

COMPARATIVA DE ATENUACIÓN ACÚSTICA EN FUNCIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CORONACIÓN

PACS: 43.50.Gf.

Abad Toribio, Laura ¹, Colorado Aranguren, David ¹, García Martín, Tomás ¹, Retana Maqueda, M^a Jesús ¹, Serrano Pérez, Marta ¹, Magro Andrade, Rafael ².

(1) Física Aplicada e Ingeniería Ambiental, Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X el Sabio.

Avda de la Universidad s/n, 28690, Villanueva de la Cañada, Madrid

Tel: 918 105 207

Fax: 918 109 101

E-mail: labad@uax.es

(2) ASIMAG, Consultora de Formación, Grupo de Ingeniería Acústica, C/Alicante 4, 28045, Madrid

Tel: 689 102 679

Fax: 914 730 190

E-mail r.magro@asimag.net

ABSTRACT

Acoustic attenuation in a border screen model has been measured varying height measurement (ground level, medium height, and on the top), ridge section (eight sections) and emission frequency (in the range between 63 and 5000 Hz). The last one strongly influences the attenuation and also the profile shape, height is the least influential variable. In order to a global estimation, to obtain the most adequate traffic noise reduction, an assessment considering eight different profiles was made.

RESUMEN

La atenuación acústica en una pantalla con cumbrera se ha medido en maqueta variando la altura de medición (nivel del suelo, media altura, y sobre la cumbrera), la sección de la cumbrera (ocho perfiles) y la frecuencia de emisión (en el rango entre 63 y 5000 Hz). Esta última influye fuertemente en la atenuación, así como la forma del perfil, siendo la altura la variable menos influyente. Para los ocho diferentes perfiles del ensayo se ha realizado una valoración con el fin de estimar globalmente cuál es el más idóneo para atenuar el ruido de tráfico rodado.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la contaminación acústica y a sus efectos perjudiciales en la salud de la población, el empleo de barreras o pantallas acústicas se ha visto notablemente incrementado en los últimos años. En la actualidad a la hora planificar e implementar su diseño únicamente se realiza una simple valoración económica, o valoraciones técnicas basadas en criterios constructivos obviando otras consideraciones. En este trabajo de investigación se demuestra cómo el comportamiento acústico de la pantalla es sumamente sensible a la variación geométrica de la coronación, es decir a las diferentes formas geométricas que puede adoptar el borde superior de la misma. Dado que la difracción del sonido sobre la cumbrera de la pantalla es la que condiciona su eficacia, el poder estudiar cómo la sección transversal de la coronación del apantallamiento puede influir en la atenuación del nivel sonoro al otro lado de la pantalla, es de máxima importancia y podría suponer grandes mejoras en su construcción.

Para el diseño de la ecuación del borde de la pantalla se emplean ecuaciones matemáticas complejas (basadas muchas veces en métodos de contorno) en las que se manejan entre otras variables la longitud de onda y las dimensiones del borde para alterar las regiones de sombra según nos interesen. Debido a la dificultad que presentan dichas ecuaciones una práctica muy generalizada es la experimentación con una serie de soluciones propuestas. En los estudios realizados hasta ahora empleando perfiles especiales, la mejora en la eficacia de la pantalla no ha sido sustancial aunque, estos estudios no han sido tampoco muy numerosos. Normalmente este tipo de estudios se han realizado sobre modelos a escala reducida pasando posteriormente, en aquellos modelos prometedores, a ensayos a escala real. Sólo la medición en una maqueta hace que se pueda prever el comportamiento de la pantalla acústica antes de realizarla. Los primeros ensayos donde la sección transversal de la coronación de la pantalla tenía diferentes geometrías fueron realizados por May y Osman [1], en la década de los 80. En 1991, Hothersall [2], repitió los ensayos de los autores antes mencionados empleando métodos numéricos. Existen otras referencias donde se realizan estudios basados en métodos de cálculo que pueden verse en la referencia [3]. En la referencia [4] se analiza el comportamiento de pantallas lisas, y con cumbre en L invertida, en T, en Y, circular y triangular, pero para la reducción del ruido aerodinámico de trenes de alta velocidad, no para el ruido de tráfico rodado.

