



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN DE VEHÍCULOS EN RELACIÓN CON EL NIVEL SONORO**



**Moreno Muñoz, Ester**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**CERTIFICADO DE  
HOMOLOGACIÓN DE  
VEHÍCULOS EN RELACIÓN  
CON EL NIVEL SONORO**

**Moreno Muñoz, Ester**

**Tarrero Fernández, Ana Isabel**

**Martín Bravo, M<sup>a</sup> Ángeles**

**Valladolid, Mayo de 2017**

## **Agradecimientos**

El presente Trabajo fue realizado bajo la supervisión de Ana Isabel Tarrero y M<sup>a</sup> Ángeles Martín Bravo, sin ellas no podría haber sido posible su realización.

Al Centro Municipal del Ruido de Valladolid por haberme brindado asistir a los ensayos necesarios para entender y poder llevar a cabo el objetivo principal del Trabajo.

A mis padres y mi hermana, por ser los pilares fundamentales de mi vida y por siempre apoyarme en todo lo que me he propuesto.

## ÍNDICE

Símbolos y abreviaturas utilizados.....	8
<b>1. Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>13</b>
<b>3. REGLAMENTO (UE) N° 540/2014 sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio.....</b>	<b>14</b>
3.1 Antecedentes.....	15
3.2 Justificación.....	15
3.3 Obligaciones y etiquetado.....	17
3.4 Homologación de tipo UE de un tipo de vehículo en lo que respecta al nivel sonoro.....	19
<b>4. Razones para la sustitución de la antigua norma.....</b>	<b>19</b>
4.1 Origen del ruido en los vehículos en movimiento.....	19
4.2 ¿Por qué una nueva norma?.....	20
4.3 Estudios previos.....	21
<b>5. Método A. Norma ISO 362:1998 [8].....</b>	<b>23</b>
<b>6. Método B. Norma ISO 362-1:2015 [7].....</b>	<b>27</b>
6.1 Tipos de vehículo.....	27
6.2 Pista de ensayo.....	28
6.2.1 El trazado de la pista.....	29
6.2.2 Requerimientos que debe cumplir la pista.....	30
6.2.3 Medidas realizadas sobre la pista.....	34
6.3 Instrumentos de medición.....	35
6.4 Condiciones de medida.....	38
6.5 Procedimiento de medida.....	40
6.6 Medición del ruido con el vehículo parado.....	51
<b>7. Ensayos ASEP.....</b>	<b>54</b>
7.1 Valores de control.....	54
7.2 Relaciones de transmisión.....	55
7.3 Condiciones previstas.....	55
7.4 Ensayo del vehículo.....	55
<b>8. Análisis de los resultados en un ensayo real. Comparación de métodos.....</b>	<b>56</b>
8.1 Aplicación método A.....	60
8.2 Aplicación método B.....	61

8.3 Resultados.....	61
9.4 Discusión de los resultados.....	71
<b>9. Vehículos de motor eléctrico (ME) y la reducción del ruido ambiente en ciudad.....</b>	<b>72</b>
9.1 Análisis del nivel de ruido generado por los vehículos de ME.....	72
9.2 Sistema acústico SAAV.....	77
<b>10. Sistemas Silenciadores.....</b>	<b>79</b>
<b>11. ¿Cómo se puede reducir el nivel de ruido generado por un vehículo?....</b>	<b>82</b>
11.1 Ruido generado por el Motor.....	82
11.2 Ruido generado por el escape.....	83
11.3 Ruido generado por la rodadura del vehículo.....	87
<b>12. Conclusiones.....</b>	<b>91</b>
<b>13. Líneas futuras.....</b>	<b>93</b>
<b>14. Referencias.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO A – INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA EN EL ENSAYO REAL REALIZADO.....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Medida de la velocidad de los vehículos en las calles principales de las ciudades [7].....	22
<b>Figura 2</b> Diagrama de flujo método A.....	24
<b>Figura 3</b> Pista de ensayo del CMA.....	25
<b>Figura 4</b> Medidas de la pista dónde se realizan los test [10].....	29
<b>Figura 5</b> Requerimientos discontinuidades de la línea de conducción y del área de propagación [10].....	31
<b>Figura 6</b> Discontinuidades del área de propagación [10].....	32
<b>Figura 7</b> Posiciones de medida en la pista [10].....	33
<b>Figura 8</b> Frontend situado en el interior de la sala del centro municipal de acústica.....	37
<b>Figura 9</b> Algunos de los instrumentos transportados en el interior del vehículo.....	37
<b>Figura 10</b> Diagrama de flujo para la determinación de Lurban [7].....	41
<b>Figura 11</b> Diagrama de flujo 1 de 3 para la selección marchas en el caso de ensayar con las relaciones de transmisión bloqueadas [7].....	46
<b>Figura 12</b> Diagrama de flujo 2 de 3 para la selección de las marchas usadas ensayando con las relaciones de transmisión bloqueadas [7].....	48
<b>Figura 13</b> Diagrama de flujo 3 de 3 para la selección de las marchas usadas ensayando con relaciones de transmisión bloqueadas [7].....	49
<b>Figura 14</b> Diagrama de flujo usado para determinar la aceleración y $L_{wot}$ rep ensayando con relaciones de transmisión no bloqueadas [7].....	50
<b>Figura 15.</b> Punto de referencia para medir el ruido con el vehículo parado [3].....	51
<b>Figura 16</b> Ejemplos de posicionamiento del micrófono en función de la situación del tubo de escape [3].....	52
<b>Figura 17</b> Situación de los elementos de la cadena de medida.....	58

<b>Figura 18</b> Elementos de la cadena de medida que se transportan dentro del vehículo.....	59
<b>Figura 19</b> Ruido recogido en un ensayo Pass by realizado según la ISO 362 en tercera marcha [40].....	69
<b>Figura 20</b> Hoja Excel de los cálculos llevados a cabo para determinar LURBAN.....	70
<b>Figura 21</b> Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].	73
<b>Figura 22</b> Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].	74
<b>Figura 23</b> Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].	75
<b>Figura 24</b> Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].	75
<b>Figura 25</b> Nivel máximo de ruido para diferentes tipos de vehículos. Medidas realizadas en ensayos pass-by [13].....	76
<b>Figura 26</b> Representación del sistema acústico de advertencia instalado en el modelo prius de Toyota [13].....	78
<b>Figura 27</b> Recorrido de los gases de escape en un silenciador [14].....	80
<b>Figura 28</b> Insonor capot.....	82
<b>Figura 29</b> Variación con la velocidad del nivel sonoro, en función del tipo de vehículo [20].....	83
<b>Figura 30</b> Cavidad Rígida del resonador de Hemlholtz [21].....	84
<b>Figura 31</b> Modelo de silenciador híbrido [29].....	85
<b>Figura 32</b> Disipación de energía de una onda sonora al incidir sobre un material absorbedor poroso [30].....	87
<b>Figura 33</b> Interacción neumático-carretera [19].....	88
<b>Figura 34</b> Perfil de un neumático [24].....	88
<b>Figura 35</b> Causas principales del ruido de rodadura [27].....	90
<b>Figura 36</b> Etiqueta para indicar el ruido exterior que desprende un neumático al circular [17].....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Límites de nivel sonoro redondeado matemáticamente a la cifra entera más próxima [11].....	18
<b>Tabla 2.</b> Contribución de cada fuente al ruido global [39].....	20
<b>Tabla 3.</b> Valores de nivel de potencia medido con el método A [41].....	26
<b>Tabla 4.</b> Categoría de vehículo [7].....	28
<b>Tabla 5.</b> Valor de $l_a$ [10].....	30
<b>Tabla 6.</b> Periodicidad de comprobación de los requerimientos durante la aceptación y el chequeo periódico [10].....	34
<b>Tabla 7.</b> Corrección del sonómetro [11].....	38
<b>Tabla 8.</b> Masa del vehículo de ensayo [11].....	39
<b>Tabla 9.</b> Identificación del vehículo.....	62
<b>Tabla 10.</b> Condiciones ambientales durante el ensayo del método A.....	63
<b>Tabla 11.</b> Condiciones ambientales durante el ensayo de aceleración del método B.....	63
<b>Tabla 12.</b> Condiciones ambientales durante el ensayo de velocidad constante del método B.....	64
<b>Tabla 13.</b> Resultados ensayo Método A.....	65
<b>Tabla 14.</b> Resultados del ensayo de preaceleración del Método B.....	66
<b>Tabla 15.</b> Resultados de velocidad del ensayo de aceleración del Método B.....	67
<b>Tabla 16.</b> Resultados de nivel de potencia sonora del ensayo de aceleración del método B.....	67
<b>Tabla 17.</b> Resultados de velocidad del ensayo de velocidad constante del método B.....	68
<b>Tabla 18.</b> Resultados de nivel de potencia sonora del ensayo de velocidad constante del método B.....	68



## Símbolos y abreviaturas utilizados

Símbolo	Unidad	Significado
$a_{urban}$	$m/s^2$	Aceleración objetivo simulando la aceleración del tráfico urbano.
PMR	-	Facto potencia-peso.
S	Rev/min	Velocidad de rotación del motor del vehículo a máxima potencia.
$a_{wot,i}$	$m/s^2$	Aceleración con el pedal pisado a fondo en la marcha engrana i.
$a_{wot,i+1}$	$m/s^2$	Aceleración con el pedal pisado a fondo en la marcha engrana i+1.
$a_{wot ref}$	$m/s^2$	Aceleración de referencia en el ensayo de aceleración
$a_{wot test}$	$m/s^2$	Aceleración con el pedal pisado a fondo en el caso de ensayar con una sola marcha.
k		Factor de ponderación de las relaciones de transmisión.
$L_{wot i}$	dB	Nivel de presión sonora registrada en el ensayo de aceleración en las pasadas con la marcha i engranada.
$L_{wot (i+1)}$	dB	Nivel de presión sonora registrada en el ensayo de aceleración en las pasadas con la marcha i+1 engranada.
$L_{wot rep}$	dB	Niveles de presión sonora registrados en el ensayo de aceleración.
$L_{crs rep}$	dB	Niveles de presión sonora registrados en el ensayo de velocidad constante.
$L_{crs i}$	dB	Nivel de presión sonora registrado en el ensayo de velocidad constante en las pasadas con la marcha i engranada.
$L_{crs (i+1)}$	dB	Nivel de presión sonora registrado en el ensayo de velocidad constante en las pasadas con la marcha i+1 engranada.
$k_p$	-	Factor de potencia parcial.
$L_{urban}$	dB	Nivel de presión sonora registrada que representa la situación urbana.
$V_{test}$	Km/h	Velocidad objetivo del ensayo.
CC'	-	Línea central del trayecto del vehículo.
PP'	-	Línea de micrófonos.
AA'	-	Línea perpendicular al movimiento del vehículo que indica el comienzo de la zona de medida del nivel de presión sonora durante el ensayo
BB'	-	Línea perpendicular al movimiento del vehículo que indica el final de la zona de medida del nivel de presión sonora durante el ensayo.
$V_{BB'}$	Km/h	Velocidad del vehículo cuando el punto de referencia del vehículo pasa la línea BB'
$V_{AA'}$	Km/h	Velocidad del vehículo cuando el punto de referencia de éste pasa la línea AA'
$V_{PP'}$	Km/h	Velocidad del vehículo cuando el punto de referencia de éste pasa la línea PP'
$l_{20}$	m	Longitud de la sección de ensayo para el cálculo de la aceleración desde AA' hasta BB'
$l_{ref}$	m	Longitud de referencia

<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Significado</b>
$l_{10}$	$m$	Longitud de la sección de ensayo para el cálculo de la aceleración desde PP' hasta BB'
$v_{test}$	$Km/h$	Velocidad objetivo de los ensayos.
$P_n$	$kW$	Potencia neta que posee el vehículo.
$m_t$	$kg$	Masa de ensayo del vehículo.
$l_{veh}$	$m$	Longitud del vehículo.
$k_p$	-	Factor de potencia parcial.

---

## Resumen

*En el presente Trabajo, se realiza un análisis del nuevo Reglamento Nº 540/2014, el cual presenta un nuevo método de ensayo para determinar el nivel de ruido que generan los vehículos en movimiento, siendo estos resultados, la base para la aplicación de medidas de control del ruido. Se centrará después este Trabajo, en la comparación del nuevo método con el anterior, llevando a cabo para ello, un ensayo en el Centro Municipal de Acústica del ayuntamiento de Valladolid.*

*Además, se estudiará la reducción de ruido que pueden producir los vehículos de motor eléctrico e híbridos, en comparación con los vehículos de motor de combustión interna.*

*Finalmente, se analizarán algunos métodos de reducción del ruido generado por las fuentes principales de un vehículo.*

*Palabras clave: Ruido de vehículos, Reglamento Nº 540/2014, Motores de combustión interna (MCI), Motores eléctricos (ME), Ruido de Rodadura.*

---

---

## Abstract

*In the present work, it is performed an analysis of the new Regulation Nº 540/2014, which presents a new test method to determine the noise level that the vehicles generate in movement, being these results, the basis for the application of measurements of noise control. This study will centre later, in the comparison of the new method with the previous one, carrying out for it, an essay in the Acoustics Municipal Centre of the city hall of Valladolid.*

*Also, it will be studied the noise reduction that the electrical engine and hybrids vehicles can produce, compared to the internal combustion engine vehicles.*

*Finally, some methods of noise reduction generated by the main sources of a vehicle will be analyzed.*

*Key words: Vehicles noise, Regulation No. 540/2014, Internal combustion engines (MCI), Electrical engines (I), the Rolling Noise.*

---

## **1. Introducción**

El ruido del tráfico vial perjudica gravemente a la salud, puede producir un estrés que lleva a agotar la reserva física del hombre y a alterar la capacidad reguladora de las funciones de algunos órganos. Por tanto, el ruido del tráfico es un factor de riesgo potencial para el desarrollo de enfermedades como hipertensión e infartos.

El nivel sonoro de los vehículos depende, en parte, del entorno en el que circulan, pero también, es un factor importante el uso y mantenimiento adecuado del vehículo después de la compra. Es necesario, por tanto, sensibilizar a los ciudadanos acerca de la importancia del estilo de conducción progresiva, y de la observación de los límites de velocidad vigentes en cada Estado miembro de la Unión Europea.

Conforme al artículo 26, apartado 2, del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE), el mercado interior comprende un espacio sin fronteras, en el cuál ha de garantizarse la libre circulación de mercancías, personas, servicios y capitales. Para evitar que se adopten disposiciones diferentes en cada uno de los estados miembros, se ha implantado un sistema integral de homologación de tipo UE a los vehículos de motor. De esta forma, al mismo tiempo, se consigue un mayor nivel de protección ambiental y de seguridad pública, además de mejorar la calidad de vida y salud.

Los niveles máximos de ruido permitidos por la UE para los vehículos, fueron definidos previamente en la Directiva 96/20/CE [1], del 27 de marzo de 1996, por la que se adaptó al progreso técnico la Directiva 70/157/CEE [2] del Consejo del 6 de Febrero de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos de motor. Ésta basaba sus medidas en el método A el cual ha estado vigente hasta el 1 de Julio de 2016. El valor máximo de nivel sonoro ha permanecido inalterado, durante todo este tiempo, en 74 dB(A).

El actual Reglamento (UE) N° 540/2014 [3] del parlamento europeo y del consejo de 16 de abril de 2014, sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio, modifica la Directiva 2007/46/CE [4] del 5 de Septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos. Además, deroga la anteriormente citada Directiva 70/157/CEE [2].

La función de este nuevo Reglamento es introducir un nuevo método de ensayo (método B), distinto al dado por la Directiva 70/157/CEE [2]. Este método se considera representativo de los niveles sonoros en condiciones de tráfico normales, pero lo es menos, de los niveles en condiciones desfavorables.

La implantación de este nuevo Reglamento debe intentar reducir los límites de nivel sonoro, teniendo en cuenta los nuevos requisitos, más estrictos, para los neumáticos de los vehículos de motor que establece el Reglamento (CE) Nº 661/2009 [5] del Parlamento Europeo y del consejo, del 13 de Julio de 2009, relativo a los requisitos de homologación de tipo referente a la seguridad general de los vehículos de motor, sus remolques sistemas, componentes y unidades técnicas independientes a ellos destinados. Por tanto, el Reglamento establece unos nuevos límites máximos de ruido, que pasan de 74 dB(A) a 69 dB(A). La disminución del nivel sonoro está prevista en tres fases, que terminan en 2024. Estas tres fases son:

- Fase 1 aplicable a los nuevos tipos de vehículo a partir del 1 de Julio de 2016.
- Fase 2 aplicable a los nuevos tipos de vehículo a partir del 1 de Julio de 2020 y a la primera matriculación a partir del 1 de Julio de 2022.
- Fase 3 aplicable a los nuevos tipos de vehículo a partir del 1 de Julio de 2024 y a la primera matriculación a partir del 1 de Julio de 2026.

En el presente Trabajo, en primer lugar, se llevará a cabo un análisis del nuevo reglamento y de los métodos de ensayo realizados para la medición del nivel de ruido generado por el tráfico de vehículos en ciudad, tanto del método que está actualmente en vigor (método B), como del anterior (método A):

- El método A viene dado por la norma ISO 362:1998 [8], y ha sido sustituido por el método B.
- El método B viene dado por la norma ISO 362-1:2015 [7], y está vigente desde el 1 de Julio de 2016.

Estos métodos de ensayo del nivel de ruido generado por un vehículo en movimiento, son la base para la aplicación de medidas del control del ruido para ayudar a reducir la contaminación sonora en las ciudades.

Se darán a conocer los estudios realizados, que han llevado a la implantación del nuevo reglamento y por tanto, al cambio de método de ensayo de medición del ruido. Posteriormente, se compararán los dos métodos, y se describirá la pista usada en las mediciones.

También que se estudiará la contribución de los vehículos, tanto híbridos como eléctricos, en la disminución del ruido ambiente en las ciudades.

## **2. Objetivos**

De acuerdo a la directiva 70/157/CEE [2] del Consejo, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos de motor, los fabricantes de vehículos deben medir el ruido en movimiento de los mismos, tanto en la homologación, como durante su producción.

Debido a la reciente publicación de la nueva directiva, se considera interesante estudiar las diferencias, las ventajas e inconvenientes, de la misma, comparándola con la anterior legislación, por ello, los objetivos principales de este Trabajo Fin de Grado serán:

- Realizar un análisis del nuevo reglamento.
- Explicar detenidamente los dos tipos de métodos de ensayo: el método A, desarrollado en la norma ISO 362:1998 [8] - medición del ruido emitido por la aceleración de los vehículos en carretera, y el método B, el actual.
- Análisis de un ensayo real.

Además, en el presente documento, se establece una serie de objetivos secundarios:

- Estudiar las principales fuentes de ruido en un vehículo y las razones por las cuales ha sido necesario hacer una revisión de la normativa, derogando la Directiva 70/157/CEE [2] y modificando la Directiva 2007/46/CE [4] del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de Septiembre de 2007, por la que

se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.

- Comparar la contribución a la contaminación acústica en las ciudades, de un vehículo de combustión interna, con uno de motor eléctrico.
- Estudiar el dispositivo que se está proponiendo para la detección de los vehículos eléctricos, cuya función es evitar problemas de seguridad vial.
- Explicar cuáles son los distintos tipos de sistemas silenciadores, y su método de homologación.
- Explicar ciertas medidas que se pueden llevar a cabo para reducir el ruido generado por un vehículo en movimiento.

### **3. REGLAMENTO (UE) N° 540/2014 sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio**

En este apartado se hará un estudio teórico del Reglamento N° 540/2014 [3], sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio, destacando los principales aspectos del mismo.

Este Reglamento establece los requisitos administrativos y técnicos para la homologación de tipo UE de todos los vehículos nuevos de las categorías M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, por lo que respecta a su nivel sonoro, así como de los sistemas silenciadores de recambio y componentes de estos homologados como unidades técnicas independientes diseñadas y construidas para los vehículos de las categorías M<sub>1</sub> y N<sub>1</sub>, con el fin de facilitar su matriculación, venta y puesta en servicio en la Unión Europea.

### *3.1 Antecedentes*

Este nuevo reglamento modifica la Directiva 2007/46/CE [4], del 5 de Septiembre de 2007, por la cual se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.

Además, deroga la Directiva 70/157/CEE, del 6 de Febrero de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros de la UE sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de vehículos a motor. Ésta armonizó los distintos requisitos técnicos de los Estados miembros relativos al nivel sonoro admisible de los vehículos de motor y de sus sistemas de escape, para establecer el mercado interior y facilitar su funcionamiento. Esta norma, ha sido modificada varias veces, la última, en 1995, para la reducción de los límites de nivel sonoro de los vehículos de motor, pero no surtió los efectos esperados. Esto fue debido a que el método de ensayo utilizado con arreglo a dicha directiva, ya no reflejaba el modo en que se comportan los conductores actualmente al volante. En el Libro Verde del 4 de Noviembre de 1996 [9] sobre la política futura de lucha contra el ruido, se demuestra que se subestimó la contribución del ruido de rodadura de los neumáticos a las emisiones sonoras totales.

### *3.2 Justificación*

La función del presente Reglamento es introducir un nuevo método de ensayo, distinto al de la Directiva 70/157/CEE [2]. Éste debe basarse en el método de ensayo publicado por el Grupo de Trabajo sobre Ruido (GRB) de la CEPE en 2007, el cual incorpora una versión de 2007 de la norma ISO 362, sobre la medición del ruido emitido por la aceleración de los vehículos de carretera. Este nuevo método de ensayo se considera representativo de los niveles sonoros en condiciones de tráfico normales, pero es menos representativo de tales niveles en las condiciones más desfavorables, por esta razón, han de establecerse, en el nuevo Reglamento, disposiciones suplementarias sobre emisiones sonoras.

Este Reglamento también tiene como objetivo reducir los valores límite globales de nivel sonoro, teniendo en cuenta los nuevos requisitos, más estrictos, para los neumáticos de los vehículos de motor, establecido en el Reglamento (CE) nº 661/2009 [5]. Todas las fuentes de ruido del vehículo deben reducir sus valores de



límites globales de nivel de ruido, teniendo en cuenta también, la contribución de los neumáticos.

El ruido producido por el vehículo en las ciudades, depende también del entorno y, en especial, de la calidad de la infraestructura vial, por lo que la Directiva 2002/49/CE [42] exige la elaboración periódica de mapas estratégicos de ruido en los que se representarán los grandes ejes viarios, entre otros aspectos. Además, estos mapas pueden servir para estudios futuros sobre el ruido ambiental y en especial, sobre el ruido producido por la rodadura de los vehículos. También pueden ayudar en la clasificación de los tipos de superficies de carreteras y pueden servir como guía de buenas prácticas en materia de mejora de la calidad tecnológica de las carreteras.

La industria automotriz actual, encuentra ciertas dificultades para luchar por conseguir a la vez, las medidas técnicas adecuadas para reducir el ruido de los vehículos y aquellas destinadas a la reducción de las emisiones contaminantes, mientras que, al mismo tiempo, intentan que el proceso de fabricación se lleve a cabo de la manera más eficiente y barata posible. Con el fin de incentivar tanto a los fabricantes, como a los compradores, las autoridades públicas deben tener la posibilidad de adoptar medidas e incentivos que estimulen la utilización de vehículos más silenciosos.

Los vehículos híbridos y eléctricos son muy beneficiosos para el medio ambiente, tanto por la disminución de las emisiones como por la reducción del nivel de ruido. Respecto a este último punto, en el cual está basado este Trabajo, encontramos el mayor inconveniente de este tipo de vehículos: La reducción del nivel sonoro emitido por ellos, ha eliminado una fuente importante de señales acústicas en las que los viandantes confiaban. Debido a esto, para evitar atropellos y otro tipo de accidentes de dicha índole, la industria está desarrollando sistemas de aviso acústico (SAAV) para compensar la falta de señales acústicas en estos vehículos.

Por otra parte, es necesario sensibilizar a los ciudadanos de la Unión acerca de un estilo de conducción progresiva, pues el nivel sonoro de un vehículo, depende en parte de su uso y de un mantenimiento adecuado.

Para simplificar la legislación en materia de homologación de tipo de la Unión, el presente Reglamento debe basarse en los Reglamentos nº 51 de la CEPE [6] con respecto al método de ensayo, y en el nº 59 de la CEPE con respecto a los sistemas silenciadores de recambio.

### *3.3 Obligaciones y etiquetado*

A partir del 1 de Julio de 2016, los Estados miembros han de denegar, por motivos relacionados con el nivel sonoro admisible, la concesión de la homologación de tipo UE a un tipo de sistema silenciador de recambio, o a componentes de este, como unidad técnica independiente que no cumpla los requisitos del Reglamento. Estos requisitos vienen indicados en la Tabla 1.

Los certificados de conformidad de vehículos nuevos han dejado de ser válidos a efectos del artículo 26 de la directiva 2007/46/CE [4] y prohibirán el registro, la venta y la puesta en servicio de tales vehículos en caso de que los mismos no se ajusten a lo dispuesto en el nuevo Reglamento.

Los fabricantes garantizarán que los vehículos, su motor y su sistema silenciador estén diseñados, contruidos y montados de manera que, en condiciones normales de utilización, tales vehículos cumplan con el nuevo Reglamento.

El fabricante será responsable, ante la autorización de homologación, de todos los aspectos relacionados con el procedimiento de homologación y de garantizar la conformidad de la producción, independientemente de que participe o no directamente en todas las fases de la fabricación de un vehículo, sistema, componente o unidad técnica independiente.

Los fabricantes y distribuidores deberán garantizar que se informe al comprador del nivel sonoro del vehículo en dB(A), medido con arreglo al nuevo Reglamento.

La comisión efectuará, a más tardar, el 1 de Julio de 2018, una evaluación exhaustiva del impacto sobre las condiciones de etiquetado aplicables a los niveles de contaminación ambiental y acústica y sobre la información suministrada al consumidor. La comisión informará al Parlamento Europeo y al Consejo de las conclusiones de esa evaluación y, en su caso, presentará una propuesta legislativa.

Tabla 1. Límites de nivel sonoro redondeado matemáticamente a la cifra entera más próxima [11].

