

GUÍA DE INSONORIZACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS DE COMERCIO

Tabla de contenido

1.	OBJETO	2
2.	INTRODUCCIÓN	2
3.	SONIDO Y RUIDO	3
4.	ESTRATEGIAS TÉCNICAS PARA EL AISLAMIENTO ACÚSTICO	4
4.1	<i>Aislamiento de Particiones</i>	4
4.1.1	Particiones Simples	5
4.1.2	Particiones dobles	6
4.1.3	Particiones Compuestas	7
4.2	<i>Elementos Alternos</i>	8
4.2.1	Aislamiento de Ventanas	8
4.2.2	Aislamiento de Puertas	10
4.2.3	Techo Flotante	12
4.3	<i>Aislamiento de ruido por vía estructural</i>	13
4.3.1	Aislamiento al ruido de impacto	14
4.3.2	Suelo Flotante	14
4.4	<i>Aislamiento en instalaciones de climatización</i>	15
4.4.1	Fuentes de ruido	15
4.4.2	Estrategias para insonorización de instalaciones de climatización	15
5.	SISTEMAS DE REFUERZO SONORO	18
5.1	<i>Cadena Electroacústica</i>	18
5.1.1	Equipos	18
5.1.2	Configuración de la Cadena Electroacústica	25
5.1.3	Sistemas de Distribución de Potencia Centralizados y Descentralizados	26
5.2	<i>Cableado</i>	27
5.2.1	Conexiones balanceadas	27
5.2.2	Conexiones no balanceadas	27
5.2.3	Conectores	28
6.	DISTRIBUCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SONIDO PARA EL CONTROL DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN LOCALES COMERCIALES CON MÚSICA AMPLIFICADA	28
6.1	<i>Distribución del local</i>	29
6.1.1	Separación física	29
6.1.2	Superficies	29
6.1.3	Concentración de la música	29
6.2	<i>Distribución del sistema de altavoces</i>	30
6.3	<i>Actuaciones en vivo</i>	32
6.4	<i>Pasos para el diseño de sistemas de altavoces en locales comerciales</i>	32
6.4.1	Realizar un plano planta y de elevación del establecimiento	32
6.4.2	Estimar el volumen de la sala	32
6.4.3	Estimar el tiempo de reverberación	32
6.4.4	Determinación del Nivel Máximo de Presión Sonora Continuo	33
6.4.5	Posición y Ángulo de Cobertura	34
6.4.6	Solapamiento de fuentes	34
6.4.7	Criterios para la selección del tipo de solapamiento	35

6.4.8	Calculo de niveles de potencia para altavoces en función del nivel de presión sonora deseado	36
7.	DISEÑO DE SISTEMAS DE SONIDO PARA LOCALES COMERCIALES CON DIFERENTES USOS.....	37
7.1	<i>Diseño de sistemas de sonido para locales con música de ambiente</i>	37
7.2	<i>Diseño de sistema de sonido para locales con música en primer plano.....</i>	37
7.3	<i>Consideraciones generales</i>	38
8.	RECOMENDACIONES Y ASPECTOS GENERALES	38
9.	RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y HUMANAS.....	38

1. OBJETO

Definir estrategias técnicas para el aislamiento acústico y diseño y configuración de sistemas de refuerzo sonoro, necesarios para la reducción de la emisión de ruido por fuentes fijas características de la ciudad de Santiago de Cali.

2. INTRODUCCIÓN

El sector comercial y de servicios está compuesto por establecimientos como restaurantes, cafeterías, discotecas, talleres, bares, tiendas entre otros. El funcionamiento de estos, produce niveles de ruido que trascienden al exterior, y que en muchas ocasiones produce molestia en la comunidad cercana a ellos o incluso la que participa de las actividades que se desarrollan en los mismos. A consecuencia de esto, se deben tener ciertas consideraciones, como el Aislamiento acústico y el diseño de sistemas de refuerzo sonoro, que permitan la disminución de los niveles de ruido hacia el exterior conforme a las normativas locales, además de no afectar las actividades que desarrollan cada uno de los establecimientos.

Esta guía presenta estrategias para el aislamiento acústico, diseño y configuración de sistemas de refuerzo sonoro, que en caso de ser implementadas permitirían la disminución de la emisión de ruido por parte de los establecimientos. La guía describe en principio la definición de ruido y sonido, estableciendo la diferencia entre estos términos, e introduciendo los conceptos de nivel de presión sonora y rango de frecuencias, esto con el fin de introducir al lector en el tema. A continuación se desarrollan las estrategias para el aislamiento acústico, diseño y configuración de sistemas de refuerzo sonoro y se finaliza con recomendaciones y aspectos generales a tener en cuenta para la implementación de cada una de las estrategias mencionadas. Paralelo a la presente guía se expone la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos* donde se presentan las temáticas tratadas en este documento de una manera más técnica, mostrando ecuaciones para cálculos de parámetros acústicos y descripción teórica de conceptos y estrategias de aislamiento.

3. SONIDO Y RUIDO

El sonido es producido por la vibración de determinados objetos, como instrumentos musicales bocinas, cuerdas vocales, entre otros. Las vibraciones mecánicas de estos elementos, perturban el aire que se encuentra alrededor de ellos. Cada vibración produce un cambio de presión en el aire que oscila en torno a la presión atmosférica, la cual es mucho mayor que estas variaciones. Los cambios cíclicos de presión viajan a través del aire, formando una onda sonora.

Una onda sonora puede ser descrita de manera simple, por su amplitud y frecuencia. La amplitud, se relaciona con la presión acústica de la onda sonora. El oído humano es capaz de percibir variaciones de presión, entre un rango de $20\mu\text{Pa}$ hasta los 20 Pa , umbral de audición y umbral de dolor respectivamente. Debido a que este rango demasiado extenso, se utiliza el Nivel de Presión Sonora, que es la medida logarítmica del valor efectivo de la presión sonora con respecto a un valor de referencia ($20\mu\text{Pa}$), su resultado está dado en dB. Esta escala proporciona un rango más corto, además de describir más acertadamente la percepción del oído.

La Figura 1 muestra los valores de presión y Niveles de presión entre el rango audible, ilustra además, diversos ejemplos de los niveles producidos por situaciones típicas.

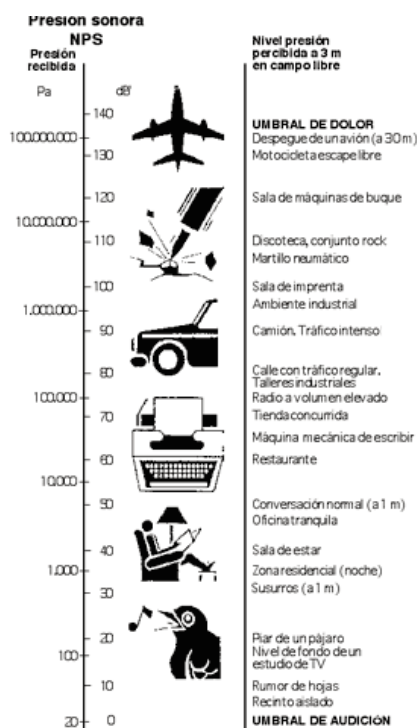


Figura 1. Presión sonora y nivel de presión sonora característico de situaciones cotidianas. Adaptada de [1]

Por otro la frecuencia es el número de ciclos por segundo, y se mide en Hertz (Hz). El rango de frecuencias audibles para el oído humano se encuentra en un rango que empieza en los 20 Hz, hasta los 20.000 Hz. Dependiendo de la frecuencia, los sonidos se pueden clasificar de la manera en que se expone en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del sonido según su frecuencia.

20 Hz a 250 Hz.	Frecuencias graves . Las que emite un bajo eléctrico.
250 a 2.000 Hz	Frecuencias medias . La mayor parte de instrumentos musicales se desenvuelven en ellas, al igual que casi todas las voces humanas.
2.000 a 20.000 HZ	Frecuencias agudas . Los platillos de la batería están dentro de este rango.

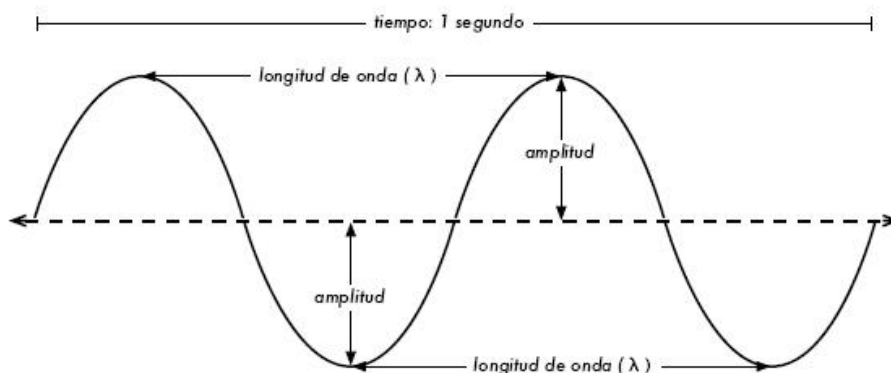


Figura 2. Longitud de onda, amplitud y frecuencia para una onda sonora.

De manera general el ruido se define como aquel sonido que por sus características e intensidad, molesta a cierto individuo o un grupo de personas, como por ejemplo martilleos, explosiones, motores en funcionamiento, ventiladores, camiones, entre otros. El ruido causa efectos negativos en la salud, especialmente sobre la audición, el sueño, funciones fisiológicas y el rendimiento en ciertas actividades.

4. ESTRATEGIAS TÉCNICAS PARA EL AISLAMIENTO ACÚSTICO

A continuación se describen estrategias técnicas para el aislamiento acústico entre recintos contiguos o al exterior. Se definen diferentes tipos de particiones, el aislamiento que proporciona, características generales, ventajas, desventajas y recomendaciones para su implementación.

4.1 AISLAMIENTO DE PARTICIONES

El aislamiento que proporcionará una pared ante energía sonora incidente, estará en función de la frecuencia y estará ligada a propiedades físicas del elemento. En general existen dos tipos de instalaciones con fines de aislamiento acústico, que son las particiones simples y dobles.

Para cuantificar la cantidad de aislamiento que proporciona una partición, es muy común el uso del término “Pérdida transmisión”, o TL por sus siglas en inglés. El TL, expresa la cantidad de energía acústica que no es transmitida por un material [2]. Este término, relaciona la potencia acústica incidente y la transmitida, se cuantifica en dB y es dependiente de la frecuencia.

4.1.1 Particiones Simples

Es aquella partición donde sus dos caras posteriores se encuentran rígidamente conectadas, por ejemplo, muros simples, placas de hormigón, una hoja de drywall, entre otros. La pérdida por transmisión proporcionada por esta partición varía con respecto a la frecuencia debido a las características del material que esté compuesta. Gracias a esto, se divide en tres regiones en frecuencia y que son dominadas principalmente por la rigidez, la masa y el amortiguamiento del material. En la sección 4.1.1 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos* se trata de forma más técnica este tema. En la Figura 3 se observa el comportamiento de una onda sonora ante una partición simple.

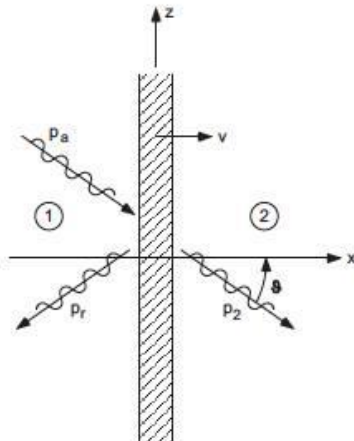


Figura 3. Comportamiento de una onda sonora ante una partición simple. Tomada de [3].

