

## LA INTEGRACIÓN DEL FACTOR ACÚSTICO EN EL DISEÑO ÓPTIMO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCTOS

PACS: 43.55.Ka

Panadero Maciá, Eugenio<sup>1</sup>; Morcillo López, María Dolores<sup>1</sup>; Pérez Abendaño, Mariana<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Dpto. de Desarrollo. CYPE Ingenieros S.A.

Avda. Eusebio Sempere 5,

03003 Alicante

Tel: +34 965 922 550 Fax: +34 965 124 950

E-mail: [eugenio.panadero@cype.com](mailto:eugenio.panadero@cype.com), [imasd@cype.com](mailto:imasd@cype.com), [generador.precios@cype.com](mailto:generador.precios@cype.com)

<sup>2</sup>Unidad de Construcción. TECNALIA

Parque Tecnológico de Bizkaia. C/Geldo, Edificio 700,

48160 Derio Bizkaia

Tel: +34 902 760 004

E-mail: [mariana.perez@tecnalia.com](mailto:mariana.perez@tecnalia.com)

### ABSTRACT

El progresivo aumento de las exigencias normativas para los proyectos de edificación hace necesario el uso de múltiples herramientas informáticas para el modelado, cálculo y justificación normativa de diversos aspectos técnicos de los edificios.

En este contexto, y fruto del trabajo desarrollado en el PSE BALI, cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), y dedicado a la investigación y desarrollo de nuevos productos y sistemas de altas prestaciones acústicas, se ha desarrollado una herramienta de análisis automático del ruido producido por las instalaciones de climatización de los edificios, basada en los métodos de EN 12354-5, que permite integrar el factor acústico y optimizar estas instalaciones más allá de los parámetros de diseño habituales, salvaguardando el correcto cumplimiento de CTE DB HR y la Ley del Ruido en las instalaciones de climatización por conductos.

Palabras clave: PSE BALI, FEDER, EN 12354-5, CTE DB HR, Ley del Ruido, Climatización.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la complejidad y exigencia normativa y de calidad de las instalaciones de los edificios requiere al técnico el uso de herramientas informáticas avanzadas para abarcar el cálculo y dimensionado, de forma que éste pueda enfrentar estas instalaciones con seguridad y rapidez, utilizando el limitado tiempo disponible de manera eficaz en la búsqueda del diseño óptimo de su instalación.

Las instalaciones de climatización con distribución por conductos de aire no son una excepción, pues son muchos los factores a considerar en el diseño, y relativamente complejos los cálculos termofluidodinámicos requeridos a cada propuesta de instalación. Debido a ello, desde hace tiempo existen en el mercado programas informáticos que ayudan en mayor o menor medida al técnico que abarca el cálculo de estas instalaciones.

Sin embargo, el factor acústico de estas instalaciones, muy a menudo problemático por los problemas de inmisión sonora que provoca, queda olvidado e incluso relegado de las competencias del técnico que enfoca la instalación, teniéndose en cuenta, en los casos más delicados, por distintos técnicos especializados que tratan de solventar los problemas acústicos ocasionados por instalaciones muchas veces no sólo planteadas, sino ya ejecutadas, con el consiguiente problema económico que supone resolver problemas acústicos de instalaciones que no habían considerado dicho aspecto tan importante últimamente, a raíz de los últimos cambios normativos en el Código Técnico de la Edificación [1] y la Ley 37/2003, del Ruido, y sus desarrollos reglamentarios [2], derivada de la Directiva Europea 2002/49/CE de evaluación y gestión del ruido ambiental.

En este contexto, y fruto de los trabajos de investigación realizados en el marco del Proyecto BALI (Building Acoustics for Living) [3], financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) dentro del programa Proyectos Singulares Estratégicos, se ha llevado a cabo, en el Subproyecto 4 de PSE BALI, la validación empírica de la Norma Europea EN 12354-5:2009 [4], sobre la estimación de los niveles sonoros producidos por los equipamientos de las edificaciones; en concreto, sobre los modelos matemáticos de predicción acústica para los sistemas de ventilación por conductos.

En base a las conclusiones de esa línea de trabajo del Subproyecto 4 de BALI, dedicado al ruido producido por las instalaciones del edificio, y como línea de desarrollo del Subproyecto 6, sobre un Demostrador Virtual para los logros de BALI, se ha procedido a implementar dichos modelos de predicción acústica sobre la herramienta de cálculo de sistemas de climatización existente en la plataforma de cálculo de CYPE Ingenieros [5], el programa 'Instalaciones del edificio', que comparte un modelo tridimensional del edificio para, entre otros cálculos, realizar también la predicción del comportamiento acústico del mismo, calculando el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos y procedente del exterior, así como el nivel de presión de ruido de impactos, comprobando el correcto cumplimiento del Documento Básico HR Protección frente al ruido [6].