Categoría de vehículos	Descripción de la categoría	Valores límites expresados en dB(A)		
		<i>Fase 1</i> <i>aplicable a los nuevos tipos de vehículo a partir del 1 de Julio de 2016</i>	<i>Fase 2 aplicable a los nuevos tipos de vehículo a partir del 1 de Julio de 2020 y a la primera matriculación a partir del 1 de Julio de 2022</i>	<i>Fase 3 aplicable a los nuevos tipos de vehículo a partir del 1 de Julio de 2024 y a la primera matriculación a partir del 1 de Julio de 2026</i>
<b>M</b>	Vehículos utilizados para el transporte de pasajeros			
<b>M1</b>	Relación potencia/peso $\leq 120$ kW/1000 kg	72	70	68
<b>M1</b>	$120$ kW/1000 kg < relación potencia/peso $\leq 160$ kW/1000 kg	73	71	69
<b>M1</b>	$160$ kW/1000 kg < relación potencia/peso	75	73	71
<b>M1</b>	Relación potencia/peso > 200 kW/1000 kg número de asientos $\leq 4$ punto R del asiento del conductor $\leq 450$ mm desde el suelo.	75	74	72
<b>M2</b>	Masa $\leq 2500$ kg	72	70	69
<b>M2</b>	$2500$ kg < masa $\leq 3500$ kg	74	72	71
<b>M2</b>	$3500$ kg < masa $\leq 5000$ kg potencia nominal del motor $\leq 135$ kW	75	73	72
<b>M2</b>	$3500$ kg < masa $\leq 5000$ kg potencia nominal del motor > 135 kW	75	74	72
<b>M3</b>	Potencia nominal del motor $\leq 150$ kW	76	74	73
<b>M3</b>	$150$ kW < potencia nominal del motor $\leq 250$ kW	78	77	76
<b>M3</b>	Potencia nominal del motor > 250 kW	80	78	77
<b>N</b>	Vehículos utilizados para el transporte de mercancías.			
<b>N1</b>	Masa $\leq 2500$ kg	72	71	69
<b>N1</b>	$2500$ kg < masa $\leq 3500$ kg	74	73	71

### *3.4 Homologación de tipo UE de un tipo de vehículo en lo que respecta al nivel sonoro*

Para la solicitud de la homologación de tipo UE, el fabricante deberá presentar al servicio técnico encargado de los ensayos un vehículo representativo del tipo para el que solicitan la homologación. Para la selección de este vehículo, el servicio técnico responsable de los ensayos seleccionará el vehículo a satisfacción de la autoridad de homologación. A petición de este servicio técnico, también deberá presentarse una muestra del sistema silenciador y un motor que tenga, como mínimo, la misma cilindrada y potencia que el instalado en el tipo de vehículo cuya homologación de tipo se solicita.

Si se cumplen los requisitos pertinentes, se concederá la homologación de tipo UE. El número de homologación será único y un Estado miembro no podrá asignar el mismo número a otro tipo de vehículo.

## **4. Razones para la sustitución de la antigua norma**

Este punto es la base para comprender de dónde proviene el ruido generado por un vehículo en movimiento. Además explica por qué razón se llevó a cabo una revisión de la norma (hecho que está muy relacionado con la fuente del ruido en el movimiento de un vehículo), basándose en ciertos experimentos realizados que se explicarán a continuación.

### *4.1 Origen del ruido en los vehículos en movimiento.*

Los vehículos tienen muchas fuentes de ruidos, las principales son, el motor, incluyendo escape y admisión, el ruido aerodinámico, la transmisión y la rodadura. Múltiples estudios han demostrado que a velocidades inferiores a 50 km/h, domina el nivel de ruido generado por el grupo motor, mientras que a velocidades superiores a 50 km/h se impone el ruido de la rodadura del neumático con el suelo. El ruido aerodinámico empieza a notarse a velocidades por encima de los 80 km/h.

En la Tabla 2, se representa, para distintas velocidades y para distintos tipos de vehículos, la contribución de cada una de las fuentes en el ruido global.

Tabla 2. Contribución de cada fuente al ruido global [39].

Fuente emisora	V=50 km/h		V=80 km/h	
	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Vehículos ligeros	Vehículos pesados.
Admisión/Escape	10-35%	0 – 10%	15 – 35%	50 – 70%
Radiación del sistema de escape	13-35%	20 – 60%		
Bloque motor	20-50%	10 – 80%		
Caja/transmisión	5-35%			
Ventilador/Radiador	0-30%	0 – 65%		
Contacto neumático/calzada	≤ 15%	≤ 15%	65 – 85%	30 – 50%

Actualmente los motores son cada vez más silenciosos; los silenciadores de los escapes hacen que las ondas sonoras provenientes del motor recorran kilómetros antes de salir, perdiendo mucha energía y haciendo que las que consiguen llegar a la salida del escape sean poco energéticas y produzcan poco nivel de ruido. Por esta razón, la mayor fuente de ruido en la circulación de vehículos en la ciudad, es la rodadura.

#### 4.2 ¿Por qué una nueva norma?

El ruido del tráfico vial perjudica a la salud, es un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades e incidencias de salud como hipertensión e infartos. La finalidad de la normativa que se está estudiando es que los valores límites globales se reduzcan en lo que se refiere a todas las posibles fuentes de ruido de los vehículos de motor. El nivel sonoro de un vehículo depende de muchos factores, en la situación actual, la mayor fuente de ruido del movimiento de un vehículo es la rodadura, pero hay que seguir estudiando cómo reducir el ruido generado pues, aunque los motores actualmente son muy silenciosos y los sistemas de escape mejoran cada día, hay que tener en cuenta que el nivel sonoro de un vehículo depende en parte de su uso y de un mantenimiento adecuado.

Hasta el 1 de Julio de 2016, fecha en la que entró en vigor el nuevo Reglamento, la medida del ruido emitido por los vehículos se basaba en la norma ISO 362:1998 [8]. El resultado de las medidas realizadas de este modo es el promedio del nivel de presión sonora registrado para la segunda o la tercera marcha. Por tanto, el método en el que se basa esta norma, realizaba la medida del nivel de presión

sonora de los vehículos, suponiendo que la fuente mayoritaria de ruido, era el sistema de propulsión.

Con los experimentos realizados (los cuáles se estudiarán en el siguiente punto) se ha podido comprobar que esta condición no es la más influyente en la generación del ruido, y sí lo es la rodadura, de la cual esta norma no realizaba un estudio correcto.

Aunque este método fue la base para la aplicación de medidas del control del ruido que han conseguido reducir el nivel de ruido límite de 82 dB(A) a 74 dB(A) en 20 años según ECE, la reducción del nivel de ruido que llega a los edificios colindantes a las vías de tránsito de vehículos ha sido muy débil.

El gran desarrollo que ha tenido lugar en la tecnología de fabricación de los motores de los nuevos vehículos y de las transmisiones de estos, hace que algunos supuestos de la norma ISO 362:1998 [8] queden invalidados.

Por tanto, llegamos a la conclusión de que el método de ensayo que se realizaba hace tan solo unos meses, se considera representativo de los niveles sonoros en condiciones de tráfico normales, pero es menos representativo de tales niveles en condiciones más desfavorables. La nueva normativa también deberá intentar reducir más los límites de nivel sonoro. Ha de tener en cuenta los nuevos requisitos para los neumáticos de los vehículos de motor que establece el Reglamento (CE) nº661/2009 [5].

### *4.3 Estudios previos*

El ruido es una gran preocupación para la población de las grandes urbes. Este proviene, de entre otras muchas fuentes, del tráfico de vehículos. El nivel de presión sonora que llega a los edificios colindantes a las vías de tráfico depende de muchos factores:

- La forma en que las ciudades están construidas.
- El número de vehículos que circula por dicha vía.
- El asfalto usado en la vía, ya que contribuye al factor del ruido producido por la rodadura.

- El comportamiento de los conductores, que como se estudiará más adelante, depende mucho del tipo de vehículo que manejen.

Consultas realizadas a los habitantes muestran que los ruidos molestos se producen sobre todo en las calles principales de las ciudades y durante la aceleración de los vehículos. La velocidad media de estas vías, según la norma ISO 362-1:2015 [7], es de 50 km/h como se puede observar en la Figura 1, por eso fue esta la velocidad elegida para la realización de los ensayos.

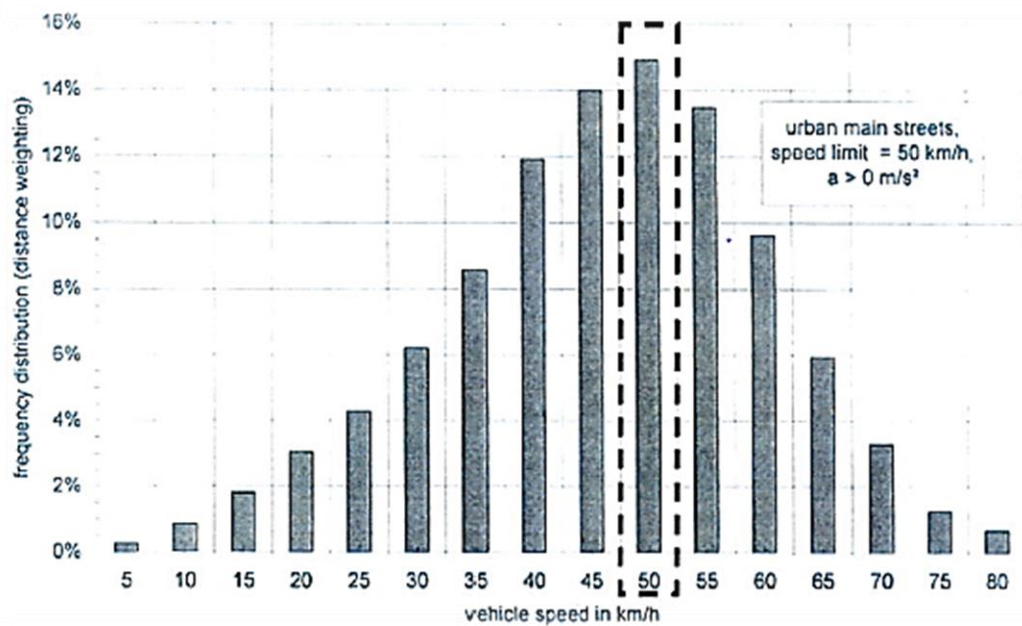


Figura 1. Medida de la velocidad de los vehículos en las calles principales de las ciudades. [7]

Para conocer el comportamiento de los vehículos en ciudad, se hizo un estudio de 61 automóviles (52 de cambio manual y 9 de cambio automático) que fueron conducidos durante dos horas en diferentes ciudades y vías. La potencia de dichos vehículos osciló entre 40 kW y 440 kW (o lo que es lo mismo entre 53 CV y 590 CV) mientras que la relación potencia peso rondó entre 12.7 y 380. Finalmente se llegó a las siguientes conclusiones:

- La aceleración máxima depende de la velocidad del vehículo, decreciendo ésta a medida que aumenta la velocidad.
- La aceleración depende también de la velocidad de rotación del motor, siendo esta diferente dependiendo de la marcha que se haya engranado.

- El comportamiento del tráfico urbano basado en el pico de aceleración y en la velocidad de giro del motor está vinculado con la relación potencia/peso (PMR). El pico de aceleración en el tráfico urbano aumenta con la relación potencia/peso.

## **5. Método A. Norma ISO 362:1998 [8]**

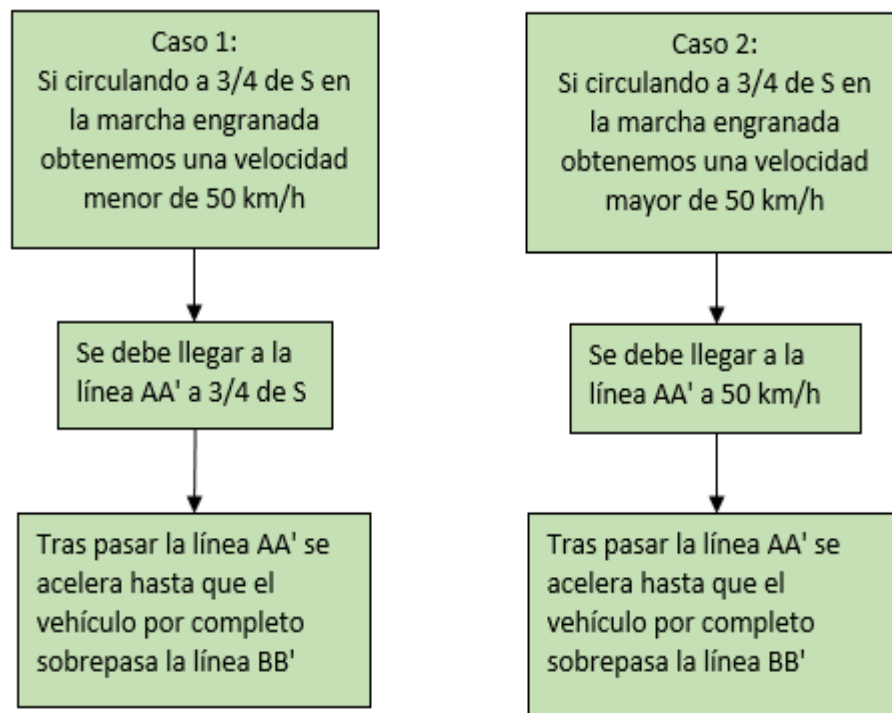
Este método desarrollado en la Norma ISO 362:1998 [8], ha estado vigente hasta el 1 de Julio de 2016. Gracias a ella, se llevaron a cabo técnicas para la disminución del nivel sonoro de los vehículos que redujeron notablemente el ruido generado. Sin embargo, el valor límite máximo de nivel sonoro dado por esta norma, ha permanecido inalterado, durante todo este tiempo, en 74 dB(A).

Este método viene explicado en el diagrama de flujo de la Figura 2 y la pista en la que se realiza es la de la Figura 3, la cual está situada en el Centro Municipal de Acústica de Valladolid.

Como bien se observa en el diagrama de flujo, en función de la marcha a la que el vehículo circule, se tendrá que llegar a la línea AA' a 50 km/h o a  $\frac{3}{4}$  de S. Si en la marcha engranada circulando a  $\frac{3}{4}$  de S la velocidad es mayor a 50 km/h, se tendrá que ensayar alcanzando la línea AA' a 50 km/h, en cambio si es menor, se deberá llegar a la línea AA' a  $\frac{3}{4}$  de S.

Después de pasar la línea AA' se debe acelerar hasta que todo el vehículo haya rebasado la línea BB'. Se hacen dos pasadas con la segunda marcha engranada y otras dos con la tercera. La línea PP' es en la cual se encuentran los micrófonos, situados a 7,5 metros de distancia de la línea del centro de la pista (llamada línea CC') y a  $1,2 \pm 0,2$  metros de altura.





Siendo S la velocidad de rotación del motor a máxima potencia, medida en revoluciones por minuto.

Figura 2. Diagrama de flujo método A.

Las condiciones que debe cumplir la pista que se detalla en la norma ISO 362:1998 [8], correspondiente al método A, no son las mismas que se indican en la nueva norma ISO 362-1:2015 [7]. Existe una nueva norma, la ISO 10844:2014 [10], que describe las propiedades que debe cumplir la pista para la realización del método B, recogido en la ISO 362-1:2015 [7].

La antigua pista tenía una mayor absorción, la macroestructura de la misma podía tener más huecos donde las ondas de sonido podían colarse. Para estudiar esta macroestructura se utilizaba el método del grano de arena, que consistía en extender arena sobre una probeta representativa del trazado de la pista, y en función de lo que llegara a extenderse se sabía si ese trazado tenía más o menos huecos y era más o menos absorbente. En la pista usada en los ensayos de la nueva norma ya no se usa este método para conocer la macroestructura de la misma, sino que se usa un láser.

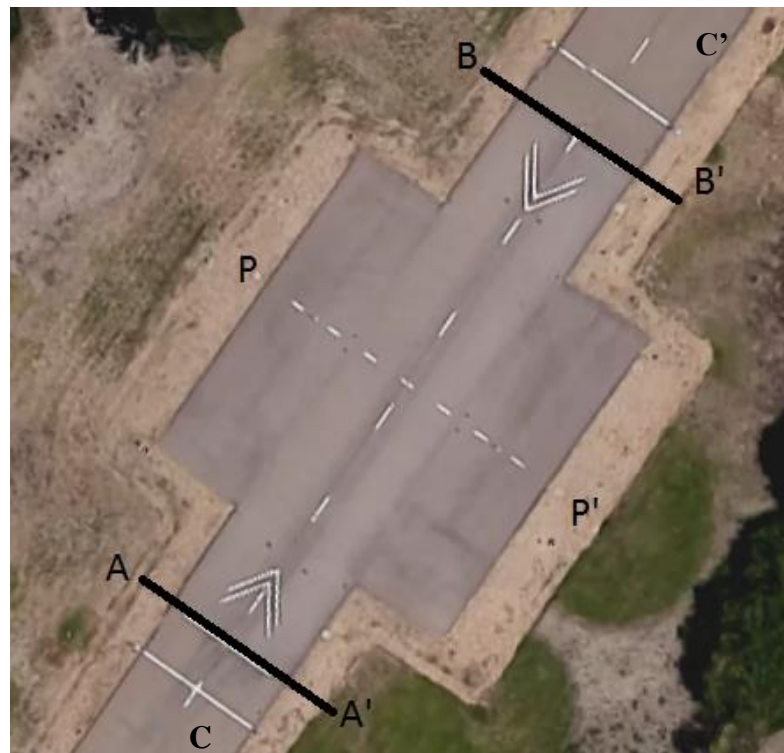


Figura 3. Pista de ensayo CMA.

Existe un punto de referencia en el vehículo cuya función es marcar el paso del mismo por las líneas AA' y BB', para realizar los cálculos. Este punto depende del diseño y de la categoría del vehículo y es el mismo en ambos métodos de ensayo. Para las categorías M<sub>1</sub>, N<sub>1</sub> y M<sub>2</sub> de la Tabla 1, teniendo una masa máxima autorizada que no excede los 3500 kg:

- Para vehículos con motor delantero, el punto de referencia se encuentra en el extremo delantero del vehículo.
- Para vehículos con motor central, el punto de referencia se encuentra en el centro del vehículo.
- Para vehículos de motor trasero, el punto de referencia se encuentra en la parte trasera del vehículo.

Para la categoría M2 teniendo una masa máxima autorizada que excede los 3500 kg, y las categorías M3, N2 y N3 (Tabla 1):

- Para vehículos de motor delantero, el punto de referencia se encuentra en el extremo delantero del vehículo.
- Para el resto de vehículos, el punto de referencia se encuentra en el borde del motor más cercano a la parte delantera del vehículo.

Un ejemplo del uso de este método de ensayo lo podemos ver en el informe de "ROOKE & FUENTES Ingenieros Acústicos Asociados". Realizaron unas pruebas de acuerdo a la norma ISO 362:1998 [8]. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de nivel de presión sonora medido con el método A [41].

Nº	Marca	Modelo y Características	Año	Niveles dB(A)				Ruido de Fondo dB(A)	Nivel Final dB(A)
				En 2ª		En 3ª			
				Izq.	Der.	Izq.	Der.		
1	Peugeot	505 Evolution	1989	80,4	80,6	-	-	45,8	81,8
				80,8	82,5	-	-		
				80,8	82,1	-	-		
				80,2	82,0	-	-		
				<b>80,5</b>	<b>81,8</b>	-	-		
2	Suzuki	Vitara 1.6	1989	79,3	81,3	76,8	79,2	49,0	80,2
				80,6	82,7	76,2	78,4		
				80,2	81,1	75,0	77,9		
				80,1	82,8	76,1	78,9		
				<b>80,1</b>	<b>81,9</b>	<b>76,0</b>	<b>78,6</b>		

En la Tabla 3, podemos observar que, en aquel vehículo que tan solo se ensaya con una marcha, el valor final es el valor mayor del promedio de las mediciones realizadas en ambos lados del vehículo (por ejemplo, el Peugeot). Mientras que, en el caso de haber ensayado con dos marchas, las medias de las pruebas para cada marcha (el promedio mayor de cada lado), se promedian para obtener el valor final, como en el caso del Suzuki.

También se puede ver el alto nivel de ruido que producían los vehículos de aquella época. Esos niveles de potencia sonora se han visto reducidos hasta los 74 dB.

## **6. Método B. Norma ISO 362-1:2015 [7]**

El nuevo método de ensayo es introducido por el Reglamento (UE) N° 540/2014 [3] del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014, sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio.

Su función es intentar que se lleven a cabo ciertas medidas, por parte de los fabricantes y de los Estados miembros, para reducir la contaminación acústica que crean los vehículos y, por tanto, reducir los límites de nivel sonoro de los mismos.

La misma ISO 362-1:2015 [7] especifica el tipo de vehículos, el método de ensayo, etc. Las características de la pista de ensayo vienen recogidas en la norma ISO 10844:2014 [10].

### *6.1 Tipos de vehículo*

Existe una gran variedad de vehículos, pero en la norma que se estudia en el presente documento, tan solo se incluyen los vehículos tipo M y N. Dentro de estas dos tipologías hay distintas categorías, estas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Categoría de vehículo. [7]

CATEGORÍA	
M	Vehículos impulsados por motor de al menos 4 ruedas usados para el transporte de pasajeros.
M <sub>1</sub>	Vehículos usados para el transporte de pasajeros con no más de 8 asientos además del asiento del conductor.
M <sub>2</sub>	Vehículos usados para el transporte de pasajeros con más de 8 asientos además del asiento del conductor. Tienen una masa máxima que no excede los 5000kg
M <sub>3</sub>	Vehículos usados para el transporte de pasajeros con más de 8 asientos además del asiento del conductor. Tienen una masa máxima que excede los 5000kg.
N	Vehículos impulsados por motor, de al menos cuatro ruedas, usados para el transporte de mercancías.
N <sub>1</sub>	Vehículos usados para el transporte de mercancías teniendo una masa máxima autorizada que no excede los 3500 kg
N <sub>2</sub>	Vehículos usados para el transporte de mercancías teniendo una masa máxima autorizada que excede los 3500 kg
N <sub>3</sub>	Vehículos usados para el transporte de mercancías teniendo una masa máxima autorizada que excede los 12000kg.

## 6.2 Pista de ensayo

La pista usada en los test de la norma ISO 362:1998 [8], vigente hasta el 1 de Julio de 2016 y especificada en la ISO 10844:1994 [38], se ha sustituido por la de la norma ISO 362-1:2015 [7], cuyas características se recogen en la norma ISO 10844:2014 [10].

El estándar internacional especifica las características que debe tener la superficie de ensayo de la pista donde se realizan los ensayos, cómo es el trazado de la misma y los requerimientos que debe cumplir. La superficie de la pista:

- Produce niveles consistentes de ruido de rodadura.
- Minimiza las variaciones entre los distintos puntos de la pista.
- Proporciona menor absorción de las fuentes sonoras del vehículo. El nuevo trazado usado en los test, posee una absorción menor que el 8%.

- Es consistente con la práctica de construcción de carreteras.

### 6.2.1 El trazado de la pista

El trazado de la pista está constituido por dos áreas: una pista de rodadura y un área de propagación. Las dimensiones de las mismas vienen representadas en la Figura 4.

Dentro de un radio de 50 metros desde el centro de la pista, el espacio debe estar libre de grandes objetos reflectantes, tales como rocas, puentes, edificios y cercas.

En la Figura 4 se representa la forma y medidas de la pista que se especifica en la ISO 10844:2014 [10].

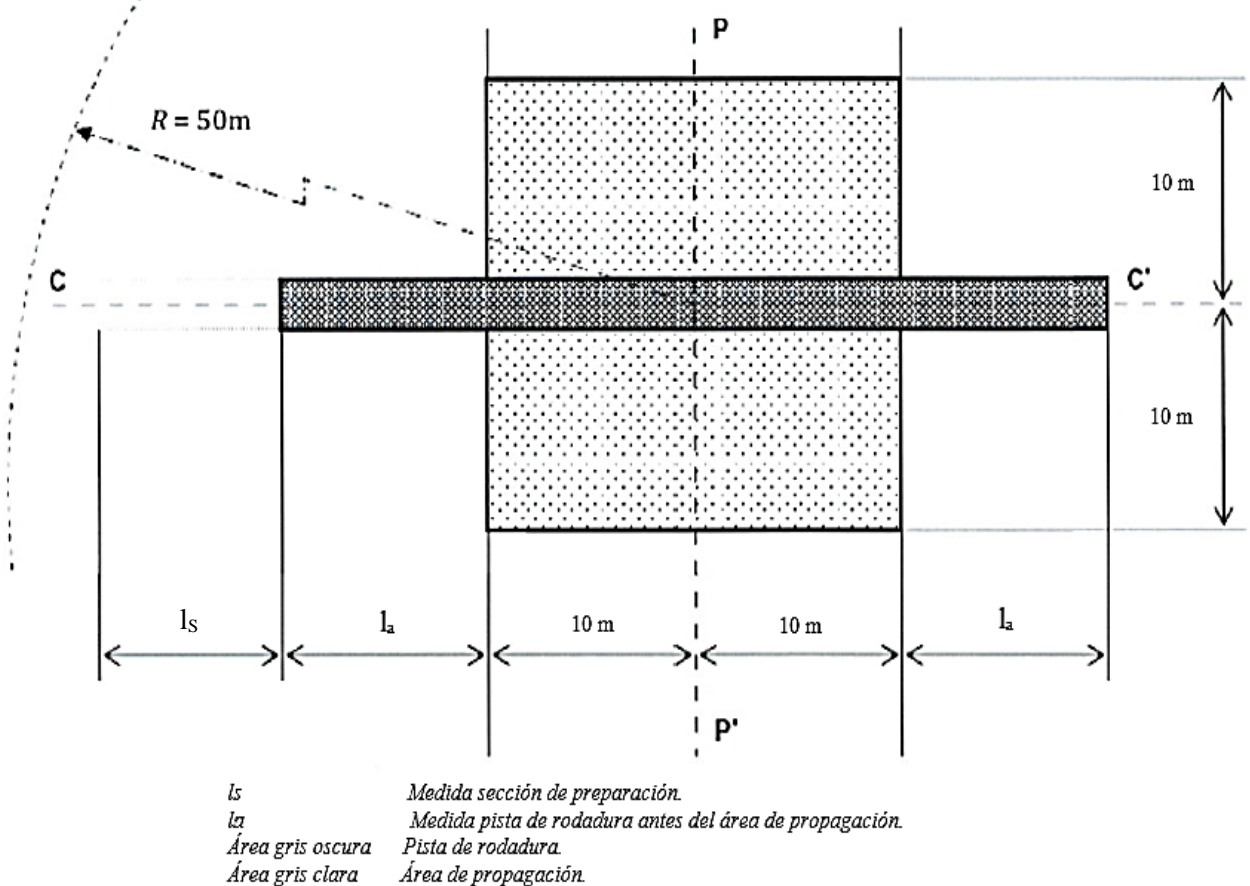


Figura 4. Medidas de la pista dónde se realizan los test. [10].

El valor de  $la$ , que como viene indicado en la Figura 4, corresponde a la longitud de la pista de rodadura antes de alcanzar el área de propagación, viene dado en la Tabla 5:

Tabla 5. Valor de  $la$ . [10]

Longitud	Para estudiar neumáticos, vehículos de pasajeros, motocicletas, vehículos ligeros y camiones.	Para estudiar vehículos con motor trasero, teniendo una distancia de más de 10 metros entre el punto de referencia y el eje frontal. (punto de referencia definido en la norma ISO 362-1:2015 [7])
$la$	10 m	20 m

### 6.2.2 Requerimientos que debe cumplir la pista

La pista de rodadura debe cumplir los requerimientos siguientes:

- Las irregularidades transversales deben ser menores o iguales a 0,003 metros y las longitudinales iguales o menores a 0,002 metros. Estas discontinuidades deben medirse de acuerdo con la norma EN 13036-7:2004 [31], Parte 7: Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas.
- Para las comprobaciones periódicas de la pista, tanto las irregularidades transversales como las longitudinales deben ser menores o iguales a 0,005 metros.
- Tan solo para la aceptación de la pista, la desviación del plano horizontal en dirección transversal debe ser como máximo de un 1,0% y en dirección longitudinal un 0.5% como máximo.