2. SISTEMA EXPERIMENTAL

El sistema experimental diseñado en la Escuela Politécnica de la Universidad Alfonso X el Sabio, cuenta con dos partes principales: la caja anecoica y un equipo electroacústico (ver Figura 1). Este sistema experimental ya ha sido descrito en la referencias [5] y [6], y básicamente está constituido por.

- Una caja anecoica de dimensiones totales son 50 x 50 x 52 (cm) (largo, ancho, alto una vez añadida la cumbre de 8 cm de altura), para ensayar pantallas acústicas a escala con diferentes secciones transversales de la cumbre.
- Ocho perfiles de diferentes geometrías (Rectangular, Triangular, Escalonada, en L, en V, Semicircular, Cuarto de Círculo, sección Curva) que se disponen sobre la pantalla.
- Equipo electroacústico que permite emitir ruido de distinta frecuencia de forma controlada (fuente emisora, sonómetros, altavoz, ecualizador...)
- Mediante el empleo de dos sonómetros de tipo T-1 se ha registrado la atenuación acústica generada por cada pantalla con los diferentes perfiles y a diferentes alturas. El primero de los sonómetros se ha colocado entre el foco emisor de ruido y la pantalla. El segundo, se sitúa en el interior de la caja acústica, justo detrás de la barrera. La denominada atenuación es la diferencia entre las lecturas del L_{eq} de los sonómetros situados en el exterior y en el interior de la caja acústica.

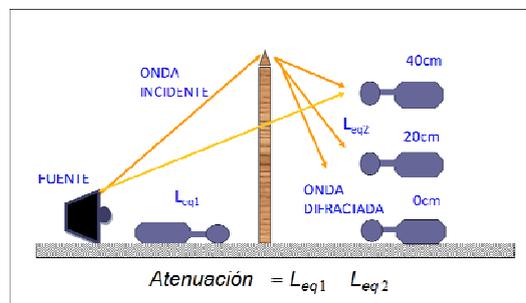


Figura 1: Esquema del sistema experimental y de la metodología de toma de datos.

Se han realizado mediciones empleando las diferentes geometrías de cumbre sometidas a un espectro de frecuencias comprendido entre 63 y 5000 Hz. Los valores de L_{eq} transmitido para cada perfil se miden a tres alturas (0 cm, 20 cm y 40 cm) y para 12 frecuencias, así

durante la fase de experimentación se han realizado 36 ensayos por perfil. Cada uno de los 36 ensayos se ha repetido 6 veces con el fin de obtener un valor medio estadístico de cada medida, lo que nos da un total de 216 mediciones para cumbrera. Al tener 8 perfiles se han realizado un total de 1728 ensayos.

3. ANÁLISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS. BAREMO GLOBAL.

Una vez realizados los registros se han analizado los resultados obtenidos, buscando las relaciones existentes entre la atenuación, la altura de medición, las frecuencias de emisión y los diferentes perfiles de la cumbrera de la pantalla. De este modo, podremos valorar cual de las distintas geometrías de perfil superior de pantalla empleadas en el estudio resulta ser la más eficaz.