El objetivo perseguido es la integración del factor acústico de las redes de climatización junto al dimensionado térmico y dinámico habitual de estas instalaciones, de manera que el técnico que las aborda añada el factor acústico a las mismas, permitiendo su optimización acústica al tiempo que controla los objetivos de calidad acústica impuestos en la Ley del Ruido [2].

En este artículo se describe el nuevo módulo de cálculo para la predicción de la inmisión sonora producida por las redes de conductos de climatización, así como su integración en los cálculos existentes de dimensionado de dichas redes y aislamiento acústico del edificio.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO

### Base de partida. Cálculos térmicos del sistema de climatización

Como se comentaba anteriormente, el nuevo módulo de cálculo se basa en el módulo existente en el software de CYPE [7] para el cálculo y dimensionado de sistemas de climatización. En él, a partir de un modelo tridimensional del edificio, se calculan automáticamente las cargas térmicas y las necesidades de ventilación de cada uno de los recintos del edificio modelado, y con esos resultados como datos de entrada, se dimensionan las redes de conductos de climatización y los puntos de trabajo de los equipos y maquinaria del sistema.

Se hace notar aquí que este dimensionado se realiza en base a elementos reales que el usuario selecciona, eligiendo modelos concretos de enfriadoras, climatizadoras, fancoils, conductos de chapa o fibra mineral, rejillas, difusores, toberas, etc., de los fabricantes más relevantes del mercado, presentes en la base de datos de CYPE [8]. Este hecho permite disponer la caracterización real de cada producto por parte de su fabricante, y utilizarla en los

cálculos del programa, manteniendo éstos lo más cerca posible de la realidad, al no tener que recurrir a simplificaciones o generalizaciones en el comportamiento de cada elemento.

Como resultado del cálculo de climatización, se dispone de datos muy precisos sobre la geometría y comportamiento de la red, teniendo accesible, para cada elemento de la misma, datos sobre tamaños, modelos, longitudes, caudales y velocidades, presiones estáticas y dinámicas, y demás resultados relacionados con los cálculos térmicos y de dinámica de fluidos que realiza el programa.

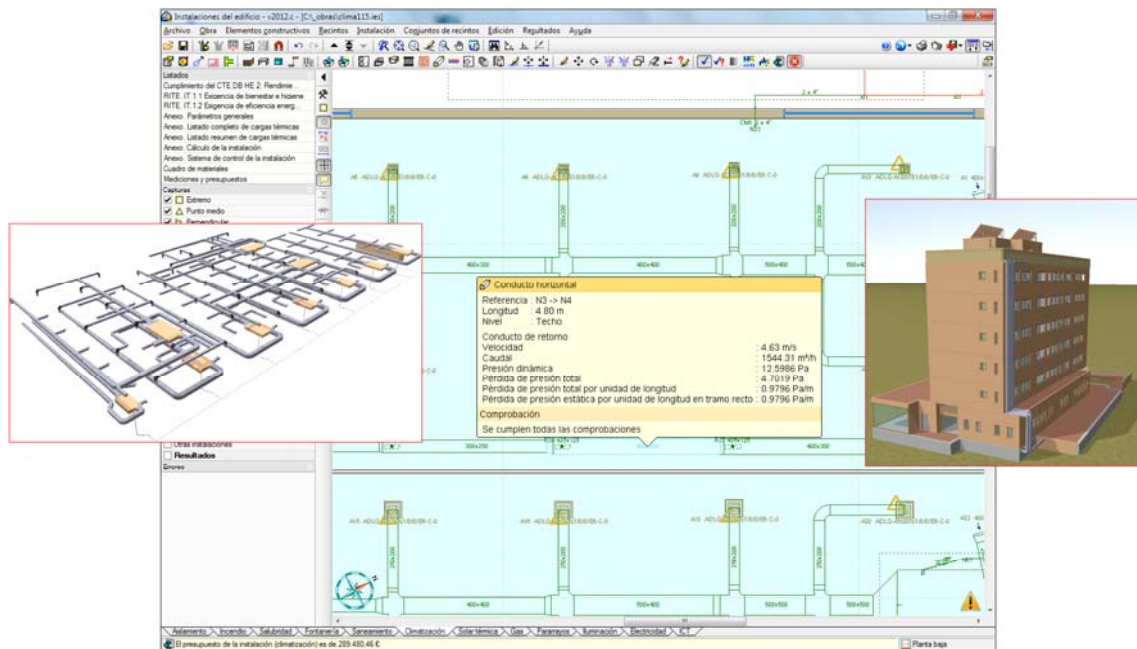


Figura 1 – Captura del programa existente de CYPE Ingenieros para el cálculo de sistemas de climatización, junto a las vistas 3D que produce para el edificio completo y la instalación de conductos.

