



“Medición de número de partículas en unidades de transporte livianas y medianas que cuentan con filtro de partículas diésel (DPF) en Plantas de Revisión Técnica (PRT)”



“Medición de número de partículas en unidades de transporte livianas y medianas que cuentan con filtro de partículas diésel (DPF) en Plantas de Revisión Técnica (PRT)”

Documento 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.

El presente documento es de carácter informativo y no necesariamente refleja los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes.

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

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

Elaborado por:

Purexhaust S.A.

Nicolás Fraser - Project Manager

Revisado por:

Adrián Montalvo - Director Programa CALAC+

Freddy Koch – Coordinador Componente 1 Programa CALAC+

Carol Arenas – Coordinadora en Chile Programa CALAC+

Edición: Agosto 2021

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

Índice

Glosario de abreviaciones.....	4
1. Antecedentes.....	5
2. Introducción.....	6
3. Objetivos.....	7
4. Tecnologías utilizadas en el estudio	7
A) Conteo de Partículas por Condensación (CPC)	7
B) Conteo por Carga Difusiva (DC)	9
C) Resumen de Instrumentos.....	10
5. Experiencia con los Instrumentos	10
A) APET de TSI.....	11
Fuga de alcohol (14 de mayo).....	11
Falla de Firmware (25 de mayo)	11
Valores ambientales bajos con APET A (28 de junio-29 de junio)	11
Valores ambientales bajos con APET A y B (2 de julio).....	12
Tiempo para calentar instrumento	13
B) AEM de TEN	13
Valores elevados (1 de Julio).....	14
Valores nulos.....	14
6. Planta de Revisión Técnica	15
7. Resultados	15
8. Simulaciones de Aprobación	24
9. Comentarios Guías CALAC+	28
A) Análisis de 3 pruebas	28
B) Guía Técnica para contador de partículas, Parte 1- Instrumento	29
C) Guía Técnica para contador de partículas Parte 2 – V1 Metrología.....	30
D) Guía técnica Para la Inspección Técnica Periódica.....	30
E) Adicional.....	30
10. Evaluación de los Instrumentos.....	31
11. Conclusiones	35

12.	Recomendaciones para Estudios Posteriores.....	36
13.	Bibliografía	37

Glosario de abreviaciones

AEM	Instrumento de medición de nanopartículas de TEN
ANAC	Asociación Nacional Automotriz de Chile
APET	Automotive Particle Emission Tester
CALAC+	Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina, Fase 1
CPC	Conteo de partículas por condensación
CTA	Comité técnico asesor
DC	Carga por difusión
DPF	Filtro de partículas diésel
EGR	Válvula de recirculación de gases del motor
GOCA	Grupo de Centros de Inspección de Vehículos Autorizados de Bélgica.
LPM	Litros por minuto
METAS	Instituto Federal de Metrología de Suiza
MMA	Ministerio de Medio Ambiente de Chile
MTT	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile
NMI	Instituto Neerlandés de Metrología
OBD	Diagnóstico a bordo
PPDA RM	Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana
PRT	Planta de revisión técnica
PTI	Inspección técnica periódica
RDW	Autoridad vehicular de los Países Bajos
TEN	Test Equipment Nederland
TSI	Nombre de empresa que manufactura el instrumento APET

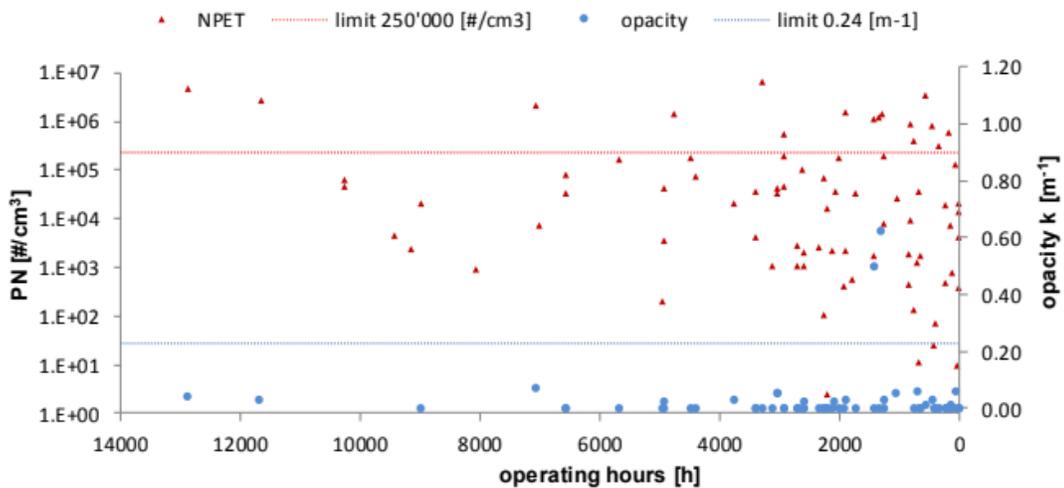
1. Antecedentes

Los filtros de partículas para motores diésel (DPF) han mostrado ser altamente eficientes para la remoción de partículas finas y ultrafinas de los gases de escape. Los niveles de eficiencia alcanzados hacen que las pruebas de opacidad estén muy distantes del rango mínimo de medición, por lo que se requiere de nuevos métodos para evaluar la eficiencia de estos. Las investigaciones realizadas sobre las nuevas técnicas de evaluación proponen ir de la medición de masa a la medición de número de partículas, debido principalmente al bajo peso de estas, pero con alta capacidad de generar problemas a la salud de la población. Por estas razones, los gobiernos necesitan instrumentos de medición adecuados para las inspecciones técnicas periódicas (PTI) a fin de comprobar la presencia y el rendimiento de la filtración de los DPF.

Desde el año 2012, se está trabajando en Europa en el desarrollo de un instrumento económico para medir las concentraciones del número de partículas en los gases de escape de los vehículos diésel y posteriormente de gasolina. Esta tecnología ha demostrado ser significativamente superior a los métodos convencionales, como la opacidad y para determinar si un DPF está deteriorado, dañado o eliminado.

Una prueba de opacidad no es una prueba apta para la medición de emisiones en vehículos con un DPF, ya que podría reportar un valor bajo en un vehículo sin DPF o con un filtro dañado.

En Suiza se realizó el siguiente estudio donde se correlaciona el número de partículas v/s opacidad:



J.Czerwinski
AFHB 2016

Comparison NPET@high idle

Opacity@free acceleration

Figura 1: Datos de opacidad v/s número de partículas, estudio de PTI del número de partículas (Fuente: VERT, S. Krähenbühl, FOEN)

Como podemos observar en el gráfico anterior, a pesar de que aproximadamente un 90% de los vehículos testeados se ubican bajo el límite de opacidad (valor $K = 0,24\text{m}^{-1}$, puntos azules), gran parte de estos mismos vehículos testeados superan con creces el límite máximo de números de partículas (250.000 partículas/ cm^3 , puntos rojos) por lo que podremos concluir que la opacidad, debido a las tecnologías actuales, ya no es un parámetro válido para el control de la polución y sobre todo, para el control de las nanopartículas en el ambiente que perjudican la salud de la población, ya que la opacidad no está relacionada directamente con la cantidad de partículas emitidas.

Suiza fue la primera en publicar una norma en 2012 para la maquinaria fuera de ruta¹. Desde el año 2016 al año 2019 se desarrolló la especificación de un instrumento de prueba PTI NP en el grupo suizo VERT NPTI y se publicó en el año 2020 [1]. En el año 2019, el protocolo de pruebas PTI NP neerlandés y los valores límite fueron publicados por NMI, BSK-2019/202498 [2]. Actualmente, existe una norma de PTI en Alemania, Suiza, Bélgica y los Países Bajos y se está desarrollando una norma europea.

Asimismo, en América Latina, se ha llevado a cabo un trabajo similar que ahora coordina el Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina, CALAC+ y que incluye a Chile. Esto ha llevado al desarrollo de una propuesta de protocolo latinoamericano para medir el número de partículas.

2. Introducción

En el marco del programa CALAC+, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) de Chile han solicitado asistencia técnica para completar los antecedentes e insumos técnicos para generar una norma de medición de números de partículas y procedimientos para su control, con el fin de cumplir el artículo N°15 del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA RM), en el cual se indica que se evaluará la implementación de métodos para el control de emisiones de número de partículas en la vía pública de vehículos diésel, con el objetivo de establecer un control eficaz en detectar vehículos cuyo motor o sistema de control de emisiones se encuentran deteriorados o sin mantenimiento.

En el desarrollo de este estudio se decidió trabajar con dos tecnologías para comparar sus funcionamientos y resultados. El propósito fue el de calcular las tasas de rechazo con una flota de vehículos Euro 5 y Euro 6 equipados con filtros DPF.

Adicionalmente, se acordó analizar si hay degradaciones en emisiones según kilómetros o años, y realizar una comparación de números de partículas versus opacidad.

¹ Ordenanza de la FDJP sobre analizadores de gases de escape; Enmienda 22. agosto 2012, Berna; SR 941.210

Se utiliza como referencia la “Guía técnica para la Inspección Técnica Periódica (ITP) de vehículos provistos con filtros de partículas diésel basado en el conteo de partículas” [3], facilitada por el programa CALAC+ y, cuando aplique, se usa la normativa neerlandesa [2].

3. Objetivos

- Realizar mediciones de número de partículas en Plantas de Revisión Técnica (PRT) a vehículos livianos y medianos de transporte urbano que cuenten con filtros de partículas diésel (DPF) para completar las medidas realizadas a buses urbanos en el marco normativo correspondiente al control de emisiones.
- Modelar tasas de rechazo utilizando diferentes límites de número de partículas/cm³.
- Comparar las tecnologías DC y CPC utilizando dos instrumentos disponibles en el mercado.

4. Tecnologías utilizadas en el estudio

Los instrumentos seleccionados para este estudio son la tecnología DC producida por Test Equipment Nederland BV (TEN) de Utrecht de Países Bajos y un instrumento CPC (APET) fabricado por TSI en Minnesota, Estados Unidos.



Figura 2: Personal de Purexhaust realizando medición en PRT de La Reina con instrumento AEM de TEN.

El instrumento AEM de TEN está certificado en los Países Bajos, mientras que la certificación del instrumento TSI está pendiente. Una versión más antigua, NPET, está certificada en Suiza y se ha utilizado en dos proyectos anteriores en Chile [3][4].

A) Conteo de Partículas por Condensación (CPC)

Según la literatura, la tecnología Conteo de Partículas por Condensación (CPC), provee un método de conteo de partículas emitidas en el cual se cuenta cada partícula que ha sido previamente desvolatilizada y saturada en un fluido de trabajo, normalmente alcohol isopropílico, cuya función es incrementar el tamaño de la partícula condensada. Debido a que resultan gotas después del

proceso de condensación, el conteo no es sensible al tamaño de partícula. La concentración del número de partículas se calcula simplemente a partir del número de impulsos contados y del flujo de la muestra. La tecnología de contadores de partículas de condensación (CPC) se ha utilizado durante más de cuatro décadas.

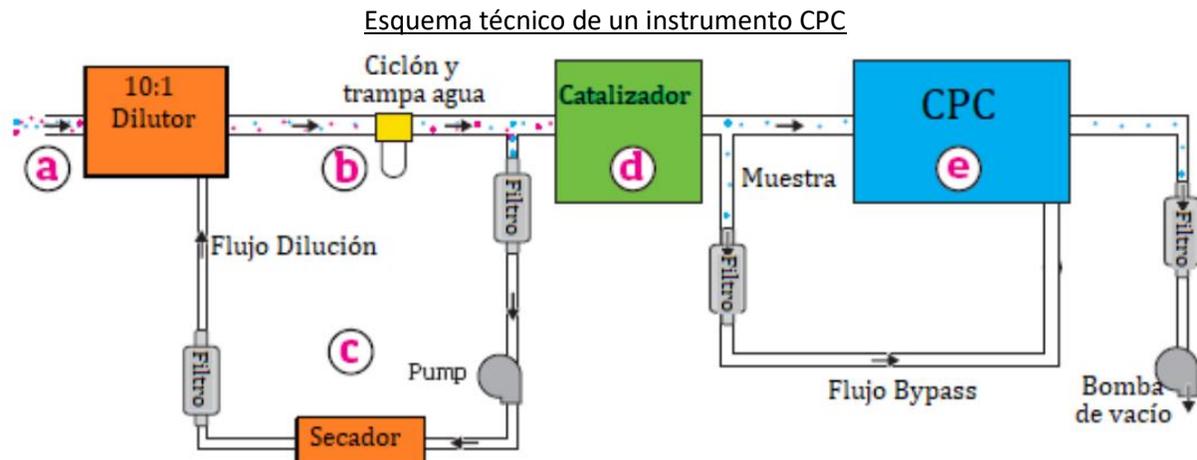


Figura 3: Esquema del manual de TSI que presenta el funcionamiento técnico de un instrumento CPC (Fuente: Manual Instrucciones TSI 3795-HC)

La tecnología CPC está dentro de los dos mejores sistemas evaluados a nivel mundial y se ha utilizado para la creación de distintas normativas y leyes. En Europa se ha utilizado en países como Bélgica, Países Bajos, Alemania y Suiza. Además, estos instrumentos se utilizaron para distintos estudios de mediciones de emisiones. Un instrumento CPC de TSI (NPET 3795) es la única que cuenta con certificación por parte de METAS de Suiza.

