

## UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA EN EXTERIORES. EFECTO SOBRE EL NIVEL DE PRESIÓN SONORA

PACS: 43.50.Sr

Montes González, D; Barrigón Morillas, J.M.  
Dpto. de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura.  
Avda. de la Universidad, s/n  
10071 Cáceres  
España  
Tel.: +34 927 257 195  
Fax: +34 927 257 203  
dmontesg@alumnos.unex.es; barrigon@unex.es.

### ABSTRACT

Carrying out acoustical measurements to elaborate an urban noise map, we usually take the international standard ISO 1996-2:2007 as a reference. However, this standard doesn't determine the precise location where you should place the measurement equipments; offering, in some cases, corrections for the measured sound pressure level.

In this paper, we have carried out simultaneous measurements with two sound level meters to study the effect of varying the location of the measuring equipment in terms of height and distance from the rear façade.

### RESUMEN

En la realización de medidas acústicas "in situ" para la elaboración de mapas de ruido urbano es habitual tomar como referencia la norma internacional ISO 1996-2:2007. Sin embargo, esta norma no determina con precisión la posición en la que se deben situar los equipos de medida; proponiendo, en determinados casos, correcciones para el nivel de presión sonora medido.

En el presente trabajo se han llevado a cabo medidas simultáneas con dos sonómetros para estudiar el efecto producido al variar la situación de los equipos de medida en cuanto a la altura y a la distancia respecto a la fachada posterior.

### INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, la sociedad en la que vivimos ha ido sufriendo una evolución continua, desarrollándose nuevos medios de transporte y produciéndose un gran crecimiento de las ciudades debido al aumento de la población. Todo ello ha conllevado un aumento progresivo de los niveles de ruido existentes en diferentes tipos de entornos, desembocando en

un problema actual como es el de la contaminación acústica, que además tiene repercusiones directas en la salud de los ciudadanos [1].

Con el fin de actuar sobre este problema, la normativa en esta materia se ha desarrollado notablemente en los últimos años, siendo notorio también el aumento de los estudios para la evaluar el ruido ambiental en diferentes entornos [2,3]. En este sentido, hay que indicar que la norma internacional ISO 1996-2:2007 [4] ha servido como base para la elaboración de numerosas legislaciones, ya que, entre otros aspectos, describe el método de cálculo y el procedimiento de medición del nivel de presión sonora en ambientes interiores y exteriores.

Sin embargo, se puede considerar que esta norma contiene algunas imprecisiones en el procedimiento de medida en ambientes exteriores que podrían resultar determinantes en los resultados obtenidos. En primer lugar, es preciso señalar que la norma ISO 1996-2:2007 no determina de forma explícita la distancia a la que se debe situar el equipo de medida respecto a la fachada o a la fuente sonora, dejando esta elección al buen hacer del técnico. Sin embargo, sí propone unas correcciones básicas que se deben realizar en los valores de los niveles sonoros medidos en función de la distancia a la fachada. En esta línea se han realizado algunos estudios [5] que ponen de manifiesto que, en condiciones reales de medida, los valores obtenidos para estas correcciones pueden llegar a ser muy diferentes a los indicados en dicha norma.

Por otro lado, la norma ISO 1996-2:2007 establece diferentes posibilidades en cuanto a la altura a la que hay que colocar el micrófono para realizar mapas de ruido, sin embargo, no hace mención alguna a las correcciones que se deben aplicar en cada caso, así como tampoco lo hace el Real Decreto 1367/2007 [6]. En este sentido, algunos estudios [7] parecen indicar que los niveles sonoros registrados a alturas de 1,5 y 4 metros de altura no presentan diferencias relevantes.

Por todos los motivos que se han expuesto, se ha considerado que sería muy interesante dar continuidad a las investigaciones realizadas en relación con la posición del micrófono en el procedimiento de medida en ambientes exteriores, intentando llevar a cabo un estudio exhaustivo del efecto que supone la variación de la posición del equipo de medida en cuanto a su distancia a la fachada y a la altura.

