

Uso del sensor remoto para monitoreo y control de emisiones vehiculares

POR TIM DALLMANN

La medición de los gases de escape emitidos por los vehículos en condiciones normales y reales de circulación es un aspecto clave de cualquier sistema que busque controlar la contaminación atmosférica de manera eficaz en el sector del transporte. Es un elemento fundamental para detectar diferencias entre las mediciones realizadas en laboratorio para certificar los vehículos y las emisiones vehiculares reales, independientemente de la razón de dicha diferencia, ya sea una falla del equipo de medición, el deterioro normal del vehículo debido al uso o una adulteración deliberada del sistema de medición para hacer trampa a la regulación. Así, la medición de las emisiones reales permite fortalecer los protocolos de certificación y alinear los resultados con el desempeño real de los vehículos, y proporciona a las entidades reguladoras y a los investigadores información sobre la contribución del transporte a los problemas de contaminación atmosférica y sobre la eficacia de las políticas orientadas a mitigar dichos problemas.

El método más popular para medir emisiones vehiculares en circulación es el que se realiza con un sistema portátil conocido como PEMS, su sigla en inglés. Este método consiste en instalar en un vehículo un equipo para medir y analizar los gases de escape mientras el vehículo circula en una vía o un circuito cerrado para obtener un registro detallado de las emisiones cada segundo. Este método, ampliamente utilizado por los investigadores, desempeñó un importante papel en la detección de fraudes masivos por evasión de las normas que regulan las emisiones vehiculares por parte de los fabricantes, y se ha incorporado a los protocolos de certificación para vehículos livianos y pesados. Sin embargo, es un método costoso y que consume tiempo. Además, pese a ser menos vulnerable al fraude o la adulteración que una medición de laboratorio con dinamómetro, los vehículos modernos pueden ser capaces de “reconocer” que están siendo probados y reaccionar modificando la calibración del motor y los controles de emisiones incluso con un equipo PEMS instalado. Por estas y otras razones, el método PEMS no es el más adecuado para los programas de monitoreo y vigilancia del parque automotor.

El uso del sensor remoto es un método menos conocido pero de eficacia comprobada para medir las emisiones vehiculares,

y ha sido adoptado con éxito por entidades reguladoras. En comparación con los dispositivos PEMS, el sensor remoto es más eficiente en cuanto al tiempo y al costo. Gracias a esto y a su carácter no invasivo (por remoto), esta técnica es ideal para el monitoreo de flotas.

En términos generales, gracias a las características básicas de los datos recabados con ambos métodos, es decir, datos detallados obtenidos cada segundo con un dispositivo PEMS instalado en un vehículo o en una pequeña cantidad de vehículos determinados, por un lado, y muestras de una gran cantidad de vehículos obtenidas cada medio segundo mediante el sensor remoto, por otro, estas herramientas han resultado ser complementarias. Al utilizarse juntas, pueden contribuir para obtener un panorama más completo no solo de las emisiones contaminantes de los vehículos en circulación, sino también del desempeño de las políticas públicas.

El presente documento es una descripción concisa del uso del sensor remoto para regular y controlar la contaminación generada por los vehículos en circulación.

ASPECTOS BÁSICOS DEL SENSOR REMOTO

Los sistemas de sensor remoto se basan en la espectroscopia de absorción para medir las concentraciones de elementos contaminantes en los gases de escape de los vehículos en circulación. Para ello, se instala una fuente y un detector de luz a los costados o por encima de una vía pública, de tal forma que el haz de luz emitido por la fuente atraviese la pluma de gases de escape de los vehículos que pasen. Como los elementos contaminantes interactúan con la luz de formas específicas, se puede calcular su cantidad relativa en los gases de escape midiendo cuánta luz de determinadas longitudes de onda es absorbida mientras el haz de luz atraviesa la pluma de gases de escape. Cada medición hecha por el sensor remoto dura menos de un segundo y, de ser exitosa, arroja una estimación de la concentración de contaminantes en proporción relativa a la concentración de CO₂ en la pluma de gases de escape. Este sistema mide la cantidad de monóxido de nitrógeno (NO), dióxido

