

## **LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO DE UN VEHÍCULO MEDIANTE INTENSIDAD SONORA**

**Campello Vicente, Héctor; Velasco Sánchez, Emilio; Campillo Davó, Nuria;**

**Peral Orts, Ramón; Vidal Sánchez, Alfredo G.**

Universidad Miguel Hernández de Elche, Avda. de la Universidad, s/n, 03202 Elche-Alicante-Spain  
(hector.campello@graduado.umh.es)

### **Resumen**

Dada la problemática ambiental que supone el ruido provocado por los vehículos, se cree importante la identificación de las diferentes fuentes de ruido de estos, con el fin de tratarlas por separado a la hora de intentar reducir las.

El objetivo de este estudio, es la localización de las fuentes de ruido existentes en la parte trasera de un vehículo mediante mediciones de intensidad, presentando los resultados de forma gráfica, analizando los diferentes focos de ruido encontrados.

Para la elaboración del trabajo se han realizado los ensayos de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 9614-1 [1] para la obtención de los datos y su posterior tratamiento mediante software informático.

A la finalización de todo el proceso de calibrado de la malla y total medición de las diferentes hipótesis de trabajo se obtiene una distribución de niveles sonoros a lo largo del plano del vehículo donde se pueden apreciar los puntos donde se debería actuar con el fin de reducir la contaminación acústica provocada por estas fuentes en los vehículos.

**Palabras-clave:** Ruido del vehículo, sonda de intensidad.

## **Abstract**

With the objective to reduce noise levels on vehicle noise emission, it is important to identify all sources that contribute on this noise with the purpose to treat all them separately.

The main objective of this paper is to localize all noise sources that appear at rear of a vehicle, applying sound intensity techniques. The results of this research are presented on graphics and the different noise sources are analyzed.

To obtain data results, tests were carried out according to UNE-EN ISO 9614-1 [1] standard and lately they were analyzed with GIS software.

At the end of this process a noise levels distribution is obtained along the rear plane of the vehicle, where can be observed the main noisy areas.

**Keywords: vehicle noise, sound intensity probe.**

## **1 Introducción**

En general, la contribución más importante a la contaminación acústica ambiental es la que procede del tráfico rodado. Por ello son numerosos los estudios que se realizan con el fin de proteger a la población del ruido provocado por este medio de transporte.

En las zonas urbanas donde las fuentes de ruido y los edificios residenciales suelen estar muy cercanos, las medidas correctoras como podrían ser las barreras acústicas no son del todo eficaces. En estos casos es cuando las actuaciones deben realizarse sobre la misma fuente de ruido.

La principal fuente generadora de ruido en un vehículo de forma aislada cuando circulan a elevada velocidad, procede de la interacción entre el pavimento y el neumático. Este ruido se denomina ruido de rodadura y depende de la velocidad del vehículo, características del neumático, estado de la calzada, etc....

En un vehículo aparecen otras fuentes de ruido paralelas al anteriormente mencionado ruido de rodadura, que dependen de otros factores como podrían ser la velocidad del vehículo o el propio mantenimiento de éste. Por lo que la aportación de éstas también debe ser considerada a la hora de poder reducir los niveles de ruido provocados por el tráfico rodado.

Se pueden enunciar como ejemplos, el ruido provocado por el motor, el aerodinámico y el ruido provocado por el tubo de los gases de escape.

Con el fin de reducir el nivel de ruido ambiental existen leyes comunitarias que establecen los valores máximos a emitir por un vehículo, las Directivas Comunitarias sobre la homologación de vehículos automóviles son las siguientes:

Directivas comunitarias 81/334/CEE, 84/372/CEE y 84/424/CEE, adaptadas por el Real Decreto 2.028/1986, de 6 de junio (BOE 236, de 2 de octubre de 1986), para automóviles; la Directiva 1997/24/CEE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio, relativa a determinados elementos y características de los vehículos a motor de dos y tres ruedas, y la directiva 2002/24/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de marzo, relativa a la homologación de los vehículos de motor de dos y tres ruedas.