Esta tecnología fue utilizada en Chile el año 2015 por el MMA y la COSUDE para un estudio de emisiones de buses, y a principios del año 2020, para otra campaña de mediciones en flotas de buses en la RM, por Purexhaust para el MTT y MMA.

Un beneficio del instrumento APET de TSI es que puede ser utilizado de forma portátil, ya que cuenta con una batería.



Figura 4: Instrumento de medición de nanopartículas APET de TSI

B) Conteo por Carga Difusiva (DC)

El principio de carga difusiva (DC) es una cámara de medición según el principio de ionización. A continuación, se muestra la vista esquemática de la cámara del instrumento AEM tipo DC, marca TEN de los Países Bajos.

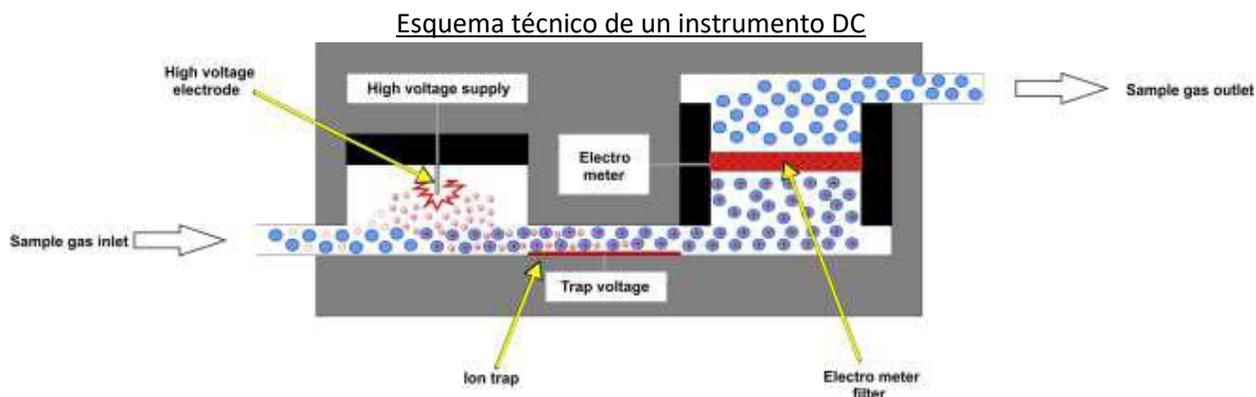


Figura 5: Esquema del manual de TEN que presenta el funcionamiento técnico de un instrumento DC (Fuente: TEN AEM Ionisation particle number counter, p.6)

La muestra proveniente de la corriente de gases de escape es forzada para que pase a través del espacio confinado, con un flujo de aproximadamente 1,5 LPM.

- I. La primera etapa de la cámara es la etapa de ionización. La descarga de efecto corona se realiza mediante un electrodo de tungsteno y una alta tensión continua de 3 a 6 kV. El voltaje real es controlado por el microcontrolador. Alrededor del electrodo, las moléculas de aire se ionizan debido al efecto corona. Si la corriente de ionización es lo suficientemente fuerte, se producen millones de iones. Las partículas de emisión de diésel que pasan por esta etapa son cargadas por los iones positivos del aire. Cuanto mayor sea el tamaño de las partículas, más carga podrán contener. La corriente medida en el electrómetro es proporcional al diámetro

de movilidad de la partícula elevada a un exponente que suele variar entre 1.1 y 1.4. Estos equipos requieren conocer el diámetro medio de partículas, para convertir la corriente medida a la concentración del número de partículas.

- II. La segunda etapa es la trampa de ionización. Los iones positivos del aire producidos en exceso serán capturados por un débil campo eléctrico de la trampa de iones. El voltaje real es controlado por el microcontrolador.
- III. La tercera etapa es la etapa de filtrado. Un filtro electrométrico totalmente aislado captura las partículas de carga positiva y las neutraliza con electrones. Esta corriente de electrones de femto amperios es medida por el electrómetro y es una medida para la concentración actual de partículas. A la salida de la cámara, el flujo de gas saldrá de la misma.

Los dispositivos de carga difusiva (DC) se han utilizado predominantemente en instrumentos portátiles desde principios de la década de 2000. Estos dispositivos no cuentan en realidad las partículas, sino que se basan en una métrica que está entre la longitud y la superficie de las partículas, que luego se convierte en un valor PN utilizando algunas suposiciones sobre la distribución del tamaño de las partículas.



Figura 6: Instrumento de medición de nanopartículas AEM de TEN.

C) Resumen de Instrumentos

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los instrumentos a utilizar en el estudio:

Tabla 1: Resumen de los instrumentos.

Modelo	Fabricante	Tecnología	Cantidad
AEM	TEN	DC	1
APET	TSI	CPC	3 (A, B y C)

5. Experiencia con los Instrumentos

A lo largo del proyecto se presentaron dificultades e irregularidades que debieron ser corregidas. Algunas fueron resueltas y otras tendrán que ser investigadas cuando lleguen los instrumentos a sus fábricas.

A) APET de TSI

Fuga de alcohol (14 de mayo)

Al recibir el instrumento APET A, se realizaron varias pruebas en la planta de Purexhaust para verificar que estaba funcionando correctamente. En todas las pruebas funcionó bien y no se notó ninguna anomalía.

Durante el primer día de funcionamiento en la PRT, se notó una fuga en la bolsa con alcohol isopropílico. Esto se pudo reparar recortando la parte con el agujero y aplicando calor para sellar nuevamente la bolsa.

Falla de Firmware² (25 de mayo)

El instrumento había presentado errores de “Wick Liquid Error” que se asocia a problemas del fluido a la mecha y “Pulse Height Error”, que indica que se ha agotado el vapor de alcohol o la presencia de una alta concentración de partículas de un tamaño cercano al límite de detección del dispositivo.

Para asegurarse que no hayan sido problemas del Firmware, TSI recomendó actualizarlo y descartar posibles causas. Sin embargo, al realizar este proceso, la pantalla dejó de presentar imagen.

Se intentó arreglar con el personal de TSI de manera remota, pero esto no fue posible por lo que decidieron enviar un instrumento de reemplazo (APET B). Este instrumento llegó el día 16 de junio.

El día 10 de junio, TSI tuvo un problema similar con otro instrumento e informó que se podía arreglar el dispositivo utilizando un debugger³ (J-Link Mini Segger). El día 18 de junio, llegó el debugger a Chile y se pudo reparar el instrumento APET de TSI instalando el hardware nuevamente con el debugger. Adicionalmente, se verificaron los parámetros del instrumento para corroborar que el instrumento aún estaba calibrado.

Valores ambientales bajos con APET A (28 de junio-29 de junio)

Todos los días se realiza una medición del aire ambiental para validar el funcionamiento del instrumento. Este valor generalmente es superior a 10.000 partículas/cm³ en la PRT. El día 28 de junio, el instrumento midió valores menores a 400 partículas/cm³, por lo que se detuvo la medición y se consultó a TSI. En base a sus recomendaciones, se dejó funcionando la bomba de vacío durante 12 horas para limpiar el sistema. Sin embargo, esto no resolvió el problema. Posteriormente, se removió el secador y tampoco se solucionó el problema. Finalmente, se abrió el instrumento y se cambió un filtro posterior al CPC y anterior a la bomba ubicada antes del escape y el instrumento entregó resultados ambientales esperables (superior a 10.000

² Firmware es una clase específica de software informático que proporciona el control de bajo nivel para el hardware específico de un dispositivo.

³ Un debugger es una herramienta utilizada para probar y depurar otros programas.

partículas/cm³). TSI sospecha que existía humedad en el filtro HEPA⁴ . El filtro se selló y será enviado al laboratorio de TSI para inspección.

Valores ambientales bajos con APET A y B (2 de julio)

El día 2 de julio, ambos instrumentos (APET A y B) entregaron valores ambientales entre 200 y 250 partículas/cm³ por lo que ambos instrumentos se llevaron para revisión.

Para el instrumento APET A, se cambió el filtro frontal que estaba sucio (Figura 7), pero esto no cambió el resultado. Luego, se cambió el filtro que se había cambiado el día 29 de Julio (posterior al CPC y anterior a la bomba ubicada antes del escape) y el valor ambiente se mantuvo constante (193 partículas/cm³). Finalmente, se cambió el filtro anterior al escape y el instrumento entregó valores entre 7.000 y 8.000 partículas/cm³, lo que se considera normal para el interior de un edificio.



Figura 7: Filtro limpio (izquierda) y filtro sucio (derecha)

Se volvió a utilizar el instrumento en la PRT, pero el día 9 de Julio, el valor ambiental descendió nuevamente a menos de 250 partículas/cm³ y, en base a esto, se retiró el instrumento.

Por otra parte, el instrumento APET B, entregó valores ambientales cercanos a 200 partículas/cm³. Debido a esto, fue necesario remover el instrumento para inspección. Cuando se intentó verificar nuevamente, entregó un valor ambiental de 5.100 partículas/cm³. No se puede determinar con exactitud por qué sucedió lo anterior. TSI señala que es muy probable que esto sea debido a humedad en el sistema. Se incorporó el instrumento a la planta técnica y funcionó correctamente hasta el día 9 de Julio, en esta fecha entregó valores bajos nuevamente.

Debido a la sospecha de humedad en el sistema, se removió la mecha de ambos instrumentos y se dejó secar durante 15 horas. Esto es debido a que, si la mecha está húmeda, no puede llegar el alcohol isopropílico al CPC, causando que no se puedan super-condensar las partículas y no se puedan contar. Esto temporalmente resolvió el problema para el instrumento APET A, pero no el instrumento APET B. El instrumento APET A fue incorporado durante medio día, pero luego entregó resultados ambientales bajos (<250 partículas/cm³) y se retiró nuevamente.

⁴ Es un filtro de alta eficiencia. Su nombre viene del inglés (High Efficiency Particulate Arresting).

El día 20 de Julio llegó un medidor de flujo de TSI para verificar si el flujo está al nivel programado y si corresponde el nivel de dilución (1:10). Se realizó la medición en la entrada de la sonda y en la salida del escape, midiendo 0.505 LPM. El instrumento está programado para tener un flujo de 0.5 LPM, por lo que se considera que el flujo de gases del instrumento está funcionando correctamente. Además, se midió en el dilutor y se midió 4.8 LPM. Si se divide el flujo de entrada por el flujo del dilutor, da aproximadamente 1:10, por lo que la proporción de dilución se considera correcta. Posteriormente, se conectó un computador al instrumento y se verificó con el software que los sensores del instrumento estaban midiendo el flujo correctamente. Dado que el instrumento no entrega valores esperables, será enviado para inspección al laboratorio de TSI.



Figura 8: Medición de Flujo en APET de TSI

Tiempo para calentar instrumento

Por lo general, el tiempo para encender el instrumento fue menor a 10 minutos. Sin embargo, durante tres días, en julio, en que la temperatura ambiente fluctuó entre -1°C y 4°C , los instrumentos APET de TSI entregaron errores de “Temperatura del CPC” y “Sensor Óptico”, que se prolongaron hasta dos horas y no se pudo realizar pruebas durante este tiempo. TSI ha indicado que ha logrado encender el instrumento a una temperatura de -20°C , pero esto va a depender de la humedad. Actualmente, está programado de esta manera para ahorrar batería. TSI señaló que se puede reprogramar para calentar el instrumento más rápido para resolver este problema.

B) AEM de TEN

Límite máximo debajo de 2.500.000 partículas/cm³

El instrumento AEM de TEN tiene un rango de medición hasta 5.000.000 de partículas/cm³, pero venía programado hasta 2.500.000 partículas/cm³ para proteger el instrumento de niveles elevados de material particulado. No fue necesario medir valores mayores de 2.500.000

partículas/cm³ en las PRTs. TEN creó una actualización para aplicarlo en el estudio, pero tras discutirlo con los mandantes de este estudio, se acordó no instalarlo para prevenir posibles fallas.

Valores elevados (1 de Julio)

Todos los días se realiza una medición del aire como línea de base para verificar que el instrumento esté entregando valores esperables. Con el instrumento AEM de TEN, los valores en la PRT se encontraban en el rango de 25.000 - 35.000 partículas/cm³.

El día 1 de Julio, el instrumento entregó un valor ambiental de 90.000 partículas/cm³⁵. Se consultó con el fabricante y recomendaron hacer funcionar el instrumento en modo continuo por una noche para limpiar el sistema con la bomba. El valor ambiente disminuyó aproximadamente 30.000 partículas/cm³, pero este valor aún era alto.

Posteriormente, bajo las instrucciones de TEN, se abrió el instrumento para realizar una inspección más detallada. Se instaló un filtro HEPA en distintas ubicaciones de la línea principal del dispositivo (Ver figura 9) hasta registrar un valor nulo.



Figura 9: Filtro HEPA instalado en la línea principal del AEM de TEN.

En base a esto, el fabricante concluyó que la parte electrónica del instrumento estaba funcionando correctamente, pero existía contaminación anterior a este punto. Por lo que, se limpiaron todos los componentes anteriores en la línea con aire a presión, agua caliente y jabón. Después de secar estos componentes, el instrumento entregó valores ambientales entre 25.000 y 30.000 partículas/cm³. Finalmente, se verificó el funcionamiento correcto instalando un filtro HEPA en la entrada de la sonda y midiendo 0.0 partículas/cm³.