El área de propagación debe cumplir las siguientes características:

- Debe tener irregularidades menores o iguales a 0,02 metros.
- Puede tener uno o los dos lados por debajo de la línea de conducción. Esa caída en dirección transversal debe ser igual o menor del 2,0%.

Estos requerimientos especificados en la norma ISO 10844:2014 [10] vienen representados en la Figura 5.

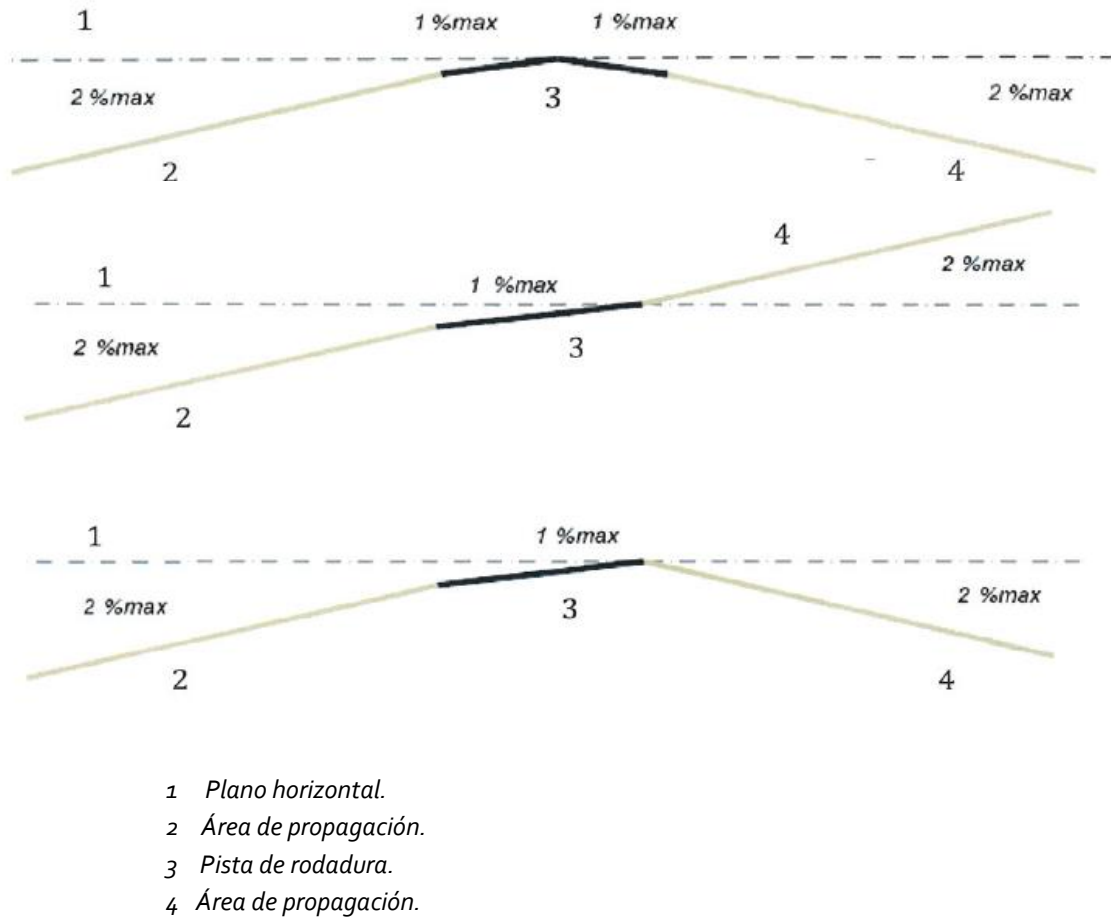


Figura 5. Requerimientos discontinuidades de la línea de conducción y del área de propagación. [10]

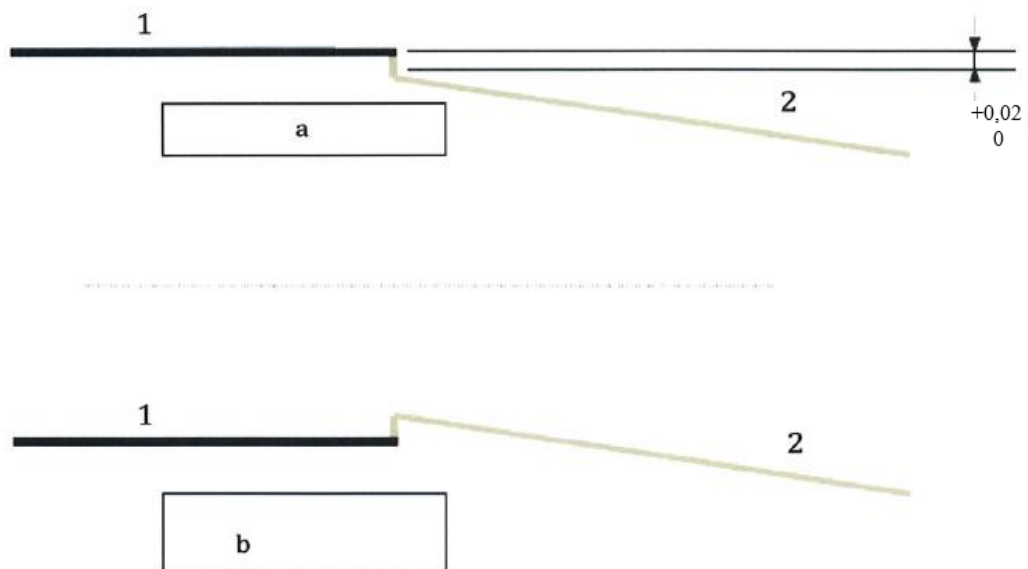
Los pasos o discontinuidades entre el área de propagación y la línea de conducción deben estar comprendidos entre 0 y +0,02 metros. Viene representado en la Figura 6.

La pista de rodadura debe tener unas ciertas propiedades para cumplir con las exigencias de la norma:

- Estar constituida por asfalto denso. Si la pista está recién asfaltada, el betunen es muy pegajoso y afecta en la medición del ruido generado.



- Tener una absorción de sonido mayor o igual al 8% en cualquier banda de tercio de octava entre 315 Hz y 1600 Hz.
- Tener un tamaño máximo de discontinuidades de 8 mm.
- Poseer un espesor de capa de rodadura mayor o igual a 30 mm.
- Tener una profundidad media de perfil (MPD) de  $0,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ .
- No tener material elástico en la capa superior o en las subcapas.



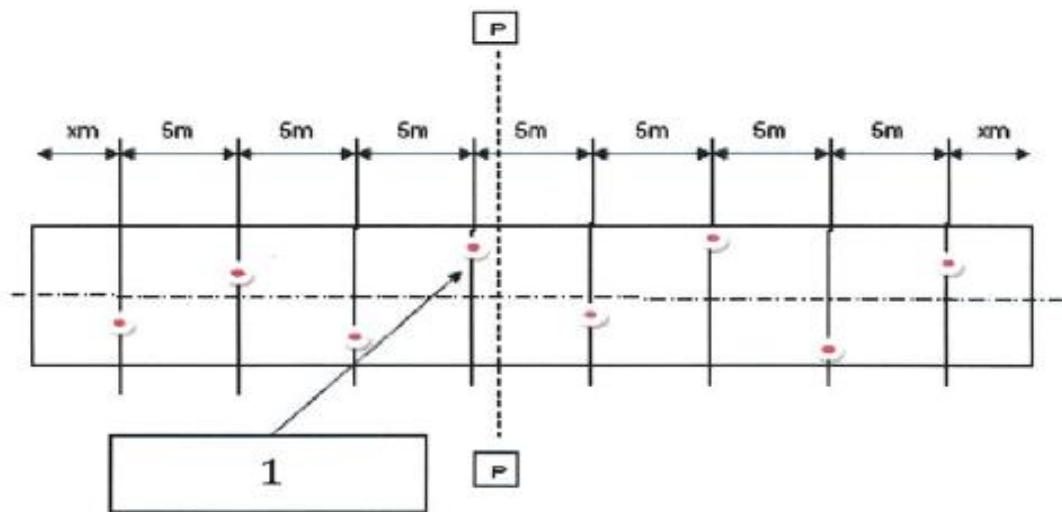
- 1 Pista de rodadura.
- 2 Área de propagación.
- a Discontinuidad permitida  $\leq 0,02 \text{ m}$ .
- b Discontinuidad no permitida incluso si  $\leq 0,02 \text{ m}$ .

Figura 6. Discontinuidades del área de propagación. [10]

Las medidas de la regularidad de la pista de rodadura deben realizarse sobre la totalidad de la misma en las sendas recorridas por cada una de las ruedas. Para las medidas de absorción, textura y cumplimiento de la norma, el primer punto debe ser elegido al azar en las inmediaciones de la línea PP' (esta línea está representada en la Figura 3) y las medidas posteriores han de llevarse a cabo en

intervalos de 5 metros en diferentes ejes paralelos a la línea central para cubrir toda la pista, de acuerdo con la Figura 7.

Para la comprobación de las propiedades de la superficie perteneciente al área de propagación han de tomarse al menos dos medidas elegidas al azar a cada lado. Además para la medida de la absorción en esta parte de la pista, se debe medir a ambos lados de la pista de rodadura entre la posición del micrófono y el centro de la línea de conducción en las proximidades de la línea PP'.



1 Primer punto escogido al azar.

Figura 7. Posiciones de medida en la pista. [10].

Las propiedades de las superficies que conforman la pista de ensayo deben ser estudiadas en las ocasiones que se exponen a continuación:

- Antes de la aceptación de la pista.
- Durante los chequeos periódicos de las pista.

En la Tabla 6 se recogen los requerimientos que deben cumplir las superficies que forman las dos partes que componen la pista de los test (línea de conducción y área de propagación), en cada una de las ocasiones en las que deben ser estudiadas.

Tabla 6. Periodicidad de comprobación de los requerimientos durante la aceptación y el chequeo periódico. [10]

Requerimientos de la pista		Para la aceptación		Para el chequeo periódico	
		Pista de rodadura	Área de propagación	Pista de rodadura	Área de propagación
Pendiente	Gradiente	X (0,5%)	N.A.	N.A.	N.A.
	Caída	X (1%)	X (2%)	N.A.	N.A.
Irregularidades longitudinales		X ( $\leq 2$ mm)	X ( $\leq 2$ mm) Al azar	X ( $\leq 5$ mm) 2 años <sup>a</sup>	N.A.
Irregularidades transversales		X ( $\leq 3$ mm)		X ( $\leq 5$ mm) 2 años <sup>a</sup>	N.A.
Textura		X MPD 0,5mm $\pm$ 0,2 mm	N.A.	X MPD 0,5mm $\pm$ 0,2 mm 2 años <sup>a</sup>	N.A.
Absorción		X (8% maximo)	X (10% maximo)	X (8% maximo) 4 años <sup>a</sup>	N.A.
X	a comprobarse.				
N.A.	No aplicable.				
a	Periodicidad.				
MPD	Profundidad media del perfil.				

### 6.2.3 Medidas realizadas sobre la pista

Para realizar las medidas de los requerimientos de la pista estudiados hasta el momento, se necesitan unos métodos que se darán a continuación, diferenciando entre aquellos que se ocupan de la medida de irregularidades, aquellos cuya función es medir la textura de la pista y los que calculan la absorción.

- La irregularidad de la pista de rodadura debe determinarse de acuerdo a la norma EN 13036-7:2014 [31] usando una regla consistente en una viga de 3 metros de largo y una cuña con pasos de 1 mm en el lado oblicuo.

- b) El perfil de la pista se determina de acuerdo a la ISO 13473-1 [33]. Se debe medir en el trazado de la pista de rodadura por donde pasan las ruedas. Se pueden usar dos métodos:
- 1) Medición continua. El perfil medido se divide en 8 secciones, cada una de 5 metros de largo. El MPD se evalúa por separado como un promedio de cada sección. Esta operación debe realizarse dos veces en cada uno de los dos trazados por donde pasar las ruedas.
  - 2) Medición segmentada. El MPD se mide en un mínimo de 4 localizaciones en cada uno de los dos trazados por donde pasan las ruedas.
- c) La absorción debe medirse en el rango de frecuencia dado entre 280 Hz y 1800 Hz, con un instrumento de medición in situ que cumple las especificaciones de la norma ISO 13472-2:2010 [32]. Los resultados se expresan en coeficientes en bandas de un tercio de octava de acuerdo con el procedimiento descrito en dicha norma.

### *6.3 Instrumentos de medición*

Los métodos A y B comparten muchos componentes de la cadena de medida, pues el método B (el correspondiente a la norma vigente) tan solo necesita a mayores una balanza, dado el hecho de que este método, obliga a ensayar con los niveles de líquidos al 100% y con el nivel de combustible como mínimo al 90%. Con la balanza se obtiene el peso del vehículo más el del conductor y el de los equipos (que van dentro del coche) que se necesitan para realizar las medidas.

Los demás instrumentos de la cadena de medida son:

- Tacómetro: para medir las revoluciones a las que está trabajando en cada momento el motor.
- Radar: para controlar la velocidad del vehículo.
- 2 micrófonos.

- 2 fotocélulas.
- Un sensor conectado al acelerador para conocer en qué momento exacto acelera.
- Instrumental meteorológico: Termómetro, anemómetro, barómetro e higrómetro.
- Instrumental para medir la temperatura de la pista.
- 2 frontend. Uno se lleva en el interior del vehículo y otro se sitúa en la sala. Estos sirven para mantener la comunicación y poder hacer llegar las medidas al ordenador.

En las Figuras 8 y 9 se presentan el Frontend que se encuentra en el interior de la sala del Centro Municipal de Acústica (CMA), un tacómetro, y dos tipos de instrumentos para poder medir la temperatura de la pista.

La medida de la temperatura de la pista se debe realizar antes de comenzar el ensayo y después. En el CMA se usa un termómetro y una masilla térmica que se ajusta al suelo de la pista, para que de esta manera la medida sea más exacta. El pirómetro laser puede ser más inexacto, pues dentro del terreno de la pista siempre habrá poros.

El instrumental meteorológico utilizado para el seguimiento de las condiciones ambientales durante el ensayo deberá incluir los siguientes dispositivos, que tendrán, como mínimo, la precisión que se indica a continuación:

- Termómetro,  $\pm 1$  °C.
- Anemómetro,  $\pm 1,0$  m/s.
- Barómetro,  $\pm 5$  hPa.
- Higrómetro,  $\pm 5$  %.

La velocidad del motor se medirá con instrumentos que tengan una precisión del  $\pm 2\%$  o superior a las velocidades del motor exigidas para las mediciones efectuadas.

La velocidad del vehículo se medirá con un instrumental que tenga una precisión mínima de  $\pm 0,5$  km/h, si se utilizan dispositivos de medición continua.



Figura 8. Frontend situado en el interior de la sala del Centro Municipal de Acústica.



Tacómetro

Termómetro

Pirómetro

Figura 9. Algunos de los instrumentos transportados en el interior del vehículo.

#### 6.4 Condiciones de medida.

El ruido emitido por un vehículo que se presente a la homologación de tipo UE se medirá con el vehículo en movimiento y parado. En el caso de un vehículo híbrido, cuyo motor de combustión interna deja de funcionar cuando el vehículo circula por debajo de cierta velocidad, el ruido será medido únicamente con el vehículo en movimiento.

Al comenzar y finalizar cada sesión de mediciones se deberá comprobar todo el sistema de medición mediante un calibrador acústico que cumpla con los requisitos relativos a calibradores acústicos de precisión de clase 1, recogidos en la norma CEI 60942:2003 [18]. La diferencia entre los valores indicados deberá ser inferior o igual a 0,5 dB. Si se supera este valor, los resultados de las mediciones realizadas después del anterior control satisfactorio, deberán desecharse.

Las mediciones no se podrán realizar en condiciones meteorológicas adversas y la velocidad máxima que puede alcanzar el viento es de 5 m/s, para que las mediciones sean válidas. El instrumental meteorológico estará situado en una zona adyacente a la pista de ensayo a una altura de  $1,2 \pm 0,02$  m. Se podrán realizar mediciones cuando la temperatura ambiente esté comprendida entre  $+5$  °C y  $+40$  °C.

Si las condiciones de viento, incluidas ráfagas, a la altura del micrófono sobrepasan los 5 m/s no se realizarán las mediciones.

Tras cada pasada válida se medirá durante 10 segundos el nivel de ruido ambiental, este deberá estar, como mínimo, 10 dB por debajo del nivel de presión sonora ponderado A producido por el vehículo en estudio, para que las medidas sean válidas. Si la diferencia se encuentra entre 10 y 15 dB deberá aplicarse un factor de corrección (mostrado en la Tabla 7), que se resta a los resultados obtenidos en la medición.

Tabla 7. Corrección del sonómetro [11]

Diferencia entre el ruido ambiental y el ruido que debe medirse dB(A)	10	11	12	13	14	15
Corrección dB(A)	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0

Las emisiones sonoras de la rodadura vienen establecidas en el Reglamento (CE) Nº 661/2009 [5] del Parlamento Europeo y del consejo, del 13 de Julio de 2009, relativo a los requisitos de homologación de tipo referente a la seguridad general de los vehículos de motor, sus remolques sistemas, componentes y unidades técnicas independientes a ellos destinados.

Los neumáticos que vayan equipados durante el ensayo han de ser representativos del vehículo. Serán elegidos por el fabricante. El neumático seleccionado es de vital importancia pues dependiendo del dibujo y de la profundidad del mismo, estos emitirá mayor o menor nivel de ruido. Los neumáticos deberán tener, al menos, una profundidad de dibujo de 1,6 mm. La presión de los mismos será la recomendada por los fabricantes.

Los micrófonos deberán estar situados a  $7.5 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m}$  de la línea de referencia CC' de la pista, y a  $1.2 \text{ m} \pm 0.02 \text{ m}$  del suelo.

En el método B se debe tener muy presente el peso del vehículo, dado el hecho de que tiene en cuenta el factor potencia-peso. Las mediciones se realizarán en los vehículos con las masas de ensayo  $m_t$  especificadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Masa del vehículo de ensayo [11].

Categoría de vehículo	Masa de ensayo del vehículo ( $m_t$ ) <i>Siendo <math>m_{ro}</math> la masa en orden de marcha.</i>
$M_1$	$m_t = m_{ro}$
$N_1$	$m_t = m_{ro}$
$N_2, N_3$	<p><math>m_t = 50 \text{ kg}</math> por kW de potencia nominal de motor.</p> <p>La carga adicional para alcanzar la masa de ensayo del vehículo se colocará sobre el eje o ejes de tracción traseros. Esta masa no puede ser superior al 75% de la masa máxima en carga técnicamente admisible en el eje trasero. La masa de ensayo debe alcanzarse con una tolerancia del <math>\pm 5\%</math></p> <p>Si no se puede alinear el centro de gravedad de la carga adicional con el centro del eje trasero, la masa de ensayo del vehículo no excederá de la suma de la carga del eje delantero y del trasero, con el vehículo descargado, más la carga adicional.</p> <p>La masa de ensayo de los vehículos con más de dos ejes será la misma que la de un vehículo de dos ejes.</p>
$M_2, M_3$	<p><math>m_t = m_{ro} - \text{masa del acompañante (Si procede)}</math></p> <p>o bien, en caso de que los ensayos se efectúen en un vehículo incompleto no carrozado,</p> <p><math>m_t = 50 \text{ kg}</math> por kW de potencia nominal de motor. Cumpliendo las condiciones arriba indicadas, en las categorías <math>N_2, N_3</math>.</p>



La masa de ensayo del vehículo se define bajo las siguientes condiciones:

- Esta masa incluye la carrocería, el equipamiento que la versión del vehículo en cuestión traiga de fábrica, la instalación eléctrica y el equipamiento auxiliar que garantice un funcionamiento normal, incluyendo líquidos, herramientas, extintores, rueda de repuesto, etc.
- El depósito de combustible debe estar a una 90% de su capacidad. El resto de depósitos de líquido se deben llenar al 100 %.

La masa en orden de marcha, es la suma de la masa del ocupante y la masa del vehículo de ensayo. En el caso de las categorías M2 y M3, que incluyen asientos adicionales para otras personas, la masa de éstas es incorporada de la misma manera e igual a la del conductor.

### *6.5 Procedimiento de medida.*

El método B, engloba tres tipos de ensayos:

- El ensayo de preaceleración, que sirve para determinar en qué marcha o marchas se debe ensayar,
- El ensayo de aceleración y
- El ensayo de velocidad constante. Este último, no se realiza cuando el vehículo tiene un PMR menor de 25.

El ensayo de aceleración, el cual debe hacerse antes del ensayo de velocidad constante (pues, para este último, se necesitan conocer los valores de aceleración del vehículo), consiste en que cuando el punto de referencia del vehículo alcance la línea AA' se deberá pisar a fondo el acelerador y se mantendrá así hasta que el punto de referencia esté, como mínimo, 5 metros por detrás de la línea BB', entonces es cuando se podrá soltar el pedal del acelerador.

El procedimiento de ensayo a velocidad constante es algo más complicado, pues se debe llegar a 50 km/h justamente en la posición de los micrófonos y se debe empezar a acelerar en la línea AA'. Lo que hace aún más complicado el método de medida, pues el piloto debe saber a qué velocidad llegar a la línea AA', para que

cuando llegue a ese punto acelere y después no sobrepase los 50 km/h en la línea de micrófonos.

El procedimiento que se debe seguir para realizar este método se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 10.

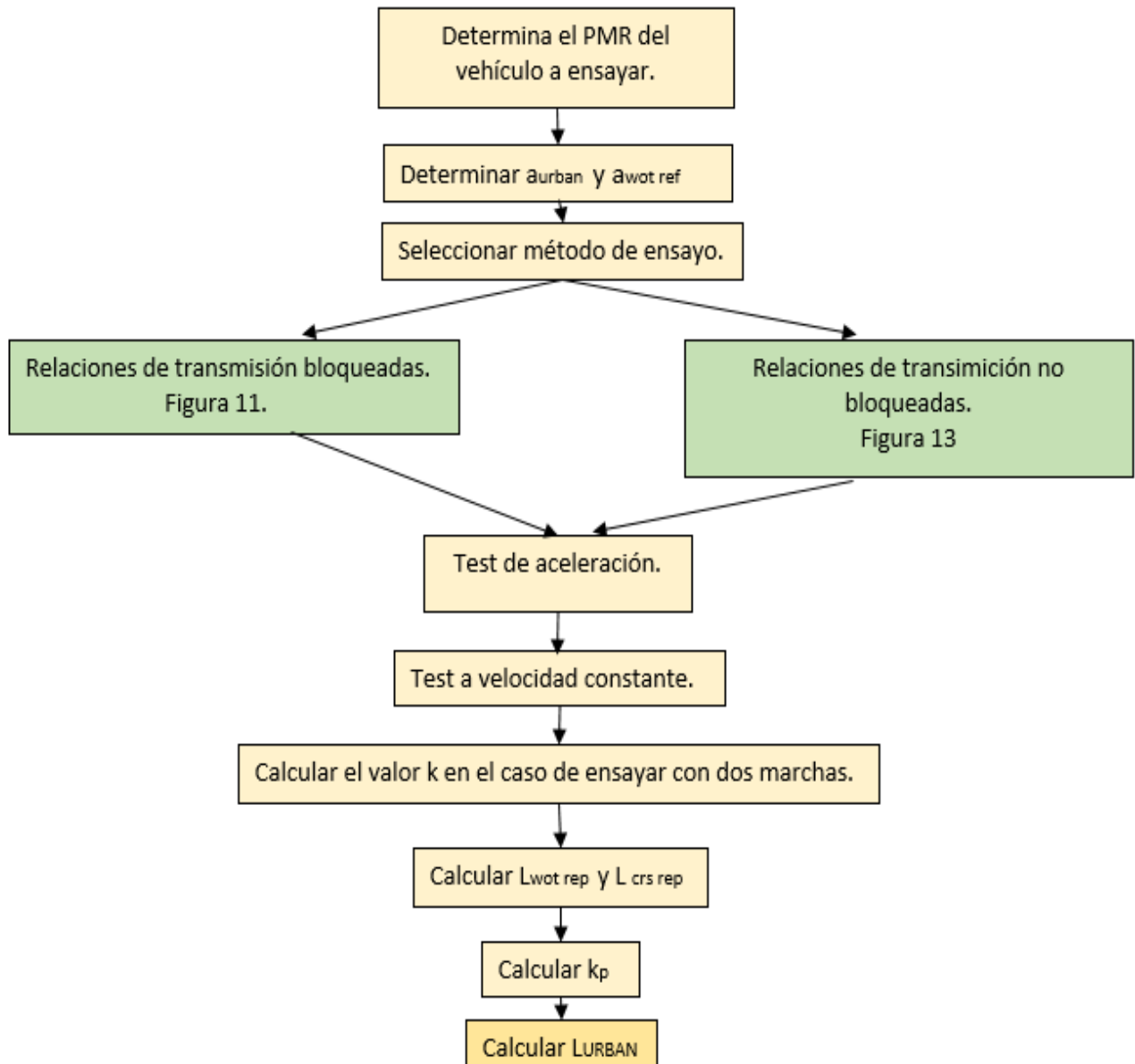


Figura 10. Diagrama de flujo para la determinación de  $L_{urban}$  [7]

Cómo se puede comprobar en la Figura superior, en primer lugar, debemos conocer el PMR del vehículo, éste se determinará a partir de la ecuación 1.

$$PMR = (P_n/m_t) \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Siendo:  $P_n$  la potencia neta del vehículo en cuestión, medida en kW  
 $m_t$  la masa de ensayo del vehículo en kg.

Después de calcular PMR se deben calcular las aceleraciones  $a_{urban}$  y  $a_{wot\ ref.}$  Los cálculos de aceleración solo son aplicables a los vehículos de las categorías M1, N1 Y  $M2 \leq 3500$  kg. Todas las aceleraciones se deben determinar a diferentes velocidades del vehículo. El método utilizado para calcular la aceleración deberá indicarse en el acta de ensayo.