Con el objetivo de cumplir la normativa vigente, los vehículos deben estar homologados por organismos competentes, con el fin de corroborar el cumplimiento de los requisitos de circulación.

Estas inspecciones técnicas de vehículos se realizarán en instalaciones Iteuve acreditadas para realizar esta labor y se registrarán por la normativa vigente de la comunidad autónoma, si la hay o en caso contrario por la normativa estatal.

Las inspecciones de vehículos están reguladas por el Manual de Procedimiento de Inspecciones de las estaciones ITV, facilitado por el Ministerio de Industria y Comercio. Desde el punto de vista de la inspección acústica de los vehículos, este manual hace referencia a la Directiva 2007/34/CEE [2] donde se enuncian los niveles de emisión sonora admisibles para vehículos a motor.

De una manera adicional las diferentes comunidades autónomas pueden acogerse a su propia normativa siempre y cuando se cumpla la normativa general.

## 2 Objetivos y Metodología

El propósito general del presente estudio consiste en la localización de las fuentes de ruido existentes en la parte trasera de un vehículo analizada mediante medidas de intensidad.

Para garantizar dicho propósito, se cumplido los siguientes objetivos:

- Diseñar y construir un útil autoportante con el fin de realizar el mallado de puntos.
- Realizar mediciones de intensidad de acuerdo a la Norma UNE EN-ISO 9614-1.
- Representar los resultados mediante un software de simulación.
- Analizar los resultados obtenidos por frecuencias.
- Localizar de las fuentes de ruido encontradas a lo largo de la superficie de medición.

La metodología empleada para la realización del estudio ha seguido los pasos que a continuación se indican, y son detallados en los siguientes apartados:

- Análisis de la Norma UNE EN-ISO 9614-1
- Instrumentación y preparación de los ensayos
- Realización de ensayos
- Creación de la huella acústica mediante el software de simulación
- Análisis de los resultados
- Conclusiones

### 3 Análisis de la Norma UNE EN-ISO 9614

Para la realización del presente estudio se ha utilizado la norma UNE-EN ISO 9614-1[1], que describe el procedimiento para la determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido por intensidad de sonido mediante la medición de puntos discretos.

A grandes rasgos, la Norma marca las condiciones de medición así como la forma de realizar de manera correcta los ensayos.

La condición más significativa a tener en cuenta es la limitación de 3 decibelios de diferencia entre “segmentos” (punto) de medición, este factor condiciona el tamaño de mallado en el momento de realizar el ensayo.

Otra de las condiciones a tener en cuenta es la limitación por ruido de fondo, puesto que las perturbaciones acústicas externas a las fuentes de ruido bajo ensayo deben tener niveles 15dB por debajo de los niveles ensayado. La medición de ruido de fondo se realiza seleccionando 5 puntos al azar a lo largo de la malla de puntos.

El flujo de aire máximo en el momento del ensayo debe ser inferior a 2 m/s. Para conseguir esto la sonda de intensidad estuvo protegida en todo momento por una pantalla antiviento indiferentemente de los niveles de aire existentes.



Figura 1 – Pantalla antiviento colocada en la sonda de intensidad

## 4 Instrumentación y preparación de los ensayos

Para la realización de las medidas de este estudio se ha utilizado un analizador acústico modular de presión tipo Bruel&Kjaer 2260, que tiene una aplicación particular para la utilización de un kit de sonda de intensidad tipo 3595 del mismo fabricante.

La aplicación instalada en este analizador se denominada Sound Intensity Software BZ 7205. A continuación se detallan brevemente los parámetros a tener en cuenta, así como las diferentes posibilidades de medición que posee esta instrumentación.

Para la calibración “in-situ” del equipo se ha utilizado un calibrador sonoro marca Bruel&Kjaer tipo 4231, con el que se han verificado las mediciones calibrando el equipo anterior y posteriormente de cada sesión de trabajo.

