

ANALISIS DE LA NORMATIVA COLOMBIANA RELATIVA A LAS MEDICIONES Y LOS CONTROLES DE RUIDO AUTOMOTOR UTILIZANDO EL METODO DE PRUEBA CON VEHICULO EN ESTADO ESTACIONARIO

Autor:

CAMILO ARTURO ESPINOSA ORTIZ

Tutor:

FERNANDO ORTIZ



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN PLANEACION AMBIENTAL Y GESTION INTEGRAL DE
RECURSOS NATURALES
2017**

ANÁLISIS DE LA NORMATIVA COLOMBIANA RELATIVA A LAS MEDICIONES Y LOS CONTROLES DE RUIDO AUTOMOTOR UTILIZANDO EL MÉTODO DE PRUEBA CON VEHÍCULO EN ESTADO ESTACIONARIO

ANALYSIS OF THE COLOMBIAN LEGISLATION RELATIVE TO MEASUREMENTS AND CONTROLS OF VEHICLES ROAD NOISE USING TESTS BY STATIONARY CONDITION

Camilo Arturo, Espinosa Ortiz

Ingeniero de Sonido; Especialista en Higiene y Salud Ocupacional, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, caeo60@hotmail.com

RESUMEN

En este artículo se realizó un análisis a la normativa colombiana sobre la manera en la cual se debe medir el ruido generado por vehículos automotores en estado estacionario, para lo cual, se revisó también parte de la normativa internacional. Adicionalmente, se evaluó un estudio contratado por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esto con el fin de generar recomendaciones que puedan ser tenidas en cuenta en el momento de emitir una legislación que permita controlar de manera efectiva la contaminación sonora.

En la revisión mencionada, se encontró que la metodología utilizada para la medición de ruido de vehículos automotores en estado estacionario, internacionalmente, está basada principalmente en la norma ISO 5130 de 2007 y si bien, establecen que ésta puede ser utilizada en controles periódicos en vía, tiene la limitante de que solo puede realizarse al aire libre. No obstante, el estudio contratado por el MAVDT, propone unas condiciones acústicas en los Centros de Diagnóstico Automotor, que permite realizar éstas mediciones en espacios cerrados.

Por último, se analizaron los niveles máximos permisibles propuestos por el estudio encontrando que éstos están basados en una muestra no significativa en cuanto a cantidad y variedad de vehículos, por lo cual, se hace necesaria la realización de una nueva investigación que involucre un número mayor de automotores y se tengan en cuenta otro tipo de marcas.

Palabras clave: Nivel de Presión Sonora, Ruido, Prueba en Estado Estacionario, Ruido Vehicular, Vehículo Automotor.

ABSTRACT

In this paper an analysis was made to the Colombian regulations about the way to measure the noise generated by vehicles under stationary condition, for which, a part of the international regulation was also reviewed. Besides, a study contracted by the Ministry of Environment was evaluated. This, in order to generate recommendations to be used in a new legislation that allows effective control of noise pollution.

In the aforementioned review, it was found that the methodology used for the measurement of vehicles road noise under stationary condition, internationally, is based mainly on ISO standard 5130: 2007, and although, they establish that it can be used in periodic controls on road, has the limitation that it can only be done outdoors. Nevertheless, the study contracted by the MAVDT, proposes acoustic conditions in the Centers of Automotive Diagnosis, allowing realizing these measurements indoors.

Finally, the maximum permissible levels proposed by the study were analyzed, finding that these are based on a non-significant sample in terms of quantity and variety of vehicles, which makes it necessary to carry out a new investigation involving a larger number and other types of brands are taken into account.

Keywords: sound level pressure, noise, test under stationary condition, vehicles road noise, vehicles road.

INTRODUCCIÓN

El ruido es un contaminante que produce impactos afectando la calidad, tanto del ambiente, como de vida de los seres humanos. Es decir, una fuente sonora puede afectar la composición y la estructura de un ecosistema en la medida en que posiblemente genere migración de especies animales que intenten alejarse de sonido fuertes, modificando incluso la cadena trófica. Esto, por no hablar de los efectos negativos que esta situación puede crear en los individuos que no realicen dicha migración [1].

Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud – OMS (1999), menciona que:

en el ser humano, la exposición a altos niveles de presión sonora, durante largos tiempos de exposición, puede generar alteraciones fisiológicas y psicológicas tales como impedimentos auditivos, incremento de la presión sanguínea y de los latidos del corazón, (...) vasoconstricción, cambios en respiración, arritmia cardiaca, isquemia cardiaca, resistencia vascular periférica, cambios en la viscosidad de la sangre y de los lípidos, cambios en el balance electrolítico y [cambios] hormonales [2]

La causa principal de la contaminación acústica recae principalmente en el flujo vehicular [3] puesto que, al ser generado por fuentes móviles abarcan casi la totalidad de las áreas urbanas. Sobre todo si se tiene en cuenta que en Colombia, especialmente en Bogotá, el parque automotor ha aumentado de manera vertiginosa en los últimos años [4], situación con la cual el tráfico es cada vez más denso generando problemas de movilidad y de contaminación.

Adicionalmente, existen otros agravantes como el alto deterioro de la malla vial, presencia de obras permanentes sobre las vías, una inadecuada semaforización [5], vehículos viejos, en mal estado o con modificaciones tendientes a aumentar el ruido

que producen (por ejemplo, los frenos de aires de las busetas o la instalación de resonadores en carros y motocicletas).

Este problema implica la creación de una norma que permita controlar de manera eficiente la emisión de ruido de automotores con el fin de disminuir el nivel de presión sonora en las calles y carreteras del país mejorando la salud y la calidad de vida de las personas que habitan en las cercanías de estas vías.

De esta manera, en 1983 el Ministerio de Salud expidió la Resolución 8321 la cual estableció niveles máximos permisibles para ruido generado por automotores, sin embargo, propone un método para ser medido el cual carece de la definición de variables como por ejemplo la revolución a la cual estará el vehículo durante la medición, ubicación del micrófono, condiciones de ruido de fondo, etc. [6].

Posteriormente, en 2005 el Ministerio de Transporte y el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, emitieron la Resolución 3500 en la cual exigieron a los Centros de Diagnóstico Automotor realizar mediciones de ruido emitido por vehículos automotores y motocicletas en estado estacionario la cual deberían registrar y almacenar en forma sistematizada [7].

La idea era que esta información fuera utilizada por el MAVDT con el fin de crear una norma en la cual se establecieran los niveles máximos permisibles. No obstante, si bien había un requerimiento normativo de obtener esta información, no había una metodología de medición que arrojara resultados comparables, repetibles y reproducibles.

Entre tanto, en la Resolución 0627 de 2006, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se comprometió a fijar las normas y los estándares máximos permisibles de emisión de ruido. Para esto se fijó como meta un año a partir de la expedición de la resolución para las pruebas en estado estacionario y dos años para las mediciones con el vehículo en movimiento [8]. Adicionalmente reiteró la obligación de los Centros de Diagnóstico Automotor de realizar mediciones de nivel de presión sonora a los vehículos. Sin embargo, esta norma tampoco estableció la metodología de medición.

