

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SONORO DE LOS VEHÍCULOS INSPECCIONADOS EN LAS ESTACIONES ITV'S DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

PACS: 43.50.

Peral-Orts, Ramón¹; Velasco-Sánchez, Emilio¹; Campillo-Davó, Nuria¹; Campello-Vicente, Héctor¹; Gaja-Díaz, Esteban²

1 Universidad Miguel Hernández de Elche
Av. Universidad s/n, 03202, Elche. España
Telf.: 966 658 579. Fax: 966 658 928
E-mail: ramon.peral@umh.es

2 Universidad Politécnica de Valencia
Calle de Vera, s/n, Valencia. España
Telf.: 963 877 000

ABSTRACT

Since 2004, vehicles that pass the regular technical inspection in Valencian Region, in Spain, have to be also examined on noise emissions in static conditions, as it is stated in the Valencian regulation *Decreto 19/2004 del Consell de la Generalitat*. The high number of technical inspections carried out since then in the Valencian Technical Inspection Stations (*ITV's*) provides a huge database with millions of vehicles' noise levels. That database offers a great opportunity for the evaluation of actual noise features of the Valencian car fleet of the last seven years. The work presented in this paper collects an analysis of the sound trend for different vehicle families, as a function of the passing of the years, the utilization code and the kilometers traveled.

RESUMEN

Desde Agosto de 2004, las Estaciones de Inspección Técnica de Vehículos de la Comunidad Valenciana vienen registrando los niveles de emisión sonora de millones de vehículos en estático, tal y como se establece en el Decreto 19/2004 del Consell de la Generalitat. Este amplio registro de datos, proporciona una gran oportunidad de evaluar las características reales sonoras del parque automovilístico valenciano de los últimos 7 años. Por todo ello, en el presente trabajo se analiza la tendencia sonora de las diferentes familias de vehículos en función del paso de los años, el código de utilización y los kilómetros recorridos.

1. INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de los estudios sobre acústica ambiental y mapas sonoros municipales apuntan al tráfico rodado como la principal fuente de ruido en entornos urbanos e interurbanos. Esta clara localización del foco sonoro ha precipitado un elevado número de estudios y trabajos de investigación encaminados a caracterizar, analizar y modelar el vehículo rodado como fuente de ruido. Diferentes autores han avanzado en este propósito [1][2][3], al mismo tiempo que normas y la legislación europea han definido las pautas para normalizar las metodologías de ensayo necesarias para establecer el comportamiento sonoro de los vehículos que son introducidos en el espacio europeo.

Los esfuerzos para evaluar las emisiones sonoras de los vehículos rodados no deben limitarse únicamente a sus fases de diseño y fabricación. Con el transcurso del tiempo, el uso y el incorrecto mantenimiento de los vehículos, estos pueden ver alteradas sus condiciones sonoras iniciales. Con este propósito, desde agosto de 2004, el Decreto 19/2004 del Consell Valencià estableció la necesidad de realizar pruebas de evaluación sonora de los vehículos a motor, cuyo permiso de circulación radica en cualquier municipio de la Comunidad Valenciana, en el momento en el que fuera realizada sobre los mismos la inspección técnica periódica. Este documento determina las características técnicas del ensayo, siguiendo las directrices establecidas por la Directiva 70/157/CEE y sus posteriores adaptaciones técnicas [4], para los ensayos de homologación de vehículos rodados, cuyo procedimiento de medida y registro de los niveles de ruido se realiza con el vehículo parado.

Por otro lado, a nivel estatal, se publicó el Real Decreto 711/2006, revisión 5ª de junio de 2006 del Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones ITV y posteriormente la revisión 6ª de enero de 2009 del Manual de Procedimiento de Inspección de las Estaciones ITV. Ambos documentos suponen un punto de partida común para todo el territorio nacional, ya que incluyen, la obligatoriedad de la inspección sonora del nivel de ruido emitido por las motocicletas y ciclomotores de 2 ruedas.