Para realizar las mediciones en el plano perpendicular a la parte posterior del vehículo fue necesario el diseño y construcción de una estructura con el fin de mantener la sonda en una posición fija y tener en cuenta en todo momento el lugar geométrico de ésta, para posteriormente realizar el mallado mediante software informático

Esta estructura se diseñó con las dimensiones deseadas en función del coche a ensayar, a base de perfiles de aluminio de diferentes dimensiones para poder garantizar la estabilidad fiable ante el desplome, una facilidad de montaje y posibilidad de cambiar su forma.

Sobre la estructura se instalaron varias escalas milimetradas, que facilitan la colocación de la sonda en el lugar de medición deseado dependiendo de la amplitud de mallado. Gracias a la colocación de estas escalas se puede realizar el ensayo con diferentes densidades de muestreo.

El desplazamiento de la sonda a través de la estructura es uno de los factores donde mayores complicaciones se han encontrado. Para solventar esta situación se ideó una deslizadera vertical donde se acopla la sonda para realizar el movimiento vertical del mallado.

Uno de los elementos más importantes de la estructura utilizada es el sistema de fijación de la sonda, para ello se ha emulado las pinzas de fijación de los micrófonos utilizadas como accesorio del sonómetro y han sido colocadas sobre la deslizadera vertical comentada anteriormente.

Como último aspecto relevante acerca de la estructura diseñada, queda por comentar la colocación de ésta respecto del vehículo. Para ello se colocaron diferentes barras a modo de referencia con la intención de colocar la estructura en la posición correcta respecto al vehículo, en este caso 50cm.

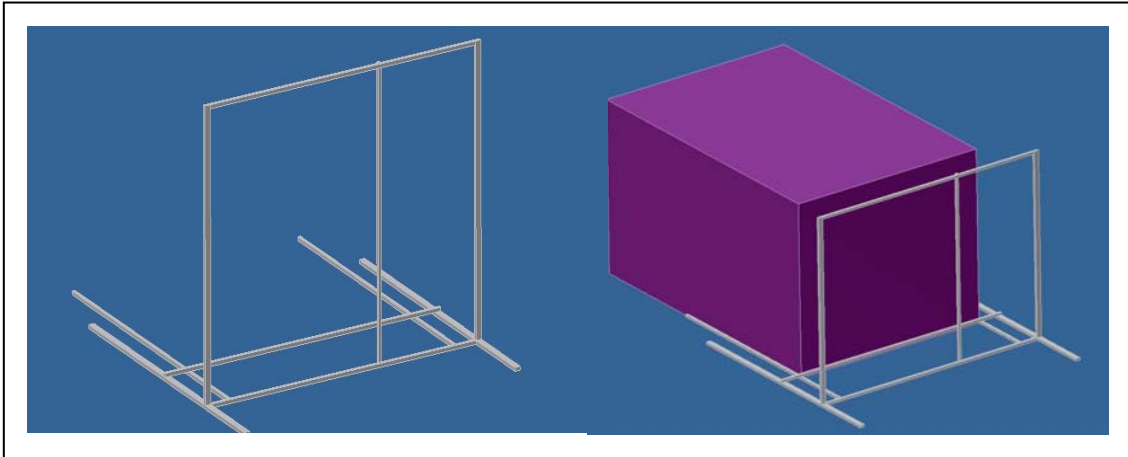


Figura 2. Simulación del ajuste entre el vehículo y la estructura portante

Este cuadrante es la parte más versátil de la estructura, dada la facilidad de montaje de estos perfiles se podría ensayar otro vehículo ajustando los listones al ancho de vía del vehículo y el tercero a la distancia de medida.

## 5 Realización de los ensayos

El coche seleccionado para realizar el análisis es un Peugeot 207 diesel con modificaciones en el sistema de inyección, que permiten un máximo nivel de revoluciones de 3000 rpm con el fin de realizar los ensayos con una fuente de ruido lo más estacionaria posible.

