

Julio 2001

### TÍTULO

**Acústica de la edificación**

**Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos**

**Parte 4: Transmisión del ruido interior al exterior**

*Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 4: Transmission of indoor sound to the outside.*

*Acoustique du bâtiment. Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments. Partie 4: Transmission du bruit intérieur à l'extérieur.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12354-4 de septiembre 2000.

### OBSERVACIONES

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 74 *Acústica* cuya Secretaría desempeña AENOR.



ICS 91.120.20

Versión en español

**Acústica de la edificación**  
**Estimación de las características acústicas de las edificaciones**  
**a partir de las características de sus elementos**  
**Parte 4: Transmisión del ruido interior al exterior**

**Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 4: Transmission of indoor sound to the outside.**

**Acoustique du bâtiment. Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments. Partie 4: Transmission du bruit intérieur à l'extérieur.**

**Bauakustik. Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-09-09. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES.....	6
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	7
2 NORMAS PARA CONSULTA .....	7
3 MAGNITUDES RELEVANTES.....	7
3.1 Magnitudes para expresar las características del edificio.....	7
3.1.1 Nivel de potencia acústica $L_w$ .....	7
3.1.2 Corrección por directividad, $D_c$ .....	8
3.2 Magnitudes para expresar las características de los elementos del edificio.....	8
3.2.1 Índice de reducción acústica, $R$ .....	8
3.2.2 Diferencia de nivel normalizada del elemento, $D_{n,e}$ .....	8
3.2.3 Pérdidas por inserción, $D$ (de un elemento).....	8
3.2.4 Otros datos relevantes .....	8
3.3 Otros términos y magnitudes.....	8
3.3.1 Nivel de presión acústica, $L_p$ .....	8
3.3.2 Atenuación total debido a la propagación, $A_{tot}$ .....	8
3.3.3 Término de difusividad, $C_d$ .....	8
3.3.4 Nivel de presión acústica en el interior, $L_{p,in}$ .....	8
3.3.5 Fuente acústica equivalente .....	8
4 MODELO DE CÁLCULO.....	9
4.1 Principios generales.....	9
4.2 Determinación de las fuentes acústicas puntuales equivalentes.....	10
4.3 Determinación del nivel de potencia acústica de la fuente puntual equivalente.....	10
4.4 Determinación de la corrección por directividad para una fuente puntual equivalente.	12
4.5 Limitaciones .....	12
5 EXACTITUD .....	13
ANEXO A (Normativo) LISTA DE SÍMBOLOS.....	14
ANEXO B (Informativo) CAMPO ACÚSTICO INTERIOR .....	15
ANEXO C (Informativo) ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA .....	16
ANEXO D (Informativo) ACTIVIDAD DE LA RADIACIÓN ACÚSTICA .....	17
D.1 Radiador plano .....	17
D.2 Aberturas.....	17

<b>ANEXO E (Informativo) MODELO SIMPLIFICADO PARA LA PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA EN EL EXTERIOR ...</b>	<b>18</b>
<b>ANEXO F (Informativo) APLICACIÓN DEL MODELO A ÍNDICES GLOBALES .....</b>	<b>21</b>
<b>F.1 General.....</b>	<b>21</b>
<b>F.2 Datos de partida .....</b>	<b>21</b>
<b>F.3 Modelo para índices globales .....</b>	<b>21</b>
<b>F.4 Limitaciones .....</b>	<b>22</b>
<b>ANEXO G (Informativo) EJEMPLO DE CÁLCULO.....</b>	<b>23</b>
<b>G.1 Situación .....</b>	<b>23</b>
<b>G.2 Resultados del modelo completo.....</b>	<b>24</b>
<b>G.2.1 Fuentes acústicas equivalentes.....</b>	<b>24</b>
<b>G.2.2 Nivel de potencia acústica .....</b>	<b>25</b>
<b>G.3 Resultados del modelo simplificado.....</b>	<b>27</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>29</b>

## ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 126 “Propiedades acústicas de los edificios y sus elementos de construcción”, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de marzo de 2001, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de marzo de 2001.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Esta es la primera versión de esta norma, que forma parte de una serie de normas que especifican modelos de cálculo en la acústica de las edificaciones.

- Parte 1: *Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento del ruido aéreo entre recintos.*
- Parte 2: *Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos.*
- Parte 3: *Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo frente al ruido del exterior.*
- Parte 4: *Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 4: Transmisión de ruido interior al exterior.*
- Parte 5: *Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 5: Ruido de instalaciones técnicas y equipo.*
- Parte 6: *Acústica de la edificación. Estancia de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 6: Absorción acústica en espacios cerrados.*

La precisión de esta norma sólo se puede especificar en detalle después de una amplia comparación con datos de campo, éstos sólo pueden obtenerse hasta que pase un período de tiempo después de establecerse el modelo de predicción. Como ayuda al usuario, a medio plazo, se han dado indicaciones de precisión, basándose en primeras comparaciones con modelos de predicción comparables. Es responsabilidad del usuario (es decir, una persona, una organización, las autoridades) y dirigir las consecuencias de la precisión, inherente para todas las medidas y métodos de predicción, mediante la especificación de los requisitos de los datos de entrada y/o aplicando en margen de seguridad a los resultados o aplicando alguna otra corrección.

El anexo A forma parte integral de esta parte de la Norma EN 12354, los anexos B, C, D, E, F, G y H son informativos.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea describe un modelo de cálculo para el nivel de potencia acústica radiado por la parte externa de un edificio debido al ruido aéreo procedente del interior del edificio, a partir, fundamentalmente de los niveles de presión acústica medidos en el interior del edificio y de datos medidos sobre las características de transmisión acústica de los elementos y aberturas más importantes de las fachadas del edificio. Estos niveles de potencia acústica, junto con los correspondientes a otras fuentes situadas en la fachada o frente a ella forman la base del cálculo del nivel de presión acústica a una distancia dada de un edificio como medida de las características acústicas de un edificio.

La predicción del nivel de presión acústica en el interior de un edificio a partir del conocimiento de las fuentes de ruido internas está fuera del alcance de esta norma europea.

La predicción de la propagación acústica en el exterior del edificio está fuera del objeto y campo de aplicación de esta norma.

NOTA – En el anexo informativo E se proporciona una aproximación para la estimación del nivel de presión acústica para condiciones de propagación simples.

Esta norma europea describe los principios del modelo de cálculo, enumera las magnitudes relevantes y define sus aplicaciones y restricciones. Está orientada a expertos acústicos y establece un marco para el desarrollo de documentos de aplicación y herramientas para otros usuarios del campo de la construcción de edificios, teniendo en cuenta situaciones locales.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

EN ISO 140-3 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos de construcción. (ISO 140-3:1995).*

EN ISO 140-5 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Medición in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachada y de fachadas. (ISO 140-5:1998).*

EN 20140-10 – *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 10: Medición en laboratorio del aislamiento a ruido aéreo de los elementos de construcción pequeños. (ISO 140-10:1991).*

EN ISO 7235 – *Acústica. Métodos de medición para silenciadores en conductos. Pérdidas por inserción, ruido de flujo y pérdida de presión total. (ISO 7235:1991).*

## 3 MAGNITUDES RELEVANTES

Los símbolos utilizados para los propósitos de esta norma europea se recogen en el anexo A.