## **METODOLOGÍA**

En cuanto a la metodología empleada en este proyecto, parece lógico seguir la línea de los estudios previos. La idea es realizar medidas simultáneas con dos equipos sincronizados, de manera que se establezca una posición fija o de referencia para uno de ellos y el otro pueda desplazarse en sentido vertical u horizontal, según corresponda, determinando las diferencias del nivel de presión sonora entre ambos.

Para ello, se han establecido tres bloques de medidas diferentes, los cuales se han llevado a cabo en diferentes puntos seleccionados en la ciudad de Cáceres:

- Bloque 1: variación de la distancia a la fachada posterior con los equipos de medida situados a 1,5 metros de altura
- Bloque 2: variación de la distancia a la fachada posterior con los equipos de medida situados a 4 metros de altura
- Bloque 3: variación de altura con los equipos de medida situados a 3 metros de la fachada posterior.

Mediante la realización de las medidas pertenecientes a los bloques 1 y 2, se pretendía evaluar el efecto que produce la variación de la distancia del equipo de medida a la fachada en el nivel de presión sonora. Para ello, se estimó que era interesante realizar medidas en los puntos considerados en la norma ISO 1996-2:2007 en función de los cuales propone las

diferentes correcciones, es decir, a 0; 0,5 y 2 metros de la fachada posterior, así como la distancia de 1,2 metros que establece el Real Decreto 1367/2007 como distancia mínima a la fachada. Además, teniendo en cuenta algunos de los estudios citados en la introducción, se estimó como otro posible punto de interés aquel situado a 3 metros de la fachada.

Dado que la norma ISO 1996-2:2007 no establece ninguna corrección a partir de la distancia de 2 metros de la fachada, se ha considerado como equipo de referencia aquel situado a esta distancia; mientras que el equipo móvil se ha ido situando en el resto de posiciones (0; 0,5; 1,2 y 3 metros).

En segundo lugar, se llevaron a cabo las medidas del bloque 3, con el fin de estudiar el efecto que produce la variación de la altura del equipo de medida en el nivel de presión sonora. En este caso, se ha estimado oportuno seleccionar aquellas alturas que propone la norma ISO 1996-2:2007 para la elaboración de mapas de ruido: 4; 1,5 y 1,2 metros de altura. Además, se ha considerado interesante una altura intermedia entre ellas de 2,5 metros y otra altura superior a 4 metros, en concreto a 6 metros, con el fin de ver su posible correspondencia con las correcciones propuestas en la "Guide du Bruit des Transports Terrestres: Prevision des Niveaux Sonores" [8].

En este bloque, se ha considerado como equipo de referencia aquel situado a 4 metros de altura, ya que es la altura que recomienda como preferente el Real Decreto 1367/2007, ubicando el equipo móvil en las demás posiciones indicadas (1,2; 1,5; 2,5 y 6 metros).