Entre los años 2010 y 2011, el MAVDT, contrató a una firma consultora con el fin de determinar el método de medición y los estándares máximos permisibles de emisión de ruido de vehículos automotores. El resultado de este, fue un estudio en el cual se propuso la aplicación de la norma ISO 5130 como método de medición cuando el vehículo se encuentra al aire libre.

Adicionalmente, el estudio, en el cual participó el autor de este artículo, propuso unas condiciones de aislamiento y acondicionamiento acústico que permitieran realizar mediciones en espacios cerrados de tal forma que fuera posible eliminar el efecto de reflexión propio de los recintos con superficies cercanas al lugar de medición. Por último, planteó una categorización de los vehículos automotores dependiendo de su

capacidad de carga y de su año modelo, asignando a cada una de ellas unos niveles máximos permisibles.

No obstante, y pasados 5 años de la realización de dicho estudio, y de 10 años de emitida la Resolución 0627, aún no se ha generado una norma que reglamente el método de medición ni los niveles máximos permisibles. Lo anterior, implica que aún no se han tomado medidas concretas encaminadas a reducir los niveles de presión sonora generados por automotores, y por tanto, los problemas de contaminación auditiva en las ciudades continúan.

Es así como en este artículo se analizan las propuestas normativas y procedimentales con el fin de realizar recomendaciones y poder contribuir con el desarrollo de una norma viable y efectiva. Para esto, se realiza una revisión normativa legal y técnica en Colombia sobre la medición y control de ruido generado por automotores utilizando la prueba de vehículo en estado estacionario comparándola con reglamentaciones internacionales. Posteriormente, se estudia el estudio contratado en 2011 por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, se analiza la información presentada y por último se presentan las conclusiones finales.

Dada la complejidad de la realización de pruebas con los vehículos en movimiento y a que en el país estas mediciones no han tenido desarrollo normativo, este artículo se centra exclusivamente en la emisión de ruido con el automotor detenido como una manera de emular su generación de niveles de presión sonora cuando éste se encuentra en movimiento.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de contribuir con la generación de recomendaciones para generar una normativa viable y efectiva en materia de medición de ruido vehicular es necesario realizar una revisión a la normativa internacional, ya sea técnica o legal. Posteriormente, se analiza el estudio contratado en 2011 por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial para luego analizar la información obtenida y emitir las conclusiones finales.

1.1 NORMATIVA NACIONAL E INTERNACIONAL RELATIVA A LA MEDICIÓN DE RUIDO AUTOMOTOR UTILIZANDO EL MÉTODO ESTACIONARIO

Con el fin de determinar el nivel de presión sonora generado por un vehículo automotor, es necesario determinar un método que arroje resultados comparables, repetibles y reproducibles. Es decir, no se obtendrán los mismos datos si el micrófono se ubica frente al escape del vehículo que si se sitúa frente al capó de mismo. A su vez, el ruido emitido será muy diferente si el automotor se encuentra en ralentí o si se revoluciona al máximo.

Por tal motivo, es indispensable obtener un método unificado en el cual se tengan en cuenta aspectos tales como: ubicación del micrófono, revolución del motor, la cual, a

su vez, depende del tipo y la capacidad del vehículo, nivel del ruido de fondo, condiciones espaciales como la cercanía de superficies reflectivas, etc.

Es por esto, que la mayoría de las normas internacionales se han basado en los métodos establecidos por la ISO 362 Acústica – Medición de Ruido Emitido por Vehículos en Aceleración y la ISO 5130 Acústica – Medición de Ruido Emitido por Vehículos detenidos. Cabe tener en cuenta que la aplicación de pruebas con el automotor en movimiento está definida para homologación entre diferentes países, mientras que los test con el automotor detenido se utilizan básicamente para controles periódicos [9].

Así las cosas, a continuación se presentan los aspectos más relevantes de la norma ISO 5130 y posteriormente, se enuncian las principales características de la normativa aplicada en diferentes países, tanto en Latinoamérica, como en Estados Unidos, Japón y Europa. Esta información es tomada y actualizada de un estudio realizado por una firma consultora en 2011, contratada por el MAVDT, y cuyo fin era el de determinar un método de medición y establecer los niveles máximos permisibles, exigencia hecha por la Resolución 0627 de 2006.

1.1.1 Norma ISO 5130-2007

La norma ISO 5130 Acústica – Medición del Ruido Emitido por Vehículos Detenidos, establece un método para la medición de los niveles de presión sonora del escape de los vehículos. Es de anotar, que ésta norma tiene una traducción en Colombia mediante la NTC 4194, la cual es idéntica por traducción.

Esta norma, por su carácter técnico al igual que todas las ISO, solamente establece un método de medición, pero no menciona ni propone unos niveles máximos permisibles de nivel de presión sonora para automotores.

En términos generales, tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- **Equipos de medición:**

Sonómetro tipo 1, o cualquier otro dispositivo que cumpla con la norma IEC 61672-1. Las mediciones se deben hacer en ponderación de frecuencia “A” y ponderación de tiempo “Fast”. Este se debe calibrar al comienzo y al final de cada medición, con un calibrador según la norma IEC 60942, la diferencia entre las lecturas de 2 verificaciones consecutivas, debe ser inferior o igual a 0.5 dB. Se deben tener certificados de conformidad vigentes por 12 meses para el calibrador, y de 24 meses para el micrófono [10].

- **Sitio**

El lugar donde se realizan las mediciones debe ser un espacio abierto libre de superficies reflejantes en un radio de tres metros del sonómetro y cualquier punto del vehículo. El suelo debe ser plano, de concreto nivelado, asfalto denso o material de dureza similar, libre de grasa, tierra suelta, cenizas, y cualquier material absorbente. El sitio puede ser reemplazado por una cámara semi-anecoica.

- **Condiciones ambientales**

Durante las mediciones de ruido, se debe tener en cuenta que la velocidad del viento no puede superar los 5m/s. A su vez, no se deben realizar las pruebas en presencia de lluvia, llovizna o cuando el piso se encuentre húmedo. El ruido de fondo debe encontrarse por lo menos 10dB por debajo del nivel de presión sonora que se va a medir.

- **Colocación y preparación del vehículo**

El vehículo automotor debe estar en neutro, con el aire acondicionado apagado, la cubierta del capó cerrada y la temperatura del motor debe estar condiciones normales según lo especifique el fabricante. En el caso de las motocicletas que no son automáticas, su rueda trasera debe estar levantada.

- **Posición del micrófono**

El micrófono debe estar a 0.5 metros del punto de referencia del tubo con un ángulo de 45° en el plano del vertical que contiene el eje de flujo de la terminación del tubo. Debe estar a la altura del punto de referencia, pero no a menos de 0.2 metros del suelo. Los puntos de referencia del escape se muestran en la Figura 1; las posiciones del micrófono para automóviles, camionetas y camiones en la Figura 2 y las para motocicletas en la Figura 3.

