

**ELABORACION DEL MODULO DE CONTAMINACION SONORA,
VIBRACIONAL PARA LA ESPECIALIZACION EN
INGENIERIA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER AÑO 2009**

**HANS CRISTIAN RASMUSSEN ESCOBEDO
EDUARDO ENRIQUE ESPINOSA FERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2009**

**ELABORACION DEL MODULO DE CONTAMINACION SONORA,
VIBRACIONAL PARA LA ESPECIALIZACION EN
INGENIERIA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER AÑO 2009**

**HANS CRISTIAN RASMUSSEN ESCOBEDO
EDUARDO ENRIQUE ESPINOSA FERNÀNDEZ**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director del proyecto:
Ing. Camilo Luengas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2009**

Ni la Universidad Industrial de Santander,
ni los jurados se hacen responsables de
los conceptos expuestos en el presente
documento.

*Doy gracias a Dios por habernos permitido
alcanzar una meta más en la vida.*

*Hans Rasmussen
Eduardo Espinosa*

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Secretaria Distrital de Ambiente, por habernos suministrado la información estadística sobre contaminación sonora en Bogotá.

RAS LTDA, por su apoyo, conocimiento y experiencias vividas en campo.

Ing. Richard Díaz, por su colaboración y guía para la elaboración de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	29
1.1 LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR RUIDO EN COLOMBIA.....	32
1.2 Referencia de la contaminación por ruido en algunas ciudades colombianas	33
1.2.1 Bogotá, D.C.	33
1.2.3 Medellín.	36
1.2.4 Barranquilla.	37
2 EL RUIDO COMO CONTAMINANTE AMBIENTAL	39
2.1 Definición de sonido y ruido.....	39
2.2 La contaminación por ruido ambiental	40
2.3 Efectos extra-auditivos.....	41
2.4 Efectos sociales y económicos del ruido	44
3 NOCIONES DE ACÚSTICA BÁSICA	45
3.1 Movimiento ondulatorio armónico simple.....	45
3.2 Características del sonido.....	46
3.2.1 Velocidad (C en m/s).....	46
3.2.2 Frecuencia (f, en ciclos por s o Hz)	47
3.2.3 Longitud de onda (λ en m o cm).....	47
3.2.4 Amplitud (A) (Pascales, Newtons, dB)	47
3.3 Cualidades del sonido.....	48
3.3.1 Intensidad.....	48
3.3.2 Tono.....	48

3.3.3	Timbre	49
3.4	Propiedades del sonido	49
3.4.1	Reflexión	49
3.4.2	Refracción	50
3.4.3	Difracción	51
3.4.4	Absorción	51
3.5	Niveles acústicos concepto de nivel y decibel	53
3.5.1	Concepto de Decibelio	53
3.6	Magnitudes acústicas	54
3.6.1	Nivel de potencia acústica.....	54
3.6.2	Nivel de presión acústica	55
3.6.3	Escala de ponderación del sonido.....	58
3.6.4	Adición de decibeles.	58
3.6.5	Sustracción de decibeles.	64
3.6.6	Esquema de la función auditiva e instrumentos de evaluación sonora	66
3.6.7	El medidor de ruido o de presión sonora-	66
3.6.8	Ponderaciones de tiempo en los sonómetros	67
4	ASPECTOS BASICOS DEL RUIDO Y SU PROPAGACION.....	69
4.1	Por su frecuencia.....	69
4.2	Por tiempo	70
4.3	Como se trasmite el sonido	72
4.4	Propagación del sonido en campo libre.....	72
4.5	Influencia de la temperatura, del viento, suelo y barreras en la propagación del sonido.....	73
4.5.1	Influencia de la temperatura.....	73
4.5.2	Influencia del viento.....	73
4.5.3	Influencia del suelo.....	74

4.5.4	Efecto de los obstáculos en la propagación	75
4.6	Causas de la contaminación sonora de tipo ambiental.....	75
4.6.1	Principales causas de la contaminación ambiental.	76
4.6.2	Contaminación de fuentes móviles de tipo rodado.....	78
4.6.3	Contaminación en interior de las edificaciones	79
4.7	Principales fuentes de emisión sonora por actividad económica.....	81
4.8	Conflictos de uso del suelo en las edificaciones.....	87
5	VIBRACIONES.....	88
5.1	Introducción	88
5.2	Conceptos básicos	88
5.3	Terminología de las vibraciones	91
5.3.1	Masa, rigidez. Amortiguamiento. Fuerzas de excitación.	92
5.3.2	Espectro en frecuencia.....	92
5.4	Amplitud, aceleración y velocidad.....	93
5.5	Frecuencia natural. Deflexión estática.....	94
5.6	Estudio de los movimientos vibratorios.....	95
5.7	Niveles de perturbación por vibraciones.....	96
6	SISTEMAS DEL CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES.....	102
6.1	El control en origen o fuente de emisión.....	102
6.2	Control en el camino de transmisión.....	103
6.3	Control en el receptor	107
7	AISLAMIENTOS Y TRATAMIENTOS ACÚSTICOS.....	108
7.1	Aislamiento acústico a ruido aéreo	110
7.1.1	Tipos de cerramientos.....	111
7.1.2	Términos para la evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo. El aislamiento a ruido aéreo viene determinado por la diferencia de niveles de	

