

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Análisis predictivo y modelización de los niveles de ruido generados en terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento”



Curso 2020/2021

**Alumno/a:**

Luis Calatrava López-Ronco

**Director/es:**

Francisco Javier Garrido Jiménez  
José Carlos González Sánchez



# UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

---

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

---

*Análisis predictivo y modelización de los niveles de ruido generados en terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento.*

---

*Autor:* Luis Calatrava López-Ronco  
*Director:* Francisco Javier Garrido Jiménez  
*Codirector:* José Carlos González Sánchez  
*Modalidad:* Trabajo de investigación  
*Fecha:* Noviembre de 2020

“A mi familia

A mis tutores

A mis compañeros

# Agradecimientos

A mis tutores Francisco Javier Garrido Jiménez y José Carlos González Sánchez por su gran apoyo e interés durante toda esta etapa y en general desde que los conozco. Me han enseñado como abordar un trabajo de investigación, haciendo especial hincapié en la importancia de desarrollar, según un orden lógico, un estudio bien fundamentado que permita alcanzar los objetivos propuestos y obtener unos resultados fiables.

A Juan José Álvarez Gómez, ingeniero técnico industrial y compañero de profesión, por prestarme los equipos de medición y colaborar en la realización del ensayo acústico.

A todos mis compañeros del máster, y en especial a mis compañeros de prácticas José María Baca Soriano y Eludino Alonso de Haro. Ha sido una suerte dar con gente tan competente y buenas personas, destacando el trabajo en equipo y unidad de todo el grupo, lo que ha sido muy importante en esta nueva situación originada por la pandemia del COVID-19.

Por último y no menos importante, me gustaría agradecer a mi familia por su continuo apoyo y ayuda tanto en mi desarrollo personal como profesional, así como a mis amigos y a Lucía por su comprensión y apoyo en todo momento.

... a todos ellos muchas gracias.

Luis Calatrava López-Ronco

# Resumen

El ruido ambiental es considerado un problema importante en la salud y la calidad de vida de los ciudadanos, por lo que empieza a existir una mayor concienciación sobre la contaminación acústica. Debido al buen clima característico de las ciudades mediterráneas, en los locales de ocio (bares, restaurantes, tabernas, etc.) está muy extendido el uso de terrazas en la vía pública. Esto implica una carga acústica adicional que suele provocar molestias a los vecinos colindantes.

En relación a dicha problemática, existen pocos estudios hasta la fecha en el marco de trabajos científicos o académicos. Las ordenanzas municipales se centran en el establecimiento de prohibiciones, horarios o aspectos estéticos, sin que se hayan regulado procedimientos destinados a justificar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica exigidos en el interior de las viviendas, según la normativa vigente. Por su parte, la Comunidad Autónoma de Andalucía ha establecido recientemente directrices generales en relación al control de los niveles emisión de ruido en terrazas, exigiendo la redacción de un estudio acústico predictivo con carácter previo al inicio de la actividad, lo que podría considerarse una autentica primicia reglamentaria en nuestro país.

Por tanto, surge la necesidad de desplegar las herramientas necesarias para caracterizar o modelizar la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica legalmente establecidos. De esta forma se ha desarrollado un modelo teórico que permite estimar el aforo máximo permitido o número total de mesas que componen una terraza en función de los factores acústicos y de configuración influyentes, y así evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las viviendas cercanas.

**Palabras clave:** contaminación acústica, estudio predictivo, objetivos de calidad acústica, ruido de ocio, hostelería, terrazas y veladores.

# Abstract

Environmental noise is an important health issue that also affects the quality of life of citizens, so there is a greater awareness of noise pollution. Due to the good weather of Mediterranean cities, the use of terraces in public spaces is very common in leisure premises (bars, restaurants, taverns, etc.). This implies an additional acoustic load that often causes annoyance to the neighborhood.

Nowadays there are few studies in the framework of scientific or academic works related to this problem. Municipal ordinances are focused on the establishment of prohibitions, schedules or aesthetic aspects, but there are not procedures aimed at justifying the fulfilment of the acoustic quality objectives required inside residential buildings, according to current regulations. Whereas, the Regional Government of Andalusia has recently established general guidelines in relation to the control of noise emission levels in terraces, requiring a predictive acoustic study before starting this outdoor activity, which could be considered an authentic regulatory scoop in our country.

Therefore, there is thus a need to deploy the necessary tools to characterize or model the evaluation of compliance with the legally established acoustic quality objectives. In this way, a theoretical model has been developed that allows to estimate the maximum permitted capacity of people or total number of tables of a terrace based on the influencing acoustic and configuration factors, and so it allows to evaluate the fulfilment of the acoustic quality objectives within the nearby homes.

**Key words:** acoustics pollution, predictive model, acoustic quality objectives, leisure noise, hotel and restaurant business, terraces.

# Índice general

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>IV</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VI</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>VII</b>
<b>Siglas y acrónimos</b> .....	<b>X</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>XII</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes e interés .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Estructura del TFM.....	3
1.4. Fases de la realización del TFM y su cronograma asociado.....	4
<b>2. Revisión bibliográfica - Estado del Arte</b> .....	<b>5</b>
2.1. El ruido.....	5
2.1.1. Definiciones básicas y fenómeno físico .....	5
2.1.2. Caracterización del ruido: magnitudes y niveles de medidas .....	7
2.1.3. La propagación del sonido en campo libre .....	9
2.1.4. Aislamiento y absorción acústica .....	16
2.1.5. Índices para la evaluación del ruido ambiental .....	17
2.2. El ruido urbano .....	18
2.2.1. El ruido del tráfico .....	20
2.2.2. El ruido de la industria .....	20
2.2.3. El ruido de las obras de construcción y servicios.....	20
2.2.4. El ruido de actividades domésticas y de ocio.....	21
2.3. Marco normativo de la investigación .....	22



2.4.	El ruido en terrazas de establecimientos de hostelería .....	29
<b>3.</b>	<b>Objetivos y Metodología .....</b>	<b>40</b>
3.1.	Objetivos .....	40
3.2.	Metodología de la investigación.....	40
3.2.1.	Descripción general .....	40
3.2.2.	Descripción específica .....	41
3.3.	Fases y etapas de la investigación .....	42
3.3.1.	Análisis inicial: clasificación y tipologías de terrazas.....	42
3.3.2.	Estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido generados en las terrazas .....	46
3.3.2.1.	Potencia acústica de una mesa ( $L_w$ ).....	47
3.3.2.2.	Análisis de los factores de atenuación .....	48
3.3.2.3.	Análisis del factor de directividad.....	50
3.3.3.	Estimación del nivel de presión sonora resultante en el exterior de la ventana receptora más desfavorable. ....	52
3.3.4.	Estimación de los niveles de inmisión de ruido en el interior de edificaciones. ....	52
3.3.5.	Evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior.....	53
3.3.6.	Formación de tablas y ecuaciones .....	54
<b>4.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>57</b>
4.1.	Ecuación A: Índice de Aforo « $A_f$ » para terrazas de una sola fila de mesas .....	57
4.2.	Ecuación B: Índice de Aforo « $A_{fF}$ » para terrazas de varias filas de mesas .....	58
4.3.	Tabla de doble entrada nº 1: Aforo terraza sin elementos atenuantes...	61
4.4.	Tabla de doble entrada nº 2: Aforo terraza con elementos atenuantes..	62
<b>5.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>63</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusión y líneas futuras .....</b>	<b>67</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo N° 1: Desarrollo y cálculos .....</b>		<b>74</b>
A.1.1.	Método de cálculo simplificado: Definición de ecuaciones de aforo máximo según Rayos sonoros por centro geométrico de cada fila de mesas..	74

A.1.1.1. Desarrollo de ecuación A: Índice de Aforo «Af» para una sola fila de mesas .....	74
A.1.1.2. Desarrollo de ecuación B: Índice de Aforo «Af <sub>F</sub> » para varias filas de mesas .....	76
A.1.2. Método de cálculo general: Cálculo del aforo máximo según Rayos sonoros por mesa. Validación de ecuaciones A y B de aforo máximo. ....	79
A.1.3. Factor de corrección por rayos sonoros y ejemplos de validación .....	94
A.1.3.1. Tablas comparativas de los métodos de cálculo (general y simplificado) para las dos ecuaciones propuestas A y B .....	94
A.1.3.2. Factor de corrección por rayos sonoros para la ecuación A .....	96
A.1.3.3. Factor de corrección por rayos sonoros para la ecuación B .....	99
<b>Anexo N° 2: Acta de ensayo acústico de influencia del factor de directividad .....</b>	<b>105</b>
A.2.1. Objeto y alcance del informe .....	105
A.2.2. Fecha y lugar de los ensayos .....	105
A.2.3. Documentos de referencia .....	105
A.2.4. Equipos utilizados.....	106
A.2.5. Procedimiento del ensayo .....	107
A.2.5. Registro de datos .....	110
A.2.6. Conclusiones .....	111
<b>Anexo N° 3: Ficha técnica de una sombrilla acústica tipo .....</b>	<b>112</b>

# Siglas y acrónimos

IT-8	Instrucción técnica 8 «Metodología para la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las edificaciones próximas a terrazas y veladores, previa al inicio de la actividad» del Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía (Decreto 6/2012).
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSMAN	Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía.
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks
TSJA	Tribunal Superior de Justicia de Andalucía
MER	Mapa Estratégico de Ruido
L <sub>p</sub>	Nivel de presión sonora (dBA)
L <sub>w</sub>	Nivel de potencia sonora o acústica (dBA)
SPL	Nivel de presión sonora (dBA)
LA <sub>eqT</sub>	Nivel de presión sonora continuo equivalente o Índice de ruido continuo equivalente corregido (dBA)
L <sub>pext</sub>	Nivel de presión sonora en el exterior de la ventana más desfavorable (dBA)
L <sub>pint</sub>	Nivel de presión sonora en el espacio interior (dBA)
L <sub>d</sub>	Índice de evaluación de ruido en periodo diurno (dBA)
L <sub>e</sub>	Índice de evaluación de ruido en periodo vespertino (dBA)
L <sub>n</sub>	Índice de evaluación de ruido en periodo diurno (dBA)
I	Intensidad del sonido (W/m <sup>2</sup> )
ID	Índice de directividad (dBA)
Q	Factor de directividad
A <sub>total</sub>	Factor de atenuación (dBA)
A <sub>div</sub>	Factor de atenuación por divergencia geométrica (dBA)
A <sub>atm</sub>	Factor de atenuación por absorción atmosférica (dBA)
A <sub>gr</sub>	Factor de atenuación por efecto del suelo (dBA)
A <sub>bar</sub>	Factor de atenuación por barreras (dBA)

$A_{\text{misc}}$	Factor de atenuación por otros efectos (dBA)
$\alpha$	Coeficiente de atenuación del aire (dBA/km)
$h_m$	Altura media del camino de propagación sobre el suelo (m)
$A_f$	Índice de aforo para terrazas de una fila de mesas
$A_{fF}$	Índice de aforo para terrazas de varias filas de mesas
$d$	Distancia desde la fuente al receptor (m)
$d_0$	Distancia de referencia (=1 m).
$d_s$	Distancia desde el centro geométrico de la primera fila de mesas a la fachada. (m)
$d_i$	Distancia rayos sonoros de la mesa $i$ a la ventana más desfavorable (m)
$d_{gr}$	Distancia horizontal de la mesa $i$ a la cota 0 de la ventana más desfavorable (m)
$d_v$	Distancia vertical desde el suelo a la ventana más desfavorable (m)
$d_f$	Distancia de la fuente emisora al suelo de 1,20 m.
$d_h$	Distancia vertical desde una altura de 1,2 m ( $d_f$ ) del suelo a la ventana más desfavorable (m)
Ecuación A	Ecuación para el cálculo del Índice de Aforo « $A_f$ » para una sola fila de mesas
Ecuación B	Ecuación para el cálculo del Índice de Aforo « $A_{fF}$ » para varias filas de mesas
$K_1$	Factor de corrección para terrazas de una fila de mesas
$K_F$	Factor de corrección para terrazas de varias filas de mesas
$F$	Número de filas de mesas
$N_{M \text{ fila}}$	Número de mesas por fila.
$D_i$	Factor de corrección de distancia a la fachada para la fila $i$ .
Tabla de doble entrada nº 1	Resultados Aforo terraza sin elementos atenuantes
Tabla de doble entrada nº 2	Resultados Aforo terraza con elementos atenuantes

# Índice de figuras

Figura 1. Ondas esféricas radiadas a partir de una fuente puntual (Fuente: Harris, 1998).....	7
Figura 2. Generación de ondas de sonoras (Fuente: Flores, 1990). ....	7
Figura 3. Generación de ondas sonoras (Fuente: Flores, 1990).....	7
Figura 4. Relación entre presión sonora en $\mu\text{PA}$ y nivel de presión sonora en dB (Fuente: Harris, 1998).....	8
Figura 5. Intensidad de una fuente puntual (Fuente: Harris, 1998).....	9
Figura 6. Fuente Omnidireccional (Fuente: Flores, 1990).....	11
Figura 7. Factor de directividad, relaciones simplificadas (Flores, 1990).....	11
Figura 8. Diagrama sobre la reflexión, absorción, transmisión y difracción de una onda sonora (Fuente: Avilés y Perera, 2017). ....	14
Figura 9. Diagrama del efecto de protección de una barrera acústica (Fuente: Avilés y Perera, 2017). ....	15
Figura 10. Diagrama esquemático de la fuente de ruido - barrera - receptor (Fuente: D'Alencon 2008).....	15
Figura 11. Gráfica de reducción de ruido por altura efectiva de la barrera (Fuente: D'Alencon 2008).....	15
Figura 12. Principales fuentes de ruido (Fuente: OSMAN, J. de Andalucía, 2002) ....	19
Figura 13. Diagrama del funcionamiento y de las relaciones acústicas que tiene una terraza (Fuente: Yáñez, 2018).....	34
Figura 14. Propuesta de terraza básica para una calle ruidosa y en ubicación de esquina (Fuente: Yáñez, 2018). ....	35
Figura 15. Modelización de la propuesta de sistema de apantallamiento (Fuente: Aragüez y Jiménez, 2017).....	38
Figura 16. Instalación de toldo fonoabsorbente, Hotel Ibis de Málaga (Fuente: Sau, 2018 - laopinióndemálaga.es) ....	39
Figura 17. Ejemplo toldo fonoabsorbente patentado (Fuente: I+Db Acoustic Soluciones urbanas) ....	39
Figura 18. Sombrilla acústica para terrazas de establecimientos de hostelería (Fuente: mediasonic.es).....	39
Figura 19. a) Terraza adosada a fachada en espacio longitudinal con elementos de cobertura tipo 1. b) Terraza adosada a fachada en espacio central sin elementos de cobertura y varias filas.....	45

Figura 20. a) Terraza separada de fachada en espacio central con elementos de cobertura tipo 1 y varias filas. b) Terraza separada de fachada en espacio longitudinal con elementos de cobertura tipo 2. .... 45

Figura 21. a) Terraza separada de fachada en espacio central sin elementos de cobertura y con varias filas de mesas. b) Terraza separada de fachada con elementos de cobertura tipo Marquesina. .... 45

Figura 22. a) Terraza adosada al frente principal de la fachada del establecimiento b) Terraza adosada al frente opuesto de la fachada del establecimiento ..... 45

Figura 23. Terraza separada de fachada en tarima de aparcamiento en línea con elementos de cobertura tipo 1..... 46

Figura 24. Determinación de la distancia desde la fuente al receptor (Fuente: Elaboración propia)..... 47

Figura 25. Elementos tipo cortavientos abiertos al frente fachada..... 49

Figura 26. Conclusiones del Ensayo del factor de directividad (Fuente: Elaboración propia)..... 51

Figura 27. Esquema de caso particular del factor de directividad para calles peatonales (Fuente: Elaboración propia). .... 52

Figura 28. Objetivos de calidad acústica para ruidos aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales y administrativos o de oficinas, en dBA (Fuente: Tabla IV del Decreto 6/2012). .... 53

Figura 29. Esquema de evaluación método simplificado (Fuente: Elaboración propia)..... 55

Figura 30. Esquema de evaluación método general (Fuente: Elaboración propia). .... 55

Figura 31. Esquema de aplicación de la ecuación A para terrazas de una sola fila (Fuente: Elaboración propia). .... 57

Figura 32. Esquema de aplicación de la ecuación B para terrazas de varias filas (Fuente: Elaboración propia)..... 58

# Índice de tablas

Tabla 1. Cronograma de desarrollo del TFM. ....	4
Tabla 2. Cuadro de niveles sonoros y esfuerzo vocal (Fuente: Avilés y Perera, 2017) ..	22
Tabla 3. Factor de corrección $K_1$ - Ecuación A (Fuente: Elaboración propia).....	58
Tabla 4. Factor de corrección $K_F$ (fila 2) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia)..	59
Tabla 5. Factor de corrección $K_F$ (fila 3) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia)..	59
Tabla 6. Factor de corrección $K_F$ (fila 4) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia)..	60
Tabla 7. Factor de corrección $K_F$ (fila 5) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia)..	60
Tabla 8. Tabla de doble entrada n° 1: Aforo terraza sin elementos atenuantes (Fuente: Elaboración propia).....	61
Tabla 9. Tabla de doble entrada n° 2: Aforo terraza con elementos atenuantes (Fuente: Elaboración propia).....	62

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes e interés

Debido al buen clima característico de la mayoría de las ciudades mediterráneas y teniendo en cuenta la gran cantidad de locales de ocio que existen (bares, restaurantes, tabernas, etc.), es habitual que estos locales ocupen parte de la vía pública con mesas y sillas donde poder tomar consumiciones al aire libre, lo que tradicionalmente se conoce como terrazas y veladores. A su vez, la Ley Antitabaco propició un mayor desarrollo de estas terrazas. Por un lado, esto implica como es evidente, una carga acústica adicional en la vía pública que suele llevar a quejas y denuncias, en muchos casos fundadas, de los vecinos que residen en las inmediaciones, y por otro lado estas actividades también generan un alto beneficio económico a la ciudad y una imagen atractiva para el turismo.

Normalmente centradas en la prevención, control y reducción de la contaminación acústica por ruidos y vibraciones de actividades o instalaciones industriales, domésticas, comerciales y de servicios, obras y vehículos, las ordenanzas municipales de protección contra la contaminación acústica no regulan actividades al aire libre o en zonas de dominio público, como es el caso de las terrazas de establecimientos de hostelería, que deberían incluirse como emisor acústico, estableciendo simplemente algunas condiciones generales a tener en cuenta a la hora de conceder tales licencias.

Las ordenanzas de sillas y veladores se centran en aspectos tales como el establecimiento de prohibiciones al empleo de equipos de reproducción sonora, horarios o aspectos estéticos, sin que se hayan regulado procedimientos destinados a justificar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica exigidos en el interior de las viviendas, según la normativa vigente.

En este sentido, el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía (Decreto 6/2012), ya introducía, en la Guía Técnica de Aplicación del Decreto 6/2012, la problemática existente con el ruido en terrazas contemplando un apartado destinado al Ruido de terrazas y veladores con recomendaciones y propuestas de control de ruido para el desarrollo de ordenanzas municipales. Se parte de que este tipo de actividades se ubican en zonas urbanas con predominio de uso residencial y los niveles que generan son, en casi la totalidad de los casos, lo suficientemente elevados como para incumplir con los límites establecidos para estas áreas de sensibilidad acústica, considerando dichas actividades como normales y necesarias en los países con climatología como la española. Es por ello, que para



permitir su existencia, la citada Guía recoge recomendaciones para el establecimiento de exigencias y limitaciones al mobiliario y menaje de las terrazas, como: horario de montaje/desmontaje, materiales para el mobiliario que impidan ruidos por impactos, prohibiéndose por ejemplo la utilización de mobiliario metálico. Por otro lado, introduce la posibilidad de adaptar el procedimiento de valoración proponiendo una solución de medición a 1,5 m de la fachada del edificio de viviendas más próximo. No obstante, a pesar de la introducción de dichas recomendaciones para futura ordenanzas municipales, hasta la fecha no se han establecido procedimientos ni metodologías para controlar el cumplimiento de niveles permitidos de ruido. Es por ello que, surge el interés por estudiar esta problemática.

Posteriormente, según el Decreto-ley 15/2020, de 9 de junio, por el que se modifica el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía (Decreto 6/2012, de 17 de enero), añadiendo una nueva Instrucción Técnica «IT.8. Metodología para la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las edificaciones próximas a terrazas y veladores, previa al inicio de la actividad». Esta primera exigencia normativa relativa al control de los niveles de emisión de ruido en terrazas, establece las directrices generales aplicables para la evaluación previa al inicio de la actividad del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las edificaciones próximas a establecimientos de hostelería, ocio y esparcimiento provistos de terrazas y veladores. Esto último, introduce un cambio significativo al exigirse la redacción de un estudio acústico predictivo con carácter previo a la instalación de terrazas en la vía pública, en el que debe justificarse el cumplimiento de los valores límite de ruido exigidos, lo que podría considerarse una auténtica primicia reglamentaria en nuestro país.

Por tanto, a nivel municipal surge la necesidad de estudiar dichas directrices generales que establece la metodología de la IT-8 y establecer criterios de aplicación que permitan desplegar las herramientas necesarias para caracterizar o modelizar la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica legalmente establecidos. De forma que, se considera necesario realizar un análisis de los distintos factores tanto acústicos como de configuración de las terrazas que influyen en dicha evaluación, lo que permitirá estimar el número de mesas autorizable o el aforo máximo de una terraza, al objeto de estudiar, con carácter previo al inicio de actividad, la viabilidad de la implantación de tales instalaciones en la vía pública, así como establecer criterios más restrictivos para limitar el aforo según las particularidades de la zona de instalación.

## 1.2. Objetivos

Partiendo del contexto anterior, el objetivo general de este trabajo de investigación es desarrollar un modelo que permita realizar un estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido generados en terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento, estableciendo una relación directa entre los distintos parámetros o factores que influyen en el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las viviendas.

El desarrollo de dicho modelo permitirá el alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar tablas de datos o ecuaciones que permitan estimar el aforo máximo permitido de las terrazas con carácter previo al inicio de la actividad, en función de los factores acústicos (factor de atenuación por divergencia geométrica, factor de atenuación por elementos atenuantes y factor de directividad) y de configuración que influyen en los objetivos de calidad acústica.
- Clasificar las tipologías de terrazas en función de su distancia a las fachadas receptoras más desfavorables.
- Establecer criterios para regular el empleo de elementos atenuantes para reducción de niveles de inmisión de ruido en viviendas colindantes.
- Determinar los factores de directividad según los paramentos verticales que puedan afectar a la instalación de terrazas.

Para la consecución de estos objetivos, esta investigación se ha abordado desde un punto de vista teórico, debido a las limitaciones existentes en cuanto a equipos de medición. No obstante, se ha realizado una comprobación de campo para estudiar la influencia del factor de directividad en la propagación del sonido en exteriores, recogiendo las distintas mediciones y resultados en el acta de ensayo acústico que se incluye en el Anexo nº 2. La metodología llevada a cabo se describe de forma específica en el Capítulo 3.

## 1.3. Estructura del TFM

Con el fin de conseguir los anteriores objetivos, este trabajo se ha estructurado de la siguiente forma:

- En el **capítulo 1** de *INTRODUCCIÓN*, se describe el problema en cuestión del estudio. Secuencialmente se presentan los antecedentes, interés y objetivos.

- En el **capítulo 2** de *REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA – ESTADO DEL ARTE*, se abarca el marco teórico de la investigación desde los aspectos generales a los particulares.
- En el **capítulo 3** de *OBJETIVOS Y METODOLOGÍA*, se detallan con más precisión los objetivos y se describe la metodología a llevar a cabo para su consecución. Fundamentalmente, se desarrolla un método teórico y se también se ha realizado una comprobación de campo para estudiar la influencia del factor de directividad.
- En el **capítulo 4** de *RESULTADOS*, básicamente se presentan los resultados obtenidos.
- En el **capítulo 5** de *DISCUSIÓN*, se interpretan los resultados obtenidos, destacando los hallazgos más importantes, y se relacionarán con lo que se sabía antes de hacer la investigación.
- En el **capítulo 6** de *CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS*, se indican las conclusiones a las que se ha llegado y se establecen las líneas de trabajo futuro.
- En el **capítulo 7** de *BIBLIOGRAFÍA*, se recogen todas las fuentes bibliográficas que se han empleado.

#### 1.4. Fases de la realización del TFM y su cronograma asociado

El cronograma asociado a la redacción de este trabajo fin de máster es el siguiente:

Mes	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
Quincena	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
Capítulo														
ANTEPROYECTO	■													
1. INTRODUCCIÓN		■	■											
2. ESTADO DEL ARTE			■	■	■	■	■							
7. BIBLIOGRAFÍA						■	■							
3. METODOLOGÍA								■	■	■				
ANEXO DE CÁLCULO									■	■	■			
ENSAYO DIRECTIVIDAD											■			
4. RESULTADOS											■	■		
5. DISCUSIÓN												■	■	
6. CONCLUSIONES													■	■

Tabla 1. Cronograma de desarrollo del TFM.

## 2. Revisión bibliográfica - Estado del Arte

En el estudio del estado del arte se abarca el marco teórico del presente trabajo de investigación desde los aspectos generales a los particulares.

### 2.1. El ruido

#### 2.1.1. Definiciones básicas y fenómeno físico

El ruido puede definirse como un sonido no agradable o conjunto de sonidos no coordinados que originan sensaciones desagradables e interfieren con la actividad humana, siendo el ruido una apreciación subjetiva y molesta del sonido (Asúnsolo et al., 2009). Según la Directiva europea 2002/49/CE - Evaluación y gestión del ruido ambiental, transpuesta a la legislación española por la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, se define el ruido ambiental como el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por emplazamientos de actividades industriales.

El ruido ambiental es considerado un problema importante en la salud y la calidad de vida de los ciudadanos y empieza a existir una mayor concienciación sobre la contaminación acústica. Se pueden encontrar cada vez más estudios que lo analizan y demuestran una clara relación entre altos niveles de ruido y el aumento de enfermedades en la población (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). De hecho, la OMS considera que el ruido es la primera molestia ambiental en los países desarrollados, siendo España uno de los países más ruidosos en todo el mundo (Martínez y Peters, 2015).

El ruido es por tanto un caso particular de sonido, una emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído y provoca una sensación de molestia (Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía [OSMAN], 2002). Técnicamente, se habla de ruido cuando su intensidad es alta, llegando incluso a perjudicar la salud humana (Fernández, Mojena, Ortiz, Pérez y Rodríguez, 2020).

En la escala logarítmica el rango audible del oído humano es el correspondiente a niveles de presión sonora entre 0 y 120-140 dB. Este último nivel de ruido marca

aproximadamente el denominado “umbral del dolor”. A niveles acústicos muy altos, pueden producirse roturas mecánicas en diferentes partes del oído, como el tímpano, las articulaciones de los huesecillos y la membrana basilar; estos efectos son visibles con microscopía óptica simple (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks [SCENIHR], 2008).

Desde un punto de vista físico, un sonido consiste en la alteración mecánica de las partículas de un medio elástico, producida por un elemento en vibración, que es capaz de provocar una sensación auditiva. Las vibraciones se transmiten en el medio, generalmente el aire, en forma de ondas sonoras, se introducen por el pabellón del oído haciendo vibrar la membrana del tímpano, de ahí pasa al oído medio, oído interno y excita las terminales del nervio acústico que transporta al cerebro los impulsos neuronales que finalmente generan la sensación sonora (Segués, 2007). Así, el sonido es un cambio de presión del aire, que se mueve como una ola circular a partir de la fuente. Estos cambios de presión entran en el canal auditivo, se transmiten del aire al tímpano del oído, que a su vez mueve los huesecillos del oído medio. Los huesecillos funcionan como un amplificador mecánico y pasan los movimientos al caracol, donde hacen moverse el líquido linfático que contiene. Este, al moverse estimula los células ciliadas que a su vez reaccionan generando impulsos nerviosos que se envían al cerebro (Martínez y Peters, 2015).

Se tiene así, que cualquier perturbación producida en el seno de un medio homogéneo se transmite a través de éste, llegando a alcanzar al cabo del tiempo a todos los puntos de una superficie esférica con centro en el punto perturbado. Esta propagación de la perturbación recibe el nombre de movimiento ondulatorio (Flores, 1990). El movimiento ondulatorio se caracteriza por la propagación de movimiento o energía a través de un medio. Cuando las ondas sonoras tienen la misma dirección de propagación en todos los puntos se denominan ondas planas, porque los puntos de compresión máxima forman superficies planas perpendiculares a la dirección de propagación. Los puntos de máxima depresión también son planos perpendiculares a la dirección de propagación, lo que se ilustra en la Figura 2. Estos planos de fase constante se denominan frentes de onda. Cuando las fuentes sonoras emiten ondas en que los puntos de máxima compresión forman esferas concéntricas, estas son denominadas ondas esféricas y se ilustran en la siguiente figura (Harris, 1998).

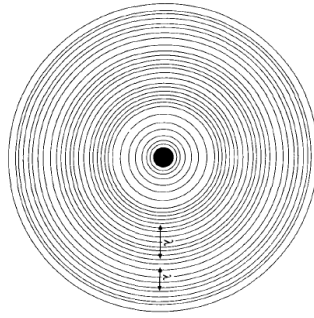


Figura 1. Ondas esféricas radiadas a partir de una fuente puntual (Fuente: Harris, 1998).

El estudio de la ecuación de un movimiento ondulatorio armónico para una onda plana puede realizarse mediante el análisis del comportamiento de un fluido en el interior de un tubo, el cual es excitado mediante un émbolo que sigue un movimiento ondulatorio sinusoidal, lo que producirá un movimiento ondulatorio longitudinal de la columna de aire dentro del tubo rígido, con un área de corte transversal constante, el cual se aproxima mucho a una onda plana (Flores, 1990).

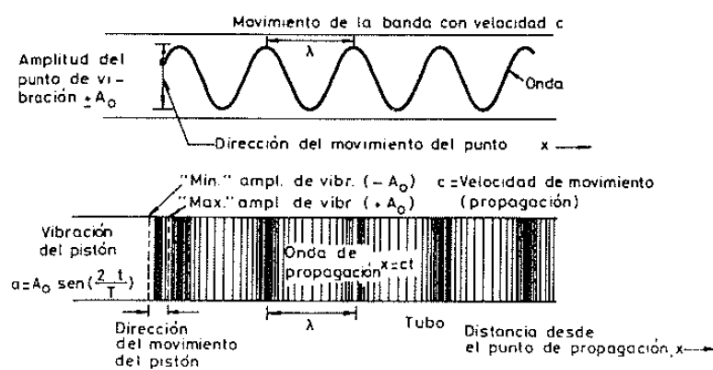


Figura 2. Generación de ondas de sonoras (Fuente: Flores, 1990).

### 2.1.2. Caracterización del ruido: magnitudes y niveles de medidas

A continuación se definen las magnitudes básicas que se deben utilizar para la descripción de ruido.

Se conoce por presión sonora a las fluctuaciones de la presión atmosférica por encima y por debajo del valor estático, producido cuando se propaga una onda sonora, este fenómeno se representa esquemáticamente en la siguiente Figura (Flores, 1990).

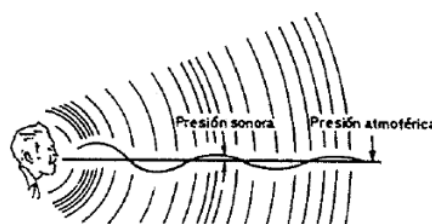


Figura 3. Generación de ondas sonoras (Fuente: Flores, 1990).

Asimismo, cuando una onda sonora se propaga produce una cierta cantidad de energía por unidad de tiempo, lo que lleva implícito la transmisión de cierta potencia sonora. Dicha energía sonora emitida de la fuente al exterior, aumenta el nivel de presión sonora existente (Bies, Hansen y Howard, 2017).

Dado que el rango de presiones sonoras que hallamos en el campo del control del ruido es muy amplio, resulta más cómodo emplear el nivel de presión sonora, como una cantidad que es proporcional al logaritmo de la presión sonora. Esto se debe a que la escala logarítmica comprime la del rango, como se puede ver en el ejemplo de la siguiente Figura (Harris, 1998).

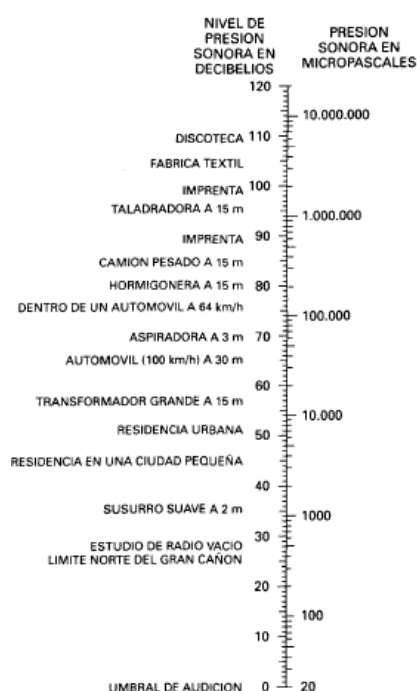


Figura 4. Relación entre presión sonora en  $\mu\text{Pa}$  y nivel de presión sonora en dB (Fuente: Harris, 1998).

Por definición, tenemos que el nivel de presión sonora,  $L_p$ , en decibelios, de las ondas con una presión sonora igual a  $p$  es igual a (Harris, 1998):

$$L_p = 10 \log_{10}(p/p_0)^2 \text{ dB} \quad (1)$$

Donde la presión sonora  $p$  se expresa en  $\mu\text{Pa}$ , y  $p_0$  es la presión de referencia igual a  $20 \mu\text{Pa}$ . Por ejemplo, la presión de un sonido de  $20 \mu\text{Pa}$  corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB (valor de referencia, mínimo audible ser humano).

Por otro lado, la potencia sonora o acústica es la cantidad de energía radiada por una fuente determinada (Segués, 2007). A menudo, resulta más cómodo expresar la potencia sonora sobre una escala logarítmica. Entonces, se emplea el nivel de potencia sonora,  $L_w$ , de una fuente, en decibelios, que se obtiene mediante la expresión (Harris, 1990):

$$L_w = 10 \log_{10}(W/W_0) \text{ dB} \quad (2)$$

donde  $W$  es la potencia de la fuente en vatios y  $W_0$  la potencia de referencia en vatios ( $1 \mu\text{W}$  o  $10^{-12} \text{ W}$ ).

La potencia acústica de un foco sonoro es constante y solo depende de las características de la fuente. En cambio, la intensidad y la presión varían inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (Segués, 2007).