El ensayo se ha realizado usando una densidad de malla de 10x10 cm. Como consecuencia, se han necesitado un total de 267 puntos de medida de 10 segundos cada uno, repitiéndose medidas en las cuales apareciesen anomalías, gracias a la constante visualización de los niveles en el display del sonómetro donde se podía comparar punto a punto la correcta desviación de los datos ( $<3\text{dB}$  para la validación de la malla según ISO 9614[1]), así como la aparición de algún tipo de anomalía en la medida.

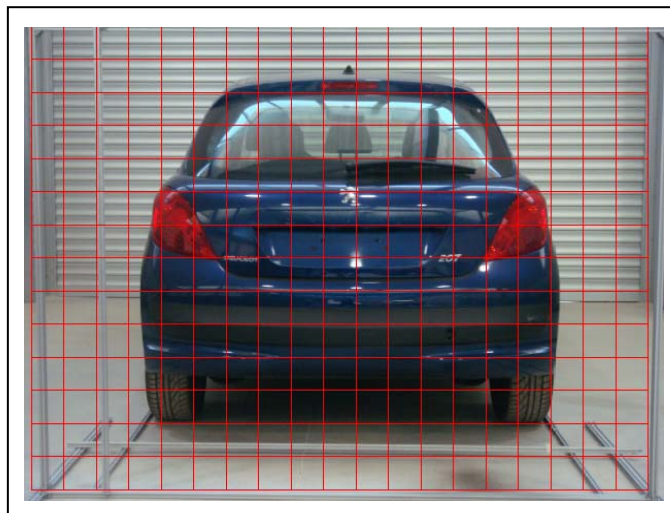


Figura 3. Mallado 10x10

Se ha considerado oportuno realizar los ensayos en agosto, teniendo así posibilidad de trabajar en los laboratorios sin ninguna actividad ruidosa e incluso desconectar sistemas de extracción, climatización, etc.

El modo de considerar válidas las mediciones, refiriéndonos a limitaciones por ruido de fondo, fue cuando tras la medición de 5 medidas en la malla utilizada para el ensayo, la diferencia de los niveles era menor de 15 dB. Estas 5 medidas se realizaron de forma aleatoria sin necesidad de un orden dentro de la malla, aunque es preferible abarcar toda la superficie con ellas.

Otro agente molesto para las mediciones es el flujo de aire. Se trata de un factor decisivo ya que con corrientes mayores a 2 m/s los resultados no se consideran válidos. Para la comprobación del flujo de aire se utilizó un anemómetro digital.

## 6 Creación de la huella acústica mediante el software de simulación

El software empleado para la simulación de las mediciones ha sido en una herramienta "SIG" (Sistema de Información Geográfico) empleada para la elaboración de huellas mediante mediciones tomadas con anterioridad. Tras el tratamiento de los datos se han elaborado diferentes huellas acústicas donde es posible localizar las fuentes de ruido.

Para la elaboración de este trabajo se ha necesitado obtener los resultados de las mediciones en un formato de mapas compatible con el software de simulación empleado, para ello se ha recurrido a exportar los datos del analizador a un formato de hoja de cálculo tipo Excel donde se realizó el tratamiento de datos.

Los datos han sido analizados en las diferentes bandas de frecuencia comprendidas entre los 400Hz y los 2500Hz teniendo en cuenta que la mayor parte de energía acústica se produce en las bandas de octava comprendidas en 500Hz y 2000Hz.

Mediante la aplicación de este software y empleado un tratamiento de imagen se obtiene como resultado una holografía acústica donde se localizan las fuentes productoras de ruido sobre la misma imagen del vehículo ensayado (ejemplo en la siguiente figura)