presión acústica entre dos recintos. Cuanto mayor sea esta diferencia mayor será el aislamiento.	112
7.2 Aislamiento acústico a ruido de impacto.....	113
7.3 Aislamiento de vibraciones	115
7.4 Aislamiento acústico de ventanas.....	118
7.5 Aislamiento acústico de puertas	119
8 MAPAS DE RUIDO	126
8.1 Ventajas y desventajas de los mapas de ruido	128
8.2 Mapas de ruido para Colombia	129
9 CONCLUSIONES.....	133
BIBLIOGRAFIA	134

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Número de visitas realizadas durante el periodo comprendido entre los años 2002 al 2006.	33
Tabla 2. Relación de cumplimiento e incumplimiento normativo durante el periodo comprendido entre los años 2002 al 2005.	34
Tabla 3. Velocidad del sonido para ondas planas en varios medios (Beranek, 1993).	46
Tabla 4. Ponderaciones.	67
Tabla 5. Relación del tipo de actividad, fuentes generadoras y rangos de presión sonora.	81
Tabla 6. Valores de referencia de vibraciones en valor k.	97
Tabla 7. Nivel de presión sonora en bandas de octava en dB.	122
Tabla 8. Nivel de presión sonora en bandas de octava en dBA.	123
Tabla 9. Nivel de presión sonora total en dBA.	123
Tabla 10. Nivel de presión sonora total en dB.	124
Tabla 11. Combinación de colores para representaciones gráficas cada 5 dB(A).	131
Tabla 12. Combinación de colores para representaciones gráficas como 10 dB(A).	132

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Visitas realizadas en el D.C en el periodo comprendido entre los años 2002 al 2006.	34
Figura 2. Relación de cumplimiento e incumplimiento Normativo durante el periodo comprendido entre los años 2002 al 2006.	35
Figura 3. a) Sonido. b) Ruido.	39
Figura 4. Ruido ambiental y sus efectos.	40
Figura 5. Monitoreo de ruido ambiental.	41
Figura 6. Sensación de rabia	42
Figura 7. Interferencia en la comunicación.	42
Figura 8. Interferencia en el trabajo.	42
Figura 9. Trastornos del sueño.	43
Figura 10. Estrés por ruido.	43
Figura 11. Monitoreo de ruido generado por un puente peatonal.	44
Figura 12. Representación gráfica de una onda senoidal.	45
Figura 13. Representación gráfica de una onda de presión.	45
Figura 14. Infrasonidos, audiodfrecuencias y ultrasonidos.	47
Figura 15. Longitud de onda.	47
Figura 16. Amplitud.	48
Figura 17. Tonos de diferentes fuentes.	48
Figura 18. Tono de diferentes instrumentos.	49
Figura 19. Comportamiento de la propagación de las ondas sonoras.	49
Figura 20. Reflexión de las ondas sobre una superficie.	49
Figura 21. Refracción de ondas.	50
Figura 22. Difracción de ondas.	51
Figura 23. Materiales absorbentes.	51
Figura 24. Estructura organizacional de los materiales acústicos.	52