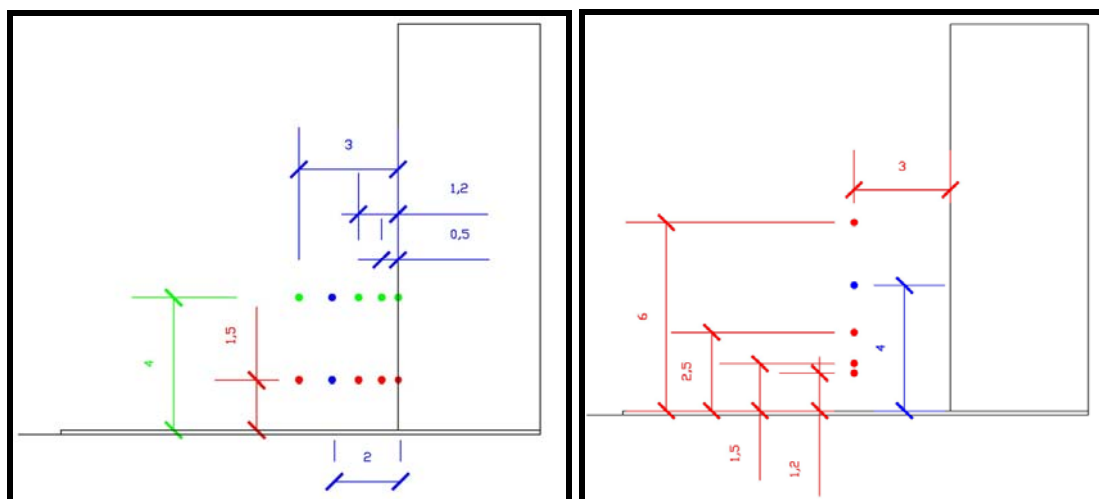


Figura 1: Esquema para los bloques 1 y 2

Figura 2: Esquema para el bloque 3

Es preciso indicar que, en relación con la posición de medida situada a 0 metros de la fachada (con el micrófono situado junto a la superficie reflectante), no se van a cumplir estrictamente las indicaciones de la Norma ISO 1996-2:2007, puesto que ésta indica que el micrófono debe montarse directamente sobre la superficie reflectante y en nuestro estudio, aunque se ha colocado apoyado en dicha superficie, siempre se ha hecho con el equipo situado en su correspondiente trípode o pértiga extensora, según el caso, ya que se pretendía medir en todas las posiciones de cada bloque con los equipos colocados de la misma manera.

En cualquier caso, según los diagramas de la respuesta direccional del micrófono 4950 de Brüel& Kjær, la variación de 45º en la orientación del equipo de referencia respecto al equipo móvil cuando este se sitúa a 0 metros de la fachada en el bloque 1, no supone ninguna diferencia considerable del nivel sonoro registrado para frecuencias inferiores a 10 KHz.

En cuanto al tiempo de medida, se decidió organizar el trabajo en series de mediciones de una hora de duración, compuestas por 4 medidas (una para cada pareja de medidas a cada distancia de la fachada o del suelo, según el bloque) de 15 minutos cada una.

Los equipos de medida, dos sonómetros-analizadores 2250–Light de Brüel& Kjær, se configuraron para tomar valores de diferentes índices acústicos: nivel equivalente ( $L_{eq}$ ), niveles de presión sonora máximos y mínimos ( $L_{MAX}$  y  $L_{MIN}$ ) y los niveles percentiles ( $L_{1}$ ,  $L_{5}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$  y  $L_{99}$ ), aunque el índice que se ha empleado en el estudio es el nivel equivalente. En cuanto a las ponderaciones, los equipos citados permiten la posibilidad de aplicar simultáneamente diferentes ponderaciones temporales (F, S e I) y frecuenciales (A, C y I).

Las mediciones se han realizado, siempre en horario diurno, siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 1996-2:2007 en cuanto al rango de frecuencias, eligiendo las bandas de tercios de octava cuyas frecuencias centrales estén comprendidas entre 50 Hz y 10 KHz. Además, se ha utilizado una hoja de datos para anotar en cada medida el flujo de tráfico de vehículos y toda la información relacionada con el proceso de medida, siguiendo las recomendaciones de las normas ISO-1996 partes 1 y 2 [9,4].

Con respecto a los puntos de medida seleccionados en la ciudad de Cáceres, se han seguido tres criterios fundamentalmente para su elección. En primer lugar, se hizo una distinción del tipo de vía urbana en función de su perfil arquitectónico y urbanístico, distinguiendo entre calles o avenidas de perfil cerrado (o en forma de U) y abierto (en forma de L o abierto), para lo que se han seguido los criterios de la "Guide du Bruit des Transports Terrestres: Prevision des Niveaux Sonores". Esta guía indica que una calle en U debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{H_2}{l} \geq 0,2$$

Donde  $H_2$  es la altura del edificio más bajo y  $l$  es la distancia entre edificios.

En el presente trabajo, se ha decidido llevar a cabo las medidas "in situ" solamente en calles o avenidas urbanas con perfil cerrado.

A continuación, puesto que se pretendía realizar un muestreo que incluyera la mayor diversidad posible, en cuanto a las características urbanísticas y arquitectónicas de las vías, para obtener unos resultados no sesgados, se seleccionaron calles de perfil en U con diferente número de carriles, con diferente relación  $H_2/l$ , con diferente distancia a la fuente sonora, con diferente flujo de tráfico, con diferente velocidad de circulación de los vehículos, etc.

