



**Análisis del ruido generado durante la recogida de
los residuos domésticos en diversos municipios de la
provincia de Barcelona**

Autor: Àngel Moreno Duran

Institución: Diputación de Barcelona

Otros autores: David Casabona Fina (Diputación de Barcelona)

Resumen

En los últimos años, con la aprobación de la Ley 37/2003 del ruido, de ámbito estatal, así como de diversas leyes autonómicas (en el caso de Catalunya, la Ley 16/2002, de protección contra la contaminación acústica), se ha consolidado el marco normativo que regula el ruido generado por los diversos emisores acústicos presentes en el territorio. Este hecho, junto con una creciente sensibilidad por parte de la ciudadanía respecto a la mejora de la calidad de vida en nuestras ciudades y, en particular, respecto a los niveles de ruido, ha propiciado un incremento de las quejas presentadas por los ciudadanos ante la administración, en relación con las molestias generadas por el ruido. Así, en un número creciente de municipios de la provincia de Barcelona, se ha producido un notable incremento de las quejas relacionadas con el ruido que generan los servicios municipales de recogida de residuos domésticos.

En este sentido, a petición de los municipios que integran la Red de Ciudades y Pueblos hacia la Sostenibilidad, donde la Diputación de Barcelona actúa como secretaria técnica de esta asociación, se ha realizado un estudio en el año 2013 con el objetivo de caracterizar el ruido generado durante el proceso de recogida de los residuos municipales en un total de 6 municipios de la provincia de Barcelona que presentan características urbanas similares (ciudades compactas, con edificios de hasta cinco plantas y aceras anchas). El estudio, que incluye el análisis de tres sistemas de recogida diferentes (sistemas de carga posterior, carga lateral y carga bilateral) en condiciones reales de funcionamiento, tiene en cuenta también diferentes tecnologías de motor de los camiones de recogida (gasoil y gas natural). La recogida de datos, que fue encargada a TecnoCampus Mataró-Maresme, comprende un total de 160 mediciones de campo.

En esta comunicación se pretende hacer un análisis de los datos obtenidos, con el objetivo de caracterizar el ruido generado en la recogida de residuos domésticos, analizar cuáles son los niveles de ruido obtenidos en cada uno de los sistemas de recogida estudiados, así como la influencia de las diferentes tecnologías del motor y, finalmente, valorar el grado de cumplimiento de la normativa aplicable en materia de contaminación acústica.

Palabras clave: ruido; contaminación acústica; residuos,

1. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los ayuntamientos de todos los municipios que han colaborado en la realización de este estudio: El Prat de Llobregat, Igualada, Mollet del Vallès, Sant Cugat del Vallès, Terrassa y Vilassar de Mar, así como al coordinador y a los miembros del grupo de trabajo de prevención de la contaminación acústica de la Red de Ciudades y Pueblos hacia la Sostenibilidad (Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat).

2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, con la aprobación de la Ley 37/2003 del ruido, de ámbito estatal, así como de diversas leyes autonómicas (en el caso de Catalunya, la Ley 16/2002, de protección contra la contaminación acústica), se ha consolidado el marco normativo que regula el ruido generado por los diversos emisores acústicos presentes en el territorio. Este hecho, junto con una creciente sensibilidad por parte de la ciudadanía respecto a la mejora de la calidad de vida en nuestras ciudades y, en particular, respecto a los niveles de ruido, ha propiciado un incremento de las quejas presentadas por los ciudadanos ante la administración, en relación con la molestias generadas por el ruido.

Así, a pesar de que la principal fuente de ruido en los entornos urbanos es el tráfico, no es esta fuente emisora la que se percibe como más molesta, sino que la mayoría de quejas se concentran en fuentes puntuales, como pueden ser el ruido generado en el interior de bares y restaurantes, las actividades de ocio nocturno, los aparatos de aire acondicionado, o los compresores de cámaras frigoríficas. En particular, en un número creciente de municipios de la provincia de Barcelona, se ha producido un notable incremento de las quejas relacionadas con el ruido que generan los servicios municipales de recogida de residuos domésticos fruto, seguramente, del incremento de sensibilización ciudadana al que nos hemos referido anteriormente. Cabe tener en cuenta, además, que la recogida de los residuos domésticos es un servicio mínimo obligatorio establecido en la Ley de bases de régimen local, de manera que es responsabilidad directa de los respectivos ayuntamientos prestar el servicio de la mejor manera posible, incluida la minoración del ruido generado durante el proceso de recogida.

En este sentido, a petición de los municipios que integran la Red de Ciudades y Pueblos hacia la Sostenibilidad, donde la Diputación de Barcelona hace funciones de secretaría técnica de esta asociación, se ha realizado un estudio en el año 2013 con el objetivo de caracterizar el ruido generado durante el proceso de recogida de los residuos municipales en varios municipios de la provincia de Barcelona que presentan características urbanas similares. El estudio, que incluye el análisis de tres sistemas de recogida diferentes (sistemas de carga posterior, carga lateral y carga bilateral) en condiciones reales de funcionamiento, tiene en cuenta también diferentes tecnologías de motor de los camiones de recogida (gasoil y gas natural). La recogida de datos, que

fue encargada por Diputación de Barcelona a la empresa TecnoCampus Mataró-Maresme, comprende un total de 194 mediciones de campo.

Es de destacar que, la definición de los objetivos, el ámbito y la metodología del estudio, se han realizado a través de un proceso de participación y debate con los miembros de grupo de trabajo de Prevención de la Contaminación Acústica de la Red de Ciudades y Pueblos hacia la Sostenibilidad, así como con los municipios que participan en los círculos de comparación intermunicipal de gestión de residuos y limpieza viaria de la Diputación de Barcelona y, finalmente, con la opinión también de varias empresas del sector de los residuos, en el marco de la Fundación Forum Ambiental.

Hay que hacer también mención de que, en relación con el ruido generado por la recogida de residuos, se tiene constancia de algunos trabajos previos. Así, Jiménez, S.; Jiménez, A. y Romeo, J., presentaron al congreso Tecniacústica 2009 el trabajo titulado. “impacto acústico generado por los procesos de recogida selectiva de residuos urbanos”, en el cual se comparó el ruido generado en el proceso de recogida de diferentes fracciones de residuos domésticos (vidrio, papel y cartón, envases, materia orgánica y rechazo), en condiciones reales de funcionamiento del servicio en el municipio de Terrassa, y se tuvieron en cuenta también diferentes sistemas de recogida de las fracciones materia orgánica y vidrio. Las principales conclusiones de este estudio fueron que los niveles de ruido obtenidos durante la recogida de las fracciones papel y cartón rechazo y envases son muy similares, a causa de la similitud del vehículo utilizado y el tipo de contenedores que se utiliza. En contraposición, las fracciones materia orgánica y vidrio son claramente diferentes: en el caso de la materia orgánica debido a que el contenedor es distinto y, en el caso del vidrio, a causa del elevado nivel generado por el impacto del vidrio contra la caja de camión.

Otro estudio, también presentado en Tecniacústica, en 2011, efectuado por Barti, R. y titulado: “El ruido producido por distintos sistemas de recogida de residuos”, donde se ensayó, con contenedores vacíos en un entorno industrial, el ruido generado durante la recogida por diferentes sistemas de recogida (posterior, lateral y bilateral), dio como resultado que la principal fuente de ruido, en todos los casos, era el motor del vehículo en el momento de efectuar la elevación del contenedor y que el sistema menos ruidoso resultó ser el de carga posterior.

3. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

1. Caracterizar el ruido producido por los sistemas más utilizados de recogida de residuos domésticos en la fracción rechazo (sistemas de carga posterior, carga lateral y carga bilateral) en condiciones reales de funcionamiento.
2. Comparar el ruido generado por las diferentes tecnologías de propulsión del motor (gasoil y gas natural).
3. Comparar los niveles de inmisión sonora en la parte delantera y trasera de los vehículos de recogida.
4. Calcular y comparar los índices acústicos aplicables: $L_{K_{eq,T}}$, de acuerdo con el Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del ruido y L_{Ar} , según la normativa autonómica (Decreto 176/2009, mediante el cual se desarrolla la Ley 16/2002, de protección contra la contaminación acústica).

4. METODOLOGÍA

4.1. Sistemas de recogida estudiados

Este trabajo se centra en el estudio del ruido generado durante la recogida de la fracción de residuos domésticos que se efectúa con mayor frecuencia, concretamente, la fracción rechazo, también denominada resto. Hay que aclarar que esta fracción de los residuos incluye aquellos que no se depositan en los contenedores de las fracciones que se recogen de forma selectiva (papel y cartón, vidrio, envases y materia orgánica), sino que se depositan en contenedores específicos para los residuos que no han sido convenientemente seleccionados en los hogares y comprenden, por tanto, una mezcla de las diferentes fracciones. En todos los municipios estudiados, esta fracción se recoge tradicionalmente a diario, en horario nocturno.

En lo que respecta a los sistemas de recogida, en este trabajo se estudian los tres más extendidos:

- a. **Sistema de carga posterior.** Es el sistema utilizado desde hace más tiempo y también el más habitual en municipios pequeños. La recogida se efectúa por medio de contenedores que disponen de ruedas. Dos operarios mueven el contenedor y lo colocan en la parte posterior del camión, desde donde lo recoge el sistema elevador del camión para vaciarlo a continuación en el interior de la caja compactadora del vehículo, a una altura de unos 1,5 m aproximadamente.
- b. **Sistema de carga lateral.** Este sistema de recogida se comenzó a generalizar a finales de la década de los años noventa y, respecto al sistema anterior, presenta la ventaja de que no son necesarios los operarios que trasladan el contenedor, sino que el vehículo se coloca justo al lado de éste y, desde la calzada, es recogido por medio de unos brazos extensibles que incorpora el sistema de elevación de contenedores. El contenedor así recogido se eleva

hasta la parte superior de la caja compactadora del camión. El sistema permite la recogida de contenedores de volumen superior. El inconveniente del sistema es que los contenedores deben estar dispuestos siempre en el mismo lado de la calzada.

- c. Sistema de carga bilateral.** El sistema de carga bilateral también se conoce con el nombre de sistema Easy, que es el nombre de una marca comercial del sistema. Dispone de un mecanismo elevador que, igual que en el caso anterior, permite recoger los contenedores sin ayuda de operarios, y consigue alzar el contenedor hasta una altura considerable, de manera que éste se pueda abrir por su parte inferior y dejar caer el contenido en la parte superior de la caja compactadora del camión, de forma similar a lo que ocurre en el caso de la recogida selectiva mediante contenedores tipo iglú y camión pluma. Es el sistema más reciente y menos extendido de todos los estudiados, y presenta la ventaja de que los contenedores pueden situarse indistintamente a ambos lados de la calzada..

