

MODELIZACIÓN ACÚSTICA EN INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

PACS: 43.55.Ka

Peinado Hernández, Fernando¹; Bermejo Presa, Nicolas¹

¹Saint-Gobain Cristalería, S.L.

fernando.peinado@saint-gobain.com, nicolas.bermejo@saint-gobain.com

RESUMEN

En una instalación de climatización, el ruido y las vibraciones producidos por los equipos, así como por las turbulencias del aire que circula a través de la red de distribución, pueden generar ruidos que se transmiten a los espacios habitables.

Es posible modelizar, mediante algoritmos matemáticos, el comportamiento acústico de una instalación de climatización, teniendo en cuenta, por un lado las fuentes sonoras, y por otro, los elementos de atenuación presentes en dicha instalación.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de ruido en una instalación de climatización, generalmente tienen distintos orígenes, por tanto, las soluciones también son diversas y deben de estar focalizadas en cada una de las distintas problemáticas identificadas, pero en cualquiera de los casos, siempre deben ser consideradas desde la fase inicial de proyecto de la instalación.

La disponibilidad de un estudio técnico que permita modelizar el comportamiento acústico en una instalación de climatización, permitirá a nivel de proyecto, adoptar todas las medidas encaminadas a garantizar el confort acústico de los usuarios.

En una instalación de climatización, el ruido, las vibraciones y las turbulencias causadas por el flujo del aire que circula a través de la red de distribución de aire pueden generar ruidos que se transmitan a los espacios habitables.

Si la superficie interior de los conductos está constituida por un material que refleje con facilidad el sonido (como por ejemplo, el acero), estas turbulencias pueden provocar que las paredes de los conductos entren en vibración, transmitiendo así el ruido a través de la red de conductos al resto del recinto.

Teniendo en cuenta las fuentes sonoras y los elementos de atenuación presentes en una instalación de climatización, es posible modelizar el comportamiento acústico de dicha instalación a lo largo de la red de conductos, mediante algoritmos matemáticos:



En este documento se presentarán y analizarán los algoritmos matemáticos que rigen el comportamiento acústico de los elementos de una instalación de climatización y que permiten modelizar comportamiento sonoro de la instalación.

FUENTES SONORAS

La clasificación de las diferentes tipologías del ruido generado en una instalación de climatización en la fase de diseño, resulta primordial con carácter previo a la propuesta de medidas correctivas encaminadas a la eliminación o minimización de las causas del problema acústico.



Sobre el tipo de ruido generado, se tendrá que diferenciar el ruido aéreo, del ruido estructural, ya que su tratamiento será diferente:

- Ruido aéreo: transmisión en el aire (por ejemplo, el ruido generado por las aspas de un ventilador). Se tratará con materiales absorbentes en base a Lanas Minerales.
- Ruido Estructural: se transmite por el medio sólido y se disipa en el medio aéreo. Debe de ser tratado con sistemas de amortiguación (antivibratorios, bancadas de inercia).

Sistemas de Ventilación

Los sistemas de ventilación, emiten ruido en todo el espectro de frecuencias debido al desplazamiento del aire y al movimiento de las aspas del ventilador a una determinada velocidad (a medida que aumenta la velocidad de giro, aumenta el nivel de ruido emitido).

Para proyectar la instalación, es necesario conocer los niveles de presión sonora del ventilador. Esta información se puede conseguir mediante ensayo de laboratorio o mediante expresiones, tablas y ábacos que permiten disponer de un orden de magnitud de esta variable. Una de las expresiones más utilizadas es la de Madison-Graham:

$$L_w = 10 \log Q + 20 \log P + 40$$

Donde:

L_w : Nivel de presión sonora del ventilador en dB.

Q : Caudal de aire (m^3/s).

P : Presión estática (Pa).

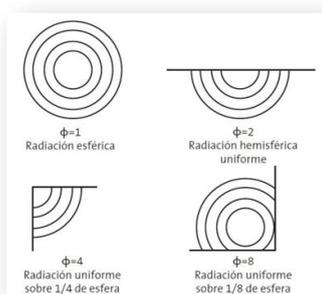
A partir del valor calculado anteriormente, podemos obtener los niveles de potencia sonora espectral aplicando las siguientes correcciones:

| <i>Correcciones del espectro sobre L_w</i> | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|------|------|------|----|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | Hz |
| Ventilador Axial | -5 | -6 | -7 | -8 | -10 | -13 | dB |
| Ventilador Centrifugo | -7 | -12 | -17 | -22 | -27 | -32 | dB |

Unidades Interiores

El ruido aéreo generado por una máquina, afecta al local donde se encuentre ubicado el equipo, y desde este se transmite al resto del edificio.