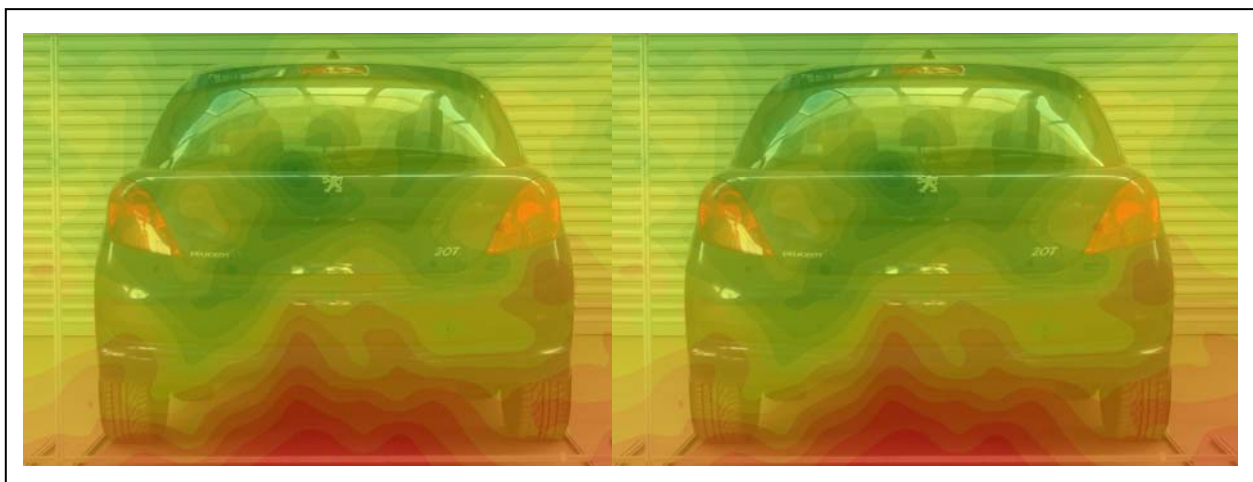


Figura 4. Ejemplos de holografía

## 7 Análisis de Resultados

Teniendo en cuenta el propósito de este proyecto, la localización de las fuentes de ruido de un vehículo y que las bandas más significativas acústicamente para el ruido de vehículos son 500Hz, 1000Hz y 2000Hz se ha considerado conveniente el estudio de estas tres bandas.

El estudio partió de la hipótesis de obtener la mayor parte del ruido en la zona cercana a la salida de gases de escape, basándonos en la metodología del ensayo de homologación de vehículos en parado. Dicho ensayo se realiza a 50cm del vehículo colocando el micrófono con una desviación angular de 45° respecto de la salida del escape.

La intención de este estudio es la localización de estas fuentes de ruido para ampliar la visión sobre los ensayos de homologación abriendo posibilidades a otros ensayos diferentes al utilizado.

El análisis de los resultados obtenidos va a ser comentado por separado, diferenciando entre los niveles de intensidad de cada banda bajo estudio. De este modo se comprobará la diferencia de niveles entre las fuentes de ruido existentes.

En la holografía que ilustra las mediciones a 500Hz se comprueba una asimetría entre los niveles laterales obtenidos del vehículo en esta frecuencia, lo que está influenciado por la localización de las partes móviles del motor.



Figura 5. Holografía 500hz en bandas de octava

Con el fin de verificar la localización de las fuentes de ruido a lo largo de la carrocería, se ha realizado un análisis de vibraciones FFT mediante el que se obtienen datos de energía emitida por vibración en diferentes zonas. La elección de los puntos de medición mediante FFT se ha realizado en base al análisis de las huellas acústicas buscando en todo momento relacionar ambos ensayos.

La asimetría comentada anteriormente, se mantiene en la mayor parte de la superficie. La diferencia de niveles más representativa comparando los lados del vehículo se sucede en la parte superior.



