



Estudio del nivel de ruido emitido por los vehículos del parque automovilístico valenciano y su relación con la calidad acústica de nuestras ciudades

Autor: Emilio Velasco Sánchez

Institución: Universidad Miguel Hernández de Elche

Otros autores: Asociación de Entidades Concesionarias de la Comunidad Valenciana para la ITV; Universidad Politécnica de Valencia

Resumen

Este estudio se ha realizado por las Universidades Miguel Hernández de Elche y la Politécnica de Valencia promovido por AECOVA (Asociación de Empresas Concesionarias de ITV de la Comunidad Valenciana).

El estudio realizado se base en el análisis estadístico de más de 5 millones de datos de inspección de ruido emitido en ITV durante cinco años en toda la Comunidad Valenciana. Actualmente, el Decreto 19/2004, por el que se regula la prueba sonora en el ámbito de la Comunidad Valenciana, establece que el límite máximo, umbral de rechazo, será el resultado de sumar 4dB(A) al nivel de emisión sonora fijado en la ficha de homologación del vehículo. La prueba se realiza con el vehículo parado y con el micrófono en las proximidades del escape. Esta prueba está regulada por la normativa de homologación de vehículos.

Una vez recopilados los datos necesarios para la realización del estudio, se ha realizado análisis estadístico profundo distinguiendo por categorías de vehículos. Unas de las conclusiones más relevantes es que el nº de kilómetros realizados no es significativo en el aumento de la emisión sonora, pero si la antigüedad. Por otro lado se observa que el actual umbral de + 4 dB (A) sobre el valor de referencia puede ser excesivo, dado que el nivel de rechazo se sitúa en un 1,3 %, proponiendo que se reduzca a +3 dB ó + 2 dB.

Otra de las conclusiones que se obtienen del análisis estadístico es la clasificación de los vehículos en cuatro categorías: vehículos silenciosos (media inferior a 84 dB), vehículos poco ruidosos (media entre 84 y 86 dB), vehículos ruidosos (media entre 86 y 90 dB) y vehículos muy ruidosos (media mayor a 90 dB). Esta clasificación es más realista, en cuanto a emisión sonora, que la clasificación por tipo de vehículo y puede suponer un nuevo enfoque para la realización de mapas de ruido en las ciudades.

La segunda parte del estudio supone la vinculación de los datos obtenidos con los mapas de ruido de las ciudades, intentando relacionar el parque automovilístico real con la situación sonora de la ciudad por la que circulan habitualmente dichos vehículos. Un caso real, localizado en un barrio de Elche permite concluir que la ausencia de la prueba sonora de vehículos, y por tanto que se permita circular a vehículos que resultarían rechazados, podría provocar un aumento de entre el 6,2% y el 4,3% de la población afectada por valores sonoro por encima del umbral establecido por la legislación actual.

En definitiva, el estudio concluye que el control sonoro de los vehículos y su correcto mantenimiento repercute de forma significativa sobre el número de personas afectadas por la contaminación acústica en nuestras ciudades, determinando la importancia de la prueba sonora en las estaciones de ITV, necesaria para dicho control.

Palabras clave: Ruido; vehículos; ITV.

Introducción.

La vigente Directiva Europea 2002/49/CE [1] establece la obligatoriedad para los municipios de cuantificar los niveles de ruido existentes sus calles, siendo los mapas de ruido los documentos mediante los cuales se reflejan estos de datos de forma administrativa. Estos mapas evalúan las diferentes fuentes de ruido repercusión en las ciudades o existentes en el entorno estudiado, siendo la principal fuente el tráfico rodado.

Pensando en esta fuente de ruido, podría suponerse que el mantenimiento del vehículo puede ser una de las medidas correctoras a partir de la cual controlar los niveles de emisión sonora del tráfico, por ello en este trabajo se ha estudiado esta variable como un punto sobre el que actuar desde el punto de vista administrativo para reducir la contaminación acústica. La inspección técnica de los vehículos (inspección en ITV) es la mejor herramienta de la que se dispone actualmente para controlar el nivel de emisión sonora de los vehículos y en la Comunidad Valenciana se cuenta con amplia experiencia en la inspección de los mismos.

Otro objetivo de este trabajo es estudiar el efecto sobre los mapas de ruido de las ciudades del control sonorode vehículos en ITV. Se pretende relacionar como afecta a una ciudad el parque de vehículos que circula en ella caracterizado por los datos obtenidos en las Inspecciones Técnicas de Vehículos.

Para realizar el estudio nos hemos basado en los resultados de inspección sonora de la comunidad Valenciana de los años 2007 a 2011. La base de datos generada nos aporta información del tipo de vehículo, la edad, kilómetros recorridos y nivel sonoro medido en la inspección, entre otros muchos datos.

Análisis estadístico.

En la primera parte del estudio se ha realizado un análisis de la base de datos recopilada que nos ha permitido establecer conclusiones relevantes.

En la tabla 1 podemos apreciar el volumen de datos manejado por categoría de vehículo.

Tabla 1. Categorías de vehículos diferenciando combustible.

Código de construcción	Combustible	Categoría de vehículo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Ciclomotor	Gasolina	Ciclomotor gasolina	92.253	1,8
	Diesel	Ciclomotor diésel	3.302	0,1
	Gas	Ciclomotor gas	26.292	0,5
Motocicleta	Gasolina	Motocicleta gasolina	137.013	2,6
	Gas	Motocicleta gas	46.559	0,9
Automóvil de tres ruedas	Gasolina	Automóvil de tres ruedas gasolina	688	0,0
	Gas	Automóvil de tres ruedas gas	223	0,0
Turismos	Gasolina	Turismos gasolina	1.861.822	35,3
	Diesel	Turismos diésel	1.865.152	35,4
	Gas	Turismos gas	52.039	1,0
Autobús MMA<3500Kg	Diesel	Autobús MMA<3500Kg	290	0,0
Autobús MMA>3500Kg	Diesel	Autobús MMA>3500Kg	23.157	0,4
Autobús articulado	Diesel	Autobús articulado	157	0,0
Autobús de dos pisos	Diesel	Autobús de dos pisos	202	0,0
Camión MMA<3500Kg	Diesel	Camión MMA<3500Kg	107.043	2,0
Camión 3500Kg<MMA<12500Kg	Diesel	Camión 3500Kg<MMA<12500Kg	36.310	0,7
Camión MMA>12500Kg	Diesel	Camión MMA>12500Kg	89.616	1,7
Tracto-Camión	Diesel	Tracto-Camión	65.563	1,2
Furgón MMA<3500Kg	Gasolina	Furgón MMA<3500Kg gasolina	6.151	0,1
	Diesel	Furgón MMA<3500Kg diésel	209.749	4,0
Furgón 3500Kg<MMA<12500Kg	Diesel	Furgón 3500Kg<MMA<12500Kg	600	0,0
Furgón MMA>12500Kg	Diesel	Furgón MMA>12500Kg	242	0,0
Derivado de turismo	Gasolina	Derivado de turismo gasolina	2.852	0,1
	Diesel	Derivado de turismo diésel	10.404	0,2
Vehículos mixto adaptable	Gasolina	Vehículo mixto adaptable gasolina	59.051	1,1
	Diesel	Vehículo mixto adaptable diésel	564.731	10,7
	Gas	Vehículo mixto adaptable gas	6.093	0,1
Auto-caravana MMA<3500Kg	Diesel	Auto-caravana MMA<3500Kg	3.309	0,1