Por su parte, La intensidad del sonido,  $I$ , en una dirección específica en un punto del campo sonoro es igual al flujo de energía sonora a través de una unidad de área en ese punto (potencia por unidad de área que fluye a través del punto), siendo la unidad de área perpendicular a la dirección especificada (Harris, 1998). Por ejemplo, se considera una fuente puntual en campo libre, que emite una potencia sonora de  $W$  vatios, rodeada de una esfera imaginaria con radio  $r_0$ , la superficie del área de la esfera  $S$  es igual a  $4\pi r_0^2$ , luego la intensidad del sonido en la dirección radial es igual a

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r_0^2} \text{ W/m}^2 \quad (3)$$

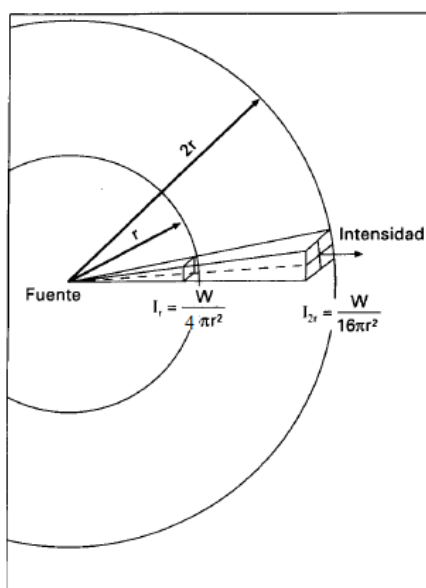


Figura 5. Intensidad de una fuente puntual (Fuente: Harris, 1998).

### 2.1.3. La propagación del sonido en campo libre

La propagación del sonido en exteriores a través de la atmósfera suele originar una disminución de nivel al aumentar la distancia entre fuente y receptor. Esta atenuación es el resultado de varios mecanismos, principalmente la divergencia geométrica desde la fuente de sonido, la absorción de la energía acústica por el aire y el efecto de propagación cerca de las distintas superficies del suelo (Harris, 1998).



En definitiva, buscamos calcular el nivel sonoro debido a una fuente de ruido a una distancia determinada. De esta forma, para el cálculo de la atenuación correspondiente a la propagación desde fuentes puntuales se combinan factores de potencia sonora y directividad. No obstante, para grupos de fuentes puntuales se podrá describir como una fuente sonora puntual equivalente en el centro geométrico del grupo en determinados casos (ISO-9613-2, 1996).

Aunque existen diversos modelos de propagación sonora entre fuente y receptor, el modelo propuesto en la norma ISO 9613-2 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General Method of calculation" (ISO-9613-2, 1996), es ampliamente empleado en diversas aplicaciones de ingeniería acústica. A pesar de que sus resultados pueden ser menos precisos que otros modelos empíricos más avanzados como los de Rasmussen (1982) o Rudnik (1947), se trata de un modelo muy fiable y sencillo de implementar (Velasco-Sánchez y Clar-García, 2018).

El modelo propuesto en la norma ISO 9613-2 consiste en un método de ingeniería para calcular el nivel de presión sonora en un punto procedente de una o más fuentes sonoras, que pueden ser estáticas o móviles. La ecuación propuesta por la norma ISO 9613-2 calcula el nivel de presión sonora,  $L_p$ , continuo equivalente en bandas de octava a partir del nivel de potencia sonora,  $L_w$ , producido por la fuente sonora puntual, realizando una corrección por directividad,  $ID$ , y teniendo en cuenta el factor de atenuación,  $A_{total}$ , de la siguiente manera:

$$L_p = L_w + ID - A_{total} \text{ (dB)} \quad (4)$$

El factor de corrección por **directividad**,  $ID$ , describe el grado en que el nivel de presión sonora equivalente de una fuente puntual se desvía en una dirección determinada respecto del nivel sonoro de una fuente puntual omnidireccional ideal. Por tanto, resulta fundamental tener un concepto claro de la radiación acústica de una fuente sonora y poder determinar la interrelación existente entre la potencia acústica de una fuente sonora y el nivel de presión sonora en un puesto de escucha, a fin de poder conocer no solo los componentes del ruido reflejado, sino también la influencia que puede tener la directividad de la radiación en estas determinaciones (Flores, 1990).

Centrándonos en el estudio de emisiones en campo libre, se distingue entre fuente omnidireccional (no-direccional) y fuente direccional. Por fuente omnidireccional se entiende aquel campo acústico que se establece en un medio homogéneo e isótropo, libre de contornos, en el cual las ondas sonoras se propagan sin obstáculos desde la fuente de emisión, denominándose ondas progresivas libres (ver Figura 6). En este tipo de emisión, la energía acústica se propaga uniformemente a partir del foco en forma de ondas esféricas de presión y depresión, emitiendo idéntica energía sonora por toda la esfera de emisión (Flores, 1990).

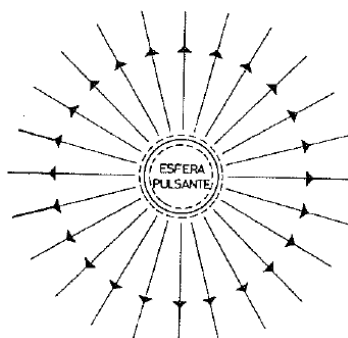


Figura 6. Fuente Omnidireccional (Fuente: Flores, 1990).

En cambio, para el caso de fuentes direccionales, que tienen cierta directividad, y emiten energía con más intensidad en unas direcciones que en otras en función del lugar en que las ondas se concentren, se define el Factor de Directividad Q de una fuente, como la relación entre la intensidad acústica que llega a un punto y la intensidad acústica que llegaría al mismo punto si la fuente fuera omnidireccional y con la misma potencia sonora. La directividad será por tanto función del ángulo ( $\theta$ ) de emisión con respecto al receptor. (Flores, 1990).

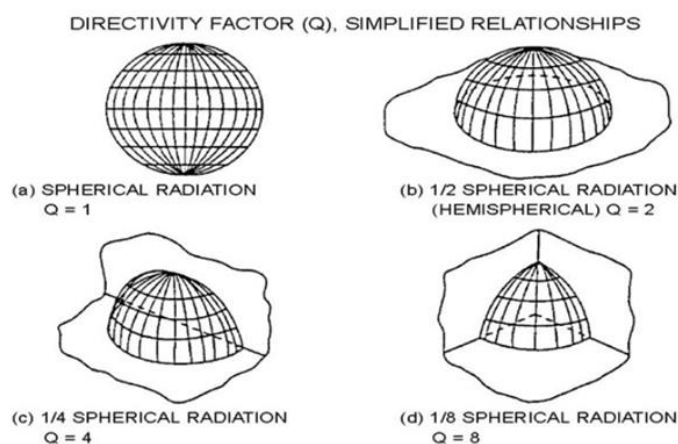


Figura 7. Factor de directividad, relaciones simplificadas (Flores, 1990).

En la práctica, las radiaciones sonoras se asemejan a cuatro tipos de emisiones consideradas, radiación esférica, radiación semiesférica, radiación  $1/4$  esfera y radiación  $1/8$  de esfera, tomando Q los valores de 1, 2, 4, y 8.

En cuanto al índice de directividad es el factor Q en escala logarítmica y puede calcularse como (Bruneau, 2013):

$$ID = 10 \log(Q) \quad (5)$$

Dicho factor de directividad, Q, consiste en un incremento de la energía debido a que la fuente sonora se encuentra sobre uno o varios planos reflectantes. La energía se irradia hacia la zona libre del espacio (Sintec, s.f.).

La norma internacional UNE-EN ISO 3744:2011 “Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Métodos de ingeniería para un campo esencialmente libre sobre un plano reflectante.”, establece un método para realizar ensayos acústicos en un espacio que se aproxima a un campo acústicamente libre sobre uno o más planos reflectantes, lo que nos permitirá realizar un estudio de la influencia que tiene la directividad. En concreto, especifica métodos para determinar el nivel de potencia sonora o el nivel de energía sonora de una fuente de ruido a partir de los niveles de presión sonora medidos sobre una superficie que envuelve a la fuente de ruido.

Por otro lado, la propagación del sonido en exteriores a través de la atmósfera origina una disminución de nivel al aumentar la distancia entre fuente y receptor. Esta **atenuación** es el resultado de varios mecanismos, principalmente, la divergencia geométrica desde la fuente de sonido hasta el receptor. Se tiene, por tanto, que la atenuación total,  $A_{total}$ , viene dada por la siguiente expresión:

$$A_{total} = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \text{ (dB)} \quad (6)$$

Donde

$A_{div}$  es el factor de atenuación por divergencia geométrica

$A_{atm}$  es el factor de atenuación por absorción atmosférica

$A_{gr}$  es el factor de atenuación por efecto del suelo

$A_{bar}$  es el factor de atenuación por barreras

$A_{misc}$  es el factor de atenuación por otros efectos no contemplados en los efectos anteriores

Los primeros tres términos en la ecuación nos dan la atenuación producida por los mecanismos principales: divergencia geométrica ( $A_{div}$ ), absorción del aire ( $A_{atm}$ ) y el efecto suelo ( $A_{gr}$ ).

Las condiciones atmosféricas, viento y temperatura principalmente, tienen efectos importantes sobre la propagación del sonido a distancias por encima de 100 m.

A continuación se van a describir los diferentes factores atenuantes que forman parte del ecuación (5).

### **Atenuación por divergencia geométrica ( $A_{div}$ )**

La divergencia geométrica es la expansión esférica de la energía acústica en campo libre a partir de una fuente puntual. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$A_{div} = 20 \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + 11 \text{ (dB)} \quad (7)$$

Donde

$d$  = distancia desde la fuente al receptor, en metros.

$d_0$  = distancia de referencia (=1 m).

La constante en esta ecuación relaciona al nivel de potencia sonora al nivel de presión sonora a una distancia de referencia  $d_0$  la cual es de 1 m para una fuente sonora omnidireccional puntual.

### Atenuación por Absorción atmosférica ( $A_{atm}$ )

A medida que el sonido se propaga a través de la atmósfera, su energía se convierte gradualmente en calor mediante varios procesos moleculares denominados absorción del aire. La atenuación del sonido debida a la absorción del aire durante la propagación, a través de una distancia de “ $d$ ” metros, viene dada por la siguiente ecuación:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000} \text{ (dB)} \quad (8)$$

Donde

$\alpha$  = coeficiente de atenuación del aire en decibelios por kilómetro. El coeficiente de atenuación depende en gran medida de la frecuencia y la humedad relativa  $y$ , en menor medida, de la temperatura. También depende ligeramente de la presión ambiental, lo suficiente como para notarse con cambios de altitud grandes (miles de metros), pero no con cambios climatológicos. Por ejemplo, a una temperatura de 20° C y una humedad relativa del 70%, la atenuación es 2,8 dB/km a una frecuencia de 500 Hz (Tabla 2, ISO 9613-2:1996).

### Atenuación debida al suelo ( $A_{gr}$ )

Por encima de un suelo (plano reflectante) el sonido llega a un receptor desde una fuente a través de dos vías: directamente y mediante la reflexión desde el suelo. La atenuación  $A_{gr}$  es el resultado de la interferencia entre el sonido directo y el reflejado por el suelo, y depende en gran medida del tipo de superficie; del ángulo de rozamiento; de la diferencia de longitud de los recorridos; y de la frecuencia del sonido. La atenuación del suelo es independiente de la frecuencia y viene dada por la siguiente ecuación:

$$A_{gr} = 4,8 - \left( \frac{2 \cdot h_m}{d} \right) \left( 17 + \frac{300}{d} \right) \text{ (dB)} \quad (9)$$

Donde

$h_m$  = altura media del camino de propagación sobre el suelo, en metros.

$d$  = distancia desde la fuente al receptor, en metros.

Los valores negativos de  $A_{gr}$ , obtenidos a partir de esta ecuación no son significativos y deben ser reemplazados por cero.

### Atenuación por barreras o apantallamiento ( $A_{bar}$ )

Un objeto debe ser tomado en cuenta como un obstáculo de apantallamiento o barrera acústica si cumple con los siguientes requerimientos:

1. La densidad superficial  $> 10 \text{ Kg/m}^2$ ;
2. El objeto tiene una superficie cerrada sin grandes grietas o huecos;
3. La dimensión horizontal del objeto perpendicular a la línea fuente - receptor es mayor que la longitud de onda de cada banda de frecuencia de interés.

Por lo que también se considera la eficacia acústica de las barreras contra el sonido, presentando el modelo de propagación propuesto por la norma ISO 9613-2 los métodos para calcular la pérdida por inserción de distintos tipos de barreras.

Según Avilés y Perera (2017) *“El uso de pantallas o barreras acústicas constituye uno de los sistemas básicos de control de ruido. Estas pueden definirse como cualquier elemento de cierto tamaño interpuesto en el camino de propagación de la onda sonora que permite interferir en dicha propagación, de forma que el receptor perciba una reducción del nivel de presión sonora originado por la fuente”*. Su principal objetivo es evitar que las ondas sonoras directas de un foco emisor afecten al receptor. Acústicamente su funcionamiento se basa en la reflexión de gran parte de la energía que incide, absorbiendo una fracción, transmitiendo otra y difractando el resto.

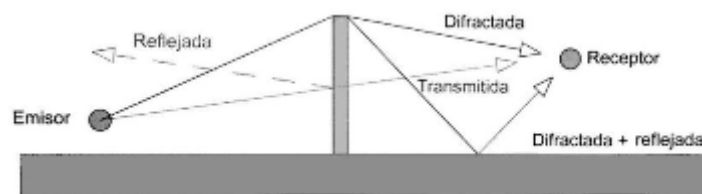


Figura 8. Diagrama sobre la reflexión, absorción, transmisión y difracción de una onda sonora (Fuente: Avilés y Perera, 2017).

La atenuación sonora proporcionada por las barreras acústicas para una fuente sonora de una potencia determinada es función de cinco parámetros fundamentales (Aragüez y Jiménez, 2017):

- Dimensiones de la barrera
- Situación relativa receptor-emisor

- Espectro sonoro del ruido
- Material de construcción de la barrera
- Características acústicas del lugar donde se instala

De forma que la altura de la barrera y la distancia al receptor son factores a tener en cuenta para el fenómeno de difracción, el cual genera una zona de sombra como se puede ver en las siguientes figuras.

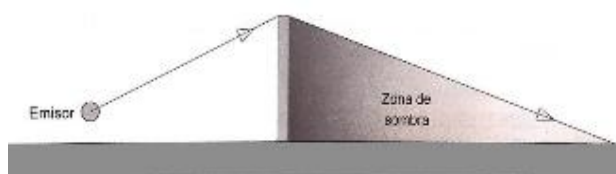


Figura 9. Diagrama del efecto de protección de una barrera acústica (Fuente: Avilés y Perera, 2017).

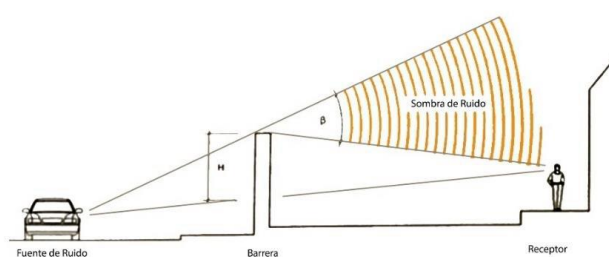


Figura 10. Diagrama esquemático de la fuente de ruido - barrera - receptor (Fuente: D'Alencon 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede evaluar la reducción del ruido, en decibelios, que se conseguiría mediante una pantalla acústica en función de la altura efectiva y ángulo de sombra, según la Figura 11.

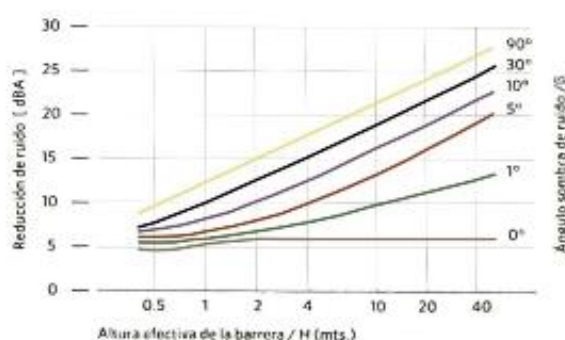


Figura 11. Gráfica de reducción de ruido por altura efectiva de la barrera (Fuente: D'Alencon 2008).

Es importante saber que las barreras acústicas están orientadas a locales y situaciones donde el sonido directo es el notorio. En aquellas situaciones donde el campo acústico pueda considerarse semireverberante, los efectos de la atenuación obtenidos en su utilización están muy por debajo de los esperados (Flores, 1990).

### Atenuación por otros efectos ( $A_{misc}$ )

El término  $A_{misc}$  cubre las contribuciones a la atenuación de los efectos que no se incluyen en los métodos generales para calcular  $A_{div}$ ,  $A_{atm}$ ,  $A_{gr}$ , descritos anteriormente. Estas contribuciones son: por el efecto de la reflexión de las paredes de los edificios o de superficies verticales próximas; la atenuación cuando el sonido se propaga a través de la vegetación o de árboles; la atenuación cuando el sonido se propaga a través de áreas de casas, o la atenuación de elementos como sombrillas, toldos, pérgolas, etc.

#### 2.1.4. Aislamiento y absorción acústica

Cuando una onda acústica incide sobre una superficie, la energía que posee ( $E_i$ ) da lugar a tres componentes principales (De la Puente, Díaz y Rodríguez, 2006):

- energía reflejada ( $E_r$ ): la parte de la energía que, en función de las propiedades de los materiales de acabado de la partición, vuelve en mayor o menor medida hacia el mismo lado de procedencia de la onda incidente (local emisor, poseedor de la fuente de ruido).
- Energía absorbida ( $E_a$ ): la que, en función de las propiedades de los materiales de acabado de la partición, se disipa, sobre todo, como energía calorífica.
- Energía transmitida ( $E_t$ ): la energía que, debido a la vibración que induce en la partición la onda incidente, se propaga al local vecino.

Por tanto, al someter una pared o superficie cualquiera a unas ondas sonoras de presión y extensión, esta pared vibra y emite otras ondas sonoras con una energía de un valor cuantitativo menor. El conocimiento de esta reducción de energía sonora en este nuevo proceso secundario de radiación es el fundamento del aislamiento acústico en todo el campo de frecuencias audibles (Flores, 1990).

Todos los materiales absorben el sonido en cierta medida, siendo los materiales acústicos aquellos cuya función primaria es absorber el sonido. Por tanto, absorben una gran parte de la energía acústica que incide sobre ellos (Harris, 1998).

En definitiva, aislar consistirá en aplicar medidas encaminadas a la disminución de la energía transmitida entre locales o espacios, mientras que con el empleo de materiales absorbentes se pretenderá actuar sobre la componente del sonido reflejado, y de este modo adaptar las características acústicas de los locales o espacios a su futuro uso (Sola, 2010). De forma que, el fenómeno de absorción mejora y ayuda a reducir el campo reverberante, pero no necesariamente el nivel de intensidad sonora.

### 2.1.5. Índices para la evaluación del ruido ambiental

El ruido es, en general, un fenómeno fluctuante a lo largo del tiempo, por lo que para expresar de manera completa la percepción de un ruido, será preciso tener en cuenta, además de su intensidad, la duración del mismo. La pérdida de audición, por ejemplo, está relacionada no solamente con la intensidad y frecuencia de los ruidos, sino también con el tiempo de exposición a los mismos. De esta forma, la evaluación del contenido energético se suele utilizar para evaluar las molestias de ruido ambiental, mediante el establecimiento de indicadores o índices energéticos (Aliaga, 2013).

En la Norma UNE-ISO 1996-1:2005 se describen métodos y procedimientos que pretenden ser aplicados al ruido procedente de varias fuentes, individuales o en su conjunto, que contribuyen a la exposición total en un lugar. En el estado tecnológico actual, la evaluación de la molestia producida por el ruido a largo plazo parece llevarse a cabo mejor adoptando el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (corregido por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo), denominado "Nivel de evaluación". También se pueden especificar otras magnitudes como el nivel de presión sonora máximo, el nivel de exposición sonora (corregido) o el nivel de presión acústica de pico (UNE-ISO 1996-1:2005).

De esta forma, entre los índices básicos para la evaluación de ruido ambiental definidos por la Norma UNE-ISO 1996-1:2005, cabe enunciar los siguientes:

- Nivel de presión sonora (nivel sonoro).  $L_p$ , SPL

Varía a lo largo del tiempo. Se expresa por  $L_A$  cuando se mide en decibelios A, que es lo habitual en estudios medioambientales. Para un determinado periodo de tiempo T, se pueden determinar entre otros los valores  $L_{Amax}$ , el máximo valor de nivel de presión sonora (SPL) alcanzado durante todo el intervalo de estudio, y  $L_{Amin}$ , el mínimo valor. Representan el ruido de mayor y menor intensidad y no aportan información sobre su duración ni sobre la exposición total al ruido. Su expresión matemática es la definida en la ecuación (1).

- Nivel de presión sonora continuo equivalente.  $L_{Aeq}(T)$

Expresa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo, es decir, representa el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente percibido, durante el mismo intervalo de tiempo. El nivel de presión sonora equivalente debe ir



acompañado siempre de la indicación del período de tiempo al que se refiere. Se expresa  $L_{Aeq}(T)$  o  $L_{Aeq.T}$  que indica la utilización de la red de ponderación A, y su formulación matemática es:

$$L_{AeqT} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int p_A^2(t) / p_0^2 dt \right] dB \quad (ISO 1996 - 1: 2005) \quad (10)$$

donde:

T = tiempo de duración de la medición

P = presión sonora instantánea ponderada A durante el funcionamiento de la fuente, t, en Pa

$P_0$  = presión acústica de referencia = 20  $\mu$ Pa

### Adición de niveles de presión sonora (suma logarítmica)

Para operar con decibelios debe tenerse en cuenta que su escala es logarítmica y por lo tanto, las sumas, restas y promedios logarítmicos difieren con respecto a las operaciones aritméticas elementales. De esta forma, las sumas logarítmicas se realizan del siguiente modo:

$$L_{pA,Total} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pA,i}}{10}} dB \quad (ISO 1996 - 2: 2007) \quad (11)$$

Donde

$L_{pA,i}$  son los niveles de presión sonora generados por cada fuente. Del mismo modo, se aplicaría para suma de niveles de potencia sonora,  $L_W$ .

## 2.2. El ruido urbano

El ruido urbano, también denominado ruido ambiental, ruido residencial o ruido doméstico, se define como el ruido emitido por todas las fuentes a excepción de las áreas industriales. Las fuentes principales de ruido urbano son tráfico rodado, ferroviario y aéreo, la construcción y obras públicas y el vecindario. Las principales fuentes de ruido en interiores son los sistemas de ventilación, máquinas de oficina, artefactos domésticos y vecinos (Berglund, Lindvall y Schwela, 1999).

En cambio, otras fuentes bibliográficas incluyen el ruido de la industria e introducen el ruido por actividades de ocio. De forma que, según estimaciones internacionales, el ruido en ambientes urbanos es generado por las siguientes fuentes (OSMAN, 2002):

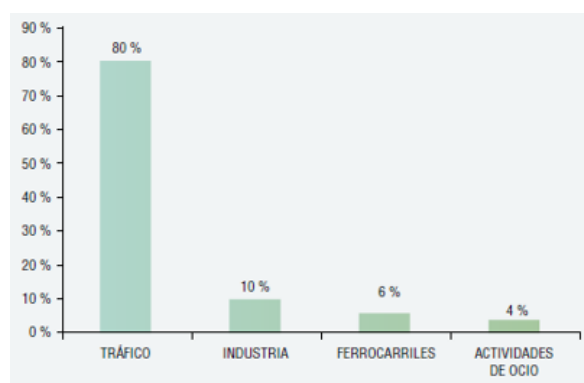


Figura 12. Principales fuentes de ruido (Fuente: OSMAN, J. de Andalucía, 2002)

El ruido tiene un impacto importante en la salud de las personas, especialmente en las ciudades. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (Babisch, 2010) el riesgo para la salud a medio plazo causado por el ruido es muy superior a los del tabaquismo pasivo y la contaminación de aire por ozono y partículas, temas que reciben mucha mayor atención por las administraciones públicas y los medios de comunicación. Como la contaminación del aire, procede en gran medida del tráfico rodado (80% de la exposición al ruido en entornos urbanos). Por tanto, medidas para su control reducirían de manera importante estos factores de riesgo, a la vez que aumentarían la calidad de vida y la salud de los ciudadanos (Martínez y Peters, 2013).

La recomendación de la OMS como objetivo final de valores límite durante el periodo nocturno es de 40 dBA, con unos objetivos intermedios (hasta su establecimiento final) de 55 dBA. Estos valores se seleccionaron debido a los efectos en la salud que empiezan a producirse a partir de 30 dBA, se incrementan significativamente a partir de 40 dBA y pueden empezar a producir efectos en el sistema cardiovascular a partir de 55 dBA. En España todavía estamos muy lejos de estos objetivos, y lo que es peor, la actual política urbanística y de transporte no muestra mucha voluntad de cambiarlo (Martínez y Peters, 2013).

La definición de indicadores de ruido permite la realización de mapas de ruido urbano, los cuales se definen según la Directiva 2002/49/CE como “la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica”.

A continuación, se describen las principales fuentes de ruido urbano:

### 2.2.1. El ruido del tráfico

En el ambiente urbano de las ciudades el ruido por tráfico, particularmente el creado por el transporte automotor, se constituye como una de las principales fuentes de contaminación acústica. Dentro del ruido urbano originado por vehículos automotores hay una superposición de tres tipos de ruido diferenciados: el ruido de propulsión (el motor, la transmisión y el sistema de escape asociado), el ruido de rodadura entre las cubiertas y la calzada y el ruido aerodinámico (Martínez, 2005). Esto lleva a la definición de indicadores descriptivos de ruido sobre transporte urbano, que se basan en datos como la intensidad del tráfico, la velocidad de los automóviles, la proporción de vehículos pesados y el tipo de calzada entre otros factores, así como en las molestias que el ruido por tráfico urbano puede ocasionar en las personas (Banegas et al., 2016).

En este sentido, el ruido del tráfico rodado es el más relevante en cuanto a número de personas expuestas. En la Unión Europea alrededor del 40% de la población está expuesta al ruido por tráfico con un nivel equivalente de presión sonora que excede 55 dBA, y el 20% está expuesta a más de 65 dBA. Por la noche, más de un 30% de la población estaría expuesta a niveles superiores a 55 dB(A), sufriendo trastornos del sueño (Morales, 2009).

### 2.2.2. El ruido de la industria

La industria crea serios problemas de ruido tanto en el exterior como el interior. En ambientes industriales el ruido es producido por la maquinaria y generalmente aumenta con la potencia de las máquinas. Este ruido puede contener predominantemente bajas o altas frecuencias, componentes tonales, ser impulsivo o tener patrones temporales desagradables y disruptivos (Berghlund y Lindvall, 1995). Los mecanismos rotantes y alternantes generan sonido que incluye diferentes componentes tonales y los sistemas de acondicionamiento y flujos tienden también a generar ruido con un amplio rango de frecuencias. Los niveles altos de presión son causados por componentes o corrientes de gas que se mueve a alta velocidad (por ejemplo ventiladores, válvulas de alivio de presión) o por operaciones que incluyen impactos mecánicos, por ejemplo estampación, remaches, frenada (OSMAN, 2002).

### 2.2.3. El ruido de las obras de construcción y servicios

La construcción y los trabajos de excavación pueden causar emisiones considerables de ruido. Una variedad de sonidos proceden de grúas, hormigoneras, soldaduras, martilleo, perforadoras y otros procesos. Los servicios municipales como la limpieza de calles y recogida de basuras pueden también causar un ruido

considerable, sobre todo si se lleva a cabo a determinadas horas. Los sistemas de aire acondicionado y ventilación, bombas de calor, sistemas de tuberías, ascensores, etc. pueden comprometer el ambiente acústico interior y perturbar los vecinos (Berglund y Lindvall, 1995).

#### 2.2.4. El ruido de actividades domésticas y de ocio

Dentro de lo que se conoce como ruido residencial o comunitario, aquel que procede del entorno cotidiano, tiene una especial relevancia las el ruido generado por actividades recreativas o de ocio, dadas las molestias que se generan a la vecindad. De esta forma, en una clasificación más detallada de las fuentes de ruido incluiría también la actividad en los espacios públicos (restaurantes, bares, terrazas, discotecas, aglomeraciones, parques, aparcamientos...), así como la actividad dentro de los hogares y oficinas (electrodomésticos, máquinas, instrumentos y aparatos musicales, animales, voces, festejos...). Debido al creciente desarrollo urbanístico y tecnológico, unido al incremento de la población, la contaminación acústica en el entorno residencial es un problema en constante aumento, que excede el alcance de las medidas de protección existentes, y que con seguridad afectará a las generaciones venideras (Banegas et al., 2016).

Debido al buen clima característico de la mayoría de ciudades mediterráneas y teniendo en cuenta la gran cantidad de locales de ocio que existen (bares, restaurantes, tabernas, etc.), es habitual que estos locales ocupen parte de la vía pública con mesas y sillas donde poder tomar consumiciones al aire libre, lo que tradicionalmente se conoce como terrazas y veladores (Aragüez y Jiménez, 2016). A su vez, la Ley Antitabaco propició un mayor desarrollo de estas terrazas. Por un lado, esto implica como es evidente, una carga acústica adicional en la vía pública que suele llevar a quejas, en muchos casos fundadas, de los vecinos que residen en las inmediaciones, y por otro lado estas actividades también generan un alto beneficio económico a la ciudad y una imagen atractiva para el turismo (Aragüez y Jiménez, 2016).

En relación al control del ruido de las actividades recreativas o de ocio, incluidas las terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento, así como para el acondicionamiento de locales es necesario conocer el **nivel de conversación** de las personas. Por lo que, partiendo del cuadro del “Manual de acústica ambiental y arquitectónica” (Avilés y Perera, 2017) se diferencian los niveles sonoros según el esfuerzo vocal que hacen hombres y mujeres en una conversación (véase Tabla 2). Los trabajos realizados en este campo muestran que los niveles de presión sonora (ponderados en A) en espacios abiertos, recibidos a 1 m de distancia de la boca del orador y en diferentes situaciones de esfuerzo vocal creciente oscilan entre 53dBA y 88dBA en el caso de los hombres, y entre 50dBA y 82dBA para mujeres.

Niveles sonoros a 1 m (dBA)					
Esfuerzo vocal	Relajado	Normal	Elevado	Alto	A gritos
Hombres	53	58	65	75	88
Mujeres	50	55	62	71	82

Tabla 2. Cuadro de niveles sonoros y esfuerzo vocal (Fuente: Avilés y Perera, 2017)

Por último, una vez descritas las distintas fuentes de ruido urbano, se puede decir que cada ciudad tiene un paisaje sonoro particular, el cual puede definirse como “El paisaje sonoro es la manifestación acústica de “lugar”, en donde los sonidos dan a los habitantes un sentido de lugar, y la cualidad acústica del lugar está conformada por las actividades y comportamientos de los habitantes. (...) Por lo tanto, el medio ambiente sonoro (o paisaje sonoro), que es la suma de la totalidad de sonidos dentro de un área definida, es un reflejo íntimo de -entre otros- las condiciones sociales, políticas, tecnológicas y naturales del área” (Westerkamp, 2015).

### 2.3. Marco normativo de la investigación

Los primeros que desarrollaron ordenanzas contra el ruido fueron los Ayuntamientos. En el ejercicio de la competencia municipal de protección del medio ambiente urbano (artículo 25.2.b de la Ley 7/1985, reguladora de las Bases del Régimen Local), que incluye protección contra la contaminación acústica, los Ayuntamientos en su carácter de entes de gestión más próximos a los ciudadanos, fueron procediendo durante la década de 1990 al establecimiento de medidas de prevención y corrección de las molestias por ruidos a través de las Ordenanzas Municipales (algunas más antiguas como las de Córdoba, Cádiz o Almería datan de 1972, 1975 y 1980, respectivamente), fijando niveles máximos permitidos de emisión e inmisión, control de vibraciones, condiciones de aislamientos, condiciones de instalación, etc. (Defensor del Pueblo Andaluz, 1996). Posteriormente, algunas Comunidades Autónomas promulgaron leyes para que sirvieran de marco general. Finalmente, el Gobierno se vio obligado a unificar una legislación caótica siguiendo además directivas de la Unión Europea (Martínez y Peters, 2013). Actualmente, la legislación se encuentra suficientemente armonizada entre la legislación estatal y la autonómica, estando ambas adaptadas a la Directiva Europea 2002/49/CE.

#### Normativa europea

La referencia más general a nivel europeo en términos de contaminación acústica es el V Programa de Acción en relación con el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible (aprobado el 18 de marzo de 1992 por la Comisión Europea) que pone límites al crecimiento de la contaminación acústica y acepta como buenos niveles que puedan resultar tolerables. En este sentido, la Comisión Europea desarrolla un programa para la reducción del ruido dentro del cual se engloba el Libro Verde sobre

“Política Futura de Lucha contra el Ruido” (1996). Con posterioridad, el VI Programa Comunitario de Acción en materia de Medio Ambiente establece las directrices de la política ambiental europea para el periodo 2001-2010, marcando como uno de los objetivos la reducción del número de personas expuestas de manera regular y prolongada a niveles sonoros elevados. En este marco se aprueba la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, que considera el ruido como un problema ambiental de primer orden que necesita, para su prevención y erradicación, métodos armonizados de medida, estimación y valoración.

### **Normativa estatal**

La transposición de la Directiva al marco jurídico español tiene lugar mediante la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, que regula la contaminación acústica en un sentido más amplio que la propia Directiva, ya que además de establecer los parámetros y las medidas para la evaluación y gestión del ruido ambiental, considera el ruido y las vibraciones en el espacio interior de determinadas edificaciones. Asimismo, dota de mayor cohesión a la ordenación de la contaminación acústica a través del establecimiento de los instrumentos necesarios para la mejora de la calidad acústica de nuestro entorno.

### **Normativa autonómica**

En el marco autonómico, la Comunidad Autónoma de Andalucía ha regulado la contaminación acústica mediante normativa específica al respecto, que se inicia con la ya derogada Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental y el Reglamento de Calidad del Aire, aprobado mediante el Decreto 74/1996, de 20 de febrero, en el que se regulaba por primera vez el campo de la contaminación acústica. Dicha normativa, fue desarrollada por el Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la contaminación acústica en Andalucía, entre cuyos hitos figura el desarrollo de un modelo tipo de ordenanza municipal contra la contaminación acústica, que pretende regular la protección del medio ambiente urbano frente a los ruidos y vibraciones que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas o bienes de cualquier naturaleza; así como, dotar a los ayuntamientos de un instrumento para poder afrontar los problemas de la contaminación acústica en sus respectivos municipios.

La promulgación de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de gestión Integrada de la Calidad Ambiental, constituye el actual marco legal de referencia para el desarrollo de la calidad ambiental en la Comunidad Autónoma de Andalucía. En materia de contaminación acústica, esta Ley, establece una regulación que, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, establece el marco legal

para la elaboración de mapas de ruido y planes de acción, incorpora la posibilidad de designar servidumbres acústicas y establece el régimen aplicable en aquellas zonas acústicas en las que no se cumplan los objetivos de calidad exigidos.

Por último, el Decreto 6/2012 de 17 de enero, aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, que tiene por objeto el desarrollo del Título IV, Capítulo II, Sección 4.<sup>a</sup>, de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, la regulación de la calidad del medio ambiente atmosférico para prevenir, vigilar y corregir las situaciones de contaminación acústica por ruidos y vibraciones, para proteger la salud de los ciudadanos y ciudadanas, el derecho a su intimidad y mejorar la calidad del medio ambiente.