Puesto que el objetivo principal del estudio es comparar el ruido generado por los tres sistemas de recogida descritos, así como la posible influencia también del combustible utilizado en la propulsión del vehículo (gas natural y gasoil) y, en el caso del sistema de carga posterior, también la influencia de la antigüedad del vehículo, se han seleccionado un total de 8 topologías distintas en 6 municipios de la provincia de Barcelona, con las diferentes combinaciones posibles (ver tabla 1). En una de las combinaciones estudiadas, el sistema de elevación y compactación de contenedores se acciona mediante un motor eléctrico.

Tipología	Sistema de carga	Motor	Antigüedad	Observaciones
1	posterior	gas natural	2	
2	posterior	gasoil	7	
3	posterior	gasoil	15	
4	lateral	gas natural	2	
5	lateral	gasoil	6	
6	lateral	gasoil	1	caja eléctrica
7	bilateral	gas natural	3	
8	bilateral	gasoil	5	

Tabla 1. Descripción de las tipologías estudiadas. Antigüedad del vehículo expresada en años.

4.2. Puntos de medición

Puesto que se pretende obtener los valores de ruido en condiciones reales de funcionamiento, las mediciones de ruido se han efectuado en diferentes puntos de recogida de contenedores, dentro de las rutas habituales de recogida en cada uno de los municipios, entre los meses de febrero y julio de 2013. Así, para cada una de las 8 tipologías estudiadas, se ha obtenido el nivel de presión sonora generado en 10 puntos de recogida distintos (repeticiones). Puesto que en algunos de los puntos de recogida había más de un contenedor, el número total de contenedores estudiados ha sido de 97. Como para cada contenedor estudiado se han realizado dos mediciones de ruido simultáneas, una en la parte delantera y otra en la parte trasera del camión, se dispone de un total de 194 mediciones.

Para cada una de las 8 tipologías estudiadas, una vez realizadas las mediciones en los 10 puntos de medición seleccionados, se han calculado los valores medios correspondientes, con el objetivo de poder comparar las diferentes variables estudiadas (sistema de recogida, combustible y posición del micrófono).

Los puntos de medición se han situado en la acera, a una distancia de 2 m de la fachada de los edificios más cercanos, a 10 m de distancia del contenedor y a una altura de 1,5 m del suelo, con un ángulo de 45° respecto al mismo (ver figura 1). Cada una de las mediciones engloba el proceso total de recogida de cada contenedor y incluye la aproximación o llegada del camión, el traslado del contenedor por parte de los operarios (sólo en el caso del sistema de carga posterior), la descarga del contenedor y compactación de los residuos, el movimiento entre contenedores (en caso de la presencia de más de un contenedor en el punto de medición) y la marcha del vehículo. En cada punto de recogida se ha efectuado además una medición del ruido de fondo en los instantes anteriores a la llegada del vehículo de recogida de residuos.

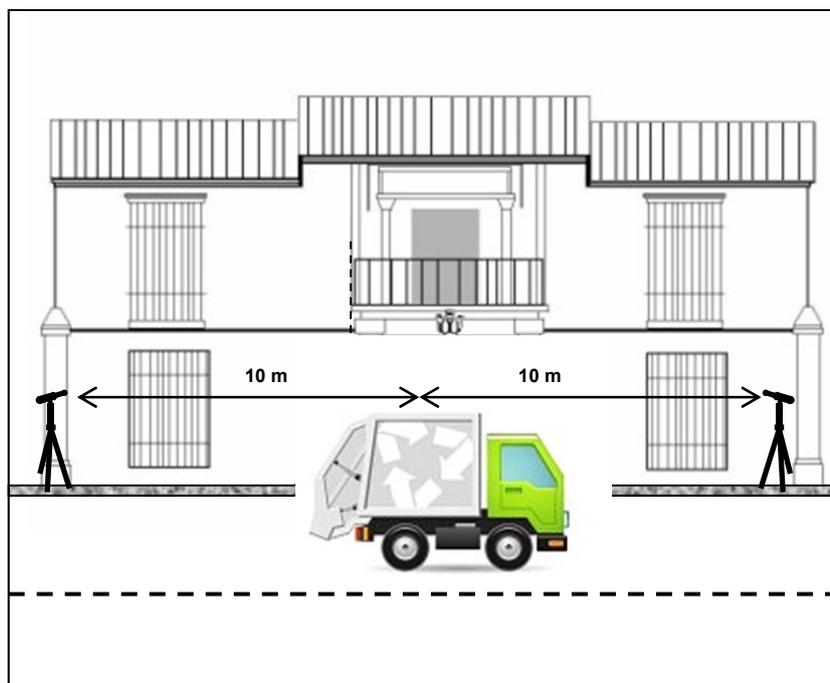


Figura 1. Esquema de la posición de los micrófonos en las mediciones.

Así, para cada una de las operaciones, o fases de ruido, en las que se puede desglosar el proceso total de recogida, se ha obtenido el nivel equivalente de ruido (L_{Aeq}) total y en tercios de octava (entre 20 Hz y 20 kHz), durante cada una de las operaciones en cuestión, así como los valores de L_{AFmax} , L_{Aeq} y los percentiles correspondientes.

4.3. Determinación de índices acústicos

Se ha determinado el valor de los índices siguientes:

- a) Índice de ruido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos calculados a largo plazo, en el periodo temporal de evaluación ($L_{Keq,T}$), tal como se describe en los anexos I y IV del Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003. Este índice depende del valor de L_{Aeq} , más la suma de posibles correcciones por razón de componentes tonales (K_t), impulsivas (K_i) o de bajas frecuencias (K_f), si es el caso.
- b) Nivel de evaluación (L_{Ar}), según se establece en el anexo 3 de la Ley 16/2002 (tal como fue modificado por el Decreto 176/2009), que también incluye el valor del ruido generado por el emisor acústico (L_{Aeq}), más la suma de posibles correcciones por razón de componentes tonales (K_t), impulsivas (K_i) o de bajas frecuencias (K_f). Para ruidos de corta duración, el periodo de evaluación indicado es de 30 minutos.

Se debe remarcar que, a pesar de que la terminología usada para los coeficientes de corrección (K_t , K_i y K_f) es la misma en los dos índices estudiados, la metodología de cálculo de éstos es distinta en uno y otro índice, por lo que los resultados obtenidos serán necesariamente distintos en función del índice usado.

5. RESULTADOS

En los anexos C y D se detallan los principales resultados obtenidos en cada una de las 194 mediciones, mientras que en los anexos A y B se agrupan los resultados obtenidos en las diferentes fases de ruido y en las dos posiciones de micrófono estudiadas. Los resultados que aparecen en este apartado (tablas 2 a 4) son los valores medios para cada una de las topologías estudiadas.

5.1. Valores globales obtenidos

En los resultados obtenidos se analizan básicamente los parámetros L_{Aeq} y L_{AFmax} . Los valores de L_{Aeq} son los que mejor describen el ruido generado durante el proceso de recogida y determinan mayoritariamente el valor de los índices de ruido ($L_{K_{eq,T}}$ y L_{Ar}); mientras que el estudio del valor de L_{AFmax} puede resultar de interés por el hecho de que este parámetro se utiliza también con frecuencia como índice acústico para ruidos de nivel elevado aunque de corta duración, como por ejemplo el paso de aviones o trenes, ruidos éstos a los que sería equiparable el ruido que se genera en la recogida de los residuos domésticos.

Así, en lo que respecta a los valores de L_{Aeq} obtenidos, se observa que el proceso de recogida incrementa notablemente el nivel de ruido de fondo (ver tabla A de los anexos), en más de 10 dB(A) en todos los casos y en más de 20 dB(A) en la mayoría de las mediciones. Los valores medios de L_{Aeq} obtenidos para el proceso global de recogida oscilan entre 69 dB(A) y 78 dB(A), mientras que los valores de L_{AFmax} , que se obtienen todos en la fase de descarga y compactación de los residuos, se mueven entre un valor mínimo de 83,3 dB(A) y un máximo de 93,5 dB(A) (ver tabla 2).

El 50% de los valores de L_{Aeq} medidos se encuentra entre 69,4 dB(A) y 73,2 dB(A).

Tipología	Posición	T [s]	L _{Aeq} [dB(A)]					L _{AFmax} [dB(A)]
			x	s	P50	P25	P75	
1	delante	94	71,8	2,6	71,3	69,9	73,6	83,6
	detrás		68,6	2,4	68,5	67,5	69,8	83,3
2	delante	87	75,6	1,8	76,3	75,0	76,7	84,2
	detrás		76,2	1,6	76,6	75,1	77,0	84,8
3	delante	89	77,6	2,4	76,5	75,5	77,8	87,0
	detrás		72,8	1,9	72,1	71,5	73,5	84,6
4	delante	89	69,0	1,2	69,4	68,8	70,0	82,3
	detrás		68,7	2,8	69,4	67,8	70,1	85,7
5	delante	114	71,9	2,8	70,9	69,3	72,8	88,2
	detrás		70,8	2,5	71,8	68,6	72,6	93,5
6	delante	81	70,9	1,6	70,9	70,2	72,4	87,4
	detrás		71,3	1,3	71,3	70,6	72,0	90,2
7	delante	136	69,2	2,8	70,6	68,0	71,8	84,1
	detrás		69,4	1,7	69,0	68,5	70,6	85,7
8	delante	160	72,6	2,0	73,4	72,4	74,0	86,9
	detrás		72,8	1,7	73,2	72,4	74,0	87,9
Total	delante	-	72,4	3,4	71,8	69,9	75,2	-
	detrás	-	70,8	2,3	70,8	69,0	72,5	-

Tabla 2. Niveles de L_{Aeq} y L_{AFmax} obtenidos durante el proceso de recogida de residuos. T es el valor medio de la duración total del proceso de todas las repeticiones, x es la media energética de los valores, s la desviación estándar y $P50$, $P25$, $P75$ los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente. L_{AFmax} es el valor máximo obtenido para el conjunto de repeticiones de una tipología.