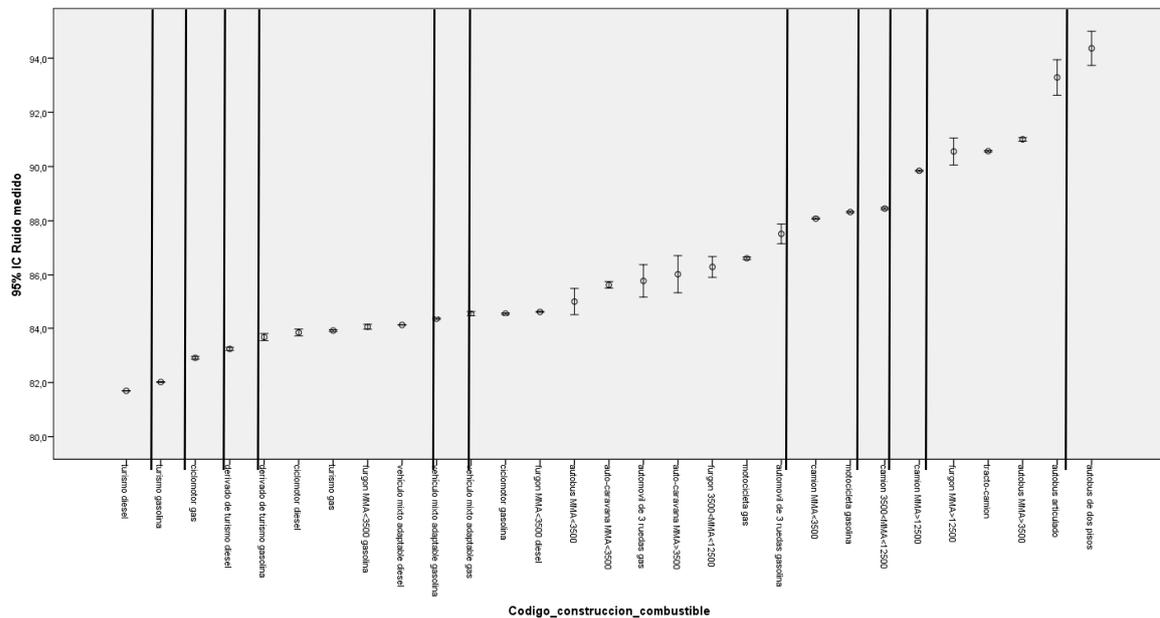
Auto-caravana MMA>3500Kg	Diesel	Auto-caravana MMA>3500Kg	90	0,0
Total			5.270.953	100

Agrupación de categorías.

Con esta clasificación se ha procedido a realizar la prueba "ANOVA de un factor" con el programa SPSS 20. La finalidad de esta prueba es conocer qué muestras pertenecen a la misma población por semejanza acústica. En este tipo de estudios es posible seleccionar más de una variable dependiente, para lo que el software genera un análisis de varianza completo para cada variable dependiente seleccionada.

La variable dependiente en el presente estudio es "**Ruido Medido**" y como variable independiente se considera cada categoría de vehículos teniendo en cuenta los combustibles ("**Categoría de vehículo**").

Como resultado del análisis estadístico, ver Gráfica 1, se consigue establecer una primera distribución de categorías de vehículos en relación a su semejanza acústica.



Gráfica 1. Intervalo de confianza del 95% de "Ruido medido" para cada tipo de vehículo

En la tabla 2 se puede ver la agrupación de los vehículos según el código de construcción y el combustible, y el volumen de datos que se tienen en cada caso. Es importante destacar la poca significancia de alguno de estos datos, aspecto por el cual se procederá a reestructurar esta clasificación.

Tabla 2. Agrupación de los vehículos según semejanza acústica

Agrupación semejanza ruido	Código de construcción combustible	Frecuencia	Porcentaje (%)
Grupo 1	Turismos diesel	1.865.152	35,4
Grupo 2	Turismos gasolina	1.861.822	35,3
Grupo 3	Ciclomotor gas	26.292	0,5
Grupo 4	Derivado de turismo diesel	10.404	0,2
Grupo 5	Derivado de turismo gasolina	629.075	11,9
	Ciclomotor diesel		
	Turismo gas		
	Furgón MMA<3500Kg gasolina		
	Vehículo mixto adaptable diesel		
Grupo 6	Vehículo mixto adaptable gasolina	59.051	1,1
Grupo 7	Vehículo mixto adaptable gas	359.166	6,8
	Ciclomotor gasolina		
	Furgón MMA<3500Kg diesel		
	Autobús MMA<3500Kg		
	Auto-caravana MMA<3500Kg		
	Automóvil de tres ruedas gas		
	Auto-caravana MMA>3500Kg		
	Furgón 3500Kg<MMA<12500Kg		
Motocicleta gas			
Grupo 8	Automóvil de tres ruedas gasolina	107.731	2
	Camión MMA<3500Kg		
Grupo 9	Motocicleta gasolina	137.013	2,6
Grupo 10	Camión 3500Kg<MMA<12500Kg	36.310	0,7
Grupo 11	Camión MMA>12500Kg	178.578	3,4
	Furgón MMA>12500Kg		
	Tracto-Camión		
	Autobús MMA>3500Kg		
Grupo 12	Autobús articulado	359	0,0
	Autobús de dos pisos		
Total		5.270.953	100

La agrupación de los vehículos aparece por orden ascendente respecto al ruido medido, por lo tanto los vehículos más silenciosos son los turismos diésel y los vehículos más sonoros son los autobuses de dos pisos.

Dado el elevado número de grupos y la poca significancia de algunos de ellos obtenida en la primera agrupación, se procedía a desprestigiar las categorías de vehículos que tienen menos de 10.000 datos, es decir se van a considerar solamente las categorías de

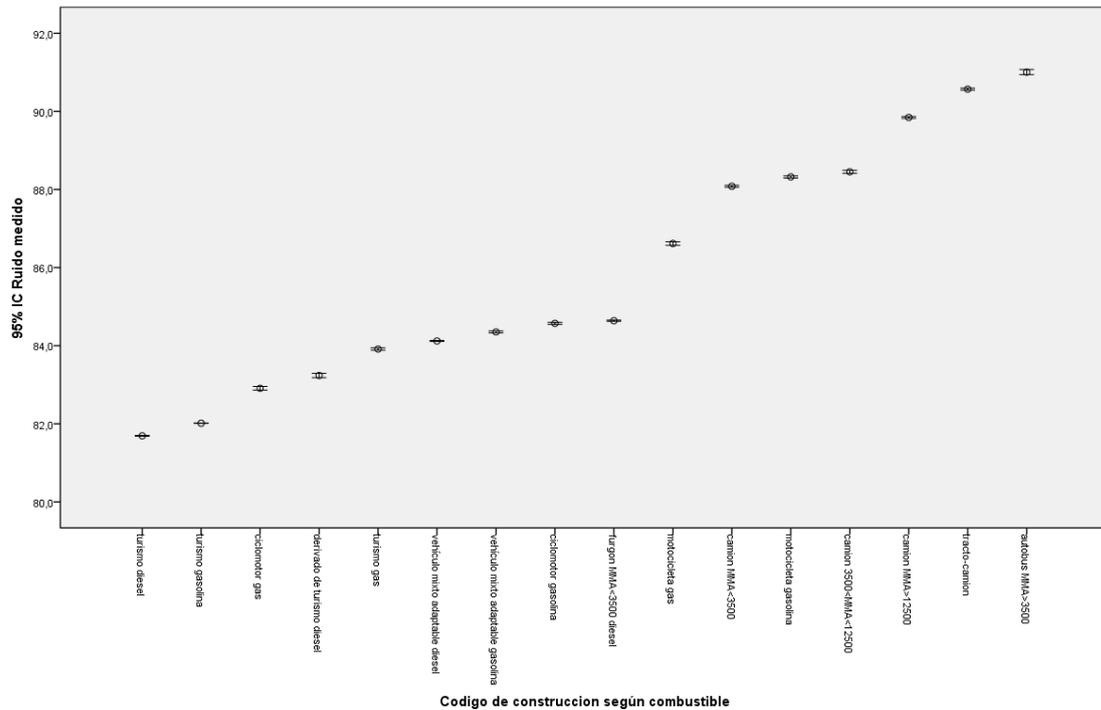
vehículos que al menos correspondan a más de 0,2% de los datos totales porque no van a ser datos relevantes para el informe. Los resultados pueden ser visualizados en la tabla 3.