Figura 25. Relación de Niveles de Presión Sonora en (dB) y en (mPa).	53
Figura 26. La intensidad sonora I_n medida sobre un sector dS de una superficie .54	
Figura 27. Escalas de ponderación del sonido.	58
Figura 28. Dos fuentes sonoras funcionando simultáneamente.	60
Figura 29. Diagrama de suma de los dos niveles.	62
Figura 30. Tres fuentes sonoras funcionando simultáneamente.....	63
Figura 31. Diagrama de suma de tres niveles.	64
Figura 32. Instrumentos de evaluación sonora.	66
Figura 33. Sonómetros.	67
Figura 34. a) Ruido rosa. b) Ruido blanco.	69
Figura 35. Ruidos: a) continuo, b) fluctuante, c) intermitente.....	70
Figura 36. Ruidos: a) Inestable, b) Estable, c) de Impacto.	71
Figura 37. Formas de transmisión del sonido.	72
Figura 38. Propagación puntual y cilíndrica de una fuente lineal.....	72
Figura 39. Influencia de la temperatura	73
Figura 40 Influencia del viento en la propagación del ruido.	73
Figura 41. a) Efecto suelo. b) Reflexiones con el suelo. c) Reflexión del sonido...74	
Figura 42. Obstáculos.....	75
Figura 43. Causas generadoras de ruido en la fuente.	75
Figura 44. Fuerzas: a) Mecánicas. b) Aerodinámicas. c) Exotérmicas.	76
Figura 45. Fuentes ambientales de ruido en el ambiente Urbano.....	77
Figura 46. Fuentes móviles.....	78
Figura 47. Contaminación sonora en interior de edificaciones.	79
Figura 48. Contaminación sonora proveniente de los sistemas de extracción y ventilación.....	80
Figura 49. Contaminación sonora proveniente sistemas hidromecánicos, plantas eléctricas, sistemas de ventilación, sistemas de apertura de puertas en garajes y parqueaderos, entre otros.....	80
Figura 50. Actividades constructivas y mantenimiento de vías.	80
Figura 51. Conflicto de usos de suelo en edificaciones.	87

Figura 52: Vibraciones	89
Figura 53: fenómeno ondulatorio.	90
Figura 54. Fuentes generadoras de vibraciones.....	90
Figura 55. Efectos en la salud generados por las vibraciones.....	91
Figura 56. Instrumentos de medición de las vibraciones.	91
Figura 57. INDEX K	98
Figura 58. Respuesta en frecuencia vs. Molestia en humanos.....	101
Figura 59. Forma de propagación del sonido.	102
Figura 60. Pantallas difractoras.	104
Figura 61. Pantallas de protección.....	105
Figura 62. Aislamientos y tratamientos acústicos.	109
Figura 63. Aislamientos acústicos.....	110
Figura 64. Gráfica de las pérdidas de transmisión por una pared simple con su respectiva curva.....	111
Figura 65. Gráfica de las pérdidas de transmisión por una pared múltiple.	112
Figura 66. De forma gráfica y por tabulación.	113
Figura 67. Aislamiento acústico.	115
Figura 68. Fuentes generadoras de vibraciones.....	116
Figura 69. Control de vibraciones y de ruidos de impacto.	117
Figura 70. Aislamiento acústico de ventanas.....	118
Figura 71. Atenuación vs frecuencia.....	119
Figura 72. Puerta simple de apertura frontal y rotativa de hojas.....	119
Figura 73. Dependencia con la frecuencia del aislamiento acústico.....	121
Figura 74. Dependencia con la frecuencia del aislamiento sonoro de puertas con capas.	122

LISTA DE FIGURAS ANEXAS

	Pág.
Figura A1. Mapa de ruido Localidad de Fontibón.	136
Figura A2.	137
Figura A3. Zonas de conflicto por aporte de ruido.	138
Figura A4.	139
Figura A5. Identificación de las zonas críticas de la localidad	140
Figura A6.	141
Figura A7.	142

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Velocidad del sonido en un gas.	46
Ecuación 2. Nivel de potencia sonora.	54
Ecuación 3. Potencia Acústica.....	54
Ecuación 4. Presión acústica.....	55
Ecuación 5. Presión acústica de ondas sonoras.....	55
Ecuación 6. Intensidad sonora en un punto.....	56
Ecuación 7. Intensidad sonora radial en un punto.....	56
Ecuación 8. Calculo de intensidad sonora para una persona.....	57
Ecuación 9. Intensidad sonora para una persona.....	57
Ecuación 10. Energía liberada en una conversación.....	57
Ecuación 11. Cálculo de nivel combinacional puntual.....	59
Ecuación 12. Cálculo de nivel combinacional general.....	59
Ecuación 13. Solución ejemplo 1.....	60
Ecuación 14. Nivel combinacional ejemplo 2.....	61
Ecuación 15. Nivel combinacional ejemplo 2a.....	61
Ecuación 16. Nivel combinacional ejemplo 2b.....	61
Ecuación 17. Niveles acústicos 3a.....	63
Ecuación 18. Niveles acústicos 3b.....	64
Ecuación 19. Ejemplo sustracción de decibeles.....	65
Ecuación 20. Nivel de potencia acústica en un punto.....	65
Ecuación 21. Nivel de potencia acústica total.....	66
Ecuación 22. Solución ejemplo 4.....	66
Ecuación 23. Intensidad sonora de fuente puntual.....	72
Ecuación 24. Intensidad sonora de fuente lineal.....	72
Ecuación 25. Atenuación generada por el suelo.....	74
Ecuación 26. Desplazamiento en función del tiempo.....	89
Ecuación 27. Velocidad en función del tiempo.....	89

