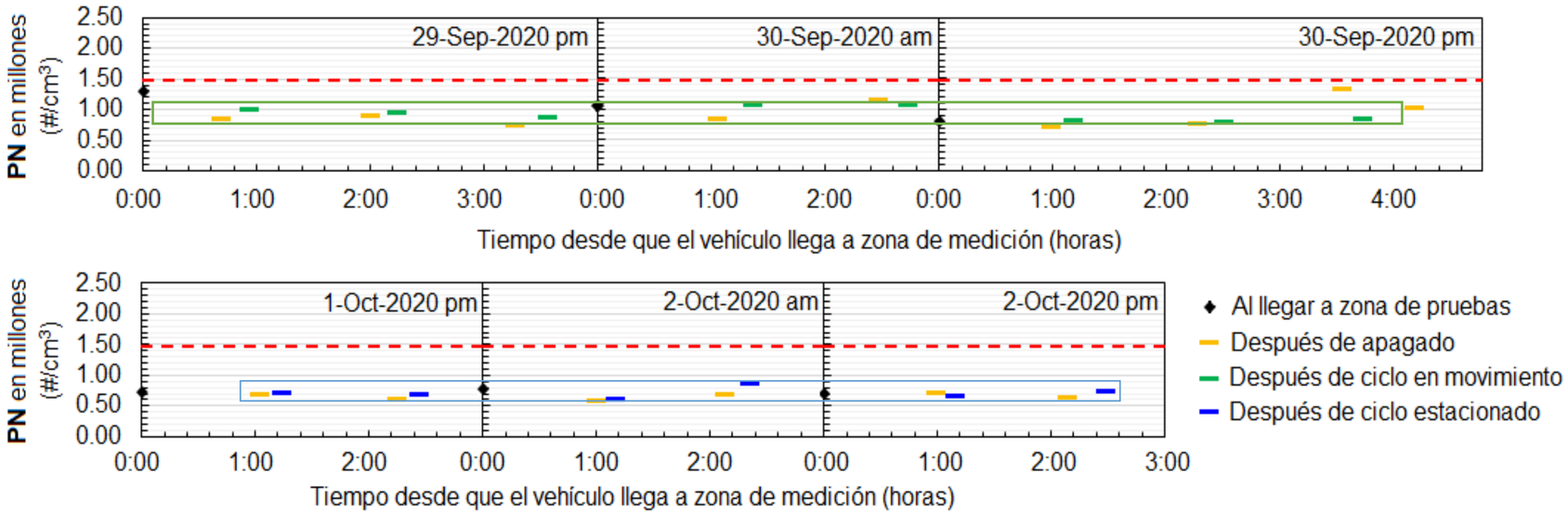
### Vehículo ISUZU (c.c 2999)



# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de apagar

### Vehículo ISUZU (c.c 2999)

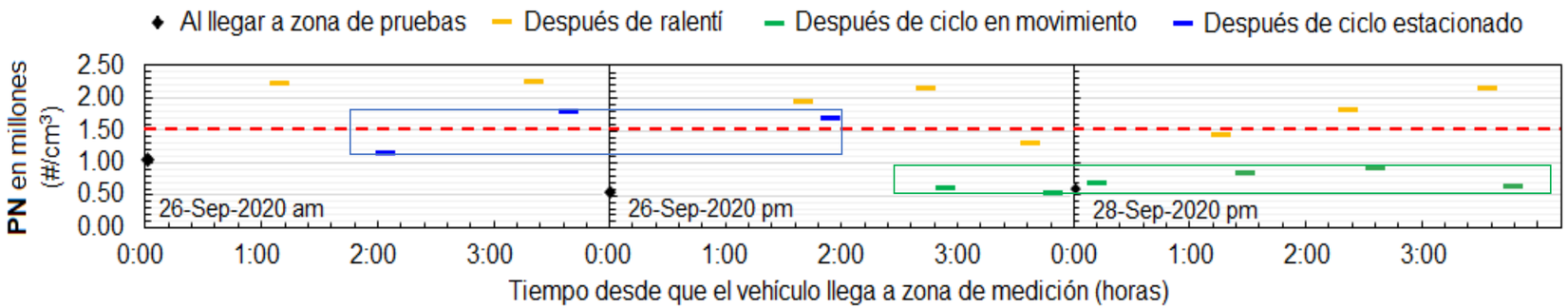



El pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración) después de que el vehículo está apagado es repetible en un rango de **PN** de ± 0.15 millones

