

Contribución al aislamiento acústico de proyecciones de espuma rígida de poliuretano

*B. Frutos, M. Olaya
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
C/ Serrano Galvache s/n. 28033 Madrid.
Tel. 91 3020440. Fax. 91 3020700
e-mail: borja@ietcc.csic.es; olaya@ietcc.csic.es*

PACS: 43.55.Rg, 43.55.Ti

Resumen

Las espumas rígidas de poliuretano proyectadas tienen como objeto aislar térmicamente los edificios. Dentro de estas espumas cabe distinguir dos tipos: de célula cerrada y de célula abierta. Estas últimas aportan características propias de materiales con función de atenuación acústica. Sin embargo, la mayor parte de las aplicaciones son espumas de célula cerrada, cuya contribución acústica al aislamiento aportado por los cerramientos exteriores no estaba suficientemente evaluada. El presente trabajo tiene como finalidad presentar los resultados de un estudio encargado por ATEPA (Asociación Técnica Española del Poliuretano Aplicado) al Instituto Eduardo Torroja sobre los aspectos señalados en el punto anterior.

Abstract

Rigid polyurethane spray foams are used as thermal insulation in building. They are divided in two types: close and open cell. Last ones have especial properties in acoustic insulation. However, most of them, which are used in building construction, are of close cell type. Its contribution in acoustic insulation of outside elements is not tested enough. The object of this work is to show the result of one study contracted by ATEPA (Spanish technical association of polyurethane spray) with the Institute Eduardo Torroja about these aspects.

Introducción

El encargo que el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja recibió por parte de la Asociación

Técnica del Poliuretano Aplicado (ATEPA) consistía en evaluar la contribución al aislamiento acústico a ruido aéreo de las espumas rígidas de poliuretano proyectadas sobre el trasdós de un elemento constructivo representativo de una fachada.

Con ese fin se procedió a una selección del tipo de cerramiento de fachada más común, en el momento actual, sobre el que se suelen realizar las proyecciones objeto de este estudio.

Como consecuencia se optó por un tipo de fábrica compuesta por ladrillo perforado de 240x115x48 mm. La fábrica se construyó como partición entre dos cámaras acústicas situadas en las instalaciones de este Instituto. El espesor de la fábrica es de 115 mm. Su masa por unidad de superficie, medida como media de dos probetas de muro, construidas al efecto, es de 213 kg/m².

Para determinar el grado en que la proyección de espuma de poliuretano contribuye al aislamiento acústico de muros de fábrica de ladrillo en fachada, se procedió a la experimentación con diferentes espesores de proyección.

La primera medida se realizó con una proyección de 2 cm, y en las tres siguientes, se aumentó respectivamente en un centímetro sobre la anterior hasta alcanzar un espesor máximo de espuma de 5 cm.

El siguiente paso del estudio consistió en ensayar soluciones reales usadas en el sector de la construcción. Se eligieron tres soluciones estándar:

1. Al tabique inicial, con los 5 cm de poliuretano proyectado, se le trasdosó un tabique de cartón-yeso (tipo Pladur) con perfilera metálica, dejando entre ambos una cámara de aire.

2. Se incluyó, en la cámara de aire de la solución anterior, paneles de lana de vidrio.

3. Se sustituyó el trasdosado de cartón-yeso por un tabiquillo de ladrillo de hueco sencillo enlucido con yeso por la cara vista.

Las soluciones 1 y 3 tratan de identificar acústicamente soluciones estándar en el mercado actual. La solución 2 está orientada a comprobar el máximo aislamiento y la transmisión de energía acústica a través de otros elementos que no fuesen los propios de la muestra (transmisión de flanco).

Por último se comprobó el aislamiento acústico del tabiquillo de ladrillo de hueco sencillo, instalado en la última solución, para utilizarlo como referencia para el análisis de los resultados antes obtenidos.

Más adelante se analizan los resultados de cada una de las soluciones.

Medios empleados

1. Características de las cámaras acústicas

Las características del espacio que comprende las cámaras acústicas, una vez interpuesto el elemento o probeta de medida, es conforme con las especificaciones de las normas UNE EN ISO 140-1 (Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas) y UNE EN ISO 140-3 (Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción).