### Descripción del cálculo acústico de la red de conductos

Los nuevos algoritmos desarrollados toman todos esos resultados y analizan la topología de las redes malladas del sistema de climatización para, desde cada una de las aberturas del sistema (salidas en las redes de impulsión y entradas en las de retorno), resolver cada uno de los caminos que llevan de una fuente de emisión sonora hasta una abertura de aire, a través de la red de conductos del sistema.

Esta información de los distintos caminos que trasladan el ruido producido a cada abertura queda almacenada en las aberturas, con información de cada tramo en cada camino, que incluyen los datos necesarios para la estimación de la atenuación sonora o la generación de ruido en cada tramo, como:

- los valores de absorción sonora (coefs  $\alpha$ -sabine) en cada frecuencia de los conductos,
- los datos de velocidad o caudal de aire en cada tramo, las secciones efectivas y de entrada y salida de cada tramo, el tipo de elemento: codos, bifurcaciones, ensanches, etc.,
- los valores de potencia sonora generada en las aberturas de salida, proporcionados por el fabricante y calculados en función de su sección efectiva y caudal (las aberturas de salida son también, por sí mismas, fuentes de ruido),
- y los valores de potencia sonora de los equipos productores, bien proporcionados por el fabricante, bien estimados en base a las formulaciones empíricas habituales de ASHRAE [9][10] en función del tipo de ventilador de la máquina y su punto de trabajo.

Esta información se genera internamente de forma automática y queda grabada en el fichero del modelo del edificio. Al pasar al módulo de cálculo de aislamiento acústico, éste detecta la existencia de esta información y la utiliza para integrar el nuevo cálculo en los resultados de cálculo acústico.

De esta forma, en el módulo de 'Aislamiento' [6], se muestran en pantalla las redes de conductos con su dimensión real, así como los equipos productores de ruido, en capas de visibilidad controlada por el usuario; y al calcular el modelo, el algoritmo busca aberturas del sistema en cada recinto y procesa todos los caminos sonoros existentes, asegurando un análisis completo de la red de conductos del edificio, diferenciando éste de cualquier cálculo manual, que, obligatoriamente, debe acortarse y simplificarse hasta un punto manejable por una persona, con o sin ayuda de hojas de cálculo.

En este proceso de cálculo de *camino sonoro* se van generando resultados que se reflejan en tablas de atenuación sonora por cada tramo, y, automáticamente, se desechan aquellos caminos que alcanzan tal atenuación que su nivel de potencia sonora resultante queda por debajo del umbral de sonido perceptible sobre el ruido de fondo. De esta forma se genera documentación justificativa sobre el cálculo de cada camino, mostrando sólo la información relevante para el técnico, huyendo de listados de cálculo interminables que aportarían bien poco al análisis del comportamiento acústico de la red de climatización.

Calculada la atenuación hasta cada abertura, se establecen los niveles de presión sonora generados en los recintos receptores, mediante la potencia sonora resultante en cada abertura y la absorción acústica del recinto receptor; y, dado que todo el cálculo se lleva a cabo en distintas frecuencias (se utilizan las bandas centrales de octava, de 125Hz a 4000 Hz), se establece también la clasificación de los niveles producidos según las curvas de confort NR, que ayuda al proyectista a fijar y optimizar objetivos de calidad acústica en los recintos receptores.

Por último, los resultados de presión sonora de cada abertura se convierten a valores globales ponderados A y se suman logarítmicamente junto a los niveles de presión sonora producidos por equipos situados dentro de los recintos receptores, en recintos colindantes, y en el exterior del edificio. Esta suma de niveles sonoros se realiza para cada perfil horario de cada equipo o sistema, hallando así la estimación de los niveles sonoros continuos equivalentes en los horarios de día, tarde y noche, para cada recinto; y, en caso de establecerse como recintos sensibles según Ley 37/2003, del Ruido [2], se comparan con los valores límite exigidos en cada caso, informando al usuario del incumplimiento de los objetivos de calidad acústica impuestos en dicha ley.