Valores nulos

Se observó que 13% de valores entregados por el instrumento AEM de TEN eran de 0.0 partículas/cm³. Físicamente, es imposible que el número de partículas/cm³ sea cero debido a ciertas porosidades del cerámico del filtro, pero es posible que los valores sean muy bajos (menores a 1.000 partículas/cm³). Comprobando este fenómeno con el fabricante, se concluye que las mediciones muy bajas están sujetas a ruido electrónico y se encuentran dentro del error permitido por la regulación. Dado que están debajo de 1.000 partículas/cm³, esto solo representa

⁵ A modo de referencia, ese día el instrumento APET A de TSI entregó un valor de aire ambiental de 13.320 partículas/cm³

0.02% de la escala completa (5.000.000 partículas/cm³), 0.4% de un límite de 250.000 partículas/cm³ y 0.1% de un límite de 1.000.000 partículas/cm³, lo que no es estadísticamente significativo y no sería un factor relevante para determinar si un filtro de partículas está funcionando correctamente⁶.

6. Planta de Revisión Técnica

Se facilitó el acceso a dos PRTs:

- 1) Nombre: PRT La Reina
Dirección: Av. Alcalde Fernando Castillo Velasco 8712, La Reina, Región Metropolitana

- 2) Nombre: PRT La Florida
Dirección: La Florida 11573, Santiago, La Florida, Región Metropolitana

- El personal del proyecto fue bien recibido por la dirección y el personal en las PRTs.
- Purexhaust hizo una presentación del proyecto y de las tecnologías.
- No se produjo ningún problema relacionado a la presencia del personal en las PRTs.
- La dirección de las PRTs expresó la importancia del cumplimiento de sus protocolos que son controlados por Fiscalización del MTT. Esta última también mostró interés por la actividad y solicitó más información sobre el programa.
- No hubo inconvenientes en la instalación de los dispositivos.
- Para el proceso de medición, una dificultad fue que, al momento de llegar, el personal de la PRT no podía diferenciar las normas Euro de los vehículos (pre-Euro 5, con Euro 5 y 6) al momento de medir, por lo que el operador de Purexhaust debió identificarlos. Ante la duda, se realizaron mediciones de todas formas.
- Toda la información de los vehículos está disponible, pero la planta la entregó posteriormente para corroborar que no existan vehículos que no correspondan al grupo objetivo de estudio.

3) Resultados

Al realizar las mediciones, se registraron:

⁶ En todos estos casos, el instrumento APET de TSI entregó valores menores a 15.000 partículas/cm³. Por lo que no existió un conflicto para el propósito de identificar a los vehículos con un filtro defectuoso.

- Patente
- Primera Medición con APET de TSI
- Promedio (3 Mediciones) con APET de TSI
- Medición con AEM de TEN
- Tres mediciones con instrumento TEN (101 vehículos)

Posteriormente, se le solicitó a la PRT los siguientes datos:

- Kilometraje
- Año del vehículo
- Marca y Modelo del Vehículo
- Patente
- VIN Chasis⁷
- Categoría del vehículo
- Euro 5 o 6
- Opacidad

En el anexo de este informe se encuentra un archivo Excel con todas las mediciones, las cuales se resumen de la siguiente manera:



Figura 10: Resumen de las mediciones realizadas.

El siguiente gráfico presenta las mediciones diarias realizadas. El promedio de mediciones diarias fue de 19 vehículos, de los cuales, 2.1% de los vehículos eran Euro 6.

⁷ Esta información fue entregada al Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones para verificar que los vehículos efectivamente están homologados con un filtro de partículas diésel.

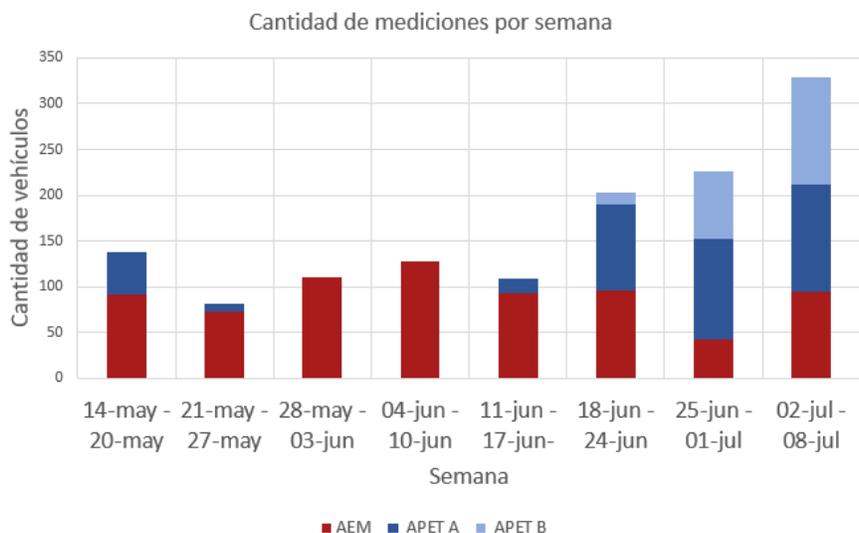


Figura 11: Mediciones diarias por instrumento

Debido a una percepción de posibles deterioraciones de los instrumentos, después del primer informe, se decidió considerar ciertos aspectos en dos fases. La fase 1 consiste en las mediciones hasta el día 12 de junio y la fase 2, las mediciones posteriores. Después de la fase 1, se recibió un segundo instrumento APET B de TSI y, posteriormente, llegó un tercero, APET C.

En la primera fase se observaron mediciones que tenían una diferencia entre instrumentos con el mismo vehículo mayor a 100.000 partículas/cm³. En la segunda fase, se esperaba comparar los resultados con un segundo instrumento APET B de TSI como referencia. Ese instrumento también mostraba diferencias de lectura.

En la figura 11 se puede observar el porcentaje de distribución de número de mediciones por instrumento. Como era de esperarse, la curva de distribución de las mediciones es similar entre los tres instrumentos, tal como se dio en la fase 1. Sin embargo, como se explica en el capítulo 5 de *experiencia con los instrumentos*, los análisis posteriores mostraron una degradación gradual de los resultados de ambos instrumentos APET, por lo que se decidió descartar la validez de estos datos. No obstante, esta figura demuestra que hay un claro punto de inflexión sobre 1 millón de partículas/cm³ para cada instrumento.

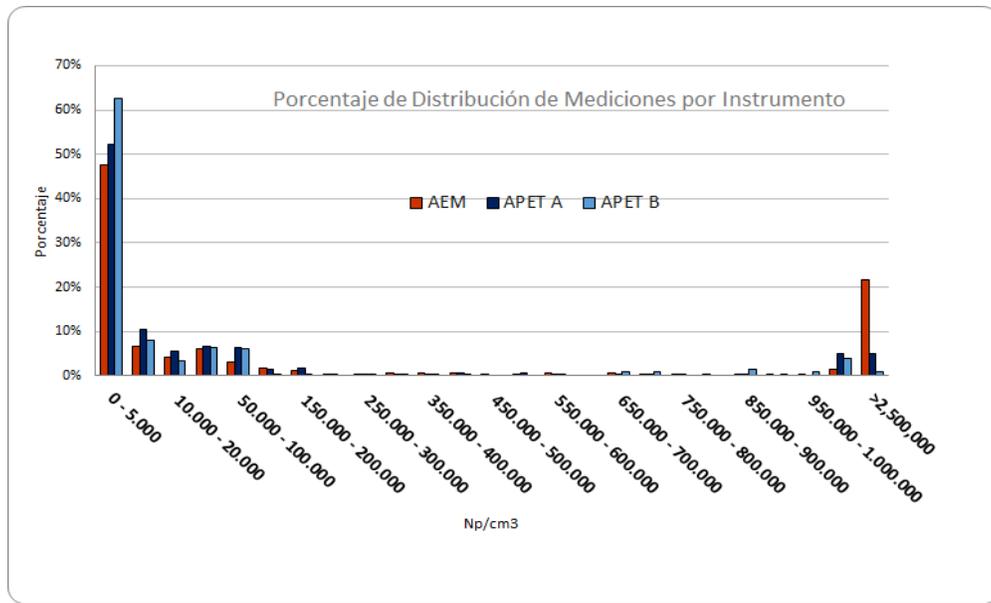


Figura 12: Curva de distribución de las mediciones para AEM de TEN y, APET A y B de TSI.

La figura 13 muestra la falta de correlación con las mediciones de opacidad: resultado similar a los datos producidos por otros proyectos de investigación. El eje x presenta el valor de la opacidad y el eje y presenta los números de partículas/cm³. La línea roja horizontal representa el límite de 250.000 partículas/cm³ y la línea roja vertical representa el límite de $k = 0.7 \text{ m}^{-1}$. Todos los valores en el cuadro rojo debieran ser rechazados, sin embargo, habrían aprobado la prueba de opacidad. Esto demuestra la importancia de medir número de partículas en vehículos con DPF.

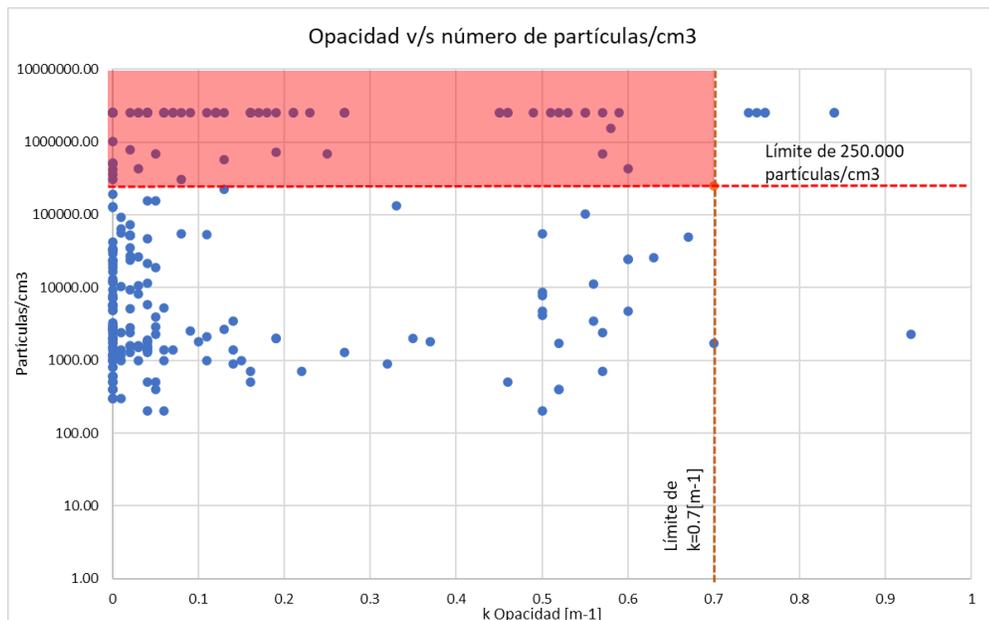


Figura 13: Número de partículas versus opacidad.

También se realizó un análisis de la tasa de aprobación según la posición del DPF. Estas fueron clasificadas de la siguiente manera:

- A: Inmediatamente después del turbo
- B: Aproximadamente 70 centímetros después del turbo, generalmente en posición diagonal.
- C: En la parte inferior del vehículo

En la figura 14 se presentan los resultados de este análisis. No se encontró una diferencia mayor a 6% en la tasa entre las posiciones.

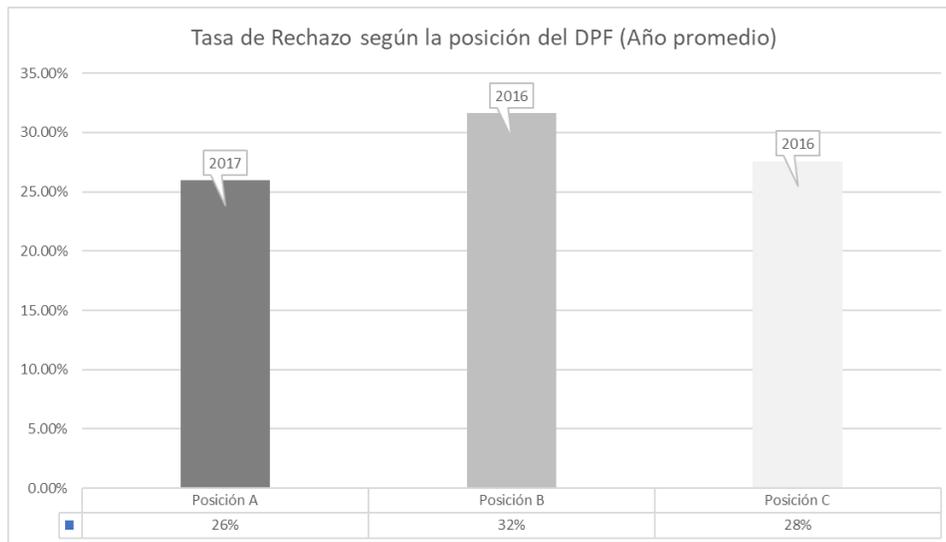


Figura 14: Tasa de Rechazo según la posición del DPF.

En las figuras 15 a 22 se analizan los valores según el kilometraje y edad del vehículo, observando que, en base de un límite de emisión de 250.000 y 1.000.000 de números de partículas, en general hay una mayor tasa de rechazo en los vehículos con mayor kilometraje y año.