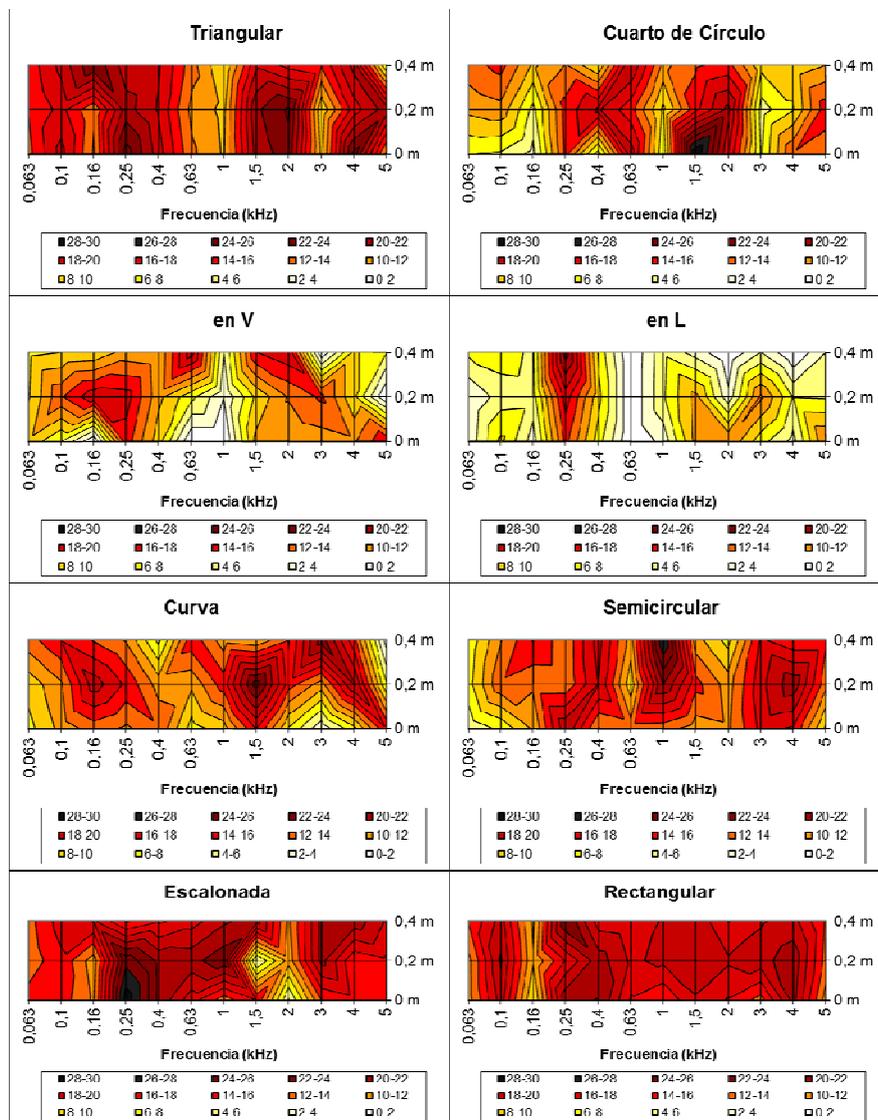


Figura 2: Curvas de atenuación para los ocho perfiles empleados en el estudio.

En las Figuras anteriores (Figura 2) se muestran las representaciones de las atenuaciones registradas en 2 dimensiones (curvas de nivel) para todos perfiles empleados, con el fin de comparar los registros obtenidos de forma más visual. Se representa para cada sección la

atenuación en función de la frecuencia y la altura sobre la que se realiza la medición, la escala de color varía desde el blanco (atenuación mínima) hasta el negro (atenuación máxima). Podemos observar cómo la representación gráfica más oscura corresponde a uno de los perfiles que mayores atenuaciones producen, la más clara que se muestra correspondería a aquel que cómo mostramos más adelante resulta ser menos eficaz.

Después de haber realizado los primeros análisis, todo parece indicar que además de funcionar adecuadamente la pantalla acústica cuyo perfil superior es sección Rectangular a 90º, (el borde de pantalla más ampliamente empleado en la actualidad) también podrían funcionar eficazmente los perfiles cuyas secciones transversales son Triangular y Escalonada. El perfil de sección transversal en L es aquel con el que menores atenuaciones al otro lado de la pantalla se obtienen, por lo que en principio no sería un perfil adecuado para su construcción a escala real.

Para confirmar estos resultados se ha realizado una valoración que nos ha permitido clasificar las diferentes cubreras usando para ello la atenuación media obtenida durante los ensayos. Para cada una de las frecuencias de ensayo, y para cada una de las alturas se ha asignado el valor de 1 a la atenuación máxima. Por ejemplo a 63 Hz de frecuencia y para 0 cm de altura la atenuación máxima se consigue con la pantalla de sección Escalonada, siendo ésta de 14,9 dB (ver Tabla I). Por ello se asigna a esta atenuación el valor de la unidad y se divide cada una de las atenuaciones obtenidas con los otros perfiles y para esta misma altura y frecuencia por 14,9. Para cada altura y frecuencia de emisión se repite el proceso dividiendo siempre por el máximo valor obtenido, calculando de este modo un baremo que hemos denominado tasa de eficiencia (en %). A continuación se muestran las Tablas y las Gráficos en las que aparecen normalizadas las atenuaciones medias obtenidas, para las doce frecuencias emitidas en los ensayos, a todas las alturas de registro y para cada uno de los perfiles superiores empleados en este trabajo. En las Tablas I, II y III el valor indicado como TOTAL se obtiene como la suma de las filas para cada uno de los perfiles. El TOTAL máximo posible sería de 12 (ya que tenemos doce frecuencias), de esta forma la tasa de eficiencia (en %) se calcula como:

$$\text{TASA DE EFICIENCIA} = \frac{\text{TOTAL}}{12} \cdot 100 \quad (1)$$

Finalmente se clasifican los perfiles según dicha tasa.

Estudio a pie de pantalla: Las atenuaciones medias normalizadas a pie de pantalla se muestran en la Figura 3 y en la Tabla I. A pie de pantalla es el perfil de sección Triangular el que mayor valor TOTAL obtiene (9,84), indicando este resultado que a pie de pantalla es esta geometría la más eficaz. Los perfiles de sección Rectangular (9,50) y el de sección Escalonada (9,58) también serían adecuados, pues producen atenuaciones similares al perfil anterior. Las tasas de eficiencia para estas coronaciones alcanzan el 80%. En el extremo opuesto, es el perfil superior de sección en L (con un valor TOTAL de sólo 3,95 y una tasa de eficiencia del 33% el que peor resultados muestra. Esto indicaría que a pie de pantalla este tipo de borde no sería ventajoso.

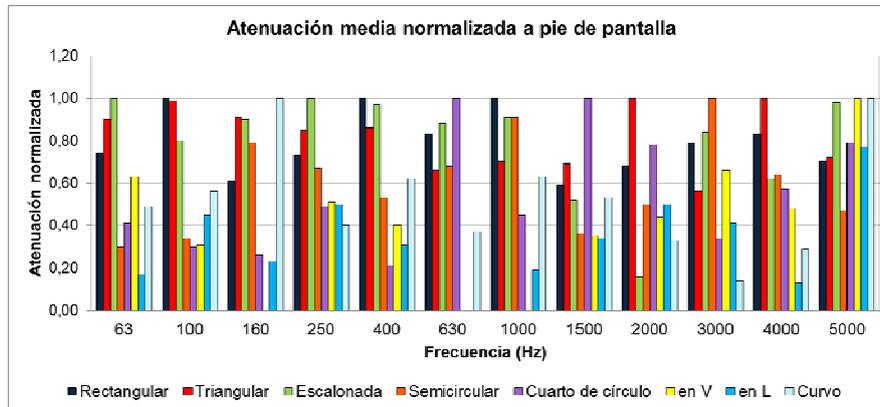


Figura 3: Atenuación media normalizada obtenida para cada uno de los ocho perfiles empleados en este trabajo, a pie de pantalla para cada una de las frecuencias emitidas.

Tabla I: Atenuación media normalizada para todos los perfiles y frecuencias, cuando situamos el sonómetro receptor a pie de pantalla (0 cm).

Frecuencia (Hz)	Altura (cm)	ATENUACIÓN MEDIA NORMALIZADA							
		Rectangular	Triangular	Escalonada	Semicircular	Cuarto de círculo	en V	en L	Curvo
63	0	0,74	0,90	1,00	0,30	0,41	0,63	0,17	0,49
100		1,00	0,99	0,80	0,34	0,30	0,31	0,45	0,56
160		0,61	0,91	0,90	0,79	0,26	-0,15	0,23	1,00
250		0,73	0,85	1,00	0,67	0,49	0,51	0,50	0,40
400		1,00	0,86	0,97	0,53	0,21	0,40	0,31	0,62
630		0,83	0,66	0,88	0,68	1,00	-0,02	-0,05	0,37
1000		1,00	0,70	0,91	0,91	0,45	-0,27	0,19	0,63
1500		0,59	0,69	0,52	0,36	1,00	0,35	0,34	0,53
2000		0,68	1,00	0,16	0,50	0,78	0,44	0,50	0,33
3000		0,79	0,56	0,84	1,00	0,34	0,66	0,41	0,14
4000		0,83	1,00	0,62	0,64	0,57	0,48	0,13	0,29
5000		0,70	0,72	0,98	0,47	0,79	1,00	0,77	1,00
TOTAL		9,50	9,84	9,58	7,19	6,60	4,34	3,95	6,36
TASA DE EFICIENCIA		79,2%	82,0%	79,8%	59,9%	55,0%	36,2%	32,9%	53,0%
POSICIÓN		3º	1º	2º	4º	5º	7º	8º	6º