La Tabla 2, describe las ventajas y desventajas que proporciona una partición simple como medida de aislamiento.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de una partición simple como medida de aislamiento

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proporciona un aislamiento alto en gran parte del rango de frecuencias cuando el material tiene una densidad superficial grande. ✓ Doblar la masa en una partición simple implica un aumento de 6 dB/Octava en la pérdida por transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumentar la masa de un elemento no siempre es viable en la práctica. ✓ El aumentar el espesor de la partición disminuye aislamiento en posibles rangos de interés.

Como recomendaciones en el diseño y construcción de este tipo de partición, se debe tener en cuenta instalaciones eléctricas o similares, que impliquen perforación en las particiones. En el caso de que se presenten perforaciones debido a este tipo de instalaciones, se debe procurar hacer sellamientos de estos.

4.1.2 Particiones dobles

Las particiones dobles, se componen de dos particiones simples contiguas, donde existe un espacio entre ambas, como por ejemplo, las instalaciones típicas hechas con drywall donde dos placas están separas cierta distancia y forman un muro divisorio, ventanas con doble vidrio, entre otras.

Esta configuración permite aumentar el aislamiento que proporciona una sola partición debido a la inclusión de otra partición y una cámara de aire formada entre las dos. La Figura 4 muestra la configuración de una partición doble. De igual forma que una partición simple, su pérdida por transmisión está en función de la frecuencia, debido a la característica de los materiales y el sistema construido. En la Sección 4.1.2 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*, se describe completamente la pérdida por transmisión para diferentes rangos en frecuencia que proporciona esta estrategia de aislamiento.

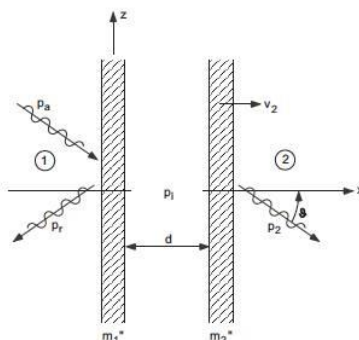


Figura 4. Comportamiento de una onda sonora ante una partición doble. Tomado de [3].

De igual forma, la combinación de diferentes particiones simples con características distintas, como el espesor, masa o espacio entre ellas, permite enfocar la pérdida por transmisión en ciertos rangos de frecuencia. Esta configuración se ejemplifica en la Figura 5.

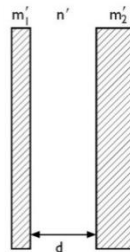


Figura 5. Partición doble con elementos de diferente espesor. Tomado de [4].

La Tabla 3, describe las ventajas y desventajas que proporciona una partición doble como estrategia de aislamiento.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de una partición doble como medida de aislamiento.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proporciona un aislamiento más eficiente que una partición simple para frecuencias superiores a la frecuencia de resonancia. ✓ Agregar material absorbente en la cavidad de aire ayuda a mejorar el aislamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo es eficiente para frecuencias superiores a la frecuencia de resonancia. ✓ Implica parte del espacio de un recinto, lo cual puede ser una limitación en muchos casos.

Como recomendaciones para esta metodología de insonorización se tiene:

- ✓ Evitar particiones con igual espesor para que sus frecuencias críticas difieran.
- ✓ Agregar material absorbente para minimizar efectos de ondas estacionarias a alta frecuencia. Este material no debe conectar estructuralmente las dos particiones, ya que disminuye la pérdida por transmisión
- ✓ Evitar cualquier tipo de perforaciones que puedan representar una vía de transmisión directa.
- ✓ Agregar materiales elásticos que desacoplen en parte los elementos de la estructura.

4.1.3 Particiones Compuestas

Es usual encontrar particiones con más de un elemento, en muchos casos se tiene en una misma división, ventanas, puertas, y muros hechos con diferentes materiales, por lo que implica considerar cada elemento por separado para obtener un aislamiento total [5]. El aislamiento de

este tipo de particiones está en función de las áreas superficiales de cada elemento que la compone y sus respectivas pérdidas por transmisión. En la Figura 6 se puede observar el ejemplo de una partición compuesta con varios elementos de distintas áreas y aislamientos.

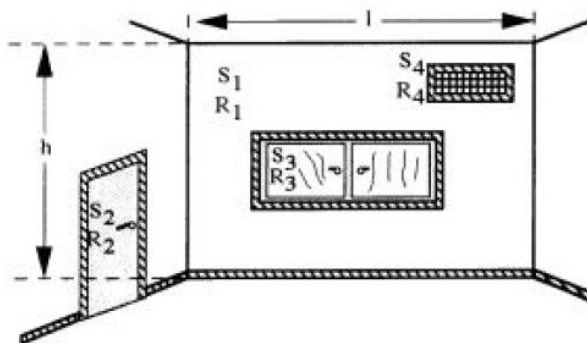


Figura 6. Ejemplo de una partición compuesta. Tomada de [6].

La Tabla 4, describe las ventajas y desventajas que proporciona una partición compuesta como medida de aislamiento.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de una partición compuesta como medida de aislamiento.

Ventajas	Desventajas
✓ Si se realiza un diseño previo a la construcción se puede obtener un aislamiento óptimo de la partición, acorde con las necesidades del recinto.	✓ Un elemento con una pérdida por transmisión muy baja puede disminuir significativamente el aislamiento total de la partición.
	✓

Como recomendaciones para esta metodología se tiene:

- ✓ Elementos como ventanas, puertas y ductos de ventilación que pueden tener vías alternas para la transmisión del sonido, estas deben tener la menor área posible.
- ✓ Se debe procurar hermeticidad en todos los elementos. Cualquier vía directa representa una disminución grande en el aislamiento total a pesar de elementos con pérdidas por transmisión grandes.

4.2 ELEMENTOS ALTERNOS

En este apartado, se describen configuraciones típicas de elementos como ventanas, puertas, pisos, techos y sistemas de climatización, que contribuyen a el aislamiento acústico y como consecuencia la disminución de los niveles de ruido transmitidos hacia el exterior o recintos contiguos.

4.2.1 Aislamiento de Ventanas

Las ventanas son un constante problema en recintos como establecimientos comerciales. Estos elementos tienen un aislamiento acústico bajo en comparación con muros y suelos debido a que su densidad superficial es menor y en muchas ocasiones poseen fisuras que significan una disminución grande en el aislamiento proporcionado.

Para asegurar una pérdida por transmisión alta de este tipo de elementos, se debe considerar en tener una alta hermeticidad, así evitar la transmisión de sonido por cavidades indeseadas. Al funcionar como una partición, variables como el espesor del vidrio, su densidad superficial y su cavidad de aire (en caso de ser una instalación doble) determinarán su aislamiento en función de la frecuencia.

Debido al uso que tienen estos elementos, el material absorbente que se considere agregar se debe ubicar alrededor (en los extremos) de este. En la Figura 7 puede observarse distintas configuraciones para ventanas dobles variando su espesor, número de láminas y cavidad de aire entre vidrios.

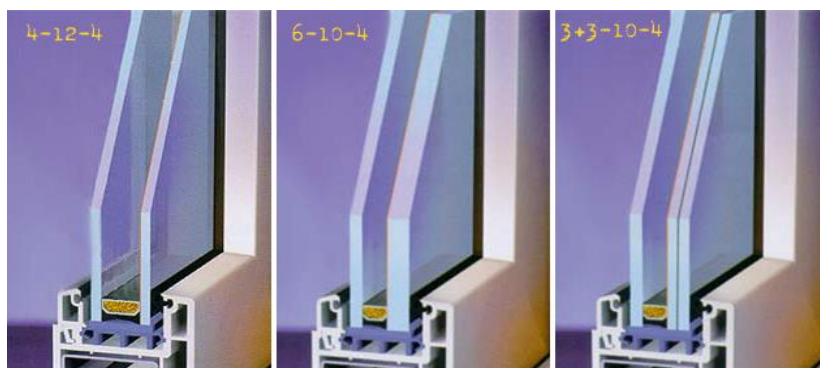


Figura 7. Tipos de configuración para ventanas dobles (los espesores y distancia entre placas están expresadas en mm). Tomada de [7].

La Tabla 5, describe las ventajas y desventajas que proporciona una ventana según sus características de diseño y construcción.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del aislamiento de ventanas.

Ventajas	Desventajas
✓ Si se opta por una instalación doble tiene las ventajas de una partición doble, en función de las características descritas en la sección 4.1.2 de la <i>Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Su instalación es muy susceptible a que en el acabado queden aberturas, afectando el aislamiento del elemento. ✓ Instalaciones simples no son efectivas como medida ya que en general la densidad superficial de los vidrios es baja.

Como recomendaciones se tiene:

- ✓ Usar instalaciones dobles con alta hermeticidad.
- ✓ No instalar ventanas corredizas.
- ✓ Usar varias capas de vidrios para cada lado.

4.2.2 Aislamiento de Puertas

Otro problema de relevancia para el aislamiento sonoro son puertas con deficiente diseño acústico. Estos elementos trabajan como una partición al igual que las paredes y ventanas, y se puede aumentar su pérdida por transmisión haciendo construcciones con paneles dobles y variando su densidad superficial, pero debido a su montaje son especialmente susceptibles a tener puntos de fuga de aire que hacen de estos componentes un punto crítico para el aislamiento de un recinto.

En general, los marcos y acabados de carpintería son temas de especial cuidado para la implementación de puertas con fines acústicos, ya que es muy factible que en estos exista algún tipo de abertura cuya presencia tiene un impacto significativo en la reducción sonora global. El correcto sellamiento de estos puntos es fundamental para que la implementación del diseño acústico sea eficiente.

Existen varios tipos de puertas que se clasifican según su número de láminas y sistema de funcionamiento. Las más comunes son las de una hoja y dos hojas. En la Figura 8 se observa la configuración de estos dos tipos de puertas.

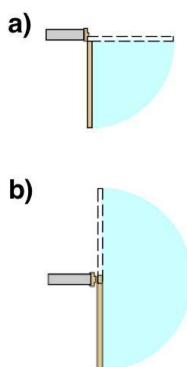


Figura 8. Tipos de puertas. a) una sola hoja. b) dos hojas. Tomado de [8]

4.2.2.1 Sellamientos de puertas

Para evitar la filtración de aire en los bordes de las puertas, se utilizan burletes. Estos elementos proporcionan la hermeticidad necesaria para que el aislamiento realizado a la puerta no

presente alteraciones. Los burletes están hechos por materiales elásticos o espumas que evitan el paso de sonido. También es importante el correcto sellamiento de las cerraduras y manijas. En la Figura 9 se puede observar las configuraciones de burletes para puertas.



Figura 9. Burletes para puertas.

La Tabla 6, describe las ventajas y desventajas que proporciona la instalación de puertas, en lo referente al aislamiento acústico.

Tabla 6. Ventajas y desventajas del aislamiento de puertas.

Ventajas	Desventajas
✓ Al ser una partición tiene las características descritas en la sección 4.1	✓ Si no se sellan de manera eficiente el aislamiento puede tener una disminución importante en su efectividad.

Como recomendaciones para esta metodología se tiene:

- ✓ Optar por puertas con densidad superficial alta o de ser posible hacer instalaciones dobles que proporcionan mejor reducción sonora en gran parte del rango de frecuencias.
- ✓ Realizar un eficiente sellamiento del elemento en pro de que el diseño acústico no se vea distorsionado por vías indeseadas.
- ✓ En establecimientos comerciales donde haya una constante apertura de puertas, aislar el recinto del exterior con un “Lobby” como se muestra en la Figura 10.

