



DTIE 2.04

ACÚSTICA EN INSTALACIONES
DE CLIMATIZACIÓN: CASOS PRÁCTICOS

PATROCINA



EDITA



**DOCUMENTOS TÉCNICOS
DE INSTALACIONES
EN LA EDIFICACIÓN:
DTIE**

**DTIE 2.04
ACÚSTICA EN INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN:
CASOS PRÁCTICOS.**

Autor:

Ramón Peral Orts Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia y Doctor en Ingeniería por la Universidad Miguel Hernández de Elche, compagina su labor docente como profesor Colaborador en la Universidad Miguel Hernández de Elche, con su faceta de investigador, siendo el Director Técnico del Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones de esta misma institución.

Revisores:

Claire Plateaux. Jefa de Productos de Climatización de ISOVER Saint-Gobain
Esther Soriano, responsable internacional del mercado HVAC de ISOVER Saint-Gobain

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: José Manuel Pinazo Ojer

Vicepresidente: Ricardo García San José

Vocales: Agustin Maillo Pérez
Alberto Viti Corsi
Alejandro Cabetas Hernández
Antonio García Laespada
Antonio Paniego Gomez
Antonio Vegas Casado
Arcadio García Lastra
Ignacio Leiva Pozo
Gorka Goiri Celaya
Iñaki Morcillo Irastorza
Francisco Javier Rey Martínez
José Antonio Rodríguez Tarodo
José Fernandez Seara
Jose Luis Barrientos Moreno
José Luis Esteban
José Manuel Cejudo
José María Cano Marcos
Juan Travesí Cabetas
Manuel Sánchez Marin
Miguel A. Navas Martín
Paulino Pastor Pérez
Pedro Torrero Gras
Pedro Vicente Quiles
Ramón Velázquez Vila
Rafael Úrculo Aramburu
Victor M. Soto Francés

© ATECYR

Edita: ATECYR
Navaleno, 9
28033 Madrid

Producción y realización:
ATECYR

Maquetación e impresión:
GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN: 84-95010-44-5

Dep. Legal: M-49064-2011

* Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.

PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.600 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines:

- El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a estas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.
- Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.
- La organización de cursos, seminarios, simposios, conferencias y, en general, de cuantas actividades vayan encaminadas a la formación de una conciencia de la problemática que estas técnicas plantean a todos los niveles, desde la propia Asociación o en colaboración con entidades y organismos nacionales o extranjeros de similares o complementarios campos de actuación.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; con el Ministerio de la Vivienda, con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la normativa sobre la prevención de la Legionelosis. Colabora con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; con otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA); con el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales, AEDICI (Asociación Española de Ingenierías e Ingenieros consultores) y el Capítulo Español de Ashrae.

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que ha sido aprobado y publicado el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, Asociación Europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y de ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de España, Portugal, Francia e Italia. La primera edición tuvo lugar en Lisboa en el año 2004, la segunda edición en España en 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edi-

ción en Lyon, Francia en abril de 2006, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007, la quinta ha tenido lugar en Lisboa, Portugal en abril de 2009 y la sexta edición ha tenido lugar en Madrid los días 2 y 3 de junio de 2011. La siguiente edición tendrá lugar en septiembre del 2013 en Estambul, Turquía.

En sus más de treinta y siete años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

ATECYR cuenta con un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de la actividad y como instrumentos que permiten la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, marcan las tendencias y la forma de hacer las cosas. Dicho Comité es el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

Uno de los cometidos del Comité Técnico de ATECYR, en el que viene trabajando desde hace años, es la elaboración de una extensa documentación técnica y la divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de la climatización y la refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

CERMA ya es Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética, según lo dispuesto en el artículo 3 del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción según registro CCE-DR-005/11.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE) nace como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre el tema en cuestión para desarrollar su labor.

