

FILTRO ACÚSTICO PARA EL RUIDO DE BAJA FRECUENCIA DE LA CHIMENEA DE UNA CENTRAL TÉRMICA

David Ibarra¹, Santiago Ortiz¹, Heidi Ruiz¹, Pedro Cobo¹, José Ramón Fabeiro²

¹Centro de Acústica Aplicada y Evaluación no Destructiva (CAEND), CSIC, Serrano 144, 28006 Madrid (ESPAÑA)

david.ibarra@caend.upm-csic.es, santiago.ortiz@caend.upm-csic.es, heidi@caend.upm-csic.es,
pcobo@caend.upm-csic.es

²Ciudad Residencial Altamira, Avenida del Ferrol 8, 28029 Madrid (ESPAÑA)

jrfabeiro@yahoo.com

Resumen

La central térmica de la ciudad residencial Altamira proporciona agua caliente y calefacción a 2699 viviendas y 51 locales comerciales a través de 15 subcentrales, una por cada edificio. Tres calderas con una potencia de 7.8 MW, se utilizan para quemar gas natural o gasóleo. La salida de gases de las calderas se efectúa a través de tres tubos de acero inoxidable que se encuentran insertados en las antiguas chimeneas de la central térmica y suben adosados al edificio adyacente, para finalmente salir por la azotea del edificio. La combustión de gases en las calderas ocasiona un ruido de baja frecuencia el cual es percibido por un vecino del último piso del edificio de enfrente. Mediciones realizadas mostraron que el ruido presentaba un nivel próximo al máximo permitido en zonas residenciales (55 dBA) y que adicionalmente, la penalización por componentes de baja frecuencia sumaba 6 dB ($L_{CAeq} - L_{Aeq} > 15$ dB), con lo cual se necesitaba una reducción de 5-10 dB. Como medida de control, la junta directiva decidió instalar un filtro acústico en una de las tres chimeneas de salida. En este trabajo se describen las medidas realizadas para diagnosticar el problema, y las técnicas de control de ruido aplicadas para resolverlo.

Palabras-clave: Filtro acústico, ruido de baja frecuencia, control de ruido.

Abstract

The power station of Altamira residential city provides hot water and heating to 2699 homes and 51 commercial premises, through 15 substations, one for each building. Three boilers with an output power of 7.8 MW, are used to burn natural gas or diesel. Each of the boilers has a gas outlet tube made of stainless steel. These tubes, which are inserted into the old power station vents, rise attached to the building adjacent to the power station and exit through the roof of the building. An annoying low frequency noise caused by the combustion of gas inside the boilers is perceived by a neighbor of the top floor right in front of the vents. Measurements showed that the noise had a level close to the maximum allowed in residential areas (55 dBA). Additionally, the penalty for low frequency components added 6 dB in this case ($L_{CAeq} - L_{Aeq} > 15$ dB), which required a reduction of 5-10 dB. The directive board decided to install an acoustic filter in one of the three outlet pipes. In this paper we describe the steps taken to establish the problem and the noise control techniques applied to solve it.

Keywords: acoustic filter, low frequency noise, noise control.

PACS no. 43.40.+s, 43.50.+y

1. Introducción

El interés por este tema surge en respuesta al requerimiento de la junta directiva de la ciudad residencial Altamira, en el barrio del Pilar de Madrid, para realizar medidas en las chimeneas de salida de su central térmica. Dicha central térmica proporciona agua caliente y calefacción a las 2699 viviendas y 51 locales comerciales de la ciudad residencial, a través de 15 subcentrales, una por cada edificio. La central térmica consta de tres calderas, cada una con una potencia de 7.8 MW (23.3 MW en total), que pueden quemar indistintamente gas natural o gasóleo, Figura 1. Cada una de las calderas tiene un tubo de salida de gases de acero inoxidable, Figura 2. Estos tubos, que están insertados en las antiguas chimeneas de obra de la central térmica, suben adosados al edificio adyacente y salen por la azotea de dicho edificio, Figura 3. El vecino de una de las viviendas próximas a la salida de las chimeneas ha manifestado percibir un ruido demasiado molesto, por lo que la junta directiva ha decidido proceder a la instalación de filtros acústicos en cada una de las tres salidas de gases de las calderas. Para analizar la efectividad de estos filtros, primero se ha instalado uno de ellos en uno de los conductos de salida de gases. Los resultados de la implementación de un filtro paso-bajas en este conducto se comentarán en la Sección 4.