Posteriormente, tal y como adelantaba el borrador de revisión del Reglamento (D. 6/2012) de fecha 06/02/2020, se introducen cambios normativos en relación al ruido en terrazas por medio del Decreto-ley 14/2020, de 27 de mayo, por el que se establecen con carácter extraordinario y urgente medidas para la reactivación del sector de la hostelería, restauración, ocio y esparcimiento. En este sentido, dicho Decreto modifica el apartado 2 de los artículos 11 (terrazas en establecimientos de hostelería) y 12 (terrazas en establecimientos de ocio y esparcimiento) de Decreto 155/2018, de 31 de julio, por el que se aprueba el Catálogo de Espectáculos Públicos, Actividades Recreativas y Establecimientos Públicos de Andalucía, quedando del siguiente modo:

*«2. Las terrazas y veladores se ubicarán, de conformidad con la normativa de protección acústica, preferentemente en áreas no declaradas zonas acústicas especiales y que además sean sectores con predominio de suelo de uso recreativo, de espectáculos, característico turístico o de otro uso terciario no previsto en el anterior, e industrial. La instalación de terrazas y veladores en zonas acústicas especiales y en sectores del territorio distintos a los anteriores deberá estar motivada en el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior del artículo 27 del Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, aprobado mediante Decreto 6/2012, de 17 de enero. La evaluación de su cumplimiento quedará justificada en un estudio acústico mediante la aplicación de la metodología de cálculo que se desarrolle por la Consejería competente en materia de contaminación acústica.»*

En este sentido, el Decreto-ley 15/2020, de 9 de junio, modifica en la disposición final tercera, el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, aprobado por Decreto 6/2012, de 17 de enero, añadiendo una nueva Instrucción Técnica IT8 al Reglamento «IT.8. Metodología para la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las edificaciones próximas a terrazas y veladores, previa al inicio de la actividad», cuyo contenido

establece las directrices aplicables para la evaluación previa al inicio de la actividad del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las edificaciones próximas a establecimientos de hostelería, ocio y esparcimiento provistos de terrazas y veladores. De esta forma, se define un procedimiento de evaluación basado en tres etapas: 1) Estudio predictivo de los niveles de inmisión de ruido en la fachada receptora de edificaciones, derivados de la instalación de una terraza y veladores, 2) Estimación de los niveles de inmisión de ruido en el interior de edificaciones, 3) Evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior.

En dicha metodología se contempla la realización de un análisis acústico para determinar los niveles de inmisión de ruido en la fachada o fachadas receptoras más expuestas, para lo que se tendrá en cuenta el número y ubicación de los veladores, considerando cada velador como una fuente puntual de emisión sonora debida al ruido generado por las conversaciones de las personas que lo ocupan. En el cálculo de la potencia acústica de cada velador se considerará como caso más desfavorable cuando hablen la mitad de las personas respecto a la capacidad establecida para el mismo, tomándose como potencia acústica de una persona 73 dBA (se fija dicho valor tomando como referencia la norma VDI 3770 Characteristic noise emission values of sound sources-Facilities for sporting and recreational activities). Para el cálculo de la atenuación del nivel de ruido desde el punto de generación hasta la fachada receptora, establece que se calculará para cada velador teniendo en cuenta, como mínimo, la directividad y la distancia desde el mismo hasta la fachada receptora a la altura del recinto potencialmente más afectado.

Esto último, introduce un cambio significativo al exigirse la redacción de un estudio acústico predictivo con carácter previo a la instalación de terrazas en la vía pública, en el que se justifique el cumplimiento de los valores límite de ruido exigidos, lo que podría considerarse una autentica primicia reglamentaria en nuestro país.

### **Normativa municipal**

Las Ordenanzas municipales de **protección contra la contaminación acústica**, competencia de los Ayuntamientos, tienen por objeto regular la actuación de los ciudadanos y de la Administración local para la protección del medio ambiente contra las perturbaciones producidas por ruidos y vibraciones. En ellas se recogen aspectos básicos como:

- Establecimiento de niveles admisibles por ruidos y vibraciones.
- Normas de medición y valoración de ruidos y vibraciones.



- Prescripciones técnicas que deben observar los proyectos de actividades e instalaciones productoras de ruidos y vibraciones y la elaboración del Estudio Acústico.
- Procedimiento de declaración y efectos que se derivan del establecimiento de un régimen especial para zonas acústicamente saturadas.
- Criterios de actuación para el control de actividades singulares tales como:
  - Vehículos a motor
  - Sistemas sonoros de alarmas, actividades de ocio, espectáculos recreativos y de asociacionismo
  - Trabajos en la vía pública y en las edificaciones
  - Ruidos producidos por actividades comunitarias que pudieran causar molestia
- Establecimiento de normas de control y disciplina acústica:
  - Licencias municipales
  - Vigilancia e inspección
  - Medidas cautelares
  - Infracciones y sanciones

En el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía, analizada la normativa municipal de las capitales de provincia y otros municipios, cabe destacar que por lo general las ordenanzas municipales de protección contra la contaminación acústica vigentes son anteriores al Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía aprobado en 2012 y, por tanto, no están armonizadas con la legislación autonómica.

Por lo general, en las ordenanzas municipales de ruido no se regulan actividades al aire libre o en zonas de dominio público, como es el caso de las terrazas de establecimientos de hostelería, que deberían incluirse como emisor acústico, aunque normalmente sí establecen una serie condiciones generales a tener en cuenta a la hora de conceder tales licencias. En cambio, estas ordenanzas suelen establecer una regulación especial respecto a determinados tipos de actividades recreativas o de espectáculos (bares, restaurantes, pubs, discotecas etc.), como es el caso de la ordenanza de Almería (B.O.P. de Almería nº 218 de 16 de Noviembre de 1994), que define características técnicas que deben reunir los distintos locales, como por ejemplo la instalación de doble puerta en discotecas, regulándose estos en función de las características de los mismos. De esta forma, se establecen condicionantes en relación a dichas actividades, generadoras de ruidos y de molestias a la vecindad, con el fin de que se contribuya a la reducción de la contaminación acústica.

Por otro lado, resulta necesario disponer de una regulación adecuada en materia de **instalación y uso de terrazas en la vía pública** que haga compatible su uso con la

normal convivencia ciudadana; es por ello que los Ayuntamientos desarrollan ordenanzas específicas para la instalación y uso de terrazas. En este sentido, en relación al control y reducción del ruido generado por las mismas, comúnmente, las ordenanzas municipales establecen escasas medidas para limitar las emisiones de ruido a los recintos habitables más próximo, basándose estas en prohibiciones de equipos de reproducción sonora y limitaciones de horario, entre otras prohibiciones de carácter general. Por ejemplo, según la ordenanza de terrazas de Almería (B.O.P núm. 22 de 3 de febrero de 2010), se establece como prohibición que *“El funcionamiento de estas instalaciones reguladas no podrá transmitir al medio ambiente exterior e interior de las viviendas y otros usos residenciales o de cualquier otro tipo, niveles de ruido superiores a los máximos establecidos en la normativa ambiental vigente”*, pero no se establece ninguna metodología que permita justificar el cumplimiento de los mismos. Asimismo, se prohíbe la instalación de equipos de reproducción sonora y la realización de actuaciones en directo.

De forma que los puntos referentes a la calidad acústica o control y reducción del ruido no han sido una prioridad en el desarrollo de estas ordenanzas, las cuales, por lo general, se centran en regular condiciones especiales, principalmente, aspectos estéticos y técnicos que deben reunir este tipo de instalaciones. De estos aspectos o requisitos cabe destacar: espacios susceptibles de autorización, regulación de elementos de delimitación y cobertura, características del mobiliario, horarios, criterios de ocupación, capacidad de las terrazas y modulo tipo de velador, normalmente compuesto por una mesa y cuatro sillas, etc.

No obstante lo anterior, tras la publicación del Decreto 6/2012, de 17 de enero, para garantizar su correcta aplicación y fomentar su entendimiento, la Junta de Andalucía llevó a cabo una importante campaña de difusión, concienciación y formación, que incluye una Guía Técnica de Aplicación del Decreto 6/2012, Guía de contaminación acústica, la cual fue publicada en 2012 con el objetivo de facilitar la comprensión del Reglamento, aclarando las dudas de interpretación que puedan surgir de su articulado e incluyendo ejemplos prácticos. De este modo, dicha Guía ya introducía, en su apartado 11 de recomendaciones para una ordenanza municipal de ruido, la problemática existente con el ruido en terrazas contemplando un subapartado destinado al Ruido de terrazas y veladores. Se parte de que este tipo de actividades se ubican en zonas urbanas con predominio de uso residencial y los niveles que generan son, en casi la totalidad de los casos, lo suficientemente elevados como para incumplir con los límites establecidos para estas áreas de sensibilidad acústica, considerando dichas actividades como normales y necesarias en los países con climatología como la española. Es por ello, que para permitir su existencia la citada Guía recoge procedimientos que se han venido utilizando para facilitar su instalación e introduce la posibilidad de adaptar el procedimiento de valoración proponiendo una solución

de medición a 1,5 m de la fachada del edificio de viviendas más próximo. Estos procedimientos se resumen a continuación:

1. Dado que se ha definido un área de sensibilidad acústica de uso turístico, con límites de los niveles sonoros más altos, se recomienda que la instalación de las terrazas se realice preferentemente en dichas áreas.
2. Modificar los periodos día, tarde y noche, siempre que se haga en cumplimiento de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, prestando especial atención a la actividad de la ciudad en verano, con mayor presencia en el exterior.
3. Requisitos de limitación de aforo y superficie, estableciendo por ejemplo límites que guarden una relación con la actividad principal, como no superar el 50 % del aforo del establecimiento. Esta limitación la enfoca la Junta de Andalucía en que en el exterior no existe posibilidad de aislar los ruidos generados y que se podría conseguir una reducción de 3 dBA en los niveles de emisión.
4. Establecimiento de exigencias y limitaciones al mobiliario y menaje de las terrazas, como: horario de montaje/desmontaje, materiales para el mobiliario que impidan ruidos por impactos, prohibiéndose por ejemplo la utilización de mobiliario metálico. Asimismo, se recomienda la prohibición de elementos de reproducción sonora, televisores y maquinaria en el exterior.
5. Por último, se propone un procedimiento de determinación de los puntos de medición, situando estos a 1,5m de la fachada correspondiente al edificio de viviendas más próximo a la terraza o al velador y en todo caso, en los edificios de los que procedan posibles denuncias, en lugar de situarlos a 1,5m de los límites de la terraza. Esto último, va en línea con la metodología de la IT-8 que introducen el Decreto 6/2012 en su modificación de junio de 2020.

Asimismo, cabe destacar que la propia Guía introduce una propuesta de redacción de un artículo de Terrazas y Veladores para su inclusión en las ordenanzas municipales.

A pesar de la introducción de dichas recomendaciones para futura ordenanzas municipales, hasta la fecha no se han introducido procedimientos ni metodologías para controlar el cumplimiento de niveles permitidos de ruido, adoptándose básicamente algunas de las medidas generales, que se han indicado anteriormente, como prohibición de equipos de reproducción sonora y reducción de horarios, basadas en planes de acción y cambios normativos.

## 2.4. El ruido en terrazas de establecimientos de hostelería

En este apartado entramos en el nivel inferior de la revisión bibliográfica de este trabajo de investigación. Aunque en apartado de legislación ya se introduce la problemática existente en cuanto al ruido procedente de las terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento, se procede a la revisión de las contribuciones realizadas por otros autores. En este sentido, se trata de un tema del que no se han realizado muchos estudios hasta la fecha, existiendo únicamente algunas referencias específicas en el marco de trabajos científicos o académicos.

Como ya se introdujo en el primer punto del ESTADO DEL ARTE, el ruido por actividades de ocio ocasiona grandes molestias a la vecindad. Según datos estadísticos, García (2015) indica que *“Un 20 % de los españoles sufre un nivel de ruido que puede dañar su salud. El problema se agrava durante las épocas en las que el calor hace presencia invitando a los ciudadanos a pasar más tiempo en las calles y hasta horas más elevadas, unido al gran número de personas que duermen con las ventanas abiertas. Esto se ve afectado en buena parte por las terrazas de los bares, que por ejemplo en Huesca ha supuesto un aumento del 70 % en las denuncias hacia estos establecimientos durante el año 2014 con respecto al curso anterior, o en Nerja, que ante el aumento de denuncias vecinales por las molestias ocasionadas por los ruidos, el Ayuntamiento decidió retirar las terrazas de los bares de copas en octubre de 2014”* (García, 2015).

Por su parte en la Ciudad de Almería, en junio de 2018, la Asociación de Vecinos Alborán, que abarca la zona de ocio nocturno de la ciudad y en la que existen numerosos establecimientos de hostelería, requiere al Ayuntamiento de Almería la reducción de horarios de apertura de las terrazas de los bares. Dicha solicitud se hizo pública a raíz de la sentencia del Tribunal Superior de Justicia de Andalucía (TSJA) por la que condena al Ayuntamiento de Almería a pagar la factura del terapeuta a un vecino aquejado por los ruidos que achaca a la terraza de un local de copas. Los vecinos denuncian que se incumple el horario de cierre establecido para zona acústicamente saturada (Revilla – Diario de Almería, 2018).

En este sentido, cabe indicar que el Defensor del Pueblo Andaluz ya consideraba por 1996, en el Informe Especial al Parlamento sobre *“Contaminación acústica en Andalucía derivada de las actividades recreativas y consumo de bebidas en la vía pública”*, la y potestad y necesidad de los Ayuntamientos de regular las licencias de veladores en sus respectivas ordenanzas, estableciendo horarios específicos y requisitos rigurosos para su concesión, siendo pioneros en la materia los Ayuntamientos de Sevilla y Cádiz.

Según García (2015) resulta necesario estudiar los problemas que puede ocasionar el ruido de ocio en relación con terrazas y veladores. Fundamentalmente su

estudio se basa en la creación de una base de datos de ruidos de terrazas y la definición de una metodología para la estimación de la potencia que emiten. En dicha base de datos se refleja el nivel de potencia acústica que emiten las terrazas, así como otros valores que ayuden a elaborar mapas de ruido o planificar la ubicación de las terrazas sabiendo el nivel de potencia acústica que pueden emitir. Por otro lado respecto a la estimación del nivel de potencia acústica, dado que las terrazas no tienen por qué tener la misma respuesta en cuanto al nivel de potencia acústica, se estudia el nivel de potencia acústica que genera cada mesa de media o que se radia en función del número de clientes, llegando a la conclusión de que las terrazas suelen tener un nivel estable de potencia acústica de entre 76 y 78 dBA. El procedimiento seguido para llegar a esa conclusión final, se basa en la realización de mediciones de nivel de presión en cuatro terrazas y para cada una se establecen diferentes escenarios, diferenciando distintos instantes, distribución de mesas concreta, número de clientes variable de clientes, etc., por lo que se decide medir en continuo en cada terraza y procesar los datos posteriormente. A partir de los de los datos de cada escenario se realizan distintos modelos de simulación mediante el software CadnaA y con un cálculo inverso se determina el nivel de potencia acústica que produce cada mesa, y finalmente se obtienen valores de potencia del conjunto de la terraza para cada escenario a partir de los valores de los niveles de potencia acústica de cada una de las terrazas ocupadas. Entre las conclusiones del estudio cabe destacar las siguientes:

- Nivel de potencia acústica según número de mesas y clientes:

Los dos factores que más influyen en el nivel de potencia acústica total de la terraza son el número de mesas y el número de clientes. Los resultados, representados gráficamente, reflejan como dicho nivel aumentan con el aforo.

- Estabilidad del nivel de potencia acústica:

Gracias a la realización de mediciones en continuo de duración suficiente y a pesar de que se trata de terrazas distintas con distintos niveles de potencia acústica, se tiene que la desviación típica no es muy grande: 1,6 dBA, 1,1 dBA y 1,6 dBA en las tres primeras terrazas. No obstante, en la cuarta se tiene que hay más desviación 3,5 dBA, concluyendo se debe a una variación muy elevada del número de clientes (entre 5 y 21) y del número de mesas (entre 2 y 7), y también se indica que es probable que la desviación típica superior al resto tenga también una relación directa con el % de ocupación de todo el periodo de medición, a menor % de ocupación mayor desviación típica.

- Nivel promedio de potencia acústica:

El nivel promedio de tres de las cuatro terrazas que se estudian es de 76,7 dBA, 76,9 dBA y 76,9 dBA, mientras para la terraza restante es de 82,6 dBA, concluyéndose dicha diferencia se debe a nivel de ruido de fondo superior respecto al resto de terrazas. Por lo que se llega a la conclusión final, anteriormente citada, de que el nivel promedio de potencia acústica de una terraza en condiciones similares a las medidas tendrá un valor aproximado de entre 76 dBA y 78 dBA.

Por último, cabe indicar que el módulo BPL del software CadnaA, empleado para llegar al resultado final, permite calcular el valor de la potencia acústica de cada mesa o velador en función del nivel de presión sonora en continuo medido por los sonómetros que se disponen de forma perimetral a la terraza, empleando dicho módulo la metodología de atenuación de la ya citada ISO 9613-2:1996. De forma que dicho módulo asigna valores de nivel de potencia acústica por mesa de 50 y 64 dBA. De lo anterior, se puede observar como la metodología seguida es parecida a la que introduce la Junta de Andalucía según la metodología de la ya citada nueva IT.8 del Decreto 6/2012, en la que se establece que para el cálculo de la potencia acústica de cada velador se considerará como caso más desfavorable cuando hablen la mitad de las personas respecto a la capacidad establecida para el mismo, tomando como potencia acústica de una persona 73 dBA. De forma que si el velador tipo tiene un aforo de 4 personas, le corresponde un nivel de potencia de 76 dBA.

Seguidamente, cabe mencionar el trabajo de investigación realizado por Yáñez (2018), en el que dentro del ámbito de uso y disfrute de terrazas en la vía pública, realiza un análisis acústico de las terrazas de Barcelona e introduce propuestas que contribuyan a la calidad acústica interior de estas, así como soluciones que aporten a la reducción de ruido en el contexto urbano en el que se encuentran. En esa línea, el objetivo principal de dicho trabajo es lograr que las personas puedan llevar a cabo conversaciones inteligibles sin hacer mayor esfuerzo y que los elementos conformadores de las terrazas sean un aporte a la reducción de ruido de la ciudad.

En este sentido, la metodología que propuesta por Yáñez (2018), es realizar un análisis cuantitativo y cualitativo, de los tipos de terrazas más representativas, para lo previamente se realiza un estudio para que permite clasificar la tipología de las terrazas en función su morfología y estructura (es decir, basado en los elementos que la conforman), y se seleccionan 10 casos de estudio.

De las distintas fases seguidas según la metodología propuesta, cabe destacar los siguientes aspectos y resultados obtenidos:

- **Procedimiento de medición.** A las diez terrazas seleccionadas para el estudio se les hace un análisis cuantitativo que consiste en una serie de mediciones de intensidad de ruido que permiten evaluar si los elementos que las conforman son capaces de controlar la reverberación del espacio para evitar el enmascaramiento de las posibles conversaciones y/o aislar el ruido externo. El método de medición (inteligibilidad e intensidad sonora) propuesto consiste en seleccionar un audio de conversación (que parte de niveles de conversación de la Tabla 2) para reproducirlo y grabarlo en todas las terrazas tanto dentro como fuera (para lo que llama terraza real ocupada a la medición en el interior de la terraza y terraza simulada al exterior para comparar elementos aislantes) a un volumen y nivel de intensidad constante de 65 dBA. De esta forma, se realizan dos tipos de registros:
  - El primero (tanto en interior como en exterior de la terraza), empleando una grabadora para determinar las fuentes sonoras y la inteligibilidad de la conversación. Dicha grabadora se encarga de reproducir y grabar el audio de conversación, como se ha dicho, fijando un nivel promedio de intensidad sonora de 65 dBA.
  - El segundo (tanto en interior como en exterior de la terraza), implica una medición mediante el uso de un sonómetro para comparar los niveles de intensidad promedio entre lo que ocurre dentro y fuera de la terraza.
- **Análisis de datos de inteligibilidad.** Para verificar si el ambiente en la terraza permite tener una conversación adecuada, sin tener que alzar demasiado la voz o que se pierda el contenido de las frases, se decide contabilizar los segundos en los que el mensaje se ha opacado completamente debido a la superación del volumen del ruido de fondo sobre el volumen constante del audio reproducido. De ello, se obtiene que en las terrazas donde solo existe un toldo como barrera acústica, el tiempo de pérdida de contenido de la conversación es superior al tiempo de pérdida en el exterior (medición terraza simulada). Lo que se concluye que puede deberse a que a pesar de que el ruido urbano de fondo es el mismo, al estar la terraza ocupada aparecen nuevos factores que aumentan los niveles de ruido y a su vez no existen superficies absorbentes que cambien el campo reverberante, al contrario, la mayoría de superficies son reflectivas propias de la composición de la calle, de las fachadas y del mobiliario de la terraza.
- **Análisis de datos de intensidad sonora.** Con el fin de comprobar si las barreras o filtros sonoros existentes están mejorando la condición acústica de las terrazas, se evalúa la diferencia de intensidad sonora entre la terraza simulada (exterior de la terraza) y la real ocupada (interior de la terraza). Los resultados

obtenidos en este aspecto reflejan que a grandes rasgos se observa que la terraza tipo F es la que más filtra el sonido del exterior al interior, logrando reducir hasta 6 dBA. El tipo F lo denomina "Doble protección y vegetación, el cual define como terraza dos elementos sólidos; por un lado, elemento a media altura que funciona como maceta de la vegetación que estaría en la parte superior, y un segundo elemento externo que llega hasta 1.5 metros de altura, por lo general semipermeable (entramados de madera, mallas o cercas), también dispone de sombrillas de lona. Asimismo, se indica que dicha terraza además cuenta con cojines absorbentes y vegetación colgante que ayudan a absorber y difractar el sonido. Por otro lado, se indica que la segunda terraza que más aísla es la tipo H, con reducción de más de 3 dBA. Cabe destacar que esta última terraza está conformada por una envolvente textil o plástica ("toldo enrollable") que cubre la terraza de piso a techo en 2 o 3 de sus caras y está conectada directamente a la cubierta.

De este último análisis de nivel de intensidad sonora, resultan interesante, que según la tabla comparativa de resultados de medición, se puede comprobar que los niveles de presión sonora obtenidos se encuentran en el rango 58-69 dBA, lo cual resulta ser proporcional al porcentaje de ocupación asociado, que refleja dicha tabla.

Respecto a las conclusiones cabe resaltar lo siguiente:

- Los resultados muestran que la investigación desarrollada permite identificar la sensación acústica en las terrazas y evaluar hasta qué punto se ha tenido en cuenta la calidad acústica en el interior de las mismas.
- Respecto a la evaluación de si los elementos que conforman la terraza son capaces de aislar el ruido exterior, la autora muestra nuevamente interés por el estudio del confort interior, reflejando en la siguiente figura como tema a resolver el estudio las barreras sonoras para protección frente al ruido urbano. Asimismo, tal y como indica la autora, se ha iniciado un análisis que da pautas de las relaciones que hay entre la calle, la terraza y la vivienda vecina, existiendo una gran preocupación por reducir los niveles de ruido en el interior de las viviendas, lo que no es objeto directo de dicho trabajo de investigación, indicándose que dicho tema ha sido manejado con aislamientos en fachada a través del Código Técnico de la Edificación, y en cambio, la calidad acústica en espacios semi abiertos (como las terrazas) no han sido mencionados ni controlados en ningún momento.



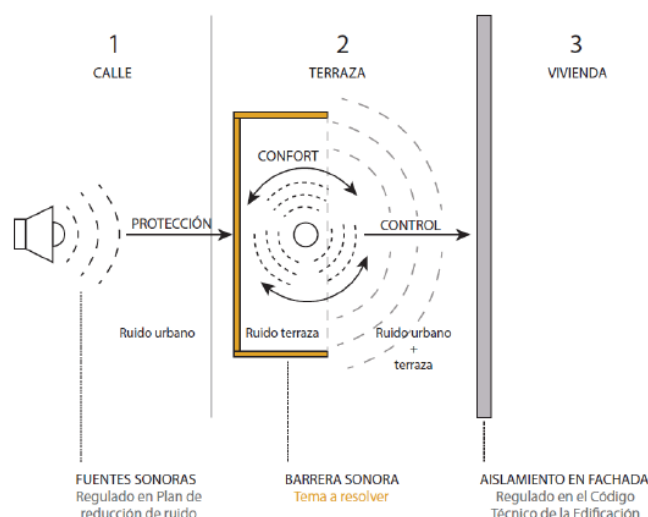


Figura 13. Diagrama del funcionamiento y de las relaciones acústicas que tiene una terraza (Fuente: Yáñez, 2018).

- En relación a la convivencia vecinal se concluye, que es cierto que con el paso del tiempo la tendencia es tratar de reducir el ruido urbano, lo cual han podido comprobar comparando las mediciones realizadas con el mapa de ruido anterior (aprobado 6 años antes), lo que lleva a que para conseguir lo anterior el ruido de las terrazas también debe ser controlado. Por el contrario, establece que si en una calle donde el ruido promedio es de 75 dB(A), las personas deberán hablar a un nivel de intensidad de al menos 80-85dB(A) para ser entendidos, lo cual llegaría a ser una conversación casi a gritos. Por lo que insta a que las autoridades a considerar e incluir aspectos acústicos en futuras ordenanzas como medida de acción a la reducción de ruido de la ciudad y confort acústico urbano.
- Se concluye también, que al no ser la calidad acústica un requerimiento para la obtención de licencias de terrazas (cosa que, como hemos visto en el apartado 2.3 de este TFM ha cambiado, por lo menos en Andalucía), los proveedores (la industria) no se han visto en la necesidad de proponer nuevos productos con prestaciones aislantes y absorbentes. Por lo que, gracias al desarrollo de esta investigación se han logrado determinar pautas y peculiaridades a tener en cuenta en el desarrollo de las barreras sonoras, las cuales buscan mejorar la calidad acústica de las terrazas garantizando la inteligibilidad y reduciendo la intensidad de ruido en el interior de ellas. Es por tanto, por lo que se incluye una propuesta de especificaciones de diseño que podrían incluirse en los requisitos de la Ordenanza de terrazas de la ciudad de Barcelona. En la siguiente figura queda reflejada dicha propuesta con la que se concluye dicha investigación:



Figura 14. Propuesta de terraza básica para una calle ruidosa y en ubicación de esquina (Fuente: Yáñez, 2018).

Otro estudio en la materia es el de Galiano (2019), según el estudio acústico realizado sobre Contaminación acústica en zonas recreativas y ocio en la ciudad de Albacete. Dicho estudio parte de un diagnóstico de contaminación acústica de la ciudad de Albacete realizado en 2010, registrándose zonas donde se produce una contaminación acústica debido a actividades recreativas y de ocio que normalmente son generados por bares y restaurantes con terrazas o veladores en el exterior, así como casetas que disponen de zona de cocina, almacén y superficies de uso público. Asimismo, se parte de que los mapas estratégicos de ruido se pueden realizar mediante un software de predicción acústica que contenga los modelos de cálculo establecidos en el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental. Por lo que trata de componer las afecciones originadas por el tráfico rodado, la industria y, en su caso, por los ferrocarriles y aeropuertos pero no pueden modelizar las afecciones originadas por otras fuentes de ruido urbanas. Por ejemplo el ruido que las distintas actividades transmiten al exterior, el de las terrazas, el del público paseando por la vía pública, los servicios de recogida de residuos urbanos, etc..., indicándose que resulta normal que se produzcan divergencias entre los resultados representados y los medidos al considerar estas últimas fuentes que se enuncian. En este sentido, se pretende analizar las diferencias en una zona en la que existen estas actividades y no se contempla en el MER existente, y por tanto dicho análisis permita determinar una zona singular de ruido en la que se superan los niveles admisibles, para la que proponer un adecuado Plan de Acción.

En cuanto a la metodología, se basa en la realización de un estudio preoperacional, realizando un análisis de la actividad en la zona y llevando a cabo los siguientes pasos: ubicación de los focos de ruido, descripción de los focos de ruido, determinación de horario y puntos de medida, programación de mediciones en horario de tarde y noche con un tiempo de muestreo de 15 minutos por punto. De los

resultados, cabe destacar que se obtiene un nivel sonoro equivalente de tarde (Le) para terrazas de 65,5 dBA para un máximo de 65 dBA, y un nivel sonoro equivalente de noche (Ln) de 65,3 dBA para un máximo de 55 dBA. De las conclusiones obtenidas se puede extraer lo siguiente:

- Se comprueba que los índices acústicos que ofrece el Mapa de ruido de la ciudad se ven alterados por las mediciones realizadas.
- Para este tipo de actividades se debería realizar un mapa singular de ruido y definir un plan de acción, ya que el grado de molestia en la zona supera los objetivos de calidad acústica en el exterior e interior del área acústica.
- De las mediciones realizadas en espacios protegidos (vivienda) se ha podido comprobar la afección a los vecinos de la zona, ya que se sobrepasan los límites marcados como objetivos de calidad en el interior de viviendas, provocado por el total de los focos de ruido en el exterior.

Como medidas correctoras, se hace propuestas genéricas como derivar el tránsito de vehículos en horario de noche, limitar aforos en terrazas, interponer vestíbulos a la entrada de los locales, mantener cerradas las ventanas de los locales y utilizar limitadores para equipos de reproducción sonora. Respecto al mobiliario de exterior, se propone evitar el contacto rígido de sillas y mesas con el suelo, y disponer de cubiertas cerradas y laterales en las zonas de terrazas destinadas al uso público.

También resulta relevante el artículo de Badino, Manca, Shtrepia, Callerib y Astolfia (2019), que tiene por objeto investigar sobre la contribución de diferentes diseños de fachadas para reducir el ruido de ocio, tanto en el nivel de presión sonora en la propia fachada como en la fachada opuesta en una calle “encajonada” (“canyon street”), lo que se conoce como calles que lindan con edificios a ambos lados, término que se podría considerar de aplicación para una calle estrecha. De este modo, se tiene que en calles estrechas los niveles de ruido se ven reforzados por los reflejos sonoros repetitivos que se dan en las superficies circundantes, y principalmente en fachadas. Por lo tanto, se entiende que el diseño de la fachada, si se concibe correctamente, puede promover el confort acústico en entornos urbanos.

En concreto, dicho estudio pretende evaluar la variación del nivel de presión sonora en ambas fachadas de una calle con edificios a ambos lados, teniendo en cuenta las diferentes formas de los balcones y opciones de revestimiento, que no alteran las características principales del diseño de la fachada original. Y en segundo lugar, se pretende comparar la eficacia lograda con las mejores soluciones. Para ello, las opciones de diseño se aplican a una fachada objeto del caso de estudio ubicada en el centro de Turín.

De esta forma, la metodología se basa en modelar y calibrar virtualmente sobre las mediciones in situ llevadas a cabo, para reproducir la forma y atenuaciones acústicas del entorno real. Las prestaciones acústicas de las alternativas de diseño propuestas han sido analizadas considerando el nivel de ruido medio para receptores exteriores sobre la fachada del caso de estudio y en la opuesta. En cuanto a los resultados, destaca el efecto de apantallamiento proporcionado por los balcones y los beneficios de la aplicación de material fonoabsorbente en la reducción del ruido sobre la fachada. Se ha logrado una disminución de hasta 1 dB en el nivel medio en toda la fachada con balcones de profundidad de 1,5 m frente a 0,9 m, con una reducción máxima de 2,8 dB en el piso más alto. Cuando toda la fachada está revestida con material fonoabsorbente, la disminución media del nivel de ruido es de hasta 10 dB sobre la fachada principal y hasta 3 dB sobre la opuesta. Estas reducciones son muy superiores a las obtenidas aumentando las propiedades de absorción del pavimento de la calle, que se limita a 1,5 dB en promedio, subrayando así el papel crucial de diseño de fachadas en mitigación de ruido exterior.

Por último, como se ha dicho anteriormente, la preocupación por la acústica en las terrazas puede considerarse casi nula. No obstante, a pesar de que hasta la fecha no había exigencias normativas para establecer un control predictivo, la problemática es evidente y la industria avanza en este sentido. Por lo que, cabe hacer especial mención al artículo de Aragüez y Jiménez (2017), en el cual se realiza una propuesta para minimizar los impactos acústicos generados por las terrazas de hostelería. En el citado artículo se plantea la problemática existente en Málaga, donde frecuentemente se originan aglomeraciones en las terrazas de hostelería que suponen un importante incremento del nivel sonoro que llega a las viviendas adyacentes. Es por lo que se inician campañas de concienciación y sensibilización ciudadana, así como la instalación de semáforos acústicos que se iluminan en color rojo al superar los niveles permitidos, de las que se concluye que no son suficientes para reducir los niveles acústicos en vía pública.

Por tanto, se plantea como solución posible el uso de un sistema apantallamiento mediante barrera acústica que reduzca los niveles de inmisión en las viviendas. Dicha solución consiste en disponer, como techo de la terraza, una estructura formada por paneles sándwich absorbentes. Estos se montarán formando una estructura abisagrada tipo acordeón de forma que, cuando no se usa, pueda ser plegada y recogida en la fachada del establecimiento (se trata de un sistema patentado: Aragüez del Corral, I. 'Sistema de apantallamiento horizontal plegable para veladores o terrazas'. Número de publicación: ES 1150583 Y. Boletín Oficial de la Propiedad Industrial Tomo II: Invenciones de 09 de mayo de 2016.)

Para calcular la eficacia de la barrera, Aragüez y Jiménez (2017) emplean dos métodos independientes, el Método de la Altura Efectiva y el Método Maekewa

(Rejano, 2000; García, 2006), quedándose con el resultado más desfavorable, que sería el siguiente:

- Se obtiene una reducción acústica de: 20 dB (vivienda superior) y 9 dB (vivienda de enfrente).
- Niveles finales de inmisión en vivienda: 69,5 dB (sin barrera) y 46,6 dB (con barrera) en la vivienda superior. En la vivienda de enfrente 58,88 dB (sin barrera) y 50,86 dB (con barrera).

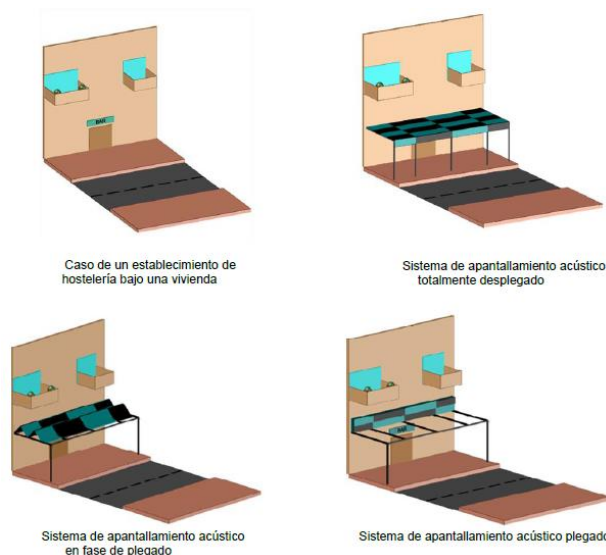


Figura 15. Modelización de la propuesta de sistema de apantallamiento (Fuente: Aragüez y Jiménez, 2017).

Destaca también el desarrollo de una serie de nuevos sistemas alternativos de recogida de la pantalla, lo que permite una mejor incorporación de este nuevo elemento en el entorno urbano de las ciudades, de forma que quede perfectamente armonizado con el estilo arquitectónico. Estos sistemas también están patentados: Aragüez del Corral, I. 'Toldo acústico para actividades hosteleras o de ocio realizadas al aire libre'. Número de publicación: ES 1188408 U. Boletín Oficial de la Propiedad Industrial Tomo II: Invenciones de 24 de julio de 2017.