Se trata de ofrecer al técnico una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Esta colección de documentos pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación al patrocinador de este DTIE, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

Javier Moreno de la Cuesta
Presidente de ATECYR

DTIE - DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN

SERIE 1: Instalaciones sanitarias

- *1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- *1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación
- *1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua

SERIE 2: Condiciones de diseño

- *2.01 Calidad del ambiente térmico
- *2.02 Calidad de aire interior
- *2.03 Acústica en instalaciones de aire
- *2.04 Acústica en instalaciones de climatización: Casos Prácticos

SERIE 3: Psicrometría

- *3.01 Psicrometría

SERIE 4: Tuberías

- *4 01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)
- *4 02 Circuitos hidráulicos y selección de bombas

SERIE 5: Conductos

- *5.01 Cálculo de conductos

SERIE 6: Combustible

- *6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo

- *7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema
- *7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y Calener VyP
- *7.04 Entrada de datos al programa CALENER GT
- *7.05 Cálculo de cargas Térmicas
- *7.06 Procedimientos simplificados para la certificación de viviendas de nueva construcción: CERMA, Ce2 y CES

SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición

- *8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- *8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. (Edición revisada)
- *8.04 Energía Solar Térmica. Casos Prácticos

SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire

- *9.01 Tipos de sistemas
- *9.02 Relación entre el edificio y el sistema de climatización
- *9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- *9.04 Sistema de suelo radiante
- *9.05 Sistemas de climatización

SERIE 10: Sistemas de calefacción

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- *10.03 Calderas individuales
- *10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante
- *10.05 Principios básicos de las calderas de condensación

SERIE 11: Control

- 11.01 Esquemas de control
- *11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización

***SERIE 12: Aislamiento térmico**

SERIE 13: Difusión de aire

SERIE 14: Acumulación de energía térmica

SERIE 15: Salas de máquinas

SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento

SERIE 17: Varios

- 17.01 Análisis económico de sistemas
- *17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero
- *17.03 Contenidos de proyecto y memoria técnica

* Editadas

1. INTRODUCCIÓN	9
2. FUNDAMENTOS ACÚSTICOS. GENERALIDADES	11
2.1. Caracterización del sonido: Ruido	11
2.2. Magnitudes sonoras	11
2.2.1. Presión sonora	11
2.2.2. Intensidad sonora	12
2.2.3. Potencia sonora	12
2.3. Niveles sonoros, el decibelio	13
2.3.1. Nivel de intensidad sonora	13
2.3.2. Niveles de presión sonora	14
2.3.3. Nivel de potencia sonora	14
2.3.4. Suma y resta de niveles	16
2.4. Espectros de frecuencias	18
2.5. Percepción del sonido. Sonoridad y redes de ponderación	19
2.6. Propagación del sonido en campo libre y reverberante; Área de absorción equivalente de un espacio cerrado	21
2.6.1. Propagación del sonido en campo libre	21
2.6.2. Propagación del sonido en campo difuso o reverberante	22
2.6.3. Área de absorción equivalente de un espacio cerrado	23
2.6.4. Ecuaciones de Thompson y Schultz	25
2.6.5. Ejemplo práctico. Cálculo del nivel de presión real en un punto de una estancia	26
2.6.6. Fuentes lineales	28
2.6.7. Pérdida por inserción o atenuación	28
3. RUIDO EN LAS INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN	29
3.1. Características de las fuentes de ruido y vibraciones	29
3.2. Criterios de actuación sonora	31
3.3. Objetivos de Confort Acústico	31
3.4. Código Técnico de la Edificación: documento básico de protección frente al ruido	34
3.5. Consideraciones técnicas y problemática acústica de las instalaciones de climatización	37
3.5.1. Sistemas de ventilación	38
3.5.2. Equipos instalados en espacios cerrados (Unidades interiores y sus salas)	43
3.5.3. Equipos instalados en espacios abiertos (Unidades exteriores)	45
3.5.4. Conductos y rejillas	50
4. SOLUCIONES PARA LA PROTECCIÓN SONORA Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS	55
4.1. Pantallas acústicas y sistemas encapsulados	55
4.2. Acondicionamiento y aislamiento de las salas de máquinas	61
4.3. Diseño de sistemas antivibración	63
4.4. Medidas antirruido para conductos y rejillas	69
4.4.1. Atenuación acústica natural en conductos de aire	69
4.4.2. Amortiguación de ruido en conductos y rejillas	72
4.5. Plenums (conductos)	73
4.6. Silenciadores	76
5. EJEMPLOS DE CÁLCULO TEÓRICO EN INSTALACIONES, EQUIPOS INTERIORES.....	81
5.1. Instalación térmica para climatizar una planta de oficinas	81
5.1.1. Descripción de la instalación	81
5.1.2. Unidad interior	83
5.1.3. Nivel de inmisión en las estancias	85
5.2. Instalación térmica para climatizar una actividad de ocio	96
5.2.1. Descripción de la instalación	97
5.2.2. Nivel de inmisión en la estancia	99
5.3. Instalación térmica para climatizar aulas docentes y otros espacios docentes	102
5.3.1. Descripción de la instalación	103