A medida que se utiliza un DPF, se acumula materia orgánica e inorgánica. La materia orgánica se combustiona y los gases pueden salir del filtro en un proceso llamado regeneración. Sin embargo, muchos de los primeros vehículos Euro 5 en Chile tienen un filtro que se encuentra lejos del motor, esto implica que, si conducen con una carga baja, habrá temperaturas menores a 250°C-300°C y se podría lograr la regeneración con mayor dificultad. Como consecuencia, se acumula materia orgánica, aumentando la contrapresión y se fractura el filtro.

Por otra parte, a medida que se utiliza el filtro, se acumulará materia inorgánica que debe ser removida periódicamente de manera neumática. Si no se realiza, aumenta la contrapresión y se produce una fractura en el filtro por una regeneración masiva.

Finalmente, los vehículos con mayor kilometraje y antigüedad tienen mayor probabilidad de falla en sistemas del motor, como inyectores, válvula EGR, turbo, entre otras. Cuando sucede esto,

puede acumularse más materia orgánica e inorgánica causando una elevación en la contrapresión y una posible fractura del cerámico del DPF.

Los fenómenos descritos anteriormente se pueden observar en los siguientes gráficos:

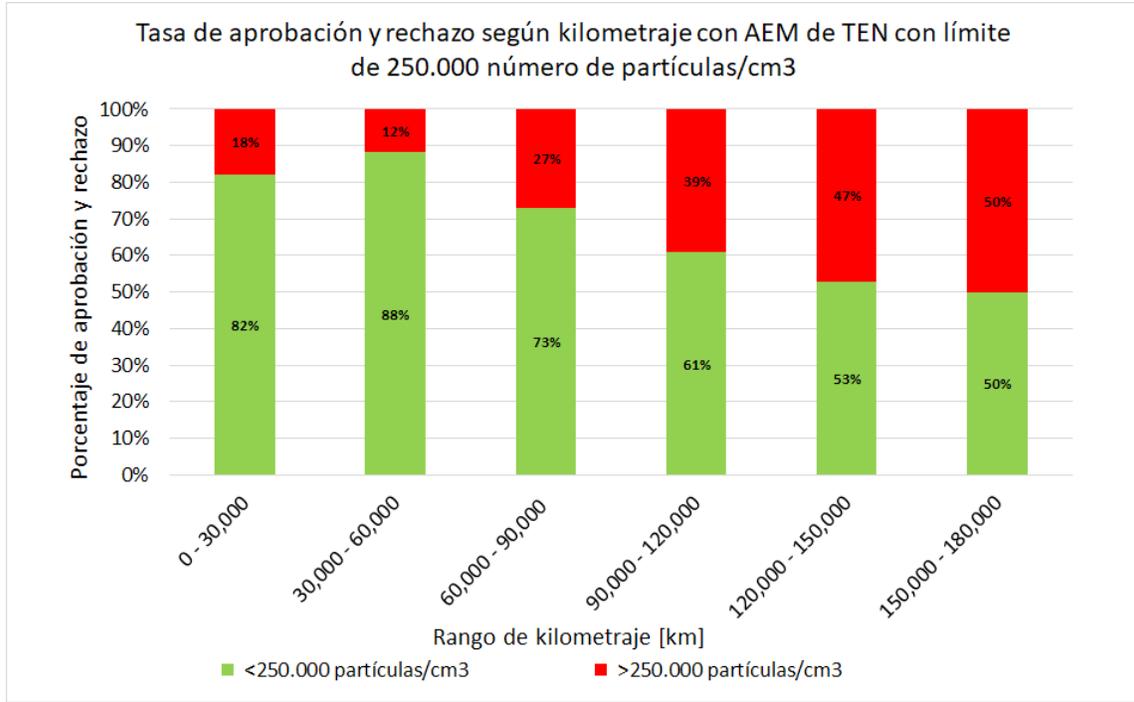


Figura 15: Tasa de aprobación, con límite 250.000 partículas/cm³, según el kilometraje utilizando AEM de TEN.

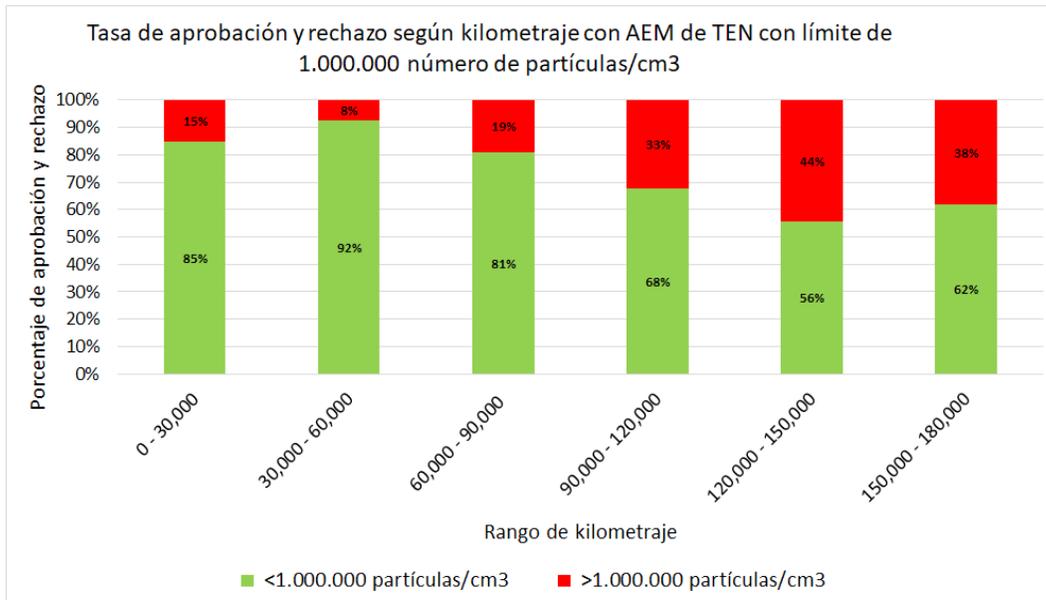


Figura 16: Tasa de aprobación, con límite 1.000.000 partículas/cm³, según el kilometraje utilizando AEM de TEN.

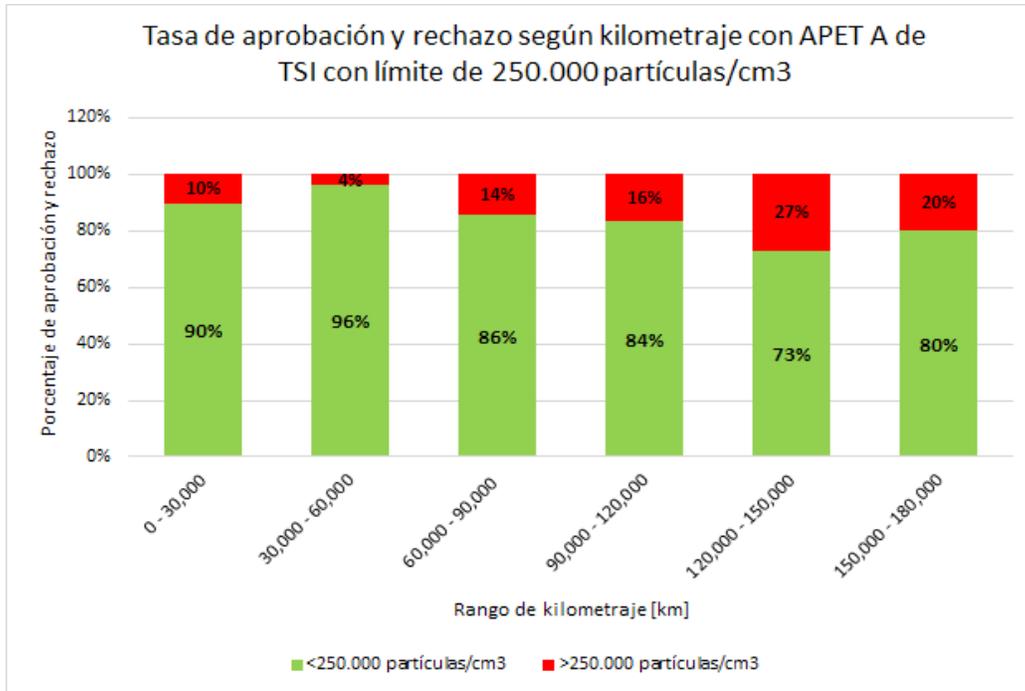


Figura 17: Tasa de aprobación, con límite 250.000 partículas/cm³, según el kilometraje utilizando APET A de TSI.

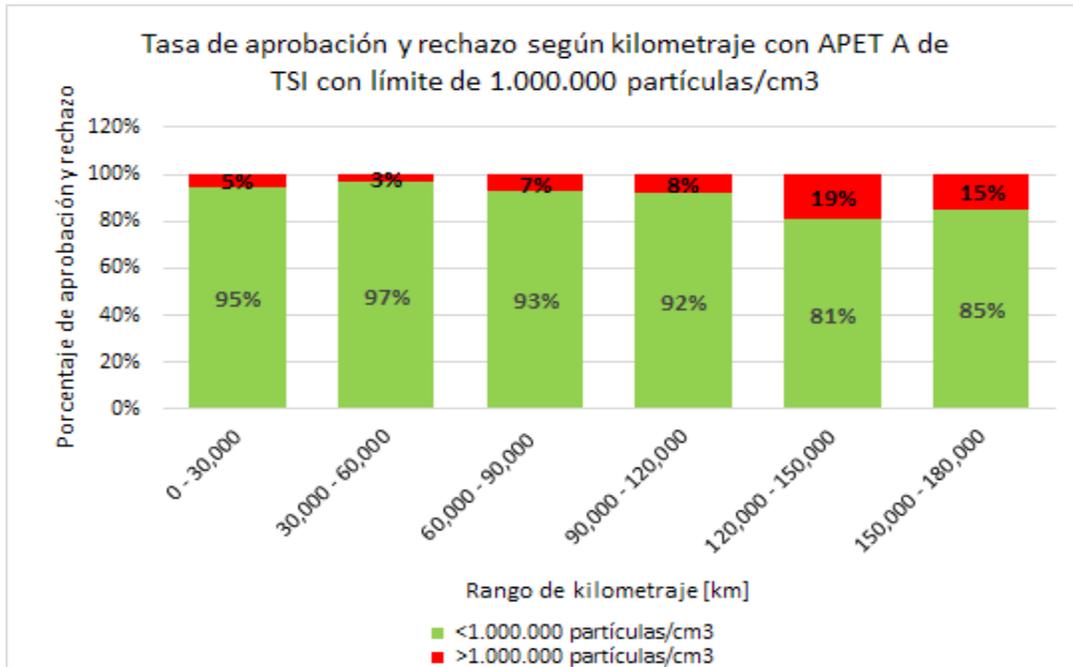


Figura 18: Tasa de aprobación, con límite 1.000.000 partículas/cm³, según el kilometraje utilizando APET A de TSI.

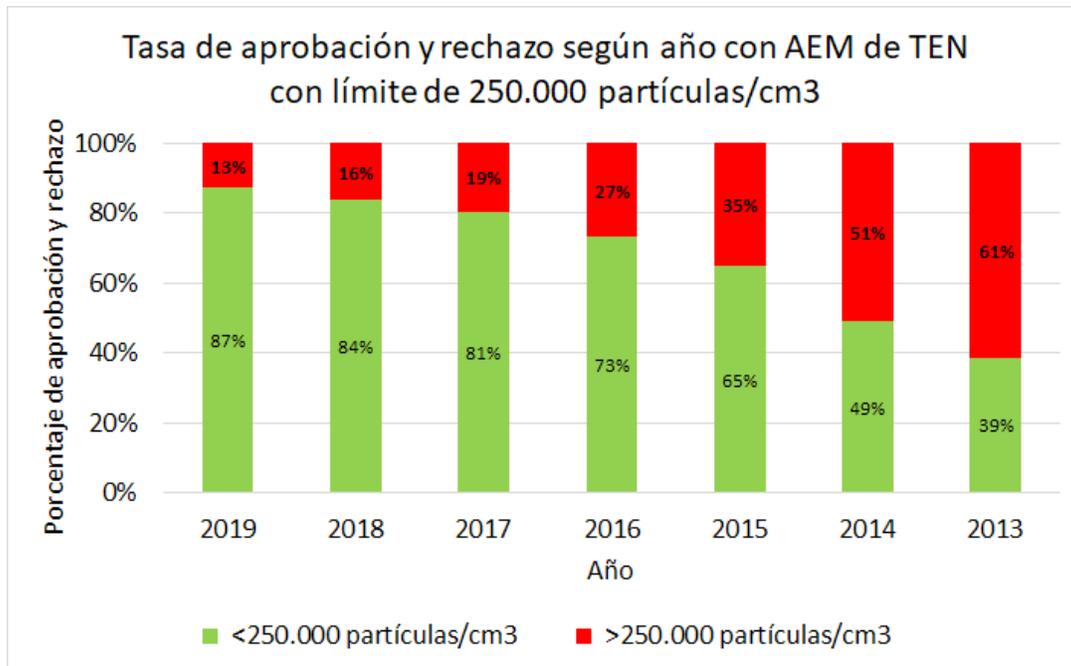


Figura 19: Tasa de aprobación, con límite 250.000 partículas/cm³, según el año utilizando AEM de TEN.