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de ralentí

Vehículo ISUZU (c.c 2999)



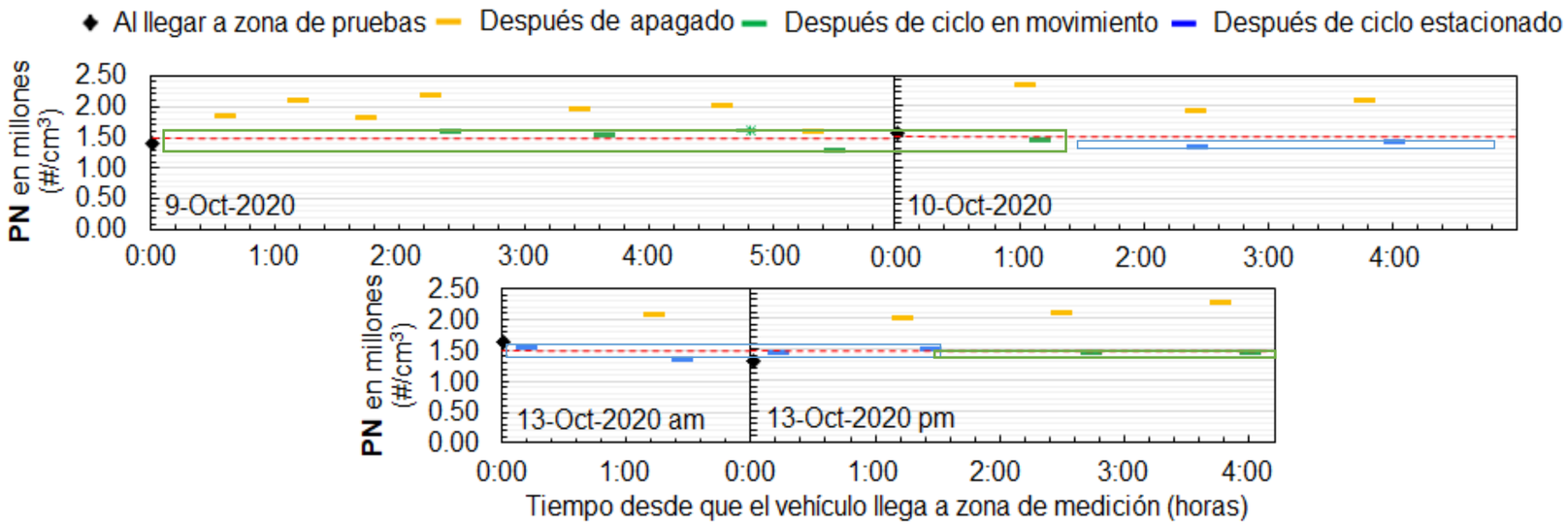

El pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración) después de que el vehículo está en ralentí es repetible en un rango de **PN** de ±0.3 millones

**Ciclo en movimiento:** permite repetibilidad en un rango de **PN** de ±0.2 millones

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de apagar

Vehículo ISUZU (c.c 5193)