Como resultado de todo ello, en la actualidad las estaciones ITV's valencianas disponen de una vasta cantidad de información referente a las condiciones técnicas y sonoras de vehículos reales en funcionamiento. Esta información ha permitido relacionar la emisión sonora de diferentes tipos de vehículos con su antigüedad, kilómetros recorridos o código de utilización entre otros. A su vez, los niveles sonoros registrados podrán ser empleados para agrupar las diferentes tipologías de vehículos según los niveles sonoros que irradian en el ensayo de inspección técnica llevado a cabo en las estaciones ITV's.

2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Con la información almacenada en las bases de datos de las Estaciones de Inspección Técnica de Vehículos de la Comunidad Valenciana y con los niveles sonoros tomados a los diferentes vehículos inspeccionados se persiguen los siguientes objetivos:

- Determinar la relación entre diferentes variables que caracterizan a los vehículos y los niveles sonoros emitidos en las condiciones de ensayo de las estaciones. Estableciendo si existe una relación directa entre alguna de estas variables y los niveles sonoros emitidos.
- Teniendo en cuenta el elevado número de datos de los que se dispone, establecer una nueva clasificación sonora del parque automovilístico, teniendo en cuenta la semejanza sonora de los individuos en las condiciones ensayadas en las estaciones ITV.

3. METODOLOGÍA DE ENSAYO EN ITV'S

Tal y como se ha comentado anteriormente, el nivel sonoro emitido por cada uno de los vehículos inspeccionado es obtenido en las estaciones de inspección ITV's de la Comunidad Valenciana siguiendo las indicaciones establecidas en el Decreto 19/2004 del Consell Valencià, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor. En este Decreto se desarrollan los preceptos contenidos en la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat, de Protección contra la Contaminación Acústica, estableciendo los niveles máximos de emisión sonora admisibles para los vehículos a motor, así como los procedimientos de evaluación de los mismos en la Comunidad Valenciana.

En su artículo 4 se establece que el nivel de ruido emitido por los vehículos a motor se considerará admisible siempre que no rebase el valor límite de nivel de emisión sonora. Dicho valor límite se obtiene sumando 4 dBA al nivel de emisión sonora fijado en la ficha de

homologación del vehículo para el ensayo estático o ensayo a vehículo parado determinado por el procedimiento establecido en el *Anexo I* de dicho Decreto.

$$L_{A,lim,inspección} = L_{A,homolog} + 4 \text{ dBA} \quad (1)$$

Donde:

$L_{A,lim,inspección}$, es el valor límite del nivel de emisión sonora de la inspección en ITV, en dBA.
 $L_{homolog}$, es el nivel de emisión sonora fijado en la ficha de homologación del vehículo para el ensayo estático.

Las Estaciones ITV serán las encargadas de comprobar el nivel de emisión sonora de los vehículos según el Artículo 5 del mismo Decreto, para lo cual se habilitarán las instalaciones y dispondrán de los instrumentos necesarios para cumplir el procedimiento establecido en el Anexo I.

El Artículo 6 establece que quedan obligados a someterse a la comprobación de los niveles de emisión sonora las categorías de vehículos: ciclomotor, motocicleta, cuadriciclo, turismo, vehículo mixto, autobús, camión y tracto-camión, con permiso de circulación domiciliado en cualquier municipio de la Comunidad Valenciana. Además, la periodicidad de las comprobaciones de emisión sonora será la misma que la fijada para la inspección técnica del vehículo.

El procedimiento de ensayo para determinar el nivel de ruido emitido por los vehículos se basa en la prueba del vehículo parado, de acuerdo con las Directivas Comunitarias 81/334/CEE, 84/372/CEE y 84/424/CEE, adaptadas por el Real Decreto 2028/1986, 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 o 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 o tres ruedas.