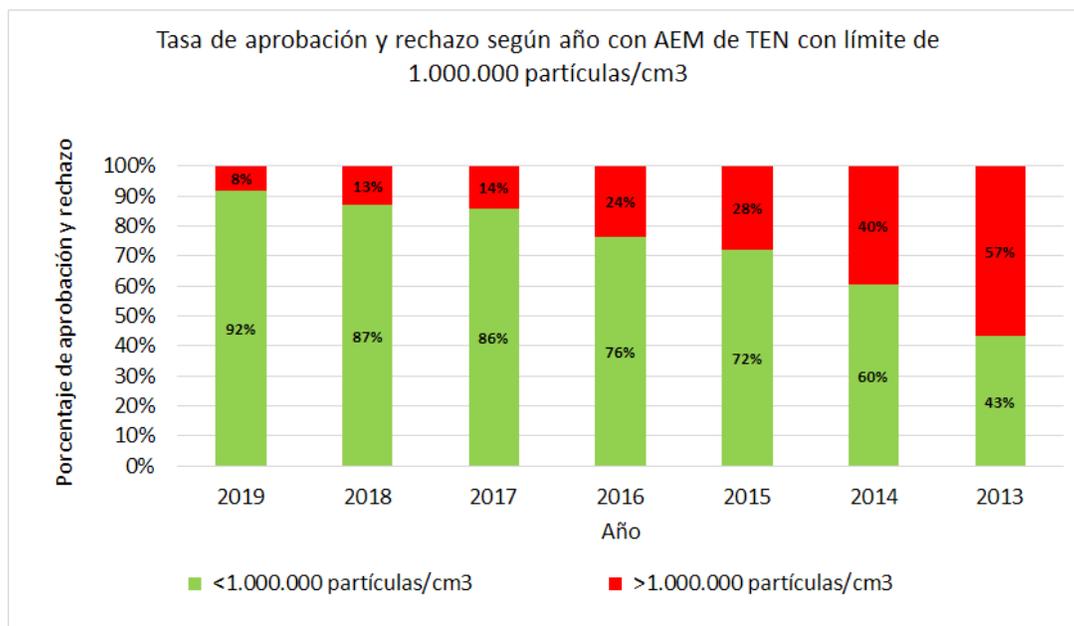


Figura 20: Tasa de aprobación, con límite 1.000.000 partículas/cm³ según el año utilizando AEM de TEN

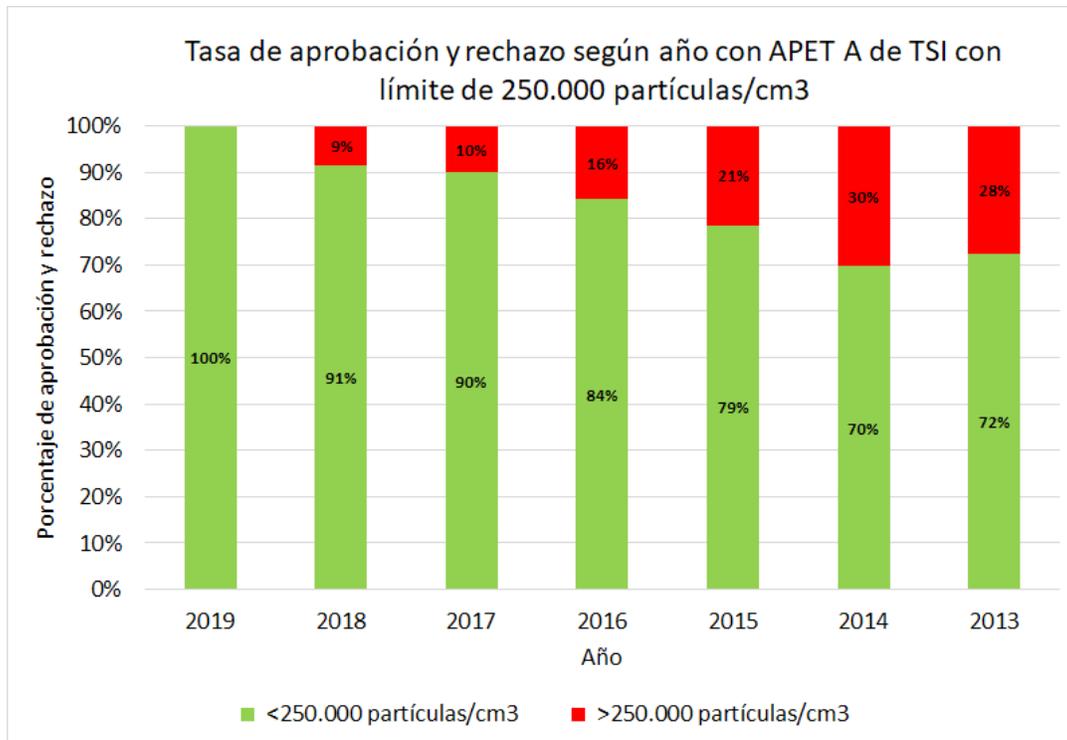


Figura 21: Tasa de aprobación, con límite 250.000 partículas/cm³ según el año utilizando APET de TSI.

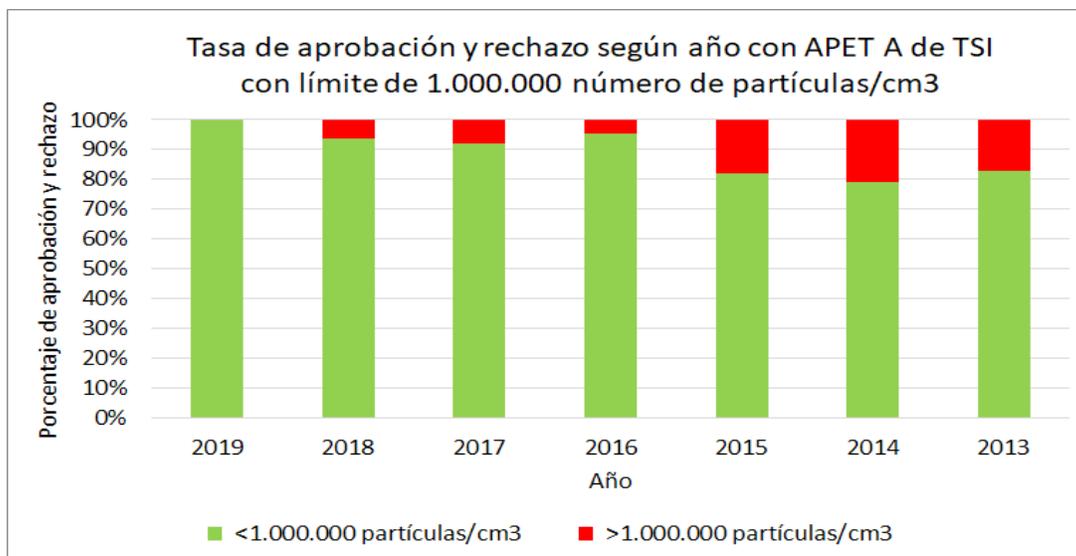


Figura 22: Tasa de aprobación, con límite 1.000.000 partículas/cm³ según el año utilizando APET A de TSI.

La figura 23 muestra el deterioro progresivo de las curvas de aprobación según el año del vehículo, cuando se mide contra diferentes límites de emisión, destacando 250.000 y 1.000.000 de partículas por cm³.

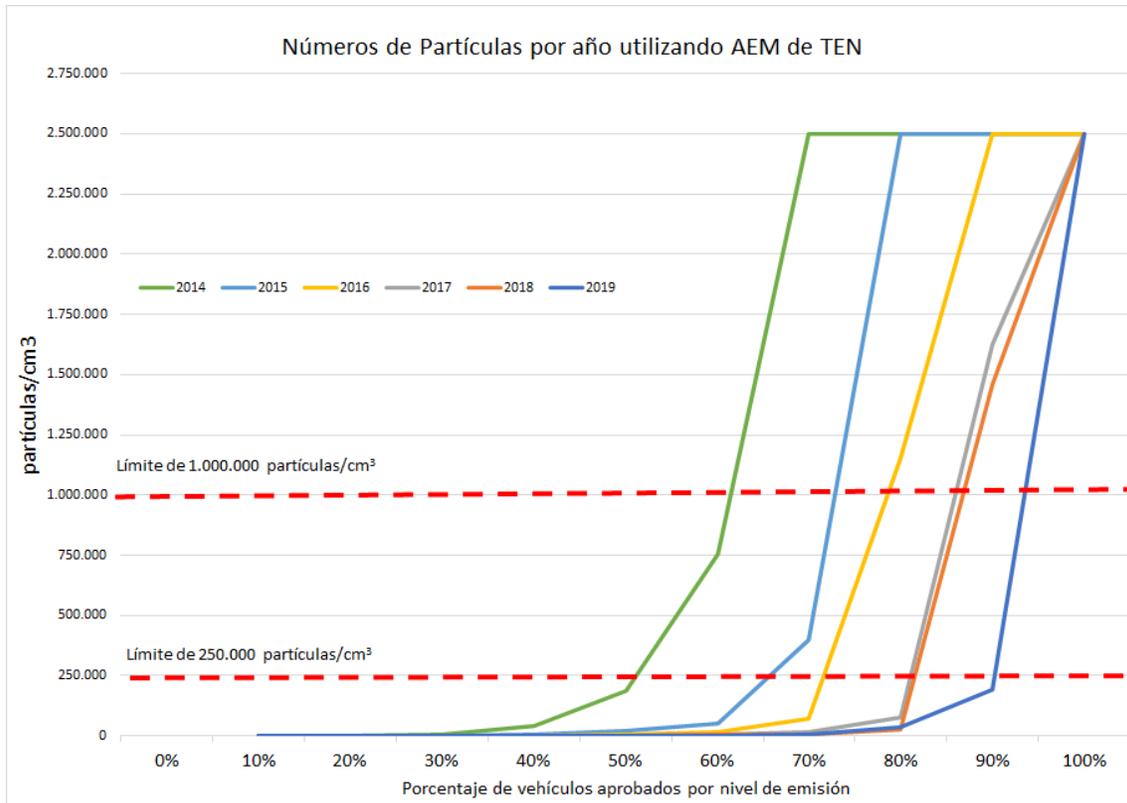


Figura 23: Número de partículas según el año de vehículo utilizando el instrumento AEM de TEN.

4) Simulaciones de Aprobación

Los gráficos siguientes muestran la distribución de los números medidos en el rango del instrumento (línea punteada roja) y tasa de aprobación versus el número de partículas/cm³ (área verde). A modo de ejemplo, se presentan los índices para los números 250.000, 500.000, 750.000 y 1.000.000 partículas/cm³ (barras grises).

En el caso del AEM de TEN, el aumento de los índices de aprobación entre 250.000 y 1.000.000 fue del 6%. Para el APET A y el B las diferencias fueron del 5% y el 7%, respectivamente, pero los índices fueron mayores para el APET B en toda la escala.