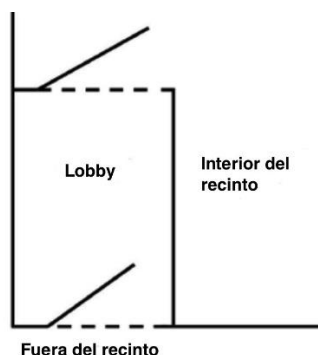


Figura 10. Distribución de un recinto con Lobby interior. Adaptada de [9]

4.2.3 Techo Flotante

Los techos flotantes, comúnmente conocidos como cielorrasos, estos son un techo paralelo al existente, compuesto por capas de materiales aislantes y absorbentes, sujetos por medio de elementos elásticos. Esta configuración se asemeja a una partición doble y en donde la transmisión generalmente es por vía aérea a pisos superiores. Los techos flotantes pueden aportar también a la acústica interior de un recinto ayudando a reducir los tiempos de reverberación con la implementación de elementos absorbentes acústicos.

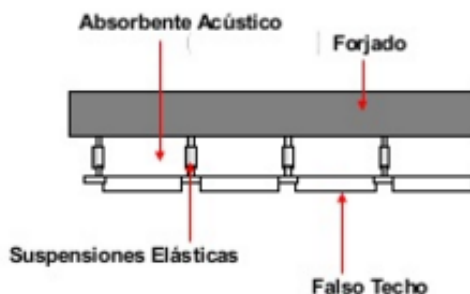


Figura 11. Configuración de un techo falso. Tomado de [10].

La Tabla 7, describe las ventajas y desventajas de un techo flotante como medida de control de ruido y acondicionamiento acústico.

Tabla 7. Ventajas y desventajas del techo flotante como medida de aislamiento.

Ventajas	Desventajas
✓ Funciona como medida de control de ruido y de acondicionamiento acústico.	✓ Las instalaciones de iluminación y orificios para cables representan una vía directa para el sonido.

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene las propiedades de una partición doble. ✓ Ayuda como medida complementaria al aislamiento de ruido de impacto generado en recintos superiores. 	
---	--

Como recomendaciones para esta metodología se tiene:

- ✓ Sí existe cableado que pase por el montaje debe hacerse un doble techo para evitar filtraciones de sonido en los orificios.
- ✓ Las instalaciones de iluminación y demás detalles de acabado que impliquen aberturas en la partición, deben estar cuidadosamente selladas.

4.3 AISLAMIENTO DE RUIDO POR VÍA ESTRUCTURAL

El ruido no solo se transmite por vía aérea, también se transmite vía estructural por medio de vibraciones. Un sonido originado en medio aéreo puede provocar vibraciones en las superficies de un recinto, como se ejemplifica en la Figura 12. Si éste está conectado a otros recintos estructuralmente, las perturbaciones pueden llegar a propagarse debido a las conexiones estructurales creando un problema de ruido significativo [11].

En general la transmisión por vía estructural se mitiga aislando las conexiones rígidas entre elementos que puedan transmitir energía cinética de uno a otro, por medio de materiales elásticos que cumplan la función de resorte entre materiales y donde las vibraciones se disipen.

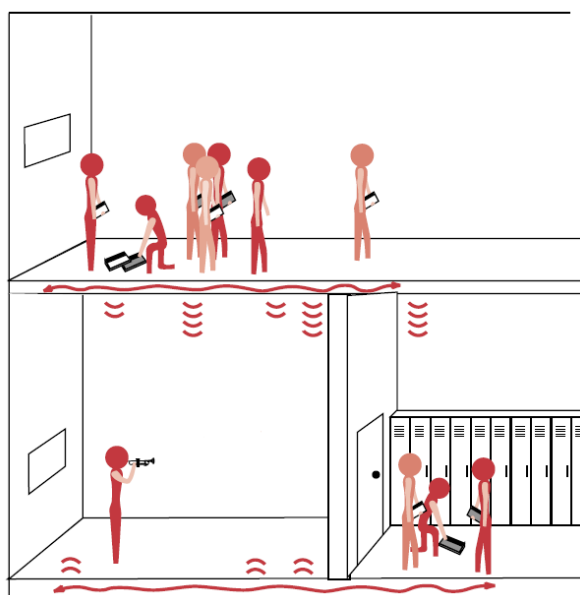


Figura 12. Ejemplo de transmisión vía estructural. Adaptado de [12]

4.3.1 Aislamiento al ruido de impacto

Las perturbaciones directas a superficies por parte de golpeteos, pisadas u otros eventos que impliquen una gran cantidad de energía en un instante de tiempo corto es el denominado ruido de impacto. Al tener mucha energía y transmitirse rápidamente por la estructura, corresponde a uno de los problemas que más quejas recibe por parte de vecinos continuos al sitio de propagación. Por lo general este tipo de ruidos son comunes en pisos donde el ruido se propaga en el recinto que se encuentra abajo. Para controlar este tipo de ruidos se utilizan suelos flotantes cuyo fin es amortiguar la energía vibratoria proporcionada por la fuente.

4.3.2 Suelo Flotante

Es un sistema construido para reducir el ruido de impacto, el principio de funcionamiento de este consiste en la implementación de un elemento amortiguador que aisle la transmisión estructural entre la capa rígida que está en contacto con la fuente y los soportes de la estructura. En la Figura 13 puede observarse la configuración típica de un suelo flotante. Así mismo, la Tabla 8, describe las ventajas y desventajas que proporciona.

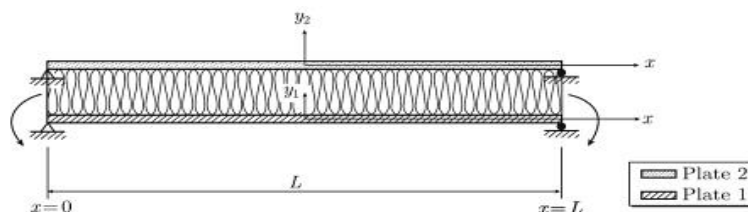


Figura 13. Configuración Suelo flotante. Tomado de [13].

La Tabla 8, describe las ventajas y desventajas de la implementación de un suelo flotante.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del suelo flotante como medida de aislamiento.

Ventajas	Desventajas
✓ Es una solución efectiva para recintos donde haya variadas fuentes de ruido de impulso.	✓ Para que sea efectivo debe tener un desacople estructural eficiente.

Como recomendaciones para esta metodología se tiene:

- ✓ Usar materiales elásticos en los parámetros verticales para evitar transmisión por vías alternas.
- ✓ Tener especial cuidado a los parámetros de la frecuencia de resonancia ya que a partir de esta comienza la efectividad del elemento.

4.4 AISLAMIENTO EN INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

Los sistemas de climatización pueden representar un foco de ruido significativo y de cuidado a la hora de realizar la insonorización de un recinto. Esto se debe a que representa una vía de ruido aéreo directa para el sonido producido por la sala hacia recintos contiguos; por otra parte al ser un sistema mecánico y al haber constante flujo de fluido dentro de él, representa un elemento crítico que debe tener un adecuado tratamiento.

4.4.1 Fuentes de ruido

Las principales fuentes de ruido en este tipo de sistemas son el sistema de ventilación, unidades interiores, unidades exteriores, conductos, rejillas y difusores.

4.4.2 Estrategias para insonorización de instalaciones de climatización

Las medidas utilizadas para el control de ruido de sistemas de climatización buscan obtener una reducción sonora alta, por lo que se deben controlar las variables que determinan la potencia acústica del sistema en sus diferentes componentes. Las metodologías se dividen en cuatro partes: absorción sonora, cambios de dirección, derivación y silenciadores. A continuación se presentan las metodologías más relevantes.

4.4.2.1 Absorción sonora

La atenuación proporcionada por un conducto con tramo recto está en función del coeficiente de absorción del material de las paredes. Agregar a las paredes materiales absorbentes con coeficientes de absorción altos en las frecuencias de interés representa un efecto notable en la atenuación sonora, ya que este disminuye las reflexiones dentro del canal, disminuyendo el nivel de presión sonora y en muchos casos vibración de las paredes. Este elemento proporciona una disminución considerable del nivel de presión sonora a medias y altas frecuencias.

A menudo a los dispositivos utilizados para obtener reducción de la energía sonora en ductos por medios disipativos se les conoce como silenciadores disipativos, en la Figura 14 se pueden observar las diferentes configuraciones de estos.

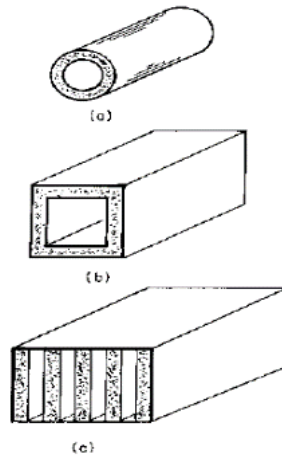


Figura 14. Configuraciones de silenciadores disipativos. (a) Sección transversal circular. (b) sección transversal rectangular. (c) tipo splitter. Tomado de [14].

4.4.2.2 Cambios de dirección

Son usualmente usados para tener una mayor pérdida por transmisión, cuya respuesta está en función de la frecuencia. Estos cambios se hacen mediante “codos” prefiriendo estos sobre cambios de dirección abruptos. En la Figura 15 puede observarse el esquema típico para esta metodología.

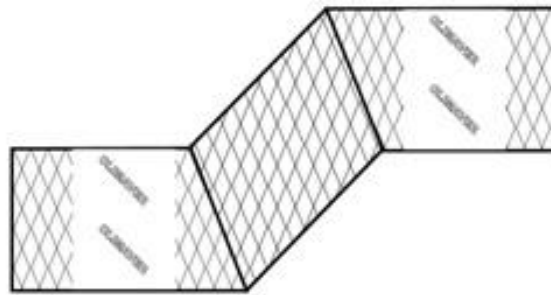


Figura 15. Esquema de cambio de dirección tipo “codo” en un ducto. Tomado de [15]

4.4.2.3 Derivación

Otra manera de atenuar la energía sonora dentro de un ducto es la derivación de una sección principal en varias secciones como se observa en la Figura 16.

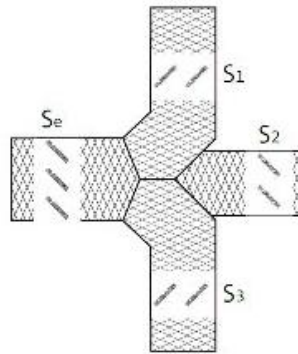


Figura 16. Derivación de un ducto en varias secciones. Tomado de [16].

4.4.2.4 Silenciadores

Son dispositivos hechos para atenuar el ruido dentro de un ducto, en especial en bajas frecuencias, debido al comportamiento físico producto de esta configuración. La pérdida por transmisión para estos elementos está en función de la relación entre la sección transversal de entrada y de salida.

Para obtener un aislamiento más efectivo se utilizan las cámaras de expansión, que son elementos con varios cambios sucesivos de sección transversal. En la Figura 17 se presenta un diagrama general de la cámara de expansión.

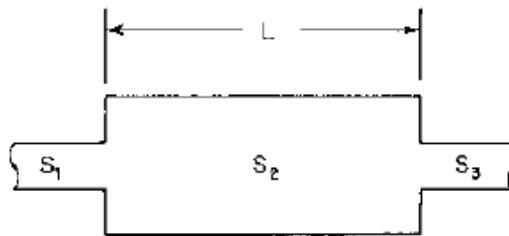


Figura 17. Diagrama cámara de expansión. Tomado de [14].

Las recomendaciones generales hechas para este tipo de metodologías son:

- ✓ Para aplicaciones en media y alta frecuencia utilizar la metodología del inciso a) Absorción Sonora, ya que los materiales absorbentes podrá controlar de manera efectiva el rango para el que esté diseñado.