Ecuación 28. Aceleración en función del tiempo.....	89
Ecuación 29. Frecuencia de un sistema masa-muelle.....	94
Ecuación 30. Deflexión estática.....	94
Ecuación 31. Relación entre frecuencia natural y deflexión estática.	95
Ecuación 32. Movimiento vibratorio.	95
Ecuación 33. Comportamiento de K a diferentes frecuencias.....	98
Ecuación 34. Aislamiento por puertas.....	120
Ecuación 35. Aislamiento por laminados blandos.....	120
Ecuación 36. Valores de absorción para volumen 25000 m ³	125
Ecuación 37. Valores de absorción para volumen 3500 m ³	125

TITULO: ELABORACION DEL MODULO DE CONTAMINACION SONORA, VIBRACIONAL PARA LA ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER AÑO 2009.*

Autores: ESPINOSA FERNÁNDEZ, Eduardo Enrique y RASMUSSEN ESCOBEDO, Hans Christian**

Palabras Claves: acústica, aislamiento del sonido, amplitud, exposición al ruido, longitud de onda, nivel de presión sonora, sonómetro, decibel.

En Colombia no existe una política de protección acústica actualizada y, consecuentemente, es inexistente una legislación que contemple los problemas ambientales acordes al cambio tecnológico y al crecimiento vertiginoso de las ciudades. Este ascenso de las actividades sociales, se manifiesta en mayores índices de contaminación por ruido, como resultado del incremento en el parque automotor, desarrollo industrial, las actividades recreativas y de ocio, el incremento vertiginoso de las operaciones aeroportuarias, entre otras.

El ruido es el contaminante más común, y puede definirse como cualquier sonido que sea calificado por quien lo recibe como algo molesto, indeseado, inoportuno o desagradable. El ruido genera en las personas efectos auditivos, extrauditivos y efectos sociales y económicos.

Las vibraciones es un tema importante por los efectos que puede causar en la salud y los daños en las edificaciones principalmente. Las vibraciones son originadas especialmente por las herramientas, máquinas, automotores y otros elementos utilizados en las actividades humanas.

Los sistemas de control de ruido más utilizados son los absorbedores disipativos, de membrana y de helmholtz. El propósito del aislamiento acústico es impedir que los ruidos del interior y/o exterior de una edificación de origen a una perturbación y molestias hacia los residentes o a los ocupantes de este.

En Colombia la Resolución 0627 del 2006, obliga las ciudades mayores a cien mil habitantes a realizar un mapa de ruido, con el fin de cuantificar e identificar las fuentes de ruido.

* Trabajo de grado

** Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Camilo Luengas

TITLE: Development of the module noise pollution, Vibrational for specialization in environmental engineering from the Industrial University of Santander year 2009.*

Authors: ESPINOSA FERNÁNDEZ, Eduardo Enrique and ESCOBEDO RASMUSSEN, Hans Christian**

In Colombia there is no sound policy to protect current and, consequently, is non-existent legislation that addresses environmental issues in line with technological change and rapid growth of cities. This rise of social activities, is manifested in higher levels of noise pollution as a result of the increase in motor vehicles, industrial development, recreation and entertainment, the soaring airport operations, among others.

Noise is the most common contaminant and can be defined as any sound to be qualified by the recipient as being annoying, undesirable, inappropriate or objectionable. The noise generated in the auditory effects people, extrauditivos and social and economic effects.

The vibration is an important issue for the impact it could have on health and damage to buildings mainly. The vibrations are caused especially by the tools, machines, vehicles and other items used in human activities.

The noise control systems used are dissipative absorbers, membrane and Helmholtz. The purpose of sound insulation is to prevent noise from within and / or exterior of a building home to a disturbance and inconvenience to residents or occupants of this.

In Colombia the 0627 Resolution of 2006, requires major cities to one hundred thousand to make a noise map in order to quantify and identify the fillets of noise.

* Thesis|

** Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist. Director Camilo Luengas

GLOSARIO

Acústica: es la ciencia que estudia el sonido incluye su Concreto, transmisión, recepción y sus efectos.

Amplitud de onda: es el desplazamiento máximo, más allá de la posición normal o de reposo, de las moléculas, átomos o partículas del medio de transmisor de las vibraciones. Constituye la cantidad de presión del sonido ó intensidad del sonido, que se mide en pascales, Newtons por m² (N/m²) ó en decibeles (dB)

Absorción: al entrar las ondas en materiales porosos, estas ondas rebotan en miles de bolsas de aire hasta que pierden parte de su energía, la cual se ha convertido en calor.