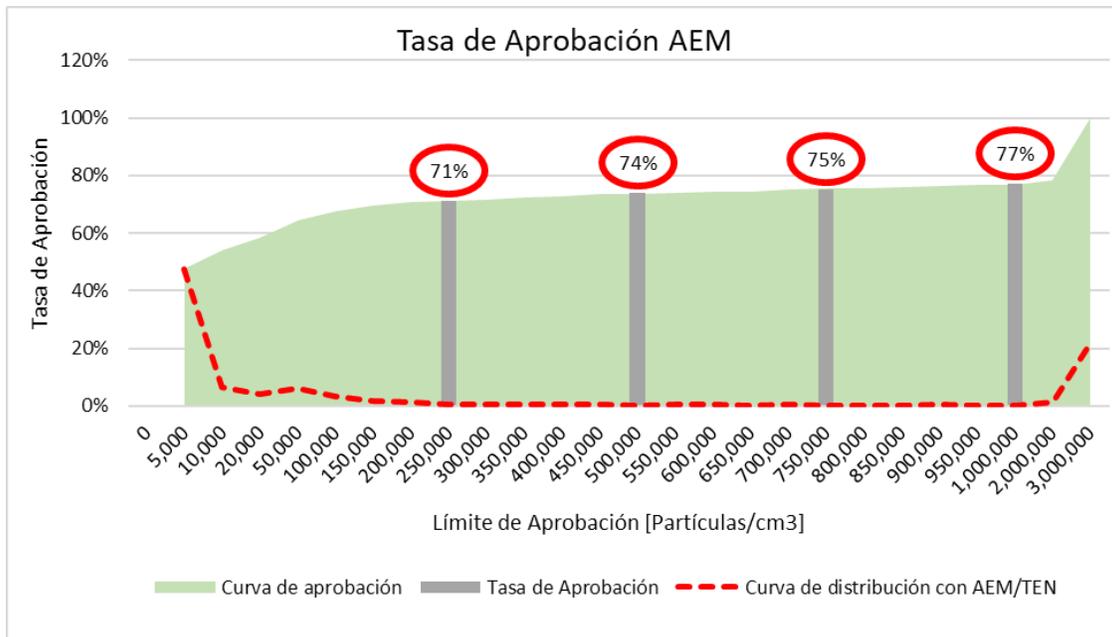


Figura 24: Tasa de aprobación según AEM de TEN

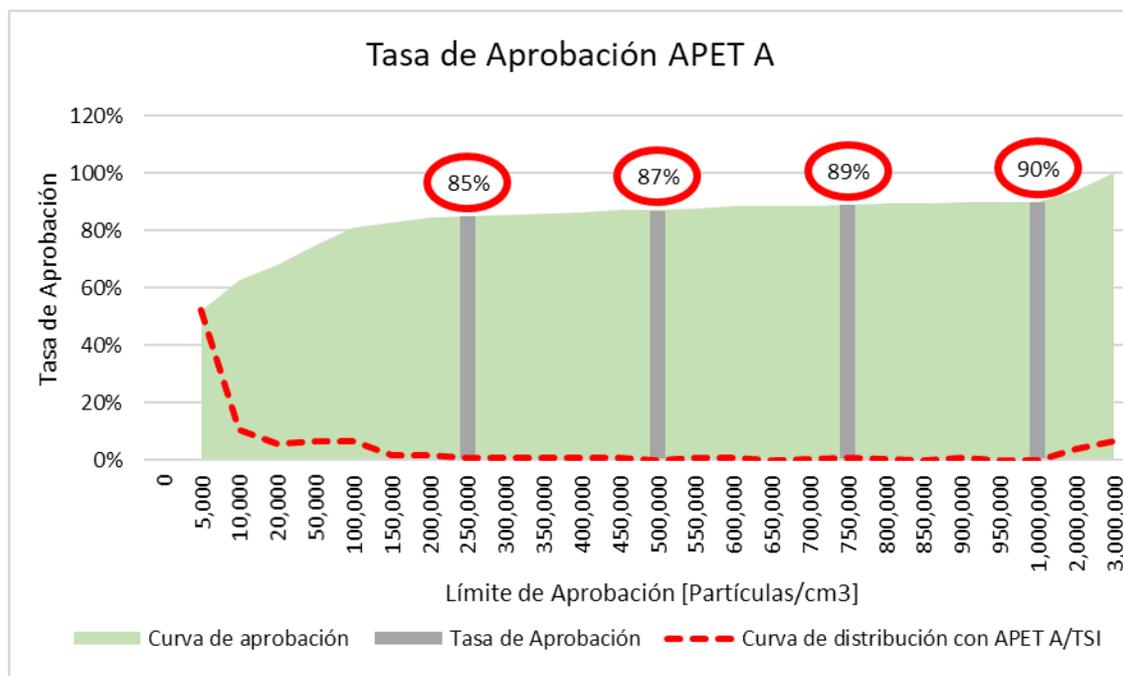


Figura 25: Tasa de aprobación según APET A de TSI

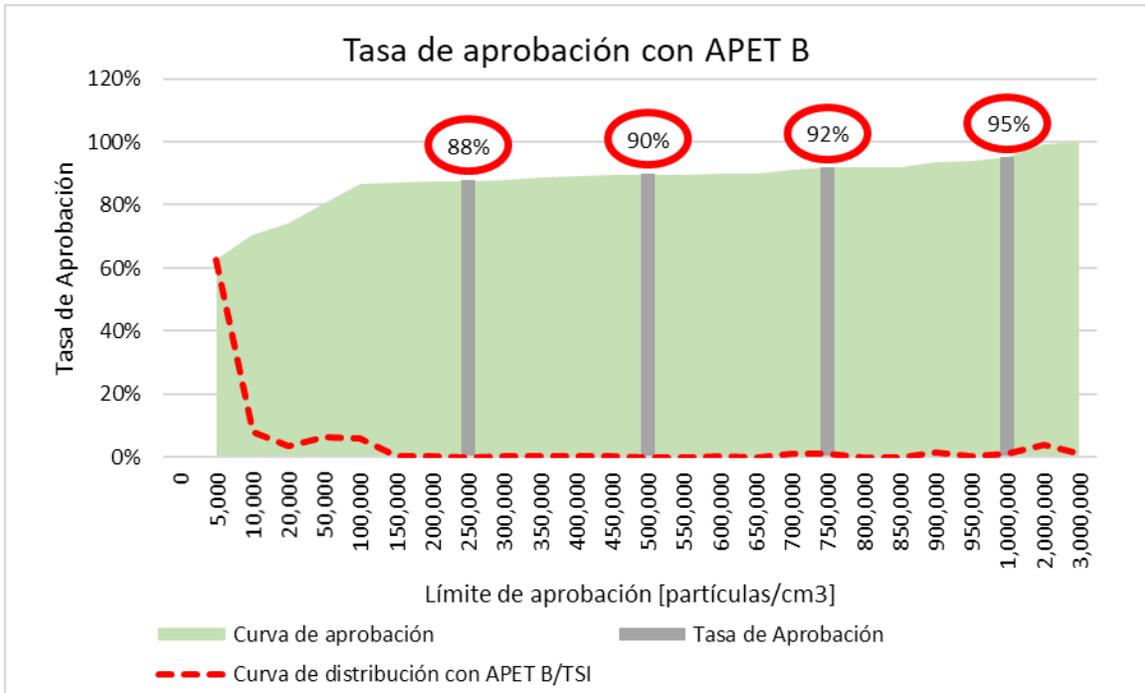


Figura 26: Tasa de aprobación según APET B de TSI

También se compararon los porcentajes de aprobación entre las dos fases. El AEM de TEN mostró consistencia en la mayor parte del rango, con una diferencia máxima del 4% a 1.000.000 partículas/cm³. El APET A mostró una variación de hasta 16% en toda la gama. Los resultados se presentan en las figuras 26, 27 y 28:

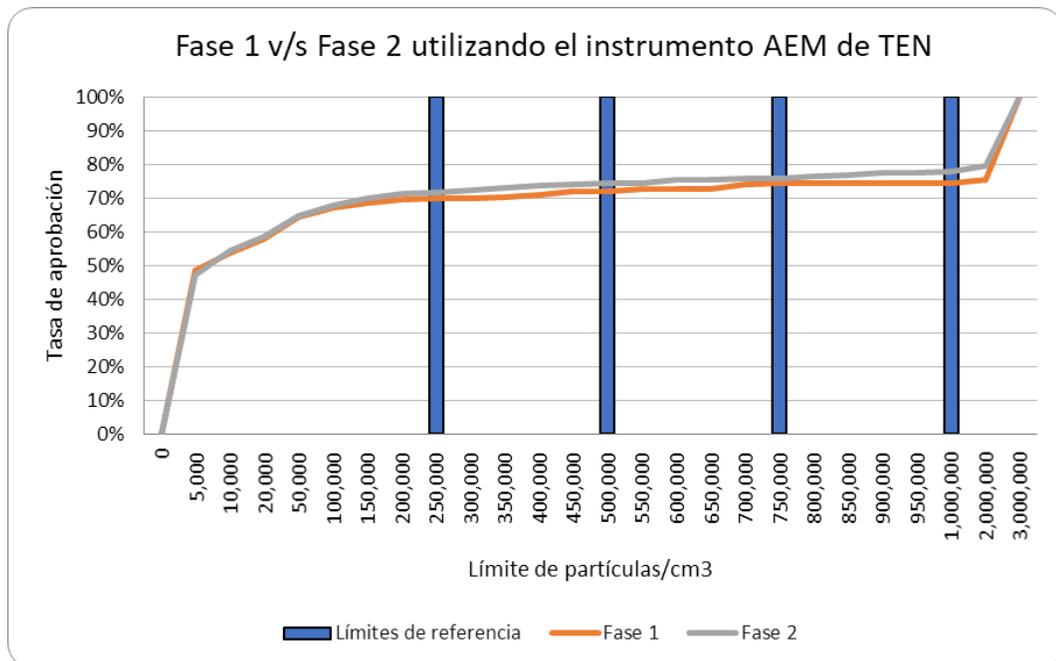


Figura 27: Tasa de aprobación según AEM de TEN en fase 1 y fase 2

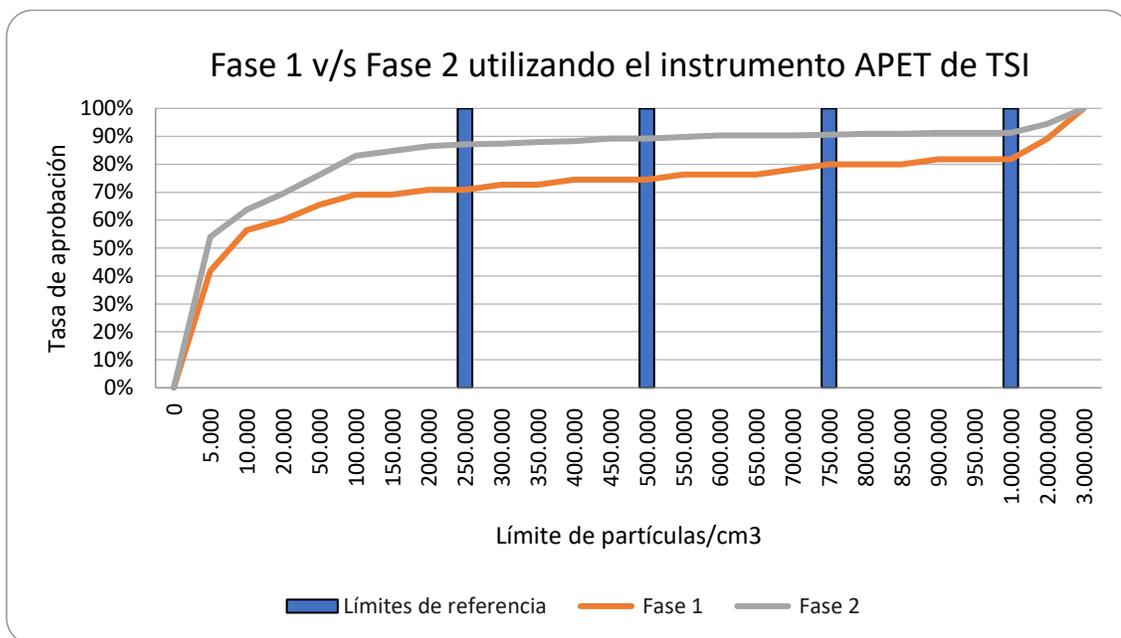


Figura 28: Tasa de aprobación según APET de TSI en fase 1 y fase 2.

Tabla 2: Tasa de aprobación con cada instrumento en la Fase 1 y 2, y el proyecto completo con distintos límites.

Fase	Instrumento	250.000 #/cm ³	500.000 #/cm ³	750.000 #/cm ³	1.000.000 #/cm ³
Fase 1	AEM	70%	72%	74%	74%
	APET A	71%	75%	80%	82%
Fase 2	AEM	72%	74%	76%	78%
	APET A	87%	89%	91%	91%
	APET B	88%	90%	92%	95%
Total	AEM	71%	74%	75%	77%
	APET A	85%	87%	89%	90%
	APET B	88%	90%	92%	95%

Analizando los valores del número de partículas en función del porcentaje de vehículos (ver figura 29), se puede deducir que el 10% de los vehículos analizados produce el 85% de las emisiones de partículas y el 4% produce el 50% de las partículas. Para este análisis, se utilizaron los resultados

del instrumento APET, ya que este instrumento tenía un límite de partículas más alto⁸ que el instrumento AEM de TEN, que tenía un límite de 2.500.000 partículas/cm³. Cabe destacar que este análisis está sujeto a la confiabilidad del instrumento APET A de TSI.

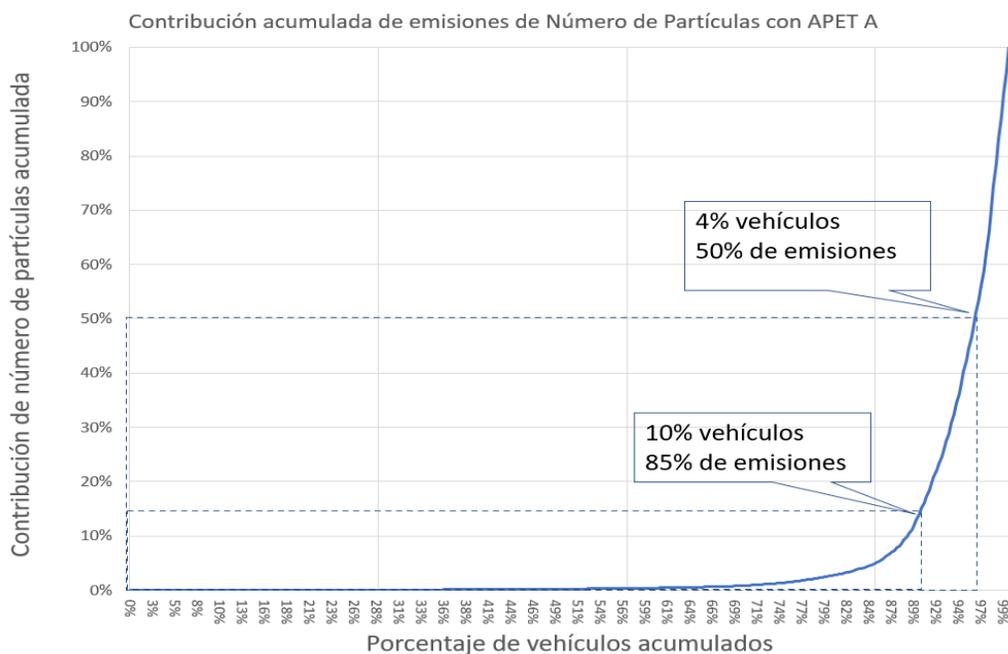


Figura 29: Cantidad de emisiones acumuladas según el porcentaje de vehículos ordenados de menor a mayor.