Si el vehículo tiene dos salidas conectadas al mismo silenciador, y separadas no más de 0.3 metros, se debe realizar solo una medición, el micrófono se ubica en relación con la salida más alejada de la línea central longitudinal del vehículo, o con la más alta. Para vehículos con salidas separadas más de 0.3 metros se deben hacer mediciones individuales, el nivel más alto será tomado como el resultado final.

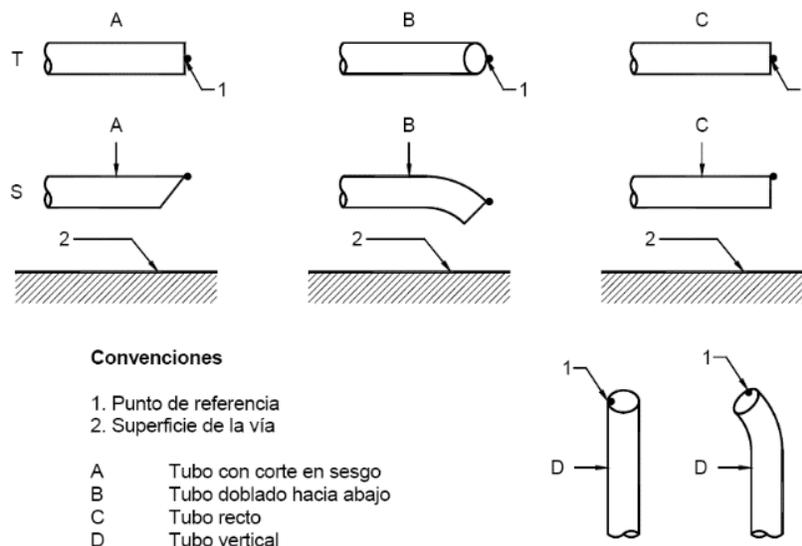


Figura 1 Puntos de referencia dependiendo del tubo de escape.

Fuente: ISO 5130-2007 [10]

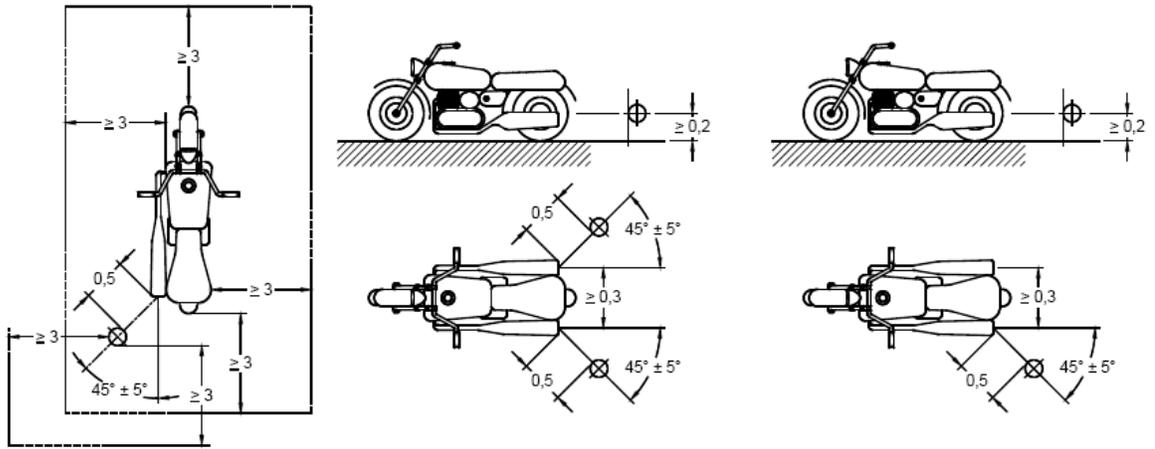


Figura 2 Posiciones de micrófono para motocicletas.
Fuente: ISO 5130-2007 [10]

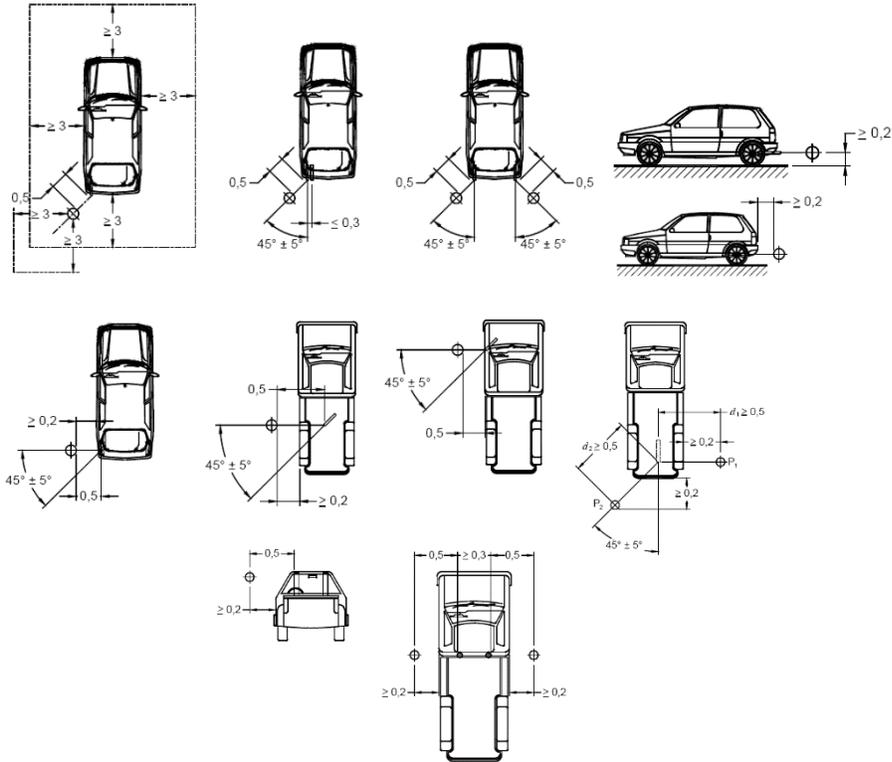


Figura 3 Posiciones de micrófono para a
Fuente: ISO 5130-2007 automóviles, camionetas y camiones [10]

- **Velocidad objetivo del motor**

La velocidad objetivo hace referencia a las revoluciones a las cuales se acelera el vehículo al momento de la toma de la medición, dependen del tipo del automotor así como de la velocidad nominal del motor S y está determinada por la tabla 1. Cabe aclarar que la velocidad nominal del motor son las revoluciones a las cuales éste desarrolla su máxima potencia.