La colocación del sonómetro se efectuará de acuerdo con la Figura 1. La posición del micrófono debe cumplir las siguientes condiciones:

- La altura del micrófono sobre el suelo debe ser igual a la del orificio de salida de los gases de escape, pero no debe ser nunca inferior a 0,2 metros.
- La membrana del micrófono debe ser orientada hacia el orificio de salida de los gases y colocada a una distancia de 0,5 metros de éste último.
- El eje de sensibilidad máxima del micrófono debe ser paralelo al suelo y formar un ángulo de $45^\circ \pm 10^\circ$ con el plano vertical en el que se inscribe la dirección de salida de los gases.
- Para los vehículos que tengan un escape con dos o varias salidas espaciadas entre sí menos de 0,3 metros y conectadas al mismo silenciador, se hace una única medida, quedando determinada la posición del micrófono en relación a la salida más próxima a uno de los bordes extremos del vehículo o, en su defecto, en relación a la salida situada más alta sobre el suelo.
- Para los vehículos que tengan una salida del escape vertical (por ejemplo, los vehículos industriales), el micrófono debe ser colocado a la altura de la salida. Su eje debe ser vertical y dirigido hacia arriba. Debe estar situado a una distancia de 0,5 metros del lado del vehículo más próximo a la salida de escape.
- Para los vehículos que tengan un escape de varias salidas espaciadas entre sí más de 0,3 metros, se hace una medición para cada salida, como si fuera la única, y se considera el valor más elevado.

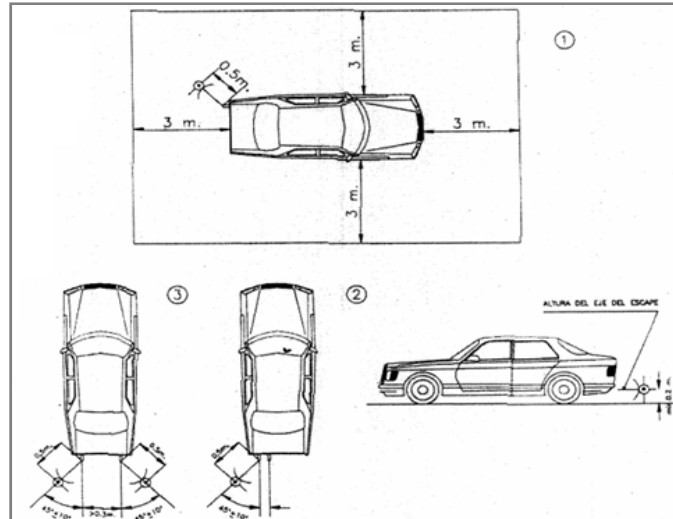


Figura 1. Posiciones para el ensayo de los vehículos parados [5]

El nivel sonoro de fondo en el lugar en el que se practique el ensayo deberá ser inferior en más de 10 dB(A) al valor límite máximo admisible para el tipo de vehículo que se pretende evaluar. A su vez, el sonómetro será de tipo 1, y deberá cumplir con las condiciones establecidas en la Orden del Ministerio de Fomento de 16 de diciembre de 1998, debiendo ser calibrado antes y después de cada medición. El sonómetro estará colocado en respuesta *Fast* y el índice para valorar el nivel de emisión será el $L_{A,max}$.

El régimen del motor se estabilizará a 3/4 de la velocidad de giro en la cual el motor desarrolla su potencia máxima. Una vez alcanzado el régimen estabilizado, se lleva rápidamente el mecanismo de aceleración a la posición de ralentí. El nivel sonoro se mide durante un período de funcionamiento que comprende un breve espacio de tiempo a régimen estabilizado, más toda la duración de la deceleración, considerando como resultado válido de la medida el correspondiente a la indicación máxima del sonómetro. Este procedimiento se repetirá 3 veces. Para determinar el régimen de funcionamiento del motor se deberá emplear un instrumento de medida externo al vehículo.

El valor considerado será el que corresponda al nivel sonoro máximo, $L_{A,max}$, más elevado de las 3 mediciones. En el caso en que este valor supere en el valor límite máximo admisible para la categoría a la que pertenece el vehículo, se procederá a una segunda serie de tres mediciones. Para que el resultado de la prueba tenga sentido favorable cuatro de los seis resultados así obtenidos deberán estar dentro de los límites prescritos, $L_{A,lim,inspección}$, y se asignará como valor sonoro del vehículo el tercero de los seis en orden decreciente.

Al valor determinado según este procedimiento será necesario aplicarle el factor corrector K_2 que tiene en cuenta la influencia, en el nivel de presión acústica, de la superficie de medición y el sonido reflejado o absorbido debido a las características del entorno donde se ha realizado el ensayo. La obtención de este coeficiente se realiza mediante las prescripciones indicadas en la Norma ISO 3744 [6].