### 3.1 Magnitudes para expresar las características del edificio

**3.1.1 Nivel de potencia acústica,  $L_w$ :** Nivel de potencia acústica de una fuente acústica equivalente.

**3.1.2 Corrección por directividad,  $D_c$ :** Es la desviación, en decibelios del nivel de presión acústica de una fuente puntual en una dirección especificada a partir del nivel de una fuente puntual omnidireccional que produzca el mismo nivel de potencia acústica.

## 3.2 Magnitudes para expresar las características de los elementos del edificio

**3.2.1 Índice de reducción acústica,  $R$ :** Es el índice de reducción acústica de un elemento para la transmisión acústica directa definida y determinada según la Norma EN ISO 140-3 o la Norma EN ISO 140-5.

**3.2.2 Diferencia de nivel normalizada del elemento,  $D_{n,e}$ :** Es la diferencia de nivel normalizada de un elemento constructivo pequeño según lo define y determina la Norma EN 20140-10.

**3.2.3 Pérdidas por inserción,  $D$ , (de un elemento):** Es la reducción del nivel de potencia acústica en una posición dada detrás del elemento, debida a la inserción del elemento en el conducto en lugar de una sección de conducto de paredes rígidas, según lo define y determina la Norma EN ISO 7235.

NOTA – Para elementos en los que no sea aplicable esta norma deberían utilizarse métodos equivalentes.

**3.2.4 Otros datos relevantes:** Para los cálculos podría necesitarse información adicional sobre las construcciones, por ejemplo:

- la forma de la fachada;
- superficies.

## 3.3 Otros términos y magnitudes

**3.3.1 nivel de presión acústica,  $L_p$ :** Es el nivel de presión acústica en un punto de recepción especificado en el exterior del edificio, debido al sonido producido en su interior por fuentes asociadas al edificio, mediante mediciones según los requisitos locales (especificando posiciones relevantes, periodo de integración y condiciones de la fuente).

El nivel de presión acústica, normalmente está ponderado A.

**3.3.2 atenuación total debido a la propagación,  $A_{tot}$ :** Es la diferencia de nivel entre la potencia acústica radiada y la presión acústica en una posición a una distancia  $d$  de la fachada del edificio, debida al total de todos los efectos de propagación, tales como divergencia geométrica, absorción en el aire, efecto del suelo, apantallamiento, etc.

**3.3.3 término de difusividad,  $C_d$ :** Es la diferencia de nivel entre el nivel de presión acústica existente a una distancia de entre 1 m y 2 m de la cara interna del elemento constructivo considerado y el nivel de intensidad del sonido que incide perpendicularmente sobre dicho elemento.

NOTA – Para un campo difuso y paredes reflectantes el término de difusividad es  $C_d = -6$  dB; para otras situaciones puede tener un valor comprendido entre 0 dB y 6 dB.

**3.3.4 nivel de presión acústica en el interior,  $L_{p,in}$ :** Es el nivel de presión acústica en el interior del edificio, a una distancia comprendida entre 1 m y 2 m del elemento considerado o segmento de la fachada del edificio.

NOTA – En el caso de campo acústico difuso éste nivel se corresponde con el nivel de presión acústica promedio del campo acústico difuso.

**3.3.5 fuente acústica equivalente:** Es una fuente puntual para la que el sonido radiado es el mismo que el radiado por un segmento de fachada del edificio.

NOTA – El segmento de fachada puede estar compuesto por uno o más elementos constructivos, o una o más aberturas.

## 4 MODELO DE CÁLCULO

### 4.1 Principios generales

El nivel de presión acústica total en un punto de recepción que está a una distancia dada del elemento constructivo considerado viene determinado por las siguientes contribuciones:

- el sonido radiado por los elementos de la fachada del edificio y originado por el nivel de presión acústica existente en el interior;
- el sonido radiado por fuentes acústicas individuales, fijadas en o sobre la parte exterior del edificio;
- la propagación acústica en el exterior (efectos de la distancia, absorción en el aire, efecto del suelo, apantallamientos, reflexiones, etc.).

La radiación acústica emitida por la fachada del edificio puede representarse por la radiación de una o más fuentes sustitutivas puntuales. Cada fuente puntual puede representar la contribución de un segmento de fachada de edificio o un grupo de fuentes acústicas individuales. El número de fuentes puntuales requerido para representar adecuadamente un edificio depende de la distancia de cada punto de recepción al edificio y la variación en los efectos de propagación. Normalmente, la fachada del edificio se representa por al menos una fuente puntual por cada lado, es decir, las fachadas y el tejado, pero a menudo se requieren varias fuentes puntuales por cada lado.

El nivel de presión acústica en un punto de recepción en el exterior del edificio se determina a partir de las contribuciones de cada fuente puntual equivalente según:

$$L_p = L_W + D_c - A_{tot} \quad (1)$$

donde

$L_p$  es el nivel de presión acústica en un punto de recepción en el exterior del edificio debido a la radiación de una fuente puntual equivalente (sustitutiva), en decibelios;

$L_W$  es el nivel de potencia acústica de la fuente puntual equivalente, en decibelios;

$D_c$  es la corrección por directividad para la fuente puntual equivalente en la dirección del punto de recepción, en decibelios;

$A_{tot}$  es la atenuación total que se produce durante la propagación acústica desde la fuente acústica puntual equivalente y el punto de recepción, en decibelios.

El modelo de cálculo descrito en esta norma está restringido al cálculo del nivel de potencia acústica de las fuentes acústicas puntuales equivalentes de los elementos constructivos y aberturas de la fachada a partir de datos de:

- el nivel de presión acústica en el interior;
- los elementos que forman la fachada del edificio.

El modelo también dará indicaciones de la corrección por directividad que se puede esperar para varios tipos de elementos. El nivel de presión acústica en el interior normalmente será el nivel de presión acústica equivalente sobre un periodo de tiempo especificado según los requisitos pertinentes. Sin embargo, también se pueden utilizar otro tipo de niveles, por ejemplo el nivel máximo. El cálculo del nivel de presión acústica en el interior está fuera del objeto de esta norma europea.

El cálculo de la contribución de fuentes acústicas individuales está fuera del objeto de esta norma europea.

La atenuación total  $A_{tot}$ , debida a los efectos de propagación, necesaria para la predicción del nivel de presión acústica en el punto de recepción, se puede estimar según los métodos disponibles para propagación en exteriores, basados en la aproximación de fuente puntual. El cálculo de estos efectos de propagación está fuera del objeto de esta norma.

NOTA – Uno de estos métodos se da en la Norma ISO 9613-2, donde la atenuación total se indica por A. La atenuación total se obtiene de la suma de la atenuación debida a varios efectos de propagación tales como divergencia geométrica, absorción del aire, efecto del suelo, apantallamiento, etc.

Sin embargo, para condiciones simples de propagación, en el anexo E se da una aproximación para la estimación del nivel de presión acústica.

#### 4.2 Determinación de las fuentes acústicas puntuales equivalentes

Los elementos que contribuyen a la radiación acústica están divididos en dos grupos:

- radiadores planos, tales como elementos estructurales de la fachada del edificio, es decir, paredes, tejado, ventanas, puertas, incluyendo pequeños elementos constructivos con una superficie típica de menos de  $1 \text{ m}^2$ , tales como rejillas y aberturas;
- aberturas mayores, con superficies típicas de  $1 \text{ m}^2$ , es decir, grandes aberturas de ventilación, puertas o ventanas abiertas.