- ✓ Para problemas con frecuencias bajas utilizar el silenciador de cambio de sección.
- ✓ Se puede realizar combinaciones de silenciadores con derivación de sección transversal. Esto ayuda de manera importante al aislamiento.
- ✓ Las unidades exteriores deben ubicarse en lo posible en lugares donde no haya posibles afectados por el ruido.

5. SISTEMAS DE REFUERZO SONORO

El refuerzo sonoro consiste en la utilización de elementos electroacústicos para la reproducción de sonido en una determinada área de audiencia. Los objetivos particulares de este tipo de sistemas son: la obtención de un nivel de presión sonora en un área objetivo, la fidelidad de la señal reproducida, la obtención de una alta inteligibilidad, y un cubrimiento acústico uniforme [17].

Para lograr estos objetivos, se deben tener en cuenta varias consideraciones técnicas relacionadas con el funcionamiento de los dispositivos que componen el sistema y su acople. A continuación se presentan los elementos y configuraciones de sistemas de refuerzo sonoro, enfocados a la reproducción y control de sonido para establecimientos comerciales.

5.1 CADENA ELECTROACÚSTICA

Es el sistema conformado por todos los elementos electrónicos que tienen como fin la captura, manipulación y posterior emisión de sonido. Estos elementos pueden ser clasificados de acuerdo a la función que cumplen en la cadena como: transductores, elementos generadores de señal y procesadores de señal. En la Figura 18 se pueden observar los elementos y flujo de señal dentro de la cadena electroacústica.

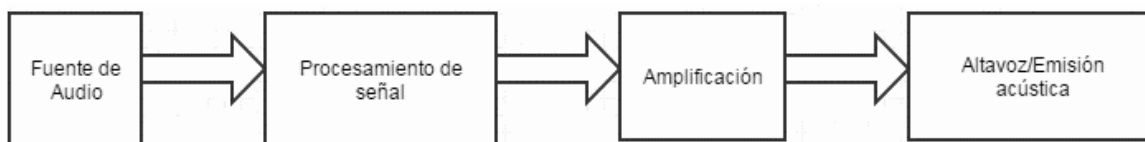


Figura 18. Flujo de señal en la cadena electroacústica.

5.1.1 Equipos

5.1.1.1 Transductores

Son dispositivos que convierten una señal de un tipo de energía en otro. En la cadena electroacústica existen transductores de salida (altavoces) y de entrada (micrófonos).

a) Micrófono

Es el primer elemento de la cadena electroacústica y es el encargado de convertir la energía acústica en señal de audio.

b) Altavoces:

Es el último elemento de la cadena electroacústica y es el encargado de convertir la señal de audio en energía acústica. Estos dispositivos están constituidos por cuatro partes fundamentales, las cuales son una bobina móvil, un imán, un cono y una estructura de soporte. En la Figura 19 se puede observar la ubicación de cada una de las partes que componen un altavoz.

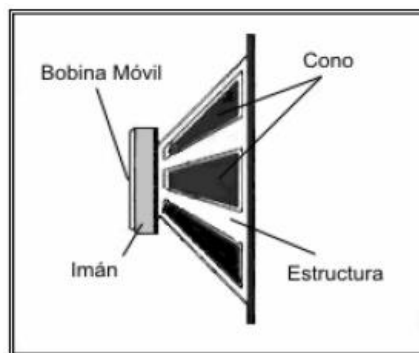


Figura 19. Partes de un altavoz. Tomado de [18].

En general, los altavoces comparten algunas de las características de los micrófonos como son: **respuesta en frecuencia y sensibilidad (ver anexo1).**

Pero además de esto existen otros factores que deben ser tenidos en cuenta para su selección y aplicación. Dichos factores son:

- **Impedancia de entrada:** que definirá la oposición al paso de potencia proveniente del amplificador y por lo tanto fijará las condiciones de la etapa de potencia (este parámetro es importante para la configuración del sistema, tema que está expuesto en la Sección 5.2 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*).
- **Eficiencia:** definida como la relación entre la potencia acústica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Este parámetro no es usualmente usado para el diseño de sistemas de sonido ya que no está directamente relacionado con el nivel de presión sonora radiado, en cambio sí es comúnmente usado para hacer comparaciones entre parlantes ya que representa una medida de como distribuye la potencia el dispositivo [19];
- **Directividad:** definida en el Anexo1, que presenta la manera en la que radia energía el altavoz, este parámetro es relevante a la hora de realizar diseños acústicos para

sonorización en zonas específicas. Todos estos factores están en función de la frecuencia, por lo tanto deben ser entendidos como una respuesta del parlante más que como un número, aunque en muchos casos se presenta solo un valor, el fabricante debe presentar las condiciones en las que se obtuvo dicho número [19]. En la Figura 20 se puede observar el diagrama polar que representa la directividad en un parlante.

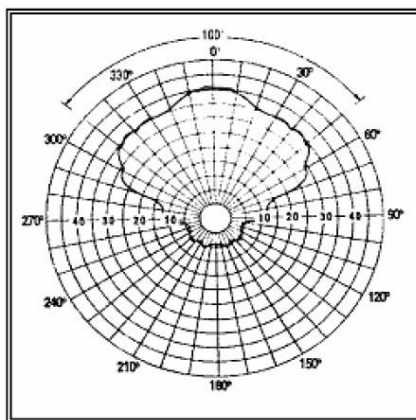


Figura 20. Representación de la directividad de un altavoz [18].

- **Distorsión** Se define distorsión como la alteración de la señal al pasar por un dispositivo de audio. En los altavoces es común la distorsión armónica, la cual agrega señales armónicas derivando en información indeseada para el audio. La distorsión armónica se cuantifica por medio del parámetro llamado *distorsión armónica total*, el cual representa la relación entre el valor eficaz de las componentes armónicas y el valor eficaz de la componente fundamental. Este se expresa como un porcentaje de distorsión. Se recomiendan valores de distorsión armónica total menores al 0.1% en función de tener una calidad de audio óptima. Estas señales pueden ser representadas por curvas de armónicos separadas como se presenta en la Figura 21.

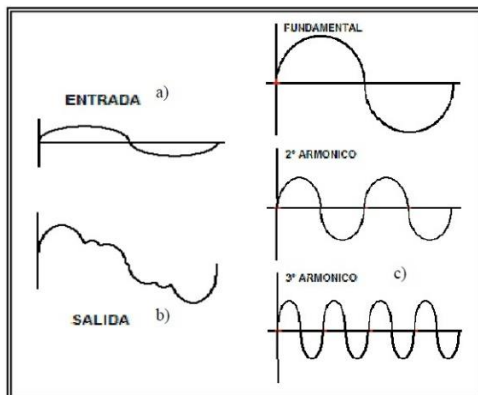


Figura 21. a) Señal de entrada. b) Señal de salida distorsionada. c) señal fundamental y su segundo y tercer armónico.

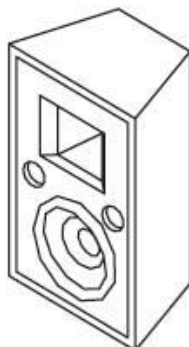





Figura 22. Altavoz de dos vías. Tomado de [20].

Los altavoces pueden clasificarse según el rango de frecuencias para el cual están hechos. Las frecuencias bajas exigen unas características físicas diferentes a las frecuencias altas para tener una radiación eficiente. A continuación en la Tabla 9 se expondrán los tipos de altavoces según su clasificación.

Tabla 9. Tipos de Altavoz

Tipo de Altavoz	Descripción	Figura
Woofer, reproducción de frecuencias bajas	Este tipo de altavoces tienen dimensiones grandes (alrededor de 12”) en función de que el cono pueda vibrar eficientemente ante ondas sonoras con longitudes de onda grandes.	
Midrange, reproducción de frecuencias medias	Son altavoces con dimensiones de entre 5 y 10 pulgadas. Este tipo de parlantes trabaja entre el corte en frecuencia superior del woofer y el corte inferior del tweeter, por lo que su rango de frecuencias de trabajo puede variar en función del sistema general.	

Tipo de Altavoz	Descripción	Figura
Tweeter, reproducción de frecuencias altas	Debido a que la longitud de onda de las frecuencias altas es menor al de las frecuencias bajas. En general estos parlantes tienen dimensiones menores a las 5 pulgadas y en algunos casos tienen forma de bocina.	

Se debe tener en cuenta que los parlantes serán una de las principales fuentes sonoras en establecimientos comerciales y que la insonorización de un recinto debe empezar por controlar su propagación.

Las recomendaciones generales para el uso de transductores en función de la insonorización de un recinto son:

- ✓ Preferir altavoces direccionales con la intención de radiar sonido directo solo a las áreas de interés.
- ✓ Buscar micrófonos direccionales que atenúen sonido de incidencia lateral no deseado.
- ✓ Buscar transductores con una respuesta en frecuencia enfocada a la aplicación deseada (Palabra hablada, música de ambiente, refuerzo sonoro de bandas en vivo, etc.).

5.1.1.2 Procesadores de señal

Son todos los elementos que modifican la señal de audio en alguna de sus características, estas pueden ser amplitud, frecuencia y rango dinámico. Los dispositivos procesadores más comunes para establecimientos comerciales son:

a) Consola/mesa de mezcla:

Es el dispositivo electrónico encargado de recibir y mezclar las señales provenientes de los elementos emisores de audio y micrófonos para obtener señales de salida. En la consola se le realizan varios procesos a la señal como son la pre-amplificación (amplificación de la señal a nivel de línea), ecualización y panorámica. Por lo general estos dispositivos permiten hacer más de una mezcla, lo que posibilita aplicaciones tales como el monitoreo de artistas y sonorización por zonas. La Figura 23 muestra un ejemplo de este tipo de dispositivo.

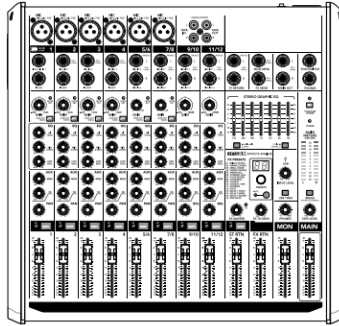


Figura 23. Mesa de mezcla, ejemplo. Tomado de [21]

b) Ecualizador:

Es un dispositivo utilizado para corregir las deficiencias de la respuesta en frecuencia de los sistemas de refuerzo sonoro. Existen varios tipos de ecualizadores en función de necesidades particulares. Los ecualizadores más comunes son: Shelving (vistos en dispositivos como consolas de mezclas) que atenúan o realzan frecuencias bajas y altas pero con la desventaja de trabajar con frecuencias por encima y debajo del rango audible, causando pérdidas de potencia y grandes exigencias a los altavoces; paramétricos (vistos en aplicaciones de audio digital) que con base en una frecuencia central y modificando los parámetros de ancho de banda y ganancia realizan la ecualización; y gráficos (como el de la Figura 24) que utilizan filtros por bandas de frecuencia para realizar el realce o atenuación.

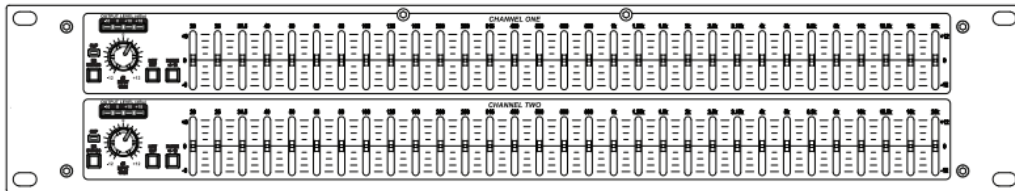


Figura 24. Ecualizador Gráfico. Tomado de [22].

c) Limitadores acústicos

Es un dispositivo diseñado para controlar el nivel de presión sonora generado por los equipos reproductores de sonido en locales comerciales, asegurando así que estos cumplan con las normativas locales de ruido de emisión [23].