Figura 1 – Sala de calderas de la Central Térmica de la Ciudad Residencial Altamira



Figura 2 – Tubo de salida de gases de una de las calderas

2. Planteamiento del problema

Los silenciadores se usan para atenuar el ruido en los conductos que forman parte de los sistemas de ventilación, sistemas de combustión interna, ventiladores, sistemas de conducción de gas, calderas, etc. El objetivo fundamental de un silenciador es reducir la transmisión de ruido, perturbando lo mínimo posible la circulación del gas o líquido.



Figura 3 – Salida de gases de las calderas por la azotea del edificio próximo a la central térmica

En primera instancia, los silenciadores se clasifican en reactivos y disipativos, dependiendo de que la atenuación del ruido se produzcan por mecanismos reflectivos o disipativos, respectivamente. En un silenciador reactivo, las pérdidas se producen esencialmente debido a las reflexiones de las ondas sonoras en discontinuidades de impedancia, como ensanchamientos o estrechamientos del tubo. En los silenciadores disipativos, el flujo está en contacto con una superficie grande de material absorbente. La atenuación del ruido se produce entonces por pérdidas visco-térmicas en el material poroso.

El ruido de las chimeneas de la central térmica de la ciudad residencial Altamira tiene su origen en la combustión de los quemadores. Cada una de las chimeneas consta de un tramo horizontal de unos 18 metros y de un tramo vertical de 45 m. El tramo horizontal actual es un tubo cilíndrico de 800 mm de diámetro, que se reduce a 700 mm antes de la T de subida vertical. El entubado redujo la sección de la chimenea primitiva al 50 %, pero aun así la velocidad de los humos con las calderas funcionando al 100 % no es excesiva, pues apenas alcanza los 10 m/s.

Durante unas medidas realizadas en Marzo de 2011, previas al diseño del filtro paso-baja, se obtuvo el espectro de banda estrecha a la salida de una de las chimeneas que se observa en la Figura 4. Como puede verse, consta de unas componentes tonales superpuestas a un ruido de banda ancha. Se observa que el ruido de los gases de salida a través de la chimenea consta de un primer pico, a frecuencias por debajo de los 30 Hz, seguido del pico con nivel más alto, a la frecuencia de 59.4 Hz, más otros picos a frecuencias más altas. Por encima de los 150 Hz, el nivel del ruido de banda ancha baja más de 30 dB.

Se trata de un típico problema de baja frecuencia. Ya que la componente tonal de 30 Hz está muy próxima al límite inferior de la frecuencia de corte audible por el oído humano, es pertinente establecer la frecuencia de corte del posible filtro paso-baja en 0.6-0.7 veces la siguiente frecuencia tonal, que es de 59.4 Hz. Por ejemplo, $f_0=35$ Hz.