Estudio a media altura de pantalla: Como en el caso anterior las cubreras de sección Rectangular, Triangular y Escalonada son las más eficientes (ver Figura 4 y Tabla II). También a media altura de pantalla, vuelve a ser el perfil de sección en L con el que menores atenuaciones se registran (su tasa de eficiencia a media altura de pantalla es del orden del 30%).

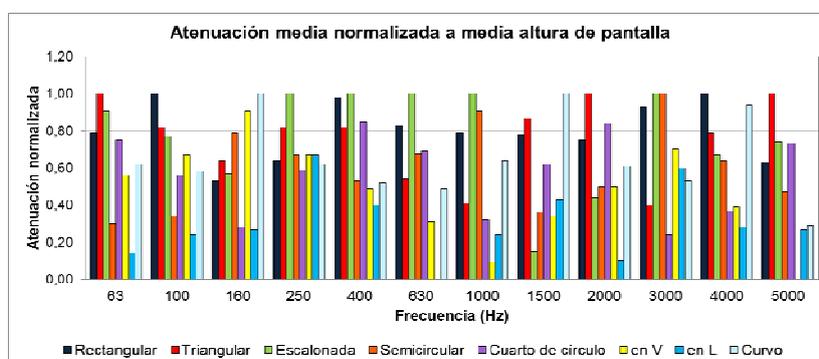


Figura 4: Atenuación media normalizada obtenida para cada uno de los ocho perfiles empleados en este trabajo, a media altura de pantalla para cada una de las frecuencias emitidas.

Tabla II: Atenuación media normalizada para todos los perfiles y frecuencias, cuando situamos el sonómetro receptor a media altura de pantalla.

Frecuencia (Hz)	Altura (cm)	ATENUACIÓN MEDIA NORMALIZADA								
		Rectangular	Triangular	Escalonada	Semicircular	Quarto de círculo	en V	en L	Curvo	
63	20	0,79	1,00	0,91	0,30	0,75	0,56	0,14	0,62	
100		1,00	0,82	0,77	0,34	0,56	0,67	0,24	0,58	
160		0,53	0,64	0,57	0,79	0,28	0,91	0,27	1,00	
250		0,64	0,82	1,00	0,67	0,59	0,67	0,67	0,62	
400		0,98	0,82	1,00	0,53	0,85	0,49	0,40	0,52	
630		0,83	0,54	1,00	0,68	0,69	0,31	-0,08	0,49	
1000		0,79	0,41	1,00	0,91	0,32	0,09	0,24	0,64	
1500		0,78	0,87	0,15	0,36	0,62	0,34	0,43	1,00	
2000		0,75	1,00	0,44	0,50	0,84	0,50	0,10	0,61	
3000		0,93	0,40	1,00	1,00	0,24	0,70	0,60	0,53	
4000		1,00	0,79	0,67	0,64	0,37	0,39	0,28	0,94	
5000		0,63	1,00	0,74	0,47	0,73	-0,02	0,27	0,29	
TOTAL			9,65	9,11	9,25	7,19	6,84	5,61	3,56	7,84
TASA DE EFICIENCIA			80,4%	75,9%	77,1%	59,9%	57,0%	46,8%	29,7%	65,3%
POSICIÓN		1º	3º	2º	4º	6º	7º	8º	5º	

Estudio a altura máxima: A máxima altura (ver Figura 5 y Tabla III) los perfiles que mayores niveles de atenuación acústica generan al otro lado de la pantalla de nuevo serían los perfiles de sección recta convencional (83%), sección Triangular (78%) y el de sección Escalonada (84%).