Tabla 3. Categoría de vehículo con más de 10.000 datos

Código de construcción	Combustible	Categoría de vehículo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Ciclomotor	Gasolina	Ciclomotor gasolina	92.253	1,8
	Gas	Ciclomotor gas	26.292	0,5
Motocicleta	Gasolina	Motocicleta gasolina	137.013	2,6
	Gas	Motocicleta gas	46.559	0,9
Turismos	Gasolina	Turismos gasolina	1.861.822	35,5
	Diesel	Turismos diesel	1.865.152	35,5
	Gas	Turismos gas	52.039	1,0
Autobús MMA>3500Kg	Diesel	Autobús MMA>3500Kg	23.157	0,4
Camión MMA<3500Kg	Diesel	Camión MMA<3500Kg	107.043	2,0
Camión 3500Kg<MMA<12500Kg	Diesel	Camión 3500Kg<MMA<12500Kg	36.310	0,7
Camión MMA>12500Kg	Diesel	Camión MMA>12500Kg	89.616	1,7
Tracto-Camión	Diesel	Tracto-Camión	65.563	1,2
Furgón MMA<3500Kg	Diesel	Furgón MMA<3500Kg diesel	209.749	4,0
Derivado de turismo	Diesel	Derivado de turismo diesel	10.404	0,2
Vehículos mixto adaptable	Gasolina	Vehículo mixto adaptable gasolina	59.051	1,1
	Diesel	Vehículo mixto adaptable diesel	564.731	10,8
Total			5.246.754	100

Realizando un análisis ANOVA similar podemos volver a crear una nueva agrupación.

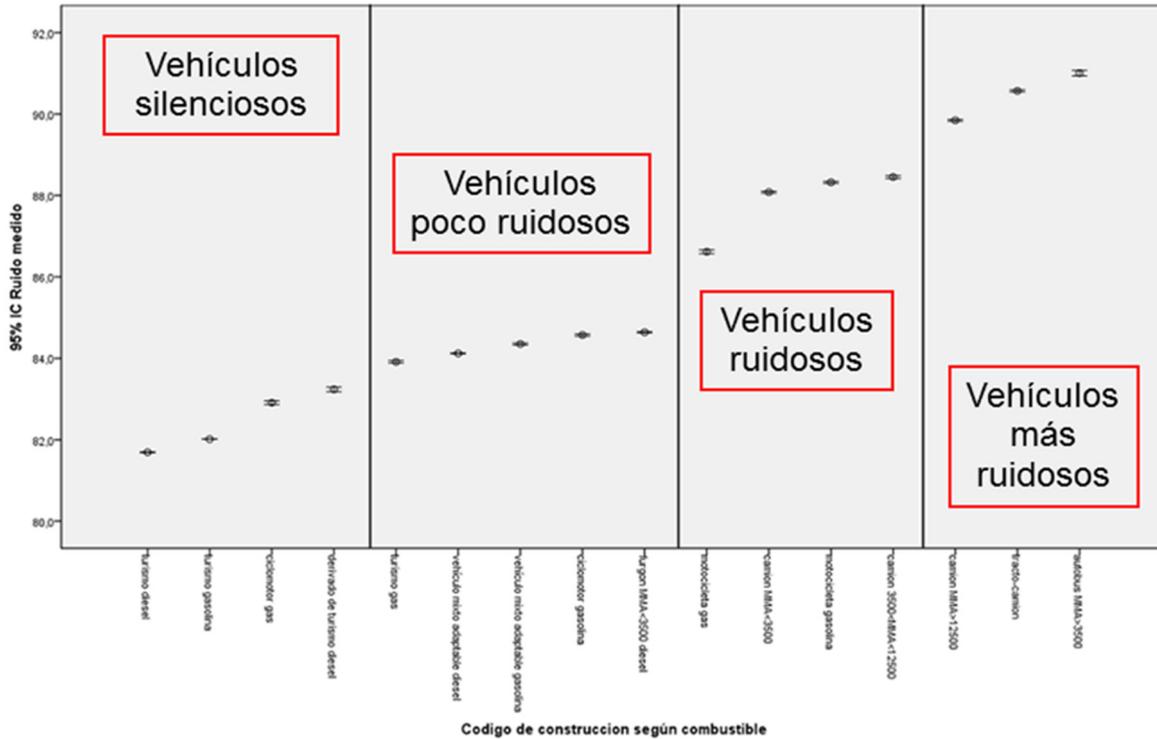
Los resultados concluyen que no se puede crear una agrupación utilizando la semejanza de las medias de los datos en base a la emisión sonora (16 categorías independientes según ANOVA).



Gráfica 2. Intervalo de confianza del 95% de "Ruido medido" para cada tipo de vehículo

Teniendo en cuenta las conclusiones de la segunda agrupación y teniendo la necesidad de disponer de una agrupación válida para los modelos de predicción de ruido de tráfico (mapas acústicos municipales, Directiva 49/2002/CE), se procedió a establecer una nueva sub-agrupación, en la que se observarían los intervalos de confianza del 95% de todas las categorías y de forma cualitativa se propondrán cuatro grupos de vehículos respetando unos niveles sonoros mínimos y máximos, ver gráfica 3.

Se ha considerado que los **vehículos silenciosos** tienen una media de ruido inferior a 84 dB, los **vehículos poco ruidosos** tienen una media que se encuentra entre 84 y 86 dB, para los **vehículos ruidosos** se encuentra entre 86 y 90 dB y para los **vehículos más ruidosos** la media tiene más de 90 dB.



Gráfica 3. Intervalo de confianza del 95% de "Ruido medido" para cada tipo de vehículo separado por categorías

Tabla 4. Agrupación de vehículos en base a la media del Ruido medido

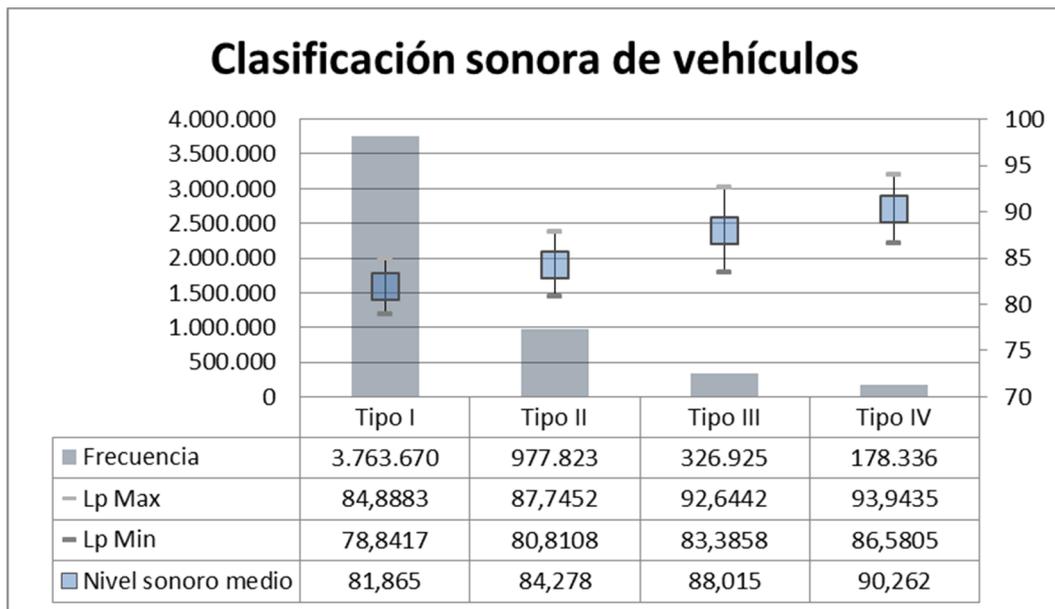
Agrupación semejanza ruido	Código de construcción combustible	Frecuencia	Porcentaje (%)	Frecuencia solo 2011	Porcentaje (%) solo 2011
Grupo I	Turismos diesel	3.763.670	71,7	851.909	72,2
	Turismos gasolina				
	Ciclomotor gas				
	Derivado de turismo diésel				
Grupo II	Turismo gas	977.823	18,6	205.161	17,4
	Vehículo mixto adaptable diesel				
	Vehículo mixto adaptable gasolina				
	Ciclomotor gasolina				
	Furgón MMA < 3500Kg diésel				
Grupo III	Motocicleta gas	326.925	6,2	88.740	7,5
	Camión MMA < 3500Kg				
	Motocicleta gasolina				
	Camión 3500Kg < MMA < 12500Kg				