4. VARIABLES OBJETO DE ANÁLISIS

Inicialmente se dispuso de una base de datos 8.281.541 de líneas de registro de entre los años 2005 y 2011, de 10 estaciones de la provincia de Alicante, 3 de Castellón y 13 de Valencia, así como 8 estaciones de inspección móviles. Para poder llevar a cabo los objetivos planteados en la investigación, el primer paso fue filtrar esta base de datos, descartar datos anómalos o incompletos, quedando finalmente un total de seis millones de vehículos inspeccionados entre 2006 y 2011.

Esta gran base de datos permitiría vincular los niveles sonoros con un elevado número de variables existente en la ficha de los vehículos (matrícula, combustibles, código de utilización, código de construcción, año de matriculación, kilómetros recorridos, estación en el que se realiza la inspección, etc...). La Tabla 1 muestra la información recogida en cada una de las líneas de datos (cada línea corresponde a una inspección de un vehículo, pudiendo existir varias inspecciones del mismo vehículo para el total de años recogidos).

Tabla1. Datos almacenados en cada una de las inspecciones

Línea de datos	
Número de informe comprobación sonora	Indicativo 1ª/2ª
Año de la inspección	Resultado itv
Código planta	Lectura cuenta km
Matricula	Motivo inspección
Código de construcción	Resultado comprobación sonora (dBA)
Código de utilización	Marca equipo medición ruidos
Marca	Valor máximo referencia (dBA)
Fecha inspección	RPM durante el ensayo
Fecha 1ª matriculación	Hora inspección
Combustible	

Aunque en algunos casos pudiera resultar evidente, se realizó un primer estudio para descartar aquellas variables que no mostraran ningún tipo de relación con el nivel sonoro emitido por la muestra.

Para el análisis, lo primero que conviene hacer con una variable es formarse una idea de sus características. Esto se consigue prestando atención a tres aspectos básicos: tendencia central, dispersión y forma de la distribución. Ahora bien, las medidas de tendencia central y de dispersión, y los índices y gráficos sobre la forma de la distribución, resultan más o menos útiles dependiendo del tipo de variable que se intente caracterizar (variando significativamente si las variables son cualitativas o cuantitativas). La Figura 2 muestra la distribución (frecuencia) de los resultados en función del código de construcción del vehículo objeto de la inspección.

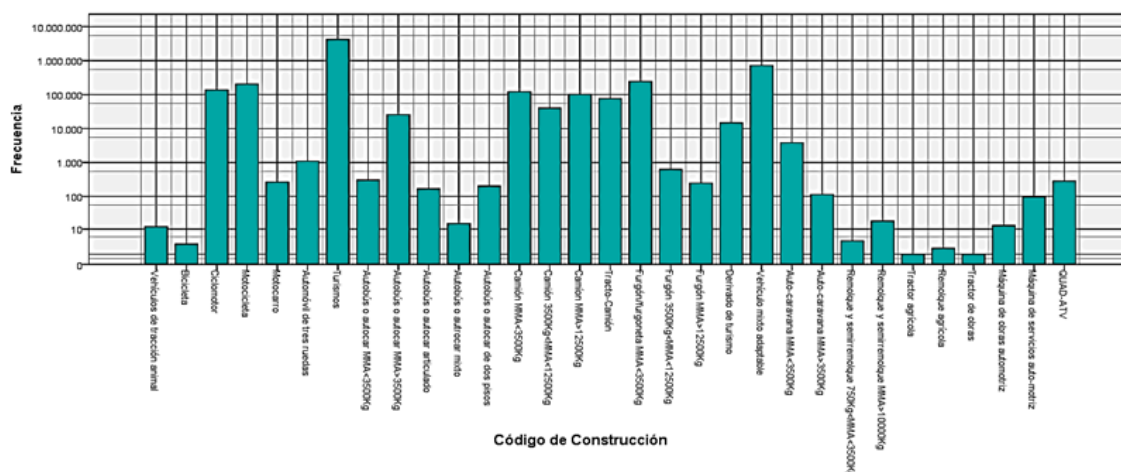


Figura 2. Distribución de los datos analizados según código de construcción

En este trabajo se ha estudiado las relaciones que existen entre el *ruido medido* y otras variables tales como: *código de construcción*, *código de utilización*, *edad de los vehículos*, *combustible*, *kilometraje* y *RPM a las que se ha realizado la medición*.