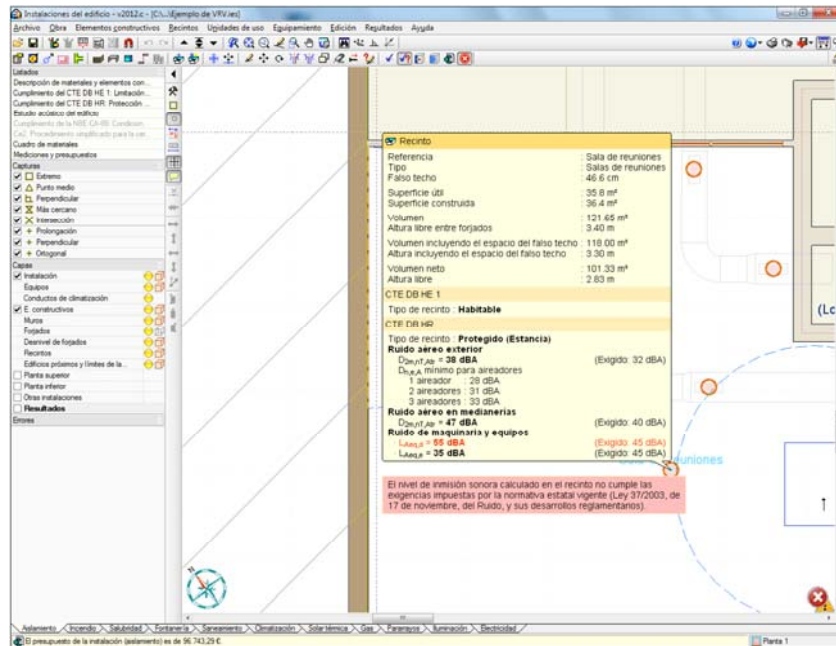


Figura 2 – Captura del nuevo módulo de cálculo, representando los resultados finales sobre un recinto.

## RESULTADOS ACÚSTICOS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

### Resultados generados por recinto receptor

Los resultados generados por el nuevo módulo de cálculo dan lugar a fichas de cálculo detallado para cada recinto, accesibles pulsando en cada uno de ellos con el edificio calculado. Estas fichas, que muestran todos los resultados intermedios necesarios para comprobar o justificar cada resultado, se componen de distintos apartados:

- una cabecera con información relevante del recinto receptor, seguida, si procede, de las comprobaciones de los resultados finales obtenidos frente a los valores exigidos según Ley del Ruido [2];
- un apartado con el cálculo del nivel de presión sonora producido por cada equipo “puntual” encontrado dentro del recinto receptor, en recintos colindantes, o en el exterior del edificio;
- un apartado con el cálculo del nivel de presión sonora producido por cada abertura del sistema de climatización encontrada en el recinto receptor, con tablas de atenuación sonora que siguen el estilo de presentación de datos marcado en el Anexo H de la Norma EN 12354-5 [4], con cálculos de ejemplo;
- y un apartado final donde se suman todos los niveles sonoros procesados, para cada intervalo horario, obteniendo los niveles sonoros continuos equivalentes ( $L_{Aeq,T}$ ) y los índices de ruido día-tarde-noche ( $L_{den}$ ).

A continuación, se muestra un ejemplo de estos listados de cálculo para un recinto receptor, como exportación en formato Word:

<b>Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, <math>L_{Aeq,T}</math></b>		
<b>Tipo de recinto:</b>	Sala P1 (Salas de reuniones)	Protegido
<b>Situación del recinto receptor:</b>		Planta 1

**Volumen del recinto, V:** 101.1 m<sup>3</sup>  
**Absorción acústica equivalente del recinto receptor, A:** 24.1 m<sup>2</sup>

$L_{Aeq,d} = 50 \text{ dBA} \leq L_d = 45 \text{ dBA}$  ✗

$L_{Aeq,e} = 33 \text{ dBA} \leq L_e = 45 \text{ dBA}$  ✓

**Cálculo del nivel de presión sonora continuo equivalente producido por cada equipo:**

El cálculo del nivel de presión sonora,  $L_p$ , producido por cada equipo en funcionamiento, con independencia del perfil de uso horario del mismo, se calcula atendiendo a la siguiente formulación:

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) - \left[ D_{nT,A} + 10 \log \left( \frac{0.16V}{A \cdot T_0} \right) \right]$$

La expresión depende de la potencia sonora de la fuente,  $L_w$ , de la directividad de la fuente y su distancia al receptor, de la reverberación que se produce en el recinto donde se produce la emisión sonora, si la fuente está confinada en un espacio cerrado, y del aislamiento acústico del elemento de separación entre recintos, cuando la fuente no se encuentra en el recinto receptor. La presencia del término logarítmico en la resta del aislamiento acústico responde a la necesidad de deshacer la estandarización (subíndice nT) de la diferencia de niveles calculada ( $D_{nT,A}$  ó  $D_{2m,nT,A}$ ).