El cerramiento exterior de las cámaras es de 1 pie de ladrillo silíceo-calcáreo. El acceso a éstas se realiza por puertas insonorizadas de aluminio con aislamiento acústico en su interior y juntas de caucho.

Las dimensiones de las cámaras, conforme a las normas antes citadas, son las siguientes:

CÁMARA B: Usada como cámara de emisión.

Largo x ancho x alto = 4,88m x 3,41m x 4,10m
Volumen = 68,20 m³

CÁMARA A: Usada como cámara de recepción.

Largo x ancho x alto = 4,88m x 3,27m x 4,10 m
Volumen = 65,40 m³

ÁREA DE LA MUESTRA. En la separación entre ambas.

Largo x Alto = 3,18m x 3,14m Área = 9,98 m²

2. Características del sistema de medida

Consta de los siguientes elementos:

– Sonómetro analizador modular de precisión en bandas de 1/3 de octava, Investigator tipo 2260, de marca BRÜEL & KJÆR

Micrófono, modelo 4189, de la misma marca

Con certificación de fabricante nº de serie 2290567, de fecha 25 de enero de 2001.

– Fuente multidireccional, tipo 4296, de la misma marca

– Amplificador de potencia tipo 2716, de la misma marca

Desarrollo de las mediciones

El procedimiento empleado para cada una de las mediciones realizadas ha sido el siguiente:

a. Disposición del sistema en cámara emisora (Cámara B)

Se colocó la fuente multidireccional en dos posiciones (F-1 y F-2) dentro de la cámara de emisión (Cámara B), pre-fijando la potencia de emisión en 105 dB.

Con cada una de las dos posiciones anteriores de la fuente, se obtuvieron medidas en los cinco puntos previamente determinados de la cámara (M-1,...,M-5), correspondiendo a cada punto un espectro acústico de emisión (L_{1i} j, donde i = 1,...,5 y j = 1, 2) en tercios de octava para la potencia señalada.

b. Disposición del sistema en cámara receptora (Cámara A)

b.1. Medida del espectro de recepción

Se situó el sonómetro en cada uno de los cinco puntos determinados dentro de la cámara receptora (Cámara A). En cada punto se obtuvo el correspondiente espectro acústico de recepción (L₂ l m, donde l = 1,...,5 y m = 1, 2)

b.2. Medida del ruido de fondo

Se realizaron tres medidas del ruido de fondo, situando el sonómetro en cada uno de los tres puntos correspondientes (M-1, M-2, y M-3)

b.3 Medida de los tiempos de reverberación

Se obtuvieron tres medidas de los tiempos de reverberación en la cámara receptora (Cámara B), situando la fuente en una sola posición (F-1) dentro de la cámara receptora y el sonómetro en los tres puntos determinados previamente (M-1, M-2, y M-3) en la misma cámara.

Soluciones constructivas estudiadas

S1. Fábrica de ladrillo, ya descrita.

S2. Fábrica de ladrillo más dos centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de densidad 30 kg/m³.

S3. Fábrica de ladrillo más tres centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.

S4. Fábrica de ladrillo más cuatro centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.

S5. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad.

S6. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cá-

mara de aire de quince centímetros, más otra hoja de cartón yeso de un centímetro y medio fijada a perfiles metálicos.

S7. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de quince centímetros con paneles de lana de roca incorporada de cuatro centímetros y densidad 100 kg/m³, más otra hoja de cartón yeso de un centímetro y medio soportada en perfiles metálicos.

S8. Fábrica de ladrillo más cinco centímetros de espuma rígida de poliuretano proyectada de la misma densidad, cámara de aire de cinco centímetros más panderete de cuatro centímetros más un centímetro y medio de enlucido de yeso por la cara vista.

S9. Panderete de cuatro centímetros más un centímetro y medio de enlucido de yeso por la cara vista.