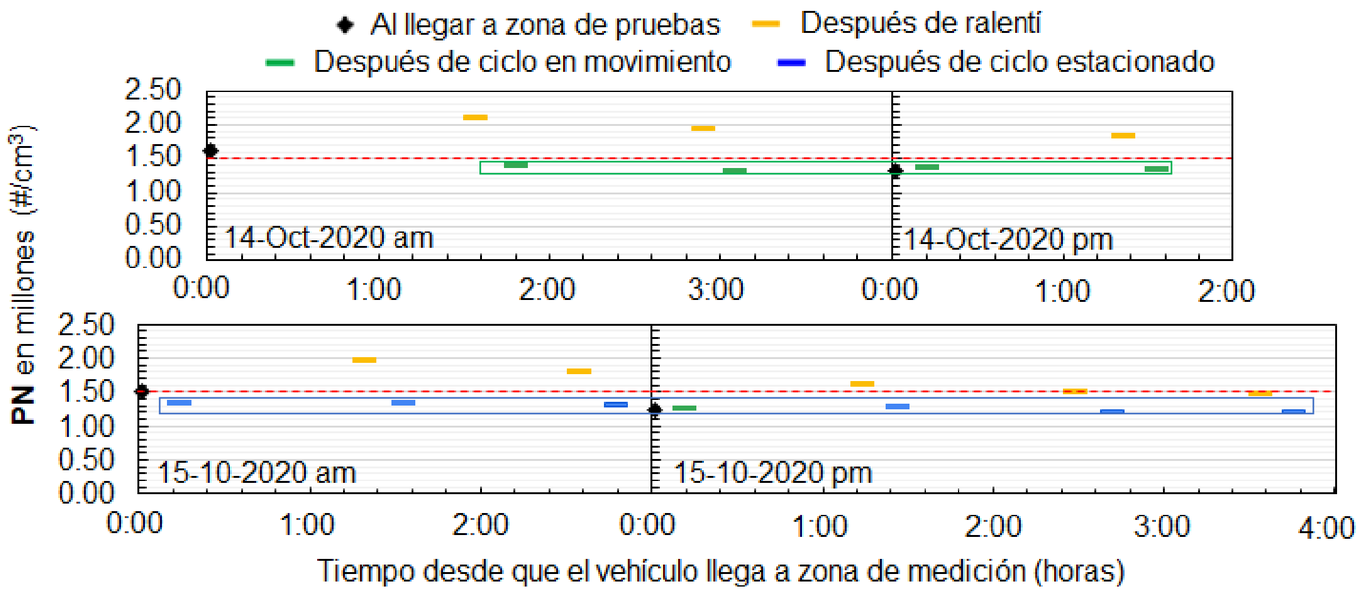



El pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración) después de que el vehículo está en apagado es repetible en un rango de **PN** de ± 0.1 millones

# PRE-ACONDICIONAMIENTO: EFECTO DEL CICLO DE ACELERACIÓN

## Efecto del **ciclo** de aceleración después de ralentí

### Vehículo ISUZU (c.c 5193)




El pre-acondicionamiento (ciclo de aceleración) después de que el vehículo está en ralentí es repetible en un rango de **PN** de ± 0.1 millones

# Conclusiones preliminares de estudios de repetibilidad

- Es MUY importante tener el vehículo caliente para la medición
- Realizar ciclos de aceleración (en movimiento o estacionario) permiten una repetibilidad hasta de **PN** 100.000 #/cm$^3$
- Se requiere investigar una mayor variedad de vehículos para determinar las condiciones bajo las cuales se debe realizar la prueba

# Preguntas

¿Es recomendable la medición de PN para PTI en vehículos sin DPF?

R/ Si → ¿Bajo qué condiciones? Que se puedan implementar en los CDAs

R/ No → Densidad de humo (k)

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

Área Metropolitana Valle de Aburrá 40 años

(57-4) 385 60 00
Carrera 53 N° 40A - 31
Medellín-Antioquia Colombia

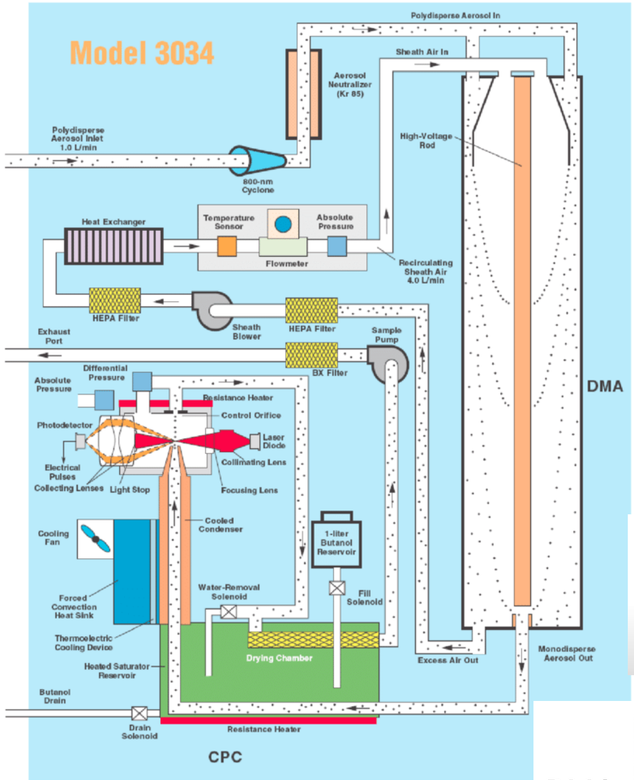
@areametropol | www.metropol.gov.co

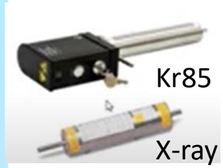
**Maria Luisa Botero, mluisa.botero@udea.edu.co**
**Facultad de Ingeniería**
**Universidad de Antioquia**