Como conclusiones de la citada propuesta innovadora, cabe destacar que la adopción de dicha solución permite el cumplir con los niveles exigidos, consiguiendo una reducción acústica que permite en gran medida reducir las molestias ocasionadas a los vecinos. Estructura plegada, basada en paneles sándwich existentes en el mercado cuyo precio puede ser perfectamente asumible por los hosteleros. Se trata de elementos livianos y por tanto no requieren estructura portante pesada ni realización de zapatas para transición de esfuerzos.

Un ejemplo de estas instalaciones que propone Aragüez podemos verlo en la terraza del Gran Café en el Hotel Ibis de Málaga. Se trata de un proyecto desarrollado por su empresa a principios de 2018, I+DB Acoustic Soluciones Urbanas, que tiene por

objeto reducir los niveles de ruido de la terraza mediante la instalación de una pérgola acústica plegable con paneles aislantes tipo sánwich de 5 cm, obteniéndose resultados favorables con una reducción de entre 14 dBA (sin cierres laterales) y 16 dBA (con cierres laterales), y que cuenta con la aprobación del Ayuntamiento de Málaga.



Figura 16. Instalación de toldo fonoabsorbente, Hotel Ibis de Málaga (Fuente: Sau, 2018 - [laopiniondemálaga.es](http://laopiniondemálaga.es))



Figura 17. Ejemplo toldo fonoabsorbente patentado (Fuente: I+Db Acoustic Soluciones urbanas)

Asimismo, haciendo una búsqueda entre distintos proveedores del sector de la hostelería, se ha podido comprobar que se están empezado a comercializar sombrillas absorbentes para terrazas de establecimientos de hostelería. Por ejemplo, las sombrillas acústicas ABSORBRELLA, de la firma Media Sonic Soluciones Audiovisuales, aparte de dar sombra incorporan unos elementos absorbentes que apantallan el sonido y consiguen una reducción de entre 3 y 5 decibelios de ruido que llega a las viviendas, contribuyendo también a minimizar la reverberación y por tanto el ruido ([www.mediasonic.es](http://www.mediasonic.es)).



Figura 18. Sombrilla acústica para terrazas de establecimientos de hostelería (Fuente: [mediasonic.es](http://mediasonic.es))

# 3. Objetivos y Metodología

## 3.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo de investigación es desarrollar un modelo que permita realizar un estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido generados en terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento, estableciendo una relación directa entre los distintos parámetros o factores que influyen en el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las viviendas.

El desarrollo de dicho modelo permitirá el alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar tablas de datos o ecuaciones que permitan estimar el aforo máximo permitido de las terrazas con carácter previo al inicio de la actividad, en función de los factores acústicos (factor de atenuación por divergencia geométrica, factor de atenuación por elementos atenuantes y factor de directividad) y de configuración que influyen en los objetivos de calidad acústica.
- Clasificar las tipologías de terrazas en función de su distancia a las fachadas receptoras más desfavorables.
- Establecer criterios para regular el empleo de elementos atenuantes para reducción de niveles de inmisión de ruido en viviendas colindantes.
- Determinar los factores de directividad según los paramentos verticales que puedan afectar a la instalación de terrazas.

## 3.2. Metodología de la investigación

### 3.2.1. Descripción general

Las investigaciones en materia de acústica pueden ser abordadas tanto desde el punto de vista teórico como empírico. Debido a las limitaciones existentes en cuanto a equipos de medición, se ha optado por el desarrollo de un método teórico. No obstante, se ha realizado una comprobación de campo para estudiar la influencia del factor de directividad en la propagación del sonido en exteriores, recogiendo las distintas mediciones y resultados en el acta de ensayo acústico que se incluye en el Anexo nº 2.



### 3.2.2. Descripción específica

Tal y como se ha visto en el apartado de ESTADO DEL ARTE, existen muy pocos estudios relacionados con el control del ruido en terrazas. Por ello, teniendo en cuenta la reciente entrada en vigor de la nueva Instrucción Técnica IT-8 “*Metodología para la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las edificaciones próximas a terrazas y veladores, previa al inicio de la actividad*” del Decreto 6/2012, en esta investigación se parte de la aplicación de dicha metodología.

De esta forma, en primer lugar es necesario realizar un análisis inicial que nos permita establecer una clasificación estándar de las distintas tipologías de terrazas de los establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento, lo que nos permitirá definir el alcance de la modelización propuesta y su aplicación a los distintos casos de estudio que se van a plantear.

Una vez realizado dicho análisis inicial, para el estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido de las terrazas se aplica el modelo propuesto en la norma ISO 9613-2 de propagación sonora entre fuente y receptor, el cual ya se introdujo en el apartado 2.1.3 del ESTADO DEL ARTE, que, según la expresión (4), nos permitirá calcular el nivel de presión sonora producido por cada fuente sonora puntual (mesa) en el exterior de la ventana más desfavorable a partir del nivel de potencia sonora de cada mesa,  $L_{w_{\text{mesa}}}$ . Por tanto, partimos de la siguiente expresión general:

$$L_{p_{\text{mesa}}} = L_{w_{\text{mesa}}} + ID - A_{\text{total}} \text{ (dBA)} \quad (13)$$

Donde

$L_{p, \text{ mesa}}$  = nivel de presión sonora en el exterior de la ventana más desfavorable.

ID = índice de directividad.

$A_{\text{total}}$  = factor de atenuación total.

Seguidamente, se realiza un análisis de los distintos parámetros o factores influyentes en la citada expresión general (13), lo que permite desarrollar y simplificar la ecuación (13) en función de los factores intervinientes, para lo que se adoptan diversos criterios de aplicación de la IT-8 relacionados con el índice de directividad y el factor de atenuación, así como distintas suposiciones de partida que veremos más adelante, como sería la altura de radiación de las fuentes sonoras (personas conversando), altura estándar de suelo a la ventana más desfavorable, nivel de conversación y nivel de presión sonora límite en el exterior de la ventana receptora más desfavorable, entre otros. Esto nos permitirá relacionar parámetros como aforo, número de mesas, distancia a edificaciones, elementos atenuantes, mobiliario, etc., con



el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica establecidos para el interior de las viviendas afectadas.

Posteriormente, según las configuraciones más usuales de terrazas que pueden existir, se podrán obtener las distintas relaciones entre los parámetros o factores que relacionan los objetivos de calidad y emisiones acústicas con la configuración de las terrazas. Dichos datos pueden recogerse en tablas o diagramas, lo que permitirá dicha modelización de los niveles de emisión de ruido de cada terraza y estudiar de forma ágil y sencilla la viabilidad de la implantación de las mismas. Por último, del análisis de todos los datos y métodos establecidos para el cálculo de niveles sonoros, se llegará a la definición de un índice que nos permita conocer el aforo máximo permitido, el cual se denominará «Índice de aforo», en función de los distintos parámetros, tanto de calidad acústica como de configuración de las terrazas.

Para ello, la investigación propuesta se centra las siguientes fases o etapas:

1. Análisis inicial: clasificación y tipologías de terrazas
2. Estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido generados en las terrazas.
  - Potencia acústica de una mesa
  - Análisis del factor de atenuación
  - Análisis del factor de directividad
3. Estimación del nivel de presión sonora resultante en el exterior de la ventana receptora más desfavorable.
4. Estimación de los niveles de inmisión de ruido en el interior de edificaciones.
5. Evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior.
6. Formación de tablas y ecuaciones

### 3.3. Fases y etapas de la investigación

#### 3.3.1. Análisis inicial: clasificación y tipologías de terrazas

Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación resulta necesario conocer las tipologías de terrazas más comunes de los establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento, ya que ello permitirá la definición de algunos parámetros geométricos y acústicos necesarios para formalizar el modelo predictivo teórico. Para ello, se parte de las condiciones de instalación y uso de espacios públicos de terrazas que establece la Ordenanza de terrazas del Ayuntamiento de Almería, lo cual se puede considerar como una clasificación estándar, ya que, como se ha visto en el apartado de ESTADO

DEL ARTE, en el resto de ciudades se emplean tipologías muy similares. Dichas condiciones de configuración regulan aspectos técnicos como:

- Las terrazas podrán ocupar las zonas que confronten con su fachada, salvo justificación de circunstancias singulares o autorización de colindantes.
- Se establecen 3 espacios susceptibles de ocupación: espacios longitudinales (aceras y calles peatonales), espacios centrales (plazas y espacios libres) y zonas de aparcamiento.
- En relación con la capacidad de las terrazas, se establece un número máximo de mesas de 30 ud. y un aforo máximo de 120 personas, con superficie máxima de 120 m<sup>2</sup>.
- Se establece como **tipología estándar**: mesas de 70 cm. en disposición reticular y una ocupación estimada de 4 m<sup>2</sup> por módulo de mesa y sillas (2 x 2 metros).
- La longitud de la franja de terraza no podrá exceder de 20 m en espacios longitudinales.
- Se permiten los siguiente elementos de cobertura:
  - Sombrilla móvil tipo 1: lona acrílica y estructura de aluminio o madera.
  - Sombrilla tipo 2: estructura doble pata con toldo a 1 o 2 aguas de lona acrílica.
  - Marquesina: estructura desmontable, cerrada lateralmente y de cubierta ligera.
- Los elementos de delimitación se clasifican en:
  - Valla móvil de altura máxima de 0,90 m.
  - Catenaria: altura máxima de 0,90 m.
  - Jardineras.
  - Cortavientos: soportes de aluminio y entrepaño de vidrio transparente (fijos a una altura máxima de 1,80 m y móviles de 1,5 m).

Las variaciones de la tipología estándar estarán determinadas por los elementos que las componen (elementos de cobertura y elementos de delimitación), para los cuales se realiza, más adelante, un análisis que permitirá distinguir elementos atenuantes y elementos no atenuantes (véase apartado 3.3.2.2).

Por tanto, se establece una clasificación general que permitirá abordar el estudio objeto de este trabajo de investigación desde **un punto de vista generalista**, de forma que la modelización resultante sea acorde a las distintas configuraciones existentes de terrazas o fácilmente adaptable a cualquiera de ellas. A continuación, se describe dicha clasificación:

- **Según el nivel de protección de la terraza:**
  1. Terrazas sin elementos atenuantes:

2. Terrazas con elementos atenuantes:
  - Sombrillas acústicas
  - Toldos acústicos
- **Según la distancia de la terraza a la fachada (desde el centro geométrico de la primera fila de mesas):**
  1. Terrazas adosadas a fachada.
  2. Terrazas separadas de fachada (con paso libre de mínimo 1,5 metros frente a fachada).

La distancia de la terraza a la fachada, que denominaremos «ds», se mide desde el centro geométrico de la primera fila de mesas a la fachada. De forma que para una tipología estándar en retícula de 2x2 m tenemos que:

- La distancia (ds) de una terraza adosada a la fachada será de 1 metro.
- La distancia (ds) mínima de una terraza separada de fachada será 2,5 m, ya que se establece como obligatorio dejar un paso mínimo libre de 1,5 m para tránsito de personas.

Esta última clasificación por distancia, se realiza porque pueden existir diferencias en el factor de directividad, el cual produce un incremento del nivel de energía sonora debido que la fuente sonora (personas conversando) se encuentra sobre dos planos reflectantes: suelo y fachada. Esto último se analiza en el apartado 3.3.2.3.

Por último, podemos observar en las siguientes fotografías como esta clasificación genérica engloba la totalidad de las tipologías de terraza más comunes anteriormente comentadas. No obstante, cabe realizar las siguientes observaciones:

- Para considerar las sombrillas móviles tipo 1 y las sombrillas tipo 2 (toldos con estructura propia) como elementos atenuantes, estos deberán estar certificados por el fabricante como sombrilla acústica o toldo acústico.
- No se contempla la particularidad relativa al factor de directividad de la última fila de mesas en calles peatonales con un edificio singular no residencial en la fachada opuesta a la del establecimiento, según se indica en el apartado 3.3.2.3 (Véase también la Figura 22).
- Se considera no incluir las marquesinas (Figura 21) dentro de las tipologías de estudio, ya que se trata de un caso muy específico, tal y como se indica en el análisis de elementos atenuantes del apartado 3.3.2.2.



a)

b)

Figura 19. a) Terraza adosada a fachada en espacio longitudinal con elementos de cobertura tipo 1. b) Terraza adosada a fachada en espacio central sin elementos de cobertura y varias filas.



a)

b)

Figura 20. a) Terraza separada de fachada en espacio central con elementos de cobertura tipo 1 y varias filas. b) Terraza separada de fachada en espacio longitudinal con elementos de cobertura tipo 2.



a)

b)

Figura 21. a) Terraza separada de fachada en espacio central sin elementos de cobertura y con varias filas de mesas. b) Terraza separada de fachada con elementos de cobertura tipo Marquesina.



a)

b)

Figura 22. a) Terraza adosada al frente principal de la fachada del establecimiento b) Terraza adosada al frente opuesto de la fachada del establecimiento



Figura 23. Terraza separada de fachada en tarima de aparcamiento en línea con elementos de cobertura tipo 1

### 3.3.2. Estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido generados en las terrazas

En primer lugar, desarrollamos la ecuación (13) sustituyendo en ella los términos de las expresiones (5) y (6):

$$L_{p_{mesa}} = L_w + ID - A_{total} \text{ (dBA)} \quad (13)$$

Sustituyendo términos tenemos que:

$$L_{p_{mesa\ i}} = L_{w_i} + 10 \log(Q_i) - (A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}) \text{ (dBA)} \quad (13.1)$$

Donde

$d$  = distancia desde la fuente al receptor, en metros.

$Q$  = factor de directividad.

$A_{div}$  es el factor de atenuación por divergencia geométrica

$A_{atm}$  es el factor de atenuación por absorción atmosférica

$A_{gr}$  es el factor de atenuación por efecto del suelo

$A_{bar}$  es el factor de atenuación por barreras

$A_{misc}$  es el factor de atenuación por otros efectos no contemplados en los efectos anteriores

Asimismo, sustituyendo la ecuación (7) de Atenuación por divergencia geométrica ( $A_{div}$ ) podemos expresar la ecuación (13.1) en función de la distancia del a fuente al receptor ( $d$ ):

$$L_{p_{mesa\ i}} = L_{w_i} + 10 \log(Q_i) - 20 \log(d_i) - 11 - (A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}) \text{ (dBA)} \quad (13.2)$$

Para la determinación de la distancia desde la fuente al receptor, lo que denominaremos distancia de los rayos sonoros,  $d_i$ , tomaremos como puntos de referencia el centro geométrico de cada mesa y la ventana o puerta del recinto de la



fachada receptora, según establece la IT-8. Para ello, se considera que la emisión sonora, las personas sentadas, se genera a 1,2 metros del suelo y se toma de referencia la altura desde el centro geométrico de la ventana al suelo, que denominaremos distancia vertical,  $d_v$ . En ese sentido, se definen las siguientes distancias, la cuales quedan representadas en la Figura 24:

- $d_i$  = distancia rayos sonoros de la mesa  $i$  a la ventana más desfavorable.
- $d_{gr_i}$  = distancia horizontal de la mesa  $i$  a la cota 0 de la ventana más desfavorable.
- $d_v$  = distancia vertical desde el suelo a la ventana más desfavorable.
- $d_f = 1,20$  m (distancia de la fuente emisora al suelo de 1,20 m).
- $d_h$  = distancia vertical desde una altura de 1,2 m del suelo a la ventana más desfavorable.

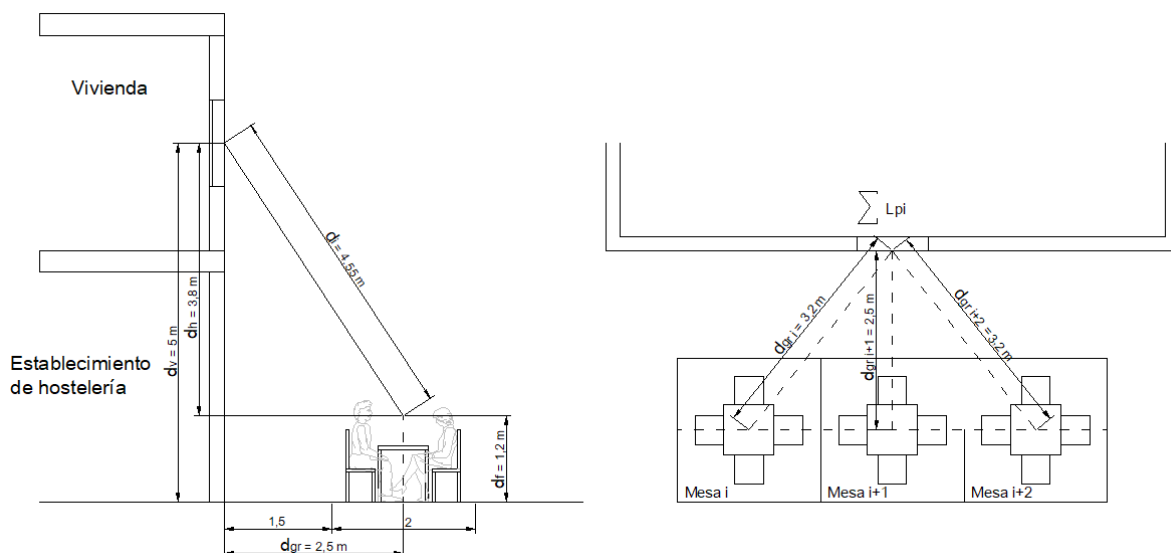


Figura 24. Determinación de la distancia desde la fuente al receptor (Fuente: Elaboración propia).

Por tanto, aplicando el Teorema de Pitágoras podemos determinar la distancia,  $d_r$ , desde cada mesa a la ventana más desfavorable, descomponiendo la expresión (13.2) en función distancias definidas en el gráfico anterior:

$$L_{p_{\text{mesa } i}} = L_{w_i} + 10 \log(Q_i) - 20 \log\left(\sqrt{d_{gr_i}^2 + d_h^2}\right) - 11 - (A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}) \quad (13.3)$$

### 3.3.2.1. Potencia acústica de una mesa ( $L_w$ )

Se parte de que para determinar los niveles de inmisión de ruido en la fachada más expuesta (fachada del establecimiento) se tiene que tener en cuenta el número y ubicación de las distintas mesas, las cuales serán consideradas como una fuente de

emisión sonora puntual debida al ruido de las conversaciones generado por las personas que la ocupan.

Se tomará como potencia acústica de una persona 73 dBA (Norma VDI 33770), valor establecido por la IT-8. Previamente se ha comprobado que el nivel de presión sonora a 1 metro correspondiente a dicho valor de potencia acústica se encuentra en el rango de niveles de presión sonora para conversación de esfuerzo vocal elevado de la Tabla 2 de Avilés y Perera (2017), quienes establecen una escala de esfuerzo vocal de 5 niveles: relajado, normal, elevado y a gritos. Por tanto, dicho valor de potencia acústica por persona se considera adecuado para la actividad de ocio en terrazas. De forma que, el nivel de potencia acústica de cada mesa (fuente sonora puntual), siguiendo lo establecido por la IT-8, resultará ser el correspondiente a cuando hablen la mitad de personas, el cual se obtiene como resultado de la suma logarítmica de potencias acústicas, según la expresión (11):

$$L_{w_{mesa}} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_w}{10}} = 10 \log \sum_{n=1}^2 10^{\frac{73 \text{ dBA}}{10}} = 76 \text{ dBA}$$

### 3.3.2.2. Análisis de los factores de atenuación

Como se indicó anteriormente en el apartado del ESTADO DEL ARTE, los factores de atenuación por absorción atmosférica ( $A_{atm}$ ) y de atenuación debida al suelo ( $A_{gr}$ ) resultan insignificantes para distancias cortas como las del presente trabajo de investigación. En cambio, los factores por barreras o apantallamientos ( $A_{bar}$ ) o por otros efectos ( $A_{misc}$ ) podríamos englobarlos como elementos atenuantes que se pueden instalar en las terrazas con el fin de reducir los niveles de presión sonora en los recintos afectados.

Por tanto, de la expresión (13.4) depreciaremos los factores  $A_{atm}$  y  $A_{gr}$  y obtenemos:

$$L_{p_{mesa\ i}} = L_{w_i} + 10 \log(Q_i) - 20 \log\left(\sqrt{d_{gr_i}^2 + d_h^2}\right) - 11 - (A_{bar} + A_{misc}) \quad (13.4)$$

Por otro lado, como ya hemos visto anteriormente, las variaciones de la tipología estándar de terrazas estarán determinadas por los elementos que las componen, distinguiendo entre elementos de cobertura y elementos de delimitación:

- Elementos de cobertura:
  - Sombrilla móvil tipo 1: lona acrílica y estructura de aluminio o madera.
  - Sombrilla tipo 2: estructura doble pata con toldo a 1 o 2 aguas de lona acrílica.

- Marquesina: estructura desmontable, cerrada lateralmente y de cubierta ligera.
- Elementos de delimitación:
  - Valla móvil de altura máxima de 0,90 m.
  - Catenaria: altura máxima de 0,90 m.
  - Jardineras.
  - Cortavientos: soportes de aluminio y entrepaño de vidrio transparente (fijos a una altura máxima de 1,80 m y móviles de 1,5 m).

De este modo, viendo la clasificación anterior, el único elemento que se consideraría como factor de atenuación por barreras o apantallamientos ( $A_{bar}$ ) sería la marquesina construida con paneles sándwich en cubierta y cerramientos laterales normalmente realizados en paneles acristalados. Se trata de un caso muy específico, que por ejemplo en Almería solo es susceptible de autorización en la zona Paseo Marítimo y Parques de superficie mayor a 1 Ha. Así, también se va a despreciar el término  $A_{bar}$ , ya que al ser un caso específico, se considera que no tiene cabida en el modelo general objeto de esta investigación. En cualquier caso, cabe indicar que con dichas estructuras fijas puede conseguirse una atenuación de entre 16 y 20 dBA tal y como se vio en el apartado del ESTADO DEL ARTE para toldos plegables patentados fabricados con paneles sándwich. Dicho lo anterior, la expresión (13.4) queda finalmente como:

$$L_{p_{mesa\ i}} = L_{wi} + 10 \log(Q_i) - 20 \log\left(\sqrt{d_{gr_i}^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc} \quad (13.5)$$

Por último, del resto de elementos de cobertura o delimitación solo cabría considerar las sombrillas tipo 1 y tipo 2, descartando jardineras y vallados de 0,90 m (altura inferior a la fuente sonora) y en cuenta a los cortavientos tampoco se tendrán en cuenta, ya que aunque los hay de 1,8 metros, estos se encuentran abiertos al frente fachada del establecimiento como se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 25. Elementos tipo cortavientos abiertos al frente fachada.

Finalmente, se concluye que para el presente trabajo de investigación cabe considerar los siguientes elementos atenuantes por otros efectos ( $A_{misc}$ ):



- Sombrillas acústicas (3 dBA)
- Toldos acústicos (3 dBA)

En el Anexo nº 3 se incluye ficha técnica de uno de los fabricantes (sombrrillas acústicas ABSORBRELLA, de la firma Media Sonic Soluciones Audiovisuales) en la que se reflejan los resultados del ensayo acústico realizado de pérdida por inserción de Barreras garantizando, como se ha dicho, una reducción entre 3 y 5 dBA los niveles de ruido generados en terrazas de hostelería. Estos sistemas absorbentes se venden por separado y se pueden incorporar fácilmente a toldos o sombrillas tipo 2.

### 3.3.2.3. *Análisis del factor de directividad*

Para el análisis de la directividad se ha realizado un Ensayo acústico con el objeto de analizar la influencia del factor de directividad según los distintos planos reflectantes de una terraza. Se han empleado los siguientes equipos: sonómetro, generador de ruido rosa y una fuente direccional (amplificador).

El desarrollo de dicho ensayo ha permitido alcanzar los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar la influencia del factor de directividad según la distancia respecto del plano reflectante de fachada.
2. Analizar la influencia del factor de directividad en filas de mesas adosadas a elementos de delimitación tipo cortavientos.

De las mediciones y valoraciones realizadas se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El factor de directividad por dos planos reflectantes ( $Q=4$ ) solo afecta en filas de mesas adosadas a fachada.
- Para una distancia,  $d_s$ , desde el centro geométrico de la primera fila de mesas mayor o igual a 2,5 m, el plano de la fachada no supone un aumento considerable del nivel de emisión sonora, resultando que solo influye el plano reflectante constituido por el suelo, lo que implica un factor de directividad  $Q=2$ .
- El uso de cortavientos a 1,8 m, no tiene un efecto significativo en el factor de directividad, ya que para dicha altura no suponen un aumento importante de la energía sonora.

El procedimiento de medición y la descripción de los ensayos llevados a cabo se indican en el Acta de Ensayo del Anexo nº 2.

Estas conclusiones quedan ilustradas gráficamente en el esquema de la siguiente Figura:

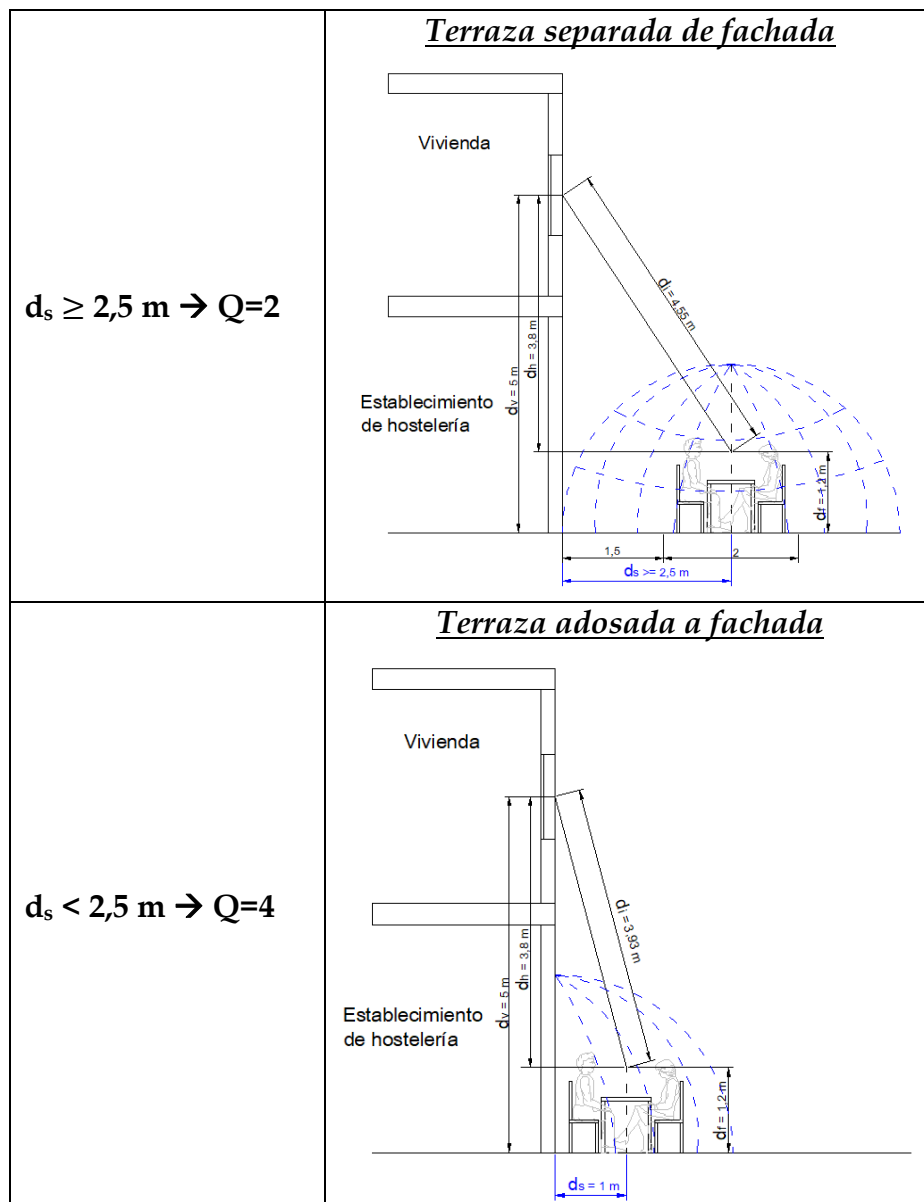


Figura 26. Conclusiones del Ensayo del factor de directividad (Fuente: Elaboración propia).

Por último, cabe comentar la particularidad existente para las calles peatonales con un edificio singular de uso no residencial en la fachada opuesta al establecimiento. Dicha particularidad se excluye del objeto de esta investigación por tratarse de un caso muy específico, lo que queda representado en la siguiente figura:

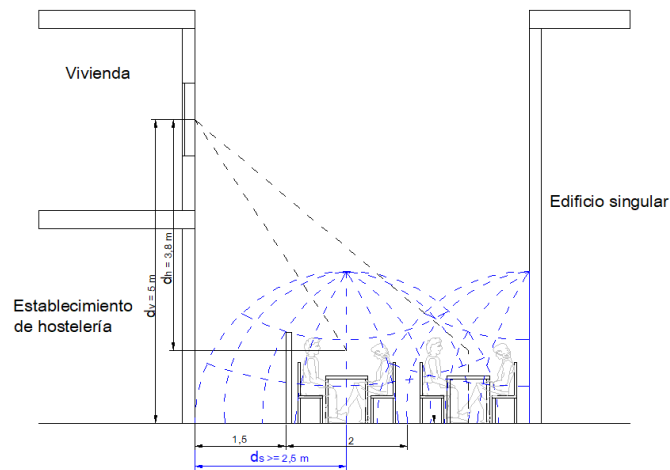


Figura 27. Esquema de caso particular del factor de directividad para calles peatonales (Fuente: Elaboración propia).

Como se puede ver, se trata de una terraza de un establecimiento de hostelería ubicada en una calle peatonal con paso libre de 1,5 m para peatones y adosada a un edificio singular no residencial y, por tanto, a la última fila de mesas se le debería aplicar un factor de directividad  $Q=4$ , al haber dos planos reflectantes a menos de 2,5 m. No obstante, como se ha dicho esta consideración no se va a tener en cuenta en el estudio ya que es un caso muy específico que se da cuando en la fachada opuesta hay un edificio singular sin viviendas ni locales comerciales, que quieran hacer uso de su frente fachada. Este caso queda representado en el ejemplo de la fotografía de la Figura 22.b), donde se puede ver que dicho edificio singular es el Mercado Municipal de Almería; en cambio en la Figura 23.a) podemos ver una tipología de terraza muy parecida en calle peatonal pero con locales comerciales a ambos lados, lo que sería un caso más común.

### 3.3.3. Estimación del nivel de presión sonora resultante en el exterior de la ventana receptora más desfavorable.

Según establece la IT-8, el nivel de presión sonora en la fachada receptora se obtendrá mediante la suma logarítmica de las aportaciones,  $L_{p_i}$ , de cada mesa tras haber aplicado los factores de directividad y atenuación. De este modo, empleando nuevamente la expresión (11) se calcula el nivel de presión sonora resultante como:

$$L_{p_{ext (vent.)}} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{p_{mesa\ i}}}{10}} \quad (14)$$

### 3.3.4. Estimación de los niveles de inmisión de ruido en el interior de edificaciones.

Una vez calculado el nivel de presión sonora resultante en el exterior de la ventana receptora más afectada, se calcula el nivel de inmisión de ruido en el interior

de la vivienda como la diferencia aritmética entre dicho nivel de presión sonora resultante y el aislamiento de la fachada, que se considera de 30 dBA según establece el Código Técnico de la Edificación (Documento Básico HR de Protección frente al ruido). De tal modo, el nivel de inmisión acústica en el espacio interior ( $L_{p_{int}}$ ) será:

$$L_{p_{int}} = L_{p_{ext}} - \text{Aislamiento fachada} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{p_{mesa i}}}{10}} - 30 \text{ (dBA)} \quad (15)$$

### 3.3.5. Evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior.

Por último, según la IT-8, una vez calculados los niveles de ruido en el interior, se considerará que se cumplen los objetivos de calidad acústica en el espacio interior cuando los valores obtenidos no superen en 3 o más dBA los recogidos en la tabla IV del Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, aprobado mediante Decreto 6/2012, de 17 de enero.

Uso del local	Tipo de recinto	Índices de ruido		
		$L_d$	$L_e$	$L_n$
Residencial	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	40	40	40
	Oficinas	45	45	45
Sanitario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Figura 28. Objetivos de calidad acústica para ruidos aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales y administrativos o de oficinas, en dBA (Fuente: Tabla IV del Decreto 6/2012).

Para ello, la IT-8 establece que se calcularán para cada uno de los periodos temporales de evaluación, los índices de ruido diarios  $L_d$  (día),  $L_e$  (tarde) y  $L_n$  (noche) para el régimen normal de funcionamiento previsto más desfavorable de la terraza. A estos efectos se tendrán en cuenta las distintas fases de ocupación durante el periodo de funcionamiento y se obtendrá el valor promedio del periodo de evaluación.

De esta forma, teniendo en cuenta que las limitaciones de horario de las terrazas se establecen en el periodo nocturno, ya que normalmente el horario de cierre de las mismas queda limitado hasta las 2:00, se toma dicha situación como la más desfavorable, considerando una ocupación del 100 %, zona residencial y recintos receptores tipo dormitorio.

De este modo, el valor promedio del periodo de evaluación no puede superar el índice máximo admisible de ruido nocturno, es decir 30 dBA para uso residencial y recinto dormitorio según la Figura 28. Si consideramos además que dicho objetivo de calidad acústica no puede superarse en más de 3 dBA y que el aislamiento de fachada, como se ha indicado, se considera de 30 dBA, **tenemos que el nivel de presión sonora exterior en la ventana más desfavorable no puede ser superior a 63 dBA.**

No obstante, cabe indicar que la metodología de la IT-8 establece directrices que evalúan las terrazas de forma individualizada, no teniendo en consideración el resto de focos acústicos existentes en el espacio exterior o efectos acumulativos por terrazas colindantes, ni su posible influencia en los objetivos de calidad acústica aplicables al área de sensibilidad acústica correspondiente.

### 3.3.6. Formación de tablas y ecuaciones

Finalmente, una vez definido el modelo teórico que representa la configuración de cada tipología de terraza, junto con sus parámetros de emisión acústica y objetivos de calidad, se ha procedido a sumarizar los resultados en forma de tablas y ecuaciones. De este modo, se podrá estimar el aforo máximo que cada configuración permite dentro de los niveles legalmente admisibles.

En primer lugar, a partir de la aplicación estricta de las directrices básicas de la metodología de la IT-8, se establece un **método de cálculo general**, el cual está basado en la contribución acústica de cada mesa de forma individual al cálculo del nivel de presión sonora resultante en la ventana receptora más desfavorable a partir de la suma logarítmica de cada una de dichas contribuciones como se ha podido ver en los apartados anteriores. En dicho método, intervienen un gran número de variables o parámetros si tenemos en cuenta que supone calcular la distancia desde cada emisor (mesa) al receptor, lo cual sería complicado expresar en una ecuación matemática sencilla o que se pueda resolver por iteración

De esta forma, el método de cálculo general admite una simplificación, la cual denominaremos **método de cálculo simplificado**, a partir del cual se definirán ecuaciones que nos permitirán calcular el ya denominado «Índice de aforo». Dicha simplificación consiste en calcular el nivel de potencia sonora en el centro geométrico de cada fila de mesas y su correspondiente nivel de presión sonora en la ventana receptora más desfavorable, con lo que el nivel de presión sonora resultante en la ventana sería la suma logarítmica de las aportaciones de cada fila de mesas.