En primer lugar es necesario realizar un estudio de cada variable en particular, para conocer la tendencia y relevancia de cada una de ellas respecto al resultado de la comprobación sonora. De esta forma se descartaron las variables:

- Número de informe comprobación sonora
- Año de la inspección
- Código planta
- Código de utilización
- Marca
- Indicativo 1ª/2ª
- Motivo inspección
- Marca equipo medición ruidos
- Hora inspección

A modo de ejemplo, la Figura 3 muestra las gráficas obtenidas tras el análisis de la variable *Hora de inspección*, en la que se aprecia que la tendencia de la hora de inspección muestra mayor número de datos en la franja horaria de 11:30 a 13:00, con una reducción significativa de los mismos entre las 14:00 y las 16:00. A su vez, la Figura 3 b, muestra cómo los valores sonoros no se ven influenciados por la hora de la medición, siendo la tendencia de la media de los resultados constante.

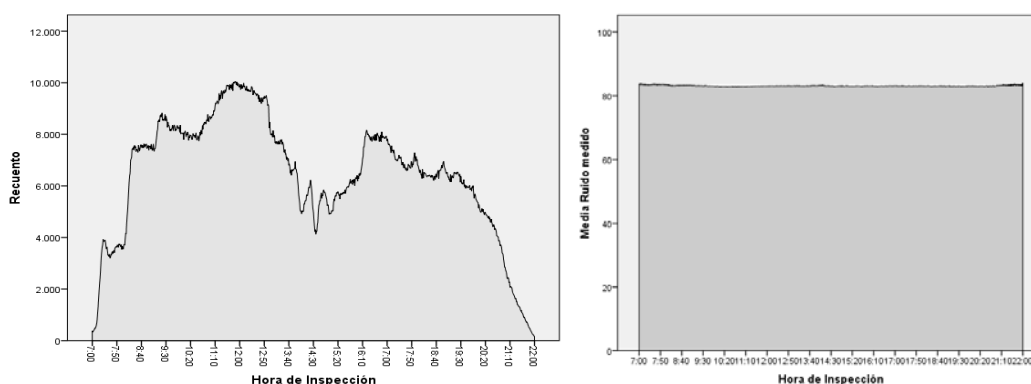


Figura 3. a) Frecuencia de resultados por hora de inspección
b) Media de ruido medido para las diferentes horas de inspección

Como resultado del análisis de comportamiento de las variables, su caracterización y la relación de las mismas con los niveles sonoros medidos, *Resultado comprobación sonora (dBA)*, se focalizó el interés de la investigación en estudiar la tendencia sonora de los vehículos ensayados en función de su antigüedad (computada como fecha de matriculación menos fecha de inspección), los kilómetros recorridos y el código de construcción (tipología de vehículo).

5. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados extraídos del estudio de correlación de las variables seleccionadas:

5.1. Antigüedad de los vehículos & Resultado comprobación sonora

A través del análisis estadístico se quiere comprobar si existe relación entre los niveles sonoros obtenidos de la inspección del vehículo y los años de funcionamiento del mismo. Para ello se realizan dos tipos de análisis:

1. Estudio de correlación, entendido como el factor que indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra. Para las variables cuantitativas recogidas en este documento se ha empleado el coeficiente de correlación de Pearson.
2. Modelos de regresión simple y múltiple para relacionar las variables de ruido con la antigüedad de los vehículos ensayados.

Ambos estudios estadísticos se realizaron para todos los tipos de vehículos (diferenciando por código de construcción y tipo de combustible, p. ej., Turismo-Diesel o Ciclomotor-Gasolina). Las conclusiones obtenidas muestran la existencia de una fuerte correlación entre la antigüedad del parque ensayado y los niveles sonoros, obteniendo coeficientes de correlación superiores a 0,15 para todas las tipologías de vehículos y sus respectivas relaciones de regresión.