5.2. Influencia del sistema de recogida

Para el total del proceso de recogida, al comparar los diferentes sistemas entre si, se observa que los sistemas de carga lateral y de carga bilateral presentan valores muy similares (valores medios de 70,6 dB(A) y 70,8 dB(A) respectivamente), mientras que los valores obtenidos en el sistema de carga posterior son ligeramente superiores, con un valor medio de 73,0 dB(A).

5.3. Influencia de la posición del micrófono

En lo que se refiere a los valores de L_{Aeq} obtenidos en la parte delantera y posterior del vehículo de recogida, el valor medio de todas las mediciones obtenido en la parte delantera es de 72,4 dB(A), mientras que en la parte trasera este valor es ligeramente inferior (70,8 dB(A)). En la parte delantera, el 50% de los valores se encuentran entre 71,8 dB(A) y 75,2 dB(A), mientras que en la parte trasera este porcentaje se sitúa entre los valores de 70,8 dB(A) y 72,5 dB(A).

Los sistemas de carga lateral y bilateral presentan valores similares: entre 69 dB(A) y 73 dB(A) en las medidas efectuadas en la parte delantera del vehículo. Estos valores resultan ligeramente inferiores a los valores obtenidos en el sistema de carga posterior (entre 72 dB(A) y 78 dB(A)). En contraposición con esto, en las mediciones efectuadas en la parte trasera del vehículo no se aprecian diferencias significativas entre los diferentes sistemas de recogida, con valores comprendidos entre 69 dB(A) y 75 dB(A) en todos los casos.

5.4. Influencia del combustible usado

Si se tiene en cuenta el combustible usado en la propulsión del vehículo, cuando el camión está circulando (fases de llegada y marcha del vehículo) no se observan diferencias entre los vehículos que funcionan con gas natural y los que lo hacen con gasoil. Sin embargo, se detecta un aumento del nivel de ruido en estas fases en el vehículo de gasoil con una antigüedad de 15 años, el cual presenta un nivel de presión sonora alrededor de 4 dB(A) superior. No obstante, si se analiza el ruido generado durante la fase de descarga y compactación de los residuos, cuyo mecanismo de funcionamiento también es accionado por medio del motor, se observa que los vehículos de gas natural son menos ruidosos, con una disminución media también de unos 4 dB(A) respecto al ruido generado por los vehículos que funcionan con gasoil.

5.5. Estudio de las fases de ruido

Se constata que, para todos los sistemas de recogida estudiados, la fase más ruidosa es la fase de descarga y compactación de los residuos, con valores comprendidos entre 70 dB(A) y 81 dB(A), seguida de la fase marcha del camión, con valores comprendidos entre 65 dB(A) y 76 dB(A) (ver tabla A en los anexos). Puesto que la fase de descarga del contenedor es la más ruidosa y, además, es la de mayor duración, resulta determinante en el cálculo de los índices de ruido y, en todas las tipologías estudiadas, representa, en general, más del 50 % del total del ruido generado durante el proceso total de recogida, llegando esta cifra alrededor del 80 % en el caso de la recogida mediante el sistema de carga bilateral (ver figuras 2 y 3).

En relación con el parámetro L_{AFmax} , se detecta que la fase que presenta unos valores más elevados es la de descarga del contenedor, debido a los golpes que se producen cuando el contenedor llega al final del recorrido del sistema de descarga y los residuos impactan contra la caja del vehículo. No se observan muchas diferencias entre los distintos sistemas de recogida y los valores que se obtienen oscilan entre un valor mínimo de 82,3 dB(A) y un máximo de 93,5 dB(A). Para el parámetro L_{AFmax} obtenido durante la fase de descarga del contenedor, el valor del percentil 50 es 85,6 dB(A). Es de destacar que, tanto en el sistema de carga bilateral como en el de carga lateral, los valores máximos de L_{AFmax} se obtienen en las mediciones efectuadas en la parte trasera del camión (incremento de 1 dB(A) y 4 dB(A) respectivamente), mientras que el sistema de carga posterior no se observan diferencias entre los valores obtenidos en la parte delantera y trasera del vehículo.

Si se estudia de forma conjunta el sistema de recogida con el combustible empleado, en la fase más ruidosa del proceso (descarga y compactación), se observan tres grupos diferentes: el menos ruidoso de todos, con valores comprendidos entre 69 dB(A) y 71 dB(A), formado por las combinaciones siguientes: motor de gas natural con sistema bilateral o carga posterior, así como sistema de carga lateral con motor de gasoil (en este caso de tan sólo un año de antigüedad). Un segundo grupo, con valores alrededor de 74 dB(A) formado por vehículos de gasoil con sistema de recogida de carga lateral o bilateral, dentro del cual se incluye también el sistema de carga posterior con motor de gas natural. El grupo más ruidoso corresponde a los vehículos de carga posterior de gasoil, con valores comprendidos entre 79 dB(A) y 81 dB(A).

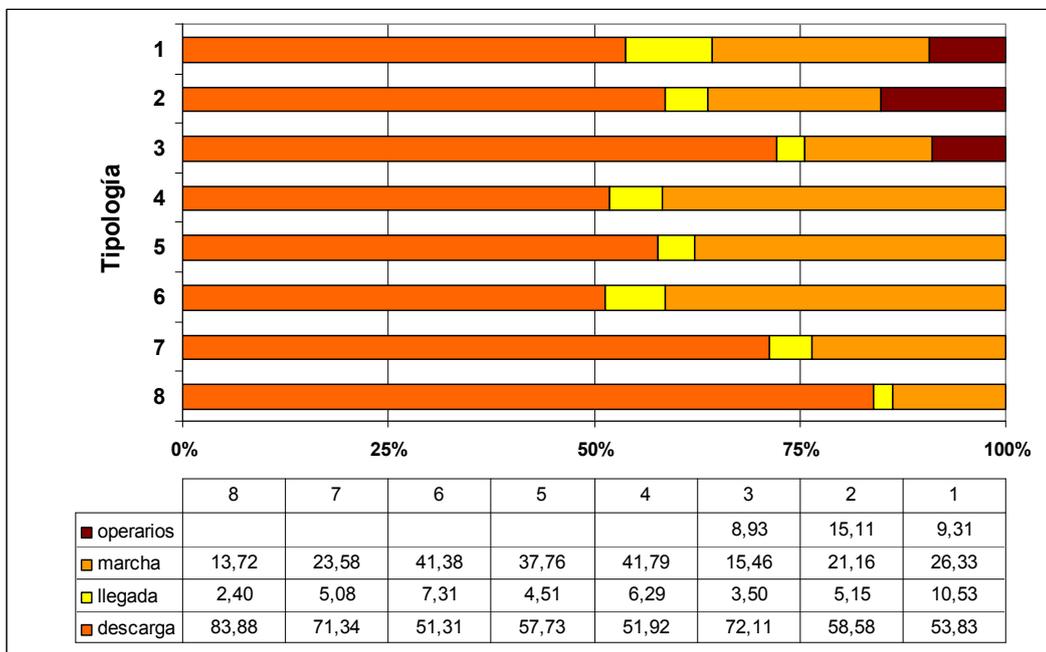


Figura 2. Peso relativo de las distintas fases de ruido en el total del ruido generado durante en proceso de recogida, en la **parte delantera** del vehículo.

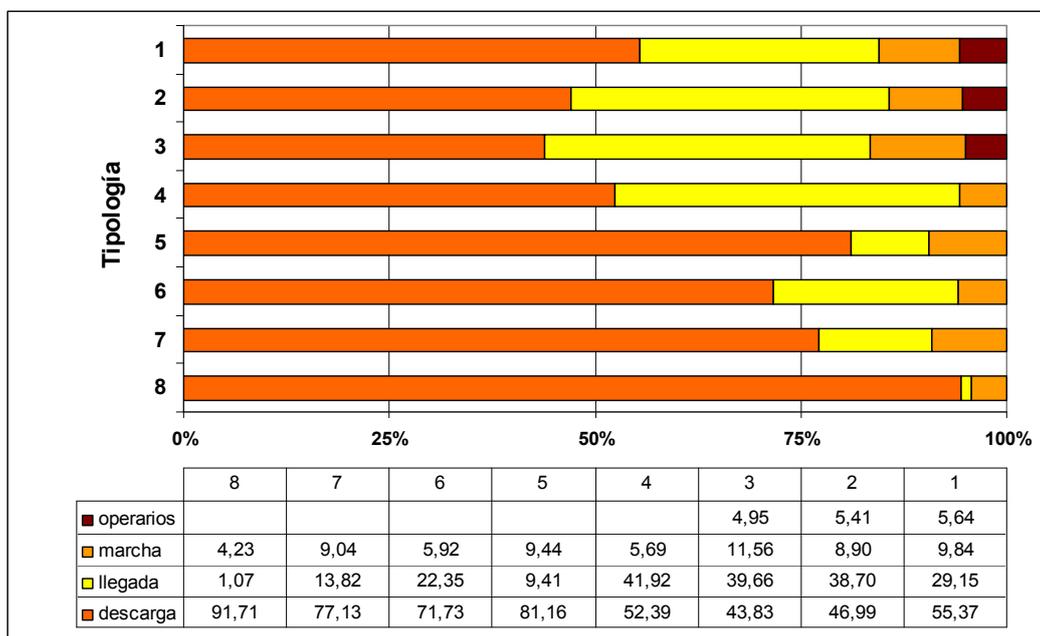


Figura 3. Peso relativo de las distintas fases de ruido en el total del ruido generado durante en proceso de recogida, en la **parte posterior** del vehículo.

5.6. Valores de los índices de ruido

Los valores medios del índice $L_{K_{eq,T}}$ obtenidos para el proceso global de recogida están entre 72 dB(A) y 81 dB(A), mientras que los valores del índice L_{Ar} resultan inferiores, entre 65 dB(A) y 73 dB(A) (ver tabla 3).

Los valores de los índices acústicos resultan ciertamente elevados, no sólo porque el nivel equivalente (L_{Aeq}) es ya en si elevado, sino que, en la mayoría de las mediciones, se ha alcanzado además la penalización máxima (9 dB) como consecuencia de la aplicación de los coeficientes de corrección K_f , K_t y K_i (ver tabla D de los anexos).

En este sentido, es de destacar que la corrección por baja frecuencia (K_f) es de aplicación en todas las fases de ruido consideradas, especialmente en la fase de descarga, donde esta corrección está presente en casi el 100% de las mediciones. Hay que tener en cuenta que los valores del coeficiente K_f se calculan de forma diferente en aplicación del índice $L_{K_{eq,T}}$ que cuando se aplica el índice L_{Ar} , de manera que los valores de este coeficiente para el cálculo de L_{Ar} han resultado siempre ser superiores a los valores que se aplican en el índice $L_{K_{eq,T}}$.