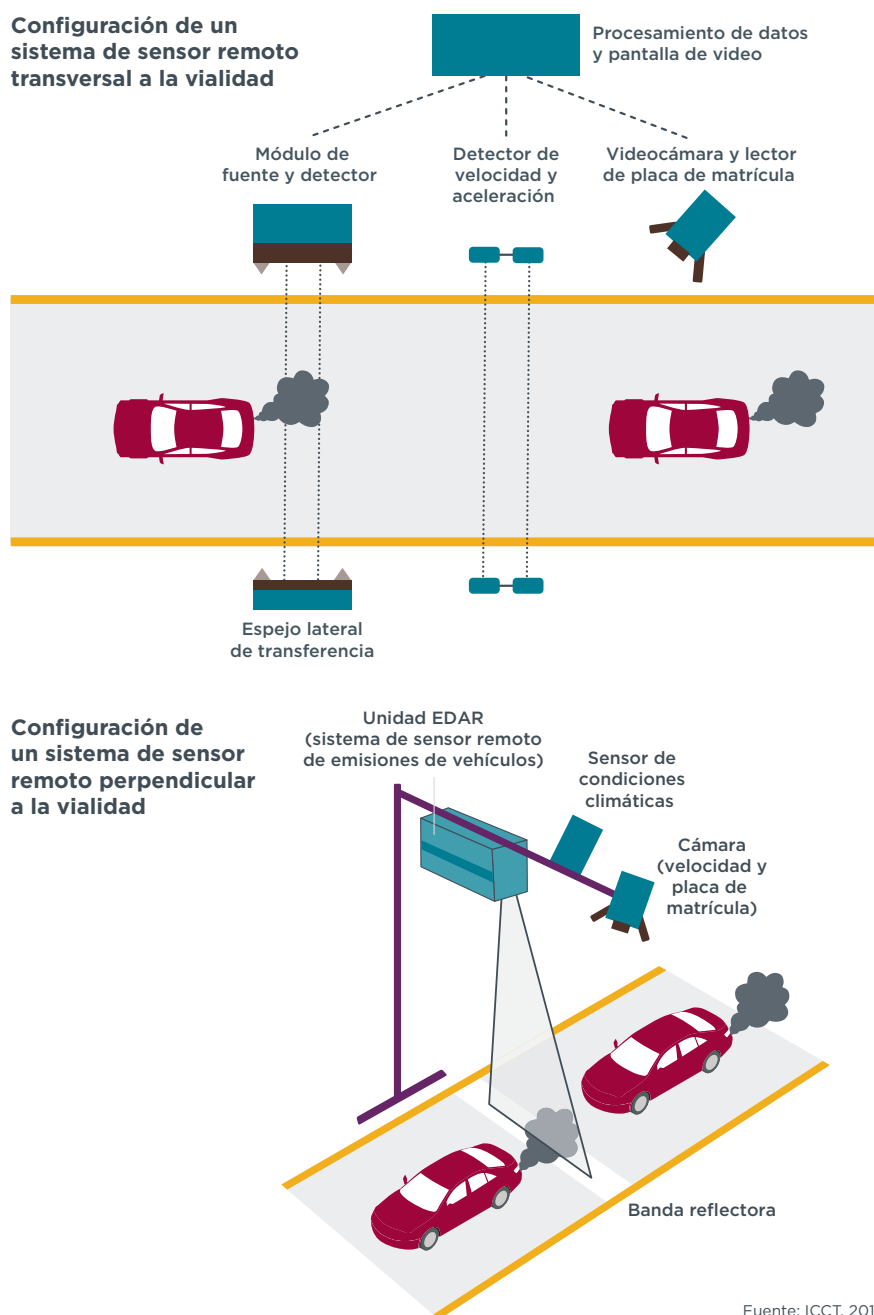
de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y dióxido de carbono (CO₂). Las emisiones de partículas, en cambio, se miden de forma indirecta a partir de la opacidad de la pluma. El uso del sensor remoto también permite medir las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) y amoníaco (NH₃).