Tabla 1 Velocidad Objetivo del Motor

Categoría del vehículo	Velocidad objetivo del motor	Velocidad nominal del motor (S)
Motocicleta	75% de la velocidad nominal del motor	≤ 5000 rpm
	50% de la velocidad nominal del motor	> 5000 rpm
Automóvil, camioneta o camión	75% de la velocidad nominal del motor	≤ 5000 rpm
	3700 rpm	5000 < S < 7500
	50% de la velocidad nominal del motor	> 5000 rpm

Fuente: elaboración propia, 2016

- **Procedimiento de la medición y toma de resultados**

La velocidad se debe incrementar gradualmente de ralentí hasta la velocidad objetivo, manteniéndola constante sin exceder una tolerancia de 5%, a continuación, se libera rápidamente el acelerador hasta retornar a ralentí. El nivel de presión sonora se mide durante al menos 1 segundo a velocidad de motor constante, y durante el proceso de desaceleración, el resultado es el nivel máximo medido, si tiene sistema de escape multimodal, y modo de escape manual, se ensayan con el interruptor en todas las posiciones.

El máximo nivel de presión sonora ponderado A se redondea a la primera cifra antes del decimal, la prueba se repite hasta obtener 3 mediciones consecutivas sin diferencias de más de 2 dB entre sí. El resultado es el promedio aritmético de las 3 mediciones válidas.

1.1.2 Unión Europea

En la Unión Europea, se establece el método para la medición de ruido de vehículos en estado estacionario en la Directiva 92/97CEE. Si bien, en términos generales, las condiciones para la realización de las pruebas son muy similares a la ISO 5130-2007, esta norma tiene varias diferencias entre las cuales se destaca que la velocidad objetivo del motor son las tres cuartas partes de la velocidad nominal del motor.

Adicionalmente, el resultado de la medición es el nivel máximo de las tres capturas, a diferencia de la ISO 5130 para la cual el dato a tener en cuenta es el periodo aritmético de las tres tomas. Por último, cabe resaltar que utiliza una clasificación distinta basándose en el uso de los vehículos, transporte particular, público o de carga, la cantidad de asientos, el peso y la potencia del motor.

A su vez, esta norma establece niveles máximos permisibles clasificando los vehículos dependiendo de su uso, de su peso, su capacidad de carga y de la potencia de su motor con valores que varían desde 74dBA hasta 80dBA, siendo los valores bajos para automotores con menor potencia, menor peso y menor capacidad de carga y los altos para vehículos cuyas características mencionadas son superiores.

1.1.3 Japón

En Japón la norma que establece el método de medición de nivel de presión sonora de vehículos es la JIS D 1026 de 1987 la cual tiene un contenido idéntico a la ISO 5130-2007. A su vez, los niveles máximos permisibles fueron establecidos en 2004 por el Concejo de Medidas Contra la Contaminación producida por el Ruido de los Escapes de los Automotores. La clasificación utilizada para este fin está basada en el tipo de uso, la capacidad y la potencia.

1.1.4 Brasil

En Brasil se encuentra la norma NBR 9714:1987 que describe una prueba para todo tipo de vehículos en condición estacionaria y si bien, no es una traducción literal, es técnicamente equivalente a la ISO 5130-2007. Así mismo, la Resolución 272 de 2000 establece los niveles máximos permisibles teniendo en cuenta el tipo de uso, la capacidad, la potencia y el tipo de combustible que utilizan los automotores.

1.1.5 Estados Unidos

En Estados Unidos existen tres normas técnicas que establecen los métodos de medición de ruido vehículos en estado estacionario siendo éstas la SAE J1169, SAE J1492 para vehículos ligeros y la SAE J1287 para motocicletas. Ninguna de éstas tres establece niveles máximos permisibles.

Las diferencias principales con la ISO 5130-2007 son: no deben existir superficies reflejantes a menos de 5 metros; las mediciones: se repiten hasta obtener 2 seguidas con máximo 2 dB de diferencia; el motor se acelera hasta $\frac{3}{4}$ de su velocidad nominal, se desacelera lentamente, no especifica tiempo que se debe mantener en este estado ni tolerancia y la velocidad del viento debe ser menor a 9 m/s.

La norma SAE J1492 añade una prueba en la cual se hace un barrido que consiste en acelerar lentamente el automotor durante 15 segundos hasta alcanzar la velocidad máxima del motor, esta se mantiene durante dos segundos y luego se suelta el acelerador bruscamente. Al medir durante todo el ciclo se espera detectar posibles resonancias en el sistema de escape que afecten los niveles de ruido emitidos.

Adicionalmente, tanto los estados de California y Connecticut tienen normas estatales cuyos métodos tienen variaciones significativas y a su vez, establecen niveles máximos permisibles de ruido para vehículos automotores.

- **California**

En el estado de California, en su código vehicular división 2, capítulo 5, se establece una revisión visual del escape del automotor. Adicionalmente, especifica niveles máximos permisibles para motocicletas, automóviles y vehículos de carga clasificados por su peso bruto.

En cuanto al método de medición, menciona que se debe llevar a cabo a 50 pies (15,24m) desde la línea central longitudinal del vehículo. Se debe acelerar el vehículo desde ralentí hasta la velocidad gobernada, la transmisión en neutro y el embrague, si tiene, activado.

- **Connecticut**

En Connecticut la norma 14-80^a de 1980, generada por el Departamento de Vehículos a Motor del estado establece procedimientos de medición de nivel de presión sonora para ser utilizado en inspecciones en vía y por tanto especifica niveles máximos permisibles. Sin embargo, presenta varias diferencias con la ISO 5130-2007 a saber:

Instrumentos: el medidor de presión sonora debe cumplir con los requerimientos hechos por la ANSI 1.4-1971. El anemómetro debe tener un rango de hasta 9m/s y una tolerancia de 10%.

Sitio de medición: tiene un radio de 15m y se encuentra en medio de un carril de una carretera.

Posición de micrófono: se ubica un punto de destino del micrófono a 0,91m del escape sobre la línea central longitudinal del mismo. El micrófono se ubicará entre los 10,7m y los 25,3m del punto de destino del micrófono en una línea perpendicular con respecto a la línea central del carril sobre el cual se estacionará el vehículo.

Procedimiento: Con el motor en neutro se acelerará rápidamente hasta el máximo y se desacelerará inmediatamente hasta volver a la posición de ralentí. Si el vehículo está dotado con un control de gobernación, se mantendrá acelerado hasta alcanzar la velocidad de gobernación. Esta acción se hará dos veces.

Resultados: Se toma el mayor valor medido durante cada aceleración y el resultado es el promedio de las dos aceleraciones.

La clasificación para el establecimiento de niveles máximos permisibles está basada en el peso del vehículo y en su año modelo. Llama la atención que, en cuanto a la antigüedad, establece una división entre automotores fabricados antes y después del 1 de enero de 1979 para todas las categorías. De la misma manera ocurre con las motocicletas.