Recinto emisor	Referencia	$L_w$ (dBA)	D	r (m)	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_m$	R (m <sup>2</sup> )	$D_{nT,A}$ (dBA)	$L_p$ (dBA)
Sala P1*	A2	41	2	1.6	141.10	0.17	29.04	---	<b>32.7</b>
Vestíbulo	A3	41	4	2.2	108.77	0.26	37.94	34.0	< <b>20</b>
Vestíbulo	A2	56	1	1.9	252.73	0.16	49.14	54.0	< <b>20</b>

*Notas:*  
 $L_w$ : Nivel de potencia sonora de la máquina, ponderado A, dBA.  
D: Factor de directividad de la fuente.  
r: Radio de la mayor esfera que puede ser inscrita en el recinto emisor, o distancia mínima del equipo al cerramiento exterior del recinto receptor en caso de equipos situados en el exterior del edificio, m.  
 $S_i$ : Superficie total de la envolvente del recinto emisor, m<sup>2</sup>.  
 $\alpha_m$ : Coeficiente de absorción acústica medio del recinto emisor.  
R: Componente del campo reverberante, m<sup>2</sup>.  
 $D_{nT,A}$ : Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, dB.  
 $L_p$ : Nivel de presión acústica, dBA.  
\* Equipamiento situado en el recinto receptor

**Cálculo del nivel de presión sonora producido por el sistema de climatización:**

Para las aberturas del sistema de climatización, se procesa cada camino sonoro desde cada uno de los equipos productores de ruido hasta cada abertura, calculando la atenuación sonora de cada tramo de la red, para cada una de las bandas centrales de octava, de 125Hz a 4kHz, según el método de cálculo expuesto en la Norma EN 12354-5. De esta forma, se

calcula la potencia sonora resultante de cada elemento productor de ruido para cada frecuencia a la salida de cada abertura, según la expresión:

$$L_{w,o} = L_{w,i} - \sum_{j=1}^n (\Delta L_{w,j})$$

Cada potencia sonora resultante se suma a la salida, y se corrige con la atenuación producida en el recinto receptor, estimando así los niveles de presión sonora producidos por cada abertura, en bandas de octava y en variables globales ponderadas A, obteniendo también la clasificación según curvas NR de evaluación del ruido provocado por cada abertura.

**Cálculo del nivel de presión sonora normalizada,  $L_{n,d}$ , de la apertura 'I5'**

Elemento	Descripción	Magnitud	Valor por banda de frecuencia (Hz)						$L_A$ (dBA)	
			125	250	500	1K	2K	4K		
<b>A1</b>	<b>Fuente</b>	<b><math>q = 3411 \text{ m}^3/\text{h}</math>, <math>\Delta P = 150.0 \text{ Pa}</math>, <math>L_w = 83.3 \text{ dB}</math></b>	<b><math>L_{w,i}</math></b>	<b>77.3</b>	<b>74.3</b>	<b>72.3</b>	<b>70.3</b>	<b>67.3</b>	<b>64.3</b>	<b>75.3</b>
A1->N1	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.11 m	$\Delta L_w$	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.4	
A1->N1	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.248 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
A1->N1	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 1.91 m	$\Delta L_w$	1.9	1.9	1.9	8.8	6.8	6.8	
A1->N1	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.248 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
A1->N1	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.91 m	$\Delta L_w$	0.9	0.9	0.9	4.2	3.3	3.3	
N1->N2	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.30 m	$\Delta L_w$	0.3	0.3	0.3	1.4	1.1	1.1	
N2->N4	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 2.70 m	$\Delta L_w$	2.7	2.7	2.7	12.5	9.7	9.7	
N4->N3	Tramo	400x400 mm, lana mineral, L = 3.70 m	$\Delta L_w$	4.1	4.1	4.1	19.0	14.7	14.7	
N3->I5	Tramo	300x300 mm, lana mineral, L = 0.90 m	$\Delta L_w$	1.3	1.3	1.3	6.2	4.8	4.8	
N3->I5	Cambio de sección	de $S_{\text{entrada}} = 0.122 \text{ m}^2$ , $S_{\text{salida}} = 0.063 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
I5	Salida de aire	$S_{\text{eficaz}} = 0.043 \text{ m}^2$ , $\Omega = \pi$	$D_{t,io}$	6.5	2.7	0.8	0.2	0.1	---	
			<b><math>L_{w,o}</math></b>	<b>59.0</b>	<b>57.8</b>	<b>55.7</b>	<b>11.0</b>	<b>19.9</b>	<b>17.0</b>	<b>54.5</b>
I5	Salida de aire	$S_{\text{eficaz}} = 0.043 \text{ m}^2$ , $v = 5.2 \text{ m/s}$	<b><math>L_{w,o}</math></b>	<b>38.1</b>	<b>36.1</b>	<b>34.1</b>	<b>29.1</b>	<b>24.1</b>	<b>19.1</b>	<b>35.1</b>
			<b><math>L_{w,o,Total}</math></b>	<b>59.0</b>	<b>57.8</b>	<b>55.7</b>	<b>29.2</b>	<b>25.5</b>	<b>21.2</b>	<b>54.5</b>
		$D = 4$ , $r = 1.43 \text{ m}$ , $R = 29.04 \text{ m}^2$		-5.3	-5.3	-5.3	-5.3	-5.3	-5.3	
			<b><math>L_{n,d}</math></b>	<b>53.7</b>	<b>52.5</b>	<b>50.4</b>	<b>23.9</b>	<b>20.2</b>	<b>15.9</b>	<b>49.2</b>