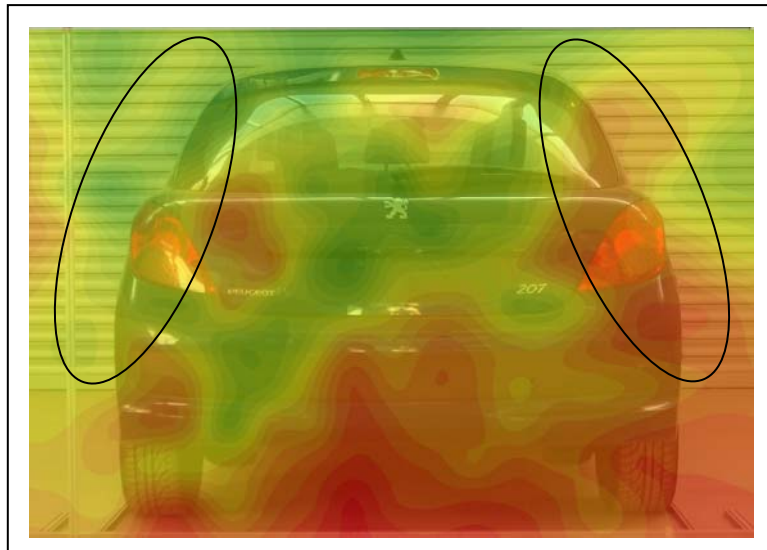


Figura 6. Asimetría en 500hz en bandas de octava

Esta asimetría no se produce en las bandas de frecuencia de 1000Hz y 2000Hz donde la distribución de la intensidad a lo largo de la holografía se produce de una manera más continua, apareciendo una similitud de la huella en la misma zona expuesta en el análisis anterior.



Figura 7. 1000Hz (derecha) y 2000Hz (izquierda) en bandas de octava

Realizando el mismo estudio sobre las bandas de tercio de octava de 400Hz, 500Hz y 630Hz se comprueba la aparición de mayores niveles en la parte derecha del vehículo.

Siguiendo con el estudio de la huella a 500Hz en banda de octava se observan diferentes focos de ruido en la carrocería de la parte trasera donde aparentemente no deberían aparecer niveles considerables de intensidad.

Llegado a este punto, es momento de fijar la atención en la parte inferior del vehículo, donde antes de comenzar el estudio se realizó la primera hipótesis: “la mayor aportación de ruido de la parte trasera del vehículo proviene del escape”.

En la frecuencia de 500Hz no se puede definir como única fuente de ruido el escape de gases, ya que a lo largo de toda la superficie trasera inferior se dan valores altos de ruido. Estos tienen su origen tanto en el motor como en el mismo escape, sin dar posibilidad, a determinar una fuente de ruido clara debido a la continuidad de la huella.

Pasando al estudio de la siguiente banda de frecuencia, 1000Hz, se observa una estratificación de los niveles de intensidad muy clara.



Figura 8. Holografía 1000Hz en bandas de octava

Independientemente de la claridad con la que se pueden localizar las fuentes de ruido en la figura anterior, se estudiaron las diferentes holografías en tercio de octava con la finalidad de comprender mejor los sucesos ocurridos en el ensayo, apreciando la desaparición de la intensidad radiada por los laterales del vehículo por la vibración de la carrocería a partir de la frecuencia de 1250Hz debidos a la vibración de la carrocería.

Pese a la desaparición de la excitación de las vibraciones, esta banda de frecuencia muestra la estratificación de los niveles de intensidad a medida que aumenta la distancia entre los puntos cercanos a la zona inferior del vehículo.

La parte baja de la huella caracterizada por el ruido proveniente de los bajos del motor presenta una distribución de niveles sonoros prácticamente constante a lo largo de su superficie. Este hecho supone una distribución acústica de las fuentes de ruido: el escape y el propio motor del vehículo.

Un punto del análisis que también debe tenerse en cuenta, es la reflexión provocada por la superficie de medición. La superficie en la que estaba el vehículo estaba realizada por una capa de fratasado cuyas reflexiones podían ser importantes.

Este hecho provoca el mismo suceso en la siguiente banda central de frecuencia estudiada, los 2000Hz.