Limitación acústica consiste en la atenuación del nivel de salida de un sistema cuando la señal que pasa por este, sobrepasa un nivel límite establecido [24]. Estos dispositivos, realizan una comparación entre un nivel de referencia y el nivel del sistema o de la sala para empezar a limitar

En aplicaciones dentro de establecimientos comerciales, donde el nivel de música tiende a ser más alto que el ruido de fondo (ruido producido por las personas, dispositivos con ruidos eléctricos, apertura de puertas y ventanas, entre otros), los limitadores utilizan micrófonos como sensores de nivel, de cuyos registros basará su funcionamiento.

En función de cuidar la calidad del audio los limitadores manejan un control de ganancia encargado de dar un nivel máximo al sistema en general, esto se hace para evitar que el dispositivo tenga que limitar demasiado el nivel de la señal.

El limitador debe estar ubicado justo antes de la etapa de potencia en la cadena electroacústica (ver sección 5.1.2). Generalmente, a la señal captada por el micrófono se le aplica ponderación A, (debido a que la normativa nacional establece los niveles máximos de ruido con esta ponderación), aunque es posible su modificación [25]. Otra función importante que tienen estos dispositivos es la incorporación de módulos de registro donde se almacenan datos de niveles registrados por intervalos de tiempo, esto posibilita la gestión de la información para realizar informes de control [26].

Las especificaciones más generales a tener en cuenta en estos dispositivos se presentan en la Tabla 10. Así mismo en la Tabla 11 se presentan las ventajas y desventajas de este dispositivo como estrategia para la disminución de los niveles de ruido.

Tabla 10. Especificaciones generales de un limitador acústico

Clase:	Hace referencia a la precisión de la instrumentación usada. Usualmente se utiliza clase 2 cuya precisión corresponde a mediciones de campo.
Características de entrada:	Hace referencia al tipo de entrada, Impedancia y nivel máximo.
Características de salida:	Hace referencia al tipo de salida e Impedancia.
Distorsión armónica:	Presenta un valor en porcentaje la distorsión agregada a la señal al pasar por el sistema. Cuanto menor sea esta, se tiene una mayor calidad. Se recomiendan valores no más altos al 0,1%.
Respuesta en frecuencia:	Presenta el rango útil y nivel en la salida del dispositivo para las diferentes frecuencias
Relación señal a ruido	Es la diferencia de nivel entre el ruido (eléctrico o propio del sistema) y la señal. Mientras mayor sea esta relación mayor será la calidad del dispositivo.
Atenuación Manual	Es la atenuación en dB proporcionada por el limitador, usualmente se trabaja un rango de 0 a 50dB.

Tabla 11. Ventajas y desventajas de la implementación de limitadores acústicos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Son una medida complementaria al aislamiento acústico en función de cumplir con las normativas locales. ✓ No daña la calidad del audio si se hace una correcta configuración. ✓ Tiene la posibilidad de monitoreo constante. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Su correcto funcionamiento está limitado por la posición donde se pongan los micrófonos. ✓ Mientras menos micrófonos se tengan, menor será la representación del nivel en el recinto. ✓ Modifica la respuesta en frecuencia de la señal ✓ Puede producir daños en equipos de la cadena producto del exceso de limitación de la señal.

Los limitadores Acústicos son una medida complementaria para disminuir los niveles de ruido producido por la reproducción y amplificación de música u otros. En algunos casos la implementación de estos, impiden el desarrollo adecuado de las actividades que se realicen en los establecimiento, donde se puede obtener como resultado niveles de muy bajos dentro del lugar donde el ruido de fondo lo supere e impida el desarrollo adecuado de estas actividades.

De una u otra forma, la implementación de limitadores Acústicos, debe estar acompañada de estudios previos que evalúen si este tipo de solución proporciona en el establecimiento la disminución de los niveles de ruido en el exterior, sin afectar los niveles deseados en el interior.

d) Amplificador de Potencia

Es el elemento encargado de llevar la señal de nivel de línea a nivel de potencia para ser entregada al altavoz (Figura 25). Estos elementos deben tener la potencia suficiente para alimentar la cantidad de parlantes a los que esté sujeto, para esto se debe tener en cuenta el tipo de configuración que se realice (ver sección 5.1.3), y la impedancia de salida de este, ya que el acople entre la impedancia de salida del amplificador y la impedancia de entrada del parlante o el sistema de altavoces determinará que tanto se aproveche la potencia del mismo.

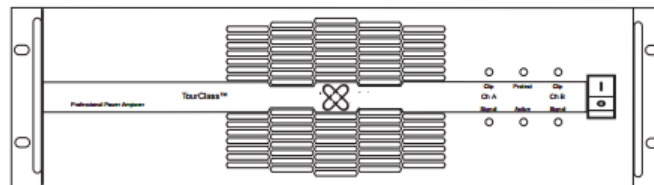


Figura 25. Presentación general de un amplificador de potencia para aplicaciones de audio

5.1.2 Configuración de la Cadena Electroacústica

El flujo de la cadena electroacústica está en función de las etapas de nivel de la señal y los procesos realizados a esta. El flujo adecuado para trabajar en establecimientos comerciales se presenta en la Figura 26.

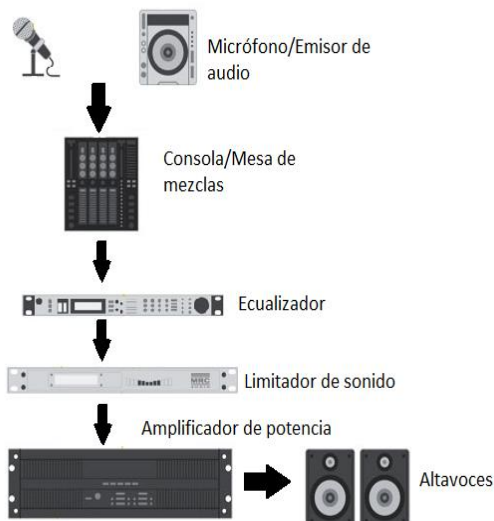


Figura 26. Configuración de una cadena electroacústica básica. Adaptada de [23].

5.1.3 Sistemas de Distribución de Potencia Centralizados y Descentralizados

La forma en la que se distribuye la potencia en el sistema tiene un efecto directo sobre la calidad de audio del mismo y el tipo de dispositivos que se podrán usar. Las dos formas de distribución de potencia son: **centralizados** y **descentralizados**.

5.1.3.1 Sistemas de potencia centralizada

Es la configuración más utilizada en establecimientos de comercio y entretenimiento. Este tipo de sistemas permite la utilización de varios parlantes distribuidos a diferentes “zonas”, posibilitando el control independiente de áreas y el cubrimiento homogéneo de las mismas. Su principio consiste en la utilización de cables largos con tensiones del rango de 70.7 a 100 voltios [27], evitando pérdidas de potencia; para esto se utilizan transformadores tanto en la salida del amplificador como en la entrada de los altavoces.

Tabla 12. Ventajas y desventajas del sistema centralizado como sistema de distribución de potencia.

Ventajas	Desventajas
✓ Permite la sonorización de varias zonas de control independiente y de	✓ La respuesta en frecuencia está limitada por efecto de los transformadores involucrados.

varios altavoces con un solo amplificador.	✓ El daño del amplificador afecta a todo el sistema
--	---

5.1.3.2 Sistemas de potencia descentralizada

Se utiliza para reproducción de audio con alta calidad. Se basa en la utilización de un amplificador para cada zona de sonorización. Entre sus características está la utilización de amplificadores con potencia más reducida en relación a los de potencia centralizada.

Tabla 13. Ventajas y desventajas del sistema descentralizado como sistema de distribución de potencia.

Ventajas	Desventajas
✓ Permiten la reproducción de audio de alta calidad.	✓ Implican más costos en relación con la potencia centralizada.
✓ El daño de un amplificador solo afecta algunos altavoces.	✓ Los amplificadores deben estar cerca de los altavoces.

5.2 CABLEADO

Los cables son los elementos encargados de transportar la señal de audio de un dispositivo a otro. Están compuestos de conductores trenzados hechos en general por aleaciones de cobre y bronce. A razón de proteger la señal de ruidos electrostáticos se utilizan blindajes envueltos o enmallados y materiales dieléctricos que ayudan a mejorar condiciones a las que están expuestos los conductores.

En audio existen dos tipos de conexiones para transporte de la señal que son la conexión **balanceada y no balanceada**.

5.2.1 Conexiones balanceadas

La línea balanceada lleva la señal dos veces, una con polaridad invertida. Estas conexiones se realizan en cables con tres conductores y conectores de tres pines para la señal, la señal invertida y tierra. Su función es la de atenuar las interferencias electro-magnéticas inducidas en los cables. Los tipos de conectores más usados para este tipo de conexión son los XLR y TRS.

En muchas ocasiones es erróneamente utilizado el término “cable estéreo” o “conector estéreo” para nombrar este tipo de configuraciones; en realidad lo que se tiene en esta distribución son conectores con tres conexiones.






5.2.2 Conexiones no balanceadas

Las líneas no balanceadas solo llevan una señal que se transporta en cables de dos conductores, y conectores con pines para la señal y la tierra. Estas conexiones son sensibles a interferencias electro-magnéticas y son usados para instrumentos musicales y dispositivos de audio no profesional. Los conectores más comunes para estas conexiones son TS y RCA.

5.2.3 Conectores

A continuación en la Tabla 14 se describen algunos tipos de conectores típicos en la instalación de sistemas de refuerzo sonoro.

Tabla 14. Tipos de conectores usados en audio.

Tipo de Conector	Descripción	Imagen
XLR	Es el conector más usado para aplicaciones de audio profesional, ya que puede ser utilizado para transportar señales balanceadas que se traduce en menos ruido.	
TS	Son conectores usados para conexiones no balanceadas, estos llevan en su parte superior (Tip) la señal y en su parte inferior (Sleeve) la tierra. Son comúnmente usados para conexión de instrumentos musicales	
TRS	Se usa para conexiones balanceadas, tiene una sección más en comparación con el conector TS llamada “ring”, que es la encargada de llevar la señal invertida	
RCA	Conector usado para conexiones no balanceadas, en aplicaciones de audio se encuentran de varios colores que determinan su empleo	
Adaptadores	Son dispositivos que permiten cambiar de un tipo de conector a otro.	

6. DISTRIBUCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SONIDO PARA EL CONTROL DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN LOCALES COMERCIALES CON MÚSICA AMPLIFICADA

En general, los locales comerciales tales como bares, clubes y discotecas, están sujetos a altos niveles de ruido. Una de las razones para que esto pase, es que, para los clientes de estos establecimientos es usualmente atractivo altos niveles de música. Por lo tanto las medidas de

control deben estar enfocadas al cumplimiento de las normativas de emisión particulares, y el cuidado de la salud de las personas dentro del lugar.

Para el control de la emisión de música por parte de locales de uso comercial deben realizarse diseños acústicos previos a la construcción del recinto, o de control en caso de estar ya construido. Esto se hace teniendo en cuenta las variables que determinarán su comportamiento acústico como la distribución del local, la distribución del sistema de altavoces, y la existencia de actuaciones en vivo, que son temas que deben ser evaluados en pro de realizar un diseño de insonorización adecuado. A continuación se presentan recomendaciones de control de ruido enfocadas a la insonorización de locales comerciales que cuenten con música amplificada.