La corrección por impulsividad del ruido (K_i), se calcula también de forma distinta para determinar los valores de $L_{K_{eq,T}}$ y L_{Ar} . Así, mientras que esta corrección se aplica en la mayoría de mediciones de todas las fases cuando se calcula el valor de L_{Ar} , al calcular el índice $L_{K_{eq,T}}$ la corrección por impulsividad sólo está presente en un 27 % de las mediciones efectuadas y exclusivamente en la fase de descarga de una de las topologías estudiadas.

Por lo que respecta a la corrección por componentes tonales (K_t), puesto que su cálculo es muy similar para los dos índices utilizados, los valores obtenidos son iguales para ambos índices. Se ha detectado que, en el sistema de carga lateral que utiliza un motor eléctrico para la elevación del contenedor y compactación de los residuos (tipología 6), existe una componente tonal emergente durante la fase de descarga a la frecuencia de 800 Hz. En esta misma fase, se detecta otra componente tonal a la frecuencia de 50 Hz en casi el 100% de las mediciones del sistema de carga bilateral (tipologías 7 y 8).

Tipología	Posición	L_{K_{eq},T_i} según RD 1367/2007					$L_{Ar}(1)$ según D 176/2009				
		x	s	P50	P25	P75	x	s	P50	P25	P75
1	delante	77	2,5	77	77	78	67	2,6	66	65	69
	detrás	75	2,8	75	72	77	65	2,9	64	63	66
2	delante	79	2,6	79	77	81	71	2,4	71	68	72
	detrás	78	2,7	78	76	80	71	2,0	71	70	72
3	delante	82	2,1	82	81	83	73	2,7	72	72	74
	detrás	75	1,9	75	74	76	67	1,7	67	67	68
4	delante	74	2,0	74	73	76	65	1,4	65	64	66
	detrás	72	2,0	72	71	73	65	2,3	65	64	66
5	delante	74	2,8	74	72	76	67	2,2	67	65	68
	detrás	73	2,0	72	72	73	67	2,5	68	66	69
6	delante	74	2,4	74	73	76	65	1,7	65	64	65
	detrás	73	2,2	72	71	74	66	1,5	66	66	66
7	delante	78	2,6	78	76	79	67	2,5	67	65	69
	detrás	77	2,3	77	76	79	67	2,6	66	65	68
8	delante	81	2,2	82	79	83	71	2,1	71	70	73
	detrás	81	2,1	82	80	83	71	1,8	72	71	72

Tabla 3. Valores de los índices acústicos obtenidos, en dB(A), durante el total del proceso de recogida de residuos. x es la media aritmética de los valores, s la desviación estándar y **P50**, **P25**, **P75** los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente. (1): es **importante** tener en cuenta que en el cálculo de este índice, el periodo de evaluación es de 30 minutos.

5.7. Comparación entre los índices de ruido estudiados

A pesar de que los coeficientes de corrección alcanzan valores superiores en aplicación de la normativa autonómica (cálculo de L_{Ar}) los valores del índice de ámbito estatal ($L_{K_{eq},T}$) son superiores (ver tabla 3). Esto se debe a que el periodo de evaluación, es decir, el periodo temporal considerado en el cálculo de los valores, es distinto. Así, mientras que en la determinación del valor de L_{Ar} , se utiliza un periodo de evaluación de 30 minutos, en el cálculo de $L_{K_{eq},T}$ no se tiene en cuenta un periodo de

evaluación concreto, sino que éste es la propia duración del ruido. Puesto que el periodo de evaluación es distinto, los índices no son directamente comparables entre sí, por eso, para poder hacer una comparación entre los dos índices acústicos considerados, se han calculado ambos con el mismo periodo de evaluación, concretamente, el utilizado en el cálculo de $L_{Keq,T}$ (ver tabla 4). En este caso se comprueba que, para un periodo de evaluación idéntico, los valores del índice $L_{Ar,i}$ resultan mas restrictivos que los que nos proporciona el índice $L_{Keq,T,i}$.

Si, para cada uno de los dos índices de ruido estudiados, se calcula el valor medio de la suma de los coeficientes de corrección ($K_f+K_t+K_i$) de cada una de las fases y mediciones, se obtiene que este valor es 4,3 para el índice $L_{Keq,T,i}$ y 7,8 la para el índice $L_{Ar,i}$, por lo que este último resulta ser más restrictivo en los casos estudiados.

Tipología	Posición	T[s]	L_{Aeq} [dB(A)]	$L_{Keq,T,i}$ [dB(A)]	$L_{Ar,i}$ [dB(A)]	D
1	delante	94	71,8	77	80	3
	detrás		68,6	75	78	3
2	delante	87	75,6	79	84	5
	detrás		71,7	78	84	6
3	delante	89	77,6	82	86	4
	detrás		72,8	75	80	5
4	delante	89	69,0	74	78	4
	detrás		68,7	72	78	6
5	delante	114	71,9	74	79	5
	detrás		75,4	73	79	6
6	delante	81	70,9	74	78	4
	detrás		71,3	73	80	7
7	delante	136	69,2	78	78	0
	detrás		69,4	77	78	1
8	delante	160	72,6	81	82	1
	detrás		72,8	81	82	3

Tabla 4. Comparativa de los valores medios obtenidos para los dos índices de ruido usando el mismo periodo temporal de evaluación. **D** es la diferencia : $L_{Ar,i} - L_{Keq,T,i}$

Finalmente, cabría señalar que, debido a la diferente duración del proceso entre los distintos sistemas de recogida estudiados, así como a la aplicación de los coeficientes correctores, no hay una correspondencia directa entre los valores de L_{Aeq} y los índices de ruido aplicables. Así, el sistema de carga posterior, que es algo más ruidoso que los otros dos sistemas estudiados, presenta valores inferiores de los índices de ruido, mientras que el sistema de carga bilateral, que no resulta ser más ruidoso que los otros dos sistema estudiados, es el que presenta los mayores valores de los índices de

ruido, debido principalmente a la mayor duración del proceso de recogida y también a la presencia de componentes tonales.

6. CONCLUSIONES

Se han estudiado 8 tipologías distintas de recogida de residuos domésticos mediante contenedores que combinan 3 sistemas de recogida diferentes (sistemas de carga posterior, lateral y bilateral), 2 tipos de combustible (gas natural y gasoil) y, en 2 de los sistemas de recogida, la antigüedad de los vehículos utilizados.

Se ha medido el ruido generado durante el proceso de recogida de 97 contenedores. Para cada contenedor se han efectuado medidas simultáneas en dos puntos: uno situado en a 10 m por delante del contenedor en el sentido de la marcha del camión y otro situado a 10 m detrás del contenedor. Se dispone, por tanto, de un total de 194 mediciones.

No obstante, hay que tener en cuenta que las conclusiones que aquí se exponen son de aplicación exclusiva a los casos estudiados, de manera que los mismos sistemas de recogida pueden presentar valores distintos en función de las características y estructura de las calles donde se efectúa la recogida, así como del propio contenido del contenedor.

Así, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. El proceso de recogida de los residuos domésticos incrementa notablemente el nivel de ruido de fondo, en más de 10 dB(A) en todos los casos.
2. Los valores medios de L_{Aeq} obtenidos durante el proceso total de recogida para las 8 tipologías estudiadas oscilan entre 69 dB(A) y 78 dB(A), situándose el 50 % de las 194 mediciones efectuadas entre 69 dB(A) y 74 dB(A). Cabe destacar también que, dentro de una misma tipología, existe una dispersión considerable de los valores obtenidos.
3. En el proceso de recogida se distinguen las fases de ruido siguientes: a) llegada del vehículo, b) descarga y compactación de los residuos, c) marcha del vehículo y, en el sistema de carga posterior, d) manipulación del contenedor por los operarios. En todos los casos estudiados la fase más ruidosa es la de descarga y compactación de los residuos, con una contribución superior al 50 % del total del ruido (L_{Aeq}) generado durante la recogida. El ruido que se produce en esta fase se debe al motor del vehículo al accionar el sistema de elevación y compactación del mismo.
4. El ruido (L_{Aeq}) generado por los sistemas de recogida de carga lateral y bilateral es muy similar, mientras que el sistema de carga posterior es ligeramente más ruidoso, incrementando el nivel de ruido aproximadamente 2 dB(A) respecto a los otros dos sistemas estudiados.

5. La diferencia entre las mediciones efectuadas en la parte delantera y posterior del vehículo es muy pequeña, siendo los valores medios de ruido (L_{Aeq}) obtenidos delante del vehículo aproximadamente 1,4 dB(A) superiores a los que se obtienen detrás.
6. Durante la fase de descarga y compactación de los residuos, cuyo funcionamiento es accionado mediante el motor del camión, los vehículos de gas natural son algo menos ruidosos, con una disminución media de unos 4 dB(A) respecto al ruido (L_{Aeq}) generado por los vehículos de gasoil. Esta disminución no se aprecia cuando el vehículo está en movimiento (fases de llegada y marcha).
7. En relación con los índices de ruido estudiados ($L_{K_{eq,T}}$, según se describe en el RD 1367/2007 y L_{Ar} , tal como se describe en el D 176/2009), los valores obtenidos son muy elevados en todos los casos, hecho éste que se debe no sólo a los elevados niveles de ruido (L_{Aeq}) durante el proceso de recogida, sino que también, en la mayoría de las mediciones, se ha alcanzado la penalización máxima de 9 dB(A) como consecuencia de la aplicación de los correspondientes coeficientes de corrección.
8. No hay una correspondencia directa entre el valor del ruido generado durante el proceso de recogida (L_{Aeq}) y el valor de los índices acústicos obtenidos. Así, a pesar de que el sistema de carga posterior ha resultado ser algo más ruidoso, no es este sistema el que presenta valores de los índices acústicos más elevados, sino que es el sistema de carga bilateral el que presenta los valores de $L_{K_{eq,T}}$ y L_{Ar} superiores, debido principalmente a la presencia de componentes tonales y, en el caso del índice L_{Ar} , también a la mayor duración del proceso de recogida.
9. El valor medio de la suma de los coeficientes de corrección ($K_f+K_t+K_i$) de cada una de las fases y mediciones, presenta un valor medio de 4,3 para el índice $L_{K_{eq,T}}$ y 7,8 para el índice L_{Ar} , por lo que, en los casos estudiados, este último resulta ser más restrictivo.