Para calcular la propagación acústica en el exterior del edificio se puede representar cada elemento por una fuente acústica puntual equivalente. Sin embargo el edificio puede dividirse en segmentos más grandes, cada uno de ellos representados por una fuente acústica puntual equivalente. Para la segmentación se aplican las siguientes reglas:

- la propagación acústica a los puntos de recepción más cercanos de interés ( $A_{tot}$ ) es igual para todos los elementos del segmento;
- la distancia al punto de recepción más cercano de interés es superior al doble de la dimensión más grande del segmento;
- para los elementos de un segmento se aplica el mismo nivel de presión acústica interior;
- para los elementos de un segmento se aplica la misma directividad.

Si no se cumple una o más de estas condiciones se eligen segmentos diferentes, por ejemplo, segmentos más pequeños, hasta que todas las condiciones se satisfagan.

A no ser que se especifique otra cosa en el modelo de propagación, la fuente puntual que representa un segmento vertical se sitúa a la mitad del ancho del segmento y a  $2/3$  de su altura; para todos los demás segmentos la posición es la del centroide del segmento.

#### 4.3 Determinación del nivel de potencia acústica de la fuente puntual equivalente

El nivel de potencia acústica de cada segmento se determina a partir de los siguientes datos:

- nivel de presión acústica en el interior:  $L_{p,in}$ ;
- índice de reducción acústica del elemento constructivo  $i$  de la fachada:  $R_i$ ;
- diferencia de nivel normalizada de elemento para el elemento  $i$ :  $D_{n,e,i}$ ;
- pérdidas por inserción del elemento silenciador para la abertura  $i$ :  $D_i$ ;
- área del elemento constructivo o la abertura  $i$ :  $S_i$ .

Para un **segmento de elementos estructurales de la fachada de un edificio** el nivel de potencia acústica de la fuente puntual equivalente viene dado por:

$$L_W = L_{p,in} + C_d - R' + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (2)$$

donde

$L_{p,in}$  es el nivel de presión acústica a una distancia comprendida entre 1 m y 2 m del interior del segmento, en decibelios;

$C_d$  es el término de difusividad del campo acústico interior del segmento, en decibelios;

$R'$  es el índice de reducción acústica aparente del segmento, en decibelios;

$S$  es el área del segmento, en metros cuadrados;

$S_0$  es el área de referencia, en metros cuadrados;  $S_0 = 1 \text{ m}^2$ .

El índice de reducción acústica aparente para el segmento se obtiene a partir de los datos de los elementos,  $i$ , que lo componen:

$$R' = -10 \lg \left[ \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} 10^{-R_i/10} + \sum_{i=m+1}^{m+n} \frac{A_o}{S} 10^{-D_{n,e,i}10} \right] \quad (3)$$

donde

$R_i$  es el índice de reducción acústica del elemento  $i$ , en decibelios;

$S_i$  es el área del elemento  $i$ , en metros cuadrados;

$D_{n,e,i}$  es la diferencia de nivel acústica normalizada de elemento para el elemento pequeño  $i$ , en decibelios;

$A_o$  es el área de absorción de referencia, en metros cuadrados;  $A_o = 10 \text{ m}^2$ ;

$m$  es el número de elementos grandes del segmento;

$n$  es el número de elementos pequeños del segmento.

En el anexo B se da información sobre el nivel de presión acústica en el interior y la difusividad del campo acústico, basada en el tipo de recinto y condiciones internas de los elementos de la fachada del edificio.

NOTA 1 – En el caso de un campo acústico difuso ideal y elementos no absorbentes  $C_d = -6 \text{ dB}$ ; para espacios industriales y segmentos no absorbentes por el lado interior, generalmente es más apropiado un valor de  $C_d = -5 \text{ dB}$ .

NOTA 2 – La contribución estructural a la radiación acústica no se tiene en cuenta en este modelo. Se podría tener en cuenta de una forma aproximada mediante un índice de reducción acústica ajustado; en el anexo C se dan algunas indicaciones.

En el anexo C se da información sobre el índice de reducción acústica a utilizar.

Para un **segmento de aberturas** el nivel de potencia acústica de la fuente puntual equivalente se determina mediante:

$$L_W = L_{p,in} + C_d + 10 \lg \sum_{i=1}^o \frac{S_i}{S} 10^{-D_i/10} \quad (4)$$

donde

$S_i$  es el área de la abertura  $i$ , en metros cuadrados;

$S$  es el área del segmento, que es igual al área total de sus aberturas, en metros cuadrados;

$D_i$  son las pérdidas por inserción del elemento silenciador de la abertura  $i$ , en decibelios;

$o$  es el número de aberturas del segmento.

El cálculo del nivel de potencia acústica se elabora en bandas de frecuencia, y está basado en los datos acústicos de los elementos en bandas de frecuencia (bandas de tercio de octava o de octava). El cálculo se realiza, al menos para las bandas de octava comprendidas entre 125 Hz y 2 000 Hz o entre las bandas de tercio de octava comprendidas entre 100 Hz y 3 150 Hz.

NOTA 3 – Los cálculos pueden extenderse hacia frecuencias más bajas o altas si se dispone de los datos necesarios para dicho intervalo de frecuencias. Sin embargo, especialmente para bajas frecuencias, actualmente no se dispone de información relativa a la precisión de los cálculos.

NOTA 4 – Para indicaciones aproximadas podría ser suficiente aplicar directamente el modelo a niveles ponderados A e índices globales de las características de los elementos constructivos según la Norma ISO 717-1. En el anexo F se dan directrices para esto.

#### 4.4 Determinación de la corrección por directividad para una fuente puntual equivalente

La corrección por directividad  $D_c$  contiene la directividad inherente de los elementos radiantes y aberturas, dada por el índice de directividad  $D_I$ . También puede contener el efecto de la vecindad de superficies duras (reflexión y apantallamiento) dado mediante el índice de ángulo sólido  $D_\Omega$ .

Para una dirección dada la corrección por directividad viene dada por:

$$D_c = D_I + D_\Omega + 10 \lg \frac{4\pi}{\Omega} \quad (5)$$

donde

$\Omega$  es el ángulo sólido de radiación, en estéreorradianes.

El que se incluya o no el índice de ángulo sólido en la corrección por directividad depende del modelo de propagación utilizado. Cuando las reflexiones sobre el suelo y otras superficies se tienen en cuenta mediante fuentes imagen, el índice de ángulo sólido es  $D_\Omega = 0$  dB. Sin embargo, cuando las superficies reflectoras son la fachada del propio edificio, se recomienda incluir el efecto de estas superficies en el índice de ángulo sólido. A la hora de dar la corrección por directividad el valor del índice de ángulo sólido utilizado debe darse de una forma clara.

En el anexo D se da información sobre la corrección por directividad.

#### 4.5 Limitaciones

Aunque algunos elementos constructivos grandes y homogéneos, por ejemplo una fachada lateral ciega, puedan tener patrones de radiación específicos, que favorezcan ciertas direcciones; estos efectos no se tienen en cuenta en este modelo.

La posible contribución de sonido estructural debido a la maquinaria del edificio no está incluida en el modelo, aunque en el anexo C se da una posible estimación.