6.1 DISTRIBUCIÓN DEL LOCAL

Para realizar diseños de control sobre recintos se debe tener muy en cuenta su distribución, ya que la disposición de las paredes y superficies determinarán el comportamiento de las reflexiones dentro de la sala. Las variables a tener en cuenta a favor de la distribución del local se presentan a continuación:

6.1.1 Separación física

Es importante, de ser posible, distribuir el recinto por zonas de uso, con el fin de darle prioridad en el nivel a la audiencia que lo requiera, y disminuirlo en los sectores donde se considere ruido. Un ejemplo de esto podría ser el caso de un club, en este debería existir una zona destinada a la pista de baile, cuya localización en el recinto debería estar alejada o separada de la barra, donde los niveles de ruido deben ser mucho menores. Esto en función de tener un menor nivel de presión sonora total dentro del recinto, y un confort acústico más elevado por parte de los usuarios.

6.1.2 Superficies

Se debe realizar una evaluación del efecto que tiene o tendrá cada una de las superficies del recinto en el campo acústico total de la sala. Variables tales como la absorción y pérdida por transmisión sonora de los elementos, deben ser tenidas en cuenta para los diseños, en fin de realizar intervenciones efectivas. Las estrategias para la insonorización de los elementos que componen un recinto se especifican de manera técnica en la sección 4 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*, estas de manera preferencial deberían diseñarse antes de la construcción con el objetivo de tener un mayor control sobre la acústica del local.

6.1.3 Concentración de la música

En recintos donde no sea posible la separación por zonas debe procurarse la utilización de parlantes direccionales que radien el nivel de presión sonora a las áreas de interés (ver sección 5.1.1.1 b) de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*), esto reducirá el nivel de la música en zonas de destinadas actividades alternas (barras, cajas de pago, lobbies sin separación física, etc.). Este recurso debe ser aplicado en el diseño acústico de recintos, junto con la distribución de los altavoces, cuya temática será tratada de forma más específica en la **sección 6.2**.

6.2 DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ALTAVOCES

En general para los locales comerciales se busca una distribución homogénea del nivel de presión sonora en función de las áreas a sonorizar. Para esto se debe tener en cuenta que el nivel producido por un parlante hasta un oyente cambiará en función de la distancia entre ellos y el tiempo de reverberación del lugar. Para obtener un nivel adecuado en el oyente, es recomendable que el eje del altavoz esté en dirección a este y que la distancia que los separa no sea muy grande. Dicho esto, y en función de cumplir con los requerimientos acústicos de cada lugar, se debe tener en cuenta el tipo de distribución de altavoces a utilizar.

En locales comerciales donde se requiere niveles de presión sonora en zonas específicas, se debe optar por un sistema de altavoces **distribuido**, que consiste en ubicar parlantes dispersos alrededor del área a sonorizar, esto proporciona un campo acústico homogéneo debido a la acción de todos los altavoces en conjunto, además de esto tiene la ventaja de no requerir la emisión de altos niveles de presión sonora por parte de los parlantes ya que su distribución hace que no se pierda nivel en ningún punto de la zona. En la Figura 27 se observa la representación de un sistema de altavoces distribuido.

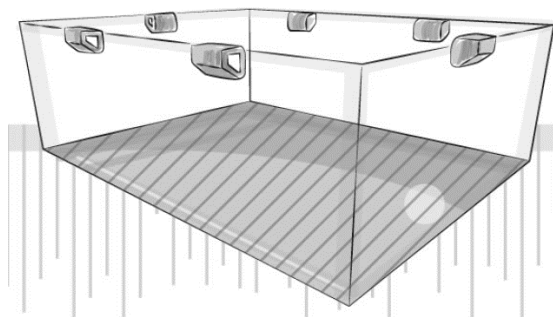


Figura 27. Representación de sistema de altavoces distribuido. Tomado de [28]

Por otra parte, el sistema de altavoces **centralizado** consiste en la focalización de un punto de emisión donde se encuentran los parlantes y de donde se radiará la energía sonora hacia el público, este tipo de sistema obliga al usuario a aumentar el nivel de los altavoces para llegar hasta los puntos más alejados, haciendo que las personas más cercanas estén expuestas a altos

niveles de presión sonora. Este sistema no es recomendable para locales donde se reproduzca música de ambiente ya que no proporciona un nivel homogéneo. En la Figura 28 se observa la representación de un sistema de altavoces centralizado.

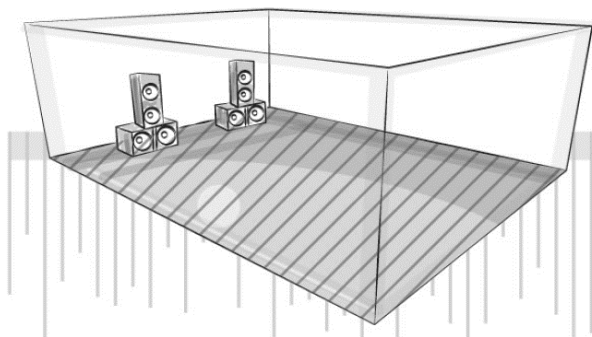


Figura 28. Representación de sistema de altavoces centralizado, Tomado de [28].

El posicionamiento de cada uno de los altavoces debe estar pensado, teniendo en cuenta su directividad y paredes cercanas, en función de evitar reflexiones indeseadas que aumenten el campo reverberante del recinto. Esto puede evitarse con el posicionamiento de parlantes en el techo, ya que el sonido que radia este está direccionado solo a la audiencia de interés.

Debido a que los altavoces están unidos estructuralmente a las paredes del local, las vibraciones producidas por este pueden transmitirse mecánicamente a los elementos del lugar, y así causar ruido no solo en el recinto propio, si no, en recintos contiguos. Para evitar esto se deben usar elementos que ayuden al desacople estructural como los detallados en las estrategias para el aislamiento por vía estructural en la sección 4.3 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*.

En función de cuidar la calidad de la música reproducida se deben tener en cuenta los aspectos detallados en la sección 5.1.1.1 b) de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*. También, se debe tener en cuenta que el tiempo de reverberación propio de la sala influirá directamente sobre la percepción musical; altos tiempos de reverberación proporcionan pérdida de inteligibilidad en la música reproducida, esto es muchas veces confundido con falta de nivel, por lo que se tiende a subir los niveles de potencia a los dispositivos creando campos sonoros con altos niveles de presión sonora que no mejoran el problema. Para tratar este problema se recomienda realizar el diseño acústico del recinto, con la intención de seleccionar y ubicar correctamente materiales que ayuden a bajar los tiempos de reverberación. En la **sección 6.4** se presentan pasos para el diseño de sistemas de altavoces en función de las condiciones y propósitos particulares de cada establecimiento.

6.3 ACTUACIONES EN VIVO

En algunos locales es una constante la presentación de música en vivo, esto implica otras características que deben ser tenidas en cuenta en pro de disminuir los niveles de sonido transmitidos al exterior, sin alterar la calidad de la presentación. Uno de los factores relevantes será la ubicación de los músicos dentro del establecimiento; estos deben encontrarse ubicados cerca del área que se pretende sonorizar, con el fin de evitar la necesidad de altos niveles de potencia en los equipos de audio.

También es importante que los parlantes estén en posiciones elevadas para tener una mayor cobertura en función de su directividad. Es común que en establecimientos pequeños los músicos sean los que tengan el control del sistema de refuerzo sonoro, esto debe evitarse en función de que el establecimiento pueda asegurar en todo momento los niveles máximos a los que puede llegar. Otro de los problemas que se presenta a la hora de realizar la sonorización de actuaciones en vivo, es la incomodidad de los músicos debida a deficiencias en el monitoreo, ya que esta situación los obligan a subir el nivel de sus instrumentos aumentando el nivel de presión sonora en el recinto. Esto puede mejorarse proporcionando al músico un sistema de monitoreo individual como lo son los auriculares, que además de suplir las necesidades propias de cada artista, no aporta ruido al recinto.

6.4 PASOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALTAVOCES EN LOCALES COMERCIALES

Para la selección del sistema de reproducción más óptimo en función de las necesidades del establecimiento, se recomienda el siguiente procedimiento de evaluación:

6.4.1 Realizar un plano planta y de elevación del establecimiento

Con el fin de tener una visualización del local y el área en general, se deben realizar planos donde se presente:

- Las dimensiones del local.
- Las áreas de audiencia y áreas de menor cobertura.
- Sitios donde no se pueden instalar altavoces.

6.4.2 Estimar el volumen de la sala

Con las dimensiones de los planos de planta y de elevación realizados se debe calcular el volumen total del recinto. Se recomienda en caso de tener dimensiones irregulares el dividir el recinto en áreas rectangulares para simplificar el cálculo.

6.4.3 Estimar el tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación es un parámetro de gran relevancia en el diseño del sistema de sonido, ya que determina en gran parte el comportamiento de la energía acústica dentro de un recinto luego de ser excitado. Ya que este parámetro está en función de la frecuencia, se debe tener especial cuidado con los tiempos de reverberación de las bandas de 500Hz a 2000Hz debido a que es el rango donde se encuentra la mayor parte de la energía de la voz hablada [19]. Se debe tener en cuenta que lugares con tiempos de reverberación muy altos van a tener problemas para la implementación de sistemas de sonido y de preferencia deberían tratarse. En la Tabla 15 se presenta una referencia para la estimación del tiempo de reverberación.

Tabla 15. Referencia para la estimación del tiempo de reverberación. Adaptado de [19].

Tiempo de reverberación (Segundos)								
0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Seco			Moderadamente Reverberante			Reverberante		
Sala de Conferencias			Típico Auditorio			Coliseo		

Usualmente en establecimientos comerciales se desea tiempos de reverberación de alrededor de 1.5 segundos con la intención de mantener una buena inteligibilidad de la palabra [19], por lo tanto se recomienda tratar acústicamente a los recintos con valores altos en este parámetro. Es importante la asesoría de un consultor acústico en el proceso de estimación de parámetros acústicos.

6.4.4 Determinación del Nivel Máximo de Presión Sonora Continuo

Se debe hacer una determinación del nivel máximo de presión sonora continuo que se desea en el establecimiento. Esta determinación debe tener en cuenta parámetro como los niveles máximos permitidos por las normativas locales y el confort acústico de los usuarios en función del uso del local. Para esto se recomienda el uso de la Tabla 16, que ilustra la relación entre el nivel de presión sonora y el uso del establecimiento [19].

Tabla 16. Relación Nivel de Presión Sonora Dentro del Establecimiento y su Uso.

Nivel de Presión Sonora (dB)							
75	80	85	90	95	100	105	110+
Moderadamente Fuerte		Fuerte		Muy Fuerte		Extremadamente Fuerte	
Refuerzo Típico Para Palabra Hablada		Música Para Entretener.		Club Nocturno		Concierto de Rock	

La medición del nivel de presión sonora continuo corresponde al nivel promedio medido por un sonómetro cuando el sistema está reproduciendo ruido rosa, y con operando en las condiciones de uso diseñadas.

6.4.5 Posición y Ángulo de Cobertura

La directividad de un parlante será determinante para su selección, con este parámetro define como será el cubrimiento del área que se desea sonorizar y proporcionará información importante para la distribución y número de altavoces. Para el proceso de diseño se recomienda la utilización de los planos ya realizados y la información del Ángulo de cobertura de cada parlante (que debe ser proporcionada por el fabricante). Se debe poner los parlantes en una disposición tal que cubran el 80% del área que se desea sonorizar con una pérdida de no más de 3 dB. En la Figura 29 se presenta la representación gráfica de la cobertura de un altavoz, cuyo ángulo está definido por el decaimiento en 6 dB del nivel de presión sonora medido con respecto a su eje.