En tercer lugar, para la selección de puntos se tuvieron en cuenta las consideraciones incluidas en el anexo B de la norma ISO 1996-2:2007 sobre la posición del micrófono con respecto a los bordes de las superficies reflectantes. Este anexo establece una distancia mínima entre el punto que es proyección del punto de medida en la superficie reflectante hasta los bordes esta misma superficie, en función de la distancia del punto de medida a la fachada y de la altura a la que se sitúa el micrófono.

Atendiendo a estos tres criterios, se eligieron un total de 6 puntos de medida distribuidos por la ciudad de Cáceres.

Un último factor que se ha tenido en cuenta durante el estudio, aunque no por ello es menos importante, es que la variación de la distancia a la fachada y de la altura a la que se coloca el equipo móvil de medida supone un acercamiento o alejamiento a la principal fuente de ruido urbano en una ciudad, como es el tráfico rodado de vehículos. Por este motivo, a pesar de que ni la norma ISO 1996-2:2007 ni el Real Decreto 1367/2007 tienen en consideración esta circunstancia, se ha estimado de interés el hecho de aplicar la corrección

por distancia a la fuente lineal [10] para estudiar el efecto que puede tener sobre el nivel de presión sonora medido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes tablas se muestra el valor promedio de las diferencias del nivel equivalente registrado por el sonómetro móvil y por el sonómetro de referencia, con y sin corrección por distancia a la fuente sonora, para las distintas posiciones en las que se ubica el sonómetro móvil con respecto a la fachada anterior (bloques 1 y 2) y al variar la altura de medida (bloque 3). También se ha calculado el error típico para cada una de las medidas.

a) Bloque 1: variación de la distancia a la fachada posterior (a 1,5 m de altura)

	Distancia a la fachada (m)		Valor promedio (dBA) $L_{EQ}(Sm)-L_{EQ}(Sr)$	
	Sonómetro móvil (Sm)	Sonómetro de referencia (Sr)	Sin corrección de distancia a fuente sonora	Con corrección de distancia a fuente sonora
<b>Medida 1</b>	0,0	2,0	$1,1 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,2$
<b>Medida 2</b>	0,5	2,0	$-0,4 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
<b>Medida 3</b>	1,2	2,0	$-0,2 \pm 0,0$	$0,3 \pm 0,1$
<b>Medida 4</b>	3,0	2,0	$0,3 \pm 0,1$	$-0,4 \pm 0,1$

Tabla 1: Resultados obtenidos para  $L_{AEQ}$  en el bloque de medidas 1

b) Bloque 2: variación de la distancia a la fachada posterior (a 4 m de altura)

	Distancia a la fachada (m)		Valor promedio (dBA) $L_{EQ}(Sm)-L_{EQ}(Sr)$	
	Sonómetro móvil (Sm)	Sonómetro de referencia (Sr)	Sin corrección de distancia a fuente sonora	Con corrección de distancia a fuente sonora
<b>Medida 1</b>	0,0	2,0	$2,0 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$
<b>Medida 2</b>	0,5	2,0	$0,6 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,2$
<b>Medida 3</b>	1,2	2,0	$0,2 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
<b>Medida 4</b>	3,0	2,0	$0,2 \pm 0,0$	$-0,2 \pm 0,0$

Tabla 2: Resultados obtenidos para  $L_{AEQ}$  en el bloque de medidas 2

c) Bloque 3: variación de altura (a 3m de la fachada):

	Altura (m)		Valor promedio (dBA) $L_{EQ}(S_m) - L_{EQ}(S_r)$	
	Sonómetro móvil ( $S_m$ )	Sonómetro de referencia ( $S_r$ )	Sin corrección de distancia a fuente sonora	Con corrección de distancia a fuente sonora
<b>Medida 1</b>	1,2	4,0	$-0,7 \pm 0,2$	$-1,9 \pm 0,4$
<b>Medida 2</b>	1,5	4,0	$-0,8 \pm 0,3$	$-1,8 \pm 0,5$
<b>Medida 3</b>	2,5	4,0	$-0,2 \pm 0,1$	$-0,9 \pm 0,2$
<b>Medida 4</b>	6,0	4,0	$0,4 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$

Tabla 3: Resultados obtenidos para  $L_{AEQ}$  en el bloque de medidas 3

Analizando las tablas 1 y 2, correspondientes respectivamente a los bloques 1 y 2, podemos destacar como factor común el hecho de que las mayores diferencias del nivel equivalente registrado por los equipos de medida se obtienen en la medida 1, en la que el sonómetro móvil está pegado a la fachada. Además, el hecho de que tengan un valor positivo, nos viene a decir que el nivel sonoro captado por el equipo móvil es mayor que el del equipo de referencia. Este hecho podría explicarse fundamentalmente por la influencia del campo sonoro reflejado en la fachada, como así indica la norma ISO-1996-2.