## **5 EXACTITUD**

La exactitud de la predicción del modelo depende de muchos factores: la exactitud de los datos de entrada, el ajuste del caso particular al modelo teórico, el tipo de elementos involucrados, la geometría de la situación, el tipo de magnitud a ser evaluada y la ejecución de la obra. Por tanto no es posible especificar la exactitud de forma general para todos los tipos de situaciones y aplicaciones. En el futuro tendrán que recogerse datos sobre la exactitud mediante la comparación de los resultados del modelo con mediciones en situaciones reales.

En la aplicación de las predicciones se aconseja variar los datos de entrada, especialmente en situaciones complicadas y con elementos raros cuyos datos sean dudosos. La variación resultante de los resultados proporciona una idea de la exactitud esperada para situaciones en las que se pueda suponer una adecuada ejecución.

## ANEXO A (Normativo)

## LISTA DE SÍMBOLOS

**Tabla A.1**  
**Lista de símbolos**

<b>Símbolo</b>	<b>Magnitud física</b>	<b>Unidad</b>
$A_o$	área de absorción de referencia; $A_o = 10 \text{ m}^2$	$\text{m}^2$
$A_{\text{tot}}$	atenuación total debida a la propagación acústica en el exterior desde una fuente puntual	dB
$A'_{\text{tot},j}$	atenuación total estimada debida a la propagación acústica en el exterior correspondiente a una situación de propagación simple para una cara del edificio	dB
$C_d$	término de difusividad para el campo acústico en el interior correspondiente a un segmento o una cara del edificio	dB
$c_o$	velocidad del sonido en el aire ( $\approx 340 \text{ m/s}$ )	m/s
$D_c$	corrección por directividad para una fuente puntual equivalente	dB
$D_I$	índice de directividad de una fuente puntual equivalente	dB
$D_\Omega$	índice de ángulo sólido de una fuente puntual equivalente	dB
$D_{n,e,i}$	diferencia de nivel acústico normalizado de un elemento pequeño para el elemento $i$	dB
$D_i$	pérdidas por inserción para el elemento silenciador de la abertura $i$	dB
$d$	distancia desde el centro de una cara del edificio al punto de recepción	m
$d_\perp$	distancia perpendicular desde el punto de recepción a una cara del edificio	m
$d_o$	distancia de referencia; $d_o = 1 \text{ m}$	m
$f$	frecuencia	Hz
$h_1, h_2$	distancias verticales desde las dos esquinas de una cara a la proyección del punto de recepción de esa fachada	m
$i$	índice para los componentes o aberturas de un segmento de edificio	–
$j$	índice para los segmentos o caras de un edificio	–
$l_1, l_2$	distancias horizontales desde la proyección del punto de recepción de una cara hasta las dos esquinas de una cara del edificio	m
$L_{p,d}$	nivel de presión acústica en el punto de recepción a una distancia $d$ del exterior del edificio	dB re 20 $\mu\text{Pa}$
$L_{p,in}$	nivel de presión acústica a una distancia comprendida entre 1 m y 2 m, de la parte interior de un segmento o cara del edificio	dB re 20 $\mu\text{Pa}$
$L_W$	nivel de potencia acústica de una fuente puntual equivalente	dB re 1 pW
$m$	número de componentes grandes del segmento o cara $j$ del edificio	–
$n$	número de elementos pequeños del segmento o cara $j$ del edificio	–
$o$	número de aberturas del segmento o cara $j$ del edificio	–
$R_i$	índice de reducción acústica del elemento $i$	dB
$R'$	índice de reducción acústica aparente de un segmento o cara del edificio	dB
$S_i$	área del elemento o abertura $i$	$\text{m}^2$
$S$	área del segmento o cara del edificio	$\text{m}^2$
$S_o$	área de referencia; $S_o = 1 \text{ m}^2$	$\text{m}^2$
$\phi$	ángulo entre la orientación de una fuente acústica puntual equivalente y la dirección marcada por esta fuente y el punto de recepción	°
$\Omega$	ángulo sólido sobre el que se produce la radiación	sr

**ANEXO B** (Informativo)

**CAMPO ACÚSTICO INTERIOR**

El nivel de presión acústica interior, aplicable para las predicciones de radiación acústica, es el nivel de presión acústica a una distancia comprendida entre 1 m y 2 m del interior de la fachada del edificio. Se considera como un dato de entrada para el modelo descrito en esta norma europea. Este nivel podría basarse en mediciones sobre el problema real, mediciones en situaciones análogas, o cálculos mediante, por ejemplo, modelos empíricos, modelo de las fuentes imagen o modelos de trazado de rayos.

El **término de difusividad**  $C_d$  está influido por la cantidad de difusividad del campo acústico interior, y por la absorción interior del segmento considerado de la fachada del edificio. En la tabla B.1 se dan indicaciones de este valor para diferentes recintos.

**Tabla B.1**

**Indicación del término de difusividad para diferentes recintos, basada en la descripción general de los espacios y las propiedades locales de la superficie de la parte interior de la fachada**

Situación	$C_d$ dB
Recintos relativamente pequeños y de forma uniforme (campo difuso); frente a una superficie reflectante	-6
Recintos relativamente pequeños y de forma uniforme (campo difuso); frente a una superficie absorbente	-3
Grandes suelos planos o largos distribuidores (edificio industrial típico); frente a una superficie reflectante	-5
Edificio industrial, pocas fuentes direccionales dominantes; frente a una superficie reflectante	-3
Edificio industrial, pocas fuentes direccionales dominantes; frente a una superficie reflectante.	0

**ANEXO C (Informativo)****ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA**

El índice de reducción acústica de los elementos se puede obtener mediante mediciones en laboratorio según la Norma EN ISO 140-3 o la Norma EN 20140-10 y mediante mediciones in situ según la Norma EN ISO 140-5. En las Normas EN 12354-1 y EN 12354-3, también se da alguna información sobre el índice de reducción acústica.

Sin embargo, las dimensiones de los elementos y los métodos de montaje son completamente diferentes a los utilizados en las mediciones en laboratorio. Esto puede dar lugar a grandes desviaciones entre los datos de los elementos obtenidos en laboratorio y los valores aparentes obtenidos in situ. Además, el índice de reducción acústica de partes compuestas está normalmente limitado por la transmisión acústica a través de las uniones entre los distintos elementos que la componen, los sellamientos de las ranuras y las pequeñas aberturas. Esta transmisión es difícil de predecir y normalmente no está bien representada en las mediciones en laboratorio. Por estas razones se recomienda firmemente aplicar los datos obtenidos en situaciones reales representativas. Si se utilizan datos de laboratorio, se recomienda limitar el índice de reducción acústica resultante para un segmento en cada banda de frecuencia a un valor máximo práctico, aplicable al tipo de construcción y situación considerada.

La excitación directa de las estructuras del edificio mediante fuentes internas produce transmisión acústica estructural a través del edificio que podría contribuir a la radiación acústica. Se pueden realizar estimaciones de esta contribución según los apartados pertinentes de la Norma EN 12354-5<sup>1)</sup>.

---

1) En preparación.

**ANEXO D** (Informativo)**DIRECTIVIDAD DE LA RADIACIÓN ACÚSTICA****D.1 Radiador plano**

Las construcciones grandes y homogéneas muestran una directividad para frecuencias superiores a la frecuencia crítica, lo que se traduce en una radiación acústica mayor en la dirección paralela al plano que en la perpendicular. Sin embargo debido a inhomogeneidades en las construcciones reales y fugas, normalmente, esto no es muy importante. Las construcciones planas, grandes, radian el sonido esencialmente sólo en una semiesfera, de forma que el ángulo sólido en el que se radia es  $\Omega = 2\pi$  conduciendo a  $D_c = +3$  dB. En la práctica la corrección por directividad frente a un plano varía entre  $D_c = +5$  dB y  $D_c = -5$  dB. Para ángulos de radiación de entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  relativos a la normal al plano se puede tomar en promedio  $D_c = 0$  dB.