6. EJEMPLOS DE CÁLCULO TEÓRICO EN INSTALACIONES, UNIDADES EXTERIORES.....	109
6.1. Instalación de climatización en entorno urbano, cálculo de niveles en exterior	109
6.2. Ejemplo de cálculo de pantallas	110
6.3. Diseño del sistema antivibratorios	114
7. TÉCNICAS DE MEDICIÓN SONORA Y CÁLCULO EMPIRICO EN INSTALACIONES: COMPROBACIÓN DE NIVELES Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.....	117
7.1. Normativa básica	117
7.1.1. Legislación	117
7.1.2. Normas	118
7.2. Instrumentación a emplear	118
7.2.1. Sonómetro.	118
7.2.2. Calibración de la instrumentación.....	120
7.2.3. Verificación de la instrumentación; Certificado emitido por un Organismo Acreditado por la Comunidad Autónoma	120
7.3. Aspectos básicos de las mediciones acústicas en entornos abiertos y cerrados	121
7.3.1. Selección del intervalo temporal de medición	121
7.3.2. En el exterior.....	122
7.3.3. En el interior	124
7.4. Evaluación sonora de medidas correctoras adoptadas, técnicas de ensayo para su verificación	125
7.4.1. Pantallas acústicas	125
7.4.2. Silenciadores	126
7.4.3. Estancia climatizada	127
8. BIBLIOGRAFÍA.....	129

1. INTRODUCCIÓN

En sus orígenes, las instalaciones de climatización fueron concebidas para ajustar las condiciones térmicas en espacios interiores a los estándares de confort climático, mejorando así la calidad de vida de sus habitantes y/o usuarios. Esta herramienta de confort térmico y climático, se ha convertido en numerosas ocasiones en foco de molestias sonoras para estos mismos usuarios o para aquellas personas alojadas en estancias colindantes.

Experiencias previas, así como la concienciación social que ha surgido en relación a la problemática del ruido en nuestros hogares, han potenciado que en los últimos años las instalaciones de climatización sean diseñadas siguiendo criterios que favorezcan la calidad ambiental y confort acústico de sus usuarios. Como resultado, se siguen desarrollando técnicas para la evaluación y el control de los niveles sonoros generados por los componentes mecánicos de estas instalaciones, con la finalidad de conseguir niveles óptimos en diferentes espacios en función de la actividad que se pretende desarrollar en los mismos.

Para garantizar la mínima perturbación sonora de una instalación de climatización, es necesario que los profesionales dedicados al su diseño, instalación y mantenimiento se familiaricen con la problemática sonora de cada tipo de instalación, así como con las características de las principales fuentes de ruido, los procesos de dispersión sonora y el análisis y estudio de medidas correctoras.