Esto último sería una situación más restrictiva, en la que la potencia sonora del foco emisor se concentra a una distancia más próxima a la ventana que si estuviera repartida en cada una de las mesas. Por lo que, se aplican **factores de corrección**

basados en el valor real de aforo máximo calculado por el método general, según rayos sonoros de cada mesa.

A continuación, se resumen las consideraciones realizadas relativas al método de cálculo de evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica:

- **Método de cálculo simplificado:** Definición de ecuaciones de aforo máximo según Rayos sonoros por centro geométrico de cada fila de mesas.
  - Ecuación A: Índice de Aforo «Af» para una sola fila de mesas
  - Ecuación B: Índice de Aforo «Af<sub>F</sub>» para varias filas de mesas
- **Método de cálculo general:** Cálculo del aforo máximo según Rayos sonoros por mesa. Nos permite validar las ecuaciones A y B de aforo máximo.

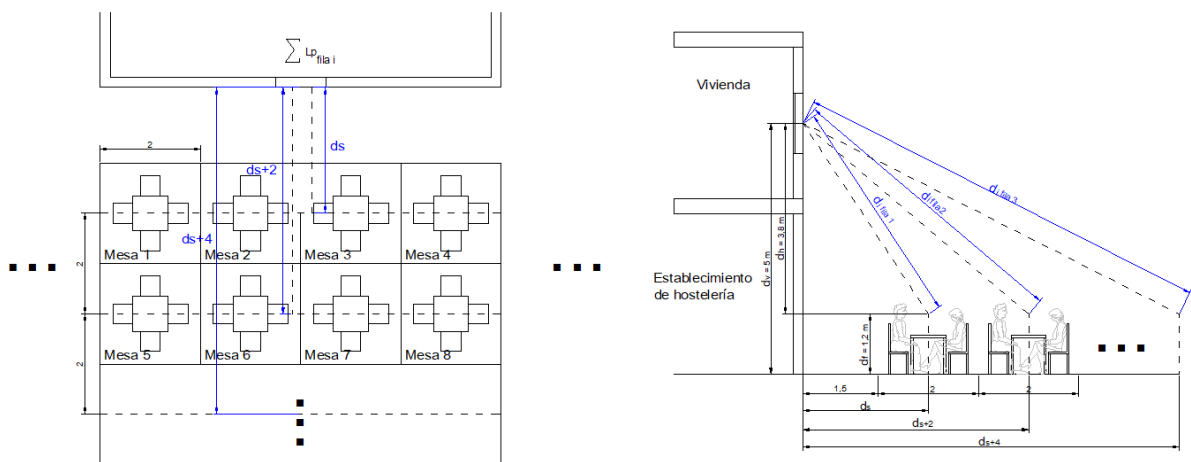


Figura 29. Esquema de evaluación método simplificado (Fuente: Elaboración propia).

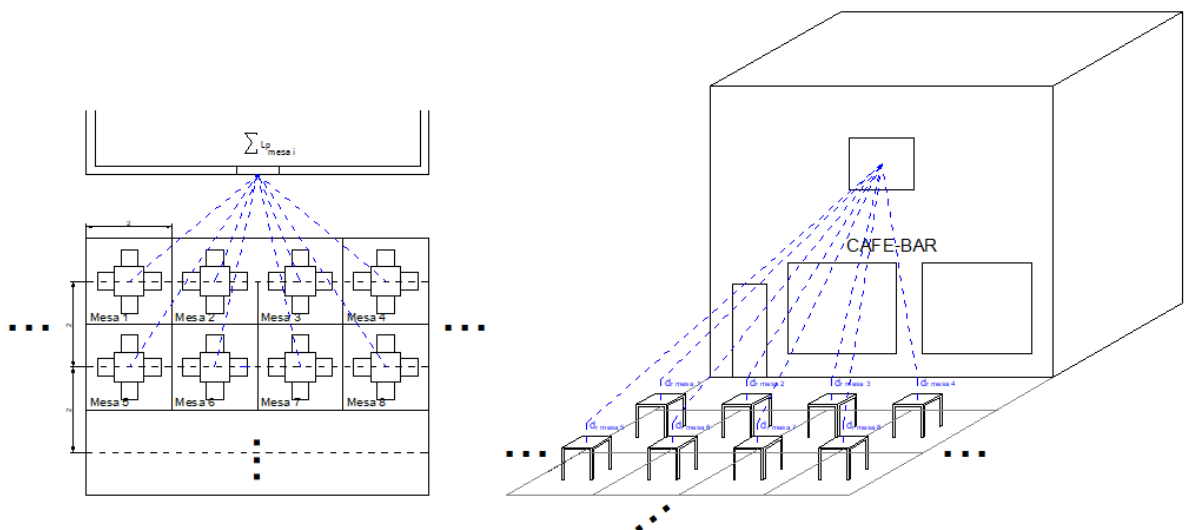


Figura 30. Esquema de evaluación método general (Fuente: Elaboración propia).

De este modo, del resultado de todos los cálculos (véase el Anexo nº 1 de Desarrollo y Cálculos), se obtienen las distintas tablas de máximo aforo o número máximo de mesas en función de la clasificación general establecida en el apartado 3.3.1., y parámetros como distancia de la primera fila de mesas a la fachada ( $d_s$ ), número de mesas por fila y número de filas. Finalmente, se obtienen las siguientes tablas de resultados:

- **Tabla de doble entrada nº 1:** Aforo terraza sin elementos atenuantes
  - 1.1. Total Mesas / Aforo máximo terraza adosada a fachada
  - 1.2. Total Mesas / Aforo terraza separada de la fachada (paso mínimo libre de 1,5 m frente a fachada)
- **Tabla de doble entrada nº 2:** Aforo terraza con elementos atenuantes
  - 2.1. Total Mesas / Aforo máximo terraza adosada a fachada
  - 2.2. Total Mesas / Aforo terraza separada de la fachada (paso mínimo libre de 1,5 m frente a fachada)

Por último, cabe indicar que para modelar los distintos escenarios, según la clasificación de topologías escogida, se contemplan los siguientes aspectos:

- Nº máximo de filas a estudiar: 5
- Distancias a la edificación ( $d_s$ ):
  - Terraza adosada a fachada: 1 m
  - Terraza separada de fachada con paso libre mínimo de 1,5 m: 2,5 m, 3 m, 3,5 m, 4 m y 4,5 m.
- Número máximo de mesas por filas a estudiar: 10 (más de 10 mesas por fila resultarían casos irreales fuera de lo común).

## 4. Resultados

Siguiendo los pasos indicados en el apartado anterior de Objetivos y Metodología, así como teniendo en cuenta tanto el desarrollo y los cálculos del Anexo nº 1 como el *Ensayo acústico de directividad* del Anexo nº 2, se obtienen los siguientes resultados:

### 4.1. Ecuación A: Índice de Aforo «Af» para terrazas de una sola fila de mesas

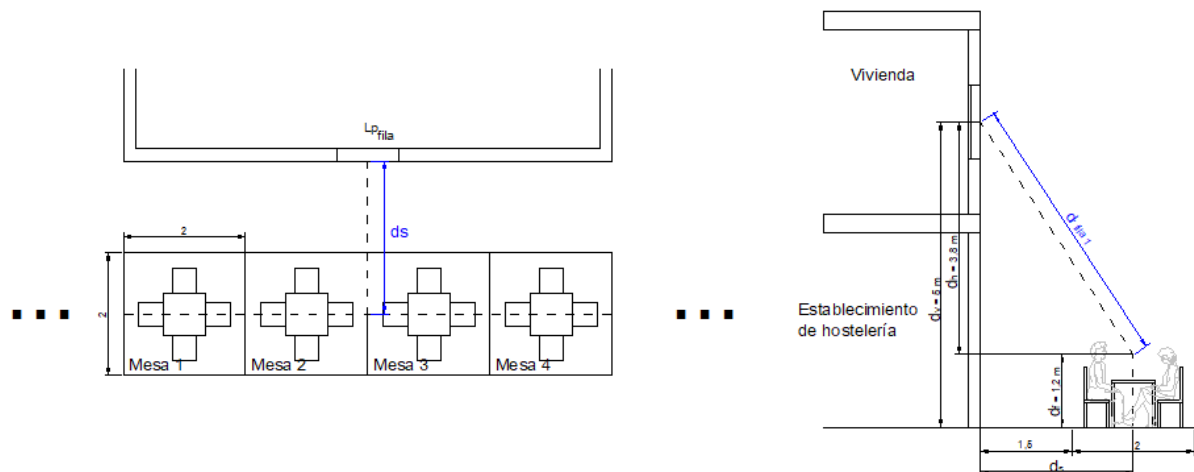


Figura 31. Esquema de aplicación de la ecuación A para terrazas de una sola fila (Fuente: Elaboración propia).

Una vez desarrollada la expresión (13.5), tal y como se ha visto en el subapartado A.1.1.1. del Anexo de cálculos, llegamos a la ecuación del Índice de Aforo «Af» para terrazas de una sola fila de mesas:

$$Af \leq \frac{10 \left( \frac{74 - 10 \cdot \log(Q) + 20 \cdot \log\left(\sqrt{d_s^2 + d_h^2}\right) + A_{misc}}{10} \right)}{9976311,57484441}$$

Donde

Q = factor de directividad

ds = distancia desde el centro geométrico de la fila de mesas a la fachada  
dh = distancia vertical desde una altura de 1,2 m del suelo a la ventana más desfavorable.

A<sub>misc</sub> = la atenuación en dBA de elementos atenuantes (sombrrillas o toldos acústicos).



**Factor de corrección por rayos sonoros:**

$$A_{f\text{corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{A_f}{4} \right) + K_1 \right] \cdot 4$$

Donde

- $K_1$  = factor de corrección para terrazas de una fila de mesas
- $E \left( \frac{A_f}{4} \right)$  = entero inferior de  $\left( \frac{A_f}{4} \right)$

Factor de corrección $K_1$ (Ecuación A)		
SIN elementos atenuantes	Distancia (ds)	$K_{1(SE)}$
	1 m	0
	$\geq 2,5$ m	4
CON elementos atenuantes	Distancia (ds)	$K_{1(CE)}$
	1 - 4,5 m	6

Tabla 3. Factor de corrección  $K_1$  - Ecuación A (Fuente: Elaboración propia).

**4.2. Ecuación B: Índice de Aforo « $A_{fF}$ » para terrazas de varias filas de mesas**

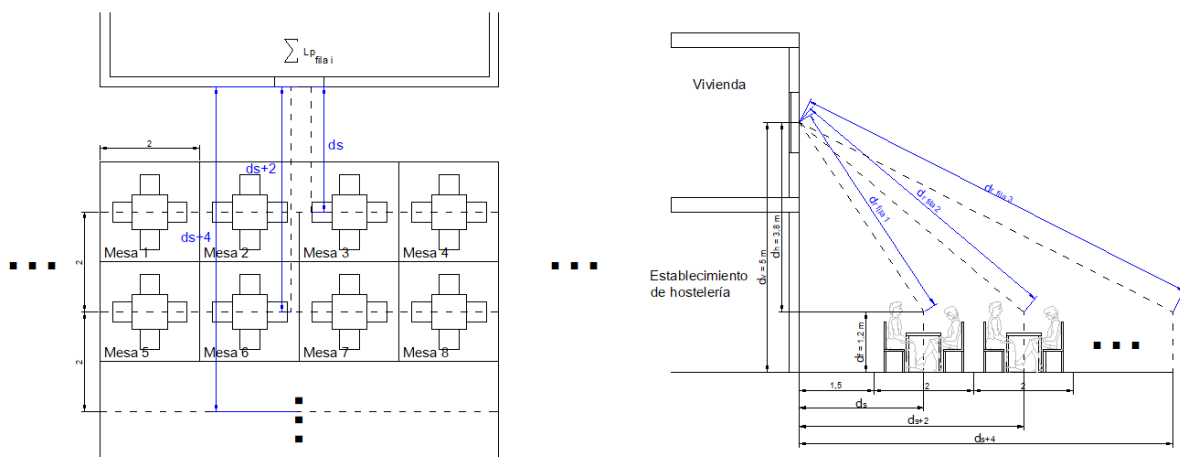


Figura 32. Esquema de aplicación de la ecuación B para terrazas de varias filas (Fuente: Elaboración propia).

Una vez desarrollada la expresión (13.5), tal y como se ha visto en el subapartado A.1.1.2. del Anexo nº 1 de cálculos, llegamos a la ecuación del Índice de Aforo « $A_{fF}$ » para terrazas de varias filas de mesas:

$$\frac{\sum_i^F 10 \cdot \log \left( \frac{N_{M\text{fila}} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}} \right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log \left( \sqrt{D_i^2 + d_h^2} \right) - 11 - A_{misc}}{31670,8303963314} \leq 63 \text{ dBA}$$

Donde

- F = número de filas de mesas.
- $N_{M\text{fila}}$  = número de mesas por fila.

$Q_i$  = factor de directividad de la fila  $i$ .

$d_h$  = distancia vertical desde una altura de 1,2 m del suelo a la ventana más desfavorable.

$d_s$  = distancia desde el centro geométrico de la primera fila de mesas a la fachada.

$D_i$  = factor de corrección de distancia a la edificación para la fila  $i$ .

- $D_1 = d_s$
- $D_2 = d_s + 2$
- $D_3 = d_s + 4$
- $D_4 = d_s + 6$
- ...

Para resolver fijamos un número de mesas por fila ( $N_{Mfila}$ ) y las filas ( $F$ ) a analizar e iteramos hasta que la suma logarítmica de las aportaciones (niveles de presión sonora en fachada) de cada fila sea menor que 63 dBA, lo que nos permitirá comprobar si dicha configuración es admisible o no. Por último, se calcula el aforo:

$$Af_F = N_{Mfila} \cdot F \cdot 4$$

**Factor de corrección por rayos sonoros:**

$$Af_{F\text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{Af_F}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F$$

Donde

$K_F$  = factor de corrección para terrazas de varias filas de mesas

$E \left( \frac{Af_F}{F \cdot 4} \right)$  = entero inferior de  $\left( \frac{Af_F}{F \cdot 4} \right)$

Para  $F=2$

Distancia (ds)	$K_F$
[1, 2,5) m	0
[2,5, 3,5] m	2
(3,5, 4,5] m	4

Tabla 4. Factor de corrección  $K_F$  (fila 2) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia).

Para  $F=3$

Distancia (ds)	$K_F$
[1, 2,5) m	0
[2,5, 3] m	1
(3, 4) m	2
[4, 4,5] m	1

Tabla 5. Factor de corrección  $K_F$  (fila 3) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia).

Para F=4

Distancia (ds)	$K_F$
[1 , 2,5) m	0
[2,5 , 4,5] m	1

Tabla 6. Factor de corrección  $K_F$  (fila 4) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia).

Para F=5

Distancia (ds)	$K_F$
[1 , 3) m	0
[3 , 4,5] m	1

Tabla 7. Factor de corrección  $K_F$  (fila 5) - Ecuación B (Fuente: Elaboración propia).

### 4.3. Tabla de doble entrada nº 1: Aforo terraza sin elementos atenuantes

AFORO TERRAZA SIN ELEMENTOS ATENUANTES

1.1. Aforo terraza adosada a fachada

Cumple acústicamente  
 No cumple acústicamente

Total Mesas / Aforo máximo permitido										
Distancia a la fachada (ds)*	nº mesas x fila nº de filas	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas
2	4 mesas / 16 personas		6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
3	6 mesas / 24 personas		9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
4	8 mesas / 32 personas		12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
5	10 mesas / 40 personas		15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas

1.2. Aforo terraza separada de la fachada (paso mínimo libre de 1,5 m frente a fachada)

Total Mesas / Aforo máximo permitido										
Distancia a la fachada (ds)*	nº mesas x fila nº de filas	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		2,5 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas
2	4 mesas / 16 personas		6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
3	6 mesas / 24 personas		9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
4	8 mesas / 32 personas		12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
5	10 mesas / 40 personas		15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
3 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
3,5 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
4 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
4,5 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas

\* ds = Distancia a la fachada de la primera fila de mesas (m)

Tabla 8. Tabla de doble entrada nº 1: Aforo terraza sin elementos atenuantes (Fuente: Elaboración propia).

### 4.4. Tabla de doble entrada nº 2: Aforo terraza con elementos atenuantes

**AFORO TERRAZA CON ELEMENTOS ATENUANTES (Toldos / sombrillas acústicas de 3 dBA de reducción)**

2.1. Aforo terraza adosada a fachada

	Cumple acústicamente
	No cumple acústicamente
	Cumple con elementos atenuantes (3 dBA de reducción)

Total Mesas / Aforo máximo permitido										
Distancia a la fachada (ds)*	nº de filas	nº mesas x fila								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas

2.2. Aforo terraza separada de la fachada (paso mínimo libre de 1,5 m frente a fachada)

Total Mesas / Aforo máximo permitido										
Distancia a la fachada (ds)*	nº de filas	nº mesas x fila								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,5 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
3 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
3,5 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
4 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas
4,5 m	1	2 mesas / 8 personas	3 mesas / 12 personas	4 mesas / 16 personas	5 mesas / 20 personas	6 mesas / 24 personas	7 mesas / 28 personas	8 mesas / 32 personas	9 mesas / 36 personas	10 mesas / 40 personas
	2	4 mesas / 16 personas	6 mesas / 24 personas	8 mesas / 32 personas	10 mesas / 40 personas	12 mesas / 48 personas	14 mesas / 56 personas	16 mesas / 64 personas	18 mesas / 72 personas	20 mesas / 80 personas
	3	6 mesas / 24 personas	9 mesas / 36 personas	12 mesas / 48 personas	15 mesas / 60 personas	18 mesas / 72 personas	21 mesas / 84 personas	24 mesas / 96 personas	27 mesas / 108 personas	30 mesas / 120 personas
	4	8 mesas / 32 personas	12 mesas / 48 personas	16 mesas / 64 personas	20 mesas / 80 personas	24 mesas / 96 personas	28 mesas / 112 personas	32 mesas / 128 personas	36 mesas / 144 personas	40 mesas / 160 personas
	5	10 mesas / 40 personas	15 mesas / 60 personas	20 mesas / 80 personas	25 mesas / 100 personas	30 mesas / 120 personas	35 mesas / 140 personas	40 mesas / 160 personas	45 mesas / 180 personas	50 mesas / 200 personas

\* ds = Distancia a la fachada de la primera fila de mesas (m)

Tabla 9. Tabla de doble entrada nº 2: Aforo terraza con elementos atenuantes (Fuente: Elaboración propia).

## 5. Discusión

A continuación, se interpretan los resultados obtenidos y se identifican las aportaciones específicas de la investigación realizada.

Los resultados de modelo teórico desarrollado en el Anexo nº 1 se materializan en forma de tablas de doble entrada y ecuaciones de cálculo del índice de aforo. Por un lado, las Tablas 8 y 9 (Tablas de doble entrada nº 1 y nº 2: Aforo terraza sin elementos atenuantes y Aforo terraza sin elementos atenuantes, respectivamente), obtenidas mediante el método de cálculo general, abarcan la totalidad de las tipologías planteadas, permitiendo estimar el aforo máximo permitido en función de los distintos factores de configuración de las terrazas: número de filas de mesas, número de mesas por fila, disposición o no de elementos atenuantes; así como en función de la distancia,  $d_s$ , desde el centro geométrico de la primera fila de mesas a la fachada. Por otro lado, las ecuaciones A (Índice de Aforo «Af» para una sola fila de mesas) y B (Índice de Aforo «Af<sub>N</sub>» para varias filas de mesas), obtenidas a partir del método de cálculo simplificado, permiten modelar cualquier situación en cuanto a número de mesas por fila, así como modificar otros parámetros como la distancia ( $d_h$ ), según la altura de la ventana del primer piso que predomine. Asimismo, dichas ecuaciones permiten calcular el aforo para casos no contemplados en el desarrollo del modelo tabulado, como es el caso de la particularidad comentada en el apartado 3.3.2.3 para las calles peatonales con un edificio singular de uso no residencial en la fachada opuesta al establecimiento, pudiéndose fijar un factor de directividad  $Q=4$  para dicho caso concreto. Por lo que se ha obtenido como resultado un modelo flexible, que puede ser adaptado según la necesidad de establecer mayores restricciones.

Como suponíamos, tras realizar el análisis del factor de directividad,  $Q$ , encontramos diferencias significativas entre terrazas adosadas a fachada ( $d_s = 1$  m) y terrazas separadas de fachada ( $d_s \geq 2,5$  m), ya que a menos de 2,5 metros de la fachada se obtiene que es influyente la consideración de dos planos reflectantes (fachada y suelo) y por tanto  $Q=4$ , al producirse un incremento del nivel de presión sonora considerable debido a la energía reflejada. Por tanto, como se puede ver en la Tabla 8 dicho incremento de nivel de presión sonora supone una limitación importante a la instalación de terrazas adosadas a fachada de máximo 2 mesas. Por ello, según la Tabla 9 para aumentar la capacidad o aforo en dichas configuraciones se requiere el empleo de elementos atenuantes (sombrias y toldos acústicos).

El empleo de elementos atenuantes de 3 dBA en terrazas adosadas limita el número total de mesas a 10 para terrazas de 1 fila, 5 mesas por fila para terrazas de 2

filas y a 3 mesas por fila para terrazas de 3, 4 y 5 filas. En cambio, si se hubiese establecido la atenuación máxima que indica en fabricante de 5 dBA (3-5 dBA), dicha limitación se establecería en 10 mesas por fila para terrazas de 2 y 3 filas, 7 mesas por fila para terrazas de 4 filas y 6 mesas por fila para terrazas de 6 filas. Por el contrario, si suponemos un factor de atenuación por otros elementos ( $A_{\text{misc}}$ ) de 1 dBA para sombrillas o toldos de lonas acrílicas, solo se obtendría un incremento de 1 mesa más por fila en terrazas adosadas que son las más limitadas en cuanto a aforo. Este caso no fue considerado debido a que cabe prever que si una sombrilla acústica atenúa unos 3-5 dBA, las sombrillas o toldos de lona acrílica, sin sistemas fonoabsorbentes, no deben garantizar más de 1 dBA de reducción de niveles sonoros. No obstante, como líneas futuras podrá estudiarse la atenuación de dichos elementos.

Para terrazas de una sola fila, se ha podido comprobar que el aforo queda limitado principalmente por la distancia a la fachada,  $d_s$ , y por las contribuciones sonoras de las mesas centrales, lo que, como se ha comentado en el párrafo anterior, se hace muy restrictivo para terrazas adosadas ( $d_s=1$  m) sin elementos atenuantes. También, se ha podido comprobar que para terrazas separadas de fachada ( $d_s \geq 2,5$  m) las contribuciones acústicas de las mesas que se van añadiendo a los extremos de la fila son cada vez menores, dado que aumenta la distancia a la ventana receptora y tiende a infinito el número de mesas posibles. En concreto, para una distancia de 2,5 m se obtiene un número máximo de 34 mesas, lo que va aumentando al incrementar la distancia. Esto último no ocurre si aplicásemos el método simplificado sin factores de corrección, ya que la potencia acústica de la terraza se concentraría en su centro geométrico, siendo esta la situación más desfavorable. Por ello, al obtenerse valores poco comunes para terrazas de una fila y aplicación del método general, para el modelo de esta investigación se ha fijado un total de 10 mesas por fila; más de eso ya no sería una configuración muy realista.

Para terrazas de varias filas se dan casos en los que, para una misma distancia ( $d_s$ ), el aforo disminuye o se mantiene igual al aumentar en una unidad el número de filas. Por ejemplo, para  $d_s=2,5$  metros y 2 filas se obtiene un aforo máximo de 40 personas y para la misma distancia y 3 filas se obtiene un aforo de 36 personas. Esto es debido a que al añadir una fila y aunque esta esté a una distancia de 2 metros de la anterior, las contribuciones de las mesas centrales son mayores respecto de la ventana más desfavorable, lo que implica un menor número de mesas por fila y por tanto no siempre tiene que obtenerse un aforo superior al incrementar una fila. En cambio, para terrazas con número de filas inferior se pueden añadir más mesas en los extremos, ya que las contribuciones al incremento del nivel de presión sonora en la ventana más desfavorable son casi despreciables, al ser la distancia de los rayos sonoros desde el emisor cada vez mayor en los extremos. Esto va en línea con lo comentado en el párrafo

anterior, aunque en este caso al haber varias filas el aforo queda limitado, mientras que para una sola fila el incremento de mesas tiende a infinito.

En cuanto a la definición de los factores de corrección que permiten ajustar el modelo simplificado (centro geométrico por filas de mesas) al modelo teórico general por rayos sonoros desde cada mesa, se tiene que para la ecuación A se han encontrado diferencias significativas respecto al modelo general, si tenemos en cuenta que la ecuación B se ajusta mejor y los factores de corrección son menores. Por ejemplo, como se comentaba anteriormente, para una sola fila (Ecuación A - método simplificado) y  $d_s=2,5$  m, se obtiene un aforo de 7 mesas, mientras que con el método general el aforo alcanzaría un valor poco realista de 34 mesas, por lo ya comentado anteriormente sobre el efecto de las contribuciones de las mesas externas. En cambio, el hecho de añadir filas, tal y como se ha indicado en el párrafo anterior, hace que dichas diferencias entre método general y simplificado sean más pequeñas. Esto último queda reflejado en las tablas resumen comparativas del Anexo nº 1, por ejemplo para una terraza a 3 metros de la fachada con 3 filas de mesas, se obtiene mediante el método simplificado (en este caso Ecuación B para varias filas) un aforo de 3 mesas por fila, mientras que según el método general el aforo resultante es de 4 mesas por fila. Por tanto, **el método simplificado permite:**

- Formular el proceso de cálculo de la evaluación de los objetivos de calidad mediante ecuaciones, ya que en el método general por rayos sonoros de cada mesa influyen múltiples variables al tener un valor de distancia,  $d_i$ , para cada mesa, en vez de para cada fila de mesas.
- Realizar cálculos de forma más rápida y sencilla, sin necesidad de calcular la contribución acústica de cada mesa, para cualquier parámetro de altura a la ventana,  $d_h$ , o situación específica no contemplada en las tablas de doble entrada.
- Establecer una justificación del lado de la seguridad ya que en la definición de los factores de corrección no se consideran los casos poco reales.
- Establecer restricciones (del lado de la seguridad) a la aplicación literal de las directrices de la IT-8 que se establece mediante el método general, bien sea mediante la modificación de los factores de corrección o directamente no considerándolos.

En todos los casos, como era de esperar, al aumentar la distancia a la fachada ( $d_s$ ) aumenta el índice de aforo.

En relación con el análisis de directividad, antes de esta investigación se sabía que, por definición, el tener dos planos reflectantes aumentaba el nivel de presión sonora, en concreto 6 dBA para  $Q=4$  (dos planos reflectantes) respecto a 3 dBA cuando  $Q=2$  (un plano reflectante), pero se desconocía a que distancia,  $d_s$ , del segundo plano



reflectante, en este caso la fachada del edificio, deja de tener influencia o dicha influencia se puede considerar despreciable. Por tanto, gracias a la realización del ensayo de influencia del factor de directividad (Anexo nº 2), se ha podido comprobar que para terrazas separadas de fachada ( $d_s=2,5$  m) se tienen incrementos del nivel de presión sonora de 0,2 dBA en el plano de fachada y de 0,1 dBA en el plano de elementos de delimitación tipo cortavientos, los cuales pueden considerarse despreciables. En cambio, para terrazas adosadas a fachada ( $d_s=1$  m) se tiene un incremento de 0,9 dBA significativo debido a la componente de la energía sonora reflejada. Esto permite fijar el factor de directividad  $Q=4$  para distancias,  $d_s$ , menores a 2,5 m y  $Q=2$  para  $d_s$  iguales o superiores a 2,5 m.

## 6. Conclusión y líneas futuras

Una vez expuestos y analizados los resultados obtenidos básicamente cuantitativos, se ha llegado a las siguientes conclusiones generales desde un punto de vista más conceptual:

1º.- En primer lugar, ha sido posible realizar la modelización propuesta, alcanzándose también todos los objetivos específicos. **Se obtiene un modelo teórico que permite realizar un estudio predictivo de los niveles de emisión de ruido generados en terrazas de establecimientos de hostelería y de ocio y esparcimiento**, estableciéndose una relación directa de los distintos parámetros o factores que influyen en la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad y emisiones acústicas legalmente establecidos para el interior de las viviendas afectadas. Asimismo, se ha conseguido aplicar el modelo propuesto a una **clasificación estándar que recoge prácticamente la totalidad de las tipologías o configuraciones posibles de terrazas**, lo cual no estaba garantizado dada gran variedad de factores influyentes.

2º.- Las tablas de datos y ecuaciones que definen el modelo teórico desarrollado permiten **estimar el aforo máximo permitido o número total de mesas que componen una terraza y estudiar de forma ágil y sencilla la viabilidad de la implantación** del mismas con carácter previo al inicio de la actividad. Esto, a su vez, permite a las Administraciones Locales desplegar **herramientas predictivas para establecer un control, mediante limitación de aforo**, y poder evaluar el cumplimiento las exigencias acústicas, en función de la configuración de las terrazas (nº de filas de mesas, nº de mesas por fila, así como disposición o no de elementos atenuantes).

3º.- Se ha conseguido clasificar las tipologías de terrazas en función de la distancia,  $d_s$ , desde el centro geométrico de la primera fila de la terraza a la fachada receptora. Como era de esperar, según el método de propagación del sonido en campo libre de la ISO 9613-2, que establece como factor de atenuación principal el factor de atenuación por divergencia geométrica y que este depende de la distancia del emisor al receptor, **se tiene que la distancia a la fachada es un parámetro fundamental para calcular el nivel de presión sonora en un punto cualquiera a partir del nivel de potencia sonora producido por una fuente sonora puntual**, en este caso la conversación de las personas por mesas. Por tanto, se obtiene que **en todos los casos, al aumentar la distancia a la fachada ( $d_s$ ) aumenta el índice de aforo**.

4º.- En relación con la conclusión 2º, cabe destacar que se obtiene un **modelo flexible que permite establecer criterios más restrictivos de limitación de aforo según las particularidades de cada zona**, medidas correctoras de Planes de Acción o

cualquier otras consideraciones que establezcan las Entidades Municipales. Por tanto, se podrán desarrollar análisis y estudios específicos de la metodología general llevada a cabo en la modelización planteada para su aplicación a diferentes municipios. Esto último se consigue adaptando el método principal de cálculo, basado en la metodología y directrices generales que establece la IT-8, a diferentes versiones simplificadas, como las que se han estudiado: cálculo de aforo máximo por rayos sonoros por mesa; según rayos sonoros por centro geométrico de cada fila de mesas con o sin aplicación de factores de corrección, o modificación de los mismos a otros más restrictivos.

5º.- Los avances en la industria en relación a la problemática del ruido generado por las terrazas, han **permitido regular el empleo de elementos atenuantes para reducción de niveles de inmisión de ruido en viviendas colindantes**. Esto es debido al diseño de sistemas específicos para estas actividades, como son las sombrillas y los toldos acústicos, que incorporan sistemas compuestos por elementos absorbentes mediante los cuales se logra una reducción considerable de los niveles de ruido generados en las terrazas. Dichos elementos han sido ensayados por los fabricantes, concluyendo que se introduce una considerable pérdida por inserción de la barrera hacia las fachadas de los edificios. De esta forma, al garantizar los fabricantes una reducción entre 3 y 5 dBA para sistemas de este tipo, se pueden establecer criterios para regular el empleo de elementos atenuantes, estableciéndose un factor de atenuación por otros efectos,  $A_{misc}$ , de 3 dBA para estar del lado de la seguridad. Por ello, teniendo en cuenta lo anterior se considera que no sería admisible la justificación de valores de atenuación en torno a 3 dBA con tipo sombrillas o toldos no absorbentes como los formados por lonas acrílicas convencionales.

6º.- Se ha podido comprobar que el factor de directividad es uno de los parámetros más limitantes, ya que al aumentar el número de planos reflectantes aumenta el nivel de presión sonora, produciéndose un notorio incremento debido a la energía reflejada cuando se tienen dos planos reflectantes (suelo y paramento vertical), correspondiendo un factor  $Q=4$ . Por tanto, del ensayo acústico realizado para estudiar la influencia del dicho factor según los planos reflectantes de una terraza (Anexo nº 2), se obtiene una conclusión fundamental de que el **factor de directividad para dos planos reflectantes ( $Q=4$ ) solo afecta en filas de mesas adosadas a fachada**, tomando  $Q$  el valor de 2 para terrazas separadas de fachada. De forma que, se ha conseguido establecer una criterio que relaciona el factor de directividad con la distancia a la fachada: **para  $d_s < 2,5$  m le corresponde un factor de directividad  $Q=4$  y para  $d_s \geq 2,5$  m se aplica un factor  $Q=2$ .**

Finalmente, como última consideración, se tiene que la instalación de terrazas adosadas a fachada ( $d_s=1$  m) con más de 2 mesas-8 personas de aforo y sin elementos atenuantes (sombrillas y toldos acústicos de 3 dBA de atenuación), supone la

superación de los objetivos de calidad acústica en el interior de las viviendas de la fachada receptora. Por tanto, teniendo en cuenta también que una terraza estándar suele estar compuesta por más de 2 mesas, **para terrazas adosadas se hace prácticamente necesaria la instalación de dichos elementos atenuantes**, como sombrillas y toldo acústicos.

Por otro lado, a pesar de que los objetivos planteados se han alcanzado, aún hay posibilidades de trabajos futuros relacionados con el estudio desarrollado. Por tanto, se consideran las siguientes **líneas futuras**:

1. Se podrían realizar ensayos acústicos de campo para la evaluación de los objetivos de calidad acústica en el interior de las viviendas, y así poder validar el modelo teórico obtenido, el cual parte de la aplicación e interpretación de las directrices generales que establece la Instrucción Técnica 8 del Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía (Decreto 6/2012).
2. Otro trabajo que se puede establecer como línea futura sería el estudio de elementos como toldos y sombrilla de lona acrílicas convencionales, para comprobar mediante ensayos y mediciones si su capacidad atenuante estaría en torno a 1 dBA, suposición que se ha realizado en el apartado de DISCUSIÓN para analizar cuantas mesas por fila se podrán incrementar en terrazas adosadas, que son las más limitadas en cuanto a aforo, utilizando dichos elementos de uso más común y más asequibles económicamente.
3. El desarrollo de análisis y estudios específicos de la metodología general llevada a cabo en la modelización planteada para su aplicación a diferentes municipios, estableciendo restricciones que limiten el aforo de las terrazas según a las particularidades de cada municipio.

## 7. Bibliografía

Aliaga Revert, J. (2013). *Estudio acústico de impacto ambiental y cálculo de la incertidumbre asociada a los niveles sonoros del estado preoperacional en el Sector Industrial I-1 del municipio de Náquera* (Tesis de máster). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29017/memoria.pdf?sequence=1>

Aragüez, I. y Jiménez, R. (2017). Sistemas de apantallamiento acústico para la reducción de ruido proveniente de terrazas de establecimientos de hostelería. *TecniAcústica*, 2017: 48º Congreso Español de Acústica; Encuentro Ibérico de Acústica; European Symposium on Underwater Acoustics Applications; European Symposium on Sustainable Building Acoustics: A Coruña 3-6 Octubre 2017 (pp. 1551-1558). Sociedad Española de Acústica.