Grupo IV	Camión MMA>12500Kg	178.336	3,4	33.973	2,9
	Tracto-Camión				
	Autobús MMA>3500Kg				
Total		5.246.754	100	1.179.783	100

Esta nueva agrupación de vehículos basada en los niveles obtenidos en la inspección técnica de vehículos (basada en una muestra de los mismos de 6 millones de datos) podría aplicarse en cualquier método de predicción de ruido. Esta agrupación será empleada para la siguiente fase del trabajo de investigación.

Tabla 5. Datos descriptivos para las Categorías de vehículos

	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Media del Ruido medido (dB)	81,865	84,278	88,015	90,262
Frecuencia	3.763.670	977.823	326.925	178.336
Desviación típica	3,0233	3,4672	4,6292	3,6815



Gráfica 4. Clasificación sonora de vehículos con datos estadísticos

En la Gráfica 4 se puede ver tanto las frecuencias como los diagramas de cajas de cada grupo de vehículos. En el eje de ordenadas izquierdo aparecen las frecuencias con respecto a las barras mostradas en la gráfica, por otro lado, en el eje de ordenadas derecho se pueden ver los niveles sonoros en decibelios referidos a las cajas mostradas para cada grupo.



Figura 3. Muestra de vehículos pertenecientes a cada una de las categorías establecidas

Correlaciones.

La correlación 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: si se tienen dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

Para establecer si los niveles sonoros obtenidos para las diferentes categorías de vehículos (de las 16 establecidas en la agrupación II) presenta un comportamiento normal, se ha analizado la tendencia de las muestras para los diferentes años de inspección y estaciones, así como correlaciones bivariadas y correlaciones parciales entre el ruido emitido por cada agrupación y **la antigüedad del parque y los kilómetros recorridos.**

La siguiente tabla muestra las conclusiones de los diferentes estudios:

Tabla 6. Tabla resumen de los resultados obtenidos del estudio estadístico de las categorías

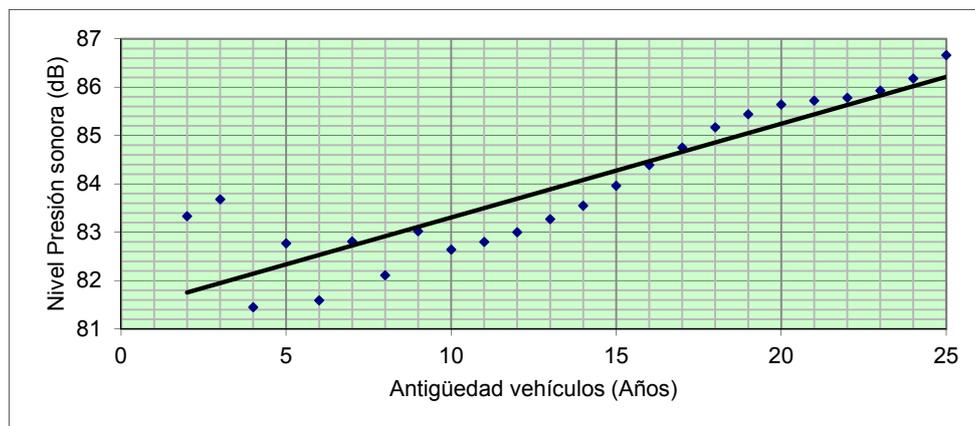
Categoría de vehículo	Frecuencia	Año_Inspección	Estación	Antigüedad	Kilometraje
Ciclomotor gasolina	92.253	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Ciclomotor gas	26.292	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Motocicleta gasolina	137.013	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Motocicleta gas	46.559	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Turismos gasolina	1.861.822	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Turismos diesel	1.865.152	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Turismos gas	52.039	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Autobús MMA>3500Kg	23.157	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Camión MMA<3500Kg	107.043	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Camión 3500Kg<MMA<12500Kg	36.310	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Camión MMA>12500Kg	89.616	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Tracto-Camión	65.563	No hay correlación	Diferente tendencia	NO	NO
Furgón MMA<3500Kg diesel	209.749	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Derivado de turismo diesel	10.404	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Vehículo mixto adaptable gasolina	59.051	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO
Vehículo mixto adaptable diesel	564.731	No hay correlación	Diferente tendencia	SI	NO

De los análisis presentados en las secciones anteriores, y observando las correlaciones para cada tipo de vehículo se llega a la conclusión de que la emisión de ruido de los vehículos sí tiene una relación con la antigüedad de estos, pero no con los kilómetros que haya recorrido. Los vehículos antiguos son más sonoros que los vehículos modernos, las posibles causas de este aumento de niveles puede ser debida a:

- La mejora tecnológica que ha experimentado el sector automovilístico a lo largo de los años.
- El deterioro sonoro de los vehículos debido a su funcionamiento y mal mantenimiento.

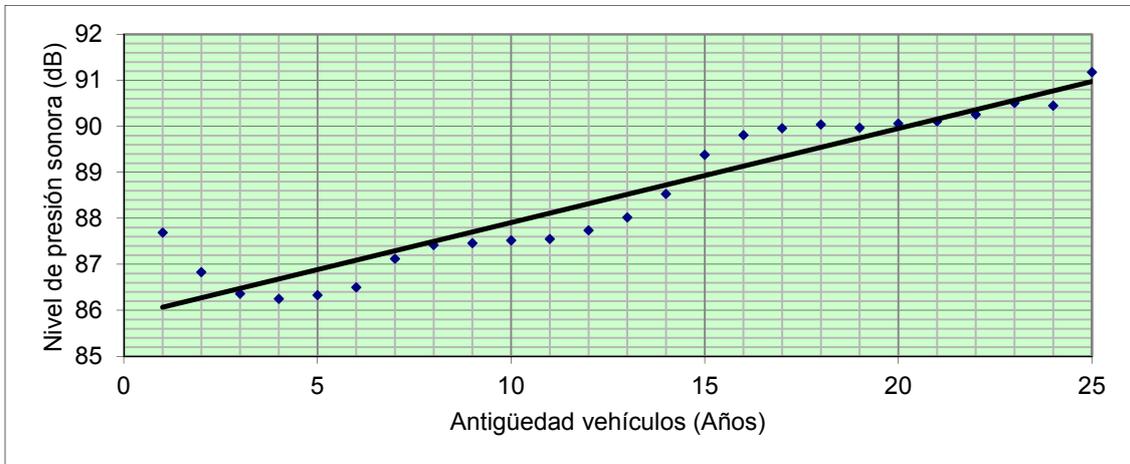
EMISIÓN SONORA DE LOS VEHÍCULOS vs ANTIGÜEDAD