Mediciones de las soluciones constructivas

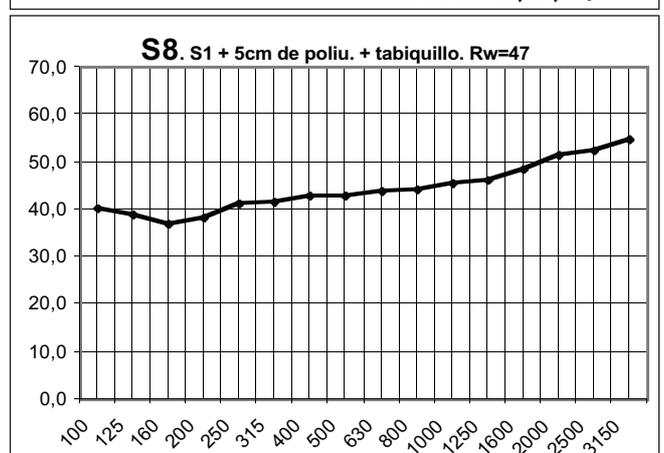
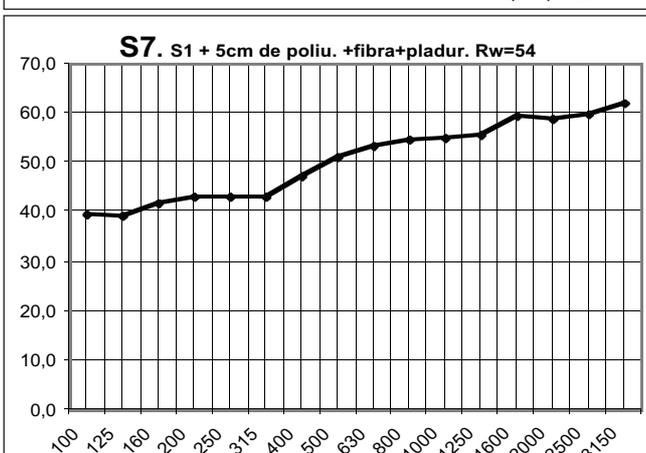
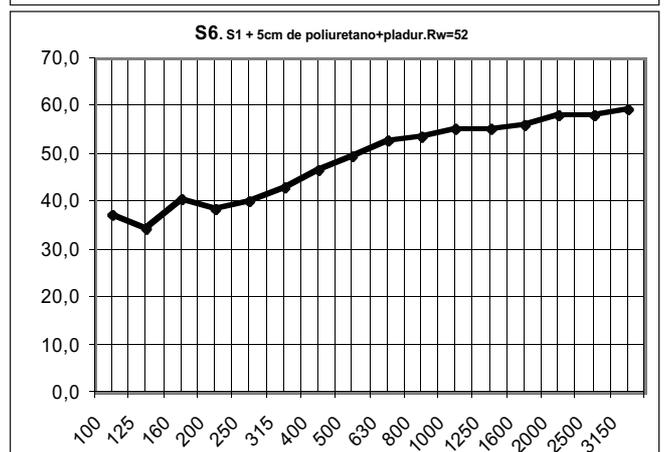
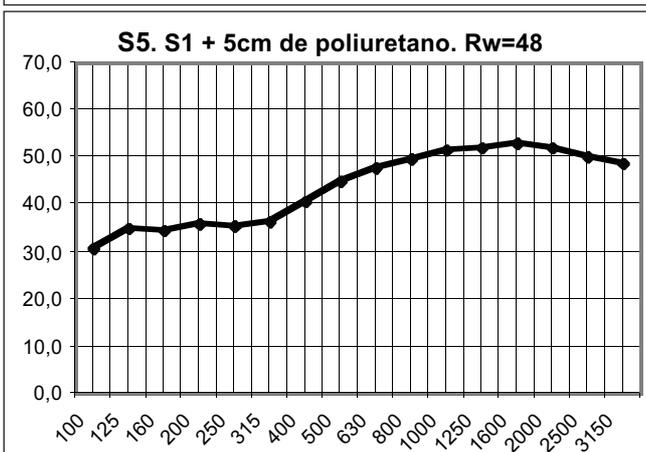
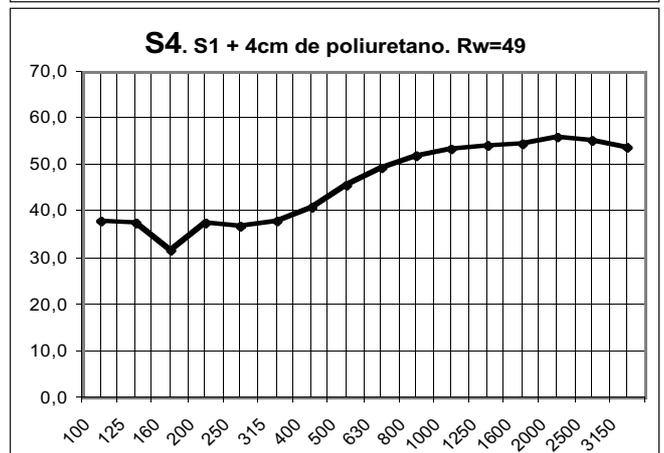