Otro de los aspectos en común que se pueden observar para los datos obtenidos en los bloques 1 y 2, tanto sin corrección como con ella, es que, a medida que el micrófono móvil se aleja de la fachada, las diferencias del nivel equivalente entre ambos equipos se van reduciendo.

Si nos centramos en los resultados del bloque 1, donde se trata de valorar el efecto que produce la variación de la distancia a la fachada del equipo de medida (a 1,5 metros de altura), se comprueba que, para las medidas 2, 3 y 4, las diferencias del nivel equivalente entre los dos equipos son poco significativas, tanto con la corrección por distancia a la fuente como sin ella. Sin embargo, en la medida 1 alcanza valores de mayor consideración, sobre todo en el caso en el que se aplica la corrección, donde toma un valor de 2,3 dBA.

En el bloque 2, donde se pretende realizar el mismo análisis que en el bloque 1 pero con los micrófonos de medida situados a 4 metros de altura, la tendencia que siguen los resultados es muy parecida, aunque en este caso las diferencias del nivel equivalente registrado por ambos equipos comienzan a tomar valores relevantes ya en la medida 2, donde alcanza un valor de 1,3 dBA al aplicar la corrección por distancia a la fuente. Además, en la medida 1 se observan también valores mayores a los obtenidos en el bloque 1, tomando valores de 2,0 y 2,9 dBA, respectivamente, con y sin la corrección.

Si comparamos estos resultados obtenidos experimentalmente mediante medidas "in situ" con las correcciones por distancia a la fachada propuestas por la norma ISO 1996-2:2007, es necesario distinguir dos casos:

- a) Micrófono situado directamente sobre una superficie reflectante: para esta posición del micrófono, que se corresponde con la medida 1 de los bloques 1 y 2, la norma propone una corrección de -6 dB. Sin embargo, los resultados obtenidos de forma experimental muestran unas diferencias de 1,1 dBA (sin corrección) y 2,3 dBA (con corrección) para el bloque 1, mientras que para el bloque 2 son de 2,0 dBA (sin corrección) y 2,9 dBA (con corrección).

- b) Micrófono situado cerca de una superficie reflectante: para esta posición del micrófono, que se corresponde con las medidas 2 y 3 de los bloques 1 y 2, la norma propone una corrección de -3dB. En cambio, las diferencias máximas obtenidas mediante mediciones de campo son de 0,6 dBA (sin corrección) y 1,3 dBA (con corrección).

Si pasamos ahora a analizar la tabla 3, correspondiente al bloque de medidas 3 para evaluar el efecto que produce la variación de la altura del equipo de medida en el nivel de presión sonora, podemos observar que las mayores diferencias del nivel equivalente se obtienen en las medidas 1 y 2, en las cuales el sonómetro móvil está situado a 1,2 y 1,5 metros de altura respectivamente, siendo estas diferencias además muy similares entre sí. En este caso, los valores que toman son negativos, lo que nos indica que el equipo de referencia ha registrado un mayor nivel sonoro que el equipo móvil.

Otro aspecto importante que se puede apreciar es que a medida que va aumentando la altura del equipo móvil, éste va registrando un nivel equivalente cada vez mayor en relación al del equipo de referencia, llegando incluso a obtenerse diferencias con signo positivo en el caso de la medida 4, en la que el micrófono del equipo móvil está situado a 6 metros de altura.

Si por un lado analizamos los valores obtenidos sin aplicar la corrección por distancia a la fuente, podemos considerar que las diferencias del nivel equivalente registrado por ambos equipos no son especialmente significativas, pues en todos los casos son inferiores a  $\pm 1$  dBA. En cambio, aplicando la corrección, si se observan diferencias del nivel equivalente a tener en cuenta, pues en el caso de las medidas 1 y 2 están en torno a los -2 dBA y en el caso de la medida 4 alcanzan un valor máximo de 1,2 dBA.