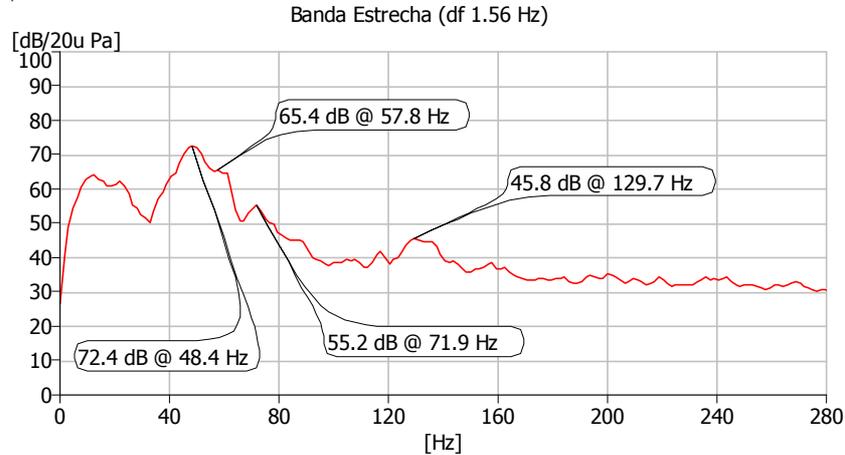


Figura 4 – Espectro de banda estrecha del ruido a la salida de una de las chimeneas [1].

La caldera quema habitualmente gas natural, por lo que según Fabeiro [2], deben observarse los siguientes requisitos en la salida de humos a la chimenea:

- Debe tener salida libre, que permita la ventilación natural para facilitar la salida de gas natural a la chimenea ante un posible repose de gas al hogar de la caldera.
- Las calderas son de combustión forzada. La pérdida de carga que se pueda añadir en la salida de humos debe estar dentro del rango admitido por las curvas de presión de los soplantes y del sistema de regulación de gas. La solución debe ser aprobada por el instalador, el fabricante de quemadores y el fabricante de las calderas.
- La solución pasa por instalar filtros reactivos donde puede haber reflexiones amplificadas de onda hacia el origen, que deben ser valoradas en el diseño del filtro a instalar.

La frecuencia de resonancia más alta del sistema se puede calcular usando la expresión aproximada de Bies y Hansen [3],

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{2}{m_1 L_b L_c}} \quad (1)$$

Definiendo en este caso $m_l = A_b/A_c$, como el cociente entre las secciones transversales de la cámara de expansión y el tubo de choque. Esta expresión es muy precisa para una fuente de velocidad de volumen constante si el tubo de descarga es mucho más corto que el tubo de choque (y de diámetro similar o mayor), o si el tubo de descarga es suficientemente largo para poder despreciar las ondas de presión reflejadas en su terminación. En otros casos, la Ec. (1) es solo una estimación.

Teniendo en cuenta las limitaciones de espacio, se propone el modelo de filtro mostrado en la Tabla 1. La frecuencia de corte del filtro, f_c , es de 31.2 Hz, que está en el rango buscado. La velocidad del sonido usada en esta ecuación ha sido 420 m/s, que corresponde a una temperatura de los gases de unos 100 °C. Para la longitud del tubo de choque, se ha consignado una reducción del 10 % para tener en cuenta el exceso de longitud (longitud aparente) del tubo como consecuencia de la reactancia de bordes.

Para la pérdida de presión, se usa la fórmula de Renouard. El resultado se resume en la Tabla 2, donde se ha usado el valor $Q=12000 \text{ m}^3/\text{h}$ para el caudal.

Otras recomendaciones prácticas son:

- La construcción del prototipo debe ser modular, de manera que se facilite el cambio del tubo de choque, en el caso de ser necesario.
- El tubo de choque debe ser rigidizado al módulo del mismo mediante radios suficientemente fuertes. El tubo de choque y el cilindro correspondiente pueden construirse de chapa de hierro.
- El resto de las cámaras deberán ser de acero inoxidable, de material similar al instalado actualmente, el cual permite una fácil sustitución del módulo del tubo de choque en el caso de que se presente un resultado negativo. Esa solución podrá incluso reducir apreciablemente el nivel de ruido en la chimenea.
- Los módulos de la cámara, contruidos en acero inoxidable, deberán dotarse de nervios o refuerzos interiores, para evitar su colapso por la depresión causada por el tiro de la chimenea. Se podrán aceptar tubos de considerable diámetro. No existe problema de presión.
- En el filtro deben disponerse dos tomas de presión, una en cada cámara, para controlar la presión diferencial introducida por el mismo.