5) Comentarios Guías CALAC+

CALAC+ ha realizado 3 guías [3][4][5] en el marco del Grupo de Trabajo Latinoamericano NPTI, de las cuales se indica lo siguiente:

A) Análisis de 3 pruebas

La guía de CALAC+ requiere realizar una medición de 15 segundos. El instrumento APET está programado para realizar 3 mediciones con 1 segundo entre cada una y se ha encontrado una consistencia completa con ambos instrumentos entre todas las mediciones de 15 segundos y el promedio de 3, lo que se puede observar en las figuras 30 y 31, donde la línea continua corresponde al promedio de las 3 mediciones y las líneas verticales corresponden al valor de la primera medición:

⁸ TSI ha señalado que el límite máximo va a variar según las condiciones de la medición. El fabricante ha señalado que la prueba no va a detenerse para un valor menor a 5.000.000 partículas/cm³.

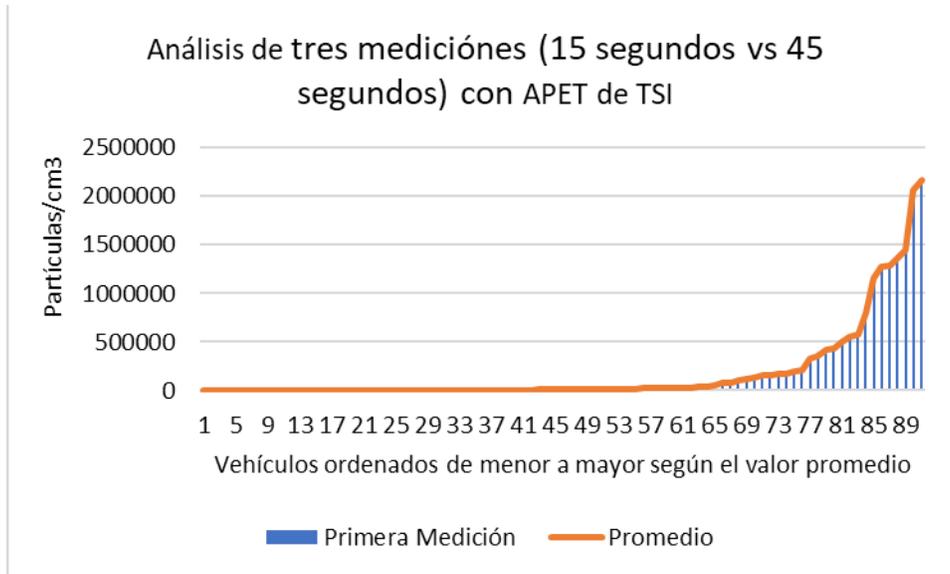


Figura 30: Comparación de tres mediciones de 15 segundos versus una medición de 45 segundos con APET de TSI.

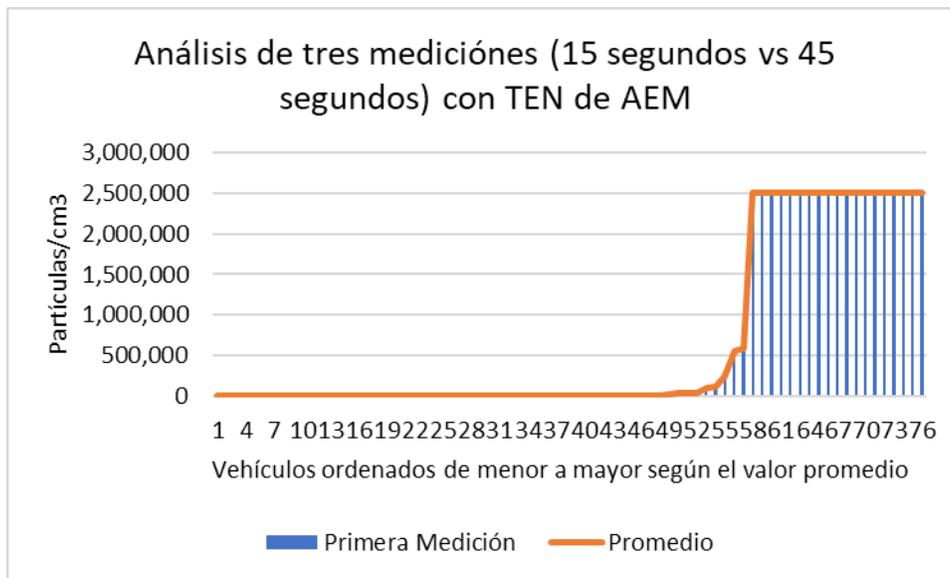


Figura 31: Comparación de tres mediciones de 15 segundos versus una medición de 15 segundos con AEM de TEN

B) Guía Técnica para contador de partículas, Parte 1- Instrumento

8. Requisitos técnicos

8.1. Comunicación:

- El protocolo de comunicación tiene como finalidad evitar la manipulación del resultado por parte del operador en el centro de revisión técnico mecánico. Sin embargo, es relevante tener en consideración que el operador puede medir el aire para asegurar que el vehículo pase la prueba.

C) Guía Técnica para contador de partículas Parte 2 – V1 Metrología

2.6 Verificación Posterior

2.6.1 Requisitos generales:

- El intervalo de verificación del instrumento sugerido por la guía es de 1 año. Esto no considera que la mantención de los instrumentos debe realizarse según el uso. En Alemania y los Países Bajos, hay un flujo de vehículos mucho menor que en Chile (aproximadamente 6% de vehículos por PRT para el caso de los Países Bajos). Además, los instrumentos tienen mayor desgaste si hay un porcentaje mayor de vehículos con una cantidad elevada de número de partículas. En base a esto, se recomienda una mantención, calibración y verificación según la cantidad de vehículos totales y la cantidad de vehículos rechazados.

D) Guía técnica Para la Inspección Técnica Periódica

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

- En este proceso se propone realizar la prueba de conteo de partículas con el sistema EGR apagado (válvula EGR cerrada). Esto se puede lograr dejando funcionar el vehículo con el motor encendido en ralentí durante algún tiempo o a través del conector de diagnóstico a bordo (OBD) o con un dispositivo de diagnóstico del motor (Apéndice 1).
- Además, como consideración previa a la prueba, se señala que *se debe revisar visualmente el estado del tubo de escape y del filtro de partículas, y de ser posible, el funcionamiento del DPF y el estado de la válvula EGR a través de parámetros como alertas del sistema OBD de información del vehículo.*

Purexhaust considera que esto debiera mantenerse en la guía, pero es importante tener en cuenta que, actualmente, no se accede al Sistema OBD en las PRTs de Chile.

E) Adicional

- En un pequeño número de casos, los vehículos tienen un escape doble. Habrá que tener en cuenta el protocolo en estos casos.
- En los Países Bajos y Alemania, la cantidad de vehículos que serán probadas mensualmente será significativamente menor a Chile. En base a esto, es fundamental que los instrumentos sean capaces de funcionar correctamente después de varias pruebas. Para esto, se recomienda realizar una certificación utilizando instrumentos de prueba que ya han sido utilizados en una cantidad de vehículos estadísticamente significativos.

- El fabricante debe incluir una guía de mantención que garantice el correcto funcionamiento en base a la cantidad de vehículos totales y vehículos que exceden el límite.

6) Evaluación de los Instrumentos

Ambas tecnologías CPC y DC están validadas y se utilizan ampliamente a nivel mundial en los laboratorios, proporcionando resultados verificados. No obstante, para poder utilizar estas tecnologías en las plantas de inspección técnica en Europa, la industria debía producir una versión de bajo costo. Uno de los aspectos de este proyecto era, por tanto, evaluar dos instrumentos propuestos en condiciones locales. El estudio se ha centrado en la consistencia, la repetibilidad de los resultados y los requisitos de mantenimiento.

En base a lo anterior, uno de los objetivos de este proyecto ha sido medir, en condiciones reales, las emisiones de vehículos Euro V y VI que cuentan con DPF en las PRT y determinar cómo varía la tasa de aprobación según varios límites establecidos. Estos resultados se recogen en secciones anteriores de este informe. Otro objetivo ha sido comparar dos modelos de instrumentos, y determinar su aptitud para su uso en las pruebas de inspección periódica en Chile.

Ambos instrumentos llegaron con sus manuales. En el caso del AEM, incluía la recomendación de limpiar o sustituir los filtros HEPA cada dos meses. Las instrucciones del APET hacían referencia a una sustitución anual de un filtro HEPA (incluido), con la limpieza como opción.

Como se informó en el capítulo 5 *experiencia con los instrumentos*, en ciertos días, los instrumentos APET de TSI dieron lecturas del aire ambiente que se sospechaba que eran bajas (por debajo de 400 partículas/cm³). Por otra parte, el instrumento AEM de TEN mostraba lecturas de aire ambiente elevadas (por encima de 90.000 partículas/cm³). A raíz de estas lecturas y tras consultar con ambos fabricantes, se llevó a cabo un mantenimiento progresivo de cada instrumento para intentar detectar y corregir todas las posibles fallas. En el caso del APET A, el éxito fue variado pero la precisión de los resultados siguió siendo cuestionable.

El AEM dio lecturas regulares de 0,0 partículas/cm³. Según TEN, esto es normal y se debe a un DPF eficiente, pero una mejor interpretación sería la precisión del instrumento.

Durante la fase de pruebas del proyecto, se observaron varias mediciones que han sido difíciles de entender, como se ha informado en el capítulo 5 *experiencia con los instrumentos* para ambos instrumentos. Como no se disponía de un generador de partículas de referencia, no fue posible determinar qué instrumento dio resultados erróneos. Esto se dedujo posteriormente en base a las observaciones presentadas en los siguientes párrafos.

Se esperaba que la tasa de aprobación global del estudio para cada instrumento se repetiría dentro de una desviación estándar en los resultados semanales (el resultado global diario podría no ser estadísticamente significativo). No obstante, los resultados de los instrumentos mostraron una gran variación. En el caso del instrumento AEM de TEN, las mediciones se mantuvieron

dentro de una variación normal durante 5 semanas, seguidas de un descenso significativo de la tasa de rechazo que se mantuvo hasta que se realizó el mantenimiento, después de lo cual volvió a aumentar.

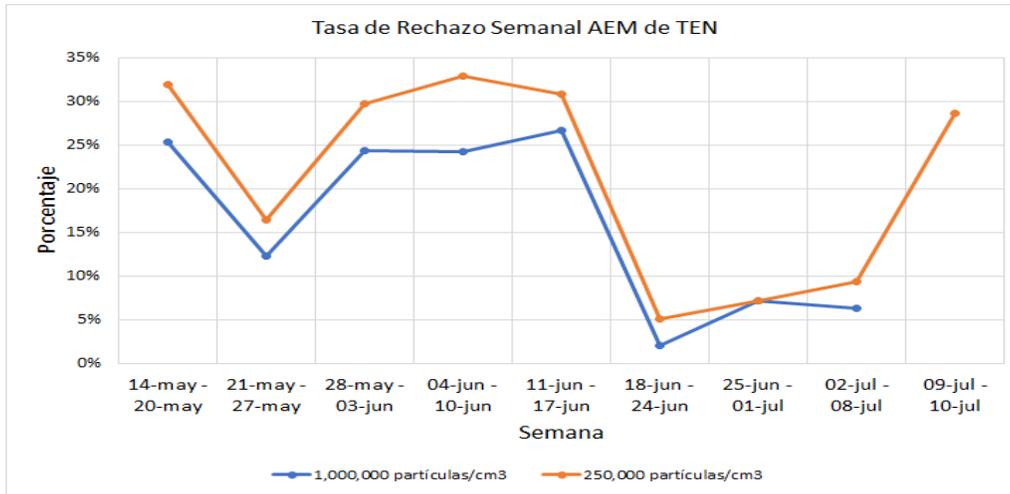


Figura 32: Variación semanal de la tasa de rechazo del instrumento AEM de TEN.

A pesar de esta variación semanal, como se ve en la figura 33 las tasas de aprobación para el AEM fueron similares durante ambas fases, lo que da confianza en el instrumento.

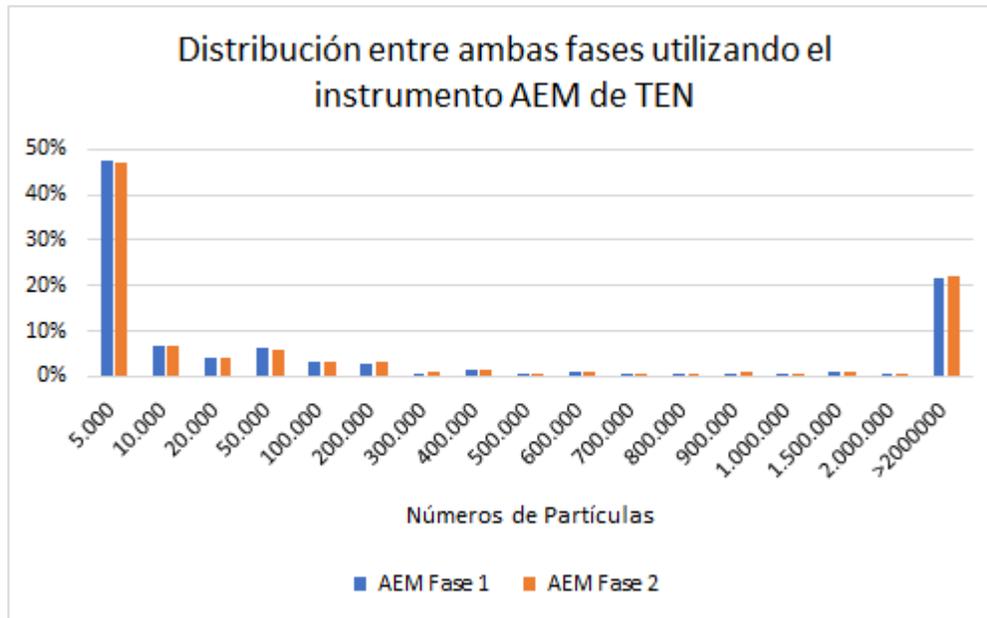


Figura 33: Variación de la distribución de resultados del instrumento AEM de TEN.