El nivel de presión sonora a una distancia r de la fuente, se puede determinar a través de la expresión:



$$L_{pr} = L_w + 10 \log \left(\frac{\phi}{4 \pi d^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Donde:

L_{pr} : nivel presión sonora a una distancia r de la fuente en dB.

L_w : nivel de potencia acústica de la fuente en dB.

d : distancia a la fuente en m.

A : área absorbente del recinto en m^2 .

ϕ : factor de directividad de la fuente sonora.

El factor de directividad es la medida del grado en que la energía sonora se concentra en una determinada dirección del espacio.

A medida que aumenta el área de absorción, debida a la presencia de materiales absorbentes, como las lanas minerales, disminuye el nivel de presión sonora.

Debido a su naturaleza, productos fibrosos de porosidad abierta, las lanas minerales disminuyen la reverberación, y por tanto, reducen el valor del nivel de presión sonora en un punto determinado.

Conocido el nivel de presión sonora a una distancia r , se debe garantizar que se cumplen los niveles especificados en la legislación de referencia. Así mismo, conocido este nivel, en el interior de una sala y dependiendo de los cerramientos de separación, se deberá garantizar que la diferencia de niveles estandarizada ponderada A en recintos interiores $D_{nT,A}$ cumple con los valores especificados en el DB-HR (Código técnico de la edificación).

$$D_{nT,A} = -10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \quad [\text{dBA}]$$

Donde:

$D_{nT,i}$ es la diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i (dB)

$L_{Ar,i}$ es el valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A , en la banda de frecuencia i (dBA)

i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 a 5000 Hz.

Unidades Exteriores

La legislación de referencia, establece que el nivel de potencia máximo, de determinados equipos situados en cubiertas y zonas exteriores, no debe de sobrepasar los niveles de calidad acústica fijado en función del tipo de área acústica.

Para determinar si se superan estos objetivos de calidad, a una distancia determinada, se emplea el algoritmo:

$$L_{pr} = L_w + 10 \log \left(\frac{\phi}{4\pi d^2} \right)$$

Donde:

L_w : nivel de potencia sonora de la máquina en dB.
 ϕ : factor de directividad de fuentes puntuales emitiendo en campo abierto.
d: distancia en m.

Conductos metálicos y elementos terminales

Los conductos no absorbentes y las rejillas o elementos terminales de un sistema de climatización, son focos de generación de ruido producido por las variaciones de la velocidad y dirección del flujo de aire.

El proyectista, deberá estudiar las características de la red de distribución a proyectar teniendo en cuenta el ruido generado en:

- Tramos rectos
- Elementos terminales de salidas, rejillas y difusores
- Otras fuentes de ruido

La potencia generada por estos sistemas, deberá ser aportada por los fabricantes, o bien ser estimada a partir de las expresiones siguientes:

En el caso de los conductos metálicos:

$$L_w = 50 \log V + 10 \log S + 7 \quad [\text{dB}]$$

$$L_{WA} = -25 + 70 \log V + 10 \log S \quad [\text{dBA}]$$

Donde:

L_w : potencia sonora generada en conductos metálicos rectos.

V: Velocidad en m/s.

S: sección del conducto en m².

Correcciones del espectro sobre L_w

| F(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1.000 | 2.000 | 4.000 |
|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| | -4 | -6 | -8 | -13 | -18 | -23 |

L_w es el nivel de potencia sonora generado al cual debe de realizarse la siguiente corrección por frecuencias para la realizar los calculos en bandas de Octava.

En el caso de rejillas y difusores:

$$L_{WA} = -4 + 70 \log V + 30 \log \zeta + 10 \log S \quad [\text{dBA}]$$

$$L_{WA} = -40 + 10 \log Q + 60 \log v + 10 \log \zeta \quad [\text{dBA}]$$

$$L_{WA} = -33 + 10 \log Q + 30 \log \Delta P \quad [\text{dBA}]$$

Donde:

V: velocidad de soplado en m/s.