**D.2 Aberturas**

Las aberturas muestran en general un patrón de radiación en el que predomina la dirección frontal. El índice de directividad varía aproximadamente entre  $D_1 = +2$  dB y  $D_1 = -10$  dB. Si la abertura dispone de silenciador (silenciadores absorbentes, conductos revestidos) la radiación hacia delante puede ser incluso más pronunciada.

Si se coloca una abertura en un plano o a corta distancia (menos de una longitud de onda) de una o más superficies reflectantes, el efecto de estos planos puede añadirse a la corrección por directividad considerando el ángulo sólido al que se restringe la radiación. Si la abertura está a gran distancia de un plano, es decir, al final de un conducto que sobresale del plano, la radiación será en todas direcciones y la corrección por directividad debería contener sólo el índice de directividad de la abertura, tratándose el plano como un objeto reflectante en el modelo de propagación.

## ANEXO E (Informativo)

**MODELO SIMPLIFICADO PARA LA PREDICCIÓN DE LOS  
NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA EN EL EXTERIOR**

El modelo simplificado evita la necesidad de construir una colección de fuentes puntuales equivalentes mediante la presentación del resultado del cálculo bajo ciertas restricciones, que conducen directamente al nivel de presión acústica en el exterior como si fuera radiado por una cara del edificio. Esto se aplica a las situaciones en las que:

- se aplique el mismo nivel de presión acústica interior para toda la parte correspondiente a ese lado del edificio;
- la distancia a los puntos de recepción sea relativamente pequeña;
- la distancia al punto de recepción de aberturas grandes sea grande comparada con sus dimensiones;
- no se considere ninguna contribución de fuentes acústicas individuales;
- no exista apantallamiento entre la fachada del edificio y el punto de recepción;
- la superficie del suelo sea esencialmente dura.

La distancia al edificio puede ser pequeña comparada con las dimensiones del edificio pero no debe ser suficientemente grande para que influyan agentes meteorológicos (aproximadamente menos de 100 m) o para que aparezcan contribuciones importantes de la radiación de otras caras del edificio.. Esta última suposición normalmente es cierta siempre que el nivel de potencia acústica de la otra cara del edificio no sea sustancialmente más grande que la de la cara considerada.

Se supone que la cara considerada de la fachada del edificio radia uniformemente sobre la zona, dando un nivel de potencia acústica total. Al representar un lado mediante varias fuentes puntuales idénticas, la atenuación por divergencia geométrica de la fachada como un todo, se puede obtener a partir de la atenuación por divergencia geométrica de una fuente puntual, mediante la suma de todas estas fuentes puntuales tomando una densidad de fuentes puntuales que sea suficiente para la distancia considerada. Esto, junto con la radiación de una cara del edificio en un cuarto de esfera formado por esa cara del edificio y el suelo, da una expresión para la atenuación total indicada según este modelo simplificado como la atenuación total estimada  $A'_{tot}$ .

Suponiendo radiación en un cuarto de esfera, lo que conduce a una contribución a la corrección por directividad de +6 dB frente a una fachada del edificio, los niveles de presión acústica resultantes son normalmente fiables. En los casos en que el suelo entre el edificio y el punto de recepción sea esencialmente absorbente, el nivel de presión acústica estará sobrestimado en, como mucho, unos pocos decibelios.

El nivel de presión acústica resultante en un punto de recepción frente a una fachada del edificio es:

$$L_p = 10 \lg \left[ 10^{L_{w,e}/10} + 10^{L_{w,o}/10} \right] - A'_{tot} \quad (E.1)$$

donde

$L_{w,e}$  es el nivel de potencia acústica de toda esa cara de la fachada del edificio, en decibelios;

$L_{w,o}$  es el nivel de potencia acústica para las (o el grupo de) aberturas en la cara del edificio considerada, en decibelios;

$A'_{tot}$  es la atenuación total estimada para la propagación simplificada en esa cara de la fachada del edificio, debida a la divergencia geométrica, directividad y efecto del suelo, en decibelios.

El nivel de potencia acústica para la cara considerada de la fachada del edificio como un todo a para el grupo de aberturas considerado se determina según el apartado 4.3.

La atenuación total estimada para puntos de recepción frente a la cara del edificio considerada es (véase figura E.1):

$$A'_{\text{tot}} = -10 \lg \frac{S_0}{\pi S} \left[ \tan^{-1} \frac{l_1}{d_{\perp}} + \tan^{-1} \frac{l_2}{d_{\perp}} \right] \left[ \tan^{-1} \frac{h_1}{d_{\perp}} + \tan^{-1} \frac{h_2}{d_{\perp}} \right] \quad (\text{E.2})$$

donde

$d_{\perp}$  es la distancia perpendicular entre el punto de recepción y el plano de la fachada lateral, en metros;

$S$  es el área de la cara considerada del edificio, en metros cuadrados;

$S_0$  es el área de referencia, en metros cuadrados;  $S_0 = 1 \text{ m}^2$ ;

$l_1, l_2$  son las distancias horizontales a los dos bordes de la fachada considerada, desde la proyección del punto de recepción, en metros;

$h_1, h_2$  son las distancias verticales entre los dos bordes de la fachada considerada y la proyección del punto de recepción, en metros;

NOTA 1 – Para la deducción de esta ecuación a partir de la radiación de fuentes puntuales se ha utilizado una aproximación para distancias grandes comparadas con las dimensiones de la fachada radiante. Sin embargo, para distancias más cortas esto lleva a valores que han demostrado ser más correctos que los que se obtienen haciendo la deducción correcta; esto se debe a la directividad real de la fachada radiante.

NOTA 2 – Para un punto de recepción situado frente al centro de la cara ( $d = d_{\perp}, l_1 = l_2, h_1 = h_2$ ) la relación se simplifica hasta quedar:

$$A'_{\text{tot}} = -10 \lg \frac{4 S_0}{\pi S} \tan^{-1} \frac{L}{2d} \tan^{-1} \frac{H}{2d} \quad (\text{E.2a})$$

donde

$L$  es el ancho ( $= 2 l_1 = 2 l_2$ );

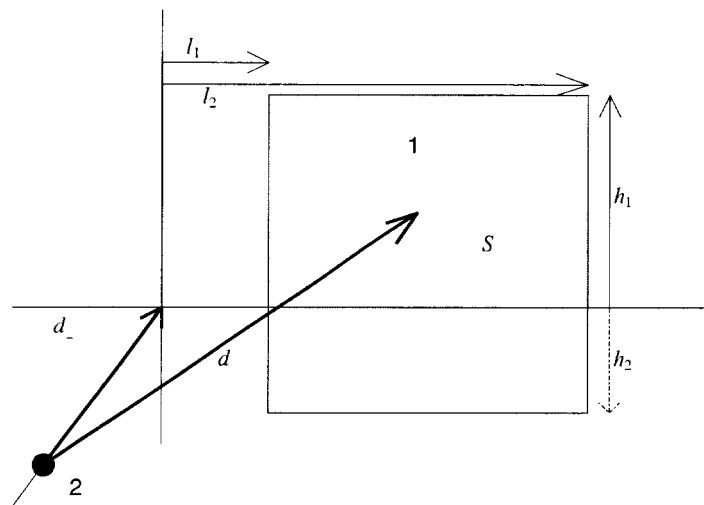
$H$  es la altura del área radiante, en metros; ( $S = L H$ ).