La Tasa de eficiencia de estos tres perfiles es muy superior a la del resto, siendo a esta altura de medición el perfil transversal de sección Semicircular el que les sigue en eficacia con una tasa del 66%. Las secciones en L y curvas son las que peor se comportan respecto a la atenuación acústica

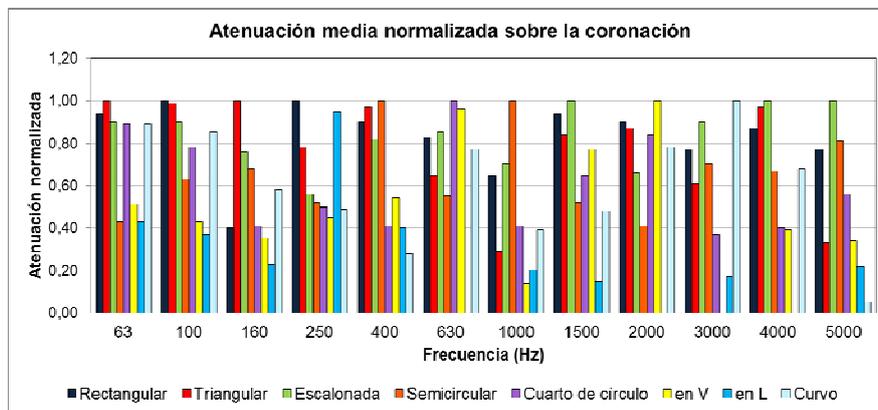


Figura 5: Atenuación media normalizada sobre la coronación de la pantalla

Tabla III: Atenuación media normalizada para todos los perfiles y frecuencias, cuando situamos el sonómetro receptor sobre la coronación de la pantalla.

Frecuencia (Hz)	Altura (cm)	ATENUACIÓN MEDIA NORMALIZADA							
		Rectangular	Triangular	Escalonada	Semicircular	Quarto de círculo	en V	en L	Curvo
63	40	0,94	1,00	0,90	0,43	0,89	0,51	0,43	0,89
100		1,00	0,99	0,90	0,63	0,78	0,43	0,37	0,85
160		0,40	1,00	0,76	0,68	0,41	0,35	0,23	0,58
250		1,00	0,78	0,56	0,52	0,50	0,45	0,95	0,49
400		0,90	0,97	0,82	1,00	0,41	0,54	0,40	0,28
630		0,83	0,65	0,85	0,55	1,00	0,96	-0,01	0,77
1000		0,65	0,29	0,70	1,00	0,41	0,14	0,20	0,39
1500		0,94	0,84	1,00	0,52	0,65	0,77	0,15	0,48
2000		0,90	0,87	0,66	0,41	0,84	1,00	-0,29	0,78
3000		0,77	0,61	0,90	0,70	0,37	-0,22	0,17	1,00
4000		0,87	0,97	1,00	0,67	0,40	0,39	-0,33	0,68
5000		0,77	0,33	1,00	0,81	0,56	0,34	0,22	0,05
TOTAL		9,97	9,30	10,05	7,92	7,22	5,66	2,49	7,24
TASA DE EFICIENCIA		83,1%	77,5%	83,8%	66,0%	60,2%	47,2%	20,8%	60,3%
POSICIÓN		2º	3º	1º	4º	6º	7º	8º	5º

Una vez realizado el baremo de los perfiles para cada una de las alturas del sonómetro receptor, calculamos la tasa de eficiencia total de cada pantalla introduciendo en dicho cálculo todos los datos obtenidos. Los resultados se muestran en la Tabla IV.

Tabla IV: Tasa de eficiencia global y atenuación media normalizada para las alturas, frecuencias y perfiles.

	ATENUACIÓN MEDIA NORMALIZADA							
	Rectangular	Triangular	Escalonada	Semicircular	Quarto de círculo	en V	en L	Curvo
TOTAL (0 cm)	9,50	9,84	9,58	7,19	6,60	4,34	3,95	6,36
TOTAL (20 cm)	9,65	9,11	9,25	7,19	6,84	5,61	3,56	7,84
TOTAL (40 cm)	9,97	9,30	10,05	7,92	7,22	5,66	2,49	7,24
PROMEDIO	9,71	9,42	9,63	7,43	6,89	5,20	3,33	7,15
TASA DE EFICIENCIA GLOBAL	81%	79%	80%	62%	57%	43%	28%	60%
POSICIÓN	1º	3º	2º	4º	6º	7º	8º	5º

Representando gráficamente estos valores observamos con claridad cómo las geometrías que más eficazmente actúan de cara a la reducción acústica son la Triangular, la Escalonada y el perfil de sección convencional, siendo su tasa de eficiencia muy superior a la del resto de los perfiles empleados en este estudio. La comparativa de la tasa de eficiencia total entre pantallas se muestra en la Figura 6.