En este apartado se analizó la evolución del nivel sonoro de los vehículos con la edad, fijándonos en la fecha de primera matriculación y la fecha de inspección. Este estudio se ha realizado tanto para el conjunto del parque automovilístico y para cada uno de los códigos seleccionados. Estos fueron los resultados obtenidos:



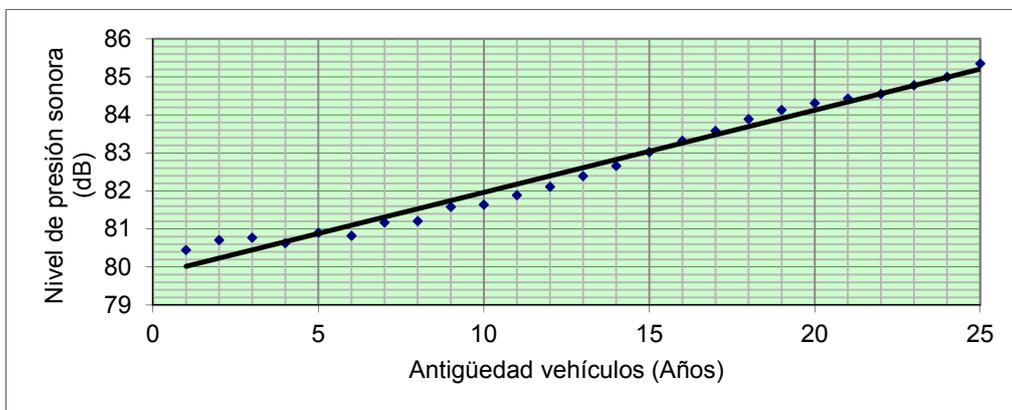
Gráfica 6. Media de niveles sonoros & antigüedad para el total de vehículos inspeccionados

La tendencia de la evolución del nivel sonoro medido en un ajuste lineal viene dado por la ecuación: $L_{p,max} = 81.3 + 0.19T$, donde se observa que el incremento del nivel sonoro con la antigüedad del parque automovilístico es de 0,19 dB/año, con un coeficiente de correlación: 0,89. Viéndose claramente como incrementan los niveles sonoros con la edad del parque de vehículos. Analizado por categorías se aprecia que la tendencia es muy similar al conjunto de vehículos:



Gráfica 7. Media de niveles sonoros & antigüedad para motocicletas

Para el caso de motocicletas, la tendencia de la evolución del nivel sonoro medido en un ajuste lineal viene dado por la ecuación: $L_{p,max} = 85.8 + 0.20T$, donde se observa que el incremento del nivel sonoro con la antigüedad de las motos es de 0,20 dB/año, con un coeficiente de correlación: 0,94.



Gráfica 8. Media para turismos

Para el caso de turismos, la tendencia de la evolución del nivel sonoro medido en un ajuste lineal viene dado por la ecuación: $L_{p,max} = 79.8 + 0.22T$, donde se observa que el incremento del nivel sonoro con la antigüedad de las motos es de 0,22 dB/año, con un coeficiente de correlación: 0,98.

A continuación se expone en la siguiente tabla los resultados obtenidos en los análisis de las diferentes categorías de vehículos:

Tabla 7. Tendencia de los niveles sonoros medios frente a la antigüedad, para diferentes categorías de vehículos

	Todos	Motos	Coches	Autobuses	Camiones	Mixtos
Tendencia	81,3+0,19T	85,8+0,20T	79,8+0,22T	89,1+0,18T	86,6 +0,13T	81,7 +0,21T
Correlación	0,89	0,94	0,98	0,90	0,95	0,97

Nivel de rechazo.

Los vehículos que emiten un nivel de ruido superior a su **valor máximo de referencia** ($L_{max,ref}$) se consideran rechazados en la prueba sonora. Este valor corresponde al nivel límite de la ficha de homologación + 4 dB(A). Además de tener la variable llamada "Resultado de la comprobación sonora", también se puede obtener este valor realizando la diferencia entre el "Valor máximo de referencia" y el "Ruido medido". Por lo tanto, se puede calcular con la base de datos generada el nivel de rechazo que se ha tenido entre los años 2007 y 2011. El valor máximo de referencia de un vehículo se obtiene sumando 4 dB(A) al nivel de emisión sonora fijado en la ficha de homologación del vehículo para el ensayo estático (L_{ficha}). El vehículo resulta rechazado (desfavorable) si supera dicho valor ($L_{max,ref}$)

A continuación se estudian los índices de rechazo actuales y la variación del umbral de rechazo (cuando se suman menos de 4 dB(A) al nivel de emisión sonora fijado en la ficha de homologación). Este análisis va a ser ejecutado para las diferentes categorías de vehículos y para el conjunto total del parque automovilístico valenciano.

En la Tabla 12 se muestran todos los porcentajes válidos de los índices de rechazo para cada caso.

Tabla 8. Índice de rechazo para cada tipo de vehículo

Categoría de vehículo	$L_{max,ref}$ $L_{ficha} + 4$ dB(A)	$L_{ficha} + 3$ dB(A)	$L_{ficha} + 2$ dB(A)	$L_{ficha} + 1$ dB(A)	Valor sonoro ficha técnica L_{ficha}	$< L_{ficha}$
Ciclomotor gasolina	2,4%	16,6%	27,0%	36,6%	46,3%	100%
Ciclomotor gas	2%	14,5%	24,8%	34,5%	43,8%	100%
Motocicleta gasolina	2,4%	13,5%	22,9%	33,6%	47,0%	100%
Motocicleta gas	1,7%	6,1%	11,1%	18%	27%	100%
Turismos gasolina	1,1%	8,4%	16,9%	28,4%	42,5%	100%
Turismos diesel	1,2%	11,2%	22,1%	35,3%	49,6%	100%

Turismos gas	1,4%	3,5%	5,9%	9,1%	13,3%	100%
Autobús MMA>3500Kg	0,6%	6%	11,1%	17,7%	28,4%	100%
Camión MMA<3500Kg	1,4%	12,6%	21,9%	33,3%	45,9%	100%
Camión 3500Kg<MMA<1250 0Kg	1,8%	13,0%	22,2%	31,9%	43,6%	100%
Camión MMA>12500Kg	1,4%	11,9%	20,4%	30,6%	43,4%	100%
Tracto-Camión	1,7%	15,4%	26,5%	38,4%	52,4%	100%
Furgón MMA<3500Kg diesel	1,3%	10,8%	20,1%	31,9%	45,2%	100%
Derivado de turismo diesel	0,7%	7,3%	15,9%	27,6%	41,5%	100%
Vehículo mixto adaptable gasolina	0,8%	7,4%	14,9%	25,8%	40,2%	100%
Vehículo mixto adaptable diesel	1,2%	9,6%	18,6%	30,4%	44,4%	100%

Total	1,3%	10%	19,3%	31,2%	44,9%	100%
--------------	-------------	------------	--------------	--------------	--------------	-------------

Actualmente el nivel de rechazo medio, para todas las categorías agrupadas, es de 1,3%. Si el umbral de rechazo fuese directamente el valor de la ficha de homologación ($L_{ficha} + 0$ dBA) el índice de rechazo sería aproximadamente del 45% de elementos rechazados. La tabla 12 establece una estimación del cambio en el porcentaje de vehículos rechazados que se produciría variando los umbrales de rechazo en las estaciones de inspección sonora de la Comunidad Valenciana.

Conclusiones del análisis estadístico.

En primer lugar se ha analizado la posible agrupación de las diferentes tipologías de vehículos en función del comportamiento sonoro de los mismos. En una primera aproximación se ha establecido una agrupación de las diferentes tipologías de vehículos, con un total de 12 grupos. No obstante, en esta agrupación no todos los vehículos que componen un determinado grupo tienen semejanza acústica realmente, por lo que se pasó a analizar una nueva agrupación.