Para la realización de los cálculos de aceleración, necesitamos conocer dónde se encuentra el punto de referencia del vehículo para, según se defina el mismo, la longitud del vehículo se considerará de una forma o de otra en las fórmulas:

- Si el punto de referencia está en la parte delantera del vehículo:  $l = l_{veh.}$
- Si el punto de referencia está en la parte media del vehículo:  $l = \frac{1}{2}l_{veh.}$
- Si el punto de referencia está en la parte trasera del vehículo:  $l = 0$

En primer lugar debemos calcular  $a_{wot\ test,}$  que es la aceleración usada para la determinación de la marcha o marchas usadas en el ensayo. Ésta es la media de las  $a_{wot\ test,j}$  de cada una de las cuatro pasadas realizadas para la realización de los ensayos. Para vehículos con transmisión manual, automática, adaptativa y variable continua (CVT), sometidos a un ensayo con las relaciones de transmisión bloqueadas:

$$a_{wot\ test,j} = \left( (v_{BB',j}/3,6)^2 - (v_{AA',j}/3,6)^2 \right) / (2 \cdot (l_{20} + l)) \quad \text{Ecuación 2.}$$

Siendo:  $v_{BB'}$  la velocidad del vehículo al rebasar la línea BB'  
 $v_{AA'}$  la velocidad del vehículo al rebasar la línea AA'.

Sin las relaciones de transmisión bloqueadas:

$$a_{wot\ test,j} = \left( (v_{BB',j}/3,6)^2 - (v_{PP',j}/3,6)^2 \right) / (2 \cdot (l_{10} + l)) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Siendo:  $v_{pp'}$  la velocidad del vehículo al rebasar la línea  $PP'$   
 $l$  la longitud del vehículo.

La aceleración típica en el tráfico urbano,  $a_{urban}$ , se deduce de investigaciones estadísticas y es función del PMR del vehículo. La ecuación 4 refleja cómo se determina esa aceleración.

$$a_{urban} = 0,63 \cdot \log(PMR) - 0,09 \quad \text{Ecuación 4.}$$

La aceleración de referencia,  $a_{wot\ ref}$ , es la aceleración requerida durante el ensayo de aceleración en la pista de ensayo. Depende, al igual que  $a_{urban}$  del PMR del vehículo. Esta aceleración varía en función de la categoría del vehículo que se esté ensayando.

$$a_{wot\ ref} = 1,59 \cdot \log(PMR) - 1,41 \quad \text{para } PMR \geq 25 \quad \text{Ecuación 5.}$$

$$a_{wot\ ref} = a_{urban} = 0,63 \cdot \log(PMR) - 0,09 \quad \text{para } PMR < 25 \quad \text{Ecuación 6.}$$

Salvo que se trate del caso en el que los ensayos se están realizando con una única marcha, la aceleración que se utilizará para los cálculos será  $a_{wot\ ref}$  en lugar de  $a_{wot\ test}$ .

Tras la realización del test de aceleración, se realiza el ensayo a velocidad constante (si el ensayo de preaceleración demuestra que es necesario) y, como se puede ver en la Figura 10, tras conseguir llevar a cabo el número de pasadas válidas necesario en ambos, se determinará:

- $k$ , que es el factor de ponderación de las relaciones de transmisión. Este es un adimensional y se utiliza para combinar los resultados de relaciones de transmisión del ensayo de aceleración y del ensayo de velocidad constante. Se determina según la ecuación 8,

- $L_{wot\ rep}$ , nivel de presión sonora registrado en el ensayo de aceleración (ecuación 6),
- $L_{crs\ rep}$ , que es el nivel de presión sonora registrado en el ensayo de velocidad constante (ecuación 7),
- $K_p$ , que es el factor de potencia parcial. Éste sirve para realizar una combinación ponderada de los resultados del ensayo de aceleración y del ensayo de velocidad constante. Se determina según las ecuaciones 9 o 10.
- Y por último se obtendrá  $L_{urban}$ , que es representativo del nivel de presión sonora en una situación de tráfico urbano generado por un vehículo. Es el resultado final del ensayo, el valor de nivel de presión sonora que genera el vehículo en ensayo. Se determina según la ecuación 11.

Como se puede observar en el diagrama de flujo representado en la Figura 10, para determinar  $L_{urban}$ , hay que calcular previamente  $L_{wot\ rep}$  y  $L_{crs\ rep}$ , para ello se utilizan las ecuaciones 7 y 8, dadas para vehículos de las categorías M1, N1 y M2 ≤ 3500 kg:

$$L_{wot\ rep} = L_{wot(i+1)} + k \cdot [L_{wot\ i} - L_{wot(i+1)}] \quad \text{Ecuación 6.}$$

$$L_{crs\ rep} = L_{crs(i+1)} + k \cdot [L_{crs\ i} - L_{crs(i+1)}] \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$\text{Donde } k = (a_{wot\ ref} - a_{wot(i+1)}) / (a_{wot(i)} - a_{wot(i+1)}) \quad \text{Ecuación 8.}$$

Siendo:  $L_{wot(i+1)}$  la medida obtenida en el ensayo de aceleración con la marcha  $i+1$ .

$L_{wot\ i}$  la medida obtenida en el ensayo de aceleración con la marcha  $i$ .

$L_{crs(i+1)}$  la medida obtenida en el ensayo de velocidad constante con la marcha  $i+1$ .

$L_{crs\ i}$  la medida obtenida en el ensayo de velocidad constante con la marcha  $i$ .

$a_{wot(i+1)}$  Aceleración del vehículo en la marcha  $i+1$  obtenida por la ecuación 2 o 3.

$a_{wot(i)}$  Aceleración del vehículo en la marcha  $i$  obtenida por la ecuación 2 o 3.

En el caso de que se esté ensayando con una sola marcha engranada, los valores son el resultado de cada ensayo.

El factor  $k_p$  de potencia parcial, se usa para la combinación ponderada de los resultados de ensayo de aceleración y de velocidad constante en vehículos de las

categorías M1 y N1. Para la determinación de este factor se utiliza la ecuación 9 si el ensayo se realiza con tan solo una marcha, mientras que si se usan dos, la ecuación que determina  $k_p$  es la 10. En los casos en los que  $a_{wot\ test}$  es menor que  $a_{urban}$ ,  $k_p$  es 0.

$$k_p = 1 - (a_{urban}/a_{wot\ test}) \quad \text{Ecuación 9.}$$

$$k_p = 1 - (a_{urban}/a_{wot\ ref}) \quad \text{Ecuación 10.}$$

Finalmente, para determinar  $L_{urban}$  usamos la ecuación 11.

$$L_{urban} = L_{wot\ rep} - k_p \cdot (L_{wot\ rep} - L_{crs\ rep}) \quad \text{Ecuación 11.}$$

En el caso de vehículos de la categoría M2 > 3500 kg, M3, N2 y N3, si el ensayo se realiza con una sola marcha, el resultado final será el resultado intermedio. Cuando se realiza el ensayo en dos marchas, el resultado será la media aritmética de los resultados intermedios.

A continuación se presentan los diagramas de flujo que se deben seguir en el ensayo de preaceleración para determinar en qué marcha o marchas deben realizarse los ensayos de aceleración y de velocidad constante.

En la Figura 11, se muestra el diagrama de flujo para la selección de la marcha o marchas adecuadas para la realización del ensayo en el caso de usar relaciones de transmisión bloqueadas. Como se puede ver en el mismo, primero se debe seleccionar una aceleración, basada en los ensayos de aceleración realizados previamente, y una velocidad de entrada.

Como se indica la Figura 11, si la aceleración se mantiene constante menor o igual a  $2,0\ m/s^2$  y la velocidad del motor antes de BB' es menor a S, y además la aceleración se encuentra dentro de la banda de tolerancia de  $a_{wot\ ref}$ , entonces se usa una sola marcha para realizar el ensayo. Si por el contrario, esto no se cumple, se debe ir al Caso 1 o al Caso 2 dados en la Figura 12.

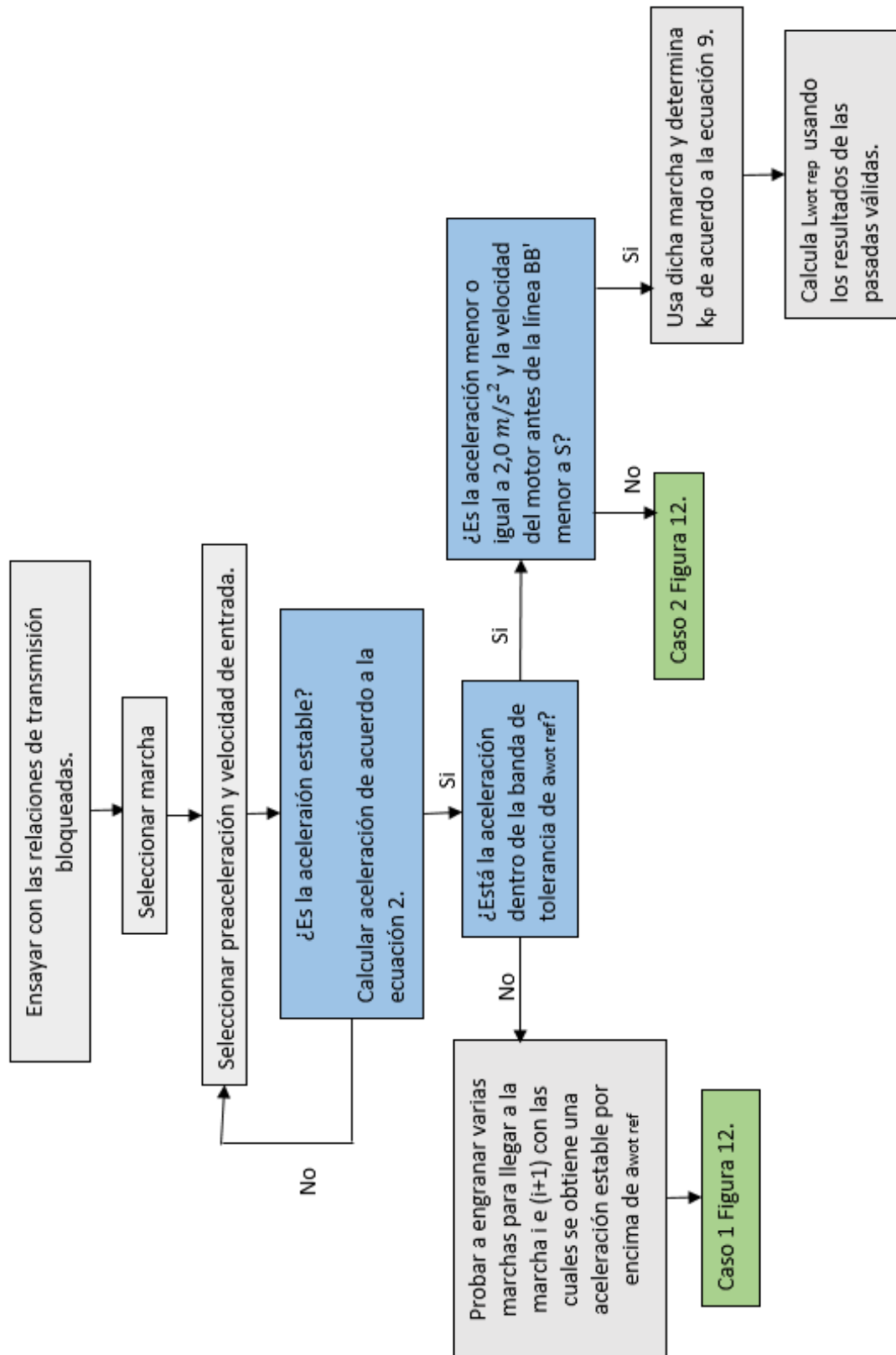


Figura 11. Diagrama de flujo 1 de 3 para la selección de las marchas usadas en caso de ensayar con las relaciones de transmisión bloqueadas [7].

La selección de la marcha a la que se va a realizar el test, depende de la aceleración  $a_{wot,j}$ . En las Figuras 11, 12 y 13 se indican las diferentes vías que se deben seguir para la realización del ensayo, en función de las aceleraciones que se han obtenido en el preensayo. En estos diagramas de flujo se puede determinar si se debe ensayar con una sola marcha, o con varias. Las condiciones para seleccionar qué marcha se debe engranar son:

- a) Si en el preensayo con la marcha  $i$  engranada la aceleración obtenida se encuentra en una banda de tolerancia de  $\pm 5\%$  de  $a_{wot\ ref}$ , sin exceder  $2,0\ m/s^2$  se debe ensayar en esa marcha.
- b) Si ninguna de las marchas requeridas (segunda o tercera) da la aceleración exigida, se debe elegir otra marcha  $i$ , con una aceleración mayor y otra marcha  $(i+1)$ , con una aceleración menor que la de referencia  $a_{wot\ ref}$ . Si el valor de la aceleración en la marcha  $i$  no excede  $2,0\ m/s^2$  debemos usar ambas ( $i$  e  $i+1$ ).
- c) Si en el preensayo de aceleración el valor de la marcha  $i$  o  $(i+1)$  excede  $2,0\ m/s^2$ , el ensayo se debe realizar con la marcha  $i$  engranada, a menos que con  $(i+1)$  se consiga una aceleración menor que  $a_{urban}$ .
- d) En caso de que con la marcha  $(i+1)$  engranada se obtenga una aceleración menor que  $a_{urban}$ , el ensayo debe realizarse con ambas marchas ( $i$  e  $i+1$ ).

Para la determinación del valor de  $a_{wot\ test}$  se debe usar el promedio de cuatro  $a_{wot\ test,j}$  de cada una de las 4 pasadas válidas:

$$a_{wot\ test} = 1/4 \cdot [a_{wot\ test\ (1)} + a_{wot\ test\ (2)} + a_{wot\ test\ (3)} + a_{wot\ test\ (4)}] \quad \text{Ecuación 12.}$$

Siendo:  $a_{wot\ test\ (i)}$  el resultado de aceleración de cada una de las pasadas realizadas.

Si la aceleración no está dentro de la banda del 5% de  $a_{wot\ ref}$  se deben seleccionar dos marchas y realizar cuatro pasadas con cada una de ellas. Si, por el contrario, la aceleración se encuentra contenida en la banda de tolerancia del 5% de  $a_{wot\ ref}$  se debe ensayar con esa sola marcha con la que se ha comenzado la prueba. Se hacen también cuatro pasadas.



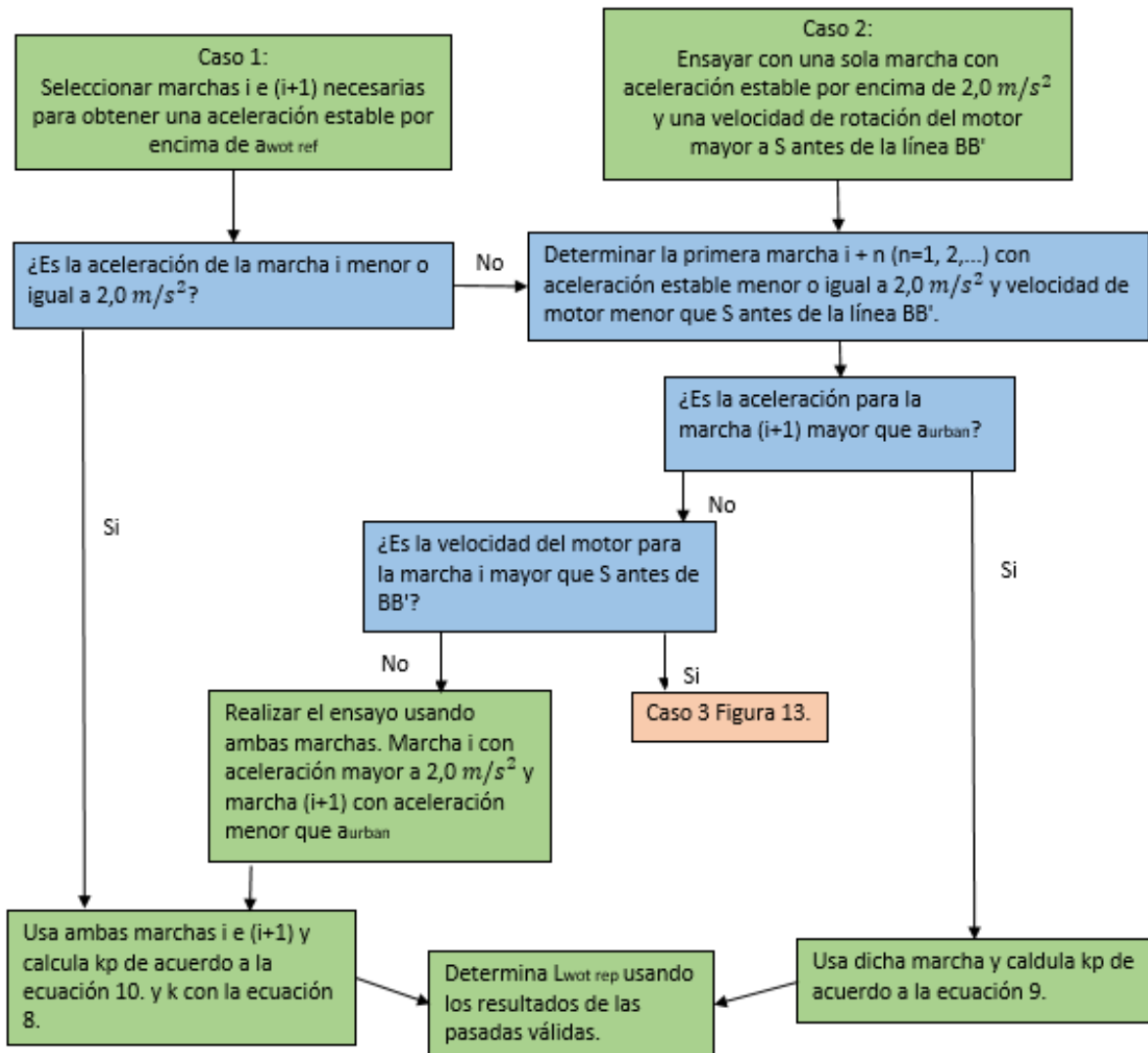


Figura 12. Diagrama de flujo 2 de 3 para la selección de las marchas usadas ensayando con la relaciones de transmisión bloqueadas [7].

En la Figura 12 se pueden apreciar tres vías para la realización del ensayo, en función de los resultados del ensayo de aceleración y de la velocidad del motor. El diagrama de flujo de esta figura comienza con dos casos:

- En el Caso 1, se ensaya con dos marchas si la aceleración resultante en la primera marcha es igual o menor a  $2,0 \text{ m/s}^2$ . Sino, debemos ir al Caso 2.
- En el Caso 2, se ensaya con una sola marcha si con ésta se consigue una aceleración estable mayor que  $a_{urban}$  y una velocidad de rotación del motor menor que  $S$  antes de la línea  $BB'$ .

Si no se cumple lo anterior y además la velocidad de rotación del motor es menor que  $S$  antes de la línea  $BB'$ , se volverá al Caso 1, en el que se debe ensayar con las marchas  $i$  e  $i+1$ .

Si por el contrario, la velocidad del motor con la marcha  $i$  engranada es mayor que  $S$  antes de  $BB'$  se debe ir al Caso 3, que viene representado en el diagrama de flujo de la Figura 13.

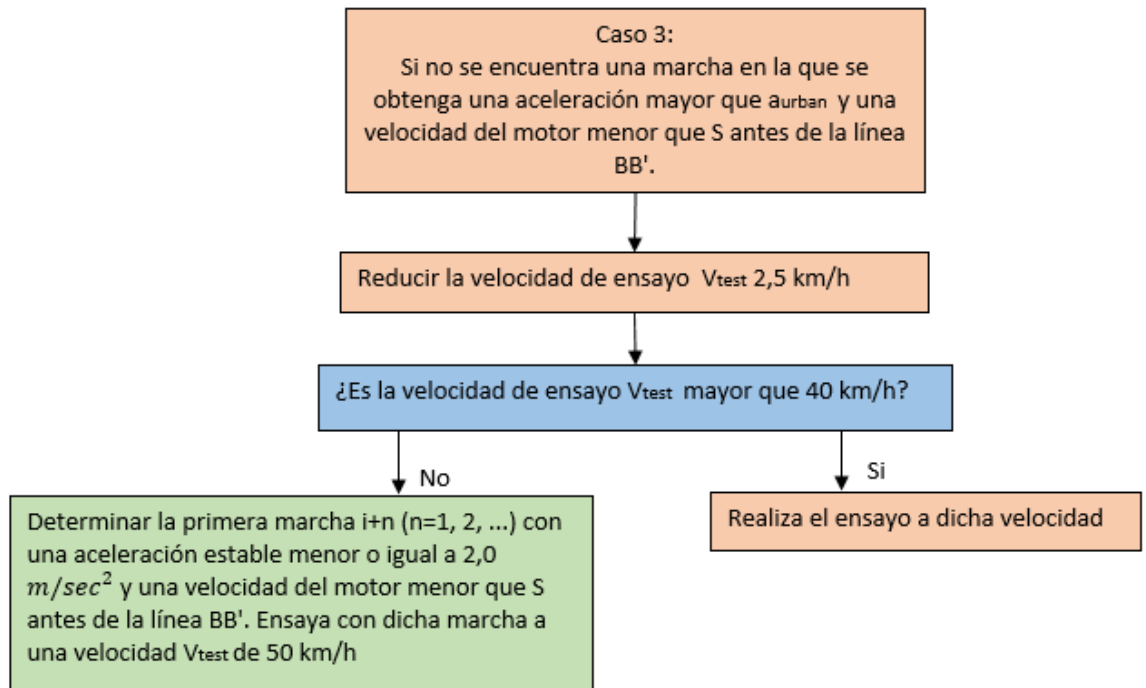


Figura 13. Diagrama de flujo 3 de 3 para la selección de las marchas usadas ensayando con relaciones de transmisión bloqueadas [7].

Por último, en la Figura 14 se representa el diagrama de flujo que se debe seguir para seleccionar la marcha a la cual debe realizar el ensayo, en caso de estar trabajando con vehículos de transmisión automática, adaptativa y variable continua, con las relaciones de transmisión no bloqueadas, es decir, la caja de cambios del vehículo estará trabajando en modo automático.

El selector de velocidades debe estar posicionado para el manejo en modo automático. La aceleración  $a_{wot\ test}$  debe ser mayor o igual que  $a_{urban}$ . Además, en este caso,  $a_{wot\ test}$  es usada para determinar el factor  $k_p$ , en vez de  $a_{wot\ ref}$ , es decir, se utilizará la ecuación 9.

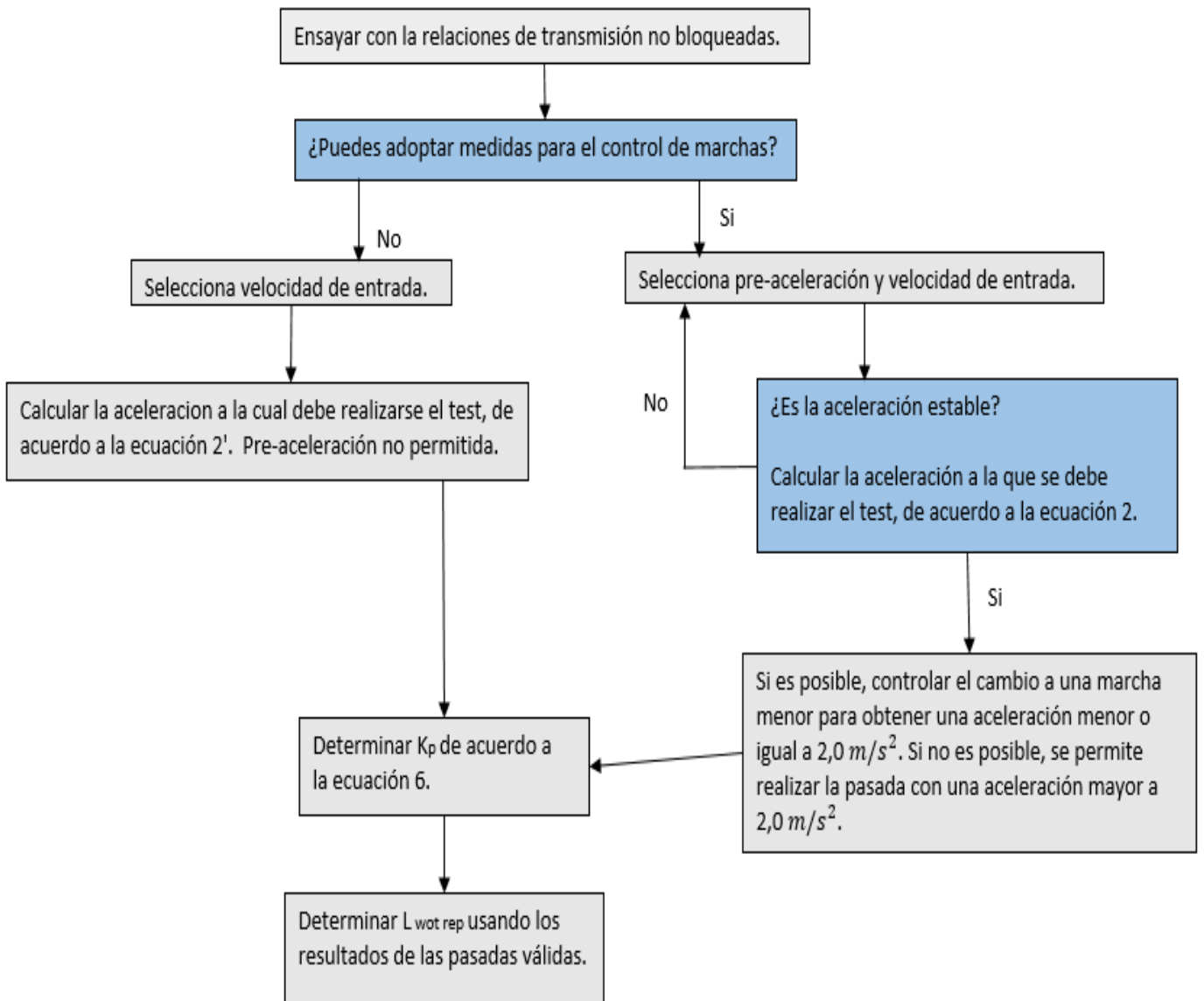


Figura 14. Diagrama de flujo usado para determinar la aceleración y  $L_{wot\ rep}$  ensayando con relaciones de transmisión no bloqueadas [7].

## 6.6 Medición del ruido con el vehículo parado

La realización de la parte de ensayo con el vehículo parado tiene como objetivo conocer el nivel sonoro cerca del mismo, cuando se encuentran en ese estado. Las medidas se realizarán por medio de un sonómetro de precisión. Cerca del micrófono no debe haber obstáculos que puedan influir en el campo acústico.

Al igual que en el otro caso, las indicaciones de los instrumentos de medición de ruido ambiental debe estar al menos 10 dBA por debajo del nivel sonoro que se vaya a medir.

El vehículo se situará en el centro de la zona de ensayo, en punto muerto y embragado. El motor deberá ponerse a trabajar en condiciones normal de funcionamiento según las especificaciones del fabricante. El capó deberá estar cerrado. Se llevarán a cabo, al menos 3 medidas en cada punto de medición. El micrófono se situará a una distancia de  $0,5\text{ m} \pm 0,01\text{ m}$  del punto de referencia del tubo de escape y a un ángulo de  $45^\circ (\pm 5^\circ)$  con respecto al eje de flujo del extremo del tubo. El eje del micrófono deberá estar en un plano paralelo al suelo y a una distancia no menor de  $0,2$  metro del mismo. En la Figura 15 se muestran los puntos de referencia para medir el ruido con el vehículo parado.