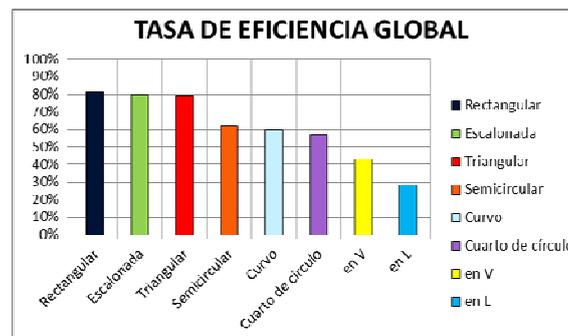


Figura 6: Comparativa de tasa de eficiencia global (%) entre perfiles.

5. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos al ensayar la pantalla acústica con todas las cumbreras diseñadas para este trabajo queda probado que si bien la geometría del perfil, la altura de ubicación del receptor y la frecuencia de emisión son factores que afectan a la eficacia de la pantalla, y deben ser tenidos en cuenta en el diseño de las mismas, la influencia del perfil y de la frecuencia de emisión sobre la atenuación acústica son muy superiores a la influencia de la altura.

Al calcular la tasa de eficiencia, que nos indica que perfiles resultan ser más adecuados globalmente para todas las alturas y todas las frecuencias, éstos han resultado ser el de sección Rectangular, Escalonada, Triangular, y de sección Semicircular, con lo que podríamos desechar los cuatro restantes para estudios sucesivos y de cara a su implementación a escala real.

El perfil de sección Semicircular tiene una tasa de eficiencia inferior a la de los otros tres mencionados anteriormente, sin embargo a 1000 Hz de frecuencia (que se corresponde con un máximo en el espectro del ruido de tráfico) es el que más eficazmente reduce el ruido de tráfico rodado, mejor incluso que el perfil convencional de sección recta.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Universidad Alfonso X el Sabio (FUAX) y al Banco de Santander el habernos concedido el proyecto de investigación 1.010.102 "Estudio de los factores asociados a la atenuación del sonido mediante barreras acústicas: Densidades y espesores variables en pantallas de hormigón. Difracción en el borde superior de las pantallas y estudios morfológicos en pantallas acústicas dispersas mediante redes modulares" para poder realizar este trabajo.

7. REFERENCIAS

- [1] May D. N., Osman M.M. (1980), "High way noise barriers; new shapes", Journ. of Sound and Vibration, vol71, pp. 73-101.
- [2] Hothersall, D. C., Crombie, D. H. (1992), "Prediction and the effects of parallel road traffic noise barriers", Proc. I. O. A., vol. 14, pp. 673-676.
- [3] Chang Woo Lim, Cheolung Cheong, Seong-Ryong Shin, Soogab Lee Time-domain numerical computation of noise reduction by diffraction and finite impedance of barriers. Journal of Sound and Vibration 268 (2003) 385–401.
- [4] A. Romero, " *Estudio de la reducción del ruido aerodinámico de trenes de alta velocidad con pantallas acústicas.*", Tesis doctoral, Universidad de Cantabria (2010).
- [5] L.Abad. R.Magro, M. de la O Moreno, M.Serrano, Diseño de una maqueta para medidas de atenuación de ruido en tráfico rodado, *Tecnología@ y desarrollo/Medioambiente y desarrollo*, ISSN 1696-8085. (2010)
- [6] M.Serrano, L.Abad, D. Colorado, R.Magro, M de la O Moreno, (2010). Estudio de difracción en el borde de las pantallas acústicas. Variación de la eficacia de la pantalla en función de su sección transversal. *Conama* 10.