ζ : Coeficiente de resistencia al flujo del difusor.

S: sección del conducto en m².

Q: Caudal de aire en m³/h.

ΔP : perdida de carga en Pa.

El aire que circula por los conductos produce una regeneración de ruido que se suma a la potencia sonora generada por el ventilador.

Producir cambios de secciones y ramificaciones es adecuado para disminuir la energía sonora procedente de la fuente, pero puede ser perjudicial si se genera un régimen turbulento tal que genere nuevas fuentes de ruido.

ATENUACIÓN ACÚSTICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CONDUCTOS ABSORBENTES

Tramos Rectos

Los intentos de cuantificar la pérdida por inserción de conductos y silenciadores presentan un largo historial.

Los primeros artículos aparecen en 1940 en el Journal of the Acoustical Society of America publicado por investigadores tan relevantes como H.J. Sabine ("The Absorption of Noise in Ventilating Ducts", JASA, vol.12, pp 53-57,1940) y L.L. Beranek ("Sound Absorption in Rectangular Ducts", JASA, vol.12, pp 228-231,1940).

La expresión aquí utilizada se debe asociar a Sabine, que encontró empíricamente, que a bajas frecuencias la atenuación de un conducto podría expresarse mediante algoritmos matemáticos que lo relacionaban con el valor del coeficiente de absorción acústica del material utilizado.

Un tramo recto es un sistema que produce una atenuación sobre el ruido generado por la instalación, y cuya eficacia vendrá determinada por el coeficiente de absorción acústica de las paredes que constituyen el conducto.

En el caso de los tramos rectos, la estimación de las pérdidas por inserción en conductos rectangulares se puede realizar teniendo en cuenta el siguiente algoritmo:

$$L = 1,05 \cdot \alpha^{1,4} \cdot \frac{P}{S} \cdot l$$

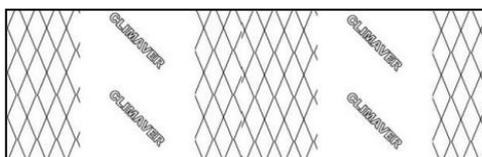
L: Atenuación acústica en dB.

α : Coeficiente de absorción acústica Sabine del material.

P: Perímetro interior del conducto en m.

S: Sección libre del conducto en m².

l: longitud conducto recto en m.



Al utilizar esta expresión, hay que considerar que el coeficiente de absorción acústica depende de la frecuencia, y por tanto, la amortiguación resultante depende de la frecuencia analizada. La modelización, tiene que ser efectuada para todas las frecuencias.

Además, se debe de utilizar los índices en ponderación A, debido a que el oído humano tiene una sensibilidad a los sonidos dependiendo de la frecuencia.

Para adaptar el nivel de presión sonora a la sensibilidad del oído humano es necesario realizar una serie de correcciones, obteniéndose los denominados niveles ponderados. Esto es debido, a la necesidad de efectuar una valoración subjetiva global del ruido por medición, aplicando las correcciones correspondientes a la curva denominada de ponderación A, que consiste, a semejanza de lo que hace el oído humano, en efectuar correcciones de los niveles de presión sonora por frecuencias mediante unos valores de compensación dados en decibelios.

Existen distintas ponderaciones, pero la más utilizada es la curva de ponderación A, ya que es la que mejor refleja la respuesta del oído humano para niveles habituales de ruido, para la que se utilizan los siguientes valores de adaptación:

| Ajuste ponderación A | | | | | |
|----------------------|-------|------|------|------|------|
| Frecuencia (Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 |
| Ponderación | -16.1 | -8.6 | -3.2 | 0.0 | 1.2 |

Y para la obtención del valor ponderado global, se utiliza la expresión:

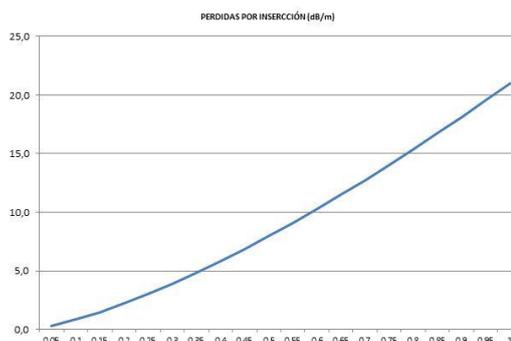
$$L_{total} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$

En general, se comprueba que en aquellos conductos metálicos, sin un revestimiento acústico interior, los sonidos se propagan apenas sin atenuación debido al bajo coeficiente de absorción acústica de dicho material.