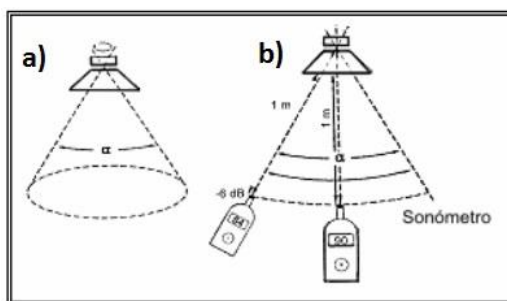


Figura 29. a) Representación del ángulo de cobertura de un altavoz. b) representación de la determinación del ángulo de cobertura [18].

6.4.6 Solapamiento de fuentes

Cuando se tiene un sistema distribuido, la disposición de los parlantes puede hacerse de muchas maneras en función de la disposición del área de audiencia y prioridades del recinto. Sin embargo existen algunos criterios que se basan en el número de altavoces por unidad de área. Se usan las configuraciones de espaciamiento rectangular y hexagonal como se presenta en la Figura 30.

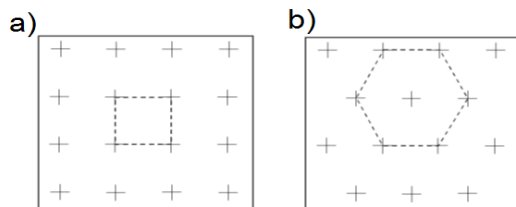


Figura 30. a) Configuración de espaciamiento rectangular. b) Configuración de espaciamiento hexagonal [29].

Se puede observar que la configuración rectangular implica menos cantidad de parlantes y por consiguiente es un sistema menos costoso.

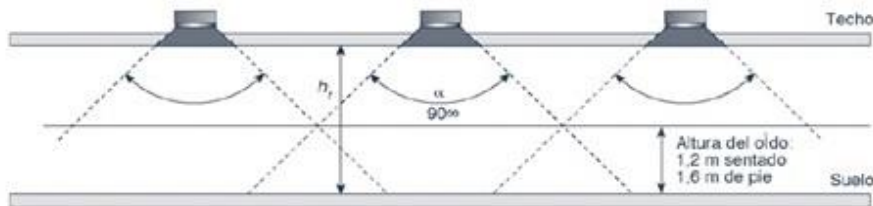


Figura 31. Representación de sistema de altavoces en función de su ángulo de cobertura [30].

Para el establecimiento de criterios de cobertura, se debe tener en cuenta el ángulo de cobertura de los parlantes. Por lo tanto partiendo del radio de cobertura circular de cada parlante hasta la altura donde estará la audiencia se tienen los criterios en función de las configuraciones antes vistas. En la Figura 32 y Figura 33 se pueden observar los tipos de solapamiento para la configuración rectangular y hexagonal respectivamente.

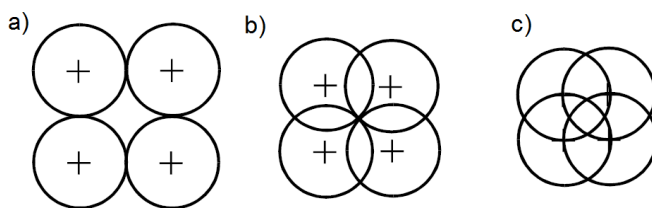


Figura 32. Tipos de solapamiento para configuración rectangular. a) Solapamiento cara a cara (sin solapamiento). b) Solapamiento mínimo (máxima cobertura y mínimo solapamiento). c) Solapamiento centro a centro (máxima densidad en la cobertura) [29].

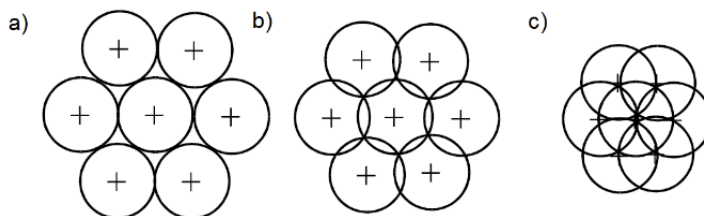


Figura 33. Tipos de solapamiento para configuración hexagonal. a) Solapamiento cara a cara (sin solapamiento). b) Solapamiento mínimo (máxima cobertura y mínimo solapamiento). c) Solapamiento centro a centro (máxima densidad en la cobertura) [29].

6.4.7 Criterios para la selección del tipo de solapamiento

Tener menos cantidad de parlantes y menos solapamiento entre ellos resultará en un sistema menos costoso, pero implicará tener diferencias de nivel en algunas partes del área de audiencia (no homogeneidad acústica). Por otra parte, mayor cantidad de parlantes y solapamiento derivará en mayor cobertura en el área de audiencia y mejorará la relación entre la música y el ruido proveniente de las personas dentro del recinto. Se debe hacer una evaluación entre la funcionalidad de la música en el recinto para seleccionar la opción más efectiva. En la Tabla 17 se presenta una pauta para la selección del tipo de solapamiento en función de la funcionalidad de la música en el recinto.

Tabla 17. Pautas para la selección del tipo de solapamiento. Adaptado de [29].

	Solapamiento Cara a Cara	Solapamiento Mínimo	Solapamiento Centro a Centro
Música de ambiente de bajo nivel	✓	✓	✓
Música de ambiente con sistema de altavoces básico	Posiblemente	✓	✓
Música como primer plano con un sistema de alta calidad	✗	Posiblemente	✓
Refuerzo fuerte para voz	✗	Posiblemente	✓

6.4.8 Cálculo de niveles de potencia para altavoces en función del nivel de presión sonora deseado

Para la determinación de la potencia necesaria en cada altavoz del sistema es necesario establecer el nivel de presión sonora deseado en el área de audiencia, la distancia del altavoz al receptor y la sensibilidad del parlante [31]. Este cálculo puede realizarse a partir de la ecuación (1).

$$PER = 10^{\frac{L_p + 20 \log \frac{D}{r} - L_s}{10}} \quad [31] \quad (1)$$

donde

PER es la potencia eléctrica requerida por el altavoz (W).

L_p es el nivel de presión sonora deseado (dB).

D es la distancia del altavoz al receptor (m).

r es la distancia de referencia para la especificación de sensibilidad del altavoz (m).

L_s Sensibilidad del altavoz (dB).

7. DISEÑO DE SISTEMAS DE SONIDO PARA LOCALES COMERCIALES CON DIFERENTES USOS

Para la aplicación del diseño de sistemas deben ser tenidas todas estas variables pensadas en la funcionalidad del recinto y las necesidades para el confort acústico de los usuarios. Un café por ejemplo requerirá un sistema con características muy diferentes a una discoteca, ya que el nivel de presión sonora buscado en el área de audiencia es diferente. En general habrá dos situaciones para el diseño de sistemas en locales comerciales que difieren en la funcionalidad de la música para los mismos. Estas situaciones son: **La música como ambiente** y **la música como protagonista**.

7.1 DISEÑO DE SISTEMAS DE SONIDO PARA LOCALES CON MÚSICA DE AMBIENTE

Aunque el nivel de música de ambiente puede variar en función de los objetivos de cada local, se debe tener en cuenta que este tipo de configuraciones debe priorizar la comunicación entre las personas, ya que la música jugará un papel secundario en el recinto. Para esto debe tenerse en cuenta que a medida que la música tiene más nivel, las personas deberán hablar más fuerte, aumentando el nivel de ruido y reduciendo el confort acústico de las personas dentro de la sala. En la Tabla 16 se observan los niveles de presión sonora asociados al uso del recinto. Para locales con música de ambiente se recomiendan niveles de **75** hasta **90 dB**, y a partir de estos niveles realizar el diseño. En este tipo de recintos es recomendable el uso de parlantes ubicados en el techo ya que proporcionan los niveles de presión deseados en el área de audiencia y al mismo tiempo pueden estar alejados de superficies reflectantes que aumenten el nivel. El tiempo de reverberación es un parámetro de gran relevancia en estos locales, ya que altos valores pueden afectar la inteligibilidad de la palabra en el recinto, afectando la comunicación entre las personas; se recomiendan tiempos no mayores de **1.5 segundos**, a favor de un alto confort acústico.

7.2 DISEÑO DE SISTEMA DE SONIDO PARA LOCALES CON MÚSICA EN PRIMER PLANO

Para locales con música como protagonista se requieren niveles de presión sonora mayores en comparación con locales para música de ambiente. Esto debido a la naturaleza de las actividades que en estos se realizan (baile, música como entretenimiento principal, shows en vivo, etc.). Para este tipo de sitios se debe tener especial cuidado en lograr un balance entre el confort acústico de los clientes y el cumplimiento de las normativas de emisión de ruido locales.

Los niveles de presión sonora usuales para este tipo de locales varían entre los **90 y 100 dB**, valores más altos deben ser evaluados función de no exceder con los niveles de emisión máximos hacia el exterior. Debido a que en este tipo de sitios la palabra hablada no es la

protagonista, se pueden permitir tiempos de reverberación más altos en función de mejorar la percepción subjetiva de la música (ver Tabla 15) [32].

7.3 CONSIDERACIONES GENERALES

Para el correcto diseño del sistema de sonido se debe tener en cuenta principalmente las necesidades del recinto. Características antes mencionadas como son las dimensiones del mismo, los materiales que lo componen, el nivel de presión sonora deseados y el tiempo de reverberación son variables que tendrán impacto directo en el sistema a seleccionar. Se recomienda contar siempre con la asesoría de un profesional en el tema para obtener el mejor balance entre los requerimientos del sitio y las limitaciones del mismo.

8. RECOMENDACIONES Y ASPECTOS GENERALES

Antes de realizar cualquier intervención acústica en un recinto, se deben tener en cuenta varios puntos que ayudarán a definir los parámetros de las medidas a utilizar. Dichos puntos pueden ser definidos en función de preguntas enfocadas a las condiciones acústicas del local. Dichas preguntas se presentan a continuación:

- ¿Está cumpliendo mi establecimiento con la normativa de ruido actual?
- ¿Están los niveles de presión sonora de mi establecimiento acordes con el uso al que está dirigido?
- ¿Están los elementos de mi establecimiento acondicionados de manera que el ruido no sea un problema tanto dentro como fuera de él?
- ¿Es mi sistema de refuerzo sonoro acorde con el uso para el que está siendo utilizado?
- ¿Existe confort acústico para clientes?, si la respuesta es no ¿Cuáles son las razones?
- ¿Es el tiempo de reverberación de mi recinto acorde con las actividades que se realizan en él?
- ¿Tengo cobertura homogénea en el área de audiencia de mi establecimiento?

9. RECOMENDACIONES TÉCNICAS Y HUMANAS

La implementación de todas las metodologías de insonorización deben ser realizadas por profesionales especializados en el área, tales como ingenieros de sonido o ingenieros acústicos, y personal técnico capacitado en la instalación de soluciones acústicas, quienes cuentan con los conocimientos necesarios para realizar procesos tanto de evaluación y diseño, como de implementación y control. Para el diseño de sistemas de refuerzo sonoro debe incluirse enfocada a equipos de audio y conocimientos de sonorización por parte de fuentes electroacústicas (con énfasis en aplicaciones de audio en vivo).

Para la implementación de las medidas de aislamiento deben tenerse en cuenta las recomendaciones detalladas en la sección 4 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico* y

Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos. También, se debe tener en cuenta que los montajes de medidas de control de ruido tienen en muchas ocasiones, implicaciones estructurales que deben ser evaluadas. Para esto es importante que un ingeniero civil o arquitecto especializado en estructuras avale la viabilidad de la medida.