10. ANEXO A: Niveles de L_{Aeq} obtenidos en cada una de las fases de ruido

Tipología	Fase	Posición	L_{Aeq} [dB(A)]				
			x	s	P50	P25	P75
1	Ruido de fondo	delante	51,8	-	-	-	-
		detrás	55,4	-	-	-	-
	Fase llegada	delante	66,4	1,4	66,8	65,5	67,5
		detrás	69,2	2,5	69,5	67,6	71,0
		T	31	14	28	21	40
	Fase operarios	delante	69,9	3,8	69,0	66,8	72,5
		detrás	64,1	4,5	64,0	61,4	65,3
		T	18	6	18	14	21
	Fase descarga	delante	75,2	2,5	74,4	73,7	76,0
		detrás	71,5	3,3	70,6	69,7	73,1
		T	21	6	20	19	20
	Fase marcha	delante	70,9	3,2	72,3	67,9	72,9
		detrás	63,2	4,4	62,8	60,7	64,7
		T	24	11	19	17	29
	2	Ruido de fondo	delante	52,3	-	-	-
detrás			54,6	-	-	-	-
Fase llegada		delante	66,8	1,3	66,8	65,9	67,4
		detrás	71,5	2,0	72,2	70,0	72,7
		T	30	19	25	23	28
Fase operarios		delante	76,7	2,3	77,1	75,9	77,8
		detrás	68,3	1,9	67,6	66,8	69,9
		T	20	4	20	19	22
Fase descarga		delante	78,9	2,3	79,1	77,6	79,9
		detrás	73,7	1,9	74,0	72,4	74,5
		T	22	14	16	13	22
Fase marcha		delante	75,6	2,7	76,3	74,1	77,1
		detrás	67,3	1,3	67,1	66,5	68,2
		T	15	6	14	11	14

Tabla A.1. Niveles de L_{Aeq} en cada una de las **fases** de ruido. **T** es la duración de la fase, expresada en segundos, **x** es la media energética de los valores, **s** la desviación estándar y **P50, P25, P75** los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente.

Tipología	Fase	Posición	L_{Aeq} [dB(A)]				
			x	s	P50	P25	P75
3	Ruido de fondo	delante	55,8	-	-	-	-
		detrás	58,4	-	-	-	-
	Fase llegada	delante	68,3	2,3	68,0	66,9	68,9
		detrás	73,9	1,6	73,9	73,2	74,5
		T	23	15	21	15	25
	Fase operarios	delante	74,9	2,6	73,9	73,9	75,7
		detrás	68,4	1,9	68,0	67,2	69,3
		T	26	12	23	21	27
	Fase descarga	delante	80,6	2,5	80,5	79,2	81,2
		detrás	73,8	2,0	73,7	72,1	75,8
		T	27	16	21	17	40
	Fase marcha	delante	75,0	3,0	74,6	74,5	76,5
		detrás	69,1	3,2	69,6	67,1	69,9
		T	13	4	14	11	16
	4	Ruido de fondo	delante	50,0	-	-	-
detrás			52,9	-	-	-	-
Fase llegada		delante	62,9	2,2	62,5	61,3	64,9
		detrás	68,7	1,6	68,6	67,9	69,3
		T	23	5	21	19	27
Fase descarga		delante	69,0	1,1	69,2	68,6	69,8
		detrás	68,7	1,6	68,6	67,9	69,3
		T	48	3	46	46	49
Fase marcha		delante	72,2	3,5	73,2	70,2	74,8
		Detrás	63,2	3,2	63,9	61,8	65,6
	T	18	3	18	17	19	
5	Ruido de fondo	delante	50,2	-	-	-	-
		detrás	51,9	-	-	-	-
	Fase llegada	delante	65,1	3,4	64,0	63,1	67,3
		detrás	73,7	2,9	75,0	72,3	75,3
		T	32	14	29	23	41
	Fase descarga	delante	73,1	3,0	71,8	71,0	75,1
		detrás	73,7	2,9	75,0	72,3	75,3
		T	43	3	41	41	45
	Fase marcha	delante	72,3	3,8	73,6	70,1	74,6
		Detrás	65,8	2,2	66,5	64,9	66,8
T		39	33	22	19	37	

Tabla A.2. Niveles medios de L_{Aeq} en cada una de las fases de ruido. *T* es la duración de la fase, expresada en segundos, *x* es la media energética de los valores, *s* la desviación estándar y **P50, P25, P75** los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente.

Tipología	Fase	Posición	L _{Aeq} [dB(A)]				
			x	s	P50	P25	P75
6	Ruido de fondo	delante	53,9	-	-	-	-
		detrás	57,1	-	-	-	-
	Fase llegada	delante	65,0	2,7	65,6	64,4	66,6
		detrás	72,9	1,9	72,8	72,3	73,7
		T	24	4	23	21	24
	Fase descarga	delante	71,1	1,8	71,2	70,4	71,5
		detrás	72,9	1,9	72,8	72,3	73,7
		T	39	1	39	38	40
	Fase marcha	delante	73,7	3,3	74,2	71,4	76,2
		Detrás	65,6	1,9	66,3	65,3	66,9
		T	18	5	16	16	20
	7	Ruido de fondo	delante	52,6	-	-	-
detrás			54,0	-	-	-	-
Fase llegada		delante	64,7	3,7	63,9	62,5	66,1
		detrás	70,2	3,0	69,9	68,5	72,2
		T	30	13	29	22	41
Fase descarga		delante	69,9	3,0	70,0	68,3	71,3
		detrás	70,2	3,0	69,9	68,5	72,2
		T	72	15	73	58	79
Fase marcha		delante	71,1	3,7	71,6	69,2	72,1
		Detrás	66,7	2,8	65,9	65,4	67,7
		T	34	19	27	27	30
8		Ruido de fondo	delante	44,8	-	-	-
	detrás		45,6	-	-	-	-
	Fase llegada	delante	63,9	3,5	64,5	62,0	66,5
		detrás	74,4	1,7	74,7	73,6	75,2
		T	29	7	25	25	33
	Fase descarga	delante	73,8	2,0	74,5	72,8	75,1
		detrás	74,4	1,7	74,7	73,6	75,2
		T	105	10	106	97	111
	Fase marcha	delante	72,0	4,9	73,3	70,7	74,8
		Detrás	67,1	4,8	66,4	63,8	68,4
		T	26	8	24	20	29

Tabla A.3. Niveles medios de L_{Aeq} , en dB(A), en cada una de las **fases** de ruido. *T* es la duración de la fase, expresada en segundos, *x* es la media energética de los valores, *s* la desviación estándar y **P50**, **P25**, **P75** los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente.

ANEXO B: Valores de los índices de ruido obtenidos en cada una de las fases de ruido.

Tipología	Fase	Posición	L _{Keq,Ti} [dB(A)]					L _{Ar,i} [dB(A)]				
			x	s	P50	P25	P75	x	s	P50	P25	P75
1	Fase llegada	delante	72	2,5	71	70	74	75	1,5	75	74	76
		detrás	74	3,4	74	73	76	77	3,3	77	74	80
	Fase operarios	delante	75	4,8	74	71	77	78	3,4	76	75	79
		detrás	70	5,7	70	66	73	73	4,5	73	70	74
	Fase descarga	delante	81	2,7	82	79	82	83	3,0	83	82	84
		detrás	78	3,5	79	75	80	80	3,6	80	78	82
	Fase marcha	delante	76	3,9	75	73	80	78	4,0	79	75	81
		detrás	69	4,2	68	67	71	71	4,8	72	68	73
2	Fase llegada	delante	70	2,8	69	68	71	73	3,6	74	72	75
		detrás	69	2,8	68	67	72	77	2,1	78	77	78
	Fase operarios	delante	81	3,3	80	80	84	85	3,5	86	83	87
		detrás	80	3,7	80	77	83	77	1,9	76	75	78
	Fase descarga	delante	81	3,3	82	79	83	86	3,3	85	84	88
		detrás	74	2,2	74	72	76	83	1,9	83	81	84
	Fase marcha	delante	79	2,6	79	77	80	83	3,4	83	81	85
		detrás	70	2,3	71	70	71	73	1,9	74	73	74
3	Fase llegada	delante	75	2,1	74	74	75	81	1,8	81	80	83
		detrás	75	2,1	74	74	75	81	1,8	81	80	83
	Fase operarios	delante	73	2,5	72	71	74	77	1,7	77	76	78
		detrás	73	2,5	72	71	74	77	1,7	77	76	78
	Fase descarga	delante	77	2,8	78	75	79	83	2,4	83	81	85
		detrás	77	2,8	78	75	79	83	2,4	83	81	85
	Fase marcha	delante	73	3,4	73	73	73	77	3,6	77	73	79
		detrás	73	3,4	73	73	73	77	3,6	77	73	79
4	Fase llegada	delante	66	1,8	66	65	67	72	2,2	72	70	74
		detrás	73	3,9	74	71	76	79	5,0	80	79	83
	Fase descarga	delante	72	1,0	73	72	73	78	1,1	78	78	79
		detrás	72	2,0	71	71	72	78	1,6	78	77	78
	Fase marcha	delante	78	4,0	79	76	81	80	3,8	80	76	83
		detrás	68	2,6	69	67	70	71	3,4	71	70	73

Tabla B.1. Valores de los índices de ruido ($L_{Keq,Ti}$ y $L_{Ar,i}$) obtenidos en cada una de las fases de ruido consideradas. x es la media aritmética de los valores, s la desviación estándar y $P50$, $P25$, $P75$ los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente.