Los datos anteriores no tienen mucha utilidad si no se pueden correlacionar con información específica del vehículo, incluida la forma como se manejaba cuando se realizó la medición. Por consiguiente, los sistemas de sensor remoto incluyen equipos que permiten recolectar dicha información: una cámara toma una foto de la matrícula del vehículo, a partir de la cual se obtienen datos como la marca, el modelo, el tipo de combustible, el tamaño del

motor y la norma de emisiones que cumple, mientras que otro dispositivo mide la velocidad y la tasa de aceleración del vehículo, lo que proporciona información sobre las condiciones de carga del motor en el momento de la medición. Por último, unos sensores miden las condiciones ambientales, como la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa.

Un registro completo del sensor remoto sobre un vehículo contiene la siguiente información:

- Grado de concentración de cada especie o tipo de emisión, medido proporcionalmente por referencia al exceso de CO₂ en el aire



Fuente: ICCT, 2017

Figura 1. Configuración de las tres unidades del sensor remoto. Arriba se aprecia el sensor remoto horizontal, con la fuente de luz y el sensor a un lado de la vía y un espejo al lado opuesto, los sensores de velocidad y aceleración, y la cámara que registra la matrícula. Abajo se muestra el sensor remoto vertical (EDAR).

- Velocidad y tasa de aceleración del vehículo
- Condiciones de medición: pendiente de la vía, temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa
- Descripción y especificaciones del vehículo: marca, modelo, categoría, año-modelo, tipo y tamaño de carrocería, tipo de combustible, tamaño del motor, norma de emisiones que cumple, valores de CO₂ de certificación y masa del vehículo vacío.

Actualmente hay dos grandes proveedores de equipos de sensor remoto y servicios de medición en Estados Unidos y la Unión Europea: Hager Environmental and Atmospheric Technologies (HEAT) y Opus Inspection.¹ Si bien ambas han desarrollado sistemas que cumplen con los principios generales descritos arriba, se observan diferencias considerables en la forma de medir las emisiones. La más evidente, ilustrada en la Figura 1, es la colocación de la fuente de luz y de los sensores con respecto a la vía. La generación actual del sistema Opus, llamada RSD5000, se basa en una geometría cruzada, donde el instrumento se instala a un costado de la vía y el haz de luz atraviesa la pluma de gases de escape de forma horizontal. En contraste, el sistema HEAT EDAR se instala por encima de la vía para que el haz de luz atraviese la pluma de forma vertical. Desde un punto de vista práctico, la geometría vertical del instrumento EDAR facilita las mediciones en vías con múltiples carriles, con lo cual este método depende menos de la altura y la orientación de los tubos de escape. Por otro lado, la portabilidad y la configuración lateral del sistema RSD5000 permite una instalación relativamente rápida, y por consiguiente es más versátil. El sistema HEAT EDAR también se distingue del Opus RSD5000 por usar un láser como fuente de luz. Como el láser hace un barrido de todo el ancho de la vía, se realizan mediciones de toda la pluma de los gases de escape de los vehículos. No obstante, el sistema EDAR se comercializa desde hace poco tiempo, mientras que la tecnología Opus se usa desde hace ya varias décadas.

En China está surgiendo un mercado de tecnología del sensor remoto, impulsado por iniciativas del gobierno nacional y los gobiernos locales, para crear redes de medición con sistemas de sensor remoto para los programas de control de emisiones vehiculares, y los fabricantes locales han desarrollado sus propios sistemas para atender esta creciente demanda.

ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS POR EL SENSOR REMOTO

En comparación con los ensayos realizados con los sistemas de medición portátiles (PEMS), cada registro del sensor remoto proporciona una cantidad limitada de datos sobre las emisiones de un vehículo. Esto se debe a que la muestra que toma el sensor remoto dura menos de un segundo y las emisiones registradas

son representativas de una sola condición de manejo, definida en términos de la pendiente de la vía y de velocidad y aceleración del vehículo. Una medición tomada por el sensor remoto es comparable a un segundo de datos obtenidos en un ensayo PEMS, que en cambio puede prolongarse varias horas.