1.1.6 México

En México la NOM-080 de 1994 establece los niveles máximos permisibles de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y vehículos

motorizados en circulación y su método de medición el cual presenta grandes similitudes con la ISO 5130-2007, sin embargo, tiene las siguientes diferencias:

Sitio: puede ser un espacio cerrado siempre y cuando el techo se encuentre a más de 3 m del techo del vehículo. Si el vehículo tiene una masa superior a 10000 Kg el lugar de medición no deberá tener techo reflejante.

La Posición del micrófono cambia dependiendo del tipo de vehículo: para automóviles estará a 1 metro de la salida final del escape, a una altura no inferior a 0.5 metros del suelo y para motocicletas y triciclos motorizados a 0.5 metros de la salida final del escape, a una altura no inferior a 0.5 metros del suelo.

Las condiciones operativas del motor cambian dependiendo del combustible de consumo y del tipo de vehículo de la siguiente manera:

- Para vehículos que consumen gasolina, gas licuado de petróleo (gas LP), gas natural y otros combustibles alternos, se acelera sin brusquedad hasta obtener 2500 rev/min.
- Para vehículos que consumen diesel como combustible, se acelera el motor sin brusquedad hasta que actúe el gobernador del mismo.
- Para motocicletas y triciclos motorizados, se acelera el motor sin brusquedad hasta obtener una velocidad que corresponda a $\frac{1}{2}$ de la gobernada si esta es mayor a 5000 rev/min, y $\frac{3}{4}$ de la velocidad gobernada si esta es menor a 5000 rev/min.

El resultado será el promedio de los niveles mayor y menor de los tres medidos.

Para establecer los niveles máximos permisibles, se utiliza una clasificación basada en el peso bruto del vehículo, para automóviles y carga, y el cilindraje del motor para el caso de las motocicletas.

1.1.7 Colombia

En Colombia, si bien se ha establecido la necesidad de generar una normativa tendiente a medir el ruido generado por vehículos automotores en estado estacionario, solamente se cuenta con la norma NTC 4194, la cual, como se mencionó anteriormente, es una traducción literal de la ISO 5130-2007 y no presenta niveles máximos permitidos.

A su vez, se cuenta con la Resolución 8321 de 1983 la cual establece que “Ninguna persona ocasionará o permitirá la operación vehículos de motor, motocicletas o cualquier otro similar, en las vías públicas y en cualquier momento, de tal forma que los niveles de presión de sonidos emitidos por tales vehículos [6]”. Para tal fin hace una clasificación de automotores basados en su peso.

Además de establecer lo niveles máximos permisibles, presenta un método para su medición el cual se aplica para vehículos detenidos o en movimiento a una velocidad de 50km por hora. Adicionalmente, tiene en cuenta las siguientes consideraciones para realizar la prueba:

El sitio de medición debe ser al aire libre sin superficies reflectantes a menos de 20m de radio del micrófono ni del vehículo.

Se utiliza un medidor de nivel sonoro calibrado, en respuesta rápida con filtro de ponderación A y con el micrófono colocado a 1,2m de altura sobre el nivel del piso y a una distancia de 7,5m.

El ruido de fondo debe ser inferior 10dB(A) con relación al nivel medido.

La trayectoria por donde transite el vehículo en prueba debe ser uniforme, construida preferiblemente en concreto o asfalto.

Por último, la Resolución 8321 prohíbe que se retiren los silenciadores de los vehículos, así como instalar en los conductos de escape cualquier dispositivo que genere más ruido que el que produciría normalmente.

1.2 ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE RUIDO DE VEHÍCULOS EN ESTADO ESTACIONARIO Y NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES

En el año 2011, el entonces Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT contrató a una empresa con el fin de determinar un método por medio del cual se pudieran realizar mediciones de ruido vehicular. Si bien, en dicho documento se analizaron las pruebas con los automotores detenidos y en movimiento, como se mencionó anteriormente, en este artículo se trata solamente la prueba con vehículos detenidos.

Dicho estudio tuvo las siguientes etapas:

Revisión de la normativa internacional relativa a la medición de ruido emitido por vehículos automotores en estado estacionario.

Revisión de la información recogida por los Centros de Diagnóstico Automotriz CDA y entregada al MAVDT.

Medición en vía de 280 vehículos automotores incluyendo todas sus categorías: automóviles, camionetas, camperos, camiones, tractocamiones y motocicletas.

Comprobación de la metodología propuesta por la firma consultora para realizar mediciones en espacios cerrados como los CDA.

Propuesta de niveles máximos permisibles de ruido generado por vehículos automotores en estado estacionario.

1.2.1 Revisión de la Información Recogida por los CDA

Tal y como fue solicitado en la Resolución 0627 de 2006, algunos de los CDA a nivel nacional enviaron información al MAVDT relativa a las mediciones de ruido realizadas a vehículos automotores durante la revisión tecnicomecánica. La idea, tanto de la norma, como del ministerio, era que los resultados de estas pruebas fueran utilizados como insumo para el establecimiento de niveles máximos permisibles, por tal motivo, su análisis fue incluido dentro del estudio contratado.

No obstante, en el momento de analizar los datos, el estudio encontró que dentro de las mediciones no se especificaba una metodología que determinara las condiciones de medición de tal forma que los resultados fueran comparables, repetibles y reproducibles. Por tal motivo, el estudio concluyó que las mediciones no tenían validez y por tanto no podrían ser utilizadas para determinar niveles máximos permisibles.

1.2.2 Medición de Vehículos en Vía Pública

La siguiente etapa del estudio consistió en realizar mediciones de vehículos que transitaran por la vía pública con el fin probar el método establecido por la ISO 1530-2007 y conocer los niveles de ruido que éstos producían. A su vez, la idea era definir qué aspectos de los vehículos influían en mayor parte en su generación de presión sonora esperando generar una clasificación de los mismos y, con esta información, proponer unos niveles máximos permisibles.

Para tal efecto, se escogieron tres lugares en Bogotá los cuales debían cumplir con condiciones tales como tener asegurado distancias de al menos 3 metros entre el vehículo y cualquier superficie reflectante y ruido de fondo de mínimo 10dB debajo de los niveles medidos esperados. Estos lugares, a su vez, debían estar cerca de vías principales con el fin de permitir que los vehículos fueran detenidos en las avenidas, gracias a la ayuda de la policía de tránsito, y conducidos al lugar de pruebas.

Ésta mediciones contaron con el acompañamiento de la Secretaría Distrital de Ambiente, de representantes de distintas marcas de automotores nacionales y de empresas de servicio público incluyendo Transmilenio. Adicionalmente, se tuvo la ayuda de la Policía de Tránsito quienes detuvieron a los vehículos candidatos a ser objeto de medición.

Inicialmente, se proponía medir 280 automóviles y 100 motocicletas, esta cifra, al igual que la clasificación y la cantidad de vehículos por categoría, estaba sustentada por una muestra entregada por el Ministerio de Transporte. Sin embargo, en el transcurso del estudio se vio la necesidad de ampliar el alcance de tal forma que se incluyeran camionetas, camperos, camiones, buses, busetas, microbuses, buses alimentadores de Transmilenio, buses articulados y buses biarticulados. En la tabla 2 se presentan las cantidades totales de vehículos automotores medidos.