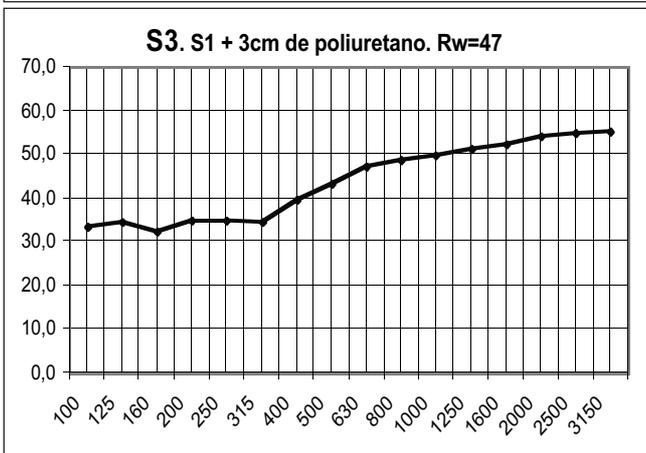
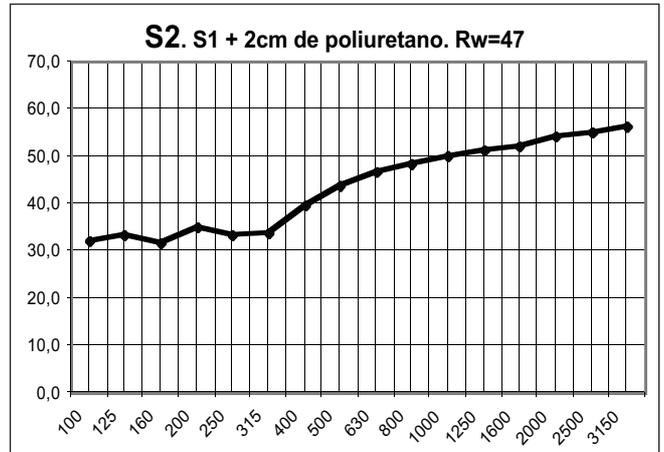
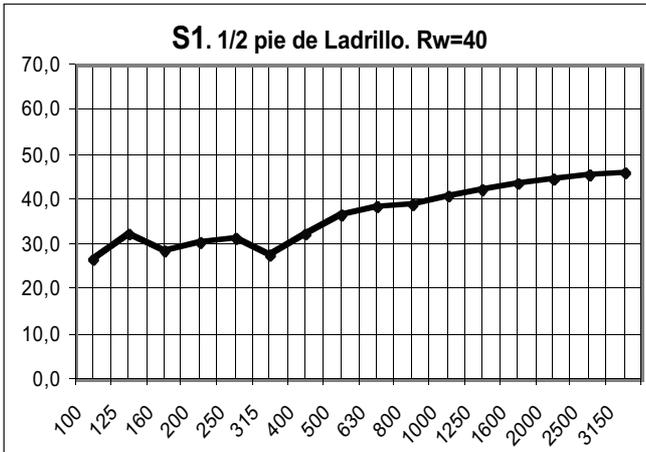
La tabla y las gráficas, presentan los espectros obtenidos en las medidas acústicas de las soluciones descritas en el punto anterior.