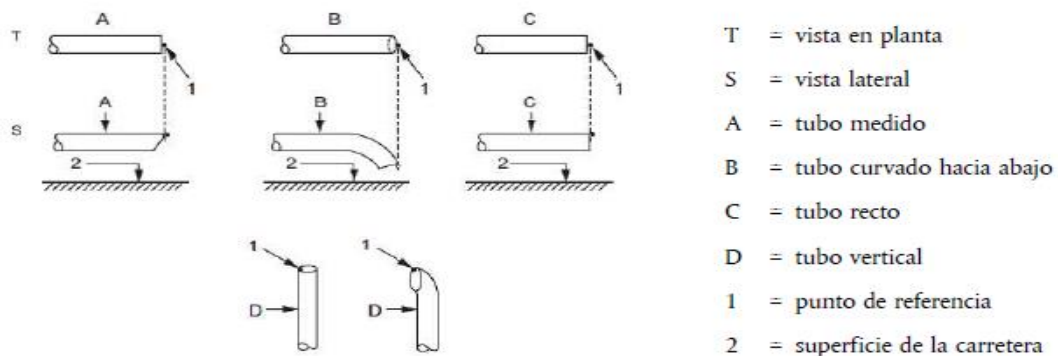


Figura 15. Punto de referencia para medir el ruido con el vehículo parado [3].

Si se pueden situar varios micrófonos, se elegirán según estén más alejados lateralmente del eje longitudinal del vehículo. Si el flujo que sale del escape hace un ángulo de  $90^\circ$  con respecto al eje longitudinal del vehículo, el micrófono se colocará en el punto más alejado del motor.

En vehículos con tubos de escape separados más de 0,3 m, se efectuarán medidas en cada uno de ellos y se registrará el nivel sonoro mayor. Si estos están conectados al mismo silenciador, solo se situará un micrófono. En aquel tubo de escape situado a más distancia del suelo. En la Figura 16 se muestran ejemplos de posicionamiento del micrófono en función de la situación del tubo de escape.

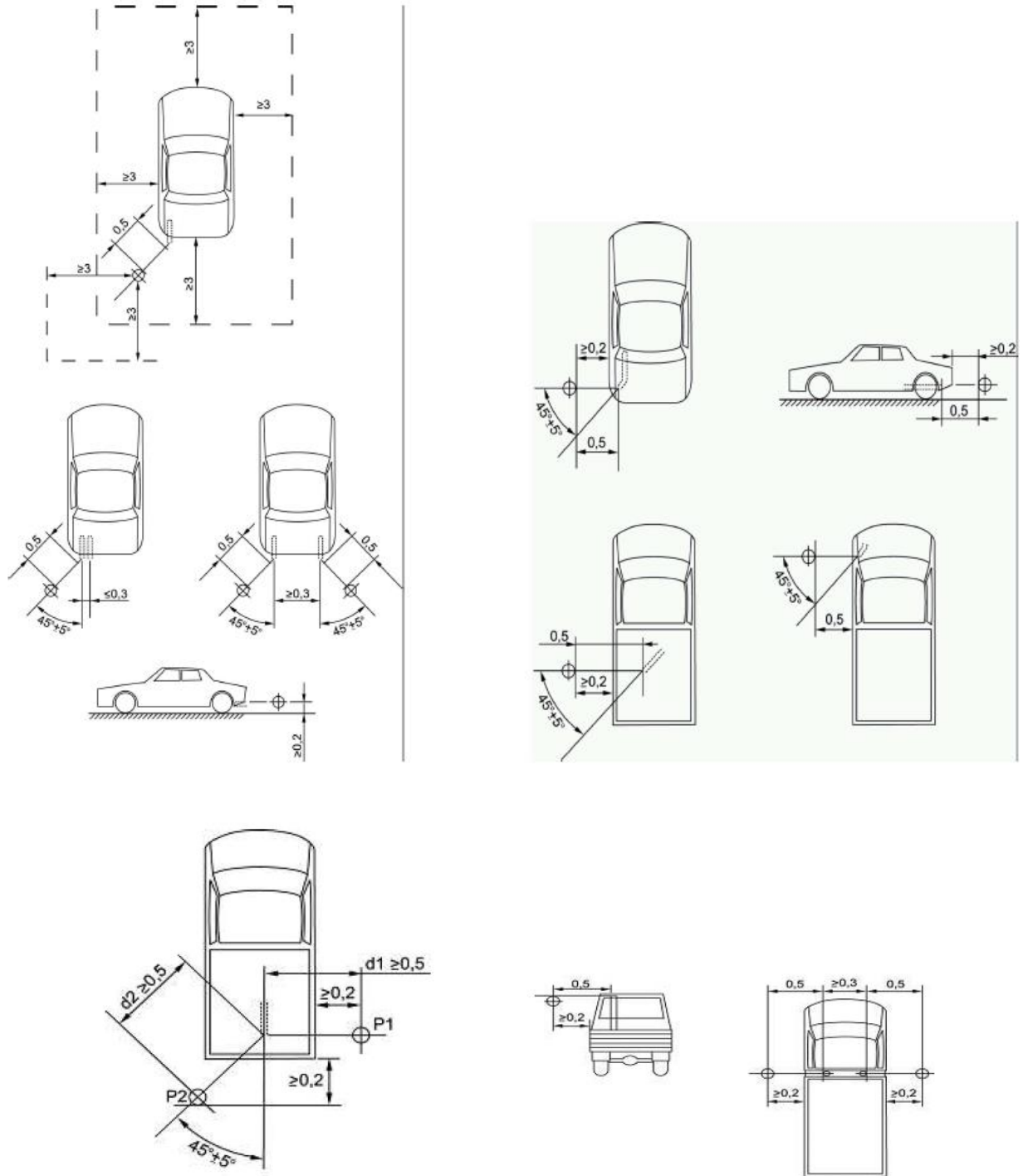


Figura 16. Ejemplos de posicionamiento del micrófono en función de la situación del tubo de escape.

Si el escape es vertical, el micrófono se situará a la altura del tubo de escape, su eje será vertical y deberá orientarse hacia arriba. Deberá colocarse a una distancia de  $0,5 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$  del punto de referencia del tubo de escape, pero nunca a  $0,2 \text{ m}$  del lado del vehículo más próximo al escape.

Las condiciones a las que se debe ensayar el motor son las siguientes:

- 75 % del régimen del motor S para los vehículos con un régimen nominal del motor  $\leq 5000 \text{ rpm}$ .
- 3750 rpm para los vehículos con un régimen nominal del motor superior a 5000 rpm e inferior a 7500 rpm.
- 50 % del régimen del motor S para los vehículos con un régimen nominal del motor  $\geq 7500 \text{ rpm}$ .

Si el motor no puede alcanzar el régimen del motor indicado anteriormente, el régimen del motor previsto será un 5% inferior al régimen máximo posible para el ensayo con el vehículo parado.

En definitiva, el ensayo consiste en ir aumentando gradualmente el régimen del motor, desde el ralentí hasta el régimen previsto, sin sobrepasar un margen de tolerancia del  $\pm 3 \%$  de este último y mantenerlo constante. Rápidamente se suelta el acelerador y se vuelve al ralentí.

El nivel sonoro se medirá durante diez segundos cuando se mantenga constante el régimen del motor y durante el periodo de desaceleración. Se tomará como valor de ensayo, la indicación máxima del sonómetro durante este periodo de funcionamiento, redondeada al primer decimal. La medición se considera válida, si la velocidad del motor en el ensayo no se desvía del régimen previsto más de un  $\pm 3 \%$ .

## 7. Ensayos ASEP

Los ensayo ASEP son unos ensayos a mayores de los Pass-by. Son aplicables a los vehículos de las categorías M1 y N1 equipados con un motor de combustión interna y provistos de fábrica, de sistemas silenciadores y sistemas silenciadores de recambio, destinados a dichas categorías de vehículos. Se realizan sobre vehículos de gran potencia.

Se excluyen los vehículos de categoría N1 que cumplen las condiciones siguientes:

- La cilindrada no es superior a 600 cm<sup>3</sup> y el índice de la relación potencia-peso, calculado utilizando la masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo, no es superior a 35.
- La carga útil no es inferior a 850 kg y el índice de la relación potencia-peso, calculado utilizando la masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo, no es superior a 40.

El ensayo se realizará en la misma pista de ensayo del método B. También los instrumentos y condiciones de medición son equivalentes.

### 7.1 Valores de control

Las condiciones de conducción serán las siguientes:

Velocidad del vehículo $v_{AA'ASEP}$	$v_{AA'} \geq 20 \text{ km/h}$
Aceleración del vehículo $a_{wotASEP}$	$a_{wot} \leq 5,0 \text{ m/s}^2$
Régimen del motor $n_{BBASEP}$	$n_{BB} \leq 2,0 \cdot PMR^{-0,222} \cdot S$ ó $n_{BB} \leq 0,9 \cdot S$ el valor que sea más bajo.
Velocidad del vehículo $v_{BBASEP}$	$v_{BB} \leq 70 \text{ km/h}$ Si el vehículo en la marcha $v_{BB} \leq 80 \text{ km/h}$ válida más baja no alcanza el régimen máximo del motor por debajo de 70 km/h, el límite de velocidad del vehículo es de 80 km/h.

## 7.2 Relaciones de transmisión

Los requisitos relativos a los ensayos ASEP se aplican a cada relación de transmisión K.

En los ensayos realizados en vehículos con transmisión automática con las relaciones de transmisión no bloqueadas, se podrá reducir una marcha y aumentar la aceleración. En cambio, no se podrá cambiar a una marcha superior con una menor aceleración.

## 7.3 Condiciones previstas

Las emisiones sonoras se medirán en cada relación de transmisión válida, en los cuatro puntos de ensayo siguientes:

- Primer punto de ensayo  $P_1$ . Se define utilizando una velocidad de entrada  $V_{AA}$  de 20 km/h. Si no se logra una aceleración estable, se aumenta la velocidad en escalones de 5 km/h hasta que se alcance esa estabilidad buscada.
- Cuarto punto de ensayo  $P_4$ . Es la velocidad máxima del vehículo en la línea BB'.
- El resto de puntos de ensayo se calcula con la ecuación 13.

*Punto de ensayo  $P_j$ :  $V_{BB_j} + ((j - 1)/3) \cdot (V_{BB_4} - V_{BB_1})$  para  $j=2$  y  $3$ . Ecuación 13*

Donde:

$v_{BB_1}$  Velocidad del vehículo en BB' del punto de ensayo  $P_1$ .

$v_{BB_4}$  Velocidad del vehículo en BB' del punto de ensayo  $P_4$ .

Tolerancia para  $v_{BB_j}$ :  $\pm 3$  km/h

## 7.4 Ensayo del vehículo

El ensayo consistirá en pisar el acelerador a fondo en la línea AA'. Para intentar conseguir que la aceleración sea estable entre las líneas AA' y BB'. Podrá



recurrirse a la preaceleración antes de la línea AA'. El acelerador se deberá mantener pisado hasta que el vehículo al completo, rebase la línea BB'.

Para cada una de las pasadas, se deben determinar los siguientes parámetros:

- El nivel máximo de presión sonora ponderado A de ambos lados del vehículo, durante cada uno de los pasos del mismo entre las dos líneas AA' y BB'. Debe ser redondeado a una cifra decimal. Sí en el espectro de sonido se detecta un pico fuera de lo normal debe descartarse.
- La velocidad del vehículo al pasar por AA' y BB' se debe indicar con una cifra decimal.
- El valor medido de la velocidad de rotación del motor del vehículo se debe indicar con un número entero.

## **8. Análisis de los resultados en un ensayo real. Comparación de métodos.**

Con el fin de hacer una comparación de los dos métodos de ensayo tratados en este Trabajo, analizaremos unos ensayos realizados en el Centro Municipal de Acústica del ayuntamiento de Valladolid (CMA).

El CMA nace con el objetivo de realizar un control más eficaz del ruido en la ciudad. La Policía Municipal puede instar mediante denuncia, a pasar por el centro a aquellos vehículos a motor que emitan un nivel alto de ruido, con el fin de comprobar que cumplen los niveles límite tolerados, tras la práctica de diversas mediciones. También puede proporcionar a las empresas la realización de mediciones, de manera que estas cumplan la Ley.

Se encuentra acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) para la realización tanto de este tipo de ensayos, como de ensayos de rodadura de neumáticos y de potencia acústica. Para la realización de los mismos, como ya se ha indicado, es necesaria una pista de ensayos específica, construida de acuerdo a la norma ISO 10844, de la cual este centro dispone.

Por otro lado, de acuerdo a la Ley 5/2009 [34], del 4 Junio, del Ruido de Castilla y León, las máquinas de obra pública, con más de dos años de antigüedad y que

operen dentro de la comunidad, deben ser evaluadas en cuanto al nivel de ruido y poseer un informe de ensayo de potencia acústica.

Por tanto, este centro lleva a cabo ensayos de ruido de vehículos en parado y en movimiento, ensayos de rodadura de neumáticos y ensayos de potencia acústica de máquinas.

Hay otros centros de ruido repartidos por todo el territorio Español, que se dedican también al control de ruido: El Centro de Acústica Aplicada de Álava, tiene un servicio de medidas acreditadas por ENAC que van desde ensayos en edificación (para el estudio del aislamiento ante ruido aéreo entre locales, el aislamiento del ruido generado por impactos, aislamiento de cabinas y encapsulamientos, y para estudiar el tiempo de reverberación en locales y auditorios), hasta medidas del ruido (ruido ambiental, ruido de tráfico aéreo,...) entre las cuales están los ensayos Pass by que se estudian el presente Trabajo.

El Centro Municipal de Acústica de Madrid también está acreditado por ENAC para realizar ensayos de control de ruido de vehículos de motor, ciclomotores y maquinaria de uso al aire libre voluntarios o notificados por la Policía Municipal o Agentes de Movilidad. Además tiene la función de realizar la certificación de potencia acústica de maquinaria de uso al aire libre y controlar las emisiones sonoras de sirenas y alarmas de vehículos.

En los ensayos realizados en el CMA, se utilizó el vehículo de prueba del que dispone el CMA. El objetivo del ensayo fue comparar el nivel de ruido medido con la diferencia de temperatura estacional de la pista. Se llegó a la conclusión de que con ambos modos de ensayo, se obtenían 1,5 dB(A) menos en invierno que en verano.

Antes de comenzar a medir, se debe situar cada elemento de la cadena de medida en su lugar, en la Figura 17, se representan las posiciones del radar en la pista, las fotocélulas y los micrófonos.

El radar se sitúa bastantes metros antes de la primera fotocélula (línea AA'), de tal manera que pueda medir la velocidad del vehículo hasta que la parte trasera de éste haya sobrepasado la línea BB'. Los micrófonos utilizados son de campo libre de 50 mVPa, se les coloca una pantalla antiviento para mitigar la acción del mismo al tomar las medidas

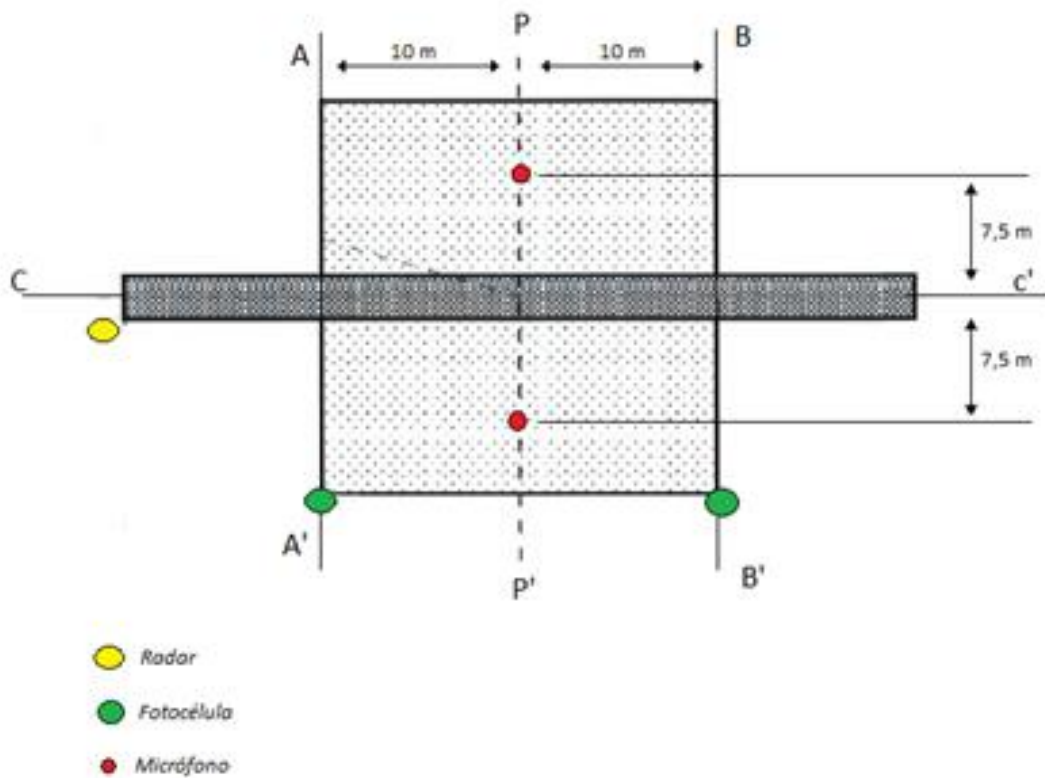


Figura 17. Situación de los elementos de la cadena de medida.

Dentro del vehículo se encuentran los siguientes elementos de la cadena de medida:

- *Tacómetros.* Uno de ellos está unido a un encoder que mide las vueltas que da el volante de inercia del motor. Éste no muestra la medida, por esa razón, para que el piloto sepa a qué revoluciones se encuentra trabajando el vehículo en cada instante, tiene un tacómetro digital a la vista.
- *Frontend.* Para comunicarse con el que se encuentra en el interior de la sala del CMA.
- *Termómetro.* Se usa para medir la temperatura de la pista. Utilizan una masilla térmica que pegan al suelo de manera que al colocar el termómetro sobre esa masilla obtenemos la temperatura de forma más exacta, pues esa masa es más homogénea que la pista.

- *Interruptor del acelerador.* Se coloca un instrumento en el pedal del acelerador para saber en qué momento exacto el piloto acelera.

En la Figura 18 se observan algunos de estos elementos.



Figura 18. Elementos de la cadena de medida que se transportan dentro del vehículo.

En primer lugar, se deben verificar los micrófonos midiendo el ruido ambiental. Después debe comprobarse que la medida del tacómetro digital que hay situado en el interior del vehículo es la misma que le llega al programa "PULSE".

El programa "PULSE" es un sistema de adquisición de datos para el análisis de ruido y vibraciones. Es un sistema multi-análisis que puede realizar análisis FFT (Transformada Rápida de Fourier), 1/n octava, órdenes y banda ancha, de manera

simultánea en el mismo o en diferentes canales/señales mientras se muestran los resultados en tiempo real en pantalla. La plataforma LapShop de PULSE permite visualizar los datos a medida que los procesa mientras la plataforma Reflex Core se usa para el postprocesado y análisis de datos grabados como datos de ruidos y vibraciones, para realizar un análisis rápido y eficiente y visualización y realización de informes.

Antes y después de realizar cada medida se debe comprobar el ruido ambiente, y entre los dos datos recabados debe haber menos de 2 dB de diferencia.

Las medidas se realizan desde que el coche llega a la línea AA' hasta que el vehículo al completo sobrepasa la línea BB'.

### *8.1 Aplicación método A.*

Comenzamos la mañana llevando a cabo la realización del método A. Se hicieron cuatro pasadas válidas en segunda y cuatro en tercera. En las pasadas con la segunda marcha engranada, el vehículo debía llegar a la línea AA' a  $\frac{3}{4}$  de S (siendo S las revoluciones de máxima potencia), pues se cumplía que, en esta marcha, la velocidad del vehículo a  $\frac{3}{4}$  de S era menor de 50 km/h.

El vehículo debe rebasar por completo la línea BB', para poder dejar de acelerar. Aquí es donde se encuentra la dificultad para el piloto, pues él debe calcular a cuántas revoluciones circula para pasar a las justas por la línea AA'. Para ayudarse, coloca una fotocélula estratégicamente unos metros antes de la línea AA' de tal manera que cuando pasa por ella sabe que debe acelerar para ponerse a las revoluciones o velocidad correctas para llegar a la línea AA' como debe.

En las pasadas en tercera marcha, se realizaron llegando a la línea AA' a 50 km/h pues, en esta marcha, la velocidad del vehículo a  $\frac{3}{4}$  de S es mayor de 50 km/h.

Hay que indicar que la realización de estos ensayos lleva bastante tiempo, dado que no todas las pasadas son válidas, unas veces porque no se cumplan las condiciones de velocidad, otras porque falla algún instrumento, etc. y cuando un fabricante lleva varios coches a medir, tiene que contar con ello.

## **8.2 Aplicación método B**

Para la realización de este método, correspondiente al de la norma vigente, se deben realizar unos preensayos de aceleración. Los resultados de estos preensayos nos determinarán la marcha o marchas con las que debemos realizar el ensayo.

En este ensayo, comenzamos con un ensayo de preaceleración y seguimos con el de aceleración. En éste se debe llegar a 50 km/h justamente en la posición de los micrófonos y se debe acelerar 10 metros antes de la línea PP', es decir, en la línea AA'. Lo que hace aún más complicado el método de medida, pues el piloto debe saber a qué velocidad llegará a la línea AA', para que cuando llegue a ese punto acelere y después no sobrepase los 50 km/h en la línea de micrófonos.

Para ello, dentro en la sala, con las gráficas que se van obteniendo en el "programa PULSE" de Brüel & Kjaer, la persona que maneja el ordenador, debe ir indicando al piloto qué debe modificar (si debe acelerar antes, si debe llegar a más velocidad, etc) para conseguir realizar la pasada válida.

En cada pasada, aunque no sea un preensayo hay que calcular la aceleración para comprobar que sigue siendo estable.

La realización de este ensayo nos llevó el doble de tiempo que con el otro método. Pero, gracias a él descubrimos un fallo mecánico en el vehículo, que antes no habíamos detectado con el método A.

## **8.3 Resultados**

En la hoja de resultados del ensayo realizado, en primer lugar, deben darse los datos necesarios para definir las características del vehículo a testar. En la tabla 9 se presenta una plantilla con los datos que deben rellenarse.

En el caso del vehículo utilizado, los ensayos de preaceleración determinaron que se debían hacer pasadas con la segunda y la tercera marcha, por eso es necesario indicar los ratios de esas dos marchas, si se hubiera ensayado con una sola marcha, en la Tabla 9, se tendría que haber indicado solo el ratio de la misma.

Tabla 9. Identificación del vehículo.

VIN		
MOTOR		
Fabricante de los neumáticos		
Tamaño de los neumáticos		
Tipo de neumáticos		
Presión del neumático		
Profundidad media de la huella del neumático		
Tipo de producción del neumático		
Desarrollo del neumático		
Masa del objeto de ensayo		
Longitud del vehículo		
Tipo de Caja de cambios	Manual/Automática	
Número de marchas	5	
Referencia caja de cambios		
Ratios	Primario	Secundario
En 2ª		
En 3ª		

En las hojas de resultados también debe darse a conocer la instrumentación utilizada, en el caso del ensayo realizado que se está estudiando, esta viene indicada en el ANEXO A.

Además las condiciones ambientales que hay durante cada una de las pasadas válidas realizadas en el ensayo, se deben ir registrando para indicarlas después en una tabla como las correspondientes a las condiciones ambientales dadas durante los ensayos del método A (Tabla 10) y del método B (Tabla 11 y Tabla 12):

Tabla 10. Condiciones ambientales durante el ensayo del método A.

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL ENSAYO							
Marcha	Pasada	Temperatura del aire (°C)	Presión del aire (hPa)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Máxima del viento (m/s)	Dirección del viento (deg)	Ruido ambiente Máximo dB(A)
2	1	19,9	933,9	65,3	1,5	62,2	49,8
2	2	20,0	933,8	59,6	1,2	317,6	48,4
2	3	20,2	933,9	63,1	1,5	121,3	47,6
2	4	21,0	933,9	59,7	1,3	67,3	48,5
3	1	21,4	933,9	60,4	1,3	34,4	45,5
3	2	21,6	933,9	56,0	1,3	45,8	47,7
3	3	21,5	933,9	55,5	0,9	16,3	48,6
3	4	21,6	933,9	56,6	1,6	94,5	47,3

Tabla 11. Condiciones ambientales durante el ensayo de aceleración del método B.

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL ENSAYO DE ACELERACIÓN							
Marcha	Pasada	Temperatura del aire (°C)	Presión del aire (hPa)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Máxima del viento (m/s)	Dirección del viento (deg)	Ruido ambiente Máximo dB(A)
2	1	22,9	933,4	42,6	1,5	287,5	49,1
2	2	25,7	933,4	41,6	0,8	60,6	47,7
2	3	26,3	933,2	40,2	1,0	100,5	48,4
2	4	26,4	933,1	37,5	1,0	275,0	47,5
3	1	27,1	933,1	36,4	1,3	60,5	48,3
3	2	27,2	933,0	64,7	1,5	164,8	49,2
3	3	26,5	933,0	34,6	2,2	111,7	46,3
3	4	27,6	933,6	32,0	1,7	189,2	47,6



Tabla 12. Condiciones ambientales durante el ensayo de velocidad constante del método B.

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL ENSAYO DE VELOCIDAD CONSTANTE							
Marcha	Pasada	Temperatura del aire (°C)	Presión del aire (hPa)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Máxima del viento (m/s)	Dirección del viento (deg)	Ruido ambiente Máximo dB(A)
2	1	26,9	932,6	33,6	1,3	195,6	48,7
2	2	26,8	932,5	32,3	1,7	276,4	46,9
2	3	27,4	932,5	35,3	1,4	262,9	49,5
2	4	26,9	932,3	32,7	3,3	233,4	47,3
3	1	27,3	932,3	31,5	1,9	223,8	48,6
3	2	27,6	932,3	28,9	1,3	196,1	47,7
3	3	27,4	932,2	30,8	4,1	240,3	46,3
3	4	27,1	932,2	30,8	2,7	251,5	47,6

En los resultados que se entregan del ensayo, ha de darse ciertas características del lugar de ensayo, tales como la orientación de la pista, si cumple la norma ISO correspondiente a cada uno de los métodos:

- Método A. La norma que regirá las características de la pista será la ISO 10844:1994 [38].
- Método B. La norma que regirá las características de la pista será la ISO 10844:2014 [10].