Tipología	Fase	Posición	$L_{Keq,Ti}$ [dB(A)]					$L_{Ar,i}$ [dB(A)]				
			x	s	P50	P25	P75	x	s	P50	P25	P75
5	Fase llegada	delante	68	4,6	68	65	69	73	4,0	72	71	75
		detrás	69	2,7	68	67	69	75	2,5	75	73	76
	Fase descarga	delante	76	3,7	75	73	78	82	2,6	81	80	83
		detrás	76	1,9	75	75	76	83	2,9	84	81	84
	Fase marcha	delante	74	3,4	75	73	76	77	2,9	78	75	79
		detrás	68	3,2	68	67	70	72	2,7	73	71	73
6	Fase llegada	delante	65	2,7	66	64	67	71	3,0	71	69	73
		detrás	70	2,5	70	68	72	73	3,9	73	70	75
	Fase descarga	delante	76	4,1	76	73	77	80	1,8	80	79	80
		detrás	74	3,1	73	73	76	82	1,9	82	81	83
	Fase marcha	delante	75	2,8	76	74	77	76	3,2	77	75	78
		detrás	66	2,6	66	65	67	74	3,2	73	72	74
7	Fase llegada	delante	71	3,5	70	68	75	73	4,0	73	71	75
		detrás	74	3,8	75	72	78	77	4,1	78	75	81
	Fase descarga	delante	78	3,4	78	76	80	79	3,1	79	77	80
		detrás	79	3,5	79	77	80	79	3,0	79	78	81
	Fase marcha	delante	78	3,3	78	77	81	79	4,2	78	77	81
		detrás	74	2,9	74	72	75	74	2,9	74	72	75
8	Fase llegada	delante	71	2,5	72	70	72	73	3,5	73	71	76
		detrás	73	3,9	73	70	75	75	4,3	74	73	78
	Fase descarga	delante	82	2,1	83	81	84	83	2,0	84	82	84
		detrás	83	1,9	83	82	84	83	1,7	84	83	84
	Fase marcha	delante	74	3,4	74	73	77	79	5,4	80	77	82
		detrás	72	4,0	73	70	75	73	4,8	72	70	74

Tabla B.2. Valores de los índices de ruido ($L_{Keq,Ti}$ y $L_{Ar,i}$) obtenidos en cada una de las fases de ruido consideradas. x es la media aritmética de los valores, s la desviación estándar y $P50$, $P25$, $P75$ los percentiles 50, 25 y 75 respectivamente.

ANEXO C: Niveles de L_{Aeq} obtenidos en cada una de las mediciones en las diferentes fases de ruido.

Tipología	n	Fase llegada			Fase operarios			Fase descarga			Fase marcha		
		posición		T	posición		T	posición		T	posición		T
		a)	b)		a)	b)		a)	b)		a)	b)	
1	1	65,9	63,9	20	73,8	73,3	25	74,4	74,3	21	73,2	73,1	48
	2	67,5	70,1	21	76,1	70,0	20	76,3	72,5	19	72,3	62,8	15
	3	64,3	67,6	41	66,1	61,4	14	73,9	70,6	20	67,5	61,6	29
	4	64,3	67,6	41	66,1	61,4	14	73,4	73,7	18	67,5	61,6	29
	5	65,0	69,5	64	67,4	65,0	18	72,9	70,6	19	72,0	67,2	18
	6	66,0	66,8	28	67,0	62,3	12	73,0	70,2	20	73,6	63,8	17
	7	68,4	72,5	17	69,0	57,7	13	81,6	79,2	20	68,4	59,0	17
	8	66,8	71,3	20	66,7	59,1	13	74,0	68,6	19	72,6	59,7	15
	9	67,1	70,7	26	71,2	64,0	19	75,5	67,2	16	65,1	57,2	25
	10	67,7	69,5	40	69,5	64,8	33	75,7	69,2	38	72,5	65,6	37
	11	67,4	71,8	30	76,0	65,6	21	76,4	70,3	21	75,4	63,8	19
2	1	65,2	73,7	89	80,3	70,0	20	82,3	74,6	17	80,6	69,6	15
	2	67,8	72,3	25	77,2	66,9	24	79,0	71,1	20	76,3	68,2	14
	3	67,8	72,3	25	77,2	66,9	24	80,5	73,9	13	76,3	68,2	14
	4	66,7	72,6	19	76,7	67,6	20	79,2	74,5	26	73,6	67,9	14
	5	66,2	68,9	32	73,8	69,3	10	76,0	74,0	57	74,6	66,8	11
	6	65,9	68,7	26	77,8	66,1	18	79,4	72,6	11	77,9	66,8	10
	7	65,9	68,7	26	77,8	66,1	18	79,7	72,1	21	77,9	66,8	10
	8	66,9	72,1	15	79,7	70,7	20	82,4	76,4	13	76,3	67,4	14
	9	67,2	71,4	27	77,0	71,5	21	78,4	71,0	12	76,8	69,0	14
	10	65,0	72,9	20	73,1	66,6	27	75,4	72,4	13	71,3	65,8	10
	11	69,9	70,4	25	76,6	69,9	20	78,1	77,2	15	74,2	65,9	20
	12	67,3	74,5	36	73,3	67,6	19	76,0	74,1	43	71,7	65,3	31
3	1	65,9	73,9	69	80,7	68,3	17	85,0	76,2	16	78,6	69,9	16
	2	68,0	73,5	26	73,9	68,0	27	80,8	74,1	21	75,5	69,9	16
	3	68,0	73,5	26	73,9	68,0	27	81,2	73,7	20	75,5	69,9	16
	4	66,9	76,0	15	71,1	67,1	31	78,3	72,1	43	72,9	67,1	20
	5	66,8	74,4	21	73,9	69,3	21	80,5	74,9	17	74,5	69,6	12
	6	66,8	74,4	21	73,9	69,3	21	79,9	72,9	40	74,5	69,6	12
	7	68,3	73,2	18	78,9	65,7	19	84,4	72,3	52	78,1	66,7	7
	8	67,4	72,6	15	75,7	72,4	21	83,8	76,5	17	78,9	78,4	8
	9	68,9	71,6	13	73,9	67,2	50	79,2	71,9	21	74,6	67,7	14
	10	68,9	71,6	13	73,9	67,2	50	79,1	72,1	22	74,6	67,7	14
	11	66,9	74,8	15	72,1	66,0	26	75,9	70,1	13	72,5	65,5	16
	12	74,6	74,5	25	76,0	70,8	23	80,5	76,3	13	76,5	70,1	11
	13	70,9	76,9	21	75,0	69,7	12	79,5	75,8	60	67,6	66,9	8

Tabla C.1. Niveles de L_{Aeq} obtenidos, en dB(A), en cada una de las mediciones para las diferentes fases de ruido consideradas. *n* es la repetición, *a*) es el valor en la parte delantera del vehículo y *b*) en la parte posterior, *T* es la duración de la fase, expresada en segundos.

Tipología	n	Fase llegada			Fase operarios			Fase descarga			Fase marcha		
		posición		T	posición		T	posición		T	posición		T
		a)	b)		a)	b)		a)	b)		a)	b)	
4	1	61,8	66,9	21	-	-	-	69,4	66,5	52	66,5	57,3	23
	2	65,8	71,0	21	-	-	-	70,1	69,3	49	66,6	58,9	19
	3	60,6	69,7	19	-	-	-	70,3	71,4	53	69,5	61,8	17
	4	61,2	69,9	31	-	-	-	69,8	66,7	49	72,5	62,0	19
	5	61,9	71,3	19	-	-	-	67,2	68,0	46	72,1	64,3	16
	6	59,9	62,8	29	-	-	-	68,8	67,9	45	74,4	67,1	18
	7	63,1	73,8	18	-	-	-	69,0	68,5	46	75,0	63,5	19
	8	65,6	74,2	19	-	-	-	69,6	69,3	46	76,3	66,1	18
	9	64,9	76,3	30	-	-	-	66,9	70,7	46	74,9	65,7	22
	10	64,6	72,6	22	-	-	-	68,6	68,7	45	73,8	65,3	15
5	1	71,0	62,0	41	-	-	-	71,0	72,6	41	65,3	61,2	108
	2	64,0	65,9	16	-	-	-	70,9	71,4	40	67,2	63,0	99
	3	65,5	69,6	16	-	-	-	70,5	66,7	42	73,3	64,6	19
	4	63,0	68,2	52	-	-	-	76,7	76,7	47	74,5	68,6	36
	5	69,1	65,9	21	-	-	-	77,7	75,0	47	77,6	67,9	22
	6	63,3	66,4	26	-	-	-	69,7	74,2	41	73,6	66,5	18
	7	63,3	66,4	26	-	-	-	72,6	71,9	49	73,6	66,5	18
	8	65,1	67,7	29	-	-	-	73,4	75,0	41	72,6	65,1	22
	9	59,8	65,0	40	-	-	-	71,5	75,0	41	75,2	66,4	18
	10	62,9	69,7	57	-	-	-	71,8	76,6	41	67,7	66,5	37
	11	69,1	67,7	31	-	-	-	77,9	75,6	41	74,6	67,0	32
6	1	66,9	72,4	19	-	-	-	67,7	68,6	38	76,7	65,7	16
	2	68,1	66,7	23	-	-	-	71,2	72,0	39	78,3	66,7	13
	3	65,9	73,8	21	-	-	-	70,1	72,1	40	74,7	67,2	16
	4	64,1	70,0	20	-	-	-	69,6	72,6	38	73,7	66,5	14
	5	62,1	70,2	30	-	-	-	71,2	74,8	39	68,2	65,2	21
	6	65,7	67,6	23	-	-	-	74,8	73,6	41	74,4	67,0	29
	7	59,2	67,5	23	-	-	-	71,1	72,7	40	69,5	62,3	22
	8	65,5	70,7	33	-	-	-	71,4	72,8	39	73,9	67,5	16
	9	67,6	73,3	22	-	-	-	71,5	75,9	38	70,7	62,4	18
	10	65,2	69,3	24	-	-	-	71,9	73,8	38	76,9	66,0	16

Tabla C.2. Niveles de L_{Aeq} obtenidos, en dB(A), en cada una de las mediciones para las diferentes fases de ruido consideradas. *n* es la repetición, *a*) es el valor en la parte delantera del vehículo y *b*) en la parte posterior, *T* es la duración de la fase, expresada en segundos.