TABLA : Comparativa de los resultados de las distintas soluciones

En esta tabla se representa la reducción sonora, expresada en dB, de las distintas soluciones, para cada una de las frecuencias en tercios de octava en el espectro de 100 - 3.150 Hz

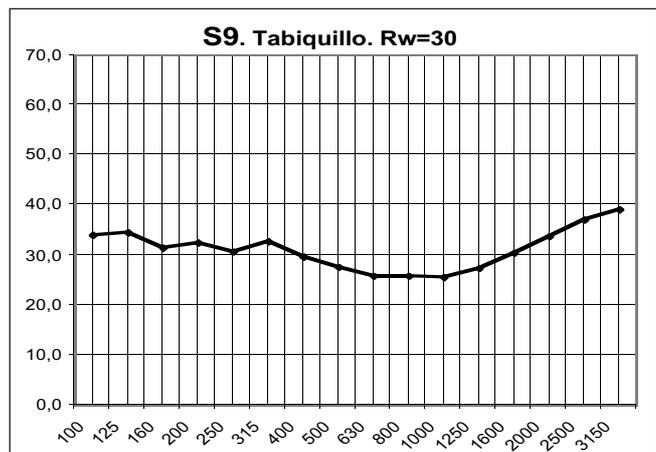
Frecuencia (Hz)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
100	26,9	32,1	33,5	38,1	30,6	37,3	39,4	40,2	34,0
125	32,3	33,5	34,3	37,4	34,9	34,3	39,2	38,8	34,4
160	28,5	31,5	32,3	31,8	34,7	40,5	41,8	37,0	31,5
200	30,7	35,2	34,7	37,4	35,8	38,5	43,1	38,3	32,4
250	31,6	33,5	34,8	36,8	35,3	40,1	43,1	41,2	30,7
315	27,6	33,9	34,6	38,0	36,6	42,9	42,9	41,6	32,6
400	32,4	39,5	39,4	40,8	40,7	46,6	47,1	42,8	29,6
500	36,7	43,7	43,0	45,8	44,7	49,5	51,1	43,0	27,6
630	38,4	46,5	47,0	49,5	47,7	53,0	53,2	43,8	25,8
800	39,2	48,5	48,7	52,0	49,6	53,8	54,5	44,4	25,9
1000	40,8	50,1	49,8	53,4	51,7	55,2	54,9	45,7	25,5
1250	42,5	51,3	51,3	54,1	51,8	55,1	55,6	46,1	27,3
1600	43,5	52,2	52,3	54,6	52,8	56,1	59,3	48,5	30,5
2000	44,6	54,3	54,1	55,9	52,0	58,0	58,9	51,4	33,6
2500	45,8	55,2	54,8	55,3	50,3	58,1	59,8	52,5	37,0
3150	45,9	56,4	55,1	53,9	48,8	59,5	61,9	54,7	39,2

GRÁFICAS (S1 – S8):



Resultados de las medidas acústicas de las distintas soluciones, expresados en gráficas, con el rango de frecuencias en eje X, y el aislamiento acústico en dB en eje Y.

GRÁFICA (S9):



Espectro de la medida acústica del tabiquillo de hueco sencillo enlucido por la cara vista.

Análisis de resultados

- En la solución constructiva S1

En la gráfica S1 se puede observar el comportamiento acústico del muro de referencia. El índice de reducción

de sonido ponderado, R_w , o índice de aislamiento ponderado es de 40 dB, con corrección de ponderación A, de -1, y ponderación A con ruido de tráfico, de -4. Estos valores son conformes con la idoneidad exigida en la Norma Básica de la Edificación NBE CA 88, artículo 13, referente a fachadas. No obstante conviene observar, que entre 100 y 500 Hz, el espectro oscila entorno al valor límite de 30 dB.