Astolfia, A., Badino, E., Callerib, C., Manca, R. y Shtrepia, L. (2019). Effect of façade shape and acoustic cladding on reduction of leisure noise levels in a street canyon. *Building and Environment*, 157, 242–256. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.04.039.

Asúnsolo, A., Bermejo, E., Cortés, R., Maqueda, J., Ordaz, E. y Silva, A. (2009). Revisión sistemática y evidencia sobre exposición profesional a ruido y efectos extra-auditivos de naturaleza cardiovascular. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(215), 28-51.

Avilés López, R. y Perera Martín, R. (2017). *Manual de acústica ambiental y arquitectónica*. Madrid: Paraninfo.

Ayuntamiento de Almería. Ordenanza municipal sobre protección del medio ambiente contra ruidos y vibraciones (B.O.P. de Almería nº 218 de 16 de noviembre de 1994) y modificación (B.O.P. de Almería nº 12 de 20 de enero de 2000).

Ayuntamiento de Almería. Ordenanza municipal reguladora de la instalación y uso de terrazas en espacios públicos (B.O.P. núm. 22 de 3 de febrero de 2010).

Babisch, W., Dutilleux, G., Paviotti, M., Backman, A., Gergely, B., McManus, B., y Licitra, G. (2010). *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*. Copenhagen: European Environment Agency.

Banegas, J. R., Carmona, R., Díaz, J., Linares, C., Ortíz, C. y Recio, A. (2016). Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. *Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad*.

Berglund, B. y Lindvall, T. (1995). *Community Noise*. Stockholm: Organización Mundial de la Salud [OMS].

Berglund, B., Lindvall, T. y Schwela, D. H. (1999). *Guía para el Ruido Urbano*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS, 18-22.

Bies, D.A., Hansen, C. y Howard, C. (2017). *Engineering Noise Control* (pp. 1-53). Adelaide: Chapman and Hall.

Consejería de agricultura, pesca y medio ambiente. (2012). *Guía de Contaminación Acústica (2012)*. Sevilla: Junta de Andalucía.

D'Alencon Castrillon, R. (2008). *Acondicionamiento: Arquitectura y técnica*. Santiago de Chile: Ediciones ARQ.

Defensor del Pueblo Andaluz. (1996). *Informe Especial al Parlamento "Contaminación acústica en Andalucía derivada de las actividades recreativas y consumo de bebidas en la vía pública"*. Sevilla: Defensor del Pueblo Andaluz.

De La Puente, J., Díaz C. y Rodríguez, F. J. (2006). *Guía acústica de la construcción*. Madrid: Dossat. (No. Sirsi i9788496437104 TH1725).

Fernández, S., Mojena, S., Ortiz, L., Pérez, V. y Rodríguez, A.M. (2020). Estrategia de Intervención Comunitaria para potenciar conocimientos acerca de la contaminación acústica. *Multimed*, 24(1).

Flores Pereita, P. (1990). *Manual de acústica, ruido y vibraciones*. Barcelona: GYC.

Galiano García, W. (2019). *Estudio de contaminación acústica en zona recreativa y ocio en la ciudad de Albacete* (Tesis de máster). Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/129275>

García Muñoz, J. (2015). *Modelización del ruido de ocio: Terrazas y veladores* (Tesis de grado). Recuperado de: [http://oa.upm.es/39584/3/TFG\\_JORGE\\_GARCIA\\_MUNOZ.pdf](http://oa.upm.es/39584/3/TFG_JORGE_GARCIA_MUNOZ.pdf)

García Rodríguez, A. (2006). *La contaminación acústica. Fuentes, evaluación, efectos y control*. Madrid: Sociedad Española de acústica.

Harris, C. M. (1998). *Manual de medidas acústicas y de control del ruido*. Madrid: McGraw-Hill.

ISO 9613-2:1996. Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation.

Martínez Llorente, J. y Peters, J. (2015). *Contaminación Acústica y Ruido* (pp. 5-13). Madrid: Ecologistas en Acción.

Martínez, A. (2005). Ruido por tráfico urbano: conceptos, medidas descriptivas y valoración económica. *Revista de economía y administración*.

Miraya, F. (2003). *Acústica y Sistema de Sonido* (pp. 1-17). Rosario: UNR Editora.

Morales Pérez, J. (2009). *Estudio de la influencia de determinadas variables en el ruido urbano producido por el tráfico de vehículos* (Tesis doctoral). Recuperado de: <http://oa.upm.es/2487/>

NORMA VDI 3770 (2012). Characteristic noise emission values of sound sources-Facilities for sporting and recreational activities. Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure.

Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía [OSMAN]. (2002). *Ruido y Salud*. Sevilla: Junta de Andalucía.

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe

Rejano De la Rosa, M. (2000). *Ruido Industrial y Urbano*. Madrid: Paraninfo.

Revilla, M. V. (28 de junio 2018). El TSJA obliga al Consistorio a pagar el terapeuta a un vecino de un 'pub'. *Diario de Almería*. Recuperado de: [https://www.diariodealmeria.es/almeria/TSJA-obliga-Consistorio-terapeuta-vecino\\_0\\_1258674203.html](https://www.diariodealmeria.es/almeria/TSJA-obliga-Consistorio-terapeuta-vecino_0_1258674203.html)

Revilla, M. V. (29 de junio 2018). Vecinos de la zona de marcha piden reducir el horario de las terrazas. *Diario de Almería*. Recuperado de: [https://www.diariodealmeria.es/almeria/Vecinos-marcha-reducir-horario-terrazas\\_0\\_1258974195.html](https://www.diariodealmeria.es/almeria/Vecinos-marcha-reducir-horario-terrazas_0_1258974195.html)

Sau, J.A. (5 de diciembre 2018). El toldo fonoabsorbente de Le Grand Café logra unos "excelentes" resultados. *La Opinión de Málaga*. Recuperado de: <https://www.laopiniondemalaga.es/malaga/2018/12/05/toldo-fonoabsorbente-le-grand-cafe/1052243.html>

Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks [SCENIHR]. (2008). Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function. *European Commission 2008*.

Segués, F. (2007). *Conceptos básicos de ruido ambiental*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Sistemas de insonorización para la industria y medio ambiente [SINTEC, S.F]. Conceptos fundamentales del sonido. Recuperado de: <http://www.acdacustics.com/files/conceptos.pdf>

Sola Pérez, M. (2010). *Caracterización acústica de materiales en cámaras de ensayo a escala* (Tesis de máster). Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13403>

UNE-ISO 1996-1:2005. Acústica. Descripción medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: magnitudes básicas y métodos de evaluación.

UNE-ISO 1996-2:2007. Acústica. Descripción medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de niveles de presión acústica.

UNE-EN ISO 3744:2011. Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Métodos de ingeniería para un campo esencialmente libre sobre un plano reflectante.

Westerkamp, H. (2015). Brahaus y estudios sobre el paisaje sonoro. Estudio de Música Electroacústica. Recuperado de: <http://www.eumus.edu.uy/eme/ps/txt/westerkamp.html>

Yáñez Coronel, M. I. (2018). *Estudio y mejoramiento acústico en terrazas de restaurantes en el ensanche de Barcelona* (Tesis de máster). Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/181128>



# Anexo N° 1: Desarrollo y cálculos

## A.1.1. Método de cálculo simplificado: Definición de ecuaciones de aforo máximo según Rayos sonoros por centro geométrico de cada fila de mesas.

### A.1.1.1. Desarrollo de ecuación A: Índice de Aforo «Af» para una sola fila de mesas

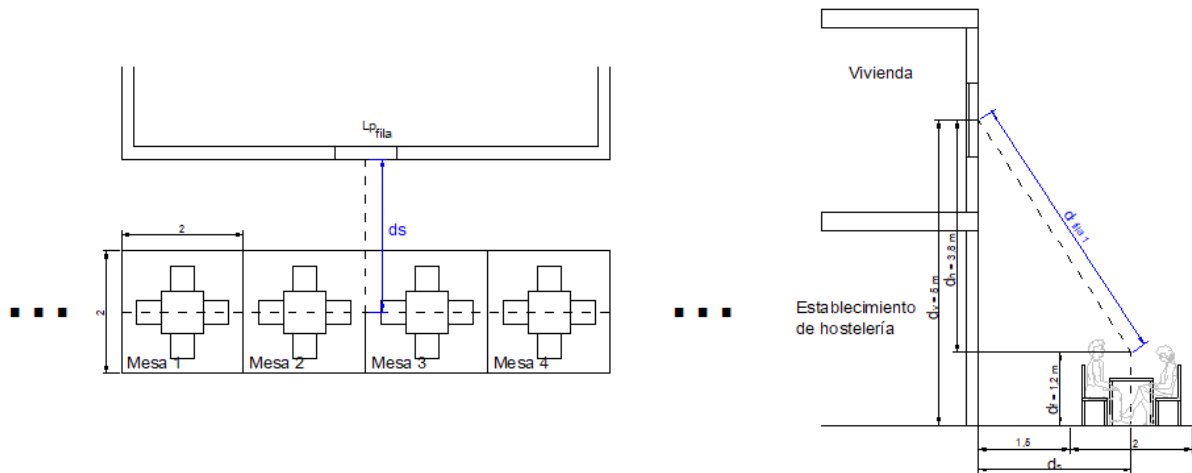


Figura A1.1. Desarrollo de la ecuación A (Elaboración propia).

En primer lugar, partimos de que el nivel de presión sonora en el exterior de la ventana receptora más desfavorable tiene que ser menor o igual a 63 dBA. Este valor se toma considerando que el índice máximo admisible de ruido nocturno en suelo residencial y para recintos tipo dormitorio es de 30 dBA, según se indica en la Figura 28, por lo que teniendo en cuenta dicho objetivo de calidad acústica no puede superarse en más de 3 dBA y que el aislamiento de fachada se considera de 30 dBA, según establece el CTE, tenemos que el nivel de presión sonora exterior en la ventana más desfavorable no puede ser superior a 63 dBA.

$$L_{pf_1} \leq 63 \text{ (dBA)}$$

En este caso al emplearse el método 1 y una sola fila se tiene como nivel de presión sonora el resultante de aplicar la expresión (13.5) a una fila:

$$L_{p_{fila1}} = L_{w_{fila1}} + 10 \log(Q_i) - 20 \log\left(\sqrt{d_s^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc} \text{ (dBA)}$$

En este caso se ha sustituido la distancia horizontal ( $d_{gr_i}$ ) de la mesa  $i$  a la cota 0 m de la ventana más desfavorable, por la distancia ( $d_s$ ) que va desde el centro geométrico de la terraza a la fachada de la ventana más desfavorable. Se sustituye

también el nivel de potencia sonora de una mesa por el nivel de potencia sonora de una fila de mesas, el cual calculamos según la expresión (11) y dejamos en función del aforo (af), considerando un nivel de potencia sonora por persona de 73 dBA y 50% de personas hablando por mesa, como se ha visto anteriormente.

$$10 \cdot \log \sum_{i=1}^{0,5 \cdot Af} 10^{\frac{LW_i}{10}} + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log \left( \sqrt{d_s^2 + d_h^2} \right) - 11 - A_{misc} \leq 63$$

$$10 \cdot \log \left( 0,5 \cdot Af \cdot 10^{\frac{73}{10}} \right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log \left( \sqrt{d_s^2 + d_h^2} \right) - 11 - A_{misc} \leq 63$$

$$10 \cdot \log(9976311,57484441 \cdot Af) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log \left( \sqrt{d_s^2 + d_h^2} \right) - A_{misc} \leq 74$$

$$\log(9976311,57484441 \cdot Af) \leq \frac{74 - 10 \cdot \log(Q) + 20 \cdot \log \left( \sqrt{d_s^2 + d_h^2} \right) + A_{misc}}{10}$$

$$9976311,57484441 \cdot Af \leq 10^{\left( \frac{74 - 10 \cdot \log(Q) + 20 \cdot \log \left( \sqrt{d_s^2 + d_h^2} \right) + A_{misc}}{10} \right)}$$

Una vez desarrollada la expresión (13.5), como se ha visto en los pasos anteriores llegamos a la ecuación del Índice de Aforo «Af» para terrazas de una sola fila de mesas

$$Af \leq \frac{10^{\left( \frac{74 - 10 \cdot \log(Q) + 20 \cdot \log \left( \sqrt{d_s^2 + d_h^2} \right) + A_{misc}}{10} \right)}}{9976311,57484441}$$

Donde

Q = factor de directividad

ds = distancia desde el centro geométrico de la fila de mesas a la fachada

dh = distancia vertical desde una altura de 1,2 m del suelo a la ventana más desfavorable.

A<sub>misc</sub> = la atenuación en dBA de elementos atenuantes (sombrillas o toldos acústicos).

Dicha ecuación se implementa en Excel y se resuelve para diferentes escenarios, los resultados obtenidos puede verse en las tablas comparativas del apartado A.1.3 de este Anexo.

### A.1.1.2. Desarrollo de ecuación B: Índice de Aforo «Af<sub>F</sub>» para varias filas de mesas

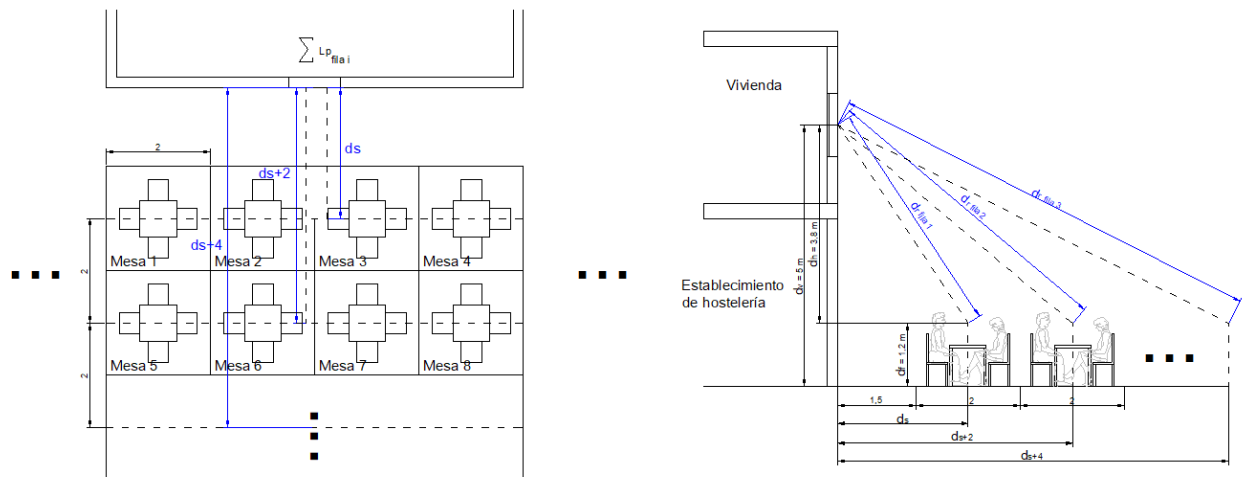


Figura A1.2. Desarrollo de la ecuación B (Fuente: Elaboración propia).

En este caso, la ecuación matemática se complica más ya que tenemos distancias (ds) diferentes, una para cada fila de mesas que distan 2 metros entre sí, y además se trata de un proceso iterativo según el número de filas y mesas por filas que fijemos para el cálculo. Por lo demás se procede de la misma forma que el caso anterior, salvo que en este caso se debe sumar logarítmicamente el nivel de presión sonora de cada fila hasta que el total de aportaciones de cada fila sea menor o igual a un nivel de presión sonora de 63 dBA en el exterior de la ventana más desfavorable:

$$10 \cdot \log(10^{L_{pf_1}} + 10^{L_{pf_2}} \dots + 10^{L_{pf_F}}) \leq 63 \text{ dBA}$$

Donde

F = número de filas de mesas

L<sub>pf<sub>i</sub></sub> = nivel de presión sonora exterior en la ventana más desfavorable de la fila i.

A continuación se desarrolla la ecuación según la expresión (13.5):

$$10 \cdot \log \left( 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{d_s^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{(d_s+2)^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + \dots + 10^{L_{pfF}} \right) \leq 63$$

$$\log \left( 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{d_s^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{(d_s+2)^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + \dots + 10^{L_{pfF}} \right) \leq \frac{63}{10}$$

$$10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{d_s^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{(d_s+2)^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + \dots + 10^{L_{pfF}} \leq 10^{\frac{63}{10}}$$

$$10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{d_s^2 + 3^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{(d_s+2)^2 + 3,8^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} + \dots + 10^{L_{pfF}} \leq 1995262,31496888$$

$$\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} \leq 1995262,31496888$$

Dividiendo todo entre 31670,8303963314, dejamos el término de la derecha en 63 dBA para poder iterar.

$$\frac{\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}}}{31670,8303963314} \leq \frac{1995262,31496888}{31670,8303963314}$$

$$\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} \leq 63 \text{ dBA}$$

$$31670,8303963314$$

Donde

F = número de filas de mesas.

$N_{Mfila}$  = número de mesas por fila.

$Q_i$  = factor de directividad de la fila i.

dh = distancia vertical desde una altura de 1,2 m del suelo a la ventana más desfavorable.

ds = distancia desde el centro geométrico de la primera fila de mesas a la fachada.

$D_i$  = factor de corrección de distancia a la edificación para la fila i.

- $D_1 = ds$
- $D_2 = ds + 2$
- $D_3 = ds + 4$
- $D_4 = ds + 6$
- ...

Para resolver fijamos un número de mesas por fila ( $N_{Mfila}$ ) y las filas (F) a analizar e iteramos hasta que la suma logarítmica de las aportaciones (niveles de presión sonora en fachada) de cada fila sea menor que 63 dBA, lo que nos permitirá comprobar si dicha configuración es admisible o no. Por último, se calcula el aforo:

$$A_{fF} = N_{Mfila} \cdot F \cdot 4$$

Dicha ecuación se resuelve con ayuda de Solver de Excel para diferentes escenarios, los resultados obtenidos puede verse en las tablas comparativas del apartado A.1.3 de este Anexo.

### A.1.2. Método de cálculo general: Cálculo del aforo máximo según Rayos sonoros por mesa. Validación de ecuaciones A y B de aforo máximo.

Para calcular el aforo máximo según rayos sonoros por mesa, se procede según se indica en los apartados 3.3.2 y 3.3.3. A continuación, se realiza un ejemplo práctico para una terraza en espacio longitudinal compuesta por una fila de 4 mesas y 16 sillas a una distancia de 2,5 m a la fachada receptora más desfavorable y sin elementos atenuantes.

En primer lugar partimos de la expresión (11) y del cálculo de nivel de potencia sonora de una mesa, expresión (13.5):

$$L_{w_{mesa}} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_w}{10}} = 10 \log \sum_{n=1}^2 10^{\frac{73 \text{ dBA}}{10}} = 76 \text{ dBA}$$

$$L_{p_{mesa\ i}} = L_{w_i} + 10 \log(Q_i) - 20 \log \left( \sqrt{d_{gr_i}^2 + d_h^2} \right) - 11 - A_{misc} \text{ (dBA)}$$

Tenemos que el factor de directividad (Q) es igual 2 al haber una distancia de 2,5 m. a la fachada y por tanto se considera un solo plano reflectante.

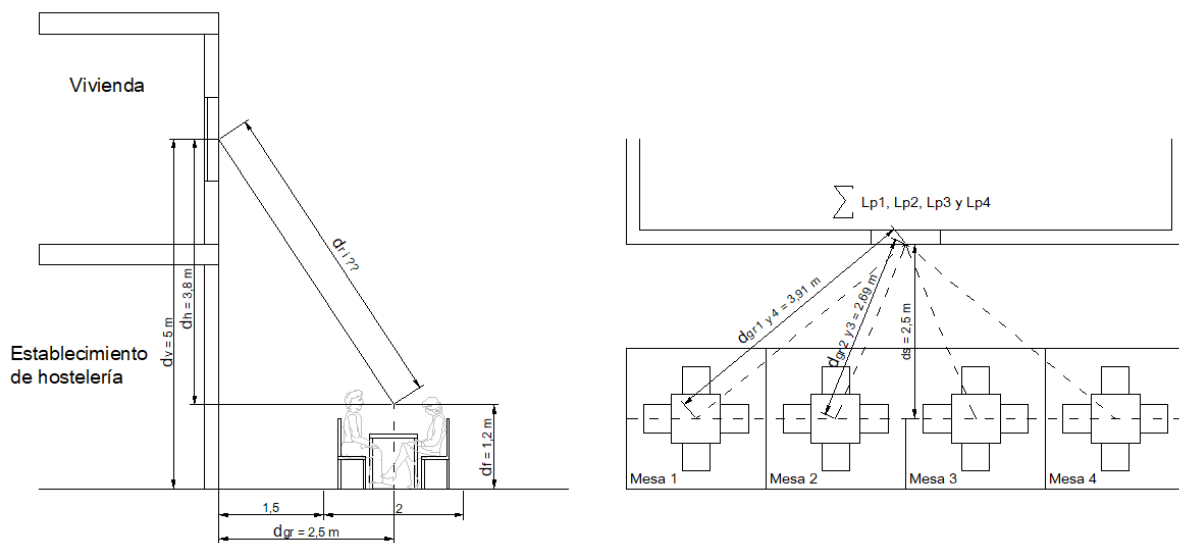


Figura A1.3. Ejemplo evaluación objetivos de calidad acústica por rayos sonoros (Fuente: Elaboración propia).

A partir de los datos de la figura anterior, se calculan los niveles de presión sonora  $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ ,  $L_{p3}$  y  $L_{p4}$  en el receptor (ventana más desfavorable):

$$L_{p_{mesa\ 1}} = 76 + 10 \log(2) - 20 \log \left( \sqrt{3,91^2 + 3,8^2} \right) - 11 - 0 = 53,29 \text{ dBA}$$

$$L_{p_{mesa\ 2}} = 76 + 10 \log(2) - 20 \log \left( \sqrt{2,69^2 + 3,8^2} \right) - 11 - 0 = 54,66 \text{ dBA}$$

$$L_{p_{\text{mesa } 3}} = 76 + 10 \log(2) - 20 \log\left(\sqrt{2,69^2 + 3,8^2}\right) - 11 - 0 = 54,66 \text{ dBA}$$

$$L_{p_{\text{mesa } 4}} = 76 + 10 \log(2) - 20 \log\left(\sqrt{3,91^2 + 3,8^2}\right) - 11 - 0 = 53,29 \text{ dBA}$$

El nivel de presión sonora en la fachada receptora se obtendrá mediante la suma logarítmica de las aportaciones,  $L_p$ , de cada velador tras haber aplicado los factores de directividad y atenuación, de este modo empleando la expresión (11) se calcula el nivel de presión sonora resultante:

$$L_{p_{\text{ext (vent.)}}} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} = 10 \log \left( 10^{\frac{53,19}{10}} + 10^{\frac{54,66}{10}} + 10^{\frac{54,66}{10}} + 10^{\frac{53,19}{10}} \right) = 60 \text{ dBA}$$

De esta forma, se comprueba que el nivel de presión sonora en el exterior de la ventana más desfavorable es inferior a 63 dBA, por lo que a dicha distancia la terraza propuesta cumple para un aforo de 16 personas, el cual no es el máximo permitido ya que el resultado obtenido está por debajo del valor límite.

Para conocer los aforos máximos permitidos se calculan diferentes escenarios tanto para terrazas adosadas a fachada ( $ds = 1 \text{ m}$ ) como para terrazas separadas de fachada con paso libre mínimo de 1,5 metros frente a fachada, para 1, 2, 3, 4 o 5 filas y para distancias ( $ds$ ) desde la primera fila de mesas hasta la fachada de 2,5 m, 3, 3,5, 4, 4,5 m. Con lo que se da cobertura a todas las casuísticas de la clasificación de tipologías establecida para este estudio.

A continuación se adjuntan las hojas de cálculo utilizadas. Si el nivel de presión sonora resultante es inferior a 63 dBA se indica en **color verde** y si es superior en **color rojo**, asimismo se emplea el **color azul** para indicar que si la terraza dispusiera de elementos atenuantes (toldos y sombrillas acústicas con reducción de 3 dBA) si cumpliría.

**Cálculos de aforo máximo para 1 fila de mesas.**

	2 mesas	3 mesas	8 mesas	10 mesas	7 mesas	10 mesas	25 mesas	31 mesas	33 mesas	34 mesas	10 mesas	10 mesas	10 mesas
<b>Atotal</b>	8	12	32	40	28	40	100	124	132	136	40	40	40
<b>ds</b>	1	1	1	1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3	4	4,5
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	58,86	58,13	52,93	51,18	50,48	47,94	40,25	38,37	37,82	37,56	47,82	47,54	47,38
<b>Lp2</b>	58,86	59,13	54,95	52,93	52,36	49,58	40,98	38,95	38,37	38,09	49,41	49,01	48,78
<b>Lp3</b>		58,13	57,14	54,95	54,09	51,41	41,77	39,58	38,95	38,66	51,16	50,57	50,25
<b>Lp4</b>			58,86	57,14	54,85	53,28	42,64	40,25	39,58	39,26	52,90	52,05	51,61
<b>Lp5</b>			58,86	58,86	54,09	54,65	43,59	40,98	40,25	39,91	54,13	53,04	52,48
<b>Lp6</b>			57,14	58,86	52,36	54,65	44,65	41,77	40,98	40,61	54,13	53,04	52,48
<b>Lp7</b>			54,95	57,14	50,48	53,28	45,84	42,64	41,77	41,37	52,90	52,05	51,61
<b>Lp8</b>			52,93	54,95		51,41	47,19	43,59	42,64	42,19	51,16	50,57	50,25
<b>Lp9</b>				52,93		49,58	48,73	44,65	43,59	43,10	49,41	49,01	48,78
<b>Lp10</b>				51,18		47,94	50,48	45,84	44,65	44,11	47,82	47,54	47,38
<b>Lp11</b>							52,36	47,19	45,84	45,23			
<b>Lp12</b>							54,09	48,73	47,19	46,50			
<b>Lp13</b>							54,85	50,48	48,73	47,94			
<b>Lp14</b>							54,09	52,36	50,48	49,58			
<b>Lp15</b>							52,36	54,09	52,36	51,41			
<b>Lp16</b>							50,48	54,85	54,09	53,28			
<b>Lp17</b>							48,73	54,09	54,85	54,65			
<b>Lp18</b>							47,19	52,36	54,09	54,65			
<b>Lp19</b>							45,84	50,48	52,36	53,28			
<b>Lp20</b>							44,65	48,73	50,48	51,41			
<b>Lp21</b>							43,59	47,19	48,73	49,58			
<b>Lp22</b>							42,64	45,84	47,19	47,94			
<b>Lp23</b>							41,77	44,65	45,84	46,50			
<b>Lp24</b>							40,98	43,59	44,65	45,23			
<b>Lp25</b>							40,25	42,64	43,59	44,11			
<b>Lp26</b>								41,77	42,64	43,10			
<b>Lp27</b>								40,98	41,77	42,19			
<b>Lp28</b>								40,25	40,98	41,37			
<b>Lp29</b>								39,58	40,25	40,61			
<b>Lp30</b>								38,95	39,58	39,91			
<b>Lp31</b>								38,37	38,95	39,26			
<b>Lp32</b>									38,37	38,66			
<b>Lp33</b>										38,09			
<b>Lp34</b>											37,56		
	61,87 dBA	63,26 dBA	62,55 dBA	62,86 dBA	61,42 dBA	62,02 dBA	62,86 dBA	62,97 dBA	63,00 dBA	63,01 dBA	61,66 dBA	60,88 dBA	60,48 dBA



**Cálculos de aforo máximo para varias fila de mesas.**

**1 m y 2 filas**

	4 mesas (2-2)		6 mesas (3-3)		8 mesas (4-4)		10 mesas (5-5)		12 mesas (6-6)		12 mesas (7-7)	
	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2
Atotal	16		24		32		40		48		48	
Mesas total	4		6		8		10		12		12	
ds	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Mesas fila	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6
Aforo fila	8	8	12	12	16	16	20	20	24	24	24	24
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
Lp1	58,86 dBA	54,13 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	57,14 dBA	52,90 dBA	56,05 dBA	52,05 dBA	54,95 dBA	51,16 dBA	53,91 dBA	50,27 dBA
Lp2	58,86 dBA	54,13 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	57,14 dBA	52,90 dBA	56,05 dBA	52,05 dBA
Lp3			58,13 dBA	53,63 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA
Lp4					57,14 dBA	52,90 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA
Lp5							56,05 dBA	52,05 dBA	57,14 dBA	52,90 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA
Lp6									54,95 dBA	51,16 dBA	56,05 dBA	52,05 dBA
Lp7											53,91 dBA	50,27 dBA

Sin EA	61,87 dBA	57,14 dBA	63,26 dBA	58,64 dBA	64,11 dBA	59,58 dBA	64,66 dBA	60,22 dBA	65,05 dBA	60,68 dBA	65,34 dBA	61,02 dBA
Con EA	63,13 dBA	64,55 dBA	65,42 dBA	66,00 dBA	66,40 dBA	66,70 dBA	60,13 dBA	61,55 dBA	62,42 dBA	63,00 dBA	63,40 dBA	63,70 dBA

**1 m y 3 filas**

	6 mesas (2-2-2)			9 mesas (3-3-3)			12 mesas (4-4-4)			21 mesas (7-7-7)		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Atotal	24			36			48			84		
Mesas total	6			9			12			21		
ds	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Mesas fila	2	2	2	3	3	3	4	4	4	7	7	7
Aforo fila	8	8	8	12	12	12	16	16	16	28	28	28
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	4	2	2	4	2	2	4	2	2	4	2	2
Lp1	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	57,14 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	53,91 dBA	50,27 dBA	49,23 dBA
Lp2	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	56,05 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA
Lp3				58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA
Lp4							57,14 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA
Lp5										58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA
Lp6										56,05 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA
Lp7										53,91 dBA	50,27 dBA	49,23 dBA

Sin EA	61,87 dBA	57,14 dBA	54,95 dBA	63,26 dBA	58,64 dBA	56,55 dBA	64,11 dBA	59,58 dBA	57,59 dBA	65,34 dBA	61,02 dBA	59,28 dBA
Con EA	63,75 dBA	64,75 dBA	65,19 dBA	66,08 dBA	66,43 dBA	60,75 dBA	62,19 dBA	63,08 dBA	64,43 dBA	64,43 dBA	64,43 dBA	64,43 dBA

1 m y 4 filas

	8 mesas (2-2-2-2)				12 mesas (3-3-3-3)				16 mesas (4-4-4-4)			
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4
Atotal	32				48				64			
Mesas total	8				12				16			
ds	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
Mesas fila	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Aforo fila	8	8	8	8	12	12	12	12	16	16	16	16
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	4	2	2	2	4	2	2	2	4	2	2	2
Lp1	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	57,14 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA
Lp2	58,86 dBA	52,64 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA
Lp3					58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA
Lp4									57,14 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA
Lp5												
Lp6												
Lp7												

	61,87 dBA	56,46 dBA	54,95 dBA	52,93 dBA	63,26 dBA	58,64 dBA	56,55 dBA	54,58 dBA	64,11 dBA	59,58 dBA	57,59 dBA	55,69 dBA
Sin EA	63,96 dBA				65,55 dBA				66,46 dBA			
Con EA	60,96 dBA				62,55 dBA				63,46 dBA			

1 m y 5 filas

	10 mesas (2-2-2-2-2)					15 mesas (3-3-3-3-3)					20 mesas (4-4-4-4-4)				
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
Atotal	40					60					80				
Mesas total	10					15					20				
ds	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
Mesas fila	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
Aforo fila	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	16	16	16	16	16
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	4	2	2	2	2	4	2	2	2	2	4	2	2	2	2
Lp1	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA	58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	57,14 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	47,82 dBA
Lp2	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA	59,13 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA	48,21 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA
Lp3						58,13 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	58,86 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA
Lp4											57,14 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	47,82 dBA
Lp5															
Lp6															
Lp7															

	61,87 dBA	57,14 dBA	54,95 dBA	52,93 dBA	51,18 dBA	63,26 dBA	58,64 dBA	56,55 dBA	54,58 dBA	52,87 dBA	64,11 dBA	59,58 dBA	57,59 dBA	55,69 dBA	54,02 dBA
Sin EA	64,31 dBA					65,78 dBA					66,70 dBA				
Con EA	61,31 dBA					62,78 dBA					63,70 dBA				

2,5 m y 2 filas

	8 mesas (4-4)		10 mesas (5-5)		12 mesas (6-6)		20 mesas (10-10)	
	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2
<b>Atotal</b>	32		40		48		80	
<b>Mesas total</b>	8		10		12		20	
<b>ds</b>	2,5	4,5	2,5	4,5	2,5	4,5	2,5	4,5
<b>Mesas fila</b>	4	4	5	5	6	6	10	10
<b>Aforo fila</b>	16	16	20	20	24	24	40	40
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	53,28 dBA	51,61 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	51,41 dBA	50,25 dBA	47,94 dBA	47,38 dBA
<b>Lp2</b>	54,65 dBA	52,48 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	53,28 dBA	51,61 dBA	49,58 dBA	48,78 dBA
<b>Lp3</b>	54,65 dBA	52,48 dBA	54,85 dBA	52,61 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	51,41 dBA	50,25 dBA
<b>Lp4</b>	53,28 dBA	51,61 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	53,28 dBA	51,61 dBA
<b>Lp5</b>			52,36 dBA	50,96 dBA	53,28 dBA	51,61 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA
<b>Lp6</b>					51,41 dBA	50,25 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA
<b>Lp7</b>							53,28 dBA	51,61 dBA
<b>Lp8</b>							51,41 dBA	50,25 dBA
<b>Lp9</b>							49,58 dBA	48,78 dBA
<b>Lp10</b>							47,94 dBA	47,38 dBA
<b>Sin EA</b>	60,04 dBA	58,09 dBA	60,65 dBA	58,80 dBA	61,09 dBA	59,32 dBA	62,02 dBA	60,48 dBA
<b>Con EA</b>	62,18 dBA		62,84 dBA		63,31 dBA		64,33 dBA	
<b>Con EA</b>	59,18 dBA		59,84 dBA		60,31 dBA		61,33 dBA	

2,5 m y 3 filas

	9 mesas (3-3-3)			12 mesas (4-4-4)			21 mesas (7-7-7)		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
<b>Atotal</b>	36			48			84		
<b>Mesas total</b>	9			12			21		
<b>ds</b>	2,5	4,5	6,5	2,5	4,5	6,5	2,5	4,5	6,5
<b>Mesas fila</b>	3	3	3	4	4	4	7	7	7
<b>Aforo fila</b>	12	12	12	16	16	16	28	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	53,28 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA
<b>Lp2</b>	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA
<b>Lp3</b>	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA
<b>Lp4</b>				53,28 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA
<b>Lp5</b>							54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA
<b>Lp6</b>							52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA
<b>Lp7</b>							50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA
<b>Sin EA</b>	59,13 dBA	57,07 dBA	55,05 dBA	60,04 dBA	58,09 dBA	56,15 dBA	61,42 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA
<b>Con EA</b>	62,17 dBA			63,15 dBA			64,70 dBA		
<b>Con EA</b>	59,17 dBA			60,15 dBA			61,70 dBA		