Los resultados de este análisis plantean la cuestión de si los niveles sonoros aumentan con los años debido al deterioro sonoro significativo del vehículo con el paso de los años o a la mejora tecnológica del sector en materia de emisión sonora, NVH[7]. Esta cuestión será estudiada en posteriores análisis y se evaluará el incremento sonoro de un mismo elemento inspeccionado en diferentes anualidades.

5.2. Kilómetros recorridos & Resultado comprobación sonora

De forma contraria a como se podría esperar, el estudio de correlación y recta de regresión de las variables kilómetros recorridos y el resultado de la comprobación sonora, no muestran que existe relación ni proporcionalidad entre las variables. Para todos los tipos de vehículos, los valores obtenidos del coeficiente de correlación de Pearson son próximos a cero, por lo que se puede determinar que no existe correlación entre estas variables para la muestra de datos disponible.

5.3. Clasificación vehículos en función de sus niveles de inspección

Por último se estudió la posibilidad de agrupar las diferentes tipologías de vehículos y combustible (extraídas de las variables código de construcción y combustible) en función de sus niveles de inspección. Para ello se empleó la "ANOVA de un factor" para establecer la agrupación de los vehículos en base a su semejanza acústica, ver Figura 4. Como resultado se pasó de 29 tipologías de vehículos a una primera clasificación con 12 subgrupos.

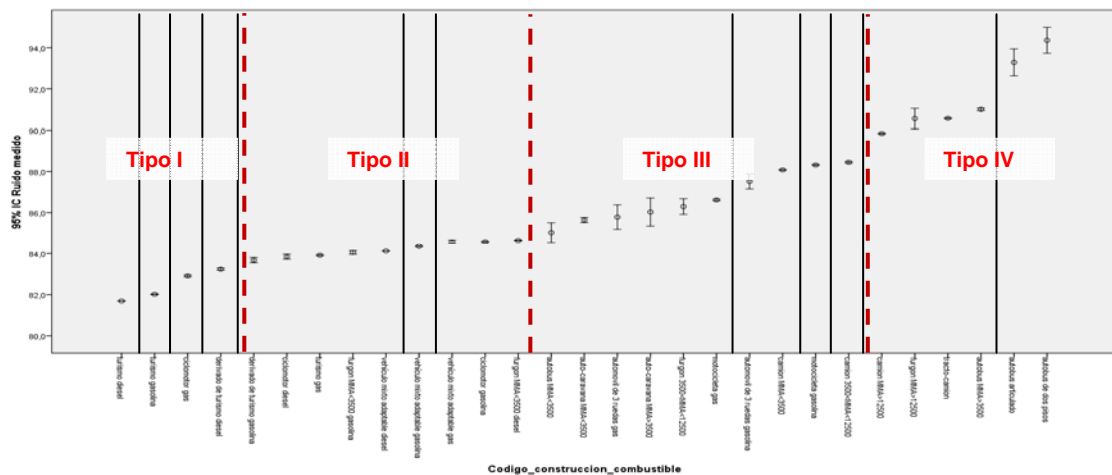


Figura 4. Intervalo de confianza del 95% de "Ruido medido" para cada tipo de vehículo

Pensando en futuras aplicaciones de una nueva clasificación sonora de vehículos, se empleó la media de los niveles sonoros por tipología de vehículos para conseguir una clasificación con un número reducido de grupos y así poder emplearla en la modelización de ruido de tráfico. De esta manera, teniendo en cuenta el diagrama de intervalos de confianza del 95% de las categorías de vehículos respecto al ruido que emiten, se propone una agrupación respetando unos límites sonoros, ver Figuras 4 y 5:

Tipo I: Vehículos silenciosos, disponen de una media de ruido inferior a 84 dB.

Tipo II: Vehículos poco ruidosos, tienen una media que se encuentra entre 84 y 86 dB.

Tipo III: Vehículos ruidosos, se encuentran entre 86 y 90 dB.

Tipo IV: Vehículos muy ruidosos, con una media mayor de 90 dB.