Tabla 1 – Datos del filtro a construir

<p>Cámara de expansión Longitud de cada cámara, L_b: 1,72 metros Diámetro de las cámaras (D_b): 1,1 metros</p> <p>Tubo de choque Diámetro (D_c): 0,45 metros Longitud (L_c): 1,50 (reducción del 10 % para compensar la longitud aparente)</p>
--

Tabla 2. Cálculo de la pérdida de carga según la fórmula de Renouard para bajas presiones

$$\Delta P \text{ (mbar)} = 25073 * ds * L * (Q^{1,82} / (D^{4,82}))$$

Densidad aparente (ds)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Resultado mbar	Pascales
1,00	1,72	450,00	0,19	18,64

Las Figura 5 muestra un corte transversal del filtro y del tubo de choque durante las fases del montaje.

3. Procedimiento de las medidas

3.1. Sistemas y equipos utilizados

Para las medidas se utilizó el siguiente equipo:

- PULSE LabShop Versión 14.1.1.
- Módulo 6/1ch tipo 3032A, Modulo de interface LAN tipo 7533.
- Ordenador portátil
- Micrófono Falcón 4191L B&K.
- Pantalla antiviento para micrófono.
- Calibrador B&K 4231

- Cables y accesorios varios (1 trípode, manguera de cable prolongador de micrófono de 50 m, manguera de cable prolongador de corriente AC, soporte micrófono, etc.).



Figura 5 – Detalle del tubo de choque

3.2. Descripción de las medidas

Las medidas se realizaron en las instalaciones de la central térmica de la macrocomunidad Altamira. Se llevaron a cabo medidas de ruido aéreo en:

1. La proximidad de las bocas de salida de las chimeneas (en la azotea del edificio, Figura 6),
2. En la azotea del edificio contiguo, encima de la ventana del vecino afectado (a unos 25-30 m de las chimeneas, Figura 7),



Figura 6 – Detalle de la posición del micrófono y del sonómetro en la salida de los gases

Para determinar los niveles de ruido y si el tratamiento acústico en una de las calderas era eficiente, se realizaron 10 mediciones de 2 minutos cada una. En las cinco primeras mediciones se situó el micrófono a la salida de las chimeneas entre las calderas 2 y 3 (posición de medida 1, Figura 6). La caldera 3 había sido tratada mediante un filtro acústico instalado en el tubo de escape como medida de control acústico y recubierto con lana de vidrio para proporcionar un aislamiento térmico, Figuras 5 y 8. Por el contrario, la caldera 2 no presentaba tratamiento térmico ni acústico (Figura 2).



Figura 7 – Detalle de la posición del micrófono y del sonómetro encima de la vivienda del vecino que percibe el ruido



Figura 8 – Filtro acústico instalado en el tubo de escape de la caldera 3.

Inicialmente se midió el ruido de fondo en la posición 1 con las calderas apagadas. Posteriormente se registró cada caldera encendida por separado con un rendimiento del 70 y 100 %. Las siguientes cinco mediciones se realizaron con el mismo procedimiento (primero ruido de fondo con las calderas apagadas y luego las calderas encendidas por separado con rendimientos del 70 y 100%), pero esta vez ubicando el micrófono cerca de la ventana del vecino afectado

(posición de medida 2, Figura 7). En cada una de las medidas se usó el sistema PULSE de B&K, Figura 9.



Figura 9 – Sistema PULSE de B&K

Con el sistema se midió lo siguiente:

- Niveles globales L_{eq} , L_{Aeq} y L_{Ceq} .
- Espectros de banda estrecha y en tercios de octava hasta 10 kHz.
- Evolución temporal de los $L_{eq, 1s}$.

Además se hizo un registro temporal de las señales captadas por el micrófono, por si fuese necesario un análisis posterior.