2,5 m y 4 filas

	12 mesas (3-3-3-3)				16 mesas (4-4-4-4)				28 mesas (7-7-7-7)				36 mesas (9-9-9-9)			
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4
<b>Atotal</b>	48				64				112				144			
<b>Mesas total</b>	12				16				28				36			
<b>ds</b>	2,5	4,5	6,5	8,5	2,5	4,5	6,5	8,5	2,5	4,5	6,5	8,5	2,5	4,5	6,5	8,5
<b>Mesas fila</b>	3	3	3	3	4	4	4	4	7	7	7	7	9	9	9	9
<b>Aforo fila</b>	12	12	12	12	16	16	16	16	28	28	28	28	36	36	36	36
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	53,28 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	48,73 dBA	48,07 dBA	47,19 dBA	46,23 dBA
<b>Lp2</b>	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA
<b>Lp3</b>	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA
<b>Lp4</b>					53,28 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA
<b>Lp5</b>									54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA
<b>Lp6</b>									52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA
<b>Lp7</b>									50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA
													48,73 dBA	48,07 dBA	47,19 dBA	46,23 dBA
<b>Sin EA</b>	59,13 dBA	57,07 dBA	55,05 dBA	53,27 dBA	60,04 dBA	58,09 dBA	56,15 dBA	54,42 dBA	61,42 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA	56,42 dBA	61,86 dBA	60,28 dBA	58,66 dBA	57,18 dBA
<b>Con EA</b>	62,69 dBA				63,69 dBA				65,31 dBA				65,86 dBA			
	59,69 dBA				60,69 dBA				62,31 dBA				62,86 dBA			

2,5 m y 5 filas

	10 mesas (2-2-2-2-2)					15 mesas (3-3-3-3-3)					30 mesas (6-6-6-6-6)					35 mesas (7-7-7-7-7)				
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
<b>Atotal</b>	40					60					120					140				
<b>Mesas total</b>	10					15					30					35				
<b>ds</b>	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5
<b>Mesas fila</b>	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7
<b>Aforo fila</b>	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	24	24	24	24	24	28	28	28	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	51,41 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA	47,53 dBA	46,26 dBA	50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	45,95 dBA
<b>Lp2</b>	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	47,05 dBA	53,28 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA
<b>Lp3</b>						54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA
<b>Lp4</b>											54,65 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	54,85 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	47,05 dBA
<b>Lp5</b>											53,28 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	54,09 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA
<b>Lp6</b>											51,41 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA	47,53 dBA	46,26 dBA	52,36 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA
<b>Lp7</b>																50,48 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	45,95 dBA
<b>Sin EA</b>	57,66 dBA	55,50 dBA	53,41 dBA	51,59 dBA	50,03 dBA	59,13 dBA	57,07 dBA	55,05 dBA	53,27 dBA	51,73 dBA	61,09 dBA	59,32 dBA	57,53 dBA	55,91 dBA	54,47 dBA	61,42 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA	56,42 dBA	55,02 dBA
<b>Con EA</b>	61,47 dBA					63,03 dBA					65,29 dBA					65,69 dBA				
	58,47 dBA					60,03 dBA					62,29 dBA					62,69 dBA				

3 m y 2 filas

	8 mesas (4-4)		10 mesas (5-5)		12 mesas (6-6)		14 mesas (7-7)	
	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2
<b>Atotal</b>	32		40		48		56	
<b>Mesas total</b>	8		10		12		14	
<b>ds</b>	3	5	3	5	3	5	3	5
<b>Mesas fila</b>	4	4	5	5	6	6	7	7
<b>Aforo fila</b>	16	16	20	20	24	24	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	52,90 dBA	51,16 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA	51,16 dBA	49,92 dBA	50,27 dBA	49,23 dBA
<b>Lp2</b>	54,13 dBA	51,94 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA
<b>Lp3</b>	54,13 dBA	51,94 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA
<b>Lp4</b>	52,90 dBA	51,16 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA
<b>Lp5</b>			52,05 dBA	50,57 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA
<b>Lp6</b>					51,16 dBA	49,92 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA
<b>Lp7</b>							50,27 dBA	49,23 dBA

	59,58 dBA	57,59 dBA	60,22 dBA	58,32 dBA	60,68 dBA	58,87 dBA	61,02 dBA	59,28 dBA
<b>Sin EA</b>	61,71 dBA		62,38 dBA		62,88 dBA		63,25 dBA	
<b>Con EA</b>	58,71 dBA		59,38 dBA		59,88 dBA		60,25 dBA	

3 m y 3 filas

	12 mesas (4-4-4)			15 mesas (5-5-5)		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
<b>Atotal</b>	48			60		
<b>Mesas total</b>	12			15		
<b>ds</b>	3	5	7	3	5	7
<b>Mesas fila</b>	4	4	4	5	5	5
<b>Aforo fila</b>	16	16	16	20	20	20
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA	49,01 dBA
<b>Lp2</b>	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA
<b>Lp3</b>	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA
<b>Lp4</b>	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA
<b>Lp5</b>				52,05 dBA	50,57 dBA	49,01 dBA
<b>Lp6</b>						

	59,58 dBA	57,59 dBA	55,69 dBA	60,22 dBA	58,32 dBA	56,50 dBA
<b>Sin EA</b>		62,68 dBA			63,38 dBA	
<b>Con EA</b>		59,68 dBA			60,38 dBA	

3 m y 4 filas

	12 mesas (3-3-3-3)				16 mesas (4-4-4-4)				28 mesas (7-7-7-7)			
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4
Atotal	48				64				112			
Mesas total	12				16				28			
ds	3	5	7	9	3	5	7	9	3	5	7	9
Mesas fila	3	3	3	3	4	4	4	4	7	7	7	7
Aforo fila	12	12	12	12	16	16	16	16	28	28	28	28
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	47,82 dBA	50,27 dBA	49,23 dBA	48,03 dBA	46,82 dBA
Lp2	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA	48,21 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA	49,01 dBA	47,54 dBA
Lp3	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA
Lp4					52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	47,82 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA	48,21 dBA
Lp5									53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA
Lp6									52,05 dBA	50,57 dBA	49,01 dBA	47,54 dBA
Lp7									50,27 dBA	49,23 dBA	48,03 dBA	46,82 dBA

	58,64 dBA	56,55 dBA	54,58 dBA	52,87 dBA	59,58 dBA	57,59 dBA	55,69 dBA	54,02 dBA	61,02 dBA	59,28 dBA	57,59 dBA	56,06 dBA
Sin EA	62,21 dBA				63,23 dBA				64,90 dBA			
Con EA	59,21 dBA				60,23 dBA				61,90 dBA			

3 m y 5 filas

	15 mesas (3-3-3-3-3)					20 mesas (4-4-4-4-4)					35 mesas (7-7-7-7-7)				
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
Atotal	60					80					140				
Mesas total	15					20					35				
ds	3	5	7	9	11	3	5	7	9	11	3	5	7	9	11
Mesas fila	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	7	7	7	7	7
Aforo fila	12	12	12	12	12	16	16	16	16	16	28	28	28	28	28
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	46,57 dBA	52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	47,82 dBA	46,41 dBA	50,27 dBA	49,23 dBA	48,03 dBA	46,82 dBA	45,67 dBA
Lp2	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA	48,21 dBA	46,69 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA	46,66 dBA	52,05 dBA	50,57 dBA	49,01 dBA	47,54 dBA	46,21 dBA
Lp3	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	46,57 dBA	54,13 dBA	51,94 dBA	49,92 dBA	48,17 dBA	46,66 dBA	53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	46,57 dBA
Lp4						52,90 dBA	51,16 dBA	49,41 dBA	47,82 dBA	46,41 dBA	54,31 dBA	52,05 dBA	49,99 dBA	48,21 dBA	46,69 dBA
Lp5											53,63 dBA	51,63 dBA	49,72 dBA	48,03 dBA	46,57 dBA
Lp6											52,05 dBA	50,57 dBA	49,01 dBA	47,54 dBA	46,21 dBA
Lp7											50,27 dBA	49,23 dBA	48,03 dBA	46,82 dBA	45,67 dBA

	58,64 dBA	56,55 dBA	54,58 dBA	52,87 dBA	51,38 dBA	59,58 dBA	57,59 dBA	55,69 dBA	54,02 dBA	52,56 dBA	61,02 dBA	59,28 dBA	57,59 dBA	56,06 dBA	54,69 dBA
Sin EA	62,55 dBA					63,59 dBA					65,29 dBA				
Con EA	59,55 dBA					60,59 dBA					62,29 dBA				

3,5 m y 2 filas

	8 mesas (4-4)		10 mesas (5-5)		12 mesas (6-6)		14 mesas (7-7)		16 mesas (8-8)	
	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2
Atotal	32		40		48		56		64	
Mesas total	8		10		12		14		16	
ds	3,5	5,5	3,5	5,5	3,5	5,5	3,5	5,5	3,5	5,5
Mesas fila	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8
Aforo fila	16	16	20	20	24	24	28	28	32	32
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	52,48 dBA	50,71 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	50,88 dBA	49,58 dBA	50,04 dBA	48,94 dBA	49,22 dBA	48,29 dBA
Lp2	53,59 dBA	51,41 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	50,88 dBA	49,58 dBA
Lp3	53,59 dBA	51,41 dBA	53,75 dBA	51,51 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA
Lp4	52,48 dBA	50,71 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	53,75 dBA	51,51 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA
Lp5			51,71 dBA	50,18 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA
Lp6					50,88 dBA	49,58 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA
Lp7							50,04 dBA	48,94 dBA	50,88 dBA	49,58 dBA
Lp8									49,22 dBA	48,29 dBA

	59,09 dBA	57,10 dBA	59,76 dBA	57,85 dBA	60,24 dBA	58,41 dBA	60,60 dBA	58,85 dBA	60,87 dBA	59,19 dBA
Sin EA	61,22 dBA		61,92 dBA		62,43 dBA		62,82 dBA		63,12 dBA	
Con EA	58,22 dBA		58,92 dBA		59,43 dBA		59,82 dBA		60,12 dBA	

3,5 m y 3 filas

	12 mesas (4-4-4)			15 mesas (5-5-5)			18 mesas (6-6-6)		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Atotal	48			60			72		
Mesas total	12			15			18		
ds	3,5	5,5	7,5	3,5	5,5	7,5	3,5	5,5	7,5
Mesas fila	4	4	4	5	5	5	6	6	6
Aforo fila	16	16	16	20	20	20	24	24	24
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	50,88 dBA	49,58 dBA	48,20 dBA
Lp2	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA
Lp3	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA	53,75 dBA	51,51 dBA	49,52 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA
Lp4	52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA
Lp5				51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA
Lp6							50,88 dBA	49,58 dBA	48,20 dBA

	59,09 dBA	57,10 dBA	55,25 dBA	59,76 dBA	57,85 dBA	56,07 dBA	60,24 dBA	58,41 dBA	56,70 dBA
Sin EA	62,20 dBA			62,92 dBA			63,46 dBA		
Con EA	59,20 dBA			59,92 dBA			60,46 dBA		

3,5 m y 4 filas

	12 mesas (3-3-3-3)				16 mesas (4-4-4-4)				20 mesas (5-5-5-5)				28 mesas (7-7-7-7)			
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4
Atotal	48				64				80				112			
Mesas total	12				16				20				28			
ds	3,5	5,5	7,5	9,5	3,5	5,5	7,5	9,5	3,5	5,5	7,5	9,5	3,5	5,5	7,5	9,5
Mesas fila	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	7	7	7	7
Aforo fila	12	12	12	12	16	16	16	16	20	20	20	20	28	28	28	28
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA	47,45 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	47,19 dBA	50,04 dBA	48,94 dBA	47,73 dBA	46,53 dBA
Lp2	53,75 dBA	51,51 dBA	49,52 dBA	47,81 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA	47,77 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	47,19 dBA
Lp3	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA	47,77 dBA	53,75 dBA	51,51 dBA	49,52 dBA	47,81 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA
Lp4					52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA	47,45 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	53,75 dBA	51,51 dBA	49,52 dBA	47,81 dBA
Lp5									51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	47,19 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA
Lp6													51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	47,19 dBA
Lp7													50,04 dBA	48,94 dBA	47,73 dBA	46,53 dBA

Sin EA	58,12 dBA	56,03 dBA	54,13 dBA	52,47 dBA	59,09 dBA	57,10 dBA	55,25 dBA	53,64 dBA	59,76 dBA	57,85 dBA	56,07 dBA	54,50 dBA	60,60 dBA	58,85 dBA	57,19 dBA	55,70 dBA
Con EA		61,72 dBA				62,76 dBA				63,51 dBA				64,48 dBA		
		58,72 dBA				59,76 dBA				60,51 dBA				61,48 dBA		

3,5 m y 5 filas

	15 mesas (3-3-3-3-3)					20 mesas (4-4-4-4-4)					35 mesas (7-7-7-7-7)				
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
Atotal	60					80					140				
Mesas total	15					20					35				
ds	3,5	5,5	7,5	9,5	11,5	3,5	5,5	7,5	9,5	11,5	3,5	5,5	7,5	9,5	11,5
Mesas fila	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	7	7	7	7	7
Aforo fila	12	12	12	12	12	16	16	16	16	16	28	28	28	28	28
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	46,23 dBA	52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA	47,45 dBA	46,09 dBA	50,04 dBA	48,94 dBA	47,73 dBA	46,53 dBA	45,39 dBA
Lp2	53,75 dBA	51,51 dBA	49,52 dBA	47,81 dBA	46,35 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA	47,77 dBA	46,32 dBA	51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	47,19 dBA	45,90 dBA
Lp3	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	46,23 dBA	53,59 dBA	51,41 dBA	49,46 dBA	47,77 dBA	46,32 dBA	53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	46,23 dBA
Lp4						52,48 dBA	50,71 dBA	49,00 dBA	47,45 dBA	46,09 dBA	53,75 dBA	51,51 dBA	49,52 dBA	47,81 dBA	46,35 dBA
Lp5											53,14 dBA	51,14 dBA	49,28 dBA	47,65 dBA	46,23 dBA
Lp6											51,71 dBA	50,18 dBA	48,63 dBA	47,19 dBA	45,90 dBA
Lp7											50,04 dBA	48,94 dBA	47,73 dBA	46,53 dBA	45,39 dBA

Sin EA	58,12 dBA	56,03 dBA	54,13 dBA	52,47 dBA	51,04 dBA	59,09 dBA	57,10 dBA	55,25 dBA	53,64 dBA	52,22 dBA	60,60 dBA	58,85 dBA	57,19 dBA	55,70 dBA	54,38 dBA
Con EA		62,08 dBA						63,13 dBA					64,89 dBA		
		59,08 dBA						60,13 dBA					61,89 dBA		



4 m y 2 filas

	12 mesas (6-6)		14 mesas (7-7)		16 mesas (8-8)		18 mesas (9-9)		20 mesas (10-10)	
	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2
Atotal	48		56		64		72		80	
Mesas total	12		14		16		18		20	
ds	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Mesas fila	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Aforo fila	24	24	28	28	32	32	36	36	40	40
Pw	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lp1	50,57 dBA	49,23 dBA	49,79 dBA	48,64 dBA	49,01 dBA	48,03 dBA	48,26 dBA	47,42 dBA	47,54 dBA	46,82 dBA
Lp2	52,05 dBA	50,27 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	50,57 dBA	49,23 dBA	49,79 dBA	48,64 dBA	49,01 dBA	48,03 dBA
Lp3	53,04 dBA	50,90 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	52,05 dBA	50,27 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	50,57 dBA	49,23 dBA
Lp4	53,04 dBA	50,90 dBA	53,18 dBA	50,98 dBA	53,04 dBA	50,90 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	52,05 dBA	50,27 dBA
Lp5	52,05 dBA	50,27 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	53,04 dBA	50,90 dBA	53,18 dBA	50,98 dBA	53,04 dBA	50,90 dBA
Lp6	50,57 dBA	49,23 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	52,05 dBA	50,27 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	53,04 dBA	50,90 dBA
Lp7			49,79 dBA	48,64 dBA	50,57 dBA	49,23 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	52,05 dBA	50,27 dBA
Lp8					49,01 dBA	48,03 dBA	49,79 dBA	48,64 dBA	50,57 dBA	49,23 dBA
Lp9							48,26	47,42 dBA	49,01 dBA	48,03 dBA
Lp10									47,54 dBA	46,82 dBA

	59,78 dBA	57,97 dBA	60,16 dBA	58,42 dBA	60,45 dBA	58,77 dBA	60,69 dBA	59,06 dBA	60,88 dBA	59,29 dBA
Sin EA	61,98 dBA		62,39 dBA		62,70 dBA		62,96 dBA		63,17 dBA	
Con EA	58,98 dBA		59,39 dBA		59,70 dBA		59,96 dBA		60,17 dBA	

4 m y 3 filas

	15 mesas (5-5-5)			18 mesas (6-6-6)		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Atotal	60			72		
Mesas total	15			18		
ds	4	6	8	4	6	8
Mesas fila	5	5	5	6	6	6
Aforo fila	20	20	20	24	24	24
Pw	76	76	76	76	76	76
Q	2	2	2	2	2	2
Lp1	51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	50,57 dBA	49,23 dBA	47,86 dBA
Lp2	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	52,05 dBA	50,27 dBA	48,59 dBA
Lp3	53,18 dBA	50,98 dBA	49,06 dBA	53,04 dBA	50,90 dBA	49,01 dBA
Lp4	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	53,04 dBA	50,90 dBA	49,01 dBA
Lp5	51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	52,05 dBA	50,27 dBA	48,59 dBA
Lp6				50,57 dBA	49,23 dBA	47,86 dBA

	59,28 dBA	57,39 dBA	55,66 dBA	59,78 dBA	57,97 dBA	56,30 dBA
Sin EA		62,46 dBA			63,02 dBA	
Con EA		59,46 dBA			60,02 dBA	

4 m y 4 filas

	16 mesas (4-4-4-4)				20 mesas (5-5-5-5)				28 mesas (7-7-7-7)			
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4
<b>Atotal</b>	64				80				112			
<b>Mesas total</b>	16				20				28			
<b>ds</b>	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
<b>Mesas fila</b>	4	4	4	4	5	5	5	5	7	7	7	7
<b>Aforo fila</b>	16	16	16	16	20	20	20	20	28	28	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	52,05 dBA	50,27 dBA	48,59 dBA	47,10 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	46,86 dBA	49,79 dBA	48,64 dBA	47,42 dBA	46,24 dBA
<b>Lp2</b>	53,04 dBA	50,90 dBA	49,01 dBA	47,39 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	47,28 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	46,86 dBA
<b>Lp3</b>	53,04 dBA	50,90 dBA	49,01 dBA	47,39 dBA	53,18 dBA	50,98 dBA	49,06 dBA	47,42 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	47,28 dBA
<b>Lp4</b>	52,05 dBA	50,27 dBA	48,59 dBA	47,10 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	47,28 dBA	53,18 dBA	50,98 dBA	49,06 dBA	47,42 dBA
<b>Lp5</b>					51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	46,86 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	47,28 dBA
<b>Lp6</b>									51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	46,86 dBA
<b>Lp7</b>									49,79 dBA	48,64 dBA	47,42 dBA	46,24 dBA

	58,59 dBA	56,62 dBA	54,83 dBA	53,26 dBA	59,28 dBA	57,39 dBA	55,66 dBA	54,13 dBA	60,16 dBA	58,42 dBA	56,80 dBA	55,35 dBA
<b>Sin EA</b>	62,30 dBA				63,06 dBA				64,07 dBA			
<b>Con EA</b>	59,30 dBA				60,06 dBA				61,07 dBA			

4 m y 5 filas

	20 mesas (4-4-4-4)					25 mesas (5-5-5-5)				
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
<b>Atotal</b>	80					100				
<b>Mesas total</b>	20					25				
<b>ds</b>	4	6	8	10	12	4	6	8	10	12
<b>Mesas fila</b>	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
<b>Aforo fila</b>	16	16	16	16	16	20	20	20	20	20
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	52,05 dBA	50,27 dBA	48,59 dBA	47,10 dBA	45,77 dBA	51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	46,86 dBA	45,59 dBA
<b>Lp2</b>	53,04 dBA	50,90 dBA	49,01 dBA	47,39 dBA	45,98 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	47,28 dBA	45,90 dBA
<b>Lp3</b>	53,04 dBA	50,90 dBA	49,01 dBA	47,39 dBA	45,98 dBA	53,18 dBA	50,98 dBA	49,06 dBA	47,42 dBA	46,01 dBA
<b>Lp4</b>	52,05 dBA	50,27 dBA	48,59 dBA	47,10 dBA	45,77 dBA	52,64 dBA	50,65 dBA	48,85 dBA	47,28 dBA	45,90 dBA
<b>Lp5</b>						51,34 dBA	49,79 dBA	48,26 dBA	46,86 dBA	45,59 dBA
<b>Lp6</b>										

	58,59 dBA	56,62 dBA	54,83 dBA	53,26 dBA	51,90 dBA	59,28 dBA	57,39 dBA	55,66 dBA	54,13 dBA	52,79 dBA
<b>Sin EA</b>	62,68 dBA					63,45 dBA				
<b>Con EA</b>	59,68 dBA					60,45 dBA				

4,5 m y 2 filas

	12 mesas (6-6)		14 mesas (7-7)		16 mesas (8-8)		18 mesas (9-9)		20 mesas (10-10)	
	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2	Fila 1	Fila 2
<b>Atotal</b>	48		56		64		72		80	
<b>Mesas total</b>	12		14		16		18		20	
<b>ds</b>	4,5	6,5	4,5	6,5	4,5	6,5	4,5	6,5	4,5	6,5
<b>Mesas fila</b>	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
<b>Aforo fila</b>	24	24	28	28	32	32	36	36	40	40
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	50,25 dBA	48,89 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	48,78 dBA	47,77 dBA	48,07 dBA	47,19 dBA	47,38 dBA	46,62 dBA
<b>Lp2</b>	51,61 dBA	49,84 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	48,78 dBA	47,77 dBA
<b>Lp3</b>	52,48 dBA	50,40 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA
<b>Lp4</b>	52,48 dBA	50,40 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA
<b>Lp5</b>	51,61 dBA	49,84 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA
<b>Lp6</b>	50,25 dBA	48,89 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA
<b>Lp7</b>			49,52 dBA	48,34 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA
<b>Lp8</b>					48,78 dBA	47,77 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA
<b>Lp9</b>							48,07 dBA	47,19 dBA	48,78 dBA	47,77 dBA
<b>Lp10</b>									47,38 dBA	46,62 dBA
<b>Sin EA</b>	59,32 dBA	57,53 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA	60,03 dBA	58,37 dBA	60,28 dBA	58,66 dBA	60,48 dBA	58,91 dBA
<b>Con EA</b>	61,53 dBA		61,95 dBA		62,29 dBA		62,56 dBA		62,78 dBA	
<b>Con EA</b>	58,53 dBA		58,95 dBA		59,29 dBA		59,56 dBA		59,78 dBA	

4,5 m y 3 filas

	15 mesas (5-5-5)			18 mesas (6-6-6)			21 mesas (7-7-7)		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
<b>Atotal</b>	60			72			84		
<b>Mesas total</b>	15			18			21		
<b>ds</b>	4,5	6,5	8,5	4,5	6,5	8,5	4,5	6,5	8,5
<b>Mesas fila</b>	5	5	5	6	6	6	7	7	7
<b>Aforo fila</b>	20	20	20	24	24	24	28	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA	47,53 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA
<b>Lp2</b>	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA
<b>Lp3</b>	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA
<b>Lp4</b>	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA
<b>Lp5</b>	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA
<b>Lp6</b>				50,25 dBA	48,89 dBA	47,53 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA
<b>Lp7</b>							49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA
<b>Sin EA</b>	58,80 dBA	56,94 dBA	55,26 dBA	59,32 dBA	57,53 dBA	55,91 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA	56,42 dBA
<b>Con EA</b>	62,01 dBA			62,58 dBA			63,03 dBA		
<b>Con EA</b>	59,01 dBA			59,58 dBA			60,03 dBA		

4,5 m y 4 filas

	16 mesas (4-4-4-4)				20 mesas (5-5-5-5)				24 mesas (6-6-6-6)				28 mesas (7-7-7-7)			
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4
<b>Atotal</b>	64				80				96				112			
<b>Mesas total</b>	16				20				24				28			
<b>ds</b>	4,5	6,5	8,5	10,5	4,5	6,5	8,5	10,5	4,5	6,5	8,5	10,5	4,5	6,5	8,5	10,5
<b>Mesas fila</b>	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7
<b>Aforo fila</b>	16	16	16	16	20	20	20	20	24	24	24	24	28	28	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA	50,25 dBA	48,89 dBA	47,53 dBA	46,26 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	45,95 dBA
<b>Lp2</b>	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA
<b>Lp3</b>	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	47,05 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA
<b>Lp4</b>	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	47,05 dBA
<b>Lp5</b>					50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA
<b>Lp6</b>									50,25 dBA	48,89 dBA	47,53 dBA	46,26 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA
<b>Lp7</b>													49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	45,95 dBA

Sin EA	58,09 dBA	56,15 dBA	54,42 dBA	52,91 dBA	58,80 dBA	56,94 dBA	55,26 dBA	53,78 dBA	59,32 dBA	57,53 dBA	55,91 dBA	54,47 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA	56,42 dBA	55,02 dBA
Con EA	61,84 dBA				62,62 dBA				63,21 dBA				63,66 dBA			
	58,84 dBA				59,62 dBA				60,21 dBA				60,66 dBA			

4,5 m y 5 filas

	20 mesas (4-4-4-4)					25 mesas (5-5-5-5)					35 mesas (7-7-7-7)				
	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Fila 5
<b>Atotal</b>	80					100					140				
<b>Mesas total</b>	20					25					35				
<b>ds</b>	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5
<b>Mesas fila</b>	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7
<b>Aforo fila</b>	16	16	16	16	16	20	20	20	20	20	28	28	28	28	28
<b>Pw</b>	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Q</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Lp1</b>	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	45,47 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA	45,30 dBA	49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	45,95 dBA	44,86 dBA
<b>Lp2</b>	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	45,66 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	45,59 dBA	50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA	45,30 dBA
<b>Lp3</b>	52,48 dBA	50,40 dBA	48,58 dBA	47,02 dBA	45,66 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	47,05 dBA	45,69 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	45,59 dBA
<b>Lp4</b>	51,61 dBA	49,84 dBA	48,20 dBA	46,75 dBA	45,47 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	45,59 dBA	52,61 dBA	50,48 dBA	48,63 dBA	47,05 dBA	45,69 dBA
<b>Lp5</b>						50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA	45,30 dBA	52,13 dBA	50,18 dBA	48,43 dBA	46,91 dBA	45,59 dBA
<b>Lp6</b>											50,96 dBA	49,40 dBA	47,90 dBA	46,53 dBA	45,30 dBA
<b>Lp7</b>											49,52 dBA	48,34 dBA	47,12 dBA	45,95 dBA	44,86 dBA

Sin EA	58,09 dBA	56,15 dBA	54,42 dBA	52,91 dBA	51,59 dBA	58,80 dBA	56,94 dBA	55,26 dBA	53,78 dBA	52,49 dBA	59,72 dBA	58,00 dBA	56,42 dBA	55,02 dBA	53,77 dBA
Con EA	62,23 dBA					63,02 dBA					64,09 dBA				
	59,23 dBA					60,02 dBA					61,09 dBA				

### A.1.3. Factor de corrección por rayos sonoros y ejemplos de validación

#### A.1.3.1. Tablas comparativas de los métodos de cálculo (general y simplificado) para las dos ecuaciones propuestas A y B

Como se ha dicho anteriormente en el apartado 3 de Objetivos y Metodología, para corregir las ecuaciones de cálculo de aforo máximo por centro geométrico de cada fila de mesas (Método de cálculo simplificado “n° 1”), es necesario aplicar factores de corrección basados en el valor real de aforo máximo calculado por rayos sonoros desde cada mesa en lugar de por rayos sonoros desde el centro geométrico de cada fila de mesas (Método de cálculo general “n° 2”).

A continuación, se incluyen tablas resumen comparativas del cálculo del aforo según los dos métodos utilizados, tanto para el caso de una fila (Ecuación A) como para el de varias filas (Ecuación B). En estas tablas comparativas se representan valores máximos de 10 mesas por fila, como se dijo anteriormente.

#### Tabla comparativa para terrazas de una sola fila de mesas (Ecuación A)

Distancia (ds)	Método n° 1 (Ecuación centro geométrico)			Método n° 2 (Rayos sonoros - atenuación por velador)				
	9,72 personas	2,43 mesas	3x1	2 mesas	3 mesas	10 mesas	Aforo sin EA	Aforo con EA
1 m	63,00 dBA			61,87 dBA	63,26 dBA	62,86 dBA	8 personas	40 personas
	26,05 personas	6,51 mesas	7x1	10 mesas			Aforo sin EA	Aforo con EA
2,5 m	63,00 dBA			62,02 dBA			40 personas	> 40
	29,51 personas	7,38 mesas	8x1	10 mesas			Aforo sin EA	Aforo con EA
3 m	63,00 dBA			61,66 dBA			40 personas	> 40
	33,60 personas	8,40 mesas	9x1	10 mesas			Aforo sin EA	Aforo con EA
3,5 m	63,00 dBA			61,27 dBA			40 personas	> 40
	38,32 personas	9,58 mesas	10x1	10 mesas			Aforo sin EA	Aforo con EA
4 m	63,00 dBA			60,88 dBA			40 personas	> 40
	0,00 personas	0,00 mesas	10x1	10 mesas			Aforo sin EA	Aforo con EA
4,5 m	63,00 dBA			60,48 dBA			40 personas	> 40

#### Tablas comparativas para terrazas con varias filas de mesas (Ecuación B)

distancia (ds): 1 m

N° de filas	Método n° 1 (Ecuación centro geométrico)			Método n° 2 (Rayos sonoros - atenuación por mesa)			
	0 personas	0 mesas x fila	0x2	2 mesas x fila	5 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA
2	> 63 dBA			63,13 dBA	63,00 dBA	0 personas	40 personas
	0 personas	0 mesas x fila	0x3	2 mesas x fila	3 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA
3	> 63 dBA			63,75 dBA	62,19 dBA	0 personas	36 personas
	0 personas	0 mesas x fila	0x4	2 mesas x fila	3 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA
4	> 63 dBA			63,96 dBA	62,55 dBA	0 personas	48 personas
	0 personas	0 mesas x fila	0x5	2 mesas x fila	3 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA
5	> 63 dBA			64,31 dBA	62,78 dBA	0 personas	60 personas

distancia (ds): 2,5 m

Nº de filas	Método nº 1 (Ecuación centro geométrico)			Método nº 2 (Rayos sonoros - atenuación por mesa)					
	Personas	Mesas x fila	Configuración	5 mesas x fila	6 mesas x fila	10 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA	
2	32 personas	4 mesas x fila	4x2	61,78 dBA	62,84 dBA	63,31 dBA	61,33 dBA	40 personas	80 personas
				62,17 dBA	63,15 dBA	62,42 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
3	36 personas	3 mesas x fila	3x3	56,93 dBA	62,69 dBA	63,69 dBA	62,86 dBA	36 personas	120 personas
				62,69 dBA	63,69 dBA	62,86 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
4	32 personas	2 mesas x fila	2x4	42,57 dBA	62,69 dBA	63,69 dBA	62,86 dBA	48 personas	144 personas
				62,69 dBA	63,69 dBA	62,86 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
5	40 personas	2 mesas x fila	2x5	45,78 dBA	61,47 dBA	63,03 dBA	62,69 dBA	40 personas	140 personas
				61,47 dBA	63,03 dBA	62,69 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	

distancia (ds): 3 m

Nº de filas	Método nº 1 (Ecuación centro geométrico)			Método nº 2 (Rayos sonoros - atenuación por mesa)					
	Personas	Mesas x fila	Configuración	6 mesas x fila	7 mesas x fila	10 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA	
2	32 personas	4 mesas x fila	4x2	54,46 dBA	62,88 dBA	63,25 dBA	60,95 dBA	48 personas	80 personas
				62,68 dBA	63,38 dBA	62,05 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
3	36 personas	3 mesas x fila	3x3	50,31 dBA	62,21 dBA	63,23 dBA	62,70 dBA	48 personas	120 personas
				62,21 dBA	63,23 dBA	62,70 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
4	48 personas	3 mesas x fila	3x4	56,60 dBA	62,55 dBA	63,59 dBA	62,90 dBA	48 personas	160 personas
				62,55 dBA	63,59 dBA	62,90 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
5	60 personas	3 mesas x fila	3x5	61,04 dBA	62,55 dBA	63,59 dBA	62,90 dBA	60 personas	180 personas
				62,55 dBA	63,59 dBA	62,90 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	

distancia (ds): 3,5 m

Nº de filas	Método nº 1 (Ecuación centro geométrico)			Método nº 2 (Rayos sonoros - atenuación por mesa)					
	Personas	Mesas x fila	Configuración	7 mesas x fila	8 mesas x fila	10 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA	
2	40 personas	5 mesas x fila	5x2	59,89 dBA	62,82 dBA	63,12 dBA	60,56 dBA	56 personas	80 personas
				62,92 dBA	63,46 dBA	61,66 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
3	48 personas	4 mesas x fila	4x3	59,24 dBA	62,76 dBA	63,51 dBA	62,32 dBA	60 personas	120 personas
				62,76 dBA	63,51 dBA	62,32 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
4	48 personas	3 mesas x fila	3x4	50,17 dBA	62,08 dBA	63,13 dBA	62,76 dBA	64 personas	160 personas
				62,08 dBA	63,13 dBA	62,76 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
5	60 personas	3 mesas x fila	3x5	54,26 dBA	62,08 dBA	63,13 dBA	62,76 dBA	60 personas	200 personas
				62,08 dBA	63,13 dBA	62,76 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	

distancia (ds): 4 m

Nº de filas	Método nº 1 (Ecuación centro geométrico)			Método nº 2 (Rayos sonoros - atenuación por mesa)					
	Personas	Mesas x fila	Configuración	9 mesas x fila	10 mesas x fila	10 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA	
2	40 personas	5 mesas x fila	5x2	52,72 dBA	62,96 dBA	63,17 dBA	< 63 dBA	72 personas	80 personas
				62,46 dBA	63,02 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
3	48 personas	4 mesas x fila	4x3	52,39 dBA	62,30 dBA	63,06 dBA	< 63 dBA	60 personas	120 personas
				62,30 dBA	63,06 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
4	64 personas	4 mesas x fila	4x4	59,38 dBA	62,68 dBA	63,45 dBA	< 63 dBA	64 personas	160 personas
				62,68 dBA	63,45 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
5	60 personas	3 mesas x fila	3x5	48,33 dBA	62,68 dBA	63,45 dBA	< 63 dBA	80 personas	200 personas
				62,68 dBA	63,45 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	

distancia (ds): 4,5 m

Nº de filas	Método nº 1 (Ecuación centro geométrico)			Método nº 2 (Rayos sonoros - atenuación por mesa)					
	Personas	Mesas x fila	Configuración	10 mesas x fila	7 mesas x fila	10 mesas x fila	Aforo sin EA	Aforo con EA	
2	48 personas	6 mesas x fila	6x2	55,81 dBA	62,78 dBA			80 personas	0 personas
				62,58 dBA	63,03 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
3	60 personas	5 mesas x fila	5x3	58,05 dBA	62,62 dBA	63,21 dBA	< 63 dBA	72 personas	120 personas
				62,62 dBA	63,21 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
4	64 personas	4 mesas x fila	4x4	52,86 dBA	62,23 dBA	63,02 dBA	< 63 dBA	80 personas	160 personas
				62,23 dBA	63,02 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	
5	80 personas	4 mesas x fila	4x5	57,55 dBA	62,23 dBA	63,02 dBA	< 63 dBA	80 personas	200 personas
				62,23 dBA	63,02 dBA	< 63 dBA	Aforo sin EA	Aforo con EA	

Seguidamente, se define el factor de corrección por rayos sonoros que permitirá la validación de las ecuaciones A y B de aforo máximo.