En el caso del Centro Municipal de Acústica de Valladolid, la orientación de la pista es de suroeste a noreste, y el sentido de marcha del vehículo durante el ensayo es ese mismo, por tanto, la dirección del viento indicada en las tablas, se mide respecto a esa dirección. La pista de ensayo Pass by del CMA cumple la norma ISO 10844:2014 [10].

También debe decirse cuál es el punto de referencia del vehículo. En el caso del vehículo del ensayo, el punto de referencia se encontraba en el extremo delantero del vehículo.

Finalmente, en cada uno de los ensayos se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos en cada una de las pasadas realizadas con el método A. Para este método, según el punto 3.1.2.3.2.2 del Reglamento nº 51 Revisión 2 [6], al ser nuestro vehículo de ensayo de la categoría M1 con más de cuatro marchas hacia delante, habría que ensayarlo en 2ª y 3ª marchas y calcular el promedio de ambas.

La distancia de las columnas cuatro y seis, se trata de la distancia a la que el piloto empieza a acelerar, que debería ser 10 metros, pero hay un margen de error, una tolerancia.

Tabla 13. Resultados ensayo método A.

Marcha	Pasada	NPS IZQ dB(A)	A distancia (m)	NPS DCHA dB(A)	A distancia (m)
2	1	70,9	9,0	70,6	9,0
2	2	70,5	7,2	70,3	7,2
2	3	70,5	8,6	70,9	8,6
2	4	70,2	7,0	70,4	7,0
3	1	66,1	8,6	66,4	8,6
3	2	65,9	9,0	65,8	9,0
3	3	65,9	8,4	66,0	8,4
3	4	65,3	7,4	65,4	7,4

A los resultados de la Tabla 13 se les ha restado un decibelio para cumplir con lo que indica la norma ISO 362:1998 [8]: se debe restar un decibelio para tener en cuenta el error metrológico que todos los instrumentos poseen.

Por lo tanto, el resultado de este método será:

$$\frac{71 + 66}{2} = 68,5 \quad \text{Ecuación 14}$$

Redondeando al decibelio más cercano, el resultado por este método será de 69 dB(A).

A continuación, los resultados recogidos con el método B se muestran en varias tablas, debido a que es un método más complejo, con el que hay que realizar tres tipos e ensayo.

Los resultados del ensayo de preaceleración se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados del ensayo de preaceleración método B.

<b>S (rpm)</b>	4000					
<b>P<sub>n</sub>: Potencia del motor (kW)</b>	60					
<b>Masa Vehículo (kg)</b>	1110	< 3500 kg				
<b>Longitud vehículo (m)</b>	3,8					
<b>Posición del motor (1:delantera, 2:central, 3:trasera)</b>	1					
<b>Marcha Preensayo i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>V<sub>AA'</sub> preensayo (km/h)</b>		47,1	47,9			
<b>V<sub>BB'</sub> preensayo (km/h)</b>		57,2	54,7			
<b>n<sub>BB'</sub> preensayo (rpm)</b>		3820	2329			

Por los resultados que se presentan en la Tabla 14, se llegó a la conclusión de que se debía ensayar en dos marchas.

El ensayo de Velocidad constate es necesario, pues el PMR del vehículo es mayor a 25.

En primer lugar, se realiza el ensayo de aceleración, obteniendo las medidas recogidas en las Tablas 15 y 16. En la Tabla 15 se presentan las velocidades y revoluciones por minuto alcanzadas a partir de pisar el pedal del acelerador a fondo. En esta misma tabla, se indica la distancia a la línea de micrófonos a la que se ha empezado a acelerar. En la Tabla 16 se encuentran los resultados de las medidas del nivel de presión sonora registrados.

En las Tablas 17 y 18 se muestran los mismos resultados pero para el ensayo de velocidad constante.

Tabla 15. Resultados de velocidad del ensayo de aceleración método B.

		ENSAYO DE ACELERACIÓN					
Marcha i							
2	V <sub>AA'</sub> i <sub>1</sub>	47,3 km/h	V <sub>PP'</sub> i <sub>1</sub>	50,1 km/h	V <sub>BB'</sub> i <sub>1</sub>	56,8 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> i <sub>1</sub>	3113 rpm	n <sub>PP'</sub> i <sub>1</sub>	3295 rpm	n <sub>BB'</sub> i <sub>1</sub>	3783 rpm	i <sub>1</sub> : -9,4 m
	V <sub>AA'</sub> i <sub>2</sub>	47,0 km/h	V <sub>PP'</sub> i <sub>2</sub>	50,4 km/h	V <sub>BB'</sub> i <sub>2</sub>	57,1 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> i <sub>2</sub>	3119 rpm	n <sub>PP'</sub> i <sub>2</sub>	3327 rpm	n <sub>BB'</sub> i <sub>2</sub>	3799 rpm	i <sub>2</sub> : -10,8 m
2	V <sub>AA'</sub> i <sub>3</sub>	47,1 km/h	V <sub>PP'</sub> i <sub>3</sub>	50,3 km/h	V <sub>BB'</sub> i <sub>3</sub>	57,0 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> i <sub>3</sub>	3121 rpm	n <sub>PP'</sub> i <sub>3</sub>	3315 rpm	n <sub>BB'</sub> i <sub>3</sub>	3793 rpm	i <sub>3</sub> : -10,0 m
2	V <sub>AA'</sub> i <sub>4</sub>	46,8 km/h	V <sub>PP'</sub> i <sub>4</sub>	49,9 km/h	V <sub>BB'</sub> i <sub>4</sub>	56,8 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> i <sub>4</sub>	3073 rpm	n <sub>PP'</sub> i <sub>4</sub>	3293 rpm	n <sub>BB'</sub> i <sub>4</sub>	3787 rpm	i <sub>4</sub> : -11,0 m
Marcha i+1							
3	V <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>1</sub>	47,1 km/h	V <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>1</sub>	49,1 km/h	V <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>1</sub>	54,2 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>1</sub>	1982 rpm	n <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>1</sub>	2085 rpm	n <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>1</sub>	2326 rpm	(i+1) <sub>1</sub> : -10,8 m
	V <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>2</sub>	47,8 km/h	V <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>2</sub>	49,2 km/h	V <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>2</sub>	54,0 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>2</sub>	2009 rpm	n <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>2</sub>	2009 rpm	n <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>2</sub>	2321 rpm	(i+1) <sub>2</sub> : -9,2 m
3	V <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>3</sub>	48,3 km/h	V <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>3</sub>	49,6 km/h	V <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>3</sub>	54,3 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>3</sub>	2029 rpm	n <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>3</sub>	2096 rpm	n <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>3</sub>	2317 rpm	(i+1) <sub>3</sub> : -9,0 m
3	V <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>4</sub>	48,1 km/h	V <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>4</sub>	50,1 km/h	V <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>4</sub>	55,1 km/h	Pto. Aceleración
	n <sub>AA'</sub> (i+1) <sub>4</sub>	2027 rpm	n <sub>PP'</sub> (i+1) <sub>4</sub>	2135 rpm	n <sub>BB'</sub> (i+1) <sub>4</sub>	2355 rpm	(i+1) <sub>4</sub> : -10,6 m

Tabla 16. Resultados de nivel de presión sonora del ensayo de aceleración método B.

		RESULTADOS PARCIALES		
Marcha i		IZQUIERDA		
2	L <sub>wot,i1</sub> dB(A)	72,0		
	L <sub>wot,i2</sub> dB(A)	72,1		
	L <sub>wot,i3</sub> dB(A)	72,4		
	L <sub>wot,i4</sub> dB(A)	71,8		
	<b>DERECHA</b>			
	L <sub>wot,i1</sub> dB(A)	71,5		
	L <sub>wot,i2</sub> dB(A)	72,5		
	L <sub>wot,i3</sub> dB(A)	72,2		
L <sub>wot,i4</sub> dB(A)	71,8			
Marcha i+1		IZQUIERDA		
3	L <sub>wot,(i+1)1</sub> dB(A)	65,8		
	L <sub>wot,(i+1)2</sub> dB(A)	65,7		
	L <sub>wot,(i+1)3</sub> dB(A)	66,0		
	L <sub>wot,(i+1)4</sub> dB(A)	66,2		
	<b>DERECHA</b>			
	L <sub>wot,(i+1)1</sub> dB(A)	65,9		
	L <sub>wot,(i+1)2</sub> dB(A)	66,4		
	L <sub>wot,(i+1)3</sub> dB(A)	66,3		
L <sub>wot,(i+1)4</sub> dB(A)	66,2			

Tabla 17. Resultados de velocidad del ensayo de velocidad constante método B.

		ENSAYO DE VELOCIDAD CONSTANTE					
Marcha i							
2	V <sub>AA' i1</sub>	49,8 km/h	V <sub>PP' i1</sub>	49,8 km/h	V <sub>BB' i1</sub>	49,9 km/h	
	n <sub>AA' i1</sub>	3256 rpm	n <sub>PP' i1</sub>	3268 rpm	n <sub>BB' i1</sub>	3296 rpm	
	V <sub>AA' i2</sub>	50,0 km/h	V <sub>PP' i2</sub>	49,3 km/h	V <sub>BB' i2</sub>	49,1 km/h	
	n <sub>AA' i2</sub>	3268 rpm	n <sub>PP' i2</sub>	3243 rpm	n <sub>BB' i2</sub>	3238 rpm	
	V <sub>AA' i3</sub>	50,1 km/h	V <sub>PP' i3</sub>	50,4 km/h	V <sub>BB' i3</sub>	50,4 km/h	
	n <sub>AA' i3</sub>	3297 rpm	n <sub>PP' i3</sub>	3305 rpm	n <sub>BB' i3</sub>	3298 rpm	
	V <sub>AA' i4</sub>	50,1 km/h	V <sub>PP' i4</sub>	50,3 km/h	V <sub>BB' i4</sub>	50,3 km/h	
	n <sub>AA' i4</sub>	3304 rpm	n <sub>PP' i4</sub>	3310 rpm	n <sub>BB' i4</sub>	3304 rpm	
Marcha i+1							
3	V <sub>AA' (i+1)1</sub>	49,7 km/h	V <sub>PP' (i+1)1</sub>	49,8 km/h	V <sub>BB' (i+1)1</sub>	49,8 km/h	
	n <sub>AA' (i+1)1</sub>	2087 rpm	n <sub>PP' (i+1)1</sub>	2095 rpm	n <sub>BB' (i+1)1</sub>	2098 rpm	
	V <sub>AA' (i+1)2</sub>	49,7 km/h	V <sub>PP' (i+1)2</sub>	49,8 km/h	V <sub>BB' (i+1)2</sub>	50,0 km/h	
	n <sub>AA' (i+1)2</sub>	2079 rpm	n <sub>PP' (i+1)2</sub>	2096 rpm	n <sub>BB' (i+1)2</sub>	2099 rpm	
	V <sub>AA' (i+1)3</sub>	49,7 km/h	V <sub>PP' (i+1)3</sub>	49,4 km/h	V <sub>BB' (i+1)3</sub>	49,4 km/h	
	n <sub>AA' (i+1)3</sub>	2104 rpm	n <sub>PP' (i+1)3</sub>	2096 rpm	n <sub>BB' (i+1)3</sub>	2070 rpm	
	V <sub>AA' (i+1)4</sub>	49,8 km/h	V <sub>PP' (i+1)4</sub>	49,6 km/h	V <sub>BB' (i+1)4</sub>	49,3 km/h	
	n <sub>AA' (i+1)4</sub>	2083 rpm	n <sub>PP' (i+1)4</sub>	2077 rpm	n <sub>BB' (i+1)4</sub>	2355 rpm	

Tabla 18. Resultados de nivel de presión sonora del ensayo de velocidad constante método B.

		RESULTADOS PARCIALES		
Marcha i		IZQUIERDA		
2	L <sub>CRS,i1</sub> dB(A)	72,0		
	L <sub>CRS,i2</sub> dB(A)	72,1		
	L <sub>CRS,i3</sub> dB(A)	72,4		
	L <sub>CRS,i4</sub> dB(A)	71,8		
	<b>DERECHA</b>			
	L <sub>CRS,i1</sub> dB(A)	71,5		
	L <sub>CRS,i2</sub> dB(A)	72,5		
	L <sub>CRS,i3</sub> dB(A)	72,2		
L <sub>CRS,i4</sub> dB(A)	71,8			
Marcha i+1		IZQUIERDA		
3	L <sub>CRS,(i+1)1</sub> dB(A)	65,8		
	L <sub>CRS,(i+1)2</sub> dB(A)	65,7		
	L <sub>CRS,(i+1)3</sub> dB(A)	66,0		
	L <sub>CRS,(i+1)4</sub> dB(A)	66,2		
	<b>DERECHA</b>			
	L <sub>CRS,(i+1)1</sub> dB(A)	65,9		
	L <sub>CRS,(i+1)2</sub> dB(A)	66,4		
	L <sub>CRS,(i+1)3</sub> dB(A)	66,3		
L <sub>CRS,(i+1)4</sub> dB(A)	66,2			

En el método B tenemos que recurrir, tras obtener los resultados mostrados en las tablas anteriores, a las ecuaciones del apartado 6.5 del presente Trabajo, para obtener el valor final  $L_{Urban}$ .

En la Figura 19 se puede ver un ejemplo de las curvas que se obtienen con PULSE durante la realización de las medidas.

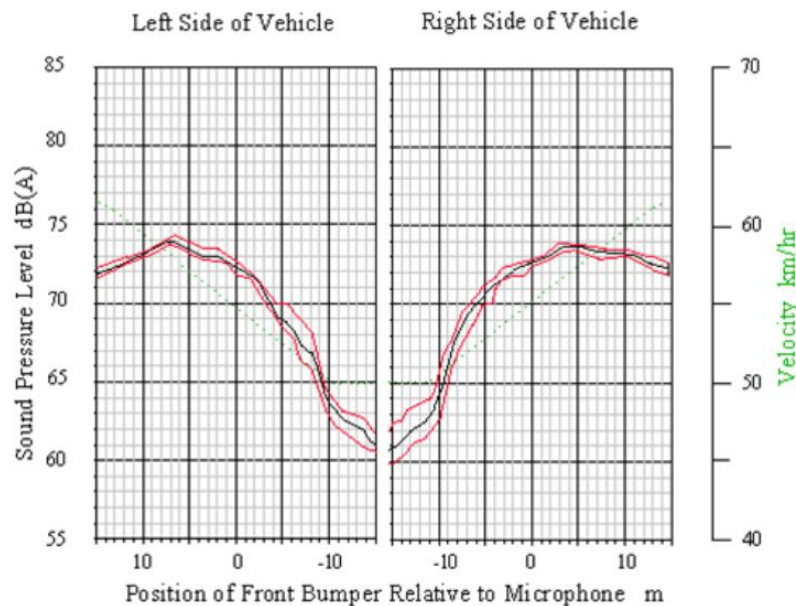


Figura 19. Ruido recogido en un ensayo Pass by realizado según la ISO 362 en tercera marcha [40].

Para determinar  $L_{Urban}$  se creó una hoja excel en la que se introdujeron las ecuaciones necesarias para la resolución del problema: Primero deben determinarse  $L_{wot\ i}$  y  $L_{wot\ i+1}$ , haciendo la media de los 4 valores de las pasadas realizadas en cada una de las marchas. Se debe hacer lo mismo con  $L_{crs\ i}$  y  $L_{crs\ i+1}$ .

Después se terminan  $L_{wot\ rep}$  y  $L_{crs\ rep}$  mediante las ecuaciones 6, 7 y 8, esta última para determinar  $k$ . Si se tratase de un ensayo realizado en una sola marcha, los valores calculados de la manera anterior serían el resultado, dado el hecho de que se ha ensayado con dos marchas, se debe continuar calculando  $k_p$  con la ecuación 10. Finalmente se determina  $L_{Urban}$  usando la ecuación 11.

En la Figura 20 se muestra la hoja Excel en la cual se realizaron los cálculos del método B explicados anteriormente. Cómo se puede ver en ella, al final se obtuvo un valor de  $L_{Urban}$  de 68,15 dB(A). Teniendo en cuenta lo que dice la norma sobre el número de decimales a emplear en cada operación, el resultado final será 68 dB(A).

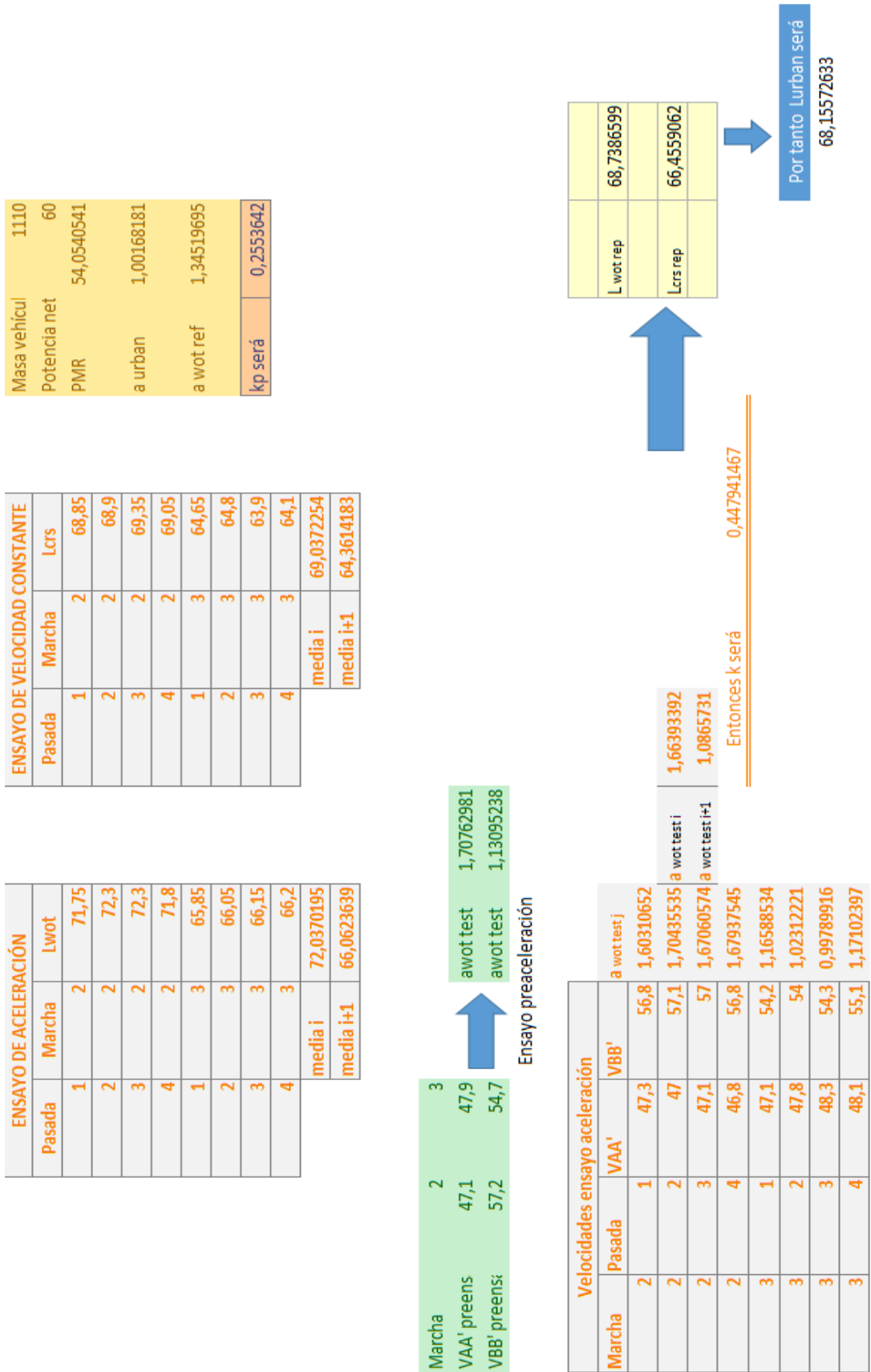


Figura 20. Hoja Excel de los cálculos llevados a cabo para determinar  $L_{URBAN}$ .

#### *9.4 Discusión de los resultados.*

Los resultados de las medidas de nivel de presión sonora han sido bastante parejos entre los dos métodos, 69 dB(A) con el método A y 68 dB(A) con el método B, tan solo 1 dB(A) de diferencia. Los trabajadores del CMA informaron de que se viene obteniendo una diferencia de entre 1 o 2 decibelios en los diferentes ensayos que han realizando.

Desde el punto de vista práctico, según la opinión de las personas que se dedican en el Centro Municipal de Acústica de Valladolid a realizar este tipo de ensayos, la ventaja del método B es que afina más el cálculo del valor promedio de nivel de presión sonora registrado en ciudad para el conjunto de vehículos. Sin embargo, puede que se haya complicado en exceso y esto lleve a un aumento del tiempo dedicado a cada ensayo, teniendo en cuenta que ha de ser fluido.

La complicación del método se puede ver a simple vista gracias a los diagramas de flujo del método, a la necesidad de los ASEP, etc.

Por ejemplo, el día del ensayo, comenzamos por la realización del método A y tardamos alrededor de hora y media, contando con la colocación y preparación de los instrumentos, tanto dentro como fuera de la pista. Mientras que el método B nos llevó el doble de tiempo, pues es un método más complicado para el piloto del vehículo, es nuevo y además hay que llevar a cabo tres ensayos en un solo método (ensayo de preaceleración, ensayo de aceleración y ensayo de velocidad constante). Además, el vehículo de prueba resultó tener problemas mecánicos. Estos problemas mecánicos los detectamos gracias a que la aceleración del vehículo no era constante.

Durante la realización del método B calculamos la aceleración que había conseguido el vehículo en esa pasada, y nos daba un resultado que no correspondía a la aceleración normal del vehículo en esas condiciones. Según la nueva aceleración, debíamos ensayar en tercera, y eso hicimos, pero, de nuevo, tras conseguir una pasada válida, determinamos la aceleración del vehículo y esta vez nos indicaba que debíamos ensayar en segunda y en tercera. Descubrimos, que el vehículo de ensayo tenía un problema mecánico, y esta era la razón de la divergencia que se producía en las aceleraciones.



Por tanto, una ventaja que presenta el método B es que, a diferencia del método anterior, con él se pueden detectar posibles problemas mecánicos en el vehículo que pueden influir en los resultados del ensayo.

En los próximos años, se verá hasta qué punto ha sido necesaria tal complicación y aumento de tiempo dedicado a este tipo de ensayo.

## **9. Vehículos de motor eléctrico (ME) y la reducción del ruido ambiente en ciudad**

La incorporación de los vehículos eléctricos a la flota automovilística de las ciudades, hará que, previsiblemente, el ruido ambiente en las mismas se reduzca de forma considerable. ¿Pero, en qué medida y a qué velocidad será apreciable esta reducción del ruido? A continuación, se llevará a cabo un estudio como afectarán los vehículos eléctricos al ruido urbano.

### *9.1 Análisis del nivel de ruido generado por los vehículos de ME*

En este punto se presentarán los resultados de unos ensayos cuyos resultados se encuentran en el documento de Barti, Dr. Robert [12], "El vehículo eléctrico y la reducción del ruido ambiente en ciudades". Los datos que recoge este estudio servirán para valorar la mejora que supone el uso de este tipo de vehículos.

El ensayo consistió en seleccionar 12 vehículos de gasolina de tipo medio con cambio manual (MCI) y 2 eléctricos (ME) de la misma marca y modelo, y de distinta antigüedad. El objetivo de la prueba fue comparar los niveles espectrales de ruido de los motores de combustión interna y los vehículos eléctricos.

La prueba se realizó por la noche en una calle ancha y los vehículos fueron conducidos por sus propietarios, para reflejar la conducción real.

El estudio consistió en medir el espectro de ruido medido a 4 metros del vehículo y a 1,6 metros de altura, pues esa distancia es representativa de la distancia media a la que suelen pasear los peatones, y permite obtener un buen fragmento de señal.

Se realizaron dos ensayos:

- Arrancada en parado, para simular, por ejemplo, la situación en un semáforo. Esto es lo más frecuente en los entornos urbanos. En el proceso de arrancada, el ruido del grupo motriz destaca notablemente.
- Pasadas a velocidad constante. Se escogieron las velocidades de 30, 50 y 80 km/h pues son los límites habituales dentro del entorno urbano.

Para realizar las medidas se usó un sonómetro tipo 1 con salida de audio que graba en un soporte digital.

Las señales obtenidas se analizaron en tercios de octava y valores globales en dB(A) y se descartaron las pruebas que presentaron irregularidades o ruidos extraños.

Las representaciones que se obtienen en los ensayos a velocidad constante se muestran a continuación:

- A 80 km/h se obtuvieron los espectros que vienen representados en la Figura 21.

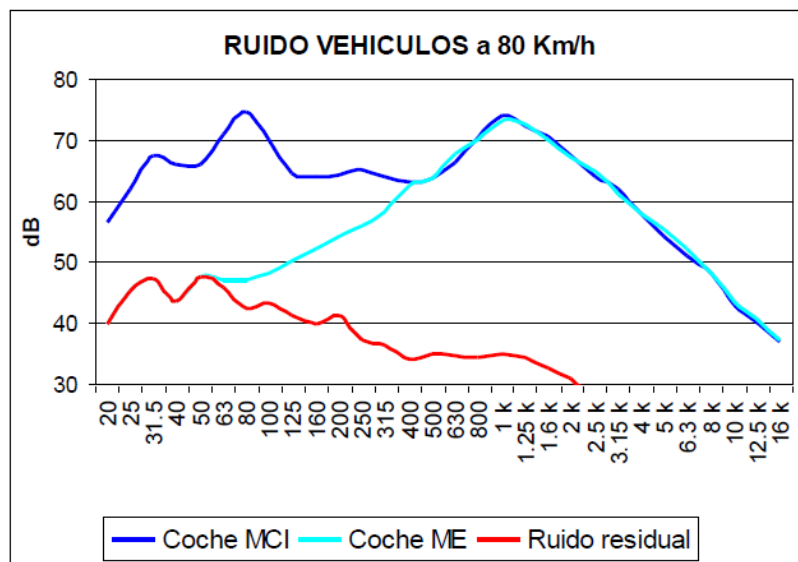


Figura 21. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].

Gracias a los espectros resultantes, se puede comprobar que los niveles de ruido de ambas tecnologías a esta velocidad, son prácticamente iguales a partir de 400 Hz. Se puede observar la existencia de un pico sobre 1KHz que es debido al ruido generado por la rodadura.

Los vehículos de motor de combustión interna, presentan un pico alrededor de los 80 Hz que corresponde a unas 2400 rpm.

- A 50 km/h se obtuvieron los espectros que vienen representados en la Figura 22.