De la estimación de las pérdidas por inserción en conductos rectangulares se deduce que además de la longitud del tramo, existen dos factores que influyen en la atenuación acústica aportada por un conducto de aire:

- a) Relación Perímetro-Sección: Cuanto mayor sea esta relación, mayores pérdidas por inserción.
- b) Coeficiente de Absorción acústica del material del conducto:
 Depende de la naturaleza y geometría del material en contacto con el flujo del aire. Puesto que habitualmente se utilizan superficies planas, la variable que más influye es el coeficiente de absorción acústica, alfa Sabine (α).
 A mayor espesor, mayor α , y por tanto, mayores atenuaciones.

En el siguiente gráfico, se muestran las pérdidas por inserción producidas, por metro lineal, en función del coeficiente de absorción acústica del material utilizado para un conducto rectangular de 20 x 20 cm.

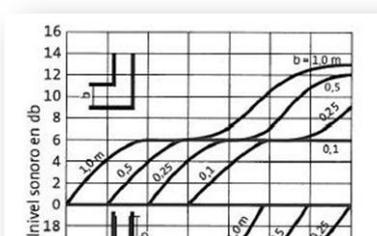


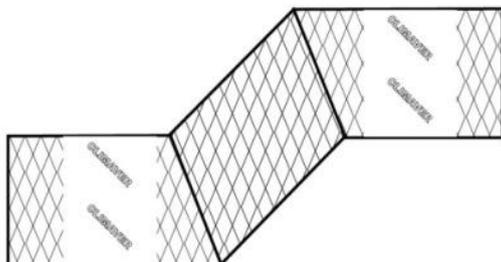
Existen conductos absorbentes en el mercado, en base a lanas minerales cuyos coeficientes de absorción acústica alcanzan valores de hasta 0,9.

En muchos casos, mediante la utilización de este tipo de conductos absorbentes, se llegan a obtener los valores de atenuación lo suficientemente altos, como para garantizar el confort acústico de los usuarios sin necesidad de utilizar silenciadores adicionales específicos.

Cambios de Dirección

Todo cambio de dirección en un conducto absorbente en forma de codo provoca una amortiguación acústica, la cual depende de la frecuencia. Pese a que las singularidades de este fenómeno no se conocen del todo bien, distintos estudios empíricos muestran que las pérdidas de inserción en este tipo de figuras, puede determinarse a través de gráficos empíricos, tal y como se muestra en la gráfica adjunta, donde obtenemos la atenuación sonora producida por un codo en una red de distribución en función de las dimensiones y características geométricas de la acometida para materiales con revestimientos interiores absorbentes.





La atenuación, es debida a un efecto “laberinto o barrera” que potencia la absorción acústica del material en este tipo de zonas.

Hay que tener en cuenta que este tipo de figuras pueden ser inadecuadas, desde el punto de vista acústico, si no se consigue una transición de forma aerodinámica, que podrían generar ruidos indeseables, debido a las turbulencias generadas en esta zona.

Derivaciones

Una derivación es una ramificación de un conducto en otros que pueden ser simétricos o asimétricos.

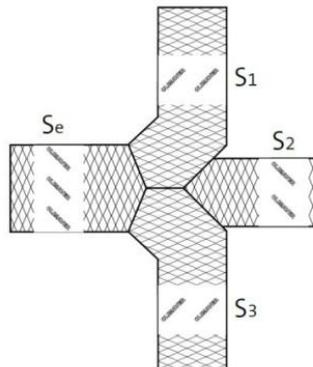
En las derivaciones de flujo, se produce una atenuación acústica que viene dada por la expresión:

$$\Delta L = 10 \log \frac{S_e}{S_i}$$

Donde:

S_i : es la sección del conducto considerado.

S_e : sección conducto primario (de entrada).



Ensanches de Sección

Los ensanches de sección son elementos de la red de distribución de aire que unen conductos adyacentes de distinta sección.