Considerando las categorías de vehículos mayoritarias (con más de 10.000 muestras en los 5 años de inspección) se llegó a la conclusión de que todas las categorías eran independientes en términos de emisión sonora. Al no poder agrupar los vehículos en base a su semejanza acústica, finalmente se ha optado por una agrupación de 16 categorías, con la cual se ha realizado en análisis de correlaciones entre emisión y antigüedad y emisión y kilometraje.

Dentro del análisis de agrupaciones, finalmente y para futuros trabajos se han propuesto cuatro grupos aplicables a la modelización de los mapas acústicos: vehículos silenciosos (media inferior a 84 dB), vehículos poco ruidosos (media entre 84 y 86 dB), vehículos ruidosos (media entre 86 y 90 dB) y vehículos más ruidosos (media mayor a 90 dB).

Una vez obtenidas las correlaciones para cada categoría se concluye que la emisión de ruido de los vehículos tiene una relación con su antigüedad, pero no con su kilometraje.

Analizando con más detalle la tendencia de los niveles sonoros medidos con la antigüedad del vehículo, el ajuste obtenido para cada tipología de vehículo establece que se produce un aumento de entre **0,13 y 0,5 dB por año de antigüedad del vehículo**. El inadecuado mantenimiento junto con el desgaste mecánico y la mejora tecnológica en el sector automovilístico podrían ser las causas de este aumento sonoro. Este hecho, claramente esperable, determina que la reducción de la contaminación acústica es cada vez menor cuanto más moderno es el vehículo. La renovación del parque de vehículos favorece, por lo tanto, la disminución de la contaminación acústica. De igual forma, la inspección sonora realizada en las estaciones ITV's garantiza que los niveles sonoros de los vehículos aptos en la inspección se mantenga por debajo de valor máximo de referencia según establece el Decreto 19/2004.

Por último, como resultado del análisis sobre el umbral de rechazo se observa que el porcentaje de rechazo pasaría de un 1,3% a aproximadamente un 45% si se fijará el mínimo posible. La tabla 8 establece una estimación del cambio en el porcentaje de vehículos rechazados que se produciría variando los umbrales de rechazo en las estaciones de inspección sonora de la Comunidad Valenciana. Hay que destacar que una reducción del umbral de rechazo de + 4 dBA a + 3 dBA produciría un aumento del índice de rechazo de 1,3 % a 10 %, valor que resulta similar a otros puntos de inspección en ITV.

Relación con los mapas de ruido.

En esta fase del trabajo se ha evaluado la repercusión de contemplar el estado del mantenimiento del parque automovilístico de la Comunidad Valenciana en función de los registros acústicos obtenidos durante las pruebas de inspección sonora desarrolladas en las estaciones de Inspección Técnica de Vehículos (ITV) aplicando estos resultados al modelo de predicción sonora NMPB-ROUTES.

Durante el desarrollo de este trabajo, se han estudiado los niveles de ruido registrados en ITV e implementado modificaciones en los ámbitos de emisión del Modelo de Predicción NMPB-ROUTES. Como resultado se muestra la afectación acústica de la población sobre un sector del mapa acústico de Elche.

La vigente Directiva Europea 2002/49/CE [1] establece la obligatoriedad para los municipios de cuantificar los niveles de ruido existentes sus calles, siendo los mapas de ruido los documentos mediante los cuales se reflejan estos datos de forma administrativa. Estos mapas evalúan las diferentes fuentes de ruido existentes en el entorno estudiado, siendo fuente de ruido de mayor repercusión en las ciudades el tráfico rodado.

Pensando en esta fuente de ruido, podría suponerse que el mantenimiento del vehículo puede ser una de las medidas correctoras a partir de la cual controlar los niveles de emisión sonora del tráfico, por ello en este trabajo se ha estudiado esta variable como un punto sobre el que actuar desde el punto de vista administrativo para reducir la contaminación acústica.

El objetivo del presente trabajo es estudiar el efecto sobre los mapas de ruido llevar a cabo inspecciones sonoras en las Inspecciones Técnicas de Vehículos (en adelante ITV's), tal y como se desarrollan en la Comunidad Valenciana.

Metodología.

Con el objetivo de aplicar los datos registrados durante las inspecciones de ruido a los mapas de ruido, se ha utilizado la clasificación sonora de vehículos en función de los niveles de emisión evaluados en las estaciones de inspección técnica de vehículos (ITV) de la Comunidad Valenciana durante el periodo comprendido entre 2007 y 2011. Esta agrupación de vehículos se desglosa en 4 categorías en función de los niveles sonoros emitidos:

- GI, vehículos silenciosos, LP,med<84 dBA
- GII, vehículos poco ruidosos, 84 <LP,med< 86 dBA
- GIII, vehículos ruidosos, 86 <LP,med< 90 dBA
- GIV, vehículos más ruidosos, LP,med > 90 dBA

Atendiendo a la configuración del modelo de predicción de ruido de tráfico empleado en territorio español, NMPB-ROUTES 2008 [3], es necesaria la obtención de los niveles medios de potencia sonora emitidos por las diferentes categorías de vehículos. Esta variable, permitirá particularizar los modelos de predicción en función de los valores de inspección obtenidos en las Estaciones de Inspección Técnica de Vehículos.

Para realizar este cambio de magnitud, ha sido necesario extrapolar un algoritmo matemático capaz de estimar la relación entre la presión sonora obtenida a 0,5 metros de distancia del escape y la potencia sonora total de la fuente de ruido. Esta modelización se ha llevado a cabo mediante la comparación y correlación de ensayos experimentales siguiendo la metodología nombrada en el Decreto 19/2004, y ensayos para la obtención de los niveles de potencia sonora de una fuente expuestas en la norma ISO 3744 [4], empleando en ambos casos las mismas condiciones de funcionamiento del vehículo.

Para este estudio se realizaron mediciones acústicas sobre una muestra de 13 vehículos ligeros de diferentes cilindradas, antigüedad y estado de mantenimiento. Mediante los resultados obtenidos en estas mediciones experimentales, se estableció la siguiente aproximación entre los niveles de presión sonora registrados en las ITV's y nivel de potencia que emite el vehículo como frente de ruido.

$$L_{P_{ITV}} = 1,035 \cdot L_{W_{motor}} - 16,115 \text{ (dBA)} \quad (1)$$

ISO-3744

Este algoritmo permitió relacionar los datos resultantes de la inspección sonora de vehículos en ITV's con los ábacos empleados para la cuantificación de los niveles de emisión en mapas de ruido, obteniendo así datos para la confección de mapas sonoros en función del parque automovilístico.

Unavez estudiado en profundidad el modelo NMPB ROUTES2008 y conociendo sus condiciones de funcionamiento, se puede asumir que los niveles de potencia de un vehículo simulado según este modelo y bajo condiciones de aceleración del motor a una velocidad de 10 Km/h, es equivalente al nivel emitido en las condiciones de ensayos desarrolladas en las inspecciones técnicas de vehículos, es decir:

$$\frac{L_{w \text{ motor}}}{ISO-3744} \approx L_{w \text{ motor}} \left(V = 10 \frac{Km}{h} \text{ ENACELERACIÓN } \right) \quad (2)$$

Modelo Frances

Según lo mostrado en las ecuaciones anteriores, el valor resultante de la ecuación (1), sería el nivel de presión sonora de un vehículo ensayado en estático conforme al procedimiento ITV y similar a un vehículo ligero según los ábacos del Modelo Francés. Partiendo de este valor inicial de presión sonora y considerando las condiciones de funcionamiento del vehículo, se cuantificarán los niveles generados por un vehículo a partir la siguiente expresión:

$$\frac{L_{w \text{ motor}}}{Pass-by}(a, V) = L_{P \text{ ITV}} + A_t(a, V) \text{ (dBA)} \quad (3)$$

Siendo:

$A_t(a, V)$: Corrección experimental. Representa la relación entre el nivel de potencia sonora del vehículo según el procedimiento de ensayo Pass-by y el nivel de presión sonora conforme al ensayo de las estaciones ITV en función de las condiciones de circulación.