GIMEL

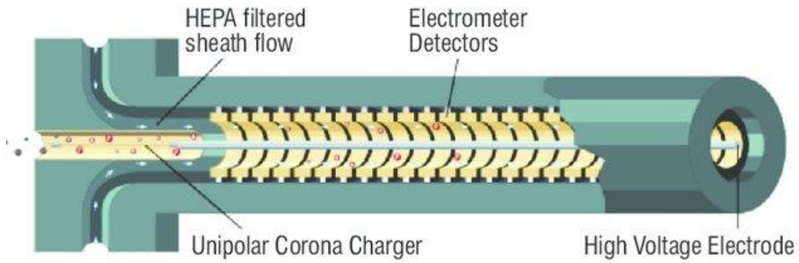
# EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE PSD

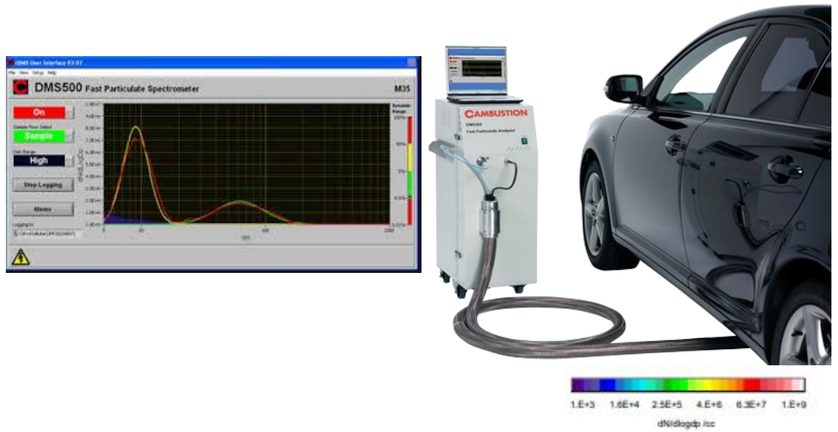
## SMPS

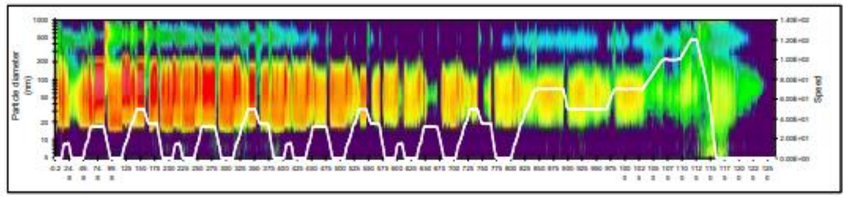


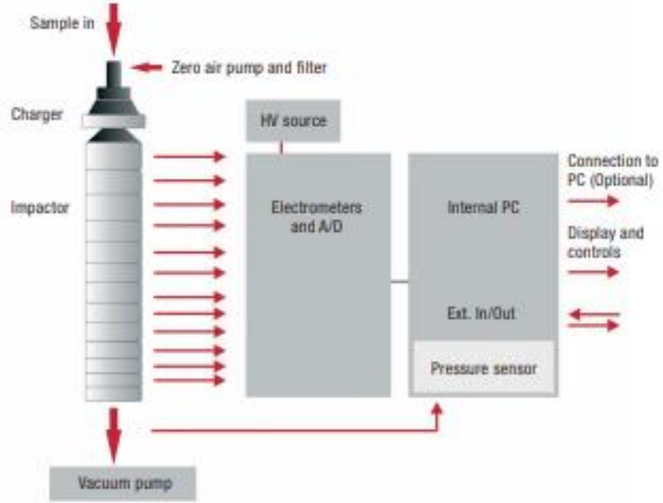
## DMS500

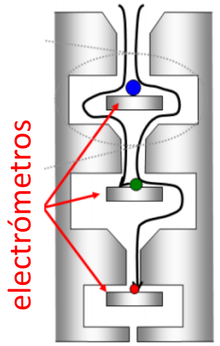


## ELPI



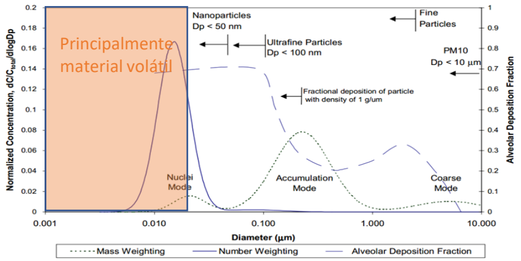



# PTI – INSTRUMENTACIÓN

<u>Sistema de muestreo y acondicionamiento de la muestra:</u>

- Prevenir la formación de nuevas partículas por nucleación (eliminar volátiles)