- En la solución constructiva S2

El espectro de aislamiento acústico resultante de ensayar el muro con una capa de proyección de dos centímetros de poliuretano pone de manifiesto un incremento casi paralelo de la curva correspondiente respecto a la de la solución constructiva S1. El índice de aislamiento acústico ponderado, R_w , es, en este caso, de 47 dB, con corrección de ponderación A, de -2, y ponderación A con ruido de tráfico de -6. Es importante constatar la elevación de la fluctuación del espectro en bajas frecuencias, entre 100 y 500 Hz, alejando la posibilidad de confluir en el entorno de los 30 dB.

- En la solución constructiva S3

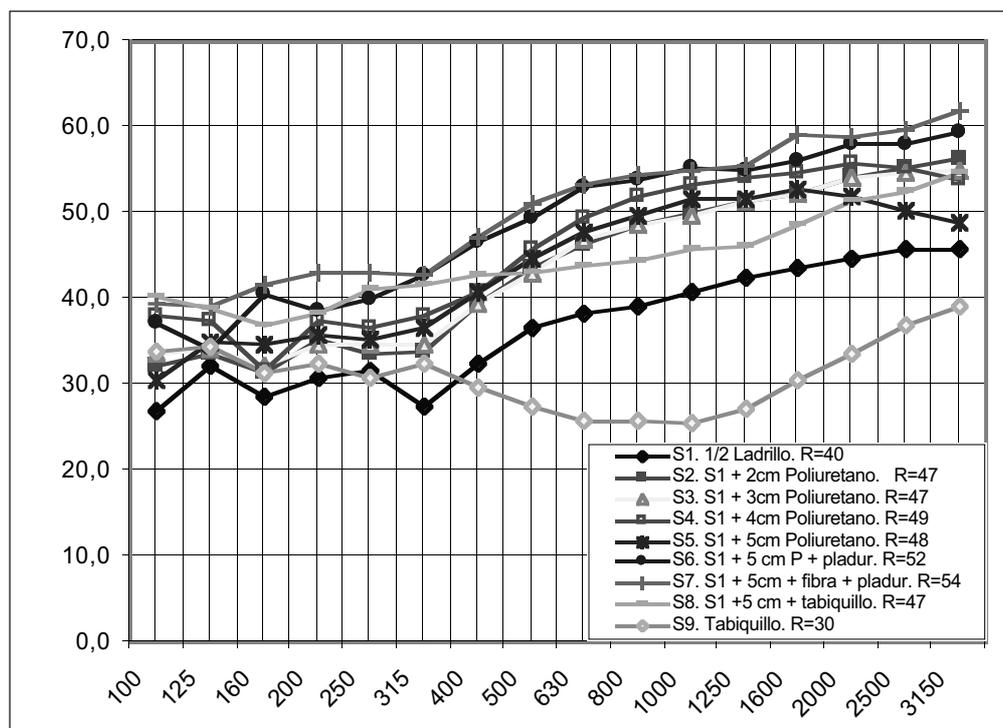
La adición de una capa de un centímetro de espuma rígida de poliuretano a la ya proyectada en la solución S2, apenas supone una modificación del espectro de aislamiento

acústico como así lo ponen de manifiesto los valores del índice de aislamiento acústico ponderado, R_w , que es, en este caso, de 47 dB, con corrección de ponderación A, de -2, y ponderación A con ruido de tráfico de -5.

- En la solución constructiva S4

Una nueva adición de un centímetro de poliuretano determina una respuesta de dos decibelios en el índice de aislamiento acústico ponderado, R_w , hasta 49 dB, con corrección de ponderación A, de -2 dB y con corrección de ruido de tráfico de -5, como en el caso anterior. Se destaca, en este ensayo, la aparición de una frecuencia de coincidencia en 160 Hz.

GRÁFICA COMPARATIVA:
Espectros del aislamiento acústico de las soluciones estudiadas



- En la solución constructiva S5

El recrecimiento con una capa de poliuretano de un centímetro de espesor respecto a la solución anterior, llegando hasta cinco centímetros no viene a suponer un crecimiento significativo de R_w , es más, se trata de una disminución de la magnitud, a 48 dB con correcciones de -2 y -5 dB en ponderación A y de tráfico, como en los casos anteriores.