Tipología	n	Fase llegada			Fase operarios			Fase descarga			Fase marcha		
		posición		T	posición		T	posición		T	posición		T
		a)	b)		a)	b)		a)	b)		a)	b)	
7	1	64,3	60,6	30	-	-	-	68,0	63,2	59	66,2	73,7	18
	2	64,3	60,6	30	-	-	-	68,4	66,7	72	66,2	73,7	18
	3	71,6	71,7	13	-	-	-	69,6	69,5	61	72,1	68,3	27
	4	71,6	71,7	13	-	-	-	69,9	68,0	57	72,1	68,3	27
	5	71,6	71,7	13	-	-	-	71,6	68,7	64	72,1	68,3	27
	6	66,1	72,9	26	-	-	-	70,6	72,1	54	72,0	65,4	30
	7	66,1	72,9	26	-	-	-	70,1	71,2	58	72,0	65,4	30
	8	66,1	72,9	26	-	-	-	71,7	70,7	54	72,0	65,4	30
	9	66,0	66,0	36	-	-	-	74,9	70,8	57	71,2	65,9	29
	10	66,0	66,0	36	-	-	-	77,2	70,0	55	71,2	65,9	29
	11	63,5	69,3	27	-	-	-	67,6	69,2	76	76,5	65,9	27
	12	63,5	69,3	27	-	-	-	69,6	68,9	75	76,5	65,9	27
	13	63,5	69,3	50	-	-	-	71,2	67,5	76	76,5	65,9	27
	14	63,5	69,3	50	-	-	-	72,5	67,7	77	76,5	65,9	27
	15	62,5	68,6	50	-	-	-	69,0	76,2	84	70,0	67,5	41
	16	62,5	68,6	50	-	-	-	70,4	74,5	109	70,0	67,5	41
	17	58,5	68,6	41	-	-	-	64,5	73,2	90	64,8	63,0	86
	18	58,5	68,6	41	-	-	-	64,5	72,5	91	64,8	63,0	86
	19	61,7	64,5	13	-	-	-	67,1	69,8	77	69,2	64,6	24
	20	61,7	64,5	13	-	-	-	70,0	73,3	88	69,2	64,6	24
8	1	66,9	69,0	25	-	-	-	74,5	73,6	105	74,1	67,8	38
	2	66,6	68,2	20	-	-	-	75,7	75,0	115	78,3	68,6	15
	3	68,2	73,8	26	-	-	-	72,3	73,5	107	75,0	66,3	18
	4	62,3	64,5	30	-	-	-	75,2	74,9	113	72,8	63,7	26
	5	56,5	60,4	43	-	-	-	69,4	70,9	106	73,2	64,2	20
	6	66,3	72,0	25	-	-	-	75,1	77,3	118	76,1	66,6	30
	7	61,9	65,5	25	-	-	-	74,5	75,3	106	73,4	63,4	24
	8	62,9	65,5	23	-	-	-	74,2	74,5	92	70,0	60,7	41
	9	66,1	63,8	37	-	-	-	75,1	75,3	89	64,2	75,2	25
	10	61,7	61,9	34	-	-	-	71,8	73,1	95	63,1	75,0	23

Tabla C.3. Niveles de L_{Aeq} obtenidos, en dB(A), en cada una de las mediciones para las diferentes fases de ruido consideradas. *n* es la repetición, *a*) es el valor en la parte delantera del vehículo y *b*) en la parte posterior, *T* es la duración de la fase, expresada en segundos.

ANEXO D: Valores de los coeficientes de penalización ($K_r+K_t+K_i$) obtenidos en cada una de las mediciones en las diferentes fases de ruido

Tipología	n	$L_{Keq,Ti}$ [dB(A)]								$L_{Ar,i}$ [dB(A)]							
		F1		F2		F3		F4		F1		F2		F3		F4	
		a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
1	1	9	9	6	6	3	9	3	6	9	9	9	9	9	9	9	9
	2	3	9	9	6	6	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	3	9	6	9	9	9	9	6	6	9	6	9	9	9	9	6	6
	4	9	6	9	9	9	6	6	6	9	6	9	9	9	9	6	6
	5	9	3	3	3	9	3	9	3	9	9	9	9	9	9	9	6
	6	3	3	3	3	9	6	9	3	9	6	9	9	9	9	9	9
	7	6	6	3	3	3	3	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	8	3	9	3	3	6	6	6	6	9	9	9	9	9	9	6	6
	9	3	3	3	3	3	9	6	6	6	6	3	9	6	9	6	9
	10	3	3	3	6	0	3	0	3	9	6	9	9	3	6	6	9
	11	0	0	3	9	3	9	0	9	9	9	3	9	9	9	6	9
2	1	3	0	6	3	3	3	3	3	6	6	9	9	9	9	9	6
	2	0	0	3	3	3	0	3	3	6	6	9	9	9	9	9	6
	3	0	0	3	3	3	0	3	3	6	6	9	9	9	9	9	6
	4	3	0	6	0	3	0	6	3	0	6	9	6	9	9	9	6
	5	3	6	6	6	0	0	3	3	6	9	9	9	9	9	9	9
	6	3	6	6	9	3	0	3	3	9	9	9	9	3	9	3	6
	7	3	6	6	9	3	0	3	3	9	9	9	9	9	9	9	6
	8	0	3	6	3	3	0	3	3	0	3	9	9	3	9	9	6
	9	6	0	3	0	3	0	3	3	9	6	9	6	3	9	3	0
	10	3	0	3	6	0	3	3	6	9	0	9	9	9	9	6	9
	11	6	3	0	0	0	0	3	0	9	9	0	9	3	9	9	6
	12	6	0	6	3	3	0	3	0	9	0	9	9	9	9	9	6
3	1	3	0	6	6	0	3	3	3	6	6	9	9	9	9	6	9
	2	3	0	6	3	3	0	6	3	9	6	9	9	9	9	9	9
	3	3	0	6	3	6	0	6	3	9	6	9	9	9	9	9	9
	4	3	0	9	3	6	3	9	6	9	6	9	9	9	9	9	6
	5	0	0	6	3	6	3	3	3	6	9	9	9	9	9	6	6
	6	0	0	6	3	6	6	3	3	6	9	9	9	9	9	6	6
	7	3	0	3	9	3	6	3	3	0	6	9	9	9	9	9	6
	8	0	0	6	6	3	6	3	3	6	6	9	9	9	9	6	6
	9	6	3	3	3	9	3	9	6	9	9	9	9	9	6	9	9
	10	6	3	3	3	6	6	9	6	9	9	9	9	9	9	9	9
	11	6	6	6	6	3	3	0	3	9	9	9	9	9	9	6	6
	12	0	0	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	9	9	6	9
	13	6	0	6	6	3	0	0	0	9	6	9	9	9	9	9	6

Tabla D.1. Valores de los coeficientes de corrección. F1: fase llegada, F2: fase operarios; F3: fase descarga, F4: fase marcha, a) posición delantera, b) posición trasera