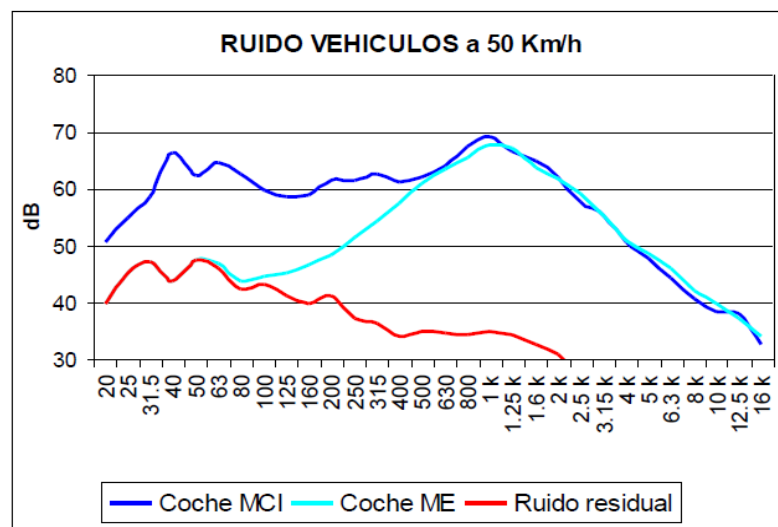


Figura 22. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12]

Comprobamos que de nuevo, se presenta el pico de la rodadura y tampoco observamos muchas diferencias entre las tecnologías MCI y ME a partir de cierta frecuencia.

- A 30 km/h se obtuvieron los espectros que vienen representados en la Figura 23.

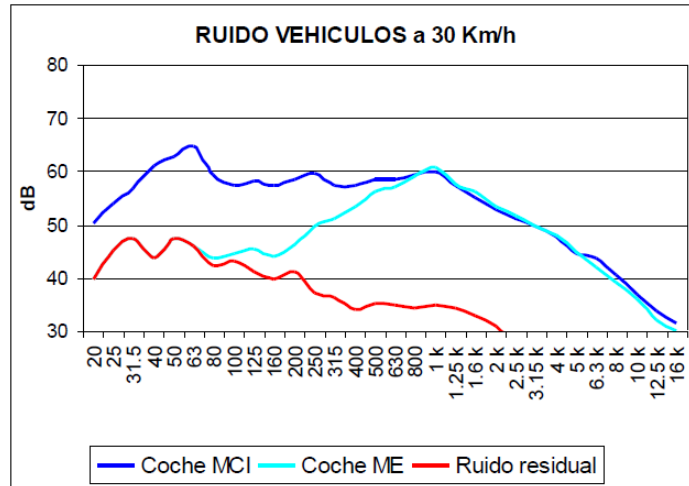


Figura 23. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].

De nuevo se puede ver el pico que crea la rodadura, pero no percibimos ninguna diferencia considerable a partir de 1 kHz.

Estos resultados tan parejos a las tres velocidades dadas, se debe a que el ruido producido por un vehículo en movimiento a velocidad constante, fundamentalmente se genera por la rodadura del mismo.

A continuación se realiza la prueba de arrancada, que comienza con el vehículo parado y consiste en acelerarlo hasta alejarse lo suficiente, sin sobrepasar los 50 km/h. los resultados de la misma se muestran en la Figura 24. En esta prueba tiene especial trascendencia el modo de pilotar de cada conductor.

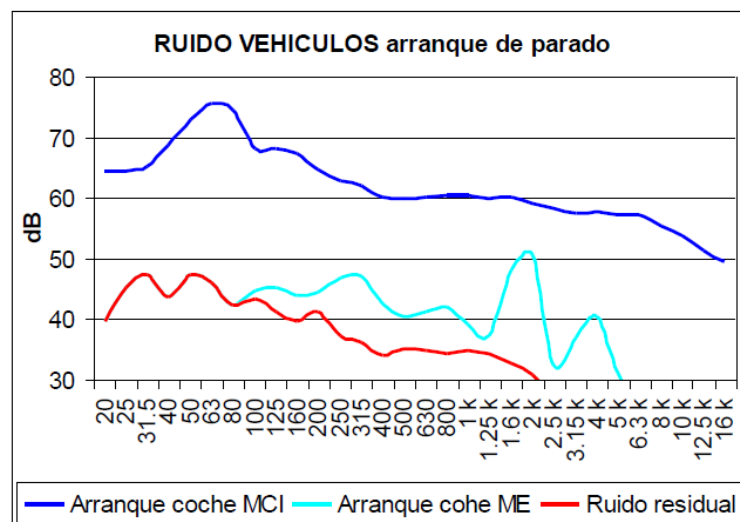


Figura 24. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME [12].

En los motores de combustión, se observa claramente un pico en la arrancada situado entre los 50 y los 63 Hz (1500 – 1900 rpm aproximadamente). En este caso, el espectro refleja el ruido mecánico procedente del motor, ya que la velocidad inicial del vehículo es 0.

Se puede observar que en este caso, la diferencia de niveles de ruido entre los motores de combustión interna y los eléctricos es muy elevada para todas las frecuencias, pues el espectro del ME se mantiene siempre muy por debajo. Eso se traduce en una reducción del nivel global de ruido notable, con más de 10 dBA para todas las frecuencias.

Otro estudio, como el realizado por J. Lelong y R. Michelet [35], corrobora el hecho de que a baja velocidad los vehículos eléctricos e híbridos resultan muy silenciosos en comparación con los vehículos de gasolina o diésel. De hecho, este estudio demostró, que la diferencia en el nivel de ruido generado por un vehículo eléctrico, en comparación con un vehículo impulsado por gasolina o diésel puede superar los 6 dB(A) a 10 km/h, disminuyendo a medida que se incrementa la velocidad.

Ambos estudios, también coinciden en que el ruido generado a partir de una velocidad cercana a 50 km/h, se iguala en ambos tipos de vehículos, de manera que el ruido de rodadura comienza a ser el dominante.

En la Figura 25 se representan los resultados de dicho estudio.

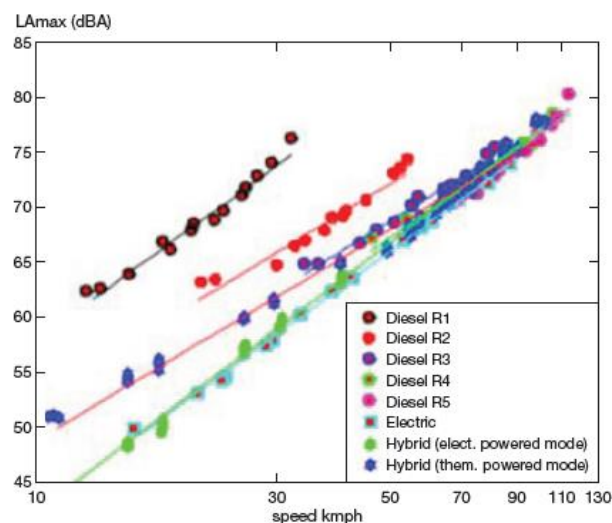


Figura 25. Nivel máximo de ruido para diferentes tipos de vehículos. Medidas realizadas en ensayos pass-by [13].

## *9.2 Sistema acústico SAAV*

Los vehículos eléctricos e híbridos, beneficiosos para el medio ambiente, también lo son para la reducción sustancial de niveles de ruido. Sin embargo, tienen una gran desventaja, que circulando a baja velocidad, generan un nivel de ruido tan reducido que esto plantea series dudas en cuanto a la seguridad vial de peatones y ciclistas.

Para solventar el problema, se ha llegado a la conclusión de la necesidad de implantar en este tipo de vehículos un sistema de advertencia. Dicho dispositivo utilizaría una fuente de emisión de ruido instalada en el vehículo.

Muy pocos han sido los estudios realizados para analizar los sonidos de alerta para vehículos eléctricos. K. Yamauchi analizó tres posibles sonidos: ruido de motor, bocina de coche y ruido paso-banda (una señal paso-banda es aquella que tiene concentrada su energía en una zona concreta del espectro). La audibilidad de cada uno de los tres sonidos, fueron analizados bajo condiciones de ruido ambiente diferentes. Llegando a la conclusión que el mejor de ellos era el paso-banda, pues entre este y el sonido de la bocina de un coche, se encontraron diferencias de hasta 10 dB(A) en nivel de detección de ruido.

La Comisión Europea, financió el proyecto eVADER, que desarrolló un prototipo de sistema de aviso acústico (SAAV). Éste incluía un sistema de detección automática de peatones y un sistema de altavoces capaz de focalizar el sonido en dirección al peatón.

Según el Reglamento (UE) Nº 540/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014, sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio, estos sistemas de aviso acústico (SAAV) se instalarán en todos los vehículos eléctrico híbridos y eléctricos puros de nueva fabricación a más tardar el 1 de julio de 2019.

En la actualidad, la falta de una legislación sobre sistemas de detección acústica, ha forzado a que muchos fabricantes implementen sus propios equipos, al comprobar las estadísticas recogidas en un estudio realizado en 2009, por la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las carreteras (NHTSA), que es una agencia dependiente del gobierno de Estados Unidos que realiza pruebas de seguridad pasiva en vehículos de nueva fabricación. Ésta establecía un ratio de incidentes con peatones de 1,2% para vehículos eléctricos, y de la mitad para

vehículos de combustión interna. Dado el hecho de que por aquel entonces tan solo circulaban 8400 vehículos eléctricos en EEUU, este porcentaje resultó muy preocupante.

El SAAV consistirá en un aviso acústico en el rango de velocidad mínima del vehículo, desde el arranque hasta aproximadamente 20 km/h y durante la marcha atrás.

Al igual que ocurre con el sistema star&stop que montan la mayoría de los vehículos actuales, el sistema SAAV tendrá un interruptor al que el conductor del vehículo pueda acceder fácilmente para su bloqueo o desbloqueo, pero al arrancar nuevamente el vehículo después de parado, el SAAV se activará automáticamente.

Este sistema acústico se basará en la instalación de un altavoz, localizado generalmente en la parte frontal del vehículo, como se puede apreciar en la Figura 26.



Figura 26. Representación del sistema acústico de advertencia instalado en el modelo prius de Toyota [13].

El sonido producido por el SAAV será un sonido continuo que informe a los peatones y otros usuarios de la vía pública de la presencia de un vehículo en movimiento. El sonido debe indicar el comportamiento del vehículo y debe ser similar al sonido de un vehículo de la misma categoría equipado con un motor de combustión interna.

## **10. Sistemas Silenciadores**

La función de los sistemas silenciadores es disminuir el ruido que producen los gases de escape reduciendo la presión de los mismos progresivamente.

A través de los silenciadores, con sus recorridos sinuosos y tubos perforados interiores, la vena de gas va perdiendo energía y a la salida del tubo de escape, la presión es similar a la atmosférica, por lo que el nivel de ruido es mucho más bajo.

Existen tres formas de reducir el ruido de los gases de escape en los silenciadores:

- **Absorción:** con la introducción de materiales fibrosos, como lana de roca o lana de acero, las frecuencias altas que resultan especialmente molestas, son absorbidas y su energía acústica se convierte en calor por fricción.
- **Reflexión:** la geometría del recorrido que deben seguir los gases, consigue neutralizar la onda sonora por reflexión de la misma onda en distinta fase.
- **Interferencia:** de nuevo, gracias a la geometría interna del silenciador, se puede conseguir la reducción de la energía de la onda sonora sometiéndola a colisiones que se producen al forzarla a hacer recorridos con diferente longitud.

En la Figura 27 se explica, mediante imágenes, el funcionamiento de los silenciadores, y las tres distintas formas de reducir el ruido de los gases de escape en los silenciadores.

La utilización de materiales fibrosos en los silenciadores para reducir de ruido generado por el vehículo, se está extendiendo, ya que es una solución que minimiza mucho el nivel de ruido. Pero, se deben de cumplir ciertas normas para poder usarlos, estas vienen recogidas en el nuevo Reglamento N° 540/2014 [3] y se explican a continuación.



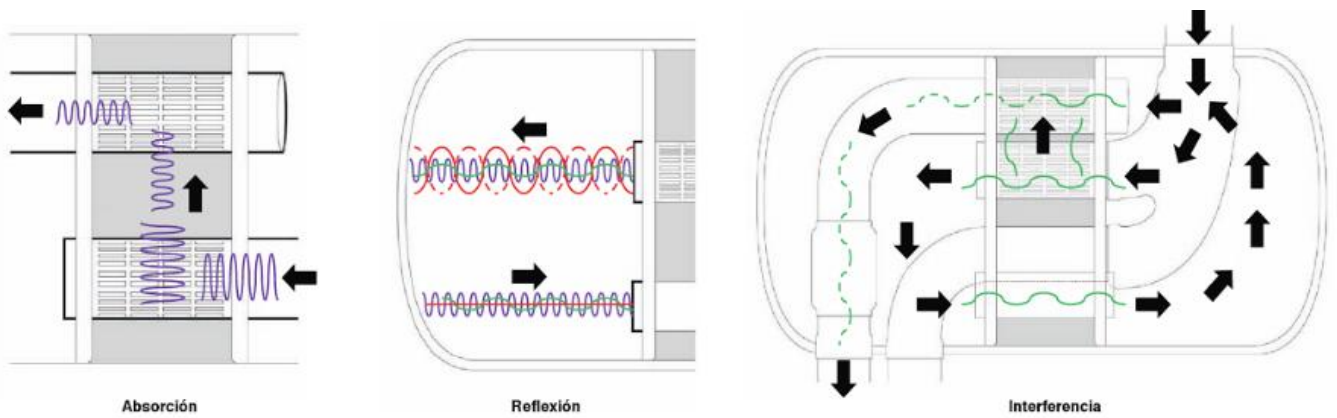
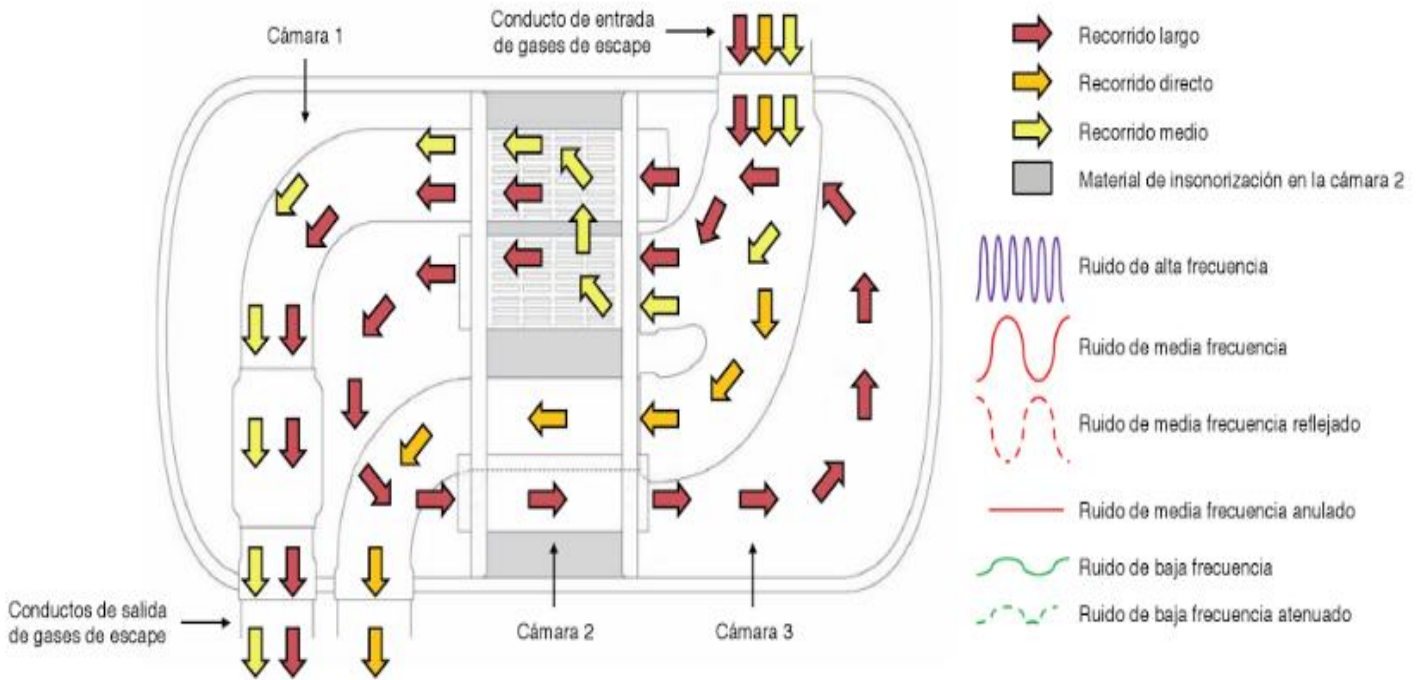


Figura 27. Recorrido de los gases de escape en un silenciador [14].

La utilización de materiales fibrosos absorbentes en los silenciadores está restringida y solo se podrán utilizar cuando se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

- Lo gases de escape no están en contacto con los materiales fibrosos.

- El sistema silenciador o sus componentes pertenecen a la misma familia, por diseño, que sistemas o componentes respecto de los cuales se haya demostrado, durante el proceso de homologación de tipo UE con arreglo a los requisitos del Reglamento N° 540/2014 [3] para otro tipo de vehículo, que no se deterioran.

En caso de que no se cumplan ninguna de estas condiciones, el sistema silenciador al completo o sus componentes se someterán a un acondicionamiento convencional.

El fabricante de un vehículo podrá presentar la solicitud de homologación UE con respecto a un sistema silenciador de recambio, o a componentes de este, como unidad técnica independiente destinada a vehículos de las categorías M1 y N1.

El sistema silenciador de recambio o sus componentes, con excepción de las piezas de fijación y de los tubos, deberán llevar:

- La marca o denominación comercial del fabricante del sistema silenciador de recambio y sus componentes.
- La descripción comercial del fabricante.

A cada tipo de sistema de escape de recambio, o a componentes de este, homologado como unidad técnica independiente, se le asignará un número de homologación de tipo con arreglo al anexo VII de la Directiva 2007/46/CE [4].

Todo sistema silenciador de recambio o componentes de este, salvo piezas de fijación y tubos, que se ajusten a un tipo homologado con arreglo al Reglamento, deberán llevar la marca de homologación de tipo UE. Esta marca consistirá en una letra <<e>> minúscula dentro de un rectángulo, seguida del número o letra que identifiquen al Estado miembro que haya concedido la homologación, siendo el 9 el número correspondiente a España.

## 11. ¿Cómo se puede reducir el nivel de ruido generado por un vehículo?

En este punto se realizará un estudio de las diferentes medidas que existen para hacer que las fuentes principales del ruido generado por un vehículo en movimiento reduzcan sus niveles de presión sonora.

### 11.1 Ruido generado por el Motor

El ruido generado por el motor de un vehículo se debe al proceso de combustión del mismo, en el que se alcanzan unas presiones muy altas y durante el cual hay un gran número de piezas trabajando a gran velocidad y produciendo rozamiento y vibraciones, que son la causa del ruido.

En general, la mayoría del ruido generado por el motor se debe a las piezas largas y flexibles que lo componen, como son, la tapa de balancines, las poleas del cigüeñal, las válvulas, etc. por tanto, para reducir el ruido producido por estas partes, se usan materiales sellantes y soportes antivibración que se colocan en las uniones de las mismas.

Una buena forma de aislar el ruido, evitando que éste salga al exterior es el uso de los "insonors", estos se colocan en capot, pasos de rueda, etc. En la Figura 28 se puede ver un ejemplo de ello.



Figura 28. Insonor capot.

El peso de los vehículos es un factor determinante en la generación de ruido. Cuanto mayor es el peso, mayor es el ruido que genera, por esta razón los fabricantes trabajan pensando en hacerlo mínimo, además esto también ayuda en la dinámica del vehículo.

En la Figura 29 se puede observar la gran diferencia de nivel de ruido que generan los vehículos pesados, tales como camiones, comparados con los automóviles. Una posible medida, para evitar que en aquellas vías en las que ya los niveles de ruido son muy altos de por sí, este aumentara, sería evitar que los vehículos pesados transitaran por ellas.

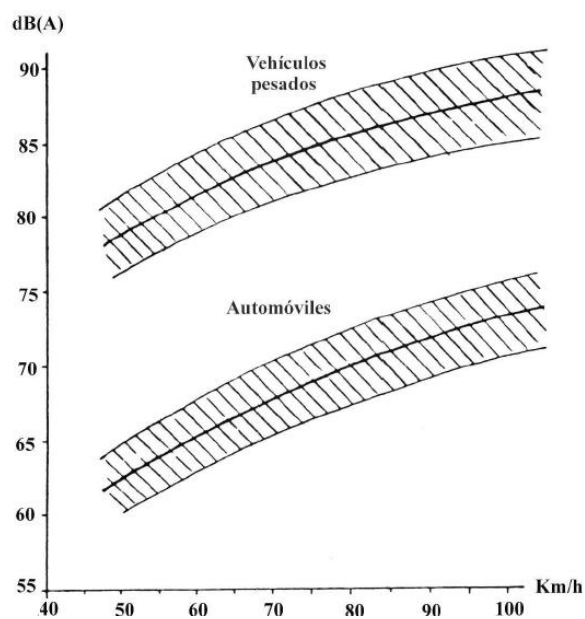


Figura 29. Variación con la velocidad del nivel sonoro, en función del tipo de vehículo [20].

### 11.2 Ruido generado por el escape

Tanto la admisión de aire como el escape generan ruido, y éste llega a aumentar entre 10 y 15 dB (A) con el incremento de entrega de potencia.

El ruido generado por la admisión, se debe a cortes periódicos en el flujo de aire a través de las válvulas de admisión del motor, debido al cierre de las mismas durante las carreras de combustión y escape. Esto da lugar a ondas de ruido que viajan a través del filtro de aire y del resto de conductos de admisión. Para la atenuación del ruido producido en la admisión, se aprovecha el filtro de aire con

el cual, se diseña un silenciador reactivo, cuya función es el control de ruido de baja frecuencia. Operan por reflexión.

Este método para la atenuación del ruido producido por la admisión de aire, está basado en el principio del resonador de Hemholtz, consistente en una cavidad rígida con un cuello o tubo (la cual se puede ver en la Figura 30), que conecta el volumen interior con el exterior. Se podría hacer un símil mecánico y suponer que esto es lo mismo que un sistema masa – resorte. La masa sería el aire existente en el cuello, y el resorte el volumen de aire. Como se sabe, un sistema masa – resorte tiene la capacidad de oscilar a cierta frecuencia, cuanto mayor sea el resonador, menor será la frecuencia.



Figura 30. Cavidad Rígida del resonador de Hemholtz [21].

Este principio aplicado al filtro de aire de un vehículo, que consistiría en una cavidad principal de área  $A$  y longitud  $L$  con un volumen de aire en su interior  $V$ , nos daría una frecuencia de resonancia a bajas frecuencias (que se podría calcular según la ecuación 15) provocando una absorción del nivel sonoro de las mismas. Se obtendría, por tanto, una atenuación de las frecuencias bajas.

$$f = (c/2\pi) \cdot \sqrt{A/LV} \quad \text{Ecuación 15.}$$

El ruido generado por las ondas sonoras que viajan por el escape es fácil de reducir, gracias a la existencia de los silenciadores, de los cuales, en el punto 10 de este trabajo ya se hizo un pequeño estudio.

En este punto, se mostrará especial interés en los silenciadores híbridos, que son aquellos que combinan las propiedades pasivas de un material poroso, con las técnicas clásicas de control activo.

El objetivo de estos silenciadores, es encontrar una impedancia adecuada en la cara superficial del material poroso, aquella que permita alcanzar las máximas atenuaciones de la onda sonora, en una banda ancha de frecuencias.

Un ejemplo de silenciador híbrido se muestra en la Figura 31. Éste está compuesto por un resonador lateral que tiene sus conductos concéntricos y superpuestos, una cámara central disipativa y una cámara lateral de salida. Está dividido en las siguientes regiones:

- A, B, C, D y E para conformar la entrada del silenciador y el anillo exterior.
- F y H corresponden a las placas separadoras.
- G es la cámara disipativa, cuyas paredes están forradas con material poroso absorbente.
- I y J comprenden la cámara lateral y el conducto de salida.

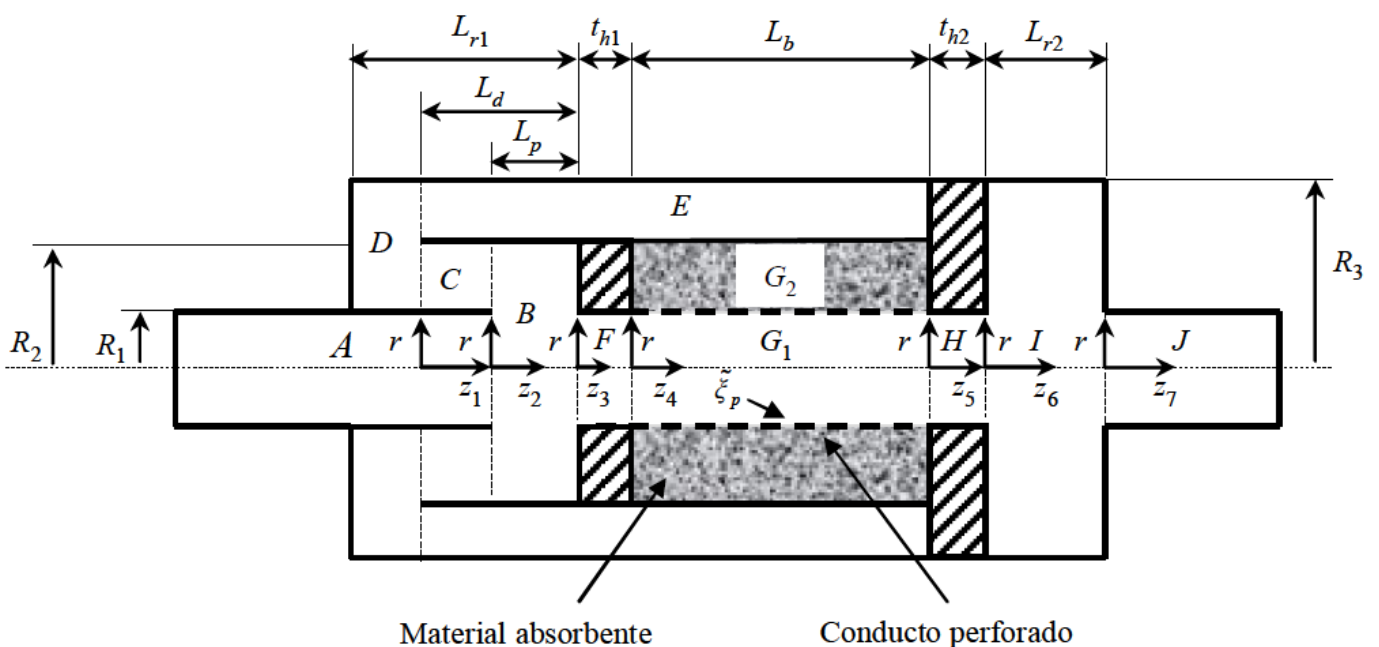


Figura 31. Modelo de silenciador híbrido [29].