**Clasificación según curvas NR: 50**

**Cálculo del nivel de presión sonora normalizada,  $L_{n,d}$ , de la apertura 'R3'**

Elemento	Descripción	Magnitud	Valor por banda de frecuencia (Hz)						$L_A$ (dBA)	
			125	250	500	1K	2K	4K		
<b>A1</b>	<b>Fuente</b>	<b><math>q = 3411 \text{ m}^3/\text{h}</math>, <math>\Delta P = 150.0 \text{ Pa}</math>, <math>L_w = 83.3 \text{ dB}</math></b>	<b><math>L_{w,i}</math></b>	<b>77.3</b>	<b>74.3</b>	<b>72.3</b>	<b>70.3</b>	<b>67.3</b>	<b>64.3</b>	<b>75.3</b>
A1->N2	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.43 m	$\Delta L_w$	0.4	0.4	0.4	2.0	1.5	1.5	
A1->N2	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.248 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
A1->N2	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.63 m	$\Delta L_w$	0.6	0.6	0.6	2.9	2.2	2.2	
A1->N2	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.248 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
A1->N2	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.94 m	$\Delta L_w$	0.9	0.9	0.9	4.4	3.4	3.4	
A1->N2	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.248 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
A1->N2	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.94 m	$\Delta L_w$	0.9	0.9	0.9	4.4	3.4	3.4	
A1->N2	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.248 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
A1->N2	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 1.71 m	$\Delta L_w$	1.7	1.7	1.7	7.9	6.1	6.1	
N2->N3	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 0.30 m	$\Delta L_w$	0.3	0.3	0.3	1.4	1.1	1.1	
N3->N5	Tramo	500x400 mm, lana mineral, L = 2.70 m	$\Delta L_w$	2.7	2.7	2.7	12.5	9.7	9.7	
N5->N4	Tramo	400x400 mm, lana mineral, L = 3.53 m	$\Delta L_w$	3.9	3.9	3.9	18.1	14.0	14.0	
N4	Derivación	$S_{\text{entrada}} = 0.203 \text{ m}^2$ , $\Sigma S_{\text{salida}} = 0.280 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
N4	Cambio de sección	de $S_{\text{entrada}} = 0.158 \text{ m}^2$ , $S_{\text{salida}} = 0.122 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
N4->R3	Tramo	300x300 mm, lana mineral, L = 0.44 m	$\Delta L_w$	0.7	0.7	0.7	3.0	2.4	2.4	
N4->R3	Codo	$S_{\text{eficaz}} = 0.122 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	---	---	1.0	2.0	3.0	3.0	
N4->R3	Tramo	300x300 mm, lana mineral, L = 2.06 m	$\Delta L_w$	3.0	3.0	3.0	14.1	11.0	11.0	
N4->R3	Cambio de sección	de $S_{\text{entrada}} = 0.122 \text{ m}^2$ , $S_{\text{salida}} = 0.063 \text{ m}^2$	$\Delta L_w$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
R3	Entrada de aire	$S_{\text{eficaz}} = 0.033 \text{ m}^2$ , $\Omega = 2 \cdot \pi$	$D_{t,oi}$	---	---	---	---	---	---	
			<b><math>L_{w,o}</math></b>	<b>60.2</b>	<b>53.2</b>	<b>46.2</b>	---	---	---	<b>48.7</b>
			<b><math>L_{w,o,Total}</math></b>	<b>60.2</b>	<b>53.2</b>	<b>46.2</b>	---	---	---	<b>48.7</b>
		$D = 2$ , $r = 1.11 \text{ m}$ , $R = 29.04 \text{ m}^2$		-5.7	-5.7	-5.7	--	--	--	
			<b><math>L_{n,d}</math></b>	<b>54.5</b>	<b>47.5</b>	<b>40.5</b>	---	---	---	<b>43.0</b>

**Clasificación según curvas NR: 40**

**Notas:**

- $L_{w,i}$ : Nivel de potencia de la fuente sonora, para cada frecuencia en dB y ponderado A, dBA.
- $L_w$ : Atenuación de la potencia sonora en cada tramo de la red de conductos, dB.
- $D_{t,oi}$ : Atenuación de la potencia sonora en la salida de aire de la abertura de impulsión, dB.
- $D_{t,oi}$ : Atenuación de la potencia sonora en la entrada de aire de la abertura de retorno, dB.
- $L_{w,o}$ : Nivel de potencia sonora de salida para el camino sonoro procesado, dB.
- $L_{w,o,Total}$ : Nivel de potencia sonora total para la abertura de aire, dB.
- D: Factor de directividad de la abertura.
- r: Radio de la mayor esfera que puede ser inscrita en el recinto emisor, m.
- R: Componente del campo reverberante,  $\text{m}^2$ .
- $L_{n,d}$ : Nivel de presión sonora normalizada producido por la abertura de aire en el recinto receptor, dB.