En este sentido, hay que recordar que ni la norma ISO 1996-2:2007 ni el Real Decreto 1367/2007 establecen valores concretos para la corrección a aplicar al variar la altura del micrófono de medida, por lo que no se puede realizar una comparativa con los resultados obtenidos.

En relación con este mismo tema, la "Guide du Bruit des Transports Terrestres: Prevision des Niveaux Sonores" propone, para aquellos receptores situados por encima de los 4 metros, una atenuación por altura que varía en función de dos parámetros: la altura del equipo de medida y la distancia de separación entre las fachadas de los edificios situados a ambos lados de la vía. Si tenemos en cuenta que el promedio de la distancia entre las fachadas para nuestro estudio es de  $37 \pm 8$  metros y que la altura del micrófono móvil en la medida 4 es de 6 metros, la atenuación del nivel sonoro según esta norma sería de aproximadamente 0,1 dBA. Sin embargo, los datos obtenidos de forma experimental en la medida 4 nos muestran que el nivel sonoro registrado por el equipo móvil es superior al del equipo de referencia, adquiriendo este incremento cierta relevancia en el caso de aplicar la corrección por distancia a la fuente sonora.

## CONCLUSIONES

La primera de las conclusiones que se ha obtenido con la realización de este estudio es que las correcciones por distancia a la fachada propuestas por la norma ISO 1996-2:2007 difieren bastante de los resultados obtenidos de forma experimental, tanto si los equipos de medida se sitúan a 1,5 metros de altura como a 4 metros. De este modo, se plantea la posibilidad de revisar los criterios con los que se aplican estas correcciones para tratar de ajustarlas, en la medida de lo posible, a la realidad.

Otro de los aspectos que se pone de manifiesto en este proyecto, a tenor de los resultados obtenidos, es la necesidad de establecer unos criterios en la normativa para realizar correcciones de los niveles sonoros en función de la altura a la que se colocan los equipos de medida en ambientes exteriores.

En último lugar, considerando que en los tres bloques de medida, el hecho de aplicar la corrección por distancia a la fuente sonora supone una variación considerable de las diferencias del nivel equivalente registrado por ambos equipos de medida, nos hace plantear la posibilidad de seguir realizando estudios de investigación en esta línea.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Martimportugués, C.; Gallego, J.; Domingo, F. Efectos del ruido comunitario. Revista de Acústica, Vol.34, 2003.
- [2] Lasa, J.; Rincón, E.; Aurrekoetxea, J.M.; de la Torre, M.A. Mapa Estratégico de Ruido de Bilbao e Información de la Población. Congreso Español de Acústica Tecniacústica 2009.
- [3] Jiménez Díaz, S.; Romeu Garbí, J.; Genescà Francitorra, M.; Alsina Sánchez, A. Planes específicos para la reducción de la contaminación acústica de la ciudad de Terrasa. Congreso Español de Acústica Tecniacústica 2010.
- [4] ISO 1996-2: 2007. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels. International Organization for Standardization, Switzerland, 2007
- [5] Barrigón, J.M.; Gómez, V.; Fondón, M.C.; Sáenz, E; Rey, G.; Carmona, J.; Vílchez, R.; Méndez, J.A. La medida del ruido en las calles. Efectos de la situación del equipo de medida. Congreso Español de Acústica Tecniacústica 2009.
- [6] R.D. 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [7] Vechiatti, N.; Gomez, P.; Gavinowich, D.; Feo, W.; Iasi, F.; Sinnewald, D; Ciccarella, P; Ruffa, F. Mediciones comparativas de niveles de presión sonora a diferentes alturas en el ámbito urbano. Congreso Español de Acústica Tecniacústica 2009.
- [8] Ministère de L'Environnement et du cadre de vie (Ministère des transports). Guide du Bruit des Transports Terrestres. Prevision des Niveaux Sonores, 1980
- [9] ISO 1996-1: 2003. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International Organization for Standardization, Switzerland, 2003
- [10] Harris, C.M. Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, McGraw-Hill, New York, 1998