NOTA 3 – Para una distancia mayor que la dimensión máxima de la cara de la fachada el término de atenuación se convierte en

$$A'_{\text{tot}} = -10 \lg \frac{S_0}{\pi d^2} \quad (\text{E.2b})$$

donde

$d$  es la distancia al centro del plano, en metros.



#### Leyenda

- 1 Fachada del edificio
- 2 Punto de recepción

**Fig. E.1 – Ilustración de la situación geométrica de una cara radiante de un edificio y de un punto de recepción**

Si la proyección del punto de recepción está fuera del área radiante  $S$ , la  $l$  y/o la  $h$  más pequeñas han de tomarse negativas, es decir, el término correspondiente en  $\tan^{-1}$  se resta del otro, en otro caso ambas distancias  $l$  y/o  $h$  han de tomarse positivas.

El nivel de presión acústica a una distancia significativamente menor que las dimensiones de la cara, puede diferir localmente del nivel promedio calculado si los índices de reducción acústica de las partes componentes difieren significativamente o si la distancia a las aberturas y fuentes es demasiado pequeña.

Como el término de atenuación es independiente de la frecuencia, los cálculos pueden realizarse directamente para el nivel de presión acústica ponderado A, utilizando niveles de potencia acústica ponderada A.

NOTA 4 – En el caso de un punto de recepción a distancia muy corta, por ejemplo a 1 m, del exterior del edificio, y suponiendo que esta distancia es también pequeña comparada con la altura sobre el suelo, las relaciones (2), (E2) y (E3), ajustadas para despreciar la reflexión sobre el suelo, se simplifican hasta

$$L_{p,d=1m} = L_{p,in} + C_d - R' + 4 \quad (E.3)$$

Esta relación puede utilizarse para estimar el índice de reducción acústica aparente in situ de esa parte de la fachada del edificio a partir de medidas in situ.

## ANEXO F (Informativo)

## APLICACIÓN DEL MODELO A ÍNDICES GLOBALES

## F.1 General

En algunos casos sólo se conocen el nivel de presión acústica ponderado A en el interior y las características ponderadas de los elementos que componen las fachadas del edificio. En estos casos se pueden aplicar las siguientes directrices para estimar de forma aproximada los niveles de potencia acústica ponderados A como en el apartado 4.3.

## F.2 Datos de partida

Los datos de partida a considerar son los siguientes:

- el nivel de presión acústica ponderado A,  $L_{pA,in}$ , en dB(A) en el interior del edificio;
- el índice de aislamiento acústico por vía aérea ponderado global,  $R_w$ , y los términos de adaptación espectral  $C$  y  $C_{tr}$  según la Norma EN ISO 717-1 de los componentes grandes de las fachadas del edificio;
- la diferencia de nivel normalizada de elementos ponderada  $D_{n,e,w}$  y los términos de adaptación espectral  $C$  y  $C_{tr}$  de acuerdo a la Norma EN ISO 717-1 de los elementos pequeños de la fachada del edificio.

## F.3 Modelo para índices globales

El nivel de potencia acústica ponderado A radiado por un segmento de elementos estructurales de las fachadas del edificio se estima según la ecuación (2) mediante:

$$L_{WA} = L_{pA,in} - 6 - X'_{As} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (F.1)$$

donde

$L_{pA,in}$  es el nivel de presión acústica ponderado A situado en un punto distante entre 1 m y 2 m de la parte interior del segmento j, en decibelios;

$X'_{As}$  es la magnitud que caracteriza la diferencia de nivel acústico ponderado A sobre el segmento j para un espectro de fuente s, en decibelios;

$S$  es el área del segmento j, en metros cuadrados;

$S_0$  es el área de referencia, en metros cuadrados;  $S_0 = 1 \text{ m}^2$ .

NOTA – En algunos países  $X'_{A1}$  se denomina índice de reducción acústica aparente ponderado  $R'_A$  y  $X'_{A2}$  correspondientes al índice de reducción acústica ponderado  $R'_{Atr}$ .

La caracterización de la diferencia de nivel acústico ponderado A para el segmento considerado se obtiene a partir de los datos de los elementos componentes  $i$  según:

$$X'_{As} = -10 \lg \left[ \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} 10^{-(R_{w,i} + C_{s,i})/10} + \sum_{i=1}^m \frac{A_o}{S} 10^{-(D_{n,e,w,i} + C_{s,i})/10} \right] \quad (\text{F.2})$$

donde

$R_{w,i}$  es el índice de reducción acústica ponderado del elemento  $i$ , en decibelios;

$D_{n,e,w,i}$  es la diferencia de nivel normalizada ponderada para el elemento pequeño  $i$ , en decibelios;

$C_{s,i}$  es el término de adaptación espectral para el espectro  $s$  del elemento  $i$ , en decibelios;

$S_i$  es el área del elemento  $i$ , en metros cuadrados;

$A_o$  es el área de absorción de referencia, en metros cuadrados;  $A_o = 10 \text{ m}^2$ ;

$m$  es el número de elementos grandes del segmento;

$n$  es el número de elementos pequeños del segmentos.

Según la Norma EN ISO 717-1, el espectro  $s = 1$  se refiere a ruido rosa ponderado A, denotándose el término de adaptación espectral por  $C$ ; este espectro también es relevante para ruido industrial con un espectro formado principalmente por frecuencias medias y altas (anexo A de la Norma EN ISO 717-1:1996) El espectro  $s = 2$  se refiere a ruido de tráfico rodado ponderado A, denotándose el término de adaptación espectral por  $C_{tr}$ ; este espectro también es apto para ruido industrial formado principalmente por bajas y medias frecuencias, y para música de discotecas.

#### F.4 Limitaciones

Como el procedimiento para la evaluación de índices globales de los índices de reducción acústicos se supone un ruido interior con un espectro formado principalmente por frecuencias bajas o altas, la exactitud del nivel de la potencia acústica, ponderado A estimada depende de la coincidencia entre las formas del espectro del ruido interior y del espectro elegido según la Norma EN ISO 717-1. El nivel de potencia acústica ponderado A, puede ser subestimado para espectros con componentes fundamentales en frecuencias alrededor o inferiores a 250 Hz.

El campo acústico interior debería ser difuso. Esta condición se cumple en recintos cerrados de forma relativamente uniforme y con poca absorción acústica.

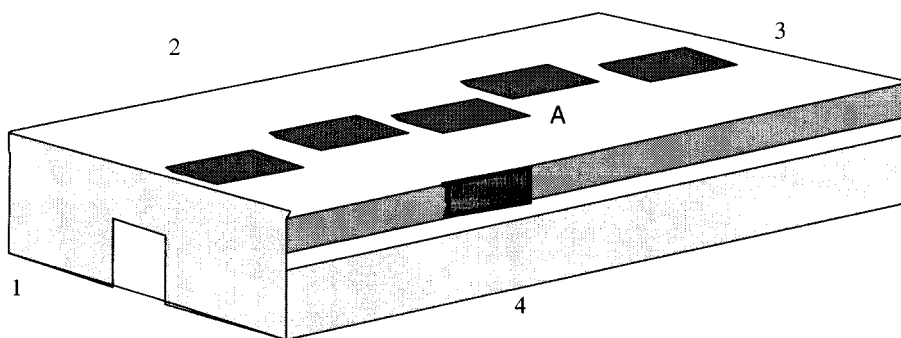
**ANEXO G (Informativo)**

**EJEMPLO DE CÁLCULO**

**G.1 Situación**

El ejemplo dado es un edificio industrial, anchura 60 m, longitud 100 m, altura 10 m (véase figura G.1).