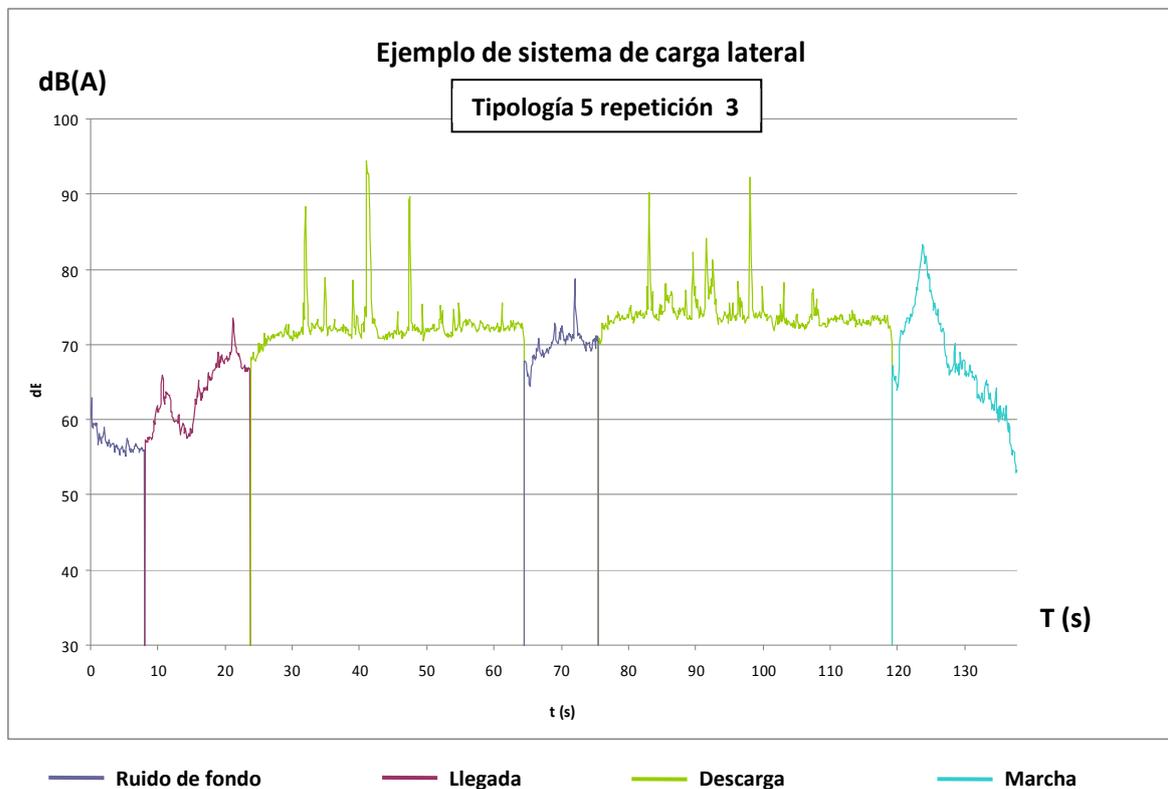
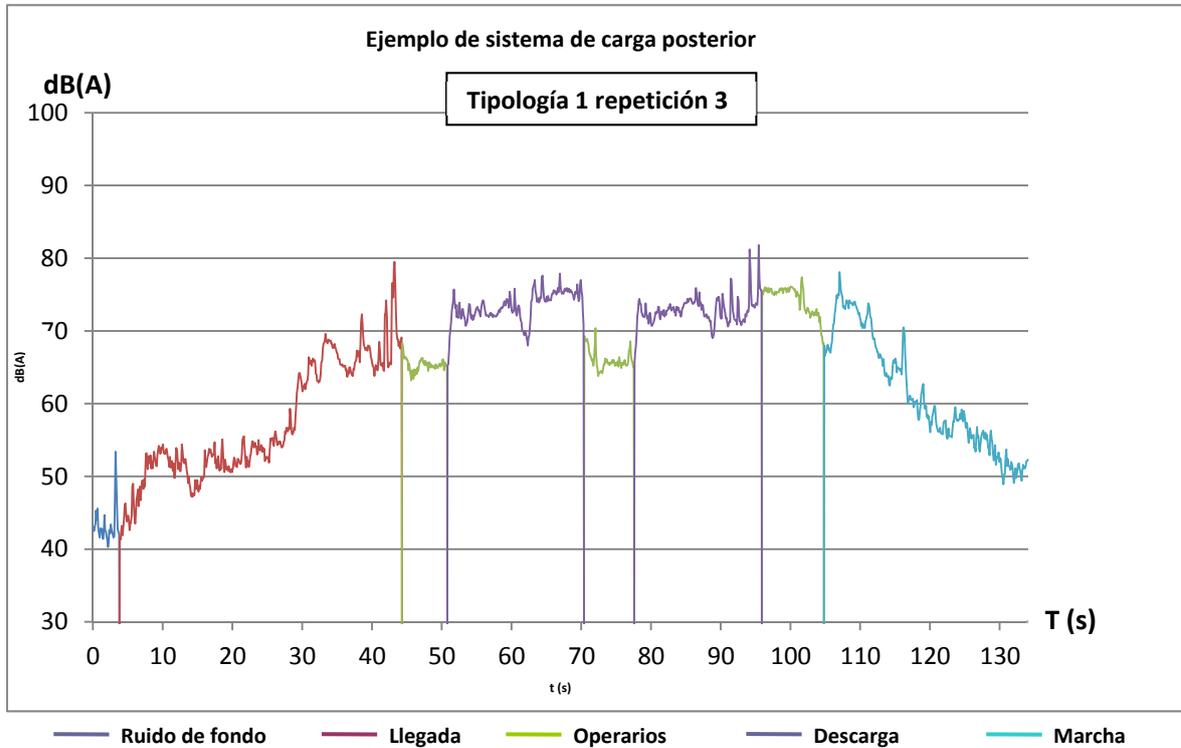
Tipología	n	L _{Keq,Ti} [dB(A)]								L _{Ar,i} [dB(A)]							
		F1		F2		F3		F4		F1		F2		F3		F4	
		a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
4	1	3	0	-	-	3	3	6	6	9	6	-	-	9	9	9	6
	2	0	0	-	-	3	3	6	6	9	9	-	-	9	9	9	9
	3	6	6	-	-	3	0	6	9	9	9	-	-	9	9	6	9
	4	3	6	-	-	3	3	6	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	5	6	3	-	-	6	3	6	6	9	9	-	-	9	9	9	6
	6	3	3	-	-	3	3	9	3	9	6	-	-	9	9	9	6
	7	3	3	-	-	3	3	6	3	9	9	-	-	9	9	3	9
	8	3	0	-	-	3	3	3	3	9	9	-	-	9	9	9	9
	9	0	0	-	-	3	6	9	3	9	9	-	-	9	9	9	6
	10	3	0	-	-	3	3	6	3	9	9	-	-	9	9	3	9
5	1	6	6	-	-	6	3	0	0	9	9	-	-	9	9	6	6
	2	3	3	-	-	3	3	9	6	6	6	-	-	9	9	9	6
	3	3	3	-	-	3	6	3	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	4	3	6	-	-	3	3	0	6	6	9	-	-	9	9	6	9
	5	3	3	-	-	3	3	0	0	9	9	-	-	9	9	0	6
	6	0	0	-	-	0	0	0	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	7	0	0	-	-	3	3	0	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	8	3	0	-	-	0	0	0	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	9	0	0	-	-	3	0	0	0	6	6	-	-	9	9	3	6
	10	6	0	-	-	0	0	3	3	9	6	-	-	9	9	6	6
	11	0	0	-	-	3	0	0	0	6	6	-	-	6	9	0	6
6	1	0	0	-	-	0	0	0	0	6	0	-	-	9	9	0	0
	2	0	0	-	-	6	3	0	0	6	6	-	-	9	9	0	0
	3	0	0	-	-	3	0	0	0	6	0	-	-	9	9	0	0
	4	0	0	-	-	6	0	0	3	6	6	-	-	9	9	0	6
	5	0	0	-	-	3	3	3	0	6	6	-	-	9	9	9	6
	6	0	0	-	-	6	0	0	3	6	0	-	-	9	9	0	9
	7	0	0	-	-	6	0	0	0	6	0	-	-	9	9	0	6
	8	0	0	-	-	6	0	3	0	9	0	-	-	9	9	6	6
	9	0	0	-	-	0	0	6	0	0	6	-	-	9	9	6	0
	10	0	0	-	-	9	6	0	0	6	0	-	-	9	9	3	6

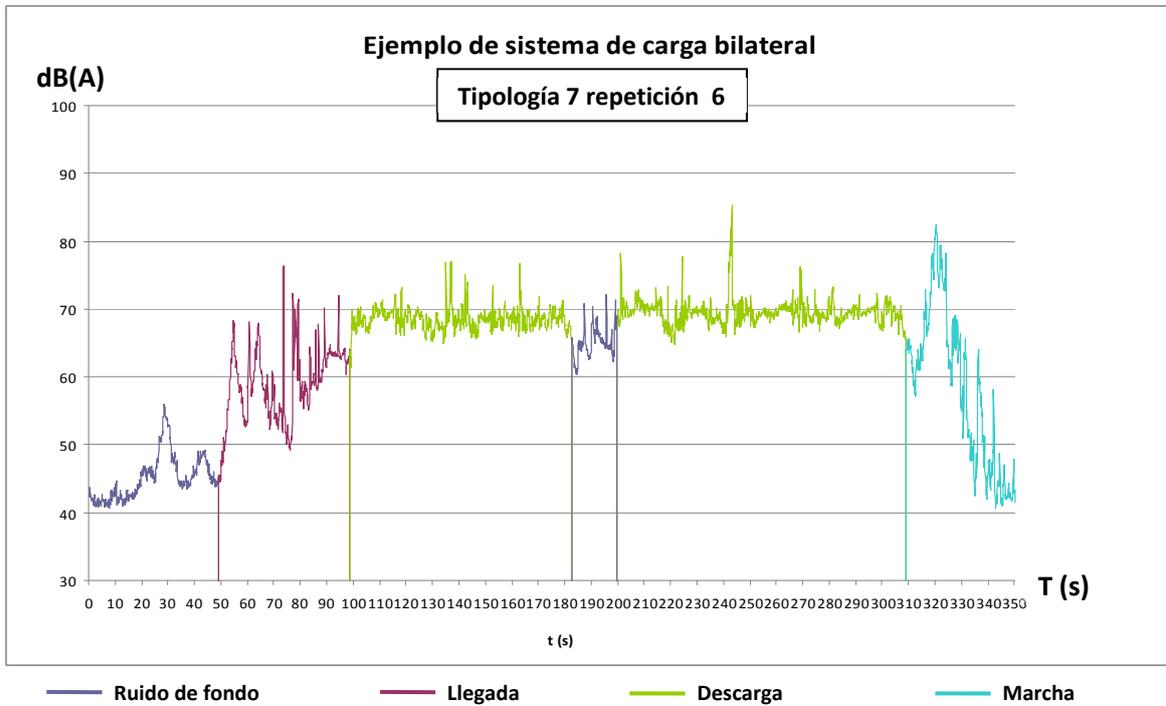
Tabla D.2. Valores de los coeficientes de corrección. F1: fase llegada, F2: fase operarios; F3: fase descarga, F4: fase marcha, a) posición delantera, b) posición trasera

Tipología	n	L _{Keq,Ti} [dB(A)]								L _{Ar,i} [dB(A)]							
		F1		F2		F3		F4		F1		F2		F3		F4	
		a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
7	1	9	6	-	-	9	6	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	2	9	6	-	-	9	9	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	3	3	3	-	-	9	9	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	4	3	3	-	-	9	6	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	5	3	3	-	-	9	9	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	6	9	6	-	-	6	9	9	6	9	9	-	-	6	9	9	6
	7	9	6	-	-	9	9	9	6	9	9	-	-	9	9	9	6
	8	9	6	-	-	9	9	9	6	9	9	-	-	9	9	9	6
	9	3	9	-	-	9	9	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	10	3	9	-	-	9	9	6	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	11	3	3	-	-	9	9	6	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	12	3	3	-	-	6	9	6	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	13	3	3	-	-	9	9	6	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	14	3	3	-	-	9	9	6	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	15	9	9	-	-	9	9	9	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	16	9	9	-	-	9	9	9	9	9	9	-	-	9	9	9	9
	17	9	9	-	-	9	9	9	6	9	9	-	-	9	9	9	6
	18	9	9	-	-	9	9	9	6	9	9	-	-	9	9	9	6
	19	6	6	-	-	6	9	9	9	6	6	-	-	9	9	9	9
	20	6	6	-	-	6	6	9	9	6	6	-	-	6	9	9	9
8	1	3	6	-	-	6	9	0	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	2	6	6	-	-	9	9	0	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	3	6	6	-	-	9	9	0	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	4	9	6	-	-	9	9	6	9	9	9	-	-	9	9	9	6
	5	9	9	-	-	9	9	0	6	9	9	-	-	9	9	6	6
	6	6	6	-	-	9	9	3	9	9	9	-	-	9	9	9	6
	7	6	6	-	-	9	9	0	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	8	9	9	-	-	9	6	3	3	9	9	-	-	9	9	6	6
	9	6	6	-	-	9	9	6	0	9	9	-	-	9	9	6	6
	10	9	6	-	-	9	9	6	0	9	9	-	-	9	9	6	6

Tabla D.2. Valores de los **coeficientes de corrección**. **F1:** fase llegada, **F2:** fase operarios; **F3:** fase descarga, **F4:** fase marcha, **a)** posición delantera, **b)** posición trasera

ANEXO E: Ejemplos de perfiles temporales de ruido de cada una de las tipologías estudiadas





GLOSARIO

dB: Decibelio. Unidad utilizada en la medición del nivel de presión sonora

$$dB = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0} \quad \text{donde,}$$

P es la variación de la presión y P_0 es la presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5} \text{N/m}^2$)

dB(A): Decibelio A. Unidad utilizada en la medición del nivel de presión sonora haciendo uso de la curva de ponderación A, para ajustarse mejor a la percepción humana

Hz: Hertz. Unidad de frecuencia ($1 \text{Hz} = 1/\text{s}$).

L_{Aeq} : Nivel de presión sonora equivalente, ponderado A, durante un determinado periodo de tiempo.

L_{AFmax} : Nivel máximo de presión sonora equivalente, ponderado A, y integrado temporalmente con la constante fast.

L_{A1eq} : Nivel de presión sonora equivalente, ponderado A, y integrado temporalmente con la constante impulse.