  Remoción de partículas volátiles: eficiencia >90% para partículas 30nm con concentración <$10^5$ $cm^{-3}$ [Test de tetracontano]




- Garantizar que la concentración que entre al equipo esté en el rango adecuado (sistema de dilución)

<u>Conteo de partículas:</u>

- El conteo debe ser independiente al tamaño de partícula (CPC)
- Eficiencia de conteo

  Tamaño de corte: 23 nm
  Eficiencia en conteo: 50% ± 25% para partículas 23nm
  100% ± 25% para partículas 55nm



*H. Burtscher et al. Emission Control Science and Technology, Vol 5, pp. 279-287(2019)*

# AVANCES EN PRUEBAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS

2009 – Euro 5b livianos
2012 – Euro VI pesados

Se exige conteo de partículas para prueba de homologación

## SUIZA — Swiss Ordinance of Air Pollution Control

2014

SR 941.242
Medición de PN en PTI: maquinaria con DPF
Umbral: 250.000 partículas/cm$^3$

2018

SR 747.201.3
Medición de PN en PTI para control de filtros de partículas en barcos

+ **Certified and used since 2015:** TSI NPET model 3795

## VERT: NPTI INFORMAL GROUP 2016 - 2019

*(Verificación de Tecnologías de Reducción de Emisiones)*

Desarrollo de equipo PTI-PN. Científicos, gobiernos locales, instituto metrológico, fabricantes de Suiza, Alemania, Bélgica, Holanda, EC-JRC

## HOLANDA — Ministerio de Infraestructura

2012 – 2019 TNO innovation for life

- Procedimiento de la prueba
- Definición de umbral
- Especificaciones equipo desarrolladas por Inst. Metrológico Holanda (NMi)

2020 NMi inicia certificación de equipos

2021 Una vez equipos estén en el mercado se implementaría el nuevo test

## Alemania — Ministerio de Tráfico

2017 Anuncio de PTI para Euro 6/VI con DPF
Umbral 250.000 partículas/cm$^3$

2021 Entra a regir PTI-PN

## Bélgica, EU (Geneva)

## Pilotos

2004 – 2009 Chile

Programa de renovación y retrofit de buses con DPF
- Medición de PN en 10

2015 – Chile
5 buses medidos NPET TSI – SR 941.242

Source: TSI

2019 - 2020 Colombia (UdeA-AMVA)

Conteo de partículas (PN)
2019 - 1er Piloto : 1547 vehículos medidos
2020 - 2do Piloto : 2809 vehículos medidos (nov 23)

2020 CALAC
Programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina

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

Versión 2020-10-28

# AVANCES EN PRUEBAS DE CONTEO DE PARTÍCULAS

2009 – Euro 5 livianos
2012 – Euro VI pesados

Se exige conteo de partículas para prueba de homologación

## SUIZA — Swiss Ordinance of Air Pollution Control

2014

SR 941.242
Medición de PN en PTI: maquinaria con DPF

2018

+ Certified and used sin

La prueba PN-PTI se concibe como chequeo de la presencia y desempeño de DPF

## VERT: NPTI INFORMAL GROUP 2016 - 2019

*(Verificación de Tecnologías de Reducción de Emisiones)*

Desarrollo de equipo PTI-PN. Científicos, gobiernos locales, instituto metrológico, fabricantes de Suiza, Alemania, Bélgica, Holanda, EC-JRC

## HOLANDA — Ministerio de Infraestructura

2012 – 2019 TNO innovation for life

prueba

po desarrolladas por
anda (NMi)
n de equipos
n en el mercado se
vo test

## Alemania — Ministerio de Tráfico

2017 Anuncio de PTI para Euro 6/VI con DPF
Umbral 250.000 partículas/cm$^3$

2021 Entra a regir PTI-PN

## Bélgica, EU (Geneva)

## Pilotos

2004 – 2009 Chile

Programa de renovación y retrofit de buses con DPF
- Medición de PN en 10

2015 – Chile
5 buses medidos NPET TSI – SR 941.242

Source: TSI

2019 - 2020 Colombia (UdeA-AMVA)

Conteo de partículas (PN)
2019 - 1er Piloto : 1547 vehículos medidos
2020 - 2do Piloto : 2809 vehículos medidos (nov 23)

2020 CALAC
Programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina

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

Versión 2020-10-28