$L_{w \text{ motor}}(a, V)$: Nivel de potencia acústica del vehículo determinado a partir del ensayo Pass-by.

$L_{P \text{ ITV}}$: Nivel de presión sonora determinado a partir del ensayo con el vehículo parado (procedimiento de las ITV).

a : Régimen de funcionamiento (aceleración, desaceleración, estabilizado).

V : Velocidad de circulación del vehículo (Km/h).

Puesto que para la elaboración de los mapas de ruido se utilizan los valores de funcionamiento del vehículo en condiciones de velocidad estabilizada, se ha limitado el estudio del parámetro $A_t(a, V)$ a dichas condiciones de circulación.

A partir de los datos extraídos de la ecuación anterior, la atenuación genera una función logarítmica de la velocidad, del mismo modo que el Método Francés establece la regresión del nivel de potencia para cada velocidad, obteniéndose esta corrección experimental para cada velocidad de vehículo.

COMPONENTE MOTOR DE UN VEHÍCULO LIGERO CON VELOCIDAD ESTABILIZADA			
V(Km/h)	De 20 a 30	De 30 a 110	D 110 a 130
$L'_{w\text{motor Pass-by}}$	$L_p \text{ ITV} + 10,92$	$L_p \text{ ITV} + 16,62 + 12 \cdot \log(V/90)$	$L_p \text{ ITV} + 14,92 + 31,3 \cdot \log(V/90)$

Tabla 9. Niveles de potencia sonora calculados a partir del nivel de presión del ensayo estático

De este modo, el nivel de potencia de la componente motor de un vehículo ligero, vendría dado como la suma del nivel de presión sonora conforme al ensayo ITV y una corrección experimental.

Una vez obtenida una metodología mediante la cual poder cuantificar las variaciones del modelo de predicción frente a las mediciones en las estaciones ITV's, se ha procedido a evaluar las variaciones de los niveles sonoros generados por un vehículo tipo del Modelo Francés, respecto a los vehículos de los Grupos I y II.

Debido a que los niveles de presión sonora registrados en las estaciones de inspección técnica se registran con un régimen de giro del motor diferente al vehículo tipo del Modelo Francés, se ha llevado a cabo un ajuste en los niveles sonoros de los grupos I y II, como se muestra en la siguiente tabla:

	Grupo I	Grupo II
Ruido medido a 3.000 rpm (dBA)	83,31	87,16
Δ dBA de 2.000 rpm a 3.000 rpm	5,45	6,24
Ruido medio ajustado a 2.000 rpm (dBA)	77,86	80,93

Tabla 10. Ajuste del nivel de ruido medio a 2.000 rpm para las categorías de vehículos ligeros según los datos de inspección sonora en ITV's medidos a 3.000 rpm

Asumiendo estos datos, las modificaciones a realizar sobre el modelo de predicción para que éste contemple los datos obtenidos en las estaciones ITV deben implementarse dentro de los ámbitos del Modelo Francés, diferenciando las agrupaciones de vehículos y asumiendo los niveles generados por el propio Modelo Francés. La diferencia de niveles de potencia existente entre el vehículo tipo del Modelo Francés y los grupos 1 y 2, serían:

Δ dB,GI	2,54 dBA
Δ dB,GII	5,60 dBA

Tabla 11. Incremento en los niveles de potencia por metro de vía entre los vehículos ligeros de las agrupaciones de AECOVA

Estos incrementos se han introducido en el algoritmo propio del Modelo Francés de predicción NMPB-ROUTES, obteniendo como resultado un Modelo Adaptado a los datos de las Estaciones de Inspección Técnica de Vehículos (MA-ITV).

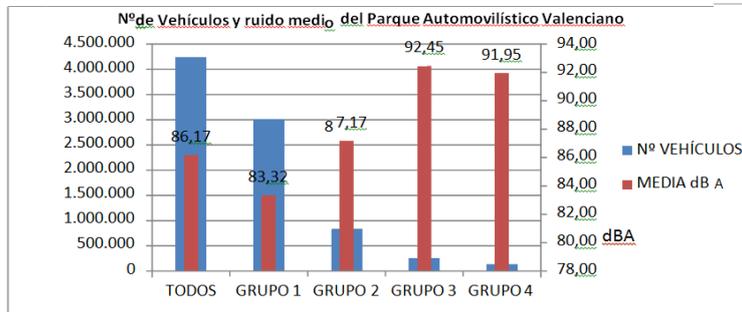
En cuanto a la determinación del nivel de potencia asignado a los vehículos pesados que engloban de las agrupaciones III y IV de los datos obtenidos de las inspecciones, no se ha realizado ningún ajuste al Modelo Francés, introduciendo el caudal de éstos, como vehículos pesado (> 3.500 kg) en el modelo de predicción.

Uno de los aspectos fundamentales del presente trabajo es la ventaja de poder analizar los datos acústicos reales del parque automovilístico de la Comunidad Valenciana en los últimos años. Gracias a los mismos, se han confeccionado mapas de ruido basados en los niveles de emisión medios del parque automovilístico real obtenido de la inspección en las estaciones ITV's. Empleando el modelo MA-ITV, así como los datos de inspección en las ITV's valencianas, se han realizado los siguientes análisis:

- En primer lugar se ha estudiado la modificación en la emisión de ruido medio en el conjunto del parque automovilístico valenciano, gracias a la realización de la prueba de evaluación sonora en las inspecciones de las Estaciones de ITV.
- Posteriormente se ha analizado la evolución de la emisión del ruido medio del parque automovilístico suponiendo la modificación en los umbrales aplicados actualmente en las pruebas de inspección.
- Finalmente se ha evaluado la variación que la modificación de los umbrales de rechazo de las pruebas de inspección genere en los mapas acústicos de las ciudades, y la evaluación de la afección del ruido del tráfico rodado para el ciudadano.

Como punto de partida para la exposición de los trabajos realizados, en primer lugar se ha procedido con evaluación del ruido medio de emisión que produciría el parque automovilístico de la Comunidad Valenciana si no se realizara la prueba de evaluación de ruido. Para ello se tomaron todos los datos de ruido medidos en las estaciones ITV, incluyendo tanto aquellos vehículos que superan la prueba, como aquellos que no la superan y son rechazados ("NO APTOS" para la circulación).

La siguiente grafica muestra los resultados de ruido medio del total del parque automovilístico valenciano, junto con los resultados del ruido medio de cada uno de los grupos en los que se ha dividido el mencionado parque.

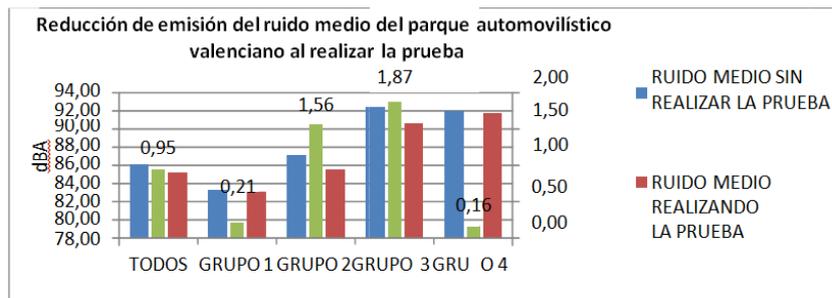


Se puede apreciar cómo, a pesar de que los niveles de ruido de los grupos 3 y 4 son superiores, su contribución a la media del ruido del parque automovilístico no será elevada, debido al reducido número de variables frente al grupo 1 y grupo 2. El ruido medio del parque automovilístico valenciano bajo este supuesto sería de 86,17 dBA.