La presente guía recoge los problemas sonoros potenciales que se derivan del funcionamiento de una instalación de climatización, así como las medidas antiruido más extendidas. A su vez, se plantean y resuelven diversos casos prácticos, en los que se analiza la problemática de instalaciones reales y se realizan los cálculos necesarios para establecer la idoneidad acústica en cada una de ellas.



Figura 1. Aula docente climatizada siguiendo las directrices básicas de confort acústico en su interior

2. FUNDAMENTOS ACÚSTICOS. GENERALIDADES

A continuación se establecen los conceptos teóricos básicos necesarios para entender y aplicar los ejemplos prácticos descritos en la presente guía.

La generación, transmisión y recepción de sonidos derivados del uso de instalaciones de climatización, basan su comportamiento en los principios físicos que rigen la generación, dispersión y recepción de ondas sonoras. Estos fundamentos acústicos son parte de la rama de la física interdisciplinaria que estudia el sonido, es decir, el comportamiento de las ondas mecánicas que se propagan a través de la materia. A efectos prácticos, la acústica estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido.

2.1. Caracterización del sonido: Ruido

El **sonido** es el fenómeno vibratorio que, partiendo de una perturbación inicial, se propaga bajo la forma de una variación periódica de presión por un medio fluido. Si a este fenómeno se le añade el matiz subjetivo que un sonido provoca al ser captado por el oído humano, generando una sensación de molestia o dolor, pasará a ser denominado **ruido**.

2.2. Magnitudes sonoras

2.2.1. Presión sonora

El sonido es una onda de presión, y como tal se propaga por el aire por medio de compresiones y expansiones del medio, que provocan oscilaciones de la presión atmosférica. Las fluctuaciones de la presión atmosférica por encima y por debajo del valor estático se conocen como presión sonora. En la figura adjunta se puede observar el fenómeno de propagación de las ondas sonoras con sus variaciones de presión.

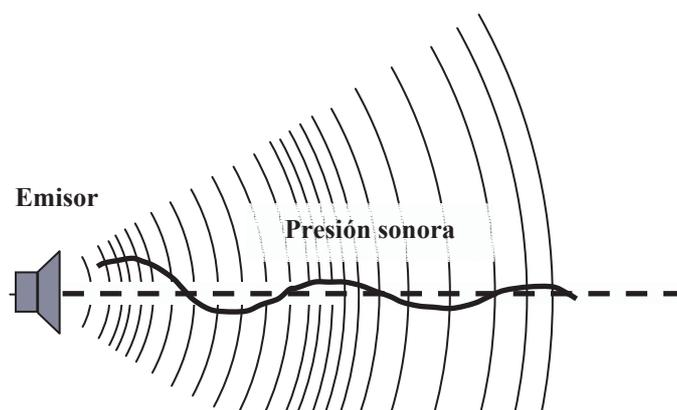


Figura 2. Dispersión de una onda de presión sonora

El valor mínimo de presión sonora que un oído adulto sano, es capaz de detectar es del orden de $2 \cdot 10^{-5}$ Pascales, mientras que la presión sonora máxima que es capaz de soportar sin que produzca la sensación de dolor es de 200 Pascales.

Dado que el valor medio de la onda sonora es nulo, se toma como indicador la presión sonora eficaz para un periodo de tiempo T , según la ecuación:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (1)$$

2.2.2. Intensidad sonora

La intensidad sonora, I , es la energía que atraviesa la unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación del sonido en la unidad de tiempo. Las expresiones para obtener esta magnitud en campo libre (espacio en el cual se dispersa una onda sonora sin encontrar superficies reflectantes en su camino, cámaras de ensayo anecoicas) y campo difuso o reverberante (espacio caracterizado por la presencia de reflexiones sonoras de las ondas debido a la presencia de elementos reflectantes, cámaras de ensayo reverberantes) son:

$$I = p_{rms}^2 / \rho c \quad (2)$$

$$I = p_{rms}^2 / 4\rho c \quad (3)$$

- Donde p_{rms}^2 es el cuadrado de la presión sonora eficaz, ρ es la densidad del medio y c la velocidad de propagación de la onda en dicho medio ($c_{aire} \approx 340$ m/s y $c_{agua} \approx 1.460$ m/s¹).