Banda crítica: son las frecuencias características de banda del sonido con análisis espectral que cubre una banda ancha, que contiene una potencia sonora igual a la del tono puro centrado en la banda crítica y mínimamente audible en presencia del ruido de banda ancha.

Campo libre: es un campo en que los efectos de los límites son insignificantes para el rango de frecuencia de interés.

Contaminación por ruido: es cualquier emisión de un sonido que pueda afectar adversamente la salud o bienestar de las personas, la propiedad o el disfrute de las mismas.

Decibel (dB): es la unidad del nivel de presión de sonido que expresa la relación entre la presión de un sonido cualquiera y un sonido de referencia en escala logarítmica. Es la unidad de medida empleada en acústica, desarrollada por los laboratorios Bell systems, y que se caracteriza por el empleo de una escala logarítmica.

dB (A): para efectos del presente estudio dB(A), representa el nivel de presión sonora del ruido registrado con un sonómetro, en integración y con filtro de ponderación A.

Difracción: es un fenómeno acústico donde las ondas sonoras que viajan en una sola dirección pero, al chocar con un objeto, la difracción puede hacer que se rodee este obstáculo al crear una serie de ondas secundarias. Estas ondas secundarias se propagan desde el obstáculo, como si fuera la fuente generadora del sonido.

Divergencia: consiste en la propagación de las ondas sonoras desde una fuente en campo libre, dando como resultado una disminución en el nivel de presión sonora al aumentar la distancia desde la fuente.

Enmascaramiento: es el proceso mediante el cual se eleva el umbral de audición para un sonido mediante la presencia de otro sonido.

Estándares del ruido: estos son valores especificados en las normas colombianas, como valores límites permitidos y están relacionados por usos de suelo en la resolución 0627 de Abril 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Frecuencia: define una función periódica en el tiempo, es el número de veces que la cantidad se repite a sí misma en un segundo. El recíproco del período es el

herzio (HZ) o ciclos por segundo. Es el número de ciclos por unidad de tiempo que da de un lado a otro el objeto que perturba las moléculas.

Fuente generadora: es cualquier sitio, lugar, artefacto, objeto, dispositivo o elemento que origine ruido, ya sea de carácter móvil o estacionario.

Infrasonido: son las ondas sonoras con una frecuencia inferior a la que produce la sensación auditiva habitual en los seres humanos, generalmente por debajo de 16 Hz.

Longitud de onda: describe las características en el espacio de una onda; es la distancia entre dos puntos análogos de una onda. Se simboliza por “ λ ” que es igual $\lambda = c/f$ (c es la velocidad del sonido y f es la frecuencia).

Nivel: es el logaritmo de la relación entre la cantidad determinada y una cantidad de referencia del mismo tipo.

Leq (nivel sonoro continuo equivalente): es el nivel sonoro promedio en el tiempo establecido y en una localización determinada, tiene la misma energía sonora con ponderación A que el sonido que varía con el tiempo.

Nivel de criterio: el nivel sonoro de criterio es la medida normalizada o estandarizada. Esta medida debe ser dada en lectura equivalente o Leq.

Npl (nivel de contaminación del ruido): es una medida utilizada en ruido para describir el ruido de la contaminación comunitaria, emplea el nivel sonoro equivalente Leq_A y la magnitud de las fluctuaciones del tiempo en los niveles.

Nivel de presión de ruido: es aquel que es medido en decibeles con un sonómetro, que satisface los requerimientos señalados en la normativa existente.

Nivel de presión sonora vespertino: el nivel sonoro vespertino, es el nivel sonoro continuo equivalente medido para 3 horas comprendidas, entre las 19:00 y las 22:00 horas

Nivel de presión sonora diurno: el nivel sonoro diurno, es el nivel sonoro continuo equivalente medido para 15 horas diurnas, entre las 7:00 y las 22:00 horas

Nivel de presión sonora nocturno: el nivel sonoro nocturno, es el nivel sonoro continuo equivalente medido para 9 horas nocturnas, entre las 22:00 horas y las 7 AM.

Leq 24 (nivel de presión sonora continuo equivalente): es el nivel de presión sonora continuo que tendría la misma energía sonora total que el ruido fluctuante, evaluado en un periodo de 24 horas. Se utilizará para evaluar riesgo de pérdida auditiva.