El APET A demostró un descenso semanal constante de la tasa de rechazo como se observa en la figura 34.

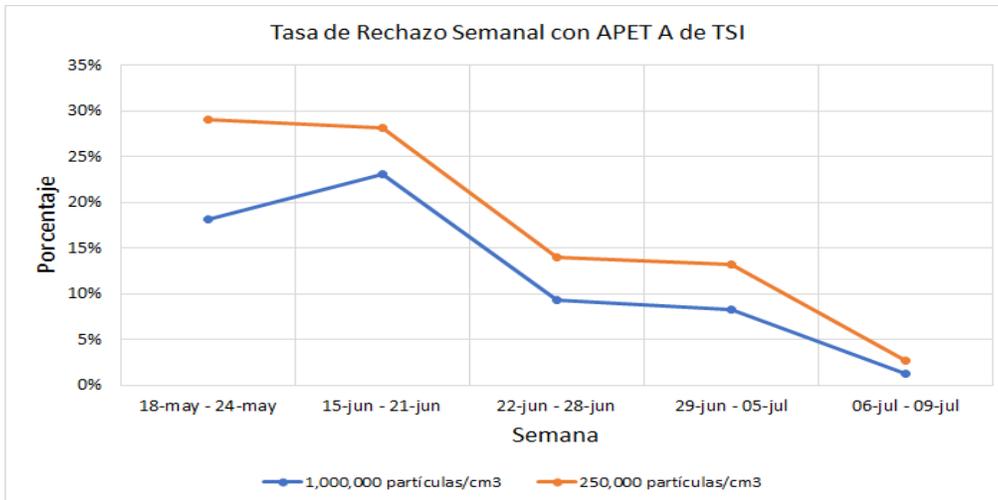


Figura 34: Variación semanal de la tasa de rechazo del instrumento APET A de TSI.

Además, hay una variación de la distribución o del número de partículas entre la fase 1 y la 2:

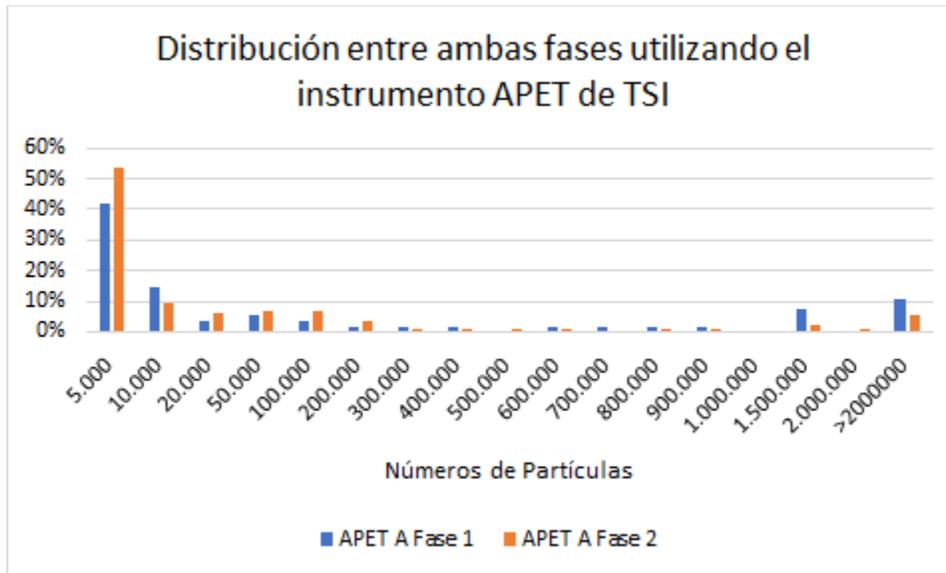


Figura 35: Variación de la distribución de resultados del instrumento APET de TSI.

La única forma de llegar a una conclusión definitiva sobre los resultados obtenidos requeriría la medición con un generador de partículas de referencia, lo que no fue posible para el estudio. Comparando la distribución de la fase 1 con la 2, se podría concluir que el AEM es un instrumento que proporciona resultados confiables hasta 2.000.000 partículas/cm³. La precisión en el rango bajo (por debajo de 5.000 partículas/cm³) puede tener una variación con respecto a la emisión exacta, pero esto no es significativo para una tasa de aprobación durante una prueba. Sin embargo, las variaciones semanales, las elevadas cifras ambientales y el mantenimiento realizado demuestran que es necesario realizar más pruebas para respaldar esta conclusión.

Fue necesario discutir los resultados con los fabricantes TSI y TEN, de estas reuniones salió un punto clave:

El objetivo de los proyectos de desarrollo en Europa por parte de VERT ha sido desarrollar un instrumento económico que esté disponible para su uso en las PTIs y no había sido evidente por qué el costo sería crítico en Europa para una PTI. Esto se debe a una estructura completamente diferente entre Chile y la mayoría de los países europeos que están implementando la medición del número de partículas en plantas de inspección técnica.

Según la asociación automotriz ANAC, Chile tiene aproximadamente 5,5 millones de autos de pasajeros. Según el Departamento de Investigación de Statista⁹, los Países Bajos tenían aproximadamente 8,8 millones de autos de pasajeros en 2018. Sin embargo, este país tiene 8.000 PTIs, en comparación con los 137 de Chile. La diferencia es que las pruebas en los Países Bajos están bajo responsabilidad de los talleres de servicio como una franquicia (aprobada por la RDW¹⁰), en comparación con las plantas concesionadas de Chile.

La situación en Alemania, donde hay aproximadamente 20.000 PTIs y que va a aplicar una ley de PTI en el año 2023, es similar a la de los Países Bajos. Por su parte, Bélgica, con 77 estaciones de PTI y 3 millones de autos diésel, tiene una situación similar a la de Chile. La autoridad de PTI de ese país, GOCA¹¹, ha estado probando instrumentos en estaciones PTI.

Los instrumentos probados por GOCA hasta ahora incluyen NPET de TSI, Naneos Partector, Testo Nanomet, Sensors API, Pegasus Mk 3, TSI PTI y AVL DiTest. Actualmente están comparando el AEM de TEN y el APET de TSI. Este último trabajo aún no está terminado. La experiencia, es que todos los instrumentos probados, presentan problemas después de un tiempo: normalmente entre 2 semanas y 3 meses.

Durante su fase de pruebas, han realizado un promedio de 12 mediciones diarias, con un máximo de 50, similar a este estudio. Cuando se implemente la nueva norma, GOCA espera realizar entre 20 y 50 mediciones diarias por planta. Esta cifra sería similar a las que se esperan en la Región Metropolitana.

A pesar de los problemas con las pruebas, GOCA no espera ningún retraso en la aplicación de la nueva norma en julio de 2022. Aceptarán las homologaciones del NMI holandés. La norma belga presenta algunas diferencias menores, pero éstas sólo se refieren a las opciones.

Esta diferencia causa lo siguiente:

1. El costo de un instrumento debe ser bajo para estar dentro del presupuesto de una pequeña empresa europea.
2. Menor flujo de vehículos: Según Statista 2021, la proporción de ventas de autos diésel en los Países Bajos ha disminuido del 28% a 18%, pero se podría estimar una proporción

⁹ Statista: Departamento de Estadísticas del Gobierno de los Países Bajos.

¹⁰ RDW: Autoridad vehicular de los Países Bajos.

¹¹ GOCA: Grupo de Centros de Inspección de Vehículos Autorizados de Bélgica.

media de flota diésel de 20%, frente a 9,5% en Chile. Por lo tanto, sobre la base de las 8.000 estaciones de PTI en los Países Bajos, en comparación con las 137 de Chile, el número de mediciones mensuales en promedio realizadas por cada PTI aprobado por la RDW sería de 19 en comparación con 318 en Chile. Por lo tanto, siguiendo esta lógica, para el instrumento AEM en Chile se debería realizar una mantención cada 4 días, en lugar de cada 2 meses según lo recomendado por TEN. En el caso de los instrumentos APET, sería necesario una mantención cada 22 días de operación, en lugar de la mantención anual recomendada. Para ambos casos, esto no considera que exista una tasa mayor de rechazo que implica mayores niveles de material particulado en el instrumento y mayor mantención.

Por lo tanto, es evidente que el desgaste de un instrumento sería significativamente mayor en Chile que en los Países Bajos o Alemania y la exigencia de un instrumento económico podría ser contraproducente.

7) Conclusiones

1. Los instrumentos económicos pueden no ser la mejor estrategia para la estructura de las PRT en Chile.
2. Tanto la tecnología DC como CPC parecen ser tecnologías viables, pero es necesario especificar mejores procedimientos de mantenimiento y calibración. El instrumento AEM parece ser más confiable y consistente que el instrumento APET, pero no se puede determinar esto con certeza sin un generador de partículas de referencia.
3. Es necesario realizar más pruebas para establecer las mejores tecnologías y los protocolos adecuados para las PRT chilenas.
4. Basándose en la tecnología DC del instrumento AEM de TEN, que parece ser más confiable, en un límite de 250.000 partículas/cm³, el 29% de los vehículos serían rechazados. Con un límite de 1.000.000 de partículas/cm³, se rechazaría el 23% de los vehículos.
5. Ambas tecnologías utilizadas demuestran claramente la degradación de las emisiones de los vehículos Euro 5 por la edad y los kilómetros acumulados.
6. Independiente de la tecnología utilizada, el 4% de los vehículos analizados en este estudio son responsables del 50% de las emisiones de partículas, por lo tanto, es importante identificar este grupo de vehículos para cumplir con las metas del plan de descontaminación PPDA RM.

8) Recomendaciones para Estudios Posteriores

En base a las inconsistencias y variaciones observadas durante el estudio, sumado a las diferencias entre los requerimientos de Chile y Europa, se recomienda estructurar una nueva fase de pruebas. Este nuevo programa, tendría los siguientes puntos clave:

- Centrarse en la mejor tecnología disponible y no en la más económica.
- Abrir un proyecto a varios fabricantes, que tengan instrumentos certificados o en proceso de certificación.
- Cada fabricante debe conocer las condiciones de las PRT chilenas y el volumen de vehículos, además de determinar el mantenimiento y todos los repuestos requeridos antes del estudio.
- Incorporar un generador de partículas o "Sealed Audit Tool" para calibrar y verificar periódicamente los instrumentos.
- Analizar las posibles similitudes entre los requisitos de Bélgica y Chile.
- Estudiar mediciones en vehículos con dos líneas de escape.

Por último, se recomienda estudiar la distribución del tamaño de las partículas e investigar las posibles variaciones entre Europa y Chile. Dado que los instrumentos DC dependen del tamaño de las partículas, esto podría tener un efecto que es poco comprendido debido al combustible, la inyección o algún otro parámetro.

9) Bibliografía

- [1] Technische Anleitung/ Technical Instruction (TA-024/21), VERT. https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/technical-instructions/TA_024_21_NPTI.pdf
- [2] Norma neerlandesa <https://dieselnet.com/misc/NL-2019-202498.pdf>, <https://dieselnet.com/misc/NL-2020-125046.pdf>
- [3] Guía técnica para la Inspección Técnica Periódica (ITP) de vehículos provistos con filtros de partículas diésel basado en el conteo de partículas, 2021, CALAC+. <https://programacalac.com/wp-content/uploads/2021/07/GUIA-TECNICA-PARA-LA-INSPECCION-TECNICA-PERIODICA-VERSION-2.0-210721.pdf>
- [4] Guía Técnica de instrumentos para medir el número de partículas de gases de escape – Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos, 2021, CALAC+. <https://programacalac.com/wp-content/uploads/2021/07/GUIA-TECNICA-PARA-CONTADOR-DE-PARTICULAS-PARTE-1-V1.0-210721.pdf>
- [5] Guía Técnica de instrumentos para medir el número de partículas de gases de escape – Parte 2: Controles metrológicos y pruebas de funcionamiento, 2021, CALAC+. <https://programacalac.com/wp-content/uploads/2021/07/GU%C3%8DA-T%C3%89CNICA-PARA-CONTADOR-DE-PART%C3%8DCULAS-PARTE-2-V1-METROLOGIA.pdf>
- [6] Technical Inspection of Public Transport Buses with DPF in Santiago de Chile, 2019, Purexhaust. https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/VERT_NPTI_Focus_event_201/vert_npti_2021_fraser.pdf
- [7] Experience with respect to maintenance and control, Reinoso, 2016, ETH, GEASUR. https://www.nanoparticles.ch/archive/2016_Reinoso_FO.pdf
- [8] Instruments for measuring vehicle exhaust particulate number emissions, Part 1: Metrological and technical requirements, NMI.



Es un Programa de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Ejecutado por:



calac@swisscontact.org.pe

www.programacalac.com

Facebook: @CALACplus

Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7, Miraflores

Lima 15073, Perú,

Teléfonos: +51 (0)1 500 5075

www.swisscontact.org