A continuación, se evalúa el grado de repercusión producido en los niveles sonoros del parque automovilístico valenciano al realizarse la prueba de inspección y rechazar aquellos vehículos excesivamente ruidosos.

Los resultados de esta prueba consisten en contrastar los resultados de las mediciones con la ficha de homologación del vehículo, admitiendo como prueba favorable aquella que registre un nivel de presión sonora que se encuentre dentro del rango de emisión del vehículo más 4 dBA por encima.

En la siguiente gráfica se muestra la reducción de emisión del ruido medio del parque automovilístico valenciano que se obtiene gracias a la realización de la prueba, ya que permite que los vehículos excesivamente ruidosos, con respecto a su ficha de homologación, hayan sido descartados de la circulación.

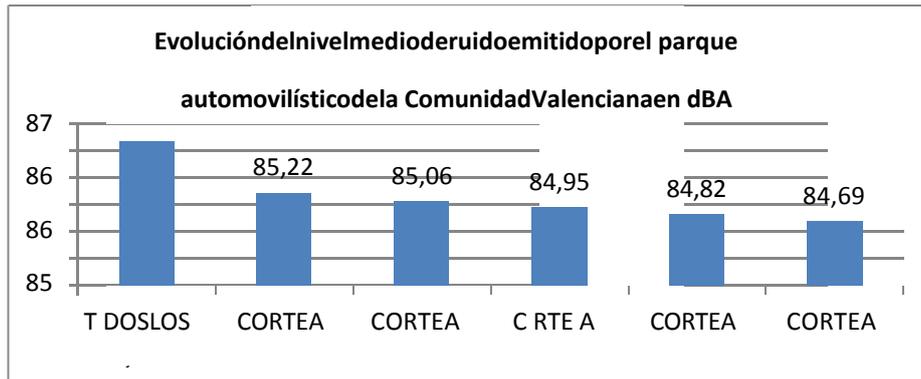


De los resultados anteriores se puede comprobar cómo gracias a la realización de la prueba de evaluación sonora de los vehículos, la emisión media de ruido del parque automovilístico valenciano se reduce en 0,95 dBA.

Tal y como se ha comentado anteriormente en este trabajo se ha estudiado la evolución del ruido generado por el parque automovilístico en el caso de modificar los umbrales de rechazo en las estaciones ITV's.

Para ello, en primer lugar se han eliminado aquellos vehículos que no superarían la prueba si se les permitiera encontrarse en +3dBA por encima de su ficha de homologación, obteniendo posteriormente el nivel medio de ruido de los vehículos que sí

lo superan. El proceso se ha repetido, limitando la prueba de evaluación a niveles de ruido superiores a +2dBA, +1dBA y+0dBA por encima de la ficha de homologación del vehículo. Las siguientes figuras muestran la evolución del nivel de ruido medio, tanto del conjunto del parque automovilístico, como para cada grupo en los que se ha dividido este parque (GI-GIV).



Con todos los datos presentados a lo largo del presente trabajo, así como con las conclusiones obtenidas y sus resultados, se han aplicado estos a los mapas de ruido sobre un sector de la ciudad de Elche. La zona elegida ha sido evaluada a partir del mapa de ruido original, modificando los parámetros de entrada empleando para este fin el modelo propuesto MA-ITV, pudiendo evaluar cómo afectaría una alteración en el proceso de inspección, sobre el entorno sonoro modelizado.

Según lo establecido por la Directiva 2002/49/EC en su anexo IV, es necesario estimar el número de ciudadanos expuestos al ruido en rangos de 5dB(A) a partir de la recepción enfocada de las edificaciones representada en los mapas de ruido.

Para llevar a cabo la evaluación de la exposición de los ciudadanos se ha empleado el método de cálculo alemán VBEB. Este método, evalúa la exposición al ruido de las viviendas mediante la asignación de puntos de recepción en sus fachadas. Independientemente de las posiciones de los receptores asignados por la malla de cálculo, el método fija un receptor adicional en la fachada de cada edificación a 4 metros de altura. Para el desarrollo de las simulaciones se han considerado diferentes casos, así como condiciones de saturación del tráfico.

Para la ejecución de estas simulaciones, las variaciones sobre cada una de las situaciones ejecutadas radica en aplicar las modificaciones correspondientes sobre el modelo fuente del modelo NMPB-ROUTES, aplicando en cada caso los valores correspondientes a Δ dB G1 y Δ dB G2.

Al evaluar los resultados obtenidos en los diferentes casos, se observa diferencias significativas en la distribución de población, al fijar la atención únicamente en aquella población que se encuentra fuera de los límites legislativos marcados por el Real Decreto 1367/2007, (>65dBA), se obtiene los siguientes porcentajes de población afectada.

CASO	MODELO FRANCES	MA- ITV+0	MA- ITV+4	MA-ITV sin rechazo
%DEPOBLACIÓN AFECTADA POR NIVELES >65 dBA	29,46	31,12	31,41	35,76

Tabla 12. Porcentaje de población que supera los límites establecidos por la legislación

Tal y como muestra la tabla anterior y para este caso concreto, el llevar a cabo las pruebas sonoras en las estaciones ITV no genera una diferencia significativa si se altera el umbral de rechazo en la inspección (0.29% de población afectada de diferencia) y por otro lado, el valor obtenido gracias a la inspección proporciona niveles próximos al Modelo Francés normalizado. Así mismo, en el caso de no llevar a cabo estas mediciones en las estaciones ITV la población afectada por niveles excesivos aumentarían entre un 6,2% y 4.34%, lo que en un total de población como el existente en Elche, 240.000 habitantes, supondría más de 15.000 nuevos afectados dentro del municipio por niveles superiores a 65 dBA. Estos resultados justifican la necesidad de llevar a cabo estas mediciones en las estaciones ITV.

Conclusiones

Como resultado final del presente trabajo se han alcanzado las siguientes conclusiones:

- Se ha establecido una relación directa entre los niveles de presión de un vehículo parado (Lp ITV) con los niveles de potencia sonora proyectados durante su circulación (Lw motor).
- Empleando de base el Modelo Francés Normalizado, NMPB-ROUTES 2008, se ha desarrollado un modelo de predicción de ruido de tráfico adaptado a los valores de inspección técnica de vehículos, modelo MA ITV, gracias al cual se puede representar en los mapas sonoros la realidad acústica municipal, basada en un valor de referencia real obtenido en las estaciones ITV.
- Analizando los valores obtenidos de la inspección de vehículos en la comunidad valenciana de 2007 a 2011, se determina que la inclusión de los vehículos rechazados en la inspección (y que por lo tanto están fuera de circulación) en el volumen de vehículos del parque automovilístico valenciano incrementaría en 0,95 dBA los niveles de emisión de los mismos.
- Por último, y tras analizar sobre un caso real el efecto provocado por la inspección sobre la población, se puede concluir que la ausencia de la prueba de inspección sonora de vehículos en las ITV's provocaría un aumento de entre el 6,2% y 4.34% de la población afectada por valores sonoros por encima del umbral establecido por la legislación actual, para suelo urbano residencial, en horario diurno.

Por todo ello se puede concluir que el control sonoro de los vehículos y su correcto mantenimiento repercute, de forma significativa, sobre el número de personas afectadas por la contaminación acústica en nuestras ciudades.

Referencias

[1] DIRECTIVE 2002/49/CE of the European Parliament and Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise.

[2] DECRETO 19/2004 de la Generalitat Valenciana, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor. DOGV 4694.

[3] ROAD NOISE PREDICTION 1 - Calculating sound emissions from road traffic Sétra. Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements june 2009

[4] ISO 3744, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using soundpressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane, International Organization for Standardization 1994.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto no se habría podido llevar a cabo sin la financiación de AECOVA y la ayuda obtenida en la recopilación de datos. Este proyecto es una muestra del interés de las empresas del sector en mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.