En este tipo de elementos, cuando se utilizan conductos acústicos, se produce una atenuación acústica que se puede determinar a través de la siguiente expresión:

$$\Delta L = 10 \log \frac{(m_s + 1)^2}{4m_s}$$

Donde:

m_s : es la relación entre las secciones antes y después del ensanche (es decir S_1/S_2).

S_1 : es la sección antes del ensanche en m^2 .

S_2 : es la sección después del ensanche en m^2 .



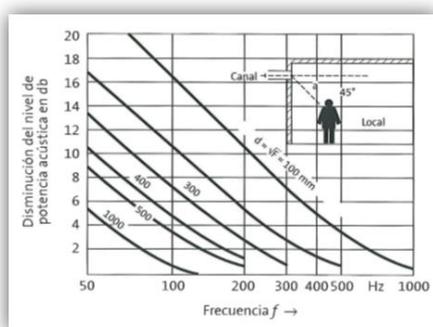
Salidas de Aire

Las salidas de aire, generalmente reducen la potencia acústica transmitida por la red de distribución.

Debido a que las bocas de salida de aire suelen tener pequeña dimensión en relación con la longitud de onda del sonido, reflejándose en el conducto parte de él.

De igual forma, esta reducción de la sección puede provocar zonas de flujo turbulento, aspecto que derivará en la generación de nuevos niveles sonoros que han de ser tenidos en cuenta.

Para la estimación de ambos factores, han de tenerse en cuenta los datos aportados por el fabricante, si bien en ausencia de ellos, se puede utilizar gráficas que especifican la reducción del producto en función de la frecuencia y la raíz cuadrada de la sección de salida, además de la situación de dicho elemento en el local:



CONCLUSIONES

La forma más eficiente de proyectar una red de distribución en una instalación de climatización es mediante la utilización de conductos absorbentes constituidos por materiales con elevados valores de absorción acústica y siempre teniendo en cuenta todos los elementos que forman parte de la instalación.

Una buena proyección, teniendo en cuenta todos los elementos, permitirá garantizar los niveles acústicos deseados sin la necesidad de integrar sistemas adicionales como por ejemplo silenciadores específicos.

A la hora de estudiar y elegir las soluciones más adecuadas para cada instalación, será primordial analizar los niveles de presión sonora en cada banda de frecuencia, teniendo especial cuidado con las frecuencias bajas, las más complicadas de tratar.

El nivel de presión sonora en cada uno de los puntos de la red de distribución, será igual a la suma logarítmica de la potencia sonora de cada una de las fuentes de ruido menos la suma de la atenuación de cada uno de los elementos atenuantes existentes:

$$L_{w, salida} = 10 \log \left(\sum 10^{L_m / 10} \right) - \Delta L_T$$

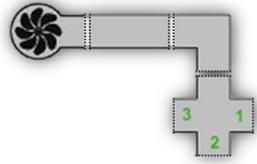
Tras tener en cuenta el espectro sonoro de las fuentes emisoras dentro de la red de conductos, se modeliza el espectro sonoro en cada uno de los puntos de la red, para obtener al final, una predicción del nivel de potencia sonora a la salida de la rejilla, teniendo en cuenta las pérdidas por inserción que se producen en la red, debidas a la presencia de conductos absorbentes y a la existencia de determinadas figuras.

Para la obtención de los niveles globales se tiene en cuenta los niveles por cada frecuencia:

$$L_{total} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i / 10}$$

En el mercado existen diversas herramientas informáticas de libre acceso que permiten modelizar el comportamiento acústico de instalaciones de CLIMATIZACIÓN.

El programa CLIMCALC ACOUSTIC, de ISOVER, aplica las expresiones algorítmicas indicadas en este trabajo, siendo un software potente, pero sencillo e intuitivo.



REFERENCIAS

- [1] CTE DB-HR.
- [2] UNE-EN 12354-5
- [3] UNE-EN ISO 11691
- [4] ASHRAE 2007, Sound and vibration and sound and vibration control
- [5] DTIE 2.03 Acústica en instalaciones de Climatización
- [6] DTIE 2.04 Acústica en instalaciones de Climatización: casos prácticos
- [7] VDI 2081 Noise generation and noise reduction in air conditioning
- [8] Journal of the Acoustical Society of America H.J. Sabine ("The Absortion of Noise in Ventilating Ducts")