### A.1.3.2. Factor de corrección por rayos sonoros para la ecuación A

De esta forma, analizados los resultados de las tablas comparativas del subapartado anterior, se establecen los siguientes factores de corrección para la ecuación A, definida en el apartado A.1.1.1. según el método de cálculo simplificado, los cuales se basan en la corrección por número de mesas. Es decir, se estudian los casos en los que el método de cálculo general por rayos sonoros permite incrementar el número de mesas, al ser este método menos restrictivo. En este sentido, se define la siguiente expresión de corrección del Índice de Aforo «Af» para una sola fila de mesas, mediante la cual se transforma a número de mesas el aforo (Af) calculado según la ecuación A, luego se le aplica el factor de corrección  $K_1$  en función de las mesas que se pueden añadir según lo dicho anteriormente. Finalmente, se deshace dicha transformación y se devuelve como resultado de dicha expresión de corrección el Índice de Aforo corregido «Af<sub>corregido</sub>»:

$$Af_{\text{corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{Af}{4} \right) + K_1 \right] \cdot 4$$

Donde

- $K_1$  = factor de corrección para terrazas de una fila de mesas
- $E \left( \frac{Af}{4} \right)$  = entero inferior de  $\left( \frac{Af}{4} \right)$

Factor de corrección $K_1$ (Ecuación A)		
SIN elementos atenuantes	Distancia (ds)	$K_{1(SE)}$
	1 m	0
	$\geq 2,5$ m	4
CON elementos atenuantes	Distancia (ds)	$K_{1(CE)}$
	1 - 4,5 m	6

La tabla anterior es el resultado de las siguientes correcciones:

Distancia (ds)	N° mesas incrementadas	Corrección a entero superior	$K_1$ (SE)
1 m	0	0	0
2,5 m	3	1	4
3 m	3	1	4
3,5 m	3	1	4
4 m	3	1	4
4,5 m	3	1	4

Distancia (ds)	N° mesas incrementadas	Corrección a entero superior	K <sub>1</sub> (SE)
1 m	5	1	6
2,5 m	5	1	6
3 m	5	1	6
3,5 m	5	1	6
4 m	5	1	6
4,5 m	5	1	6

Como se puede ver en las tablas anteriores, se ha considerado el mismo valor de corrección para distancias (ds) mayores o iguales a 2,5 m, ya que se obtienen datos de aforo demasiado elevados, lo cuales podría considerarse irreales o poco comunes ya que no tendría mucho sentido en una configuración real de una terraza.

### Ejemplos de validación:

Por último se incluyen algunos ejemplos para la validación o comprobación del modelo:

- Distancia ds=1 m y Amisc=0

$$Q=4$$

$$dh=3,8 \text{ m}$$

$$A \leq \frac{10^{\left(\frac{74-10 \cdot \log(4)+20 \cdot \log(\sqrt{1^2+3,8^2})+0}{10}\right)}}{9976311,57484441} \leq 9,71 \text{ personas (2,43 mesas)}$$

$$A_{f_{\text{corregido}}(1 \text{ m} / 0 \text{ dBA})} \leq \left[ E\left(\frac{Af}{4}\right) + K_{1(SE)} \right] \cdot 4 = \left[ E\left(\frac{9,71}{4}\right) + 0 \right] \cdot 4 \leq 8 \text{ p (2 mesas)}$$

- Distancia ds=1 m y Amisc=3

$$Q=4$$

$$dh=3,8 \text{ m}$$

$$A \leq \frac{10^{\left(\frac{74-10 \cdot \log(4)+20 \cdot \log(\sqrt{1^2+3,8^2})+3}{10}\right)}}{9976311,57484441} \leq 19,39 \text{ personas (4,85 mesas)}$$



$$Af_{\text{corregido}}(1\text{ m} / 3\text{ dBA}) \leq \left[ E \left( \frac{Af}{4} \right) + K_{1(CE)} \right] \cdot 4 = \left[ E \left( \frac{19,39}{4} \right) + 6 \right] \cdot 4 \leq 40\text{ p (10 mesas)}$$

- Distancia ds=2,5 m y Amisc=0

Q=2

dh=3,8 m

$$A \leq \frac{10^{\left( \frac{74 - 10 \cdot \log(2) + 20 \cdot \log(\sqrt{2,5^2 + 3,8^2}) + 0}{10} \right)}}{9976311,57484441} \leq 26,05\text{ personas (6,51 mesas)}$$

$$Af_{\text{corregido}}(1\text{ m} / 0\text{ dBA}) \leq \left[ E \left( \frac{Af}{4} \right) + K_{1(SE)} \right] \cdot 4 = \left[ E \left( \frac{26,05}{4} \right) + 4 \right] \cdot 4 = 40\text{ p (10 mesas)}$$

- Distancia ds=2,5 m y Amisc=3

Q=2

dh=3,8 m

$$A \leq \frac{10^{\left( \frac{74 - 10 \cdot \log(2) + 20 \cdot \log(\sqrt{2,5^2 + 3,8^2}) + 3}{10} \right)}}{9976311,57484441} \leq 51,97\text{ personas (12,99 mesas)}$$

$$Af_{\text{corregido}}(1\text{ m} / 3\text{ dBA}) \leq \left[ E \left( \frac{Af}{4} \right) + K_{1(CE)} \right] \cdot 4 = \left[ E \left( \frac{51,97}{4} \right) + 6 \right] \cdot 4 \leq 72\text{ p (18 mesas)}$$

### A.1.3.3. Factor de corrección por rayos sonoros para la ecuación B

De igual forma, se procede para a la definición del factor de corrección para terrazas de varias filas de mesas (ecuación B). En este sentido, se define la siguiente expresión de corrección del Índice de Aforo «Af» para terrazas de varias filas de mesas, mediante la cual se transforma a número de mesas el aforo (Af) calculado según la ecuación B (subapartado A.1.1.2.), luego se le aplica el factor de corrección  $K_F$  (factor de corrección para terrazas de varias filas de mesas) en función de las mesas que se pueden añadir según lo indicado en el apartado A.1.3.2. Finalmente, se deshace dicha transformación y se devuelve como resultado de dicha expresión de corrección el Índice de Aforo corregido «Af<sub>corregido</sub>»:

$$Af_{\text{corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{Af}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F$$

Donde

$K_F$  = factor de corrección para terrazas de varias filas de mesas

$E \left( \frac{Af}{F \cdot 4} \right)$  = entero inferior de  $\left( \frac{Af}{F \cdot 4} \right)$

Para F=2

Distancia (ds)	$K_F$
[1, 2,5) m	0
[2,5, 3,5] m	2
(3,5, 4,5] m	4

Para F=3

Distancia (ds)	$K_F$
[1, 2,5) m	0
[2,5, 3] m	1
(3, 4) m	2
[4, 4,5] m	1

Para F=4

Distancia (ds)	$K_F$
[1, 2,5) m	0
[2,5, 4,5] m	1

Para F=5

Distancia (ds)	$K_F$
[1, 3) m	0
[3, 4,5] m	1

En este caso no es significativo distinguir con o sin elementos atenuantes, ya que en la mayoría de los casos se obtiene el mismo valor, y en los dos o tres casos que se amplía una mesa resulta ser una configuración poco común.

### Ejemplos de validación:

Por último se incluyen algunos de los cálculos realizados para la validación o comprobación del modelo:

- Distancia  $d_s=1$  m

$$F=2$$

$$N_{Mfila}=2 \text{ mesas por fila}$$

$$Q=4$$

$$d_h=3,8 \text{ m}$$

$$D_1= d_s$$

$$D_2= d_s+2$$

$$\sum_i^F 10 \frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10} \leq 63 \text{ dBA}$$

$$31670,8303963314$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 1,65 \text{ mesas } x \text{ fila}$$

$$A_{fF} \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 1,65 \cdot 2 \cdot 4 \leq 13,22 \text{ personas}$$

$$A_{fF_{corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{A_{fF}}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{13,22}{2 \cdot 4} \right) + 0 \right] \cdot 4 \cdot 2 \leq 8 \text{ p (1 mesa } x \text{ fila)}$$

- Distancia  $d_s=2,5$  m

$$F=3$$

$$N_{Mfila}=4 \text{ mesas por fila}$$

$$Q=2$$

$$d_h=3,8 \text{ m}$$

$$D_1= d_s$$

$$D_2= d_s+2$$

$$D_3= d_s+4$$

$$\frac{\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}}}{31670,8303963314} \leq 63 \text{ dBA}$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 2,78 \text{ mesas x fila}$$

$$A_{fF} \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 2,78 \cdot 3 \cdot 4 \leq 33,36 \text{ personas}$$

$$A_{fF \text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{A_{fF}}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{33,36}{3 \cdot 4} \right) + 1 \right] \cdot 4 \cdot 3 \leq 36 \text{ p (3 mesas x fila)}$$

- Distancia ds=2,5 m

F=4

N<sub>Mfila</sub>=3 mesas por fila

Q=2

dh=3,8 m

D1= ds

D2= ds+2

D3= ds+4

D4= ds+6

$$\frac{\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}}}{31670,8303963314} \leq 63 \text{ dBA}$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 2,91 \text{ mesas x fila}$$

$$A_{fF} \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 2,91 \cdot 4 \cdot 4 \leq 46,56 \text{ personas}$$

$$A_{fF \text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{A_{fF}}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{46,56}{4 \cdot 4} \right) + 1 \right] \cdot 4 \cdot 4 \leq 48 \text{ p (3 mesas x fila)}$$

- Distancia  $d_s=3$  m

F=4

$N_{Mfila}=4$  mesas por fila

Q=2

$d_h=3,8$  m

D1=  $d_s$

D2=  $d_s+2$

D3=  $d_s+4$

D4=  $d_s+6$

$$\frac{\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}}}{31670,8303963314} \leq 63 \text{ dBA}$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 2,67 \text{ mesas x fila}$$

$$A_{fF} \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 2,67 \cdot 4 \cdot 4 \leq 42,72 \text{ personas}$$

$$A_{fF \text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{A_{fF}}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{42,72}{4 \cdot 4} \right) + 1 \right] \cdot 4 \cdot 4 \leq 48 \text{ p (3 mesas x fila)}$$

- Distancia  $d_s=3,5$  m

F=3

$N_{Mfila}=5$  mesas por fila

Q=2

$d_h=3,8$  m

D1=  $d_s$

D2=  $d_s+2$

D3=  $d_s+4$

$$\frac{\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}}}{31670,8303963314} \leq 63 \text{ dBA}$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 3,69 \text{ mesas } x \text{ fila}$$

$$Af_F \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 3,69 \cdot 3 \cdot 4 \leq 44,28 \text{ personas}$$

$$Af_{F \text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{Af_F}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{44,28}{3 \cdot 4} \right) + 2 \right] \cdot 4 \cdot 3 \leq 60 \text{ p (5 mesas } x \text{ fila)}$$

- Distancia ds=4 m

$$F=2$$

$$N_{Mfila}=6 \text{ mesas por fila}$$

$$Q=2$$

$$dh=3,8 \text{ m}$$

$$D1= ds$$

$$D2= ds+2$$

$$\sum_i^F 10^{\frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}} \leq 63 \text{ dBA}$$

$$31670,8303963314$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 5,96 \text{ mesas } x \text{ fila}$$

$$Af_F \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 5,96 \cdot 2 \cdot 4 \leq 47,68 \text{ personas}$$

$$Af_{F \text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{Af_F}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{47,68}{2 \cdot 4} \right) + 4 \right] \cdot 4 \cdot 2 \leq 72 \text{ p (9 mesas } x \text{ fila)}$$

- Distancia ds=4,5 m

$$F=3$$

$$N_{Mfila}=6 \text{ mesas por fila}$$

$$Q=2$$

$$dh=3,8 \text{ m}$$

$$D1= ds$$

$$D2= ds+2$$

$$D3= ds+4$$

$$\frac{\sum_i^F 10 \frac{10 \cdot \log\left(\frac{N_{Mfila} \cdot 4}{2} \cdot 10^{\frac{73}{10}}\right) + 10 \cdot \log(Q) - 20 \cdot \log\left(\sqrt{D_i^2 + d_h^2}\right) - 11 - A_{misc}}{10}}{31670,8303963314} \leq 63 \text{ dBA}$$

Iteramos con Solver:

$$N_{Mfila} \leq 5,04 \text{ mesas } x \text{ fila}$$

$$A_{fF} \leq N_{Mfila} \cdot F \cdot 4 = 5,04 \cdot 3 \cdot 4 \leq 60,48 \text{ personas}$$

$$A_{fF \text{ corregido}} \leq \left[ E \left( \frac{A_{fF}}{F \cdot 4} \right) + K_F \right] \cdot 4 \cdot F \leq \left[ E \left( \frac{60,48}{3 \cdot 4} \right) + 1 \right] \cdot 4 \cdot 3 \leq 72 \text{ p (6 mesas } x \text{ fila)}$$

# Anexo N° 2: Acta de ensayo acústico de influencia del factor de directividad

## A.2.1. Objeto y alcance del informe

El objeto de este anexo de acta de ensayo acústico es el de presentar los resultados obtenidos en los ensayos de influencia del factor de directividad según los distintos planos reflectantes de una terraza.

El desarrollo de dicho ensayo ha permitido alcanzar los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar la influencia del factor de directividad según la distancia respecto del plano reflectante de fachada.
2. Analizar la influencia del factor de directividad en filas de mesas adosadas a elementos de delimitación tipo cortavientos.

## A.2.2. Fecha y lugar de los ensayos

Los ensayos se realizaron el 15 de septiembre de 2020 en la terraza del establecimiento de hostelería ubicado C/ Marín, 3, 04007, Almería.

## A.2.3. Documentos de referencia

Para la redacción del presente informe se han considerado las siguientes normativas de referencia:

- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- UNE-ISO 1996-1:2005. Acústica. Descripción medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: magnitudes básicas y métodos de evaluación.
- UNE-ISO 1996-2:2007. Acústica. Descripción medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de niveles de presión acústica.
- ISO 9613-2:1996. Acoustics. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation.
- UNE-EN ISO 3744:2011. Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Métodos de ingeniería para un campo esencialmente libre sobre un plano reflectante.



- Decreto 6/2012, de 17 de enero, aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.
- Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (UNE-EN ISO 16283-1:2014).

#### A.2.4. Equipos utilizados




Elemento	Fotografía	Modelo	N° de serie
Sonómetro analizador de precisión		Norsonic Nor 140	1403087
Calibrador sonoro de precisión		Norsonic Nor 1251	0800-0C-1000
Generador de señales de prueba de audio		NTI Audio MR Pro Mini-rator	--
Monitor de estudio biamplificado de referencia espacial lineal		JBL LSR6325P-1	U-608-003372-A
Trípode compatible y accesorios (extensiones de tomas eléctricas, cinta métrica, etc.)			

Tabla A2.1. Equipos utilizados en el ensayo acústico (Fuente: Elaboración propia).

### A.2.5. Procedimiento del ensayo

Para alcanzar los objetivos planteados, en primer lugar se realiza una medición en campo libre del nivel de presión sonora emitido por una terraza de una mesa sin paramentos verticales. Para simular el nivel de emisión generado por una mesa se emplea una fuente direccional (amplificador) conectada a un generador de ruido rosa, que simulará la conversación de las personas, y un sonómetro para medir tanto el nivel de ruido emitido como el reflejado. El nivel de emisión será el correspondiente a dos personas hablando, por lo que se parte de un valor de potencia sonora de la fuente emisora de 76 dBA, según lo indicado en el apartado 3.3.2.1 de potencia acústica de una mesas, y se obtiene un nivel de presión sonora a 1 metro de 68.1 dBA según la expresión (13.2) para  $Q=2$  y considerando únicamente el factor de atenuación por divergencia geométrica.

Seguidamente, una vez fijado el generador de ruido y la fuente direccional en un nivel de presión sonora de 68.1 dBA, se realizan distintas mediciones incorporando paramentos verticales como fachada receptora y elementos de delimitación tipo cortavientos, para diferentes valores de distancia ( $d_s$ ).

Las mediciones se realizan a 1,5 m de la fuente emisora, que se ubica a una altura de 1,2 m. Para simular el efecto de los elementos tipo cortavientos se han montado paneles no absorbentes de madera y de una altura de 1,8 m. Para el cálculo de los correspondientes valores del Índice de ruido continuo equivalente corregido ( $L_{Aeq}$ ) se realizan mediciones con una duración de 6 segundos.

A continuación, se muestra una secuencia gráfica de todas las mediciones que se han realizado:



Figura A2.1. Calibración del sonómetro (Fuente: Elaboración propia).

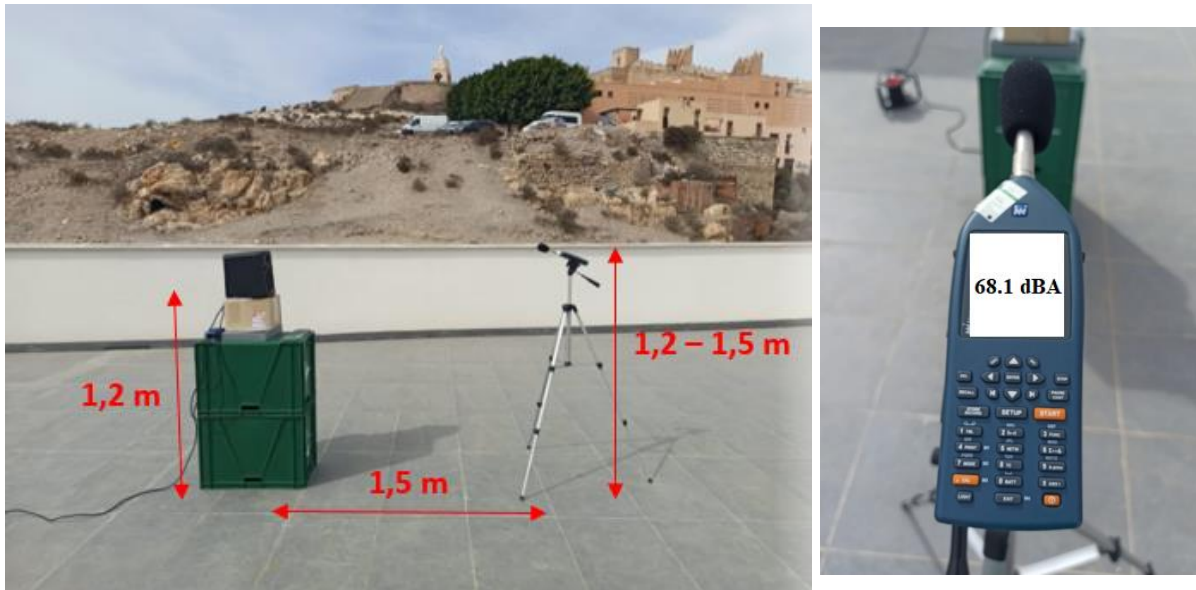


Figura A2.2. Medición n° 1 – Emisión en campo libre (Fuente: Elaboración propia).



Figura A2.3. Medición n° 2 – Configuración terraza adosada a fachada (Fuente: Elaboración propia).



Figura A2.4. Medición n° 3 – Configuración terraza separada de fachada (Fuente: Elaboración propia).

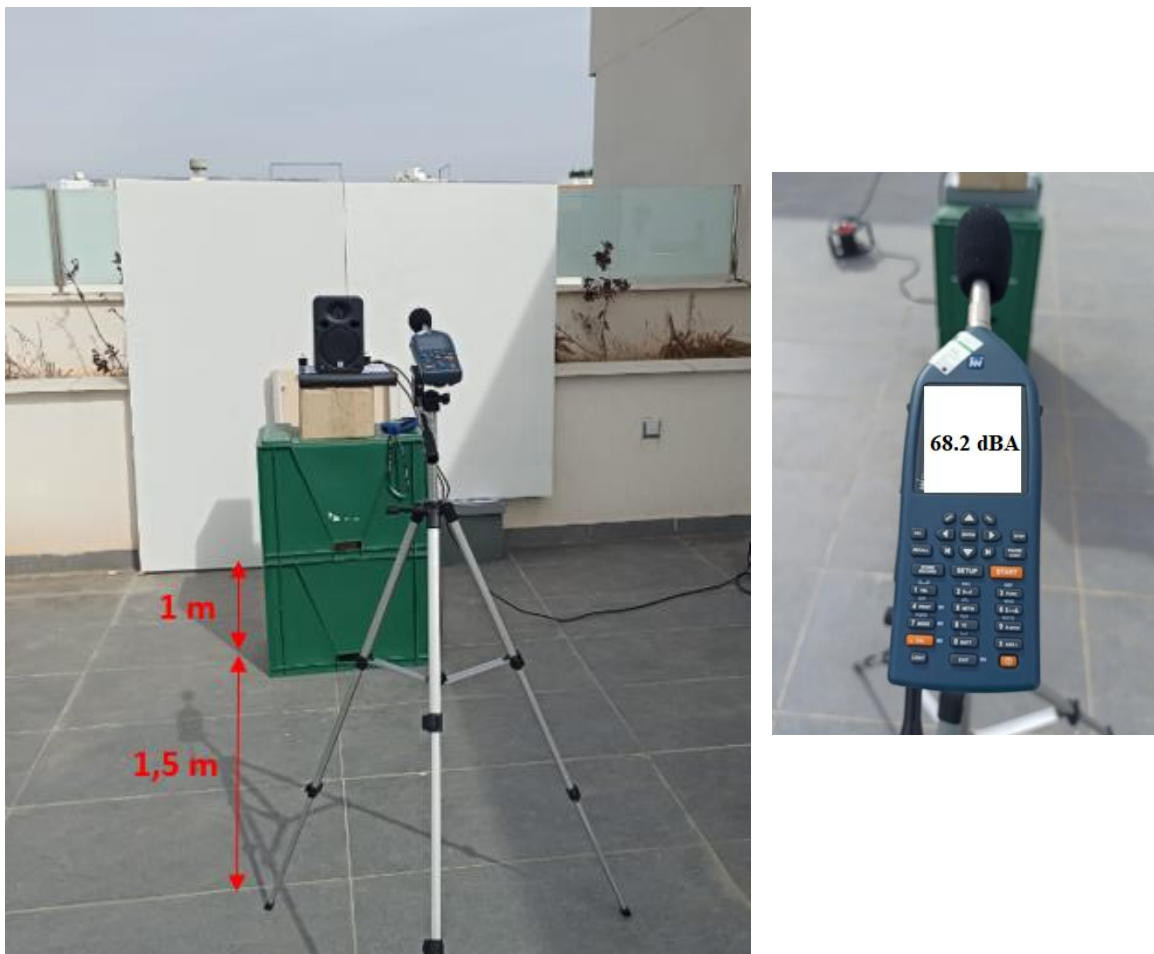


Figura A2.5. Medición n° 4 – Configuración terraza con cortavientos (Fuente: Elaboración propia).

## A.2.5. Registro de datos

	Calibración	Medición nº 1	Medición nº 2	Medición nº 3	Medición nº 4	Calibración	
L <sub>f</sub> eq (dB)	6.3 Hz	46,7	40,2	59,5	58,6	78,8	46,7
	8.0 Hz	47	42,4	57,9	56,6	74,9	47
	10 Hz	47	44,2	55,8	54,3	72,2	47
	12.5 Hz	48,2	46,5	53,7	55,2	71,6	48,2
	16 Hz	47,5	45,3	50,4	53,2	70,5	47,5
	20 Hz	48,8	48,3	52,1	52,3	68	48,8
	25 Hz	52,3	51,5	51,6	56,3	65,2	52,3
	31.5 Hz	51,5	48,8	58,3	57,1	62,1	51,5
	40 Hz	51,3	58,8	63,3	56,6	59,7	51,3
	50 Hz	53,2	63	58,3	55,7	57,7	53,2
	63 Hz	44	64,4	61,4	64,3	56	44
	80 Hz	39,8	55,6	60	59,5	53,7	39,8
	100 Hz	45,8	55,5	56,1	56,6	56,1	45,8
	125 Hz	51,8	60	55,3	58,7	61,6	51,8
	160 Hz	49,8	60,3	57	62,1	60,1	49,8
	200 Hz	36,4	60,9	59,4	63,6	60,9	36,4
	250 Hz	37,7	60,3	60,5	63,8	62,4	37,7
	315 Hz	35,7	60,6	62	60	62,2	35,7
	400 Hz	55,2	60,2	60,5	58,6	58,3	55,2
	500 Hz	63,1	60,8	59,5	60,4	61,9	63,1
630 Hz	74,3	58,7	61	58,6	57,6	74,3	
800 Hz	93,4	59,1	61,3	59,2	59,4	93,4	
1.0 kHz	114	58,8	60,7	59,2	59	114	
1.25 kHz	93,4	58,8	58,9	59,6	59,3	93,4	
1.6 kHz	74	58,4	59,3	58,6	58,1	74	
2.0 kHz	62,9	57,2	57,9	57,5	57,6	62,9	
2.5 kHz	49	52,9	52,5	51	51,5	49	
3.15 kHz	46,3	45,6	44	41,4	42	46,3	
4.0 kHz	34,7	44,2	47,6	45,1	44,5	34,7	
5.0 kHz	31,8	40,3	41,7	39,4	39,9	31,8	
6.3 kHz	27	45,4	45	40,3	37,8	27	
8.0 kHz	24,6	48,6	46,5	43,7	39,4	24,6	
10.0 kHz	19,5	53,8	49,5	45,7	46,6	19,5	
12.5 kHz	20,2	47,6	51,3	50,7	52,8	20,2	
16.0 kHz	21,2	47,4	52,4	56,3	54,4	21,2	
20.0 kHz	22	46,7	47,1	49,4	48,5	22	
<b>LCeq (dB)</b>	<b>114</b>	<b>72,6</b>	<b>72,5</b>	<b>72,8</b>	<b>73,9</b>	<b>114</b>	
<b>LAeq (dBA)</b>	<b>114</b>	<b>68,1</b>	<b>69</b>	<b>68,3</b>	<b>68,2</b>	<b>114</b>	

Tabla A2.2. Registro de datos de ensayo acústico (Fuente: Elaboración propia).



### A.2.6. Conclusiones

Según los resultados obtenidos, se ha podido comprobar que para terrazas separadas de fachada ( $d_s \geq 2,5$  m) se tienen incrementos del nivel de presión sonora de 0,2 dBA en el plano de fachada y de 0,1 dBA en el plano de elementos de delimitación tipo cortavientos, los cuales pueden considerarse despreciables. En cambio, para terrazas adosadas a fachada ( $d_s = 1$  m) se tiene un incremento de 0,9 dBA significativo debido a la componente de la energía sonora reflejada.

Por tanto, de las mediciones y valoraciones realizadas se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El factor de directividad por dos planos reflectantes ( $Q=4$ ) solo afecta en filas de mesas adosadas a fachada.
- Para una distancia,  $d_s$ , desde el centro geométrico de la primera fila de mesas mayor o igual a 2,5 m, el plano de la fachada no supone un aumento considerable del nivel de emisión sonora, resultando que solo influye el plano reflectante constituido por el suelo, lo que implica un factor de directividad  $Q=2$ .
- El uso de cortavientos a 1,8 m, no tiene un efecto significativo en el factor de directividad, ya que para dicha altura no suponen un aumento importante de la energía sonora.

# **Anexo N° 3: Ficha técnica de una sombrilla acústica tipo**

# ABSORBRELLA



ISINAC  
ABSORCIÓN ACÚSTICA

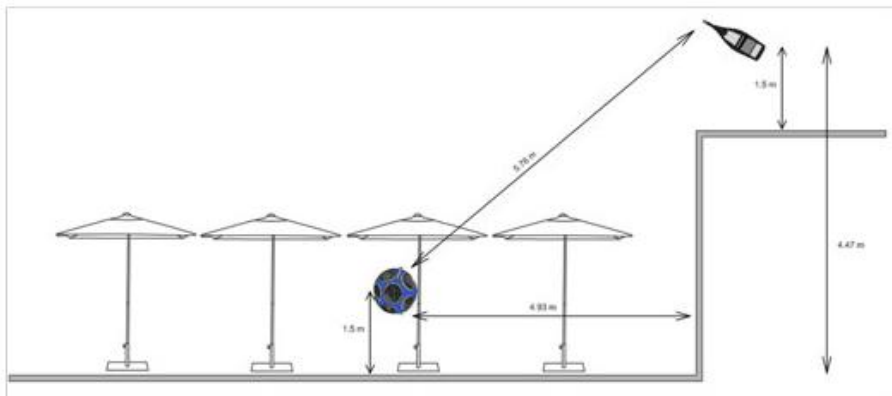
Cuando no introducimos en el mundo de la acústica, nos encontramos con que hay una gran cantidad de soluciones para mejorar las condiciones acústicas de los espacios interiores, creando salas con gran confort acústico al eliminar el ruido de las mismas. Sin embargo, a la hora de combatir el ruido exterior, encontramos menos soluciones debido a la complejidad de limitar los espacios.

ISINAC lanza su nueva patente al mercado, ABSORBRELLA, un sencillo sistema adaptable a cualquier sombrilla estándar, que reduce los niveles de ruido producido por las terrazas de los bares y restaurantes entre 3 y 5 db. Se acabaron las molestias a los vecinos de los primeros pisos. ABSORBRELLA ofrece bonitos diseños para tu terraza, además de una mejora del confort acústico de la misma.



ABSORBRELLA

## ENSAYO ACÚSTICO ABSORBRELLA



Sombrilla 2,20 x 2,20m 750€

Sombrilla 2,50 x 2,50m 1.000€

Precio Sistema completo PVP i.v.a. no incluido





## 5 Descripción de los ensayos realizados

A continuación se muestran los ensayos realizados y los espacios implicados en los mismos:

Acta	Emisor	Receptor	Tipo de ensayo
1	Terraza	Fachada vivienda 1º Planta	Pérdida por inserción de Barreras

Pérdida por Inserción de Barreras  
Medidas in situ de la Pérdida por Inserción de Barreras

Cliente: **Isinac Acoustic World S.L.**

El local analizado se ubica en: **Cafetería "Sentir Nerja"**  
 Fecha del ensayo: 19/12/2018  
 Zona receptora: Fachada 1ª planta Plaza Tutti Frutti, Nerja.  
 Disposición del ensayo: Oblicuo

Frecuencia f Hz	IL (tercio de Octava) dB
100	1,9
125	1,7
160	2,4
200	4,3
250	4,5
315	4,8
400	4,4
500	4,9
630	3,7
800	4,4
1000	3,3
1250	3,4
1600	4,3
2000	5,8
2500	5,3
3150	4,7
4000	4,8
5000	4,9

Valoración según diferencia de niveles valorados en bandas de 1/3 de octava.

Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de Ingeniería

Nº de informe: ACU-122-2018.1    Firma:   
 Nombre del instituto de ensayo: **T-ingeniamos engineering management S.L.**  
 Fecha de emisión: 09/01/2019

Una barrera contra el sonido es cualquier obstáculo sólido relativamente opaco al sonido que bloquea al receptor la línea de visión de la fuente sonora. Las barreras pueden instalarse específicamente para reducir el ruido, por ejemplo, vallas sólidas o diques de tierra, o pueden producirse naturalmente por otras razones, como edificios o muros aislados. Las barreras pueden usarse frente a la molestia del ruido producido por las instalaciones de ocio. El uso de una barrera es especialmente interesante cuando no se tiene control sobre la emisión de ruido por parte de la fuente molesta.

La medida habitual de la eficacia acústica de una barrera es la pérdida por inserción. La pérdida por inserción de una barrera para una banda de tercio de octava, en un punto determinado, es la diferencia entre los niveles de presión sonora de la banda (medidos en ese punto) antes y después de la instalación de la barrera:

$$IL_{\text{barrera}} = L_p(\text{antes}) - L_p(\text{después}) \quad [dB]$$

Para el ensayo de pérdida por inserción se ha considerado como la barrera el sistema ABSORBRELLA para tratar de caracterizar la efectividad de dicho mecanismo. Por lo que las muestras correspondientes a  $L_p$  (antes) se refieren a la situación en la que las sombrillas se encuentran instaladas, pero sin el sistema ABSORBRELLA. Las muestras correspondientes a  $L_p$  (después) se refieren a la situación en la que se encuentran instaladas las sombrillas incluyendo el sistema ABSORBRELLA.

	$L_{\text{antes}}$	$L_{\text{después}}$	IL
100 Hz	79,2	77,3	1,9
125 Hz	79,0	77,3	1,7
160 Hz	73,5	71,1	2,4
200 Hz	81,4	77,1	4,3
250 Hz	83,9	79,4	4,5
315 Hz	77,2	72,4	4,8
400 Hz	78,0	73,6	4,4
500 Hz	79,2	74,3	4,9
630 Hz	76,1	72,4	3,7
800 Hz	75,8	71,4	4,4
1000 Hz	72,6	69,3	3,3
1250 Hz	71,5	68,1	3,4
1600 Hz	70,3	66,0	4,3
2000 Hz	70,2	64,4	5,8
2500 Hz	66,9	61,6	5,3
3150 Hz	65,8	61,1	4,7
4000 Hz	67,8	63,0	4,8
5000 Hz	66,4	61,5	4,9



El ruido ambiental es considerado un problema importante en la salud y la calidad de vida de los ciudadanos, por lo que empieza a existir una mayor concienciación sobre la contaminación acústica. Debido al buen clima característico de las ciudades mediterráneas, en los locales de ocio (bares, restaurantes, tabernas, etc.) está muy extendido el uso de terrazas en la vía pública. Esto implica una carga acústica adicional que suele provocar molestias a los vecinos colindantes.

En relación a dicha problemática, existen pocos estudios hasta la fecha en el marco de trabajos científicos o académicos. Las ordenanzas municipales se centran en el establecimiento de prohibiciones, horarios o aspectos estéticos, sin que se hayan regulado procedimientos destinados a justificar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica exigidos en el interior de las viviendas, según la normativa vigente. Por su parte, la Comunidad Autónoma de Andalucía ha establecido recientemente directrices generales en relación al control de los niveles emisión de ruido en terrazas, exigiendo la redacción de un estudio acústico predictivo con carácter previo al inicio de la actividad, lo que podría considerarse una autentica primicia reglamentaria en nuestro país.

Por tanto, surge la necesidad de desplegar las herramientas necesarias para caracterizar o modelizar la evaluación del cumplimiento de los objetivos de calidad acústica legalmente establecidos. De esta forma se ha desarrollado un modelo teórico que permite estimar el aforo máximo permitido o número total de mesas que componen una terraza en función de los factores acústicos y de configuración influyentes, y así evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de las viviendas cercanas.

**Palabras clave:** contaminación acústica, estudio predictivo, objetivos de calidad acústica, ruido de ocio, hostelería, terrazas y veladores.