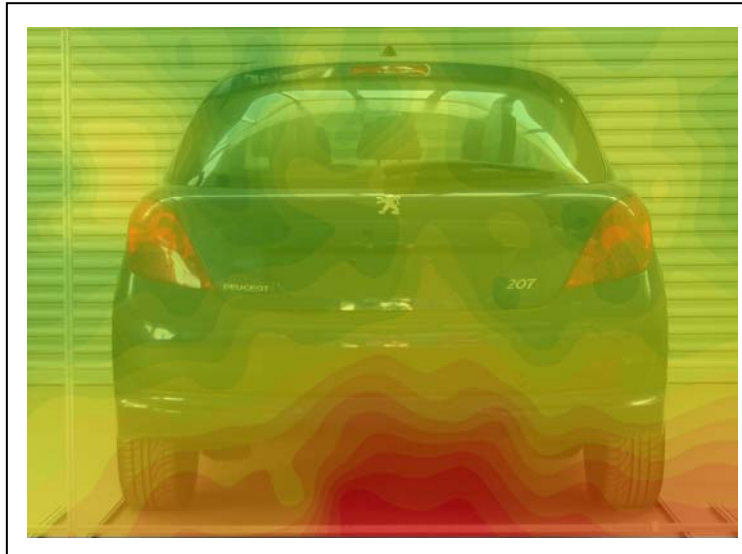


Figura 9. Holografía 2000Hz en bandas de octava

Mediante la comparación de las medidas de intensidad realizadas entre las bandas de 1000Hz y 2000Hz se puede obtener las conclusiones en cuanto a la localización de las fuentes de ruido.

Una de las conclusiones obtenidas sobre las figuras en bandas de octava es la desaparición del ruido provocado por la vibración a través de la carrocería, ya que esta tiende a desaparecer alrededor de los 1000Hz. La segunda conclusión es la distribución de los niveles dependiendo de la posición de la sonda de intensidad a medida que la medición se aleja del foco de ruido.

## 8 Conclusiones

Tras la elaboración de este estudio, se localizan dos fuentes de ruido como las causantes de los mayores niveles de intensidad en el área de estudio, estas son el motor del vehículo y el escape de gases. Estas fuentes aparecen en toda la banda de frecuencias, en la que a bajas frecuencias además aparece una tercera fuente de ruido, las vibraciones de la carrocería.

Los resultados presentados en este artículo han sido obtenidos en base a medidas de intensidad. No obstante, se obtienen resultados equivalentes usando mediciones de presión con la única diferencia de que la precisión en los resultados es menor usando presión, debido direccionalidad de la intensidad acústica.

A partir de estos ensayos, se está trabajando en nuevos procedimientos de estudio que afiancen los resultados. Así, podrían aislarse zonas del vehículo siendo útil para la separación y localización de los focos de ruido, dando la posibilidad de analizar las fuentes por separado con la finalidad de tener más información sobre ellas.

Estos ensayos podrían realizarse sobre superficies diferentes con distintos niveles de absorción acústica, impidiendo de este modo la reflexión del sonido. Con esta medida se obtendrían niveles sonoros puros en las zonas bajas de la holografía.

Este estudio sirve para dar una visión diferente sobre los ensayos de homologación de vehículos incluso en los ensayos Iteuve, en estos se miden los niveles de presión sonora en un punto situado respecto al escape. Mediante este estudio se ha demostrado que los niveles sonoros producidos por un vehículo no solo provienen del escape de gases sino que gran parte se da lugar en el motor.

Tras la finalización de este estudio, puede proponerse la revisión de los ensayos de homologación de vehículos, con la finalidad de realizar pruebas que no analicen como única fuente de ruido el escape de gases en la posición de parado como sucede en la actualidad [2] [3].

## 9 Referencias

[1] Norma UNE-EN ISO 9614-1: Determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido por intensidad del sonido. Parte 1: Medida en puntos discretos.

[2] Directiva 2007-34-CE del Consejo sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos

[3] Manual de Procedimiento de Inspecciones ITV

[4] María Machimbarrena Gutiérrez; TESIS DOCTORAL “ESTUDIO COMPARATIVO DEL AISLAMIENTO SONORO POR LOS MÉTODOS DE PRESIÓN Y DE INTENSIDAD”. Escuela Técnica Superior de Valladolid, Mayo de 1999.

[5] Jacques Chatillon; “Influence of source directivity on noise levels in industrial halls: Simulation and experiments”. Applied Acoustics 68 (2007) 682–698