Tabla 2 Cantidad de Vehículos Automotores Medidos

Categoría de vehículo	Cantidad de Vehículos medidos
Automóviles	151
Buses	10
Busetas	6
Camiones	20
Camionetas	44
Camperos	40
Microbuses	5
Motocicletas	99
Tractocamiones	4
Volquetas	4
Alimentadores	7
Articulados	7
Biarticulados	1
TOTAL	398

Fuente: Estudio para la Determinación de una Metodología de Medición de Ruido de Vehículos en Estado Estacionario y Niveles Máximos Permisibles 2011 [11]

Debido a la necesidad de medir el ruido generado por vehículos de transporte público, sin que esto afectara la operación del mismo, se realizaron mediciones de nivel de presión sonora en los patios de diferentes empresas de buses y de Transmilenio conservando los requerimientos de lugar que establece la ISO 5130-2007.

Como resultado de estas mediciones se concluyó que, entre sí, en los automóviles, motocicletas, camperos, camionetas y tractocamiones el factor de mayor influencia en la generación de ruido es el año modelo mostrando una tendencia en la cual, entre más nuevo es el vehículo, menor es el nivel de presión sonora generado. Lo anterior, implica que otros factores tales como el cilindraje, la potencia y el tipo de combustible no influyen en el comportamiento sonoro de éstos automotores. No obstante, si se encontró que las camionetas que funcionaban con diésel fueron más silenciosas y que las motocicletas con mayor potencia generaban ligeramente más ruido.

En el caso de los buses y de los camiones, el factor más determinante de emisión de ruido fue el cilindraje el cual, al ser mayor, aumentaba el nivel de presión sonora emitido, descartando, de esta manera, el año modelo, la potencia y el tipo de combustible. Sin embargo, al analizar los resultados de las mediciones de los alimentadores, se encontró que para éstos entre mayor es el cilindraje, más ruido se genera mientras que, entre más reciente son estos vehículos, son más silenciosos. Los articulados tuvieron un comportamiento similar, sin embargo, el factor más determinante fue el cilindraje.

Situación diferente se presentó al analizar los datos de medición de buses y volcocomiones, en la cual no se encontró una tendencia clara que permitiera arrojar conclusiones relativas a cuál era el factor que más influía en la generación de ruido.

1.2.3 Comprobación de Metodología para Medición en Espacios Cerrados

Uno de los objetivos de la Resolución 0627 de 2006 era el de iniciar un proceso en el cual fuera posible realizar mediciones de ruido automotriz tanto en vía pública como en los CDA. Sin embargo, éstos Centros de Diagnóstico en el país generalmente son recintos cerrados en los cuales la reverberación modifica las mediciones de nivel de presión sonora de los vehículos automotores dando resultados más altos que los obtenidos en pruebas realizadas al aire libre. Lo anterior, explica la razón por la cual la norma ISO 5130-2007 exige que los ensayos sean ejecutados en lugares abiertos a menos que se trate de cámaras anecóicas.

Las cámaras anecóicas son “cabinas o habitaciones cuyos límites absorben prácticamente todo el sonido incidente sobre ellos, aportando por tanto esencialmente condiciones de campo libre [10]” por tanto no interfieren en las mediciones del ruido generado por los vehículos. Sin embargo, se trata de instalaciones que tienen un muy alto costo y por tanto, no es viable exigir que los CDA adecúen sus edificaciones construyendo un recinto de éstas características.

Es por tal motivo, que el estudio plantea una hipótesis en la cual, si se construye un túnel en los CDA con condiciones de aislamiento y absorción determinadas, es posible realizar mediciones de ruido automotor con el vehículo detenido aplicando algunas modificaciones a los resultados, de tal forma que puedan ser comparables con las pruebas realizadas al aire libre.

Es así como, para comprobar ésta hipótesis y poder establecer las modificaciones a aplicar a los resultados, se realizaron mediciones a 20 motocicletas y 20 vehículos entre automóviles, camionetas, camiones y buses de servicio público, los cuales fueron transportados a tres lugares con condiciones diferentes.

El primer lugar cumplía con las mismas condiciones en las cuales se realizaron las mediciones de vehículos automotores en vía pública sin incumplir con lo requerido por la ISO 5130-2007. El segundo sitio tenía circunstancias ideales tales como: bajo ruido de fondo; superficie asfáltica; ausencia de tráfico y edificaciones a más de 10m. La finalidad de éstas pruebas eran las de obtener datos más precisos y con menor incertidumbre.

Por último, el tercer lugar fue un CDA en el cual previamente se construyó un túnel con un tiempo de reverberación cuyas superficies tenían 0,4 de promedio de coeficiente de absorción y 0,52s como media de reverberación. Con estas condiciones se esperaba que las diferencias entre las mediciones tomadas en los tres lugares no fueran significativas.

Como resultado de esta etapa se concluyó que las diferencias en las mediciones oscilaron entre los 0dB(A) y los 3dB(A) con un promedio de 1dB(A). Lo anterior implica que, al no haber discrepancias grandes y al realizar los ajustes propuestos e

la metodología, las tres mediciones pueden ser comparables, repetibles y reproducibles.

1.2.4 Propuesta de Metodología para la Medición de Vehículos Automotores en Estado Estacionario

La propuesta de metodología para la medición de vehículos automotores en estado estacionario implica que se puedan realizar mediciones tanto al aire libre como en recinto cerrado siempre y cuando este último tenga las condiciones de acondicionamiento acústico expresadas en el aparte anterior.

Para lugares al aire libre, dentro de los cuales se incluyen las mediciones en vía pública, la metodología propuesta es igual a la norma ISO 5130-2007 con algunas modificaciones y recomendaciones especiales. Dentro de éstas se establece que es admisible la presencia de andenes de menos de 20cm siempre y cuando la distancia entre el vehículo y dichos elementos no sea inferior a los 2,5m.

A su vez, se debe evitar que las pruebas se ejecuten en una vía pública principal. Con el fin de poder realizar controles periódicos a los vehículos que transitan por dichos lugares, es necesario que el sitio cumpla con las condiciones de ruido de fondo y de distancia a elementos reflectivos expresadas anteriormente y solicitadas en la ISO 5130-2007.

Los recintos cerrados donde se realicen las mediciones deben permitir una distancia de 1,5m entre el vehículo y cualquier obstáculo. A su vez, el coeficiente de absorción medio debe ser superior a 0,3 en la frecuencia de 125Hz y estar entre 0,4 y 0,7 en el rango de 250Hz a 5000Hz. No obstante, dicho coeficiente, en cualquiera de las bandas no puede ser mayor a 0,4. De igual manera, ninguna de las paredes cercanas al automotor deben tener un coeficiente menor a 0,4 en frecuencias superiores a 250Hz y 0,3 en frecuencias superiores a 125Hz.