**Cálculo del nivel sonoro continuo equivalente por intervalo horario:**

Se muestra en este apartado la composición de niveles de presión sonora continua equivalente de cada equipo y abertura de aire para los intervalos de uso horario establecidos, agrupados conforme a los periodos temporales de evaluación definidos en el Anexo I del Real Decreto 1367/2007 por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, calculados según:

$$L_{Aeq,T,i} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \right)$$

donde  $t_i$  representa las horas de funcionamiento del equipo en cada intervalo  $T$  considerado, siendo estos de 12 h para el día ( $T = d$ , de 7 h a 19 h), 4 h para la tarde ( $T = e$ , de 19 h a 23 h) y 8 h para la noche ( $T = n$ , de 23 h a 7 h).

Se muestra también el índice de ruido día-tarde-noche,  $L_{den}$ , asociado a la molestia global producida a lo largo del día por cada equipo y por el conjunto de los mismos, definido en el Anexo I del Real Decreto 1513/2005 por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. La formulación utilizada para calcularlo, que realiza el ruido producido en el periodo nocturno, es la siguiente:

$$L_{den} = 10 \log \left( \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,d}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,e}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,n}+10}{10}} \right) \right)$$

La composición de niveles sonoros continuos equivalentes de varias fuentes se realiza como suma de niveles sonoros, y los resultados finales para el recinto receptor se comparan, si es necesario, con los valores límite  $L_d$ ,  $L_e$  y  $L_n$  fijados como objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable (tabla B, Anexo II, RD 1367/2007), o bien con los valores límite  $L_{K,d}$ ,  $L_{K,e}$  y  $L_{K,n}$ , para el ruido transmitido a locales colindantes por actividades (tabla B2, Anexo III, RD 1367/2007).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,T,i}}{10}} \right) \leq \begin{cases} L_T \\ L_{K,T} \end{cases} ; T = \{d, e, n\}$$

Referencia	$L_p$ (dBA)	Funcionamiento (h)			$L_{Aeq,d}$ (dBA)	$L_{Aeq,e}$ (dBA)	$L_{Aeq,n}$ (dBA)	$L_{den}$ (dB)
		día	tarde	noche				
A2	32.7	12	4	---	32.7	32.7	---	32.8
I5	49.2	12	---	---	49.2	---	---	46.2
R3	43.0	12	---	---	43.0	---	---	40.0
					<b>50</b>	<b>33</b>	<b>--</b>	<b>47</b>

Notas:

$L_p$ : Nivel de presión acústica, dBA.

$L_{Aeq,T}$ : Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A de ruido aéreo en el intervalo  $T$ , dBA.

$L_{den}$ : Índice de ruido día-tarde-noche, dB.

Figura 3 – Listado de cálculo detallado generado para la inmisión sonora en un recinto receptor.

**Resultados generados para el edificio completo**

Además de los listados por recinto, se añade también un nuevo capítulo al estudio acústico del edificio realizado por el programa, referente al nivel sonoro continuo equivalente, y formado por dos subcapítulos. En el primero, se muestra una tabla, a modo de resumen, con los recintos

con los valores más desfavorables de inmisión sonora, clasificados según CTE DB HR, y con los valores exigidos por normativa en los casos donde proceda.

Estos recintos más desfavorables aparecen numerados, con objeto de, en el segundo subcapítulo, mostrar para ellos de forma ordenada y referenciada las fichas de cálculo detallado correspondientes a esos cálculos en un formato más adecuado para su inclusión en el informe del edificio completo.