La longitud total del silenciador mostrado en la Figura 31 es la suma de la longitud del resonador de la entrada  $L_{r1}$ , la longitud de la cámara central disipativa  $L_b$  y la longitud de la cámara lateral de salida  $L_{r2}$ . El resonador y la cámara lateral están separados de la cámara central por medio de dos placas de espesores  $t_{h1}$  y  $t_{h2}$ . En la cámara disipativa, la superficie perforada del conducto tiene una impedancia  $\zeta_p$ .

La absorción del sonido es un proceso disipativo que se produce cuando los movimientos vibratorios de la onda sonora son amortiguados por la acción de las fuerzas de fricción, debidas a la elasticidad del material absorbente, o de las fuerzas viscosas que se producen entre el aire y el material, en los intersticios que existen en el mismo. Un material absorbente poroso es aquel que posee canales que van desde su superficie exterior, donde incide la onda sonora, hacia su interior.

En la Figura 32 se puede comprobar cómo se produce la disipación de energía de una onda sonora cuando incide sobre un material absorbente poroso. Debido al cambio de densidad entre los materiales, el rayo incidente sufre varias refracciones además de algunas reflexiones, debidas a las diferencias entre las impedancias acústicas (rayos A, B y C). El rayo E indica que parte de la energía que transportaba la onda sonora, se transforma en calor en el aire, mientras que los rayos F, H e I indican lo mismo, pero la transformación se produce en el material absorbente poroso.

La porosidad es un factor muy importante, los buenos materiales absorbentes poseen una alta porosidad.

El coeficiente de absorción sonora de los materiales porosos tiende a incrementar con un aumento del espesor del material. Además un aumento de la densidad, genera una mayor fricción, produciendo una mayor absorción de la onda sonora incidente. Sin embargo, este aumento de densidad está limitado, pues llega a un punto en el que la onda sonora no podrá penetrar el material y, por lo tanto, existirá una mayor reflexión de la energía.

La geometría superficial del material poroso será otro factor fundamental para la absorción, pues los relieves permiten incrementarla considerablemente, ya que la superficie equivalente de contacto aumenta.

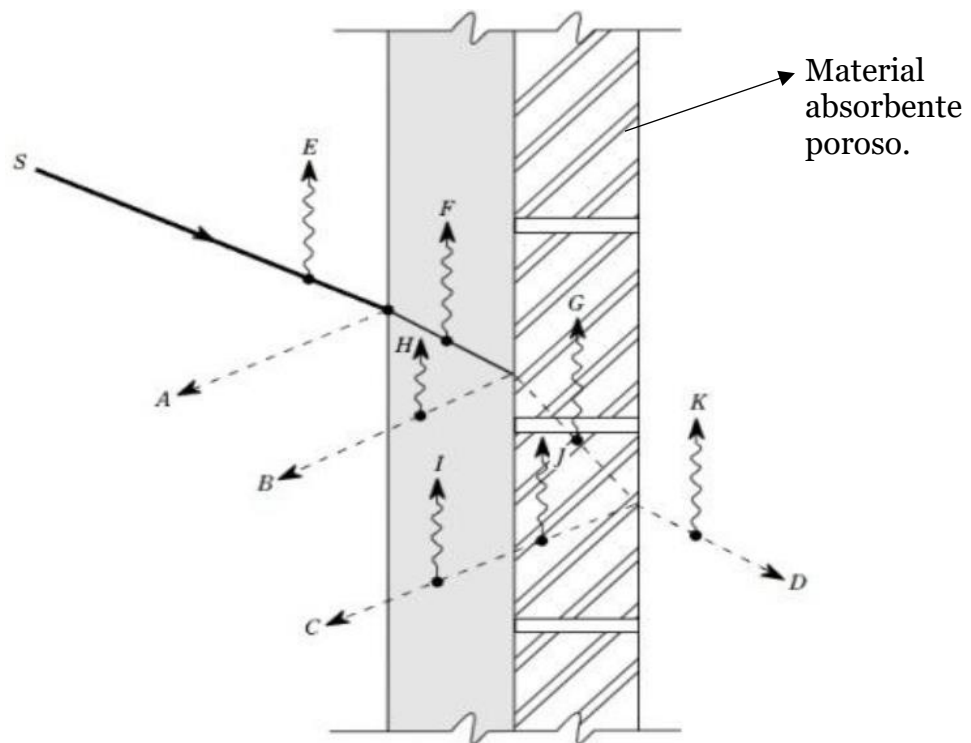


Figura 32. Disipación de energía de una onda sonora al incidir sobre un material absorbente poroso [30].

En resumen, en este tipo de silenciadores, se producirá una disminución de la energía de la onda sonora mayor debido a que trabajan a la par, la geometría del silenciador y el material absorbente poroso.

### 11.3 Ruido generado por la rodadura del vehículo

Actualmente, se ha conseguido reducir el ruido producido por el motor y los sistemas de escape en tal medida, que el principal problema de la contaminación acústica producida por vehículos en movimiento resulta ser la rodadura de los mismos.

El ruido generado por la rodadura de los vehículos, depende de dos factores:

- El patrón del neumático y sus componentes.
- La superficie de la carretera.



El ruido generado por el patrón del neumático se debe a la liberación de energía cuando un pequeño bloque de banda de rodadura se libera desde el borde posterior de la huella del neumático y vuelve a su posición no deformada.

Por tanto, el ruido generado por el neumático dependerá del dibujo del mismo y de los materiales con los que éste haya sido fabricado. Así, para reducir el nivel de ruido generado por un neumático habrá que:

- Diseñar una banda de rodadura sin espacios cerrados, de manera que no ocurra lo que se muestra en la Figura 33, y las ondas sonoras puedan escapar por las aberturas entre neumático y carretera, antes de quedarse recluidas para luego amplificarse.

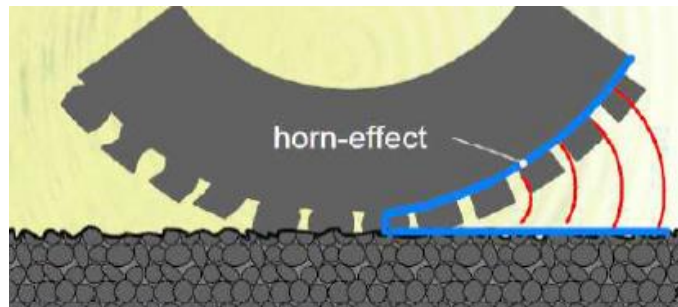


Figura 33 Interacción neumático-carretera [19].

- Los bloques de la banda de rodadura deben ser de diferentes formas y estar colocados asimétrica e irregularmente, como se muestra en la Figura 34.



Figura 34. Perfil de un neumático [24].

- Cuanto más blanda sea la composición de la goma, menos ruido generará, pues se producirá una mayor amortiguación de la onda sonora. Por ejemplo, la marca de neumáticos continental, introdujo hace unos años una nueva tecnología que la propia marca denominó "contisilent". Esta consistía en que, en las fases finales del proceso de fabricación, se debe añadir un revestimiento acolchado de espuma en la parte inferior del neumático, de tal manera, que éste produzca la amortiguación de las ondas sonoras producidas por la rodadura del neumático. Según ellos, el nivel de ruido es de 9 dB más bajo.

El otro factor dentro del ruido generado por la rodadura de un vehículo, es el terreno sobre el que circula, es decir el asfalto.

Existen muchos tipos de pavimentos que se han venido mejorando con los años, como por ejemplo los pavimentos drenantes, que sirven para mejorar la circulación con lluvia. Hoy en día, por la problemática que existe en las grandes ciudades debido a la contaminación acústica que generan los vehículos, se están llevando a cabo estudios para hacer pavimentos que reduzcan el ruido de rodadura.

Los pavimentos microaglomerados, formados por mezclas bituminosas con tamaño máximo de árido inferior a 6 – 10 mm, se vienen empleando desde hace años debido a su éxito durante las épocas de frío, incluso es la mezcla utilizada para la conservación y la pavimentación de nuestras carreteras. Pero en este caso, se prestará más interés a los microaglomerados de granulometría discontinua, con un gran contenido en árido grueso y escasa presencia de árido fino. Este tipo de pavimento ha conseguido reducir el ruido de rodadura respecto a las mezclas convencionales, pues permiten obtener una superficie de rodadura muy fina y lisa, y con una macroestructura elevada, la cual hace que los mecanismos de generación de ruido se vean amortiguados.

Se han llevado a cabo numerosos estudios para crear un pavimento "Sonorreductor".

En Valladolid, Cidaut llevó a cabo la creación de un asfalto que reducía el sonido generado por uno tradicional, en 3 o 4 dB(A). Esto lo consiguieron investigando factores como la textura superficial, la porosidad, el porcentaje de árido y el betún. Este pavimento se llegó a utilizar en una docena de tramos de la Comunidad de Castilla y León.

Otras investigaciones intentan crear un pavimento sonorreductor centrándose en una sola propiedad del mismo y adicionando materiales. Este es el caso del proyecto Persuade, fundado en Bélgica. Este proyecto se basa en la creación de un nuevo material desarrollado a partir de neumáticos reciclados, por tanto, da también salida a los grandes cementerios de neumáticos repartidos por todo el mundo, ayudando a reducir la contaminación ambiental. Persuade ha tenido excelentes resultados, consiguiendo una reducción del ruido de hasta 12 dB(A).

Este pavimento consiste en unos gránulos poroelásticos de material reciclado que se adhieren a la mezcla no bituminosa de poliuretano. Algunas de sus características son, la baja densidad, alta elasticidad, baja rigidez, alta capacidad de absorción de agua, aislación térmica y gran resistencia. Estas propiedades hacen que se consigan reducir tres causas principales del ruido (en la Figura 35 se muestran cuatro causas principales del ruido de rodadura) que son, la vibración, la succión de aire y la amplificación de los sonidos al rebotar sobre la superficie de contacto entre las ruedas y la carretera.

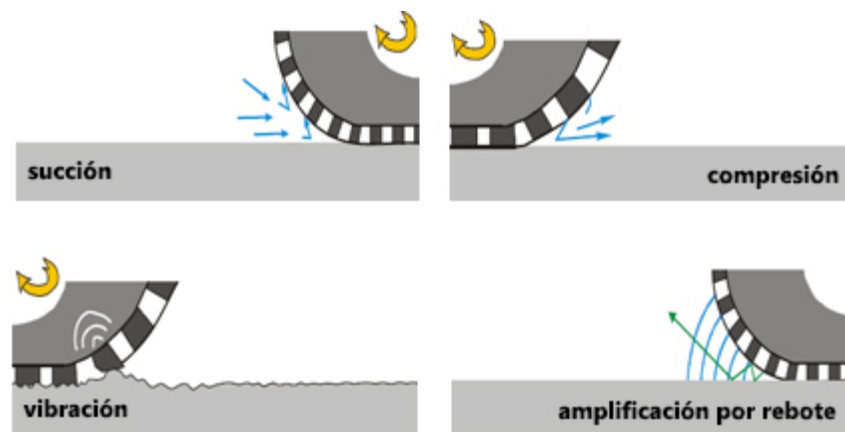


Figura 35. Causas principales del ruido de rodadura [27].

## 12. Conclusiones

El nuevo Reglamento N°540/2014 [3], del cual se ha realizado un análisis, nace debido a la necesidad de introducir un nuevo método de ensayo, ya que el anterior no era lo suficientemente representativo del origen del ruido en el movimiento de un vehículo.

Gracias a los estudios previos realizados para poder redactar la norma ISO 362-1:2015 [7], se llegó a la conclusión de que la velocidad media a la que circulan los vehículos en las vías de mayor conflicto es de 50 km/h. También se observó que, mientras que el antiguo método de ensayo (método A) no tenía muy en cuenta el ruido provocado por la rodadura del vehículo, ésta es en realidad, la fuente mayoritaria de ruido de un vehículo en movimiento a la velocidad de circulación normal en ciudad.

La norma ISO 362-1:2015 [7] determina la forma práctica de utilización del nuevo método (Método B), y sustituye a la ISO 362:1998 [8]. Los ensayos que se llevaban a cabo según ésta última norma, como ya se ha dicho en el párrafo anterior, no se ajustan al ruido urbano real que generan los vehículos. Esta es la razón principal por lo cual se ha instaurado una nueva legislación. Otra razón importante, es que el avance en la fabricación de los vehículos hace que algunos supuestos de la norma ISO 362:1998 [8] queden invalidados.

En el ensayo realizado en el Centro Municipal de Acústica del ayuntamiento de Valladolid (CMA) se observó que el nuevo método de ensayo es mucho más costoso en tiempo y esfuerzo que el anterior. Con el nuevo método, es necesario realizar tres ensayos: un ensayo de preaceleración que será el que dirá la marcha o marchas con las que se debe realizar el ensayo. El ensayo de aceleración y el ensayo de velocidad constante, que se realiza en vehículos cuyo PMR es mayor a 25.

Los resultados obtenidos con el método anterior, el método A, y el método actual, el método B, presentan una diferencia de nivel de presión sonora de 1 dB entre ellos. Según medidas realizadas en el CMA, las diferencias entre métodos están comprendidas entre 1 y 2 dB.

Una ventaja del método B es que gracias a él se pueden detectar problemas mecánicos en el vehículo.

Tras observar los datos del estudio realizado por Barti, Dr. Robert [12], para la comparación del nivel de ruido emitido por vehículos de gasolina y vehículos eléctricos, se llega a la conclusión de que, cuando se circula a velocidad constante, no se observan diferencias notables entre los diferentes tipos de vehículos. También, se puede observar que cuando ambos tipos de vehículos se desplazan a velocidades constantes de entre 30 y 80 km/h la rodadura es la principal causa de ruido en circulación urbana. En la prueba de arrancada, en cambio, el motor eléctrico presenta un nivel de ruido mucho menor que el motor de combustión interna.

El mayor problema que plantean los vehículos tanto híbridos como eléctricos puros, es que, al ser muy silenciosos, pueden producir accidentes tales como atropellos. Para evitar tales incidentes, algunos autores han llegado a la conclusión de la necesidad de instalar algún tipo de avisador acústico (SAAV) que se activase cuando éste circula a velocidades menores de 20 km/h. Según el actual reglamento, el cual es objeto de estudio de este Trabajo, el sonido que generará el SAAV deberá ser continuo y similar al sonido de un vehículo de la misma categoría, equipado con un motor de combustión interna, y deberá estar instalado en la parte delantera del vehículo.

Por último, para reducir el sonido producido por un vehículo en movimiento, en el caso de vehículos equipados con motor de combustión interna, dado el grado de perfeccionamiento que se ha alcanzado en la fabricación de motores cada vez más silenciosos, es muy difícil conseguir una mayor reducción de ruido generado por estos. Luego, solo queda intentar reducir el ruido emitido por el grupo motor a través de los silenciadores de escape. Estos son un elemento muy importante en el problema de la reducción del nivel sonoro producido por el movimiento de vehículos en las ciudades, pues son los responsables de que las ondas sonoras que expulsa el motor, vean su energía tan reducida, que al salir por el escape produzcan muy poco ruido. Por esta razón, deben seguir también unas estrictas reglas de homologación.

De acuerdo al Reglamento N° 540/2014, se ha llegado a la conclusión de que el ruido de rodadura es la fuente de ruido más importante de un vehículo en movimiento, y es uno de los factores más importantes que se deben estudiar para reducir éste. Como se comprobado, ya se está trabajando en mejorar los neumáticos y las vías (creando pavimentos sonorreductores), para intentar reducir el ruido de rodadura.

### 13. Líneas futuras

Tras la realización de este Trabajo Fin de Grado, y gracias a la experiencia en el Centro Municipal de Acústica de Valladolid, se ha llegado a la conclusión de que la más importante fuente de ruido en el movimiento de un vehículo en ciudad, es la rodadura del mismo, el contacto entre asfalto y neumático.

Actualmente, los fabricantes ya están concienciados con esta realidad, y en las etiquetas de los neumáticos viene incluido un símbolo para indicar el nivel de ruido que genera el mismo (Figura 30). En estas etiquetas, el ruido generado por el neumático viene indicado por una, dos o tres ondas, además de incluir la medida en decibelios.

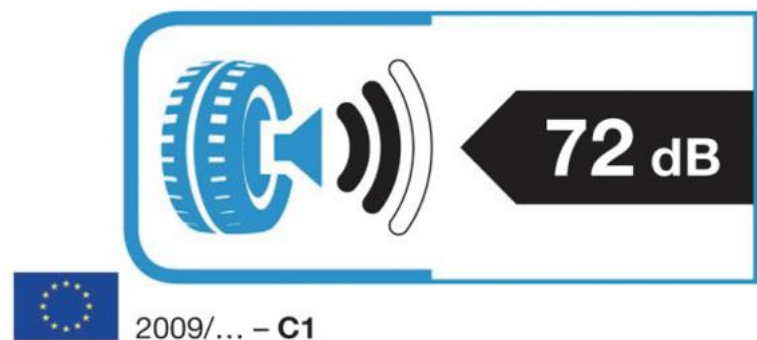


Figura 36. Etiqueta para indicar el ruido exterior que desprende un neumático al circular [17].

La sección del neumático, el diseño del dibujo y los compuestos del mismo, determinan el ruido emitido. Además de las características de la vía por donde circula el vehículo.

Dado el hecho de que la rodadura es la fuente mayoritaria de ruido, sería deseable seguir investigando sobre ello para encontrar la forma de reducir el nivel de ruido de rodadura.

Otro estudio interesante, continuando la línea del realizado en este mismo Trabajo, sería el seguimiento de los resultados de los ensayos Pass-by realizados a partir de la implantación del nuevo reglamento, para comprobar si los valores límites de la nueva Reglamentación son asumibles y si los ensayos del método B pueden simplificarse, de manera que se reduzca el tiempo y el esfuerzo de su ejecución.

## **14. Referencias**

- [1] Directiva 96/20/CE de la comisión, de 27 de marzo de 1996
- [2] Directiva 70/157/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos de motor.
- [3] Reglamento (UE) N° 540/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014, sobre el nivel sonoro de los vehículos de motor y de los sistemas silenciadores de recambio.
- [4] Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de Septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos.
- [5] Reglamento (CE) N° 661/2009 del Parlamento Europeo y del consejo, del 13 de Julio de 2009, relativo a los requisitos de homologación de tipo referente a la seguridad general de los vehículos de motor, sus remolques sistemas, componentes y unidades técnicas independientes a ellos destinados.
- [6] Reglamento N° 51 de la Comisión Europea para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU), sobre prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos de motor que tienen al menos cuatro ruedas, en lo que concierne al ruido.
- [7] ISO 362-1:2015 – Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles - Engineering method.
- [8] ISO 362:1998 – Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles - Engineering method.
- [9] Libro verde de 4 de Noviembre de 1996
- [10] ISO 10844:2014 – Acoustics - Specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tyres.

- [11] Documento de Sesión Parlamento Europeo. Posición del consejo en primera lectura con vistas a la adopción de un reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el nivel sonoro de vehículos de motor y de sistemas silenciadores de recambio, y por el que se modifica la directiva 2007/46/CE y se deroga la directiva 70/157/CEE
- [12] Barti, Dr. Robert – El vehículo eléctrico y la reducción del ruido ambiente en ciudades. EuroRegio2016. Porto. Portugal
- [13] Poveda-Martínez, P. – Percepción sonora de vehículos eléctricos.
- [14] González Calleja David – Motores Térmicos y sus Sistemas Auxiliares.
- [15] “Así funciona el silenciador de escape de un coche”  
<https://www.youtube.com/watch?v=FNQovFsZAPk> Fecha: 20/08/2016
- [16] Página Web del Centro Municipal de Acústica de Valladolid -  
<http://www.valladolid.es/es/ciudad/medio-ambiente-salud/servicios/centro-municipal-acustica-cma/ensayos-ruido-movimiento-vehiculos> Fecha: 26/09/2016
- [17] “¿Sabes leer la etiqueta europea de los neumáticos?”  
<http://www.autobild.es/contenido-patrocinado/vision-zero-sabes-leer-etiqueta-europea-los-neumaticos-299035> Fecha: 11/11/2016
- [18] CEI 60942:2003 – Electroacústica. Calibradores acústicos.
- [19] Calos Sainz Vila – “Técnicas para el estudio acústico en Vehículos”
- [20] David García Boscá – Estudio acústico generado por el tráfico de la población de L’ olleria.
- [21] “Resonador de Hemiholtz” <http://www.equaphon-university.net/resonador-de-helmholtz/> Fecha: 08/03/2017
- [22] “Cidaut lanza al mercado un asfalto poroso que reduce el ruido a la mitad”  
<http://www.elmundo.es/elmundo/2009/06/08/castillayleon/1244446880.htm>  
L Fecha: 08/03/2017



- [23] Contisilent: una tecnología que ayuda a reducir el ruido de rodadura de un neumático. <https://www.autonocion.com/contisilent-una-tecnologia-que-ayuda-a-reducir-el-ruido-de-rodadura-de-un-neumatico/> Fecha: 04/03/2017
- [24] “¿Cuáles son los neumáticos más silenciosos” <https://motor.uncomo.com/articulo/cuales-son-los-neumaticos-mas-silenciosos-24996.html> Fecha: 09/03/2017
- [25] “Carreteras silenciosas: hallan una solución para reducir el ruido de los neumáticos” <http://www.economista.es/ecomotor/motor/noticias/6504938/02/15/Carreteras-silenciosas-hallan-una-solucion-para-reducir-el-ruido-de-los-neumaticos.html> Fecha: 09/03/2017
- [26] “Cidaut lanza al mercado un asfalto poroso que reduce el ruido a la mitad” <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/06/08/castillayleon/124444688o.html> Fecha: 09/03/2017
- [27] “Proyecto Persuade: nuevos materiales para la reducción del ruido en la carretera” <http://www.structuralia.com/es/blog/29-innovacion-y-tendencias/1002058-proyecto-persuade-nuevos-materiales-para-la-reduccion-del-ruido-en-la-carretera> Fecha: 09/03/2017
- [28] “Silenciadores” <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4950/fichero/4.pdf> Fecha: 05/03/2017
- [29] M. J. Martínez - “Caracterización acústica de silenciadores de escape híbridos mediante técnicas modales multidimensionales”
- [30] Castillo Joaquín y Costa Alejandro – Características físicas de materiales absorbentes sonoros porosos.
- [31] UNE-EN 13036-7:2004 – “Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 7: Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas. Ensayo de la regla”.

- [32] ISO 13472-2:2010 – “Acoustics -- Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ -- Part 2: Spot method for reflective surfaces”
- [33] UNE-EN ISO 13473-1:2006 - “Caracterización de la textura de los pavimentos mediante el uso de perfiles de superficie. Parte 1: Determinación de la profundidad media del perfil (ISO 13473-1:1997)”
- [34] Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León.
- [35] Lelong, J.;Michelet, R., - “Passenger cars. Power unit and tyre-road noise, driving behaviour: what are the stakes?.» In Inter.noise, The Hague, 2001”.
- [36] Proyecto eVADER, así avisarán a peatones los Nissan eléctricos <http://noticias.coches.com/noticias-motor/proyecto-evader-asi-avisaran-a-peatones-los-nissan-electricos/182429> Fecha: 22/02/2017
- [37] Hanna, R., «Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles.» NHTSA report DOT HS 811 204 (2009).
- [38] ISO 10844:1994 - Acoustics -- Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles
- [39] Segués Echazarreta, Fernando – “Ruido de tráfico:carreteras”
- [40] Loughborough University Institutional Repository – “Noise source characteristics in the ISO 362 vehicle pass-by noise test: literatura review”
- [41] ROOKE & FUENTES Ingenieros Acústicos Asociados – “Elaboración de propuesta de norma de ingreso para vehículos nuevos livianos y medianos sobre niveles máximos permisibles de ruido”
- [42] Directiva 2002/49/CE del parlamento europeo y del consejo, de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

**ANEXO A – INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA EN EL ENSAYO REAL REALIZADO**

Equipo Empleado	Fabricante	Modelo/Nº de Serie	Tipo <sup>2</sup>	Fecha de última calibración	Trazabilidad
Cadena de mediad A-IZQUIERDA Cad 1 MODFR-006 FR-002 MIC017 CAD-013	Brüel&Kjaer	Canal 1 Input 1 del módulo 3032A V1.02-0000 NS 2412078 del frontend B&K 3560C NS 2415708 NS MIC 2575685	1		ENAC
Cadena de mediad B-IZQUIERDA Cad 2 MODFR-006 FR-002 MIC019 CAD-015	Brüel&Kjaer	Canal 2 Input 2 del módulo 3032A V1.02-0000 NS 2412078 del frontend B&K 3560C NS 2415708 NS MIC 2575685	1		ENAC
Verificador acústico CAL-006	Brüel&Kjaer	4231/2376332	1		ENAC
Pantalla antiviento	Brüel&Kjaer	UA0237	N.A.		N.A.
Tacómetro TAC-001	KMT-8000	20030104	N.A.		INTERNA
Tacómetro TAC-006	ONNO SOKI	FT7200/7101015	N.A.		ENAC
RD-001	Brüel&Kjaer Mesta	Radar Unit ZZ 0231/	N.A.		CEM
Sensor velocidad de viento SWND-002	MET ONE INSTRUMENTS	951/P13532	N.A.		ENAC
Sensor Dirección de viento SDV-001	MET ONE INSTRUMENTS	590/N13870	N.A.		INTERNA
Sensor Temperatura STMP-004	ROTRONIC	HC2-S3CO3/61125312	N.A.		INTERNA
Sensor Humedad Relativa STMP-004	ROTRONIC	HC2-S3CO3/61125312	N.A.		INTERNA
Sensor Presión Barométrica SPB-001	MET ONE INSTRUMENTS	073B/C1654	N.A.		INTERNA

Cadenas de medida acústica:

FR-002-Frontend Brüel&Kjaer 3560C NS 2415708

Módulos:

LAN 7536 en Slot 1 V16.01-0000 NS 2604111

3032 A en Slot 2 V1.02-0000 NS 2412078

Cadena 1 Izq: Input 1 del módulo 3032A V1.02-0000 NS 2412078 del Frontend BK 3560 C NS 2415708 – CBL-114 – CBL-082-MIC 017- 4190L001 NS 2575683 (NS MIC 2599225, NS PREAMP 2605145) Micrófono de campo libre.

Cadena 2 Der: Input 2 del módulo 3032A V1.02-0000 NS 2412078 del Frontend BK 3560 C NS 2415708 – CBL-028- MIC 19 – 4190L001 NS 2575685 (Nº Mic 2599227; Nº Preamp 2605147) Micrófono de campo libre.

Los equipos auxiliares empleados han sido:

Antena WIFI Omnidireccional: ANTW-002

Frontend 3560C: FR-003 (adquisición de parámetro vehículo)

Sensor en el pedal de acelerador: SPA-005

Fotocélulas: FT-001, FT-002 y FT-003

Termómetro: TERM-001

Termohigrómetros THR-001, THR-003 y ESTMET-001

Puntos Wireless utilizados: WIRE-007, WIRE-008

Programa informático de adquisición de datos PULSE:SWG-004