Esta corta duración debe considerarse una característica del método del sensor remoto y no una limitación. Es un método que permite medir las emisiones reales de una gran cantidad de vehículos en un periodo corto a un costo relativamente bajo: un sensor remoto puede medir las emisiones de miles de vehículos en un día. Si bien cada medición es únicamente una muestra breve de las emisiones de cada vehículo, la totalidad de las muestras proporciona información muy detallada sobre las emisiones no solo de la flota analizada sino de determinados subgrupos de dicha flota. Si se realizan mediciones con el sensor remoto en distintos lugares de una zona urbana, o incluso en zonas geográficas con características diferentes y flotas similares, el conjunto de datos obtenidos puede ofrecer un panorama muy completo de las emisiones reales de los vehículos en un amplio intervalo de condiciones ambientales y de manejo.

El resultado directo de una medida con el sensor remoto es la concentración de un determinado elemento contaminante respecto a la concentración de CO₂ en la pluma de gases de escape. Este valor suele convertirse en un factor de emisión específico para cada combustible, y corresponde a la masa de contaminante emitida en proporción a la masa de combustible quemado (gramos por kilogramo de combustible: g/kg). Se han desarrollado métodos específicos para convertir factores de emisión por combustible en tasas de emisión por distancia (gramos por kilómetro: g/km) con el fin de comparar las cifras obtenidas con los límites normativos y los modelos de factores de emisiones. Hasta ahora, estos modelos se han aplicado únicamente a muestras agregadas de registros del sensor remoto de grupos de vehículos específicos, y no a las muestras individuales de un vehículo.

En efecto, en la mayoría de los análisis de los datos obtenidos con el sensor remoto se consolidan los registros de las emisiones vehiculares individuales para evaluar las emisiones de determinadas categorías de vehículos, definidas, por ejemplo, por tipo de vehículo, tipo de combustible, norma de emisiones, año-modelo, fabricante y modelo o familia del vehículo. De haber datos suficientes, también se puede analizar cómo las emisiones de cada subgrupo varían en función de la carga del motor o la temperatura ambiente. En general, mientras más fino sea el análisis se requieren más datos para producir resultados robustos en términos estadísticos. Por ejemplo, se requieren muchos más datos para evaluar la tasa de emisión promedio de automóviles diésel de pasajeros Euro 6 de una marca específica que para comparar las emisiones promedio de automóviles diésel y de gasolina, también de pasajeros, que circulan en una determinada zona urbana.

¹ Opus Remote Sensing Europe (RSE) es la filial europea de Opus Inspection.

Para medir las emisiones reales de los vehículos motorizados se pueden usar tanto el sensor remoto como los sistemas PEMS; ambos tienen sus ventajas. Por ejemplo, el sensor remoto es un método poco costoso para identificar un defecto sistemático en un componente del sistema de control de emisiones de un determinado modelo de automóvil al detectar incrementos bruscos en las emisiones de miles de vehículos de ese modelo una vez que alcanzan los 50 000 kilómetros. Los dispositivos PEMS, en cambio, pueden ayudar a las entidades reguladoras a detectar una alteración fraudulenta en los controles de emisiones de un modelo específico de automóvil a partir de cierta temperatura de funcionamiento; para ello, basta con realizar mediciones exhaustivas a una pequeña muestra de dicho modelo y demostrar que todos los vehículos analizados presentan exactamente la misma variación en el mismo momento y en las mismas condiciones de funcionamiento. Estos ejemplos muestran cómo se puede desarrollar un programa de mediciones más completo combinando sistemas PEMS y el sensor remoto.

APLICACIONES DEL SENSOR REMOTO

Al permitir que los investigadores y otras partes interesadas recaben datos de emisiones de una amplia variedad de vehículos de manera eficiente en términos de costos, los sistemas de sensor remoto son útiles para distintos tipos de programas de mejora, políticas y decisiones relacionados con la calidad del aire. En este apartado se brinda un resumen de las aplicaciones para las cuales los sistemas de sensor remoto son idóneos y se detallan nueve grandes categorías de aplicaciones posibles, algunas de ellas ya usadas actualmente.