4. Resultados

La Tabla 1 muestra la comparación de los niveles globales de las mediciones. Los niveles máximos se observan en la posición del micrófono a la salida de las chimeneas (Figura 6) con la caldera 2 funcionando a una capacidad de 70% y 100%. Se puede observar que el nivel global, el nivel global con ponderación A y el nivel global con ponderación C disminuyen en 7 dB aproximadamente cuando funciona la caldera 3 con filtro acústico, Figuras 10-14.

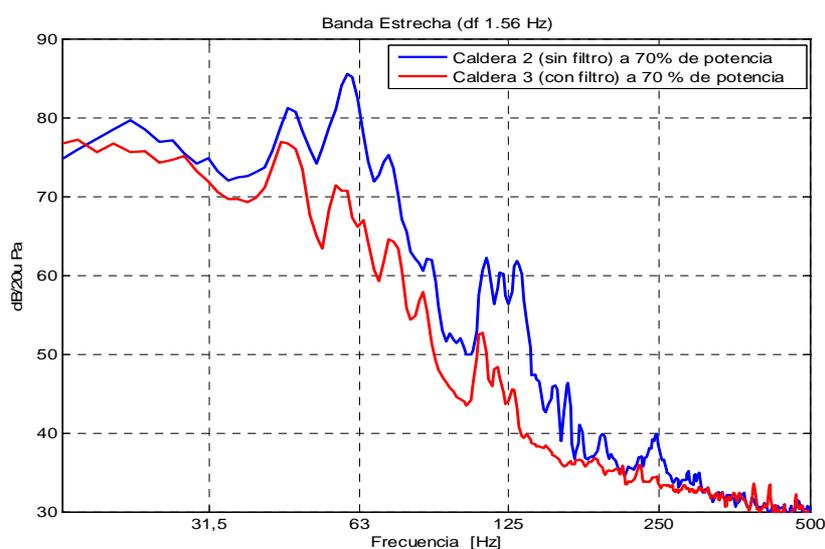


Figura 10 – Comparación de las medidas de banda estrecha en la azotea salida de chimeneas al 70 %

Tabla 1 - Medición de los niveles globales

		L_{eq} Global Lineal dB/20u Pa	L_{eq} Global Lin+Imp dB/20u Pa	L_{eq} Global A dB/20u Pa	L_{eq} Global C dB/20u Pa
Salida de chimeneas ruido de fondo	(2min)	69.5	74.9	56.1	65.5
	(10s)	65.7	69.2	54.5	63.8
Salida de chimeneas caldera 2 (sin filtro) al 70% de potencia		92.8	96.4	65.4	91.1
Salida de chimeneas caldera 2 (sin filtro) al 100% de potencia		94.6	98.3	67.6	93.1
Salida de chimeneas caldera 3 (con filtro) al 70% de potencia		87.7	92.2	58.4	83.7
Salida de chimeneas caldera 3 (con filtro) al 100% de potencia		90.1	95.3	60.5	86.3
Vivienda vecino caldera 3 (con filtro) al 100% de potencia	(2min)	79.9	86.5	55.5	74.1
	(10s)	73.6	77.1	55.1	71.7
Vivienda vecino caldera 3 (con filtro) al 70% de potencia	(2 min)	76.0	81.8	56.0	71.1
	(10s)	73.0	77.1	55.4	70.2
Vivienda vecino caldera 2 (sin filtro) al 70% de potencia	(2min)	75.8	79.8	56.5	73.4
	(10s)	74.6	78.2	55.8	73.0
Vivienda vecino caldera 2 (sin filtro) al 100% de potencia	(2min)	80.5	86.3	55.9	76.2
	(10s)	76.7	81.5	55.1	74.1
Ruido de fondo vivienda vecino	(2min)	67.2	70.9	55.3	64.9
	(10s)	64.9	68.1	53.7	63.2