La frecuencia de coincidencia desaparece en el entorno de los 160 Hz.

- En la solución constructiva S6

La solución constructiva contempla en este caso, además de la solución S5, la incorporación de un cerramiento de placa de cartón yeso de 1,5 cm, quedando entremedias una cámara de aire de 15 cm. En este caso, R_w es 52 dB, con corrección de ponderación A, de -1 dB y de tráfico -5 dB. Aunque en altas frecuencias la solución aporta una mejora de aislamiento en el entorno de 8 a 10 dB, con respecto a la solución anterior, en baja frecuencia la diferencia es menor.

- En la solución constructiva S7

Lo que se trata de estimar es la diferencia de nivel máximo, correspondiente a las transmisiones indirectas en las cámaras, para las soluciones constructivas ensayadas, $R_{m\acute{a}x}$: El espectro correspondiente permite constatar como ruido de flanco, 2 a 3 dB, en cada una de las frecuencias.

- En la solución constructiva S8

La construcción de un tabique de ladrillo hueco con enlucido de yeso, como alternativa al tabique de cartón yeso, no ofrece una prestación acústica significativa. Ello se debe a la resonancia entre las distintas capas, observable en el descenso relativo del espectro, entre los 315 y 2000 Hz. La diferencia de niveles es equiparable a la de la fábrica de ladrillo perforado con 3 cm de espuma de poliuretano, sin embargo sí existe una mejora significativa en bajas frecuencias.

- En la solución constructiva S9

Se trata de la medida de la contribución al aislamiento acústico de la fábrica de ladrillo hueco sencillo con enlucido de yeso por una de las caras. Es manifiesta la bajada del espectro entre las frecuencias de 315 a 1000 Hz.

Conclusiones

La contribución de las proyecciones de espuma rígida de poliuretano al aislamiento acústico de fábricas de ladrillo perforado son las siguientes:

- En espesores proyectados de dos a tres centímetros, la mejora del aislamiento acústico es manifiesta en todas las frecuencias del espectro. El crecimiento mayor se produce a partir de la frecuencia de 315 Hz. Se han observado hasta un máximo de 9 dB, añadidos al valor R_w de la fábrica de ladrillo perforado de $\frac{1}{2}$ pie. No obstante cabe considerar que a partir de tres centímetros no es significativa la mejora del aislamiento.
- La adición de cada centímetro de poliuretano representa 0.3 kg/m². No supone apenas contribución al aislamiento acústico según la ley de masas, por lo que la mejora en aislamiento se debe atribuir al sellado de los resquicios en la fábrica y en los laterales de conexión con el marco de ensayo.
- Al incorporar una hoja adicional a la fábrica de ladrillo perforado, con la proyección de espuma de poliuretano, se han obtenido mejoras del aislamiento acústico en el caso de cartón yeso. No cabe decir lo mismo al tratarse de un tabique de ladrillo hueco sencillo con enlucido de yeso, debido a la resonancia masa-aire-masa.

En esta investigación se ha puesto de manifiesto un hecho hasta ahora poco evaluado: La proyección de espuma rígida de poliuretano sobre un soporte de fachada típico como lo es la fábrica de ladrillo, ha supuesto un claro aumento del aislamiento tipo del cerramiento conjunto.

Este se ha conseguido en espesores mínimos de proyección, consiguiendo aumentar en 7 dB el índice de reducción sonora con 2 cm de proyección de espuma.

Este aumento puede corresponder en gran medida a la capacidad selladora de la espuma rígida de poliuretano de célula cerrada, que consigue aislar de manera eficaz las frecuencias medias y altas. Con respecto al aislamiento en bajas frecuencias sucede lo que cabría esperar en este tipo de materiales ligeros: su contribución al aislamiento no es significativa aunque si ayuda a atenuar la frecuencia de coincidencia que se produce en los entornos de las frecuencia 160 Hz y 315 Hz.

También se debe decir que un aumento en el espesor de la espuma a partir de estos 2 cm no significa un aumento proporcional en el índice de reducción sonora, aunque si consigue, en frecuencias bajas, un aislamiento más constante con atenuación de picos de coincidencia.