Identificación de vehículos con emisiones bajas o elevadas. Se puede usar el sensor remoto para identificar vehículos cuyo sistema de control de emisiones probablemente esté defectuoso o haya sido adulterado. Asimismo, es posible identificar vehículos cuyo sistema de control de emisiones tenga altas probabilidades de estar funcionando correctamente. Esta aplicación puede servir para apoyar y mejorar la precisión y la cobertura de los programas existentes de inspección técnica periódica, los programas de inspección vial o los programas de “clean screen” o validación de vehículo limpio que permiten la exención de la prueba de recertificación periódica para aquellos vehículos cuyas emisiones se encuentren dentro de un determinado intervalo.

Mejoramiento de los modelos de emisiones y de la calidad del aire. Se puede usar el sensor remoto para generar estadísticas de emisiones reales con distintos grados de detalle. Dependiendo de la disponibilidad de datos, se pueden generar factores de emisiones para distintas categorías de vehículos, como son: flota general promedio, tipo de vehículo (por ejemplo, liviano o pesado), tipo de combustible (por ejemplo, de gasolina o diésel), norma de emisiones (por ejemplo, Euro 5 o Euro 6), fabricante o marca (por ejemplo, Volkswagen o Renault), familia de vehículo (todos los vehículos con el mismo motor) o modelo de vehículo.

Los factores de emisiones reales pueden usarse como insumo en distintos modelos de emisiones, herramientas de pronóstico de la calidad del aire o modelos de tráfico, y contribuirían a mejorar considerablemente la precisión de los resultados de dichos modelos.

Definición de políticas públicas. Las autoridades locales, regionales, nacionales y de la Unión Europea buscan desarrollar o mejorar sus políticas públicas, y los datos obtenidos mediante sistemas de sensor remoto podrían ser de gran ayuda. Por ejemplo, las ciudades que estén considerando la adopción de una zona de bajas emisiones o de restricción vehicular pueden usar este tipo de datos para predecir la eficacia de distintos tipos de política. Asimismo, los gobiernos que busquen adoptar programas de chatarrización y renovación pueden identificar los vehículos más contaminantes para obtener los mejores resultados posibles. Y quienes redacten las normas que regulan las emisiones para los nuevos vehículos pueden usar datos de emisiones reales para identificar las limitaciones o fallas de la normativa vigente.

Seguimiento de la eficacia de las políticas públicas. Los datos del sensor remoto pueden ayudar a determinar si las políticas adoptadas producen los efectos esperados; por ejemplo, si un plan de cobro por congestión o toxicidad implementado por alguna ciudad generó reducciones cuantificables en la contaminación.

Seguimiento de la eficacia de la tecnología. Existen distintas tecnologías que podrían tener un impacto considerable en las emisiones reales, como las nuevas tecnologías de control de emisiones (por ejemplo, los filtros de partículas de diésel con sistemas SCR y los filtros de partículas de gasolina), los nuevos tipos de tren motriz (híbridos e híbridos enchufables) y los nuevos combustibles (gas natural). Y como la eficacia de la tecnología puede cambiar con el tiempo y el uso, pueden utilizarse los datos del sensor remoto para hacer un seguimiento de dicha evolución.

Análisis de flotas. El monitoreo del mercado—a través de la identificación de los modelos o familias de vehículos que no cumplen con las normas de emisiones—es parte de los esfuerzos de aplicación y cumplimiento de la normativa vigente. El sensor remoto puede servir para analizar el parque automotor e identificar los modelos de vehículos que apunten a una alta probabilidad de incumplimiento de la normativa (debido, por ejemplo, a la instalación de un dispositivo de adulteración de datos, a una falla de fábrica o a problemas de durabilidad) y que requieran la realización de ensayos más detallados con sistemas PEMS u otros métodos.

Monitoreo de flotas específicas. El sensor remoto puede ser usado por propietarios de flotas particulares o públicas para hacer un seguimiento de la salud de sus flotas, por ejemplo, instalando un sensor remoto que tome muestras de los gases de escape a lo largo de varios días, semanas o meses, y usando los datos recolectados para identificar los vehículos más contaminantes que deben ser reparados o sustituidos.