Ldn (nivel de ruido promedio día noche): es el nivel de presión sonora continuo equivalente continuo (Leq 24) al que se le agrega a 10 dB a todos los niveles, que son medidos entre las 9:01 PM y las 7:00 AM. Este incremento se hace para compensar la mayor sensibilidad al ruido en la noche.

Leq-día (nivel de presión sonora continuo equivalente en el día): es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido en el periodo diurno (7:01 a.m - 9:00 p.m). se emplea para evaluar sitios sensibles: Hospitales, escuelas, bibliotecas, sanatorios, guarderías, áreas residenciales y otros lugares de trabajo o de permanencia diurna.

Leq-noche (nivel de presión sonora continuo equivalente en la noche): es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido en el periodo nocturno (9:01 p.m -6:00 a.m). Se utiliza para evaluar interferencia con el sueño.

Nivel de polución de ruido: este nivel representa la molestia producida por un nivel de ruido promedio, relacionado con las variaciones del nivel de sonido.

Norma de ruido ambiental: es el valor que se establece para mantener un nivel de presión de ruido en zonas habitadas bajo distintas condiciones, tal que permita la salud y el bienestar de la población expuesta dentro de una margen de seguridad.

Norma de emisión de ruido: es el valor máximo permisible de presión sonora que permite cumplir con la norma de ruido ambiental, definida por la autoridad ambiental competente.

Ponderación A: es la característica del ajuste dado a un sonómetro que permite simular la repuesta en bandas de frecuencia similares al oído humano.

Percentiles: este parámetro es una medida estadística que indica con qué frecuencia se sobrepasa un nivel concreto de sonido. El ruido variable en el tiempo se puede también cuantificar en términos de los niveles excedidos durante los diferentes porcentajes de la duración de la medición. Los niveles percentiles generalmente usados incluyen L_{A10} , L_{A50} y L_{A90} .

Periodo diurno: es el comprendido entre 7:01 a.m - 9:00 p.m

Periodo nocturno: es el comprendido entre las 9:00 p.m. y las 7:01 a.m.

Presión sonora: es la característica que permite oír un sonido a cualquier distancia, molesta o indeseable.

Reflexión: es un fenómeno acústico que consiste en la alteración de una onda que avanza en forma frontal a través del aire, debido a la presencia de una barrera o superficie que se interpone en su camino.

Refracción: es un fenómeno acústico donde el sonido realiza un cambio de dirección en su onda sonora al pasar de un medio de propagación a otro, con diferente densidad. Tanto el ángulo de incidencia de las ondas como la diferencia de la densidad en los medios, determinan el grado de refracción.

Reverberación: consiste en la persistencia del sonido en un espacio total o parcialmente cerrado, después de que la fuente de sonido ha cesado.

Ruido: es una combinación desordenada de sonidos que produce una sensación desagradable, molesta e indeseable para las personas que lo escuchan.

Ruido continuo: es aquel cuyo nivel de presión sonora permanece más o menos constante, con fluctuaciones hasta de un segundo, que no presenta cambios repentinos durante su emisión.

Ruido exterior: es aquel nivel de presión sonora evaluado en las afueras de las edificaciones o zonas cerradas.

Ruido intermitente: es el ruido cuyo nivel de presión acústica iguala el nivel ambiental dos o más veces durante el período de observación.

Ruido interior: es aquel nivel de presión sonora que se evalúa dentro de una habitación, oficina o salón de las zonas cerradas.

Ruido de impacto: es aquel cuyos niveles de presión sonora involucran valores máximos a intervalos mayores de uno por segundo. Cuando los intervalos son menores de un segundo, podrá considerarse el ruido como continuo.

Tasa de intercambio: una tasa de intercambio expresa cuánto tendría que aumentar o descender el nivel sonoro para mantener una medida seleccionada de riesgo de pérdida de audición, cuando se duplica la duración de la exposición o se reduce a la mitad. Normalmente se utilizan tasas de intercambio de 3, 4 y 5 dB

Sonido: el sonido es la sensación auditiva producida por un movimiento de partículas en un medio elástico (gaseoso, líquido o sólido) a partir de una posición de equilibrio. Este nivel de presión en: el aire, agua o cualquier medio, a causa de un movimiento vibratorio, que puede ser detectada por el oído humano.

Sonómetro: es el instrumento básico para medición acústica del nivel de presión sonora en Decibeles, sin tener en cuenta las frecuencias. Este equipo se encuentra constituido internamente por: micrófono, amplificador de señal, filtros o escalas de ponderación, rectificador de la media cuadrática y selector de velocidades de respuesta.