La unidad de la intensidad sonora en el sistema internacional es el W/m^2 , y el mínimo valor que un oído adulto sano es capaz de detectar es del orden de $10^{-12} W/m^2$; mientras que el valor máximo que es capaz de soportar sin sensación de dolor es del orden de $10^2 W/m^2$.

2.2.3. Potencia sonora

La potencia sonora, w , es la magnitud definida como la energía sonora que atraviesa una superficie en la unidad de tiempo, medida en vatios, W . Por lo tanto, esta magnitud va directamente relacionada con una fuente de ruido, foco de emisión de la potencia sonora. Algunos ejemplos del orden de magnitud de algunas fuentes de ruido son:

- Un difusor al final de una red de distribución: $w = 10^{-8} W$
- Un secador de pelo: $w = 10^{-4} W$
- Una persona gritando: $w = 10^{-3} W$
- Un ventilador centrífugo de gran potencia: $w = 10^{-1} W$
- Un estadio de fútbol con 50.000 espectadores gritando $< 50 W$.

Para fuentes omnidireccionales, la intensidad sonora se relaciona con la potencia sonora según la superficie de emisión de la fuente, cumpliendo la igualdad: $w = IS$, para la cual la superficie dependerá del tipo de onda:

- Onda esférica: $S = 4\pi r^2$
- Onda cilíndrica: $S = 2\pi r l$

¹ Estos valores dependerán de factores ambientales tales como la temperatura, presión, humedad, etc.

Donde r es la distancia de la fuente al receptor y l es la longitud o altura del cilindro.

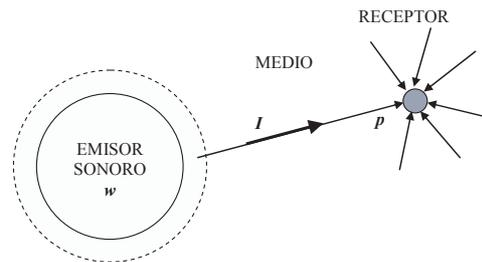


Figura 3. Relación entre presión, potencia e intensidad en la cadena de transmisión sonora

Si la fuente es puntual, la potencia sonora se expresa:

$$w = I4\pi r^2 \quad (4)$$

Si la fuente es lineal, la potencia sonora se expresa:

$$w = I2\pi r l \quad (5)$$

En el caso en el que la fuente sonora no irradie uniformemente en todas las direcciones, la intensidad varía sobre la superficie de emisión, propiedad de una fuente conocida como directividad sonora, ED , ver apartado 1.7.

La potencia sonora va ligada a la fuente que la provoca de una manera directa, por ello también puede ser definida como “la cantidad de energía producida por una fuente sonora en una unidad de tiempo”.

Tabla 1. Unidades de las principales magnitudes sonoras

Magnitudes	Unidades
Presión sonora	pa
Potencia sonora	w
Intensidad sonora	w/m ²

2.3. Niveles sonoros, el decibelio

Como se acaba de comprobar, los valores entre los que varían las magnitudes sonoras hacen su manejo especialmente tedioso. A su vez, se detecta una relación logarítmica entre la magnitud física y la sensación sonora que ésta produce. Estas circunstancias justifican el uso del decibelio como sistema de cuantificación de las magnitudes sonoras.

2.3.1. Nivel de intensidad sonora

Diferentes estudios experimentales han demostrado que las variaciones de sensación sonora no son proporcionales a las variaciones de la energía sonora que el oído recibe. La relación entre estímulo y sensación viene definida por la *ley de Weber-Fechner*, que establece que la sensación es proporcional al logaritmo del estímulo. Quedando matemáticamente expresado en la expresión:

$$Sensacion = \log \frac{I_1}{I_0} \quad (6)$$