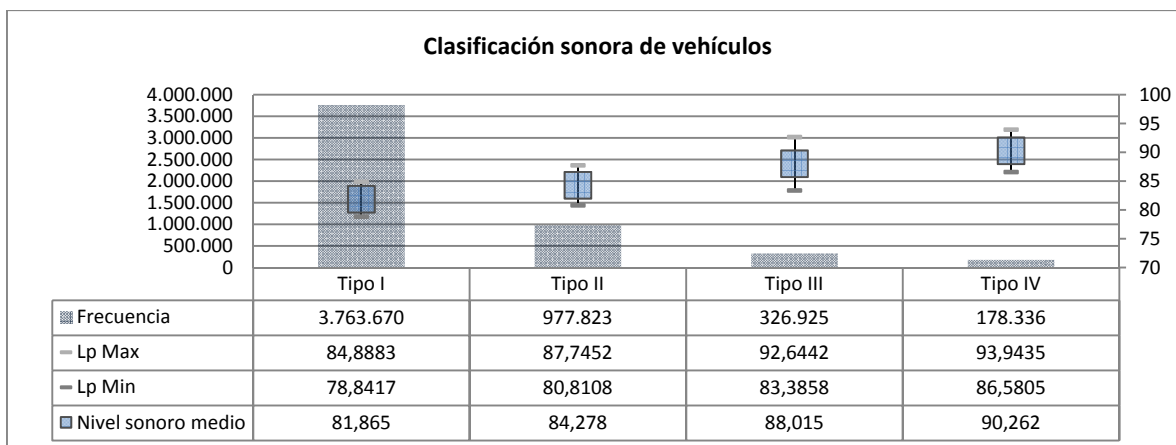


Figura 5. Distribución de los valores dispuestos según la clasificación propuesta

CONCLUSIONES

Como resultado del presente estudio se puede establecer que:

- Los resultados obtenidos de la inspección periódica de vehículos reflejan la realidad sonora del parque automovilístico valenciano, por lo que podrán ser empleada como muestra significativa para el análisis de los vehículos que circulan por esta región y emplear esta información para la mejora de los mapas sonoros de los municipios pertenecientes a la misma.
- Según los datos analizados, no existe correlación entre los niveles sonoros medidos en un vehículo y los kilómetros recorridos por el mismo en el momento de la inspección.
- De la misma forma, se concluye que existe una clara correlación entre los niveles sonoros medidos en un vehículo y la antigüedad del mismo, habiéndose obtenido los modelos de regresión de estas variables para las diferentes categorías de vehículos.
- Analizando los niveles sonoros, el código de construcción del vehículo (tipología del mismo) y el combustible, es posible establecer una agrupación de tipos de vehículos en función de sus características sonoras.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación ha sido llevada a cabo gracias al convenio de colaboración entre la Asociación de Entidades Concesionarias de la Comunidad Valenciana para la Inspección Técnica de Vehículos (AECOVA), la Universidad Miguel Hernández de Elche y la Universidad Politécnica de Valencia.

REFERENCIAS

- [1] Nelson, P. *Transportation Noise Reference Book*. Ed. Butterworths-Heinemann, 1987.
- [2] Luque, P.; Álvarez, D.; Vera, C. *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico*. Ed. Thomson, Madrid, 2004.
- [3] Sandberg, U.; Ejsmont, J.A. *Tyre/road noise reference book*. Informex, Kisa, Suecia, 2002.
- [4] Rodríguez Moreno, J.A. *Propuesta de ensayo para homologar el ruido emitido por un vehículo automóvil*. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, Diciembre 2010.
- [5] *Decreto 19/2004 del Consell Valencià, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor*.
- [6] Campillo, N.; Peral, R.; Velasco, E.; Campello, H.; Miravete, H.; *Análisis de diferentes metodologías de cálculo del factor de corrección de entorno acústico en boxes ITV*, CIBIM9, Las Palmas de Gran Canaria, Noviembre, 2009.
- [7] Gobbi, M.; Haque, I.; Papalambros, P.; Mastinu G.; *A Critical Review of Optimization Methods for Road Vehicles Design*. 11th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference. September 2006.