En cuanto al ruido de fondo, este debe ser de 10dB por debajo del nivel de presión sonora ponderado A que se va a medir. En el caso en el cual, no se pueda estimar el ruido emitido por la fuente, el ruido de fondo del recinto cerrado debe ser inferior en 15dB a los niveles máximos permisibles que se establezcan.

Una vez realizadas las mediciones de nivel de presión sonora de vehículos automotores en recintos cerrados se deben aplicar las modificaciones presentadas a continuación con el fin de que éstos resultados puedan ser comparables con los que se den en espacio abierto y por tanto con los niveles máximos permisibles.

Si $0.6 < \alpha < 0.7$ se resta 1 dB

Si $0.5 < \alpha < 0.6$ se restan 2 dB

Si $0.4 < \alpha < 0.5$ se restan 3 dB

Siendo α el coeficiente de absorción media del recinto.

1.2.5 Propuesta de Niveles Máximos Permisibles

Con el fin de proponer unos niveles máximos permisibles se tomaron en cuenta los percentiles 50 de los resultados obtenidos con la medición de los vehículos en vía. La idea de usar este método era que, una vez aplicados éstos niveles, el 50% de los vehículos cumplieran con la norma. A su vez, se realizó una clasificación de vehículos teniendo en cuenta el uso y su año modelo para todos los vehículos excepto motocicletas para las cuales se tuvo en cuenta, además de su antigüedad, el ciclo del motor. Los niveles propuestos se presentan en las tablas 3 y 4.

Tabla 3 Niveles Máximos Permisibles Propuestos para Vehículos Automotores Excepto Motocicletas

AUTOMOTORES EXCEPTO MOTOCICLETAS		
Categoría	Año Modelo	NPS Máximo sugerido
Automóvil	1971-1984	83,0
	1985-1997	81,0
	1998-2011	76,0
Bus	1985-1997	87,0
	1998-2011	87,0
Buseta	1971-1984	82,0
Camión	<1970	92,0
	1985-1997	83,0
	1998-2011	86,0
Camioneta	1971-1984	87,0
	1985-1997	85,0
	1998-2011	78,0
Campero	1985-1997	83,0
	1998-2011	79,0
Microbus	1985-1997	84,0
	1998-2011	89,0
Tractocamión	1985-1997	90,0
	1998-2011	86,0
Volqueta	<1970	81,0
	1971-1984	90,0

Fuente: Estudio para la Determinación de una Metodología de Medición de Ruido de Vehículos en Estado Estacionario y Niveles Máximos Permisibles 2011 [11]

Tabla 4 Niveles Máximos Permisibles para Motocicletas

MOTOCICLETAS		
Ciclo	Año Modelo	NPS Máximo sugerido
2	1977-1990	94,8
	1991-1997	88,7
	1998-2011	86,2
4	1977-1990	91,1
	1991-1997	86,1
	1998-2011	79,4

Fuente: Estudio para la Determinación de una Metodología de Medición de Ruido de Vehículos en Estado Estacionario y Niveles Máximos Permisibles 2011 [11]

La falta de datos en algunos rangos de año modelo de los vehículos, se debió, según las conclusiones del estudio, a la dificultad que se tuvo de tener acceso a éstos automotores con ésta antigüedad. Lo anterior se observa especialmente en los casos de buses de servicio público, en camperos, en tractocamiones y en volquetas.

El estudio concluye que, al comparar los datos obtenidos con los niveles máximos permisibles establecidos en éstos países, los estándares propuestos son muy altos, inclusive si se cotejan con lo exigido en la Resolución 8321 de 1983, atribuyendo como causa principal, el tamaño de la muestra el cual no fue significativo.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En términos generales, las normas revisadas en este artículo están basadas en la metodología de medición establecida por la ISO 5130:2007 la cual genera un estándar internacional que es tenido en cuenta en el estudio contratado por el Ministerio de Ambiente a la hora de establecer una metodología de medición. Sin embargo, se encuentran algunas diferencias en la posición del micrófono y en la escogencia de la velocidad objeto. Es de tener en cuenta que, en todos los casos, se exige que el lugar de medición sea un espacio abierto para evitar modificaciones generadas por superficies acústicamente reflectivas.

La principal diferencia entre las normas estudiadas, más allá de las mencionadas, se basa en la clasificación de los vehículos, si bien, en la mayoría de los casos se tiene en cuenta el tipo de uso, la capacidad de carga, el peso y la potencia, en otros casos es el año modelo o el tipo de combustibles, son tenidos en cuenta para la determinación de los niveles máximos que son permisibles. Por tal motivo, el estudio contratado por el Ministerio de Ambiente, después de realizar y analizar mediciones en campo, sugiere utilizar una clasificación basada en el uso y en el año modelo por cuanto se encontró que éstas características determinaban la emisión de ruido de los automotores medidos.

Una vez establecida una metodología que arrojara resultados comparables, repetibles y reproducibles, el estudio contratado por el Ministerio de Ambiente,

propuso ajustes tales que permitieran hacer ésta metodología aplicable en la vía pública, a fin de realizar controles periódicos, y en los Centros de Diagnóstico Automotriz, para implementar esta medición en la revisión técnicomecánica, estableciendo las características que éstos lugares deberían cumplir para que los resultados pudiesen ser comparables con niveles máximos permisibles.

Sin embargo, al momento de realizar éstas mediciones se tuvieron varias dificultades. Una de ellas fue la de obtener información sobre la velocidad nominal de motor de una gran cantidad de vehículos, especialmente de automotores importados y antiguos. Lo anterior debido a que no es una información que esté disponible, las importadoras no la solicitan a las casas matrices y las ensambladoras nacionales no poseen registros de ésta índole de sus productos que ya tienen muchos años en el mercado.

Durante el estudio este problema fue subsanado limitando la variedad de vehículos medidos a aquellos de los cuales se tenía información, sin embargo, antes de aplicar la norma, ya sea en vía pública o en los CDA, quien realice la información debe poseer la velocidad nominal del motor del vehículo para conocer hasta qué punto lo revolucionará.

En el momento de realizar el análisis de los datos obtenidos durante el estudio con el fin de recomendar niveles máximos permisibles se encontró que, en algunas categorías de vehículos, la cantidad de automotores medidos era muy poca y por tanto no había una tendencia clara que permitiera tener claridad sobre cuál debían ser los límites que se iban a establecer.

Lo anterior se debió a tres situaciones: en primer lugar, la muestra de vehículos a medir, establecida por el Ministerio de Transporte, resultó ser muy poca, sobre todo si se tiene en cuenta que en el transcurso del estudio se evidenció la necesidad de medir automotores que no se habían contemplado inicialmente como lo fueron buses, busetas, microbuses, camiones, volquetas y articulados.