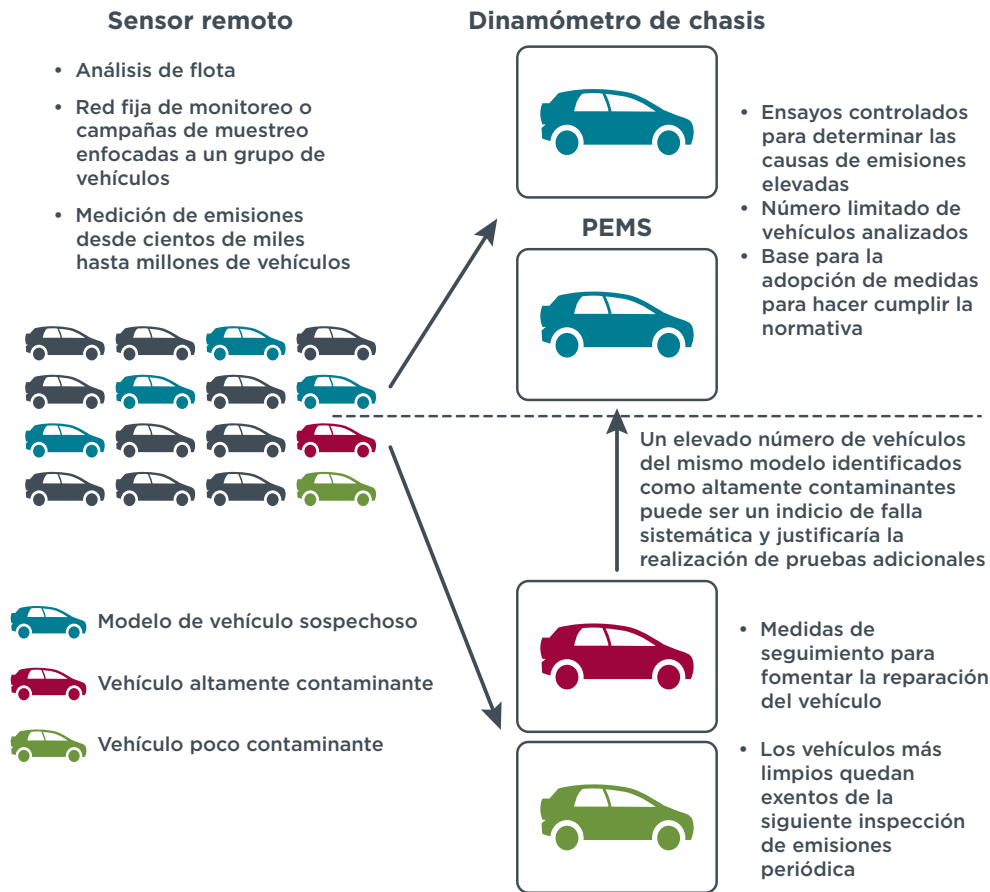


Figura2. Diagrama conceptual de las posibles aplicaciones del sensor remoto en un programa exhaustivo de control de emisiones vehiculares

Comprensión del impacto de determinadas condiciones de manejo. Ciertas condiciones de manejo, como la velocidad, la temperatura ambiente, la altitud y la pendiente de la vía pueden incidir en las emisiones reales. Algunas ciudades o regiones pueden presentar condiciones de manejo específicas (como pendientes más pronunciadas, temperaturas más extremas o mayor altitud) que se traducen en perfiles de emisiones diferentes del promedio. Así, se puede usar el sensor remoto para determinar cómo esas condiciones de manejo inciden en las emisiones.

Informar decisiones de compra. La disponibilidad de información acerca de las emisiones reales de un determinado modelo o marca de vehículo puede influir en las decisiones de compra tanto a pequeña escala (consumidores individuales) como a gran escala (por ejemplo, en el caso de compras de flotas de autobuses municipales). Los sistemas de sensor remoto pueden proporcionar ese tipo de información.



Este caso de estudio se basa en un análisis de la base de datos de sensor remoto de la Iniciativa TRUE de Estados Unidos.

Para más información, ver:

“Remote sensing of heavy-duty vehicle emissions in the United States”
<https://theicct.org/publications/true-us-database-hdv-emissions-oct2020>