Para la instalación de medidas de refuerzo sonoro deben tenerse en cuenta las recomendaciones expuestas en la sección 5 de la *Guía Técnica para Aislamiento Acústico y Diseño y Configuración de Sistemas de Refuerzo Sonoro para Establecimientos*. En general se debe cuidar la integridad de los equipos de audio, por lo que se debe tener especial atención a la potencia eléctrica para la que están diseñados, y sus impedancias de entrada y de salida que determinará el flujo de la tensión dentro de estos. Es de relevancia elegir el sistema de distribución de potencia más óptimo según las necesidades particulares del establecimiento (ver sección 5.1.3) y tener en cuenta la disposición de los transductores de entrada y de salida para prevenir retroalimentaciones en el sistema que puedan dañarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S&P Mexico, «Soler Palau Ventilation Group,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.soler-palau.mx/acustica.php>. [Último acceso: 10 12 2015].
- [2] R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [3] M. Möser y J. L. Barros, Ingeniería Acústica, Teoría y Aplicaciones 2nda Edición, Springer, 2009.
- [4] H. Kuttruff, Acoustic: An Introduction, Taylor & Francis , 2007.
- [5] C. H. H. David A. Bies, «Engineering Noise Control (Fourth Edition),» 2009.
- [6] B. Pedán Rebollo, «Aislamiento a Ruido Aéreo entre Locales. Estimación de Incertidumbre de Medida,» 2011.
- [7] Grupo Guachi, 2015. [En línea]. Available: <http://www.grupoguachi.es/consejos-de-guachi.htm>.
- [8] Lorient Polyproducts Ltd, *Sealing Systems for Door Assemblies: An Introductory Guide* 2014.
- [9] Sound Service, «BASIC SOUNDPROOFING FOR PUBS AND CLUBS A Guide for the Venue Owner».
- [10] E. Alexandre, *Aislamiento Acústico*, 2013.
- [11] Departamento de Teoría de Señal e Comunicaciones, «El Aislamiento Acústico,» [En línea]. Available: http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo_dos_c.htm.
- [12] Wenger Corporation, «Acoustics Problems & Solutions,» Owatonna, 2000.
- [13] A. Nilsson y B. Liu, Vibro-Acoustics Second Edition, vol. 1, Springer, Ed., 2015.
- [14] R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [15] FiberGlass, *Acústica en Instalaciones de Climatización*, 2012.
- [16] ISOVER, «Modelización Acústica en Instalaciones de Climatización: Contribución de las Redes de Distribución de Aire,» DYNA.
- [17] «Diseño e instalación de sistemas de sonido,» [En línea]. Available: http://tsc.unex.es/~tabo/EA/EA_tema6_02_2h.pdf. [Último acceso: 2015].
- [18] R. L. Bueno Jiménez y D. Téllez León, «Altavoces,» México D. F., 2008.
- [19] Bose, professional products, Sound System Design Guide, 1994.
- [20] M. Long, Architectural Acoustics Applications of Modern Acoustics, Elsevier Academic Press, 2006.
- [21] Makie, *Owner's Manual ProFX v2 Series*, 2015.
- [22] dbx by Harman, *Manual de Instrucciones. ecualizadores Gráficos..*

- [23] TELCO, 25 04 2013. [En línea]. Available: <http://telcoavi.es/blog/que-son-los-limitadores-de-sonido/>.
- [24] MCR AUDIO, *Manual de usuario, Controlador-Limitador LD-500*, Madrid, 2005.
- [25] OMS, «Guías para el ruido urbano,» 1999.
- [26] CESVA, «LRF-05 Limitador Registrador Frecuencial,» [En línea]. Available: http://datasheets.cesva.com/lrf-05_esp.pdf.
- [27] F. J. T. Rodríguez, «Sistemas de Audio Distribuido de Voltaje Constante,» 2005.
- [28] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, «Guía de buenas prácticas en el sector comercio y servicios para mejorar la calidad acústica del municipio de Itagüí,» Itagüí, 2014.
- [29] JBL Professional, «Control Contractor Ceiling Loudspeakers. Technical Application Guide,» Northridge, Los Angeles, .
- [30] Universidad Nacional Abierta a Distancia, «Calculo del número de altavoces,» [En línea]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208038/ContLin/clculo_del_numero_de_altavoces.html. [Último acceso: 12 12 2015].
- [31] J. A. H. Urriola, «Diseño e implementación de un sistema de refuerzo sonoro para supermercado bigger,» Valdivia , 2011.
- [32] A. Carrión, *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, Edicions UPC, 1998.
- [33] J. C. Malcom, *Handbook of noise and vibration control*, 2007.
- [34] T. J. Cox y P. D'Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, design and application*, Second edition, Taylor & Francis, 2009.
- [35] F. Miyara, *Acústica y Sistemas de Sonido*, 2006.
- [36] M. Barron, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, Second Edition, Spon Press, 2010.
- [37] L. L. Doelle y M. Arch, *Environmental Acoustics*, 1972.
- [38] SINTEC, «Conceptos fundamentales del sonido,» [En línea]. Available: <http://www.acdacustics.com/files/conceptos.pdf>. [Último acceso: 11 2015].
- [39] T. Vear, «Guía de Sistemas de Audio,» 2008.
- [40] JBL Professional, *Sound System Design Reference Manual*, 1999.

ANEXO 1. CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA

A. NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El umbral de audición humana está ubicado en los 2×10^{-5} pascales, mientras que el umbral de dolor se extiende hasta los 20 pascales. Este intervalo es extraordinariamente grande, por lo que es razonable usar una magnitud logarítmica como medida técnica a lugar de la presión sonora [3]. Se define nivel de presión sonora como la medida logarítmica del valor efectivo de la presión sonora con respecto a un valor de referencia (umbral de audición).

B. POTENCIA ACÚSTICA

Es la energía sonora total radiada por una fuente en un intervalo de tiempo [3].

C. NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA

Es la magnitud logarítmica usada para expresar la potencia acústica.

D. IMPEDANCIA ACÚSTICA

Es la oposición de un medio a la propagación de ondas sonoras a través de él. Se define como la razón entre la presión sonora y la velocidad de volumen acústico [5].

E. ABSORCIÓN SONORA

Se define como la cantidad de energía acústica que absorbe un material con respecto a la energía que incide en él. Esta es cuantificada por medio del coeficiente de absorción sonora [33].

F. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA

Es un valor de 0 a 1 que representa la absorción que tiene un material o una superficie en función de la frecuencia [34].

G. REVERBERACIÓN

Cuando se excita un recinto con una fuente sonora, las ondas generadas por esta empezarán a impactar en las diferentes superficies de la sala, generando así múltiples y consecutivas reflexiones. Esto provoca una situación en la cual la densidad de las reflexiones se va haciendo cada vez mayor. El fenómeno donde el sonido permanece aun cuando la fuente está apagada a raíz de las distintas reflexiones es conocido como reverberación [35].

H. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Es el tiempo en segundos necesario para que el nivel de presión sonora decaiga 60 dB luego de que la fuente es apagada [36].

I. AISLAMIENTO ACÚSTICO

Es definido como la reducción en el nivel de presión sonora entre dos cuartos contiguos, donde uno de los dos posee una fuente sonora [5]; esta definición también aplica para cuartos y exteriores. El ruido no solo se propaga por vía directa, por lo tanto un aislamiento integral implica tener en cuenta las vías estructurales por las que puede ser transmitido el sonido.

Los problemas asociados al ruido están ligados a diversas variables, así como las tecnologías utilizadas para controlarlo (Control de ruido), dirigiéndose en la mayoría de los casos a cumplir con las normativas nacionales. En general un aislamiento acústico puede cuantificarse por medio de la pérdida por transmisión.

J. PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN

Es el término usado para expresar la cantidad de energía acústica que no es transmitida por un material hacia otro [2]. Está expresado en términos del coeficiente de transmisión definido como la relación entre la potencia sonora incidente y la transmitida. La pérdida por transmisión está dada en decibeles y es dependiente de la frecuencia.

K. CAMPO SONORO DIRECTO

El sonido directo corresponde al sonido que llega al receptor directamente desde la fuente, el campo directo corresponde a la parte del campo acústico dominada por el sonido directo, éste campo está situado en la zona más próxima a la fuente [32].

L. CAMPO REVERBERANTE

El campo reverberante abarca todo el sonido reflejado (sonido proveniente de las múltiples reflexiones). Este tiene un valor energético constante para todos los puntos que lo componen, y comprende la parte del campo sonoro que está más alejado de la fuente [32].

Existe una distancia que define el límite entre el campo directo y el campo reverberante llamada *Distancia crítica*. Para distancias menores a esta predomina el campo directo y para distancias mayores, el campo reverberante [35].

M. MATERIALES POROSOS

Este tipo de materiales cuentan con una red celular de poros entrelazados. Al incidir el sonido dentro de estos poros la energía acústica es convertida en energía calórica. Hay una fracción de la energía sonora que es reflejada, mientras que la que se convierte en calor es absorbida [37].

N. PÉRDIDA POR INSERCIÓN

Es un término utilizado para la evaluación de medidas de control de ruido. Se refiere a la disminución del nivel de presión sonora en un punto luego de la inserción de un elemento en relación a cuando no se tenía [38].

O. DIRECTIVIDAD

Las fuentes no radian igual nivel de presión sonora para todos los ángulos, por eso existen términos como el índice de directividad que proporcionan información sobre las propiedades direccionales de una fuente [2].

P. FACTOR DE DIRECTIVIDAD

Es la expresión matemática que cuantifica la directividad, y se define como la relación entre la intensidad sonora en un eje y distancia determinada, y la intensidad sonora en el mismo punto que produciría una fuente esférica.

Q. ÍNDICE DE DIRECTIVIDAD

Es la magnitud logarítmica usada para expresar el factor de directividad.

R. LONGITUD DE ONDA

En una onda sonora es la distancia física desde el comienzo de un ciclo hasta el comienzo del próximo [39].

S. DENSIDAD SUPERFICIAL

Se define como la cantidad de masa que tiene un elemento por unidad de superficie.

T. RESPUESTA EN FRECUENCIA

Es la medida del nivel de salida de un dispositivo de audio para cada frecuencia. Esta respuesta es visualizada por medio de una curva de nivel contra frecuencia que mostrará la alteración que sufrirá la señal al pasar por el sistema. Para cuantificar el cambio que tiene la curva se tiene el indicador de Tolerancia, que enseña la variación máxima de amplitud que presenta el elemento en función de la frecuencia [40]. En la Figura 34 se puede observar un plano o curva de respuesta en frecuencia de un micrófono.

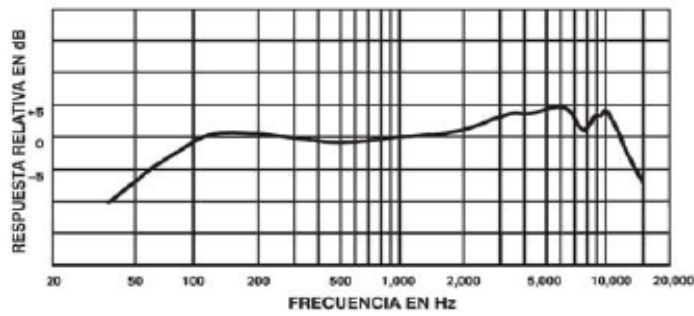


Figura 34. Curva de frecuencia de un micrófono. Tomado de [39].

U. SENSIBILIDAD

Se define como la relación entre el nivel eléctrico que entra en un altavoz y la presión sonora que este radia. En general se mide a una distancia de 1 metro con una potencia aplicada de 1 Watt.