INTRODUCCION

El objetivo del modulo sobre contaminación sonora y vibracional a ser desarrollado en dentro del proyecto de grado, pretende en primera instancia, suministrar la información técnica básica que el especialista en Ingeniería ambiental debe conocer, para enfrentar la problemática de ruido y vibraciones de tipo ambiental; y además que el modulo se utilice como una guía de consulta permanente.

Dentro del contenido del modulo se han tratado, entre otros aspectos: la problemática mundial y nacional de la contaminación sonora y vibracional, el ruido como contaminante ambiental y sus efectos a nivel comunitario; nociones generales de acústica básica; aspectos básicos del ruido y su propagación; principales fuentes de ruido ambiental y urbano (fuentes fijas y móviles); ruido en edificaciones ; aspectos generales de las vibraciones ambientales; generalidades de sistemas de control de la contaminación sonora; Mapas de ruido, Glosario y ejemplos prácticos sobre cálculos de ruido en cada uno de sus capítulos.

El ruido siempre ha sido un problema ambiental importante para el ser humano. En la antigua Roma, existían normas para controlar el ruido emitido por las ruedas de hierro de los vagones que golpeaban las piedras del pavimento y perturbaban el sueño y molestaban a los romanos. En algunas ciudades de Europa medieval no se permitía usar carruajes ni cabalgar durante la noche para asegurar el reposo de la población. Sin embargo, los problemas de ruido del pasado no se comparan con los de la sociedad moderna. El gran número de vehículos que regularmente transitan por nuestras ciudades junto con las aeronaves, trenes, industrias, establecimientos de comercio, entre otros inciden en el ruido ambiental.

La problemática de contaminación sonora ha venido aumentando a nivel exponencial. En la Unión Europea, alrededor de 40% de la población están expuestos al ruido del tránsito con un nivel equivalente de presión sonora que

excede 55 dB(A) en el día y 20% están expuestos a más de 65 dB(A). Si se considera la exposición total al ruido del tránsito, se puede calcular que aproximadamente la mitad de los europeos vive en zonas de gran contaminación sonora. Más de 30% de la población están expuestos durante la noche a niveles de presión sonora que exceden 55 dB(A) y que les trastornan el sueño. El problema también es grave en ciudades de países en desarrollo y se debe principalmente al tránsito. Las carreteras más transitadas registran niveles de presión sonora de 75 a 80 dB(A) durante las 24 horas.

El ruido urbano (también denominado ruido ambiental, ruido residencial o ruido doméstico) se define como el ruido emitido por todas las fuentes a excepción de las áreas industriales. Las fuentes principales del ruido urbano son el tránsito automotor, ferroviario y aéreo, la construcción y obras públicas y el vecindario. Las principales fuentes de ruido en interiores son los sistemas de ventilación, máquinas de oficina, artefactos domésticos y vecinos. El ruido característico del vecindario proviene de locales, tales como restaurantes, cafeterías, discotecas, etc.; música en vivo o grabada; competencias deportivas (deportes motorizados), áreas de juegos, estacionamientos y animales domésticos, como el ladrido de los perros. Muchos países han reglamentado el ruido urbano del tránsito de aviones y autos, maquinaria de construcción y plantas industriales a través de normas de emisión y reglamentos para las propiedades acústicas de los edificios. Pero pocos países tienen reglamentos para el ruido urbano del vecindario, probablemente debido a la falta de métodos para definirlo y medirlo y la dificultad de controlarlo. En las grandes ciudades de todo el mundo, la población está cada vez más expuesta al ruido urbano debido a las fuentes mencionadas y sus efectos sobre la salud se consideran un problema cada vez más importante. Los efectos específicos que se deben considerar para establecer guías para el ruido urbano son la interferencia con la comunicación, pérdida de audición, trastorno del sueño, problemas cardiovasculares y psicofisiológicos, reducción del rendimiento, molestia y efectos sobre el comportamiento social.

Los esfuerzos normativos para controlar la contaminación generada por ruido en Colombia, se remontan a 1974 cuando aparece la primera legislación que menciona explícitamente al ruido como contaminante ambiental. Fue así como el Decreto Ley 2811 del 18 de diciembre de 1974, en sus Artículos 3, 8, 33 y 75 establece al ruido como un aspecto a reglamentar, así como se establecen las condiciones y requisitos necesarios para preservar y mantener la salud y tranquilidad de los habitantes, mediante el control de ruidos, originados en actividades industriales, comerciales, domésticas, deportivas, de esparcimiento, de vehículos de transporte, o de otras actividades análogas. Este Decreto Ley fue expedido a partir de la Ley 23 del 12 de diciembre de 1973, por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la república para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.