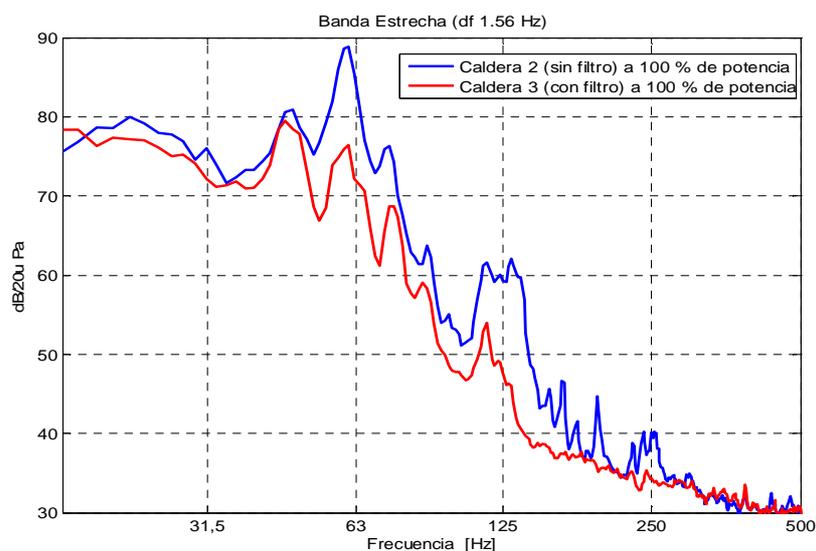


Figura 11 – Comparación de las medidas de banda estrecha en la azotea salida de chimeneas al 100%

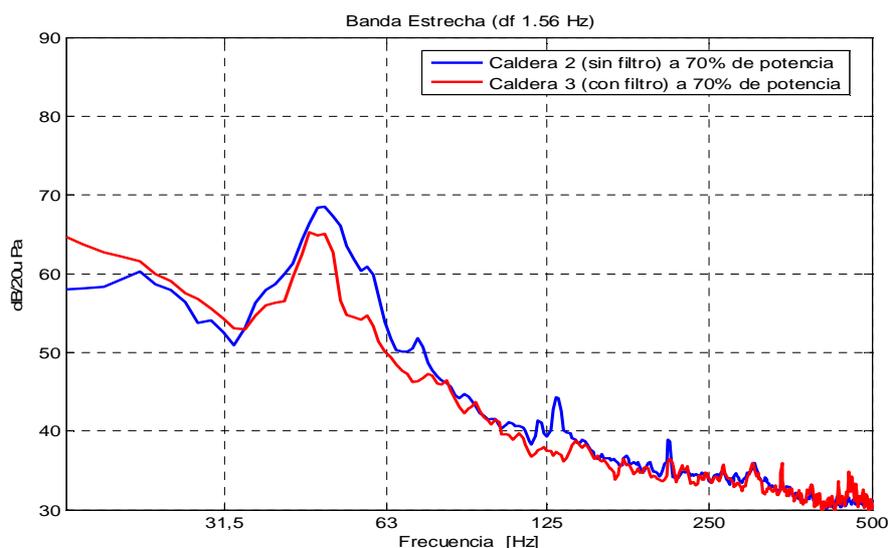


Figura 12 – Comparación de las medidas de banda estrecha en la azotea cerca al vecino con las calderas al 70%