- Fachada 1, 10 m × 60 m: 100 mm de hormigón ligero con una gran puerta industrial, 6 m × 4 m.
- Fachada 2, 10 m × 100 m: 100 mm de hormigón ligero con una cristalera corrida sobre toda su longitud; altura 1 m, 4 mm de vidrio parcialmente practicable.
- Fachada 3, 10 m × 60 m: 100 mm de hormigón ligero con una pequeña puerta, 1 m × 2 m.
- Fachada 4, 10 m × 100 m: como la fachada 2, pero con una abertura para ventilación con silenciador (sección total 1 m × 4 m, neta 32 %).
- Fachada 5, 60 m × 100 m: tejado de metal ligero, con 5 linternas de vidrio (2 m × 2 m) sobre la línea central.



**Leyenda**

A Tejado (fachada 5)

**Fig. G.1 – Ilustración del edificio del ejemplo**

El nivel de presión acústica cerca de las paredes y del tejado es el mismo y está dado en la tabla G.1.

Las características acústicas de los componentes del edificio vienen dados en la tabla G.2.

**Tabla G.1**  
**Nivel de presión acústica en el interior por bandas de octava**

	Bandas de octava (Hz)							
	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
$L_{p,in}$ dB a 20 $\mu$ Pa	70	74	76	72	70	67	62	57

Ninguna de las paredes o el tejado tiene un recubrimiento interno absorbente. La distancia mínima a los puntos de recepción de interés es 50 m desde las fachadas del edificio.

## Características acústicas de los elementos

**Tabla G.2**  
Características acústicas de los componentes del edificio, como entrada para los cálculos

Elemento	Magnitud dB	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Hormigón ligero de 100 mm	$R^{1)}$	32	36	36	33	39	49	57	63
Ventanas con vidrios de 4 mm	$R^{1)}$	15	19	23	25	25	25	25	25
Puerta industrial	$R^{2)}$	21	23	28	30	30	30	30	30
Puerta normal	$R^{2)}$	13	17	22	25	25	25	25	25
Tejado	$R^{2)}$	16	24	27	30	37	44	47	49
Vidrios del tejado	$R^{2)}$	9	11	15	22	26	30	30	30
Silenciadores de ventilación	$D^{1)}$	0	4	11	13	10	8	8	5

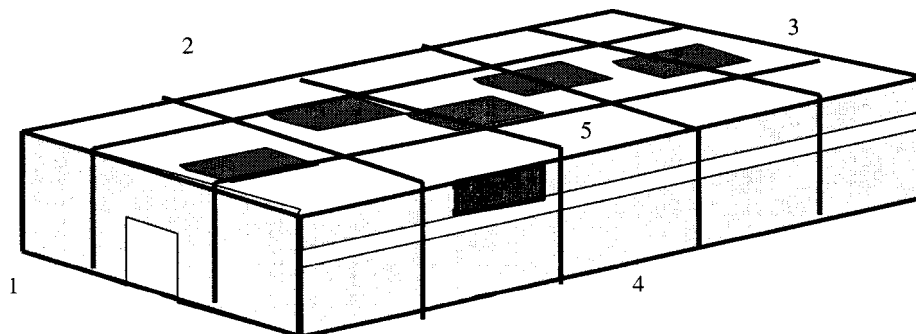
1) Datos procedentes de medidas en laboratorio.  
2) Datos procedentes de medidas in situ.

## G.2 Resultados del modelo completo

### G.2.1 Fuentes acústicas equivalentes

Distancia mínima  $d = 50$  m, por tanto las dimensiones máximas de los segmentos son las siguientes (véase figura G.2):

- segmento de pared =  $1/4 \sqrt{2} d = 17,7$  m, por tanto serán segmentos de  $10 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ;
- segmento de tejado =  $1/4 \sqrt{2} (d + 30) = 28,3$  m, por tanto serán segmentos de  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ;
- fachada 1: 3 fuentes puntuales equivalentes;  $j = 1$  con la puerta,  $j = 2$  y  $j = 3$  sin la puerta;
- fachada 2: 5 fuentes puntuales equivalentes;  $j = 1$  a  $5$ , todas idénticas;
- fachada 3: 3 fuentes puntuales equivalentes;  $j = 1$  con la puerta,  $j = 2$  y  $j = 3$  sin la puerta;
- fachada 4: 6 fuentes puntuales equivalentes;  $j = 1$  a  $5$  son segmentos idénticos,  $j = 6$  para la abertura;
- fachada 5: 15 fuentes puntuales equivalentes;  $j = 1$  a  $5$  son segmentos idénticos de tejado con elementos de vidrio,  $j = 6$  a  $15$  son segmentos de tejado idénticos sin vidrios.



**Fig. G.2 – Ilustración de la división en segmentos del edificio**

### G.2.2 Nivel de potencia acústica

El nivel de potencia acústica para cada segmento se obtiene a partir de los datos de entrada y de las ecuaciones (2) a (5). En las tablas G.3 a G.7 se ilustran estos cálculos para los segmentos de cada fachada del edificio.

**Tabla G.3**  
**Cálculo del nivel de potencia acústica para los segmentos de la fachada 1**

Segmentos	Magnitud	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Todos los segmentos	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
Todos los segmentos	$C_d$ , anexo B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmento exterior con puerta (j = 1)	$R'$ ecuación(3) pared + puerta <sup>1)</sup>	28,2	30,8	33,9	31,8	34,8	36,4	36,5	36,5
	$10 \lg S/S_o$	23	23	23	23	23	23	23	23
	$L_w$ , ecuación (2)	59,8	61,2	60,1	58,2	53,2	48,6	43,5	38,5
	$D_c$ , anexo D <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0
Segmentos exteriores sin puerta (j = 2, 3)	$R'$ ecuación (3), pared <sup>1)</sup>	32	36	36	33	36	39	40	40
	$10 \lg S/S_o$	23	23	23	23	23	23	23	23
	$L_w$ , ecuación (2)	56	56	58	57	52	46	40	35
	$D_c$ , anexo D <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0

1) Índice de reducción acústica aparente limitado a 40 dB para tener en cuenta situaciones de campo.  
2) Incluye un índice de ángulo sólido de 3 dB para las direcciones frontales a la fachada.

**Tabla G.4**  
**Cálculo del nivel de potencia acústica para los segmentos de la fachada 2**

Segmentos	Magnitud	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Todos lo segmentos	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
Todos lo segmentos	$C_d$ , anexo B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmentos exteriores (j = 1 a 5)	$R'$ ecuación(3) pared + puerta <sup>1)</sup>	24,2	28,0	30,8	30,6	32,8	33,7	33,8	33,8
	$10 \lg S/S_o$	23	23	23	23	23	23	23	23
	$L_w$ , ecuación (2)	63,8	64,0	63,2	59,4	55,2	51,3	46,2	41,2
	$D_c$ , anexo D <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0

1) Índice de reducción acústica aparente limitado a 40 dB para tener en cuenta situaciones de campo.  
2) Incluye un índice de ángulo sólido de 3 dB para las direcciones frontales a la fachada.