En segundo lugar, las mediciones se realizaron únicamente en Bogotá. Si bien, el comportamiento del ruido, no depende de la temperatura ni de la presión atmosférica, se debió tener en cuenta que, en otras ciudades y en municipios pequeños, el parque automotor es distinto, así como la idiosincrasia de las personas la cual influye en los cambios que se le realicen a los vehículos y que pueden afectar su emisión de ruido.

Por último, como se mencionó anteriormente, la falta de información sobre la velocidad nominal de motor, de una gran parte del parque automotor, limitó la variedad de vehículos que fueron medidos, dejando por fuera marcas importantes como Volkswagen, Kia, Hyundai, Chevy, Toyota, Dodge, Merceden Benz, Hino, Harley Davidson, Ducaty, etc.

No obstante, a las falencias descritas, es importante resaltar que sí se encontró una tendencia en la cual los vehículos medidos con año modelo reciente son mucho más silenciosos que los automotores más antiguos, incluso, se evidenció como año clave

para esto 1997 a partir del cual todos los automóviles pasaron de usar carburador a utilizar sistemas de inyección electrónica. Lo anterior demuestra la importancia que para los fabricantes ha venido tendiendo la manufactura de vehículos que generen menor ruido debido, en gran medida, a los controles que los países industrializados han hecho y se hace palpable en la normativa revisada en éste artículo.

Además de la clasificación por año modelo, el estudio sugirió una categorización basada en el uso de los vehículos dividida en: automóvil, bus, buseta, camión, camioneta, campero, microbús, tractocamión, volqueta y motocicletas de dos y cuatro ciclos sustentándose también en que cada uno de estos tenía una tendencia propia de generación de ruido.

3. CONCLUSIONES

El estudio contratado por el Ministerio de Ambiente establece una metodología que arroja resultados comparables, repetibles y reproducibles, incluso para mediciones en espacios cerrados, con lo cual, se hace viable la aplicación de una norma que posibilite controlar el ruido emitido por vehículos automotores tanto en vía, por medio de operativos realizados por las autoridades ambientales, como en los centros de diagnóstico automotriz como parte de la revisión tecnicomecánica.

Sin embargo, los niveles máximos permisibles que allí se recomiendan están basados en una muestra poco significativa en cantidad y variedad de vehículos. A su vez, es de tener en cuenta que el estudio fue realizado entre 2010 y 2011, por lo cual es muy probable que la configuración del parque automotor, y por tanto, los niveles de emisión de ruido, hayan cambiado drásticamente, y por ende, se está hablando de datos desactualizados.

Por tal motivo, es indispensable que, antes de expedir una nueva norma, se realice un nuevo estudio en el cual se tenga en cuenta una mayor cantidad y variedad de vehículos, de tal forma que se realicen mediciones en varias ciudades y municipios, y tomando muestras de todas las marcas de automotores que sea posibles. Adicionalmente, y como complemento a estos estudios, es importante que tanto fabricantes como importadores, por reglamentación nacional, den a conocer los niveles de presión sonora de sus productos una vez han sido fabricados.

A su vez, debido a la dificultad dada por la falta de información de gran parte del parque automotor sobre la velocidad nominal del motor, es fundamental realizar un estudio para obtener datos de todos los vehículos que están en circulación. Adicionalmente, es indispensable que la autoridad competente, ya sea el Ministerio de Transporte o el Ministerio de Comercio Exterior, con el apoyo de la ANDI y de FENALCO exija esta información al importador. Incluso, es posible que sea necesaria la creación de una plataforma en la cual sea fácil acceder a estos datos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda que la norma que regule el nivel de ruido emitido por los vehículos, se dividan los automotores en dos categorías: una categoría de automotores fabricados o importados a partir de la fecha de expedición de la norma y otra para aquellos que entraron en circulación antes de la misma.

De esta forma, los resultados de las mediciones que se realicen a los vehículos con fecha anterior a la expedición de la norma serán comparados con los niveles máximos permisibles establecidos por un nuevo estudio, con las características descritas anteriormente. Así, se espera que éstos presenten niveles de ruido similares a los emitidos por automotores no modificados que actualmente se encuentran circulando en el país.

A su vez, la emisión de ruido de los vehículos con fecha de fabricación posterior a la norma, será comparada con los niveles de presión sonora que el fabricante ha establecido inicialmente. Así, se evitará que el propietario del vehículo haga modificaciones que aumenten contaminación auditiva y propenda por un mantenimiento tal que su automotor continúe siendo silencioso.

Esta propuesta está basada en la premisa en la cual los vehículos nuevos son más silenciosos que los antiguos, gracias a la preocupación de los fabricantes porque así sea. Como prueba de lo anterior, se encuentran las mediciones realizadas en el estudio contratado por el Ministerio de Ambiente, el cual, si bien tuvo problemas de significancia en su muestra, pudo presentar una tendencia en éste sentido.

Adicionalmente, es importante que la nueva norma regule la importación y fabricación de vehículos teniendo en cuenta los niveles máximos permisibles definidos, de tal forma que los vehículos nuevos no los sobrepasen. Sin embargo, esto se debe hacer por medio de un periodo de transición con el fin de evitar traumatismos a la industria automotriz.

Por último, se hace indispensable que cada determinado tiempo se revisen los niveles máximos establecidos con el fin de que estos sean paulatinamente más restrictivos en consonancia con la tendencia a la fabricación de vehículos cada vez más silenciosos. Incluso, es posible que, en una de estas revisiones, se elimine la división propuesta entre automotores antes y después de la norma, en la medida en que el ruido generado por los aquellos que se encuentran en circulación puede llegar a ser igual que el emitido por los nuevos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Wissman, *Geographies of Urban Sound.*, 2014.
- [2] OMS Organización Mundial de la Salud, «Guidelines for Community Noise,» 1999.
- [3] FHWA Federal Highway Administration, «Traffic Noise Model,» *User's Guide U.S. Department of Transportation*, 2004.
- [4] Andemos, «Andemos.org,» 2016. [En línea].
- [5] A. Ramirez González, «El Ruido Vehicular Urbano y su Relación con Medidas de Restricción del Flujo de Automóviles,» *Revista académica colombiana de ciencias exactas físicas y naturales*, 2011.

- [6] Ministerio de Salud, *Resolución 8321*, 1983.
- [7] Ministerios de Transporte y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución 3500*, Bogotá D.C., 2005.
- [8] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución 0627*, Bogotá DC, 2006.
- [9] E. A. B. Durán, *Medición de Ruido en Vehículos Livianos y Medianos. Implementación de una Normativa de Ingreso Para el Control de los Niveles Máximos de Ruido*, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2001.
- [10] ISO, *5130 - Medición de Nivel de Presión Sonora Emitido por Vehículos Automotores en Estado Estacionario*, 2007.
- [11] Ministerio de Ambiente, *Estudio para la Determinación de una Metodología de Medición de Ruido de Vehículos en Estado Estacionario y Niveles Máximos Permisibles*, 2011.
- [12] H. Cyril, *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido*, Mc Graw Hill, 1995.