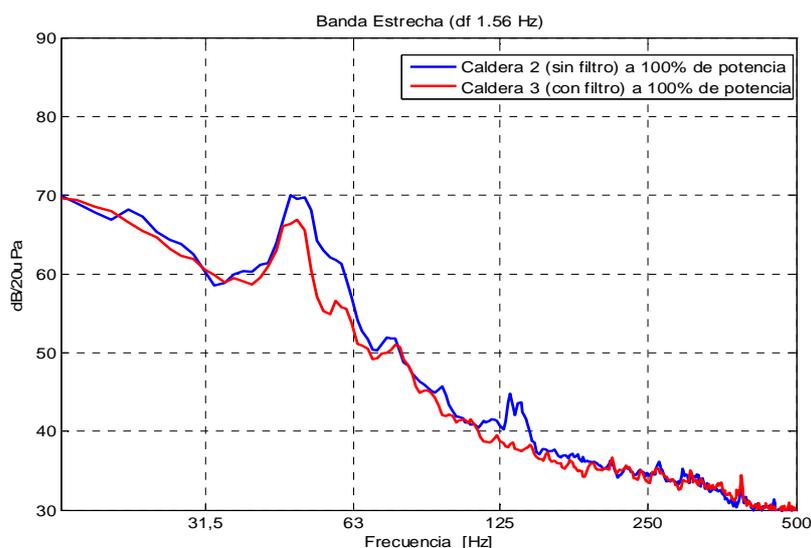


Figura 12 – Comparación de las medidas de banda estrecha en la azotea cerca al vecino con las calderas al 100%

Para verificar que el ruido de fondo no estuviera influenciando las medidas en la posición 2, se analizaron tramos de 10 segundos donde la evolución temporal parecía estable y se escuchó la grabación de audio de estos tramos para asegurarse de que no hubiera ningún ruido externo elevado que influenciara la medida.

5. Conclusiones

Se ha medido el ruido en 2 lugares de la central térmica Altamira: a la salida de las chimeneas y en la azotea encima de la vivienda del vecino afectado. Para cada posición de medición se han utilizado 2 calderas, una con filtro y otra sin filtro. De estas medidas se puede concluir lo siguiente:

- La implementación del filtro acústico ha sido efectiva, ya que en la salida de las chimeneas se ha verificado una reducción de 5 dB en $L_{eq\ Global\ lineal}$, 14 dB en bandas específicas como la de 63 Hz y hasta 9 dB en el L_{Aeq} .
- Las frecuencias de corte del filtro acústico implementado, según las mediciones son de 50 – 250 Hz.
- La reducción es menos evidente en la segunda posición de medición cerca de la vivienda del vecino, situada a unos 25-30 metros de distancia aproximadamente de la salida de las chimeneas. La disminución allí es entre 1-3 dB en el $L_{eq\ Global\ lineal}$ y en el L_{Aeq} es casi nula. Es importante remarcar que solo hay 1 dB de diferencia en el L_{Aeq} , entre el ruido de fondo y el ruido producido por una caldera funcionando.
- La comparación de las mediciones con el ruido de fondo muestra que los mayores niveles están en las bajas frecuencias, en donde se puede notar una reducción de casi 3 dB si el análisis se realiza en L_{Ceq} .

Las dobles cámaras de expansión, conectadas a través de un tubo de choque, se usan para reducir el ruido en conductos proveniente de sistemas de ventilación, sistemas de combustión interna, motores, etc. Estas cámaras funcionan como un filtro paso-baja, reduciendo el ruido a partir de una frecuencia de corte que depende de los parámetros de diseño de la doble cámara y del tubo de choque. Para el caso de una doble cámara simétrica, los parámetros del diseño son: la longitud, L_b , y diámetro, D_b , de la cámara, la longitud, L_c , y diámetro, D_c , del tubo de choque, y, el diámetro D_L , de la tubería por la que circula el gas. Es decir, L_b , L_c , $m_1=D_b/D_c$ y $m_2=D_b/D_L$.

Conviene elegir los parámetros de tal modo que $f_c=0.6 f_0$, donde f_0 es la frecuencia fundamental del ruido a cancelar. Por lo demás, la pérdida de inserción aumenta con L_b , L_c , m_1 y m_2 . Esto hace que la doble cámara de expansión tenga una envergadura considerable (diámetro y longitud) en baja frecuencia.

Referencias

- [1] Cobo, P., Ibarra, D., Ortiz, S., Ruiz, H. Medidas de ruido de combustión en la Central Térmica de la Comunidad Altamira. Informe Técnico, CAEND. 2011
- [2] Fabeiro, J.R. “Las pulsaciones en los flujos de gas.” Tecnología I+D, Gas Actual, 57: 35-42, 1991.
- [3] Bies, D.A., Hansen, C.H. Engineering Noise Control. Theory and Practice. E&FN Spon, London. 1996.