**Tabla G.5**  
**Cálculo del nivel de potencia acústica para los segmentos de la fachada 3**

Segmentos	Magnitud	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Todos los segmentos	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
Todos los segmentos	$C_d$ , anexo B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmento exterior con puerta (j = 1)	$R'$ ecuación(3) pared + puerta <sup>1)</sup>	29,4	32,6	33,8	32,0	35,9	38,4	38,7	38,8
	$10 \lg S/S_o$	23	23	23	23	23	23	23	23
	$L_w$ , ecuación (2)	58,6	59,4	60,2	58,0	52,1	46,6	41,3	36,2
	$D_c$ , anexo D <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0
Segmentos exteriores sin puerta (j = 2, 3)	$L_w$ y $D_c$	como la fachada 1, j = 2, 3							

1) Índice de reducción acústica aparente limitado a 40 dB para tener en cuenta situaciones de campo.  
2) Incluye un índice de ángulo sólido de 3 dB para las direcciones frontales a la fachada.

**Tabla G.6**  
**Cálculo del nivel de potencia acústica para los segmentos de la fachada 4**

Segmentos	Magnitud	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Todos lo segmentos	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
Todos lo segmentos	$C_d$ , anexo B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmentos exteriores (j = 1 a 5)	$L_w$	como fachada 2, j = 1 a 5							
Segmento con aberturas (j = 6)	$D$	0	4	11	13	10	8	8	5
	$10 \lg S_i/S_o$ $S_i = (0,32 \times 4) \text{ m}^2$	1	1	1	1	1	1	1	1
	$L_w$ , ecuación (4)	69	73	75	71	69	66	61	56
	$D_c$ , abertura en el plano anexo D <sup>1)</sup>	3	3	3	3	3	3	3	3

1) Incluye un índice de ángulo sólido de 3 dB para las direcciones frontales a la fachada.

**Tabla G.7**  
**Cálculo del nivel de potencia acústica para los segmentos de la fachada 5 (tejado)**

Segmentos	Magnitud	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
Todos los segmentos	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
Todos los segmentos	$C_d$ , anexo B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmentos con vidrios (j = 1 a 5)	$R'$ ecuación(3) tejado + puerta	15,8	23,2	26,3	29,8	36,5	43,1	45,3	46,5
	$10 \lg S/S_o$	26	26	26	26	26	26	26	26
	$L_w$ , ecuación (2)	75,2	71,8	70,7	63,2	54,5	44,9	37,7	31,5
Segmentos sin vidrios (j = 6 a 15)	$R'$ ecuación (3), tejado	16	24	27	30	37	44	47	49
	$10 \lg S/S_o$	26	26	26	26	26	26	26	26
	$L_w$ , ecuación (2)	75	71	70	63	54	44	36	29
	$D_c$ , anexo D <sup>1)</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0

1) Incluye un índice de ángulo sólido de 3 dB para las direcciones frontales a la fachada.

**G.3 Resultados del modelo simplificado**

El nivel de potencia acústica para una fachada del edificio se calcula de la misma forma que en el capítulo G.2, tratando la totalidad de la fachada como un sólo segmento. El nivel de potencia acústica total para cada fachada puede por tanto deducirse a partir de los resultados de las tablas G.3 a G.7, mediante la adición de los niveles de potencia acústica de todos los segmentos de una misma fachada. La tabla G.8 muestra los resultados para todas las fachadas, incluyendo el nivel de potencia acústica ponderado A.

**Tabla G.8**  
**Cálculo de los niveles de potencia acústica ponderados A para todas las fachadas del edificio**

$L_w$ (dB para pW)	Bandas de octava con frecuencias centrales en Hz								dB (A)
	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	
Fachada 1	62,4	63,3	63,6	62,2	57,2	51,8	46,3	41,3	62,9
Fachada 2	70,8	71,0	70,2	66,4	62,2	58,3	53,2	48,2	68,3
Fachada 3	61,8	62,2	60,2	62,1	56,8	51,0	45,2	40,2	62,2
Fachada 4	72,0	74,0	74,2	70,3	67,5	64,3	59,2	54,2	72,9
Fachada 5 (tejado)	86,8	83,0	82,0	74,8	65,9	56,1	48,4	41,8	76,6

El nivel de presión acústica resultante se obtiene a partir de la atenuación total para una fachada, que depende de la distancia y de la posición relativa del punto de recepción. Como estos términos de atenuación son independientes de la frecuencia en el modelo simplificado, el cálculo puede dar directamente los niveles de presión acústica ponderados A. En la tabla G.9 se realiza este cálculo para algunos puntos de recepción situados frente al punto central de las fachadas 1 y 4, utilizando las ecuaciones (E.1) y (E.2).

En este ejemplo el nivel de potencia acústica para la fachada 1 es mucho menor que el del tejado o el de la fachada 4, por tanto la estimación del nivel de presión acústica para la distancia más grande a esta fachada podría ser demasiado bajo ya que la contribución de la radiación acústica de las otras fachadas del edificio no se tiene en cuenta. Para la fachada 4 este no será el caso.

**Tabla G.9**  
**Cálculo del nivel de presión acústica ponderado A para puntos de recepción**  
**situados frente el centro de las fachadas 1 y 4 (véase figura G.1)**

<b>Distancia</b> <i>d</i>	<b>Magnitud</b>	<b><math>L_p</math> fachada 1</b> dB (A)	<b><math>L_p</math> fachada 4</b> dB (A)
5 m	$L_w$	62,9	72,9
	$A'_{tot}$ , ecuación (E.2)	26,3	28,3
	$L_p$ , ecuación (E.1)	36,6	44,6
25 m	$L_w$	62,9	72,9
	$A'_{tot}$ , ecuación (E.2)	34,4	35,6
	$L_p$ , ecuación (E.1)	28,5	37,3

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gösele, K. And P. Lutz, Study of the prediction of sound radiation by industrial halls (in German) Fortschrittberichte VDI Zeitschrift 11/21, 1975
- [2] Jakobsen, J. Prediction of noise emission from façades of industrial buildings, Danish Acoustical Laboratory, report 25, 1981.
- [3] Gerretsen, E. W. C. Verboom, Sound radiation by walls and buildings (in Dutch), ICG-REPORT IL - HR 13-02, 1982.
- [4] Rathe, E. J., Note on two common problems of sound propagation, J. of Sound & Vibration **10** (1969), 472.
- [5] Maekawa, Z., Noise reduction by distance from sources of various shapes, Applied Acoustics **3** (1970).
- [6] ISO 9613-2 – *Acústica. Atenuación del sonido durante la propagación en el exterior. Parte 2: Método general de cálculo.*
- [7] EN 12354-1:1996 – *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.*
- [8] EN 12354-3:1997 – *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra ruido exterior.*
- [9] *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas a partir de las características de sus componentes. Parte 5: Ruido procedente de instalaciones y equipos. (WI 00126033).*
- [10] EN ISO 717-1:1996 – *Acústica. Evaluación global del aislamiento acústico en edificios y de elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruidos aéreos. (ISO 717-1:1996).*

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32