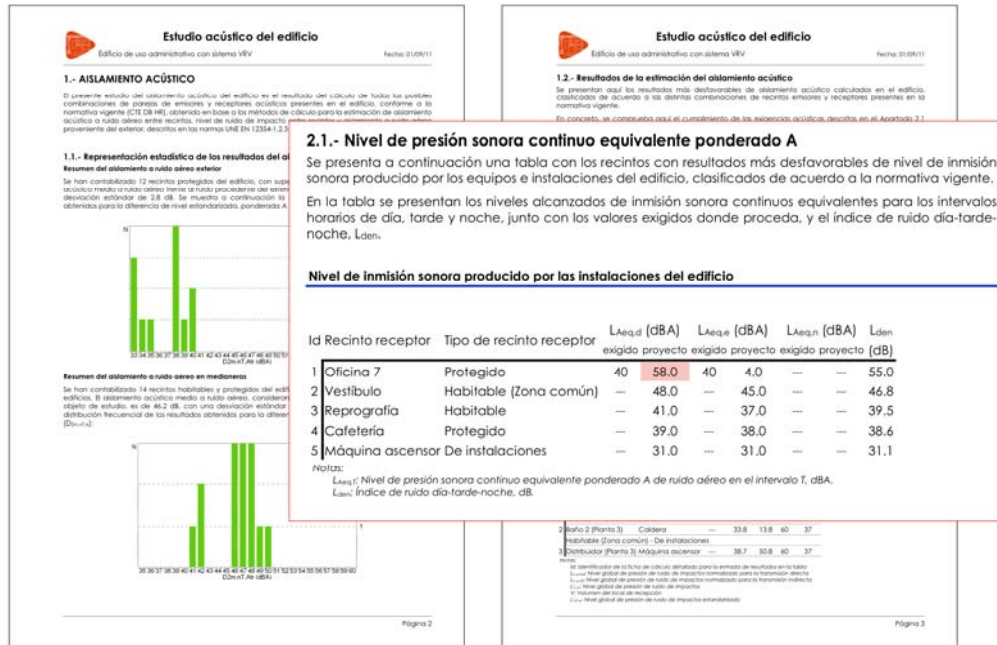


Figura 4 – Informe del cálculo de inmisión sonora de los recintos del edificio integrado en el estudio acústico del edificio elaborado por el programa.

## CONCLUSIONES

Al término de este desarrollo informático, los logros alcanzados con el nuevo módulo de cálculo permiten estimar los niveles de inmisión sonora en recintos producidos por:

- equipos procedentes de la instalación de climatización, estén éstos conectados con la red de conductos o no (calderas, fancoils, splits, climatizadoras, etc.),
- equipos genéricos introducidos por el usuario en 'Aislamiento' [6], especificando para ellos potencia sonora ( $L_w$ ) y horario de uso,
- aberturas de la red de conductos del sistema de climatización.

Además, se controla el cumplimiento normativo de la Ley 37/2003, del Ruido; y se calcula, a modo informativo, el índice de ruido día-tarde-noche,  $L_{den}$ , de cada recinto, y todos estos resultados se integran en el estudio acústico que se realiza automáticamente para el edificio completo, junto con los resultados del cálculo del aislamiento a ruido aéreo y de impactos.

Este desarrollo, además, prepara y abre las puertas a futuras implementaciones similares de módulos de cálculo del ruido producido por otras instalaciones dentro de los edificios, como son las de suministro y evacuación de agua, que se llevarían a cabo conforme se detallan y validan métodos de cálculo adecuados para estas instalaciones. Por tanto, este desarrollo no sólo resulta comercialmente interesante por sí mismo, sino que establece un rumbo a seguir y una nueva filosofía de herramientas software integradas donde se analicen todos los factores influyentes en la acústica edificatoria, con la consiguiente mejora natural en el diseño y

apreciación del factor acústico en los edificios, de acuerdo a los objetivos marcados en el PSE BALI.

## REFERENCIAS

- [1] Código Técnico de la Edificación.
- [2] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, y sus desarrollos reglamentarios en el Real Decreto 1513/2005 y en el Real Decreto 1367/2007.
- [3] <http://www.proyecto-bali.es/>. Proyecto Singular Estratégico BALI (Building Acoustics for Living).
- [4] EN 12354-5:2009. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements. Part 5: Sound levels due to the service equipment.
- [5] <http://instalaciones.cype.es/>. Instalaciones del edificio adaptado al CTE: Fontanería, Gas, Contra incendio, Saneamiento, Telecomunicaciones, Electricidad, Climatización y aislamiento, Energía solar térmica. CYPE Ingenieros, S.A.
- [6] [http://cte.cype.es/db\\_hr.htm](http://cte.cype.es/db_hr.htm). Software para la comprobación de la opción general de cálculo del CTE DB HR. Protección frente al ruido. CYPE Ingenieros, S.A.
- [7] <http://climatizacion.cype.es/>. Software de Climatización y Calefacción. CYPE Ingenieros, S.A.
- [8] <http://www.generadordeprecios.info/>. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.
- [9] 2005 ASHRAE Handbook: Fundamentals. Chapter 7. Sound and vibration. ASHRAE 2005, ISBN: 978-1931862707.
- [10] 2007 ASHRAE Handbook: HVAC Applications. Chapter 47. Sound and vibration control. ASHRAE 2007, ISBN: 978-1933742151.