Mediante la Resolución 8321 del 4 de agosto de 1983, del Ministerio de Salud, *“Por la cual se dictan normas sobre la protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos”*, se crea una norma que permite controlar el ruido ambiental y el interior de los lugares de trabajo.

Luego se establece el Decreto 948 del 5 de junio de 1995, del Ministerio del Medio Ambiente, *“Por el cual se reglamentan; parcialmente, la Ley 23 de 1973; los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire”*.

A la anterior Resolución la substituye la Resolución 0627 del 7 de abril de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *“por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental”*.

1. GENERALIDADES

1.1 LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR RUIDO EN COLOMBIA

En Colombia no existe una política de protección acústica actualizada y, consecuentemente, es inexistente una legislación que contemple los problemas ambientales acordes al cambio tecnológico y al crecimiento vertiginoso de las ciudades. Este ascenso de las actividades sociales, se manifiesta en mayores índices de contaminación por ruido, como resultado del incremento en el parque automotor, desarrollo industrial, las actividades recreativas y de ocio, el incremento vertiginoso de las operaciones aeroportuarias, entre otras.

La principal legislación de ruido en Colombia, está contemplada en decretos, normas y reglamentos que tratan la problemática de la contaminación acústica, pero de una forma parcial, inconexa y desconceptualizada. Por lo que es necesario e imprescindible que se establezca una política acústica basada en criterios modernos, tomando como punto de partida la realidad de la contaminación acústica del país, en concordancia a la disponibilidad tecnológica y a la protección requerida de la comunidad expuesta.

La planificación de una regulación de contaminación acústica, deberá estar enmarcada a la reglamentación del Medio Ambiente, que sirva de soporte a otras normas legales que la adecuen a las características específicas de las ciudades y empresas colombianas. Esta normativa debe establecer criterios de cualificación y cuantificación para fuentes de ruidos concretos, tales como: fuentes móviles o fijas, para la contaminación de ruido referida a los aeropuertos, a las autopistas o vías de alto tránsito vehicular, en la construcción de obras civiles de gran envergadura, en los aislamientos acústicos requeridos en las edificaciones. Tal

problemática ambiental, requiere de una evaluación y control específico, impulsando al sector regulador a establecer una reglamentación dinámica que pueda enfrentar los retos de la contaminación por ruido en la actualidad y en un futuro próximo.

1.2 Referencia de la contaminación por ruido en algunas ciudades colombianas

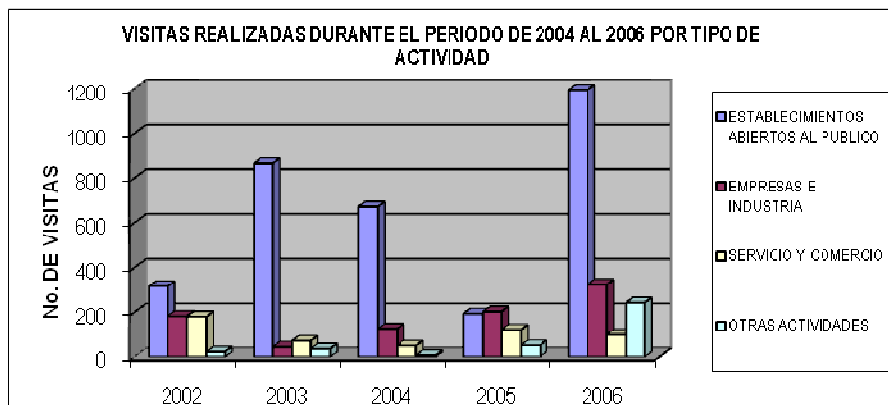
1.2.1 Bogotá, D.C. De acuerdo a las estadísticas recientemente, reportadas por el Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA, hoy Secretaria Distrital de Ambiente, se muestran los consolidados y las tendencias en la atención de las quejas, derechos de petición, tutelas y operativos realizados en las diferentes localidades en los años 2002 al 2006.

Tabla 1. Número de visitas realizadas durante el periodo comprendido entre los años 2002 al 2006.

Tipo de actividad	Número de visita realizadas				
	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Año 2005	Año 2006
Establecimientos abiertos al publico	315	865	670	193	1194
Empresas e industrias	182	44	126	202	323
Servicio y comercio	180	71	49	122	99
Otras actividades	23	36	7	51	242
Total visitas	700	1016	852	568	1858

Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente “plan de mejoramiento de ruido 2007 / 2008, presentado a la Personería de Bogotá”

Figura 1. Visitas realizadas en el D.C en el periodo comprendido entre los años 2002 al 2006.



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente “plan de mejoramiento de ruido 2007 / 2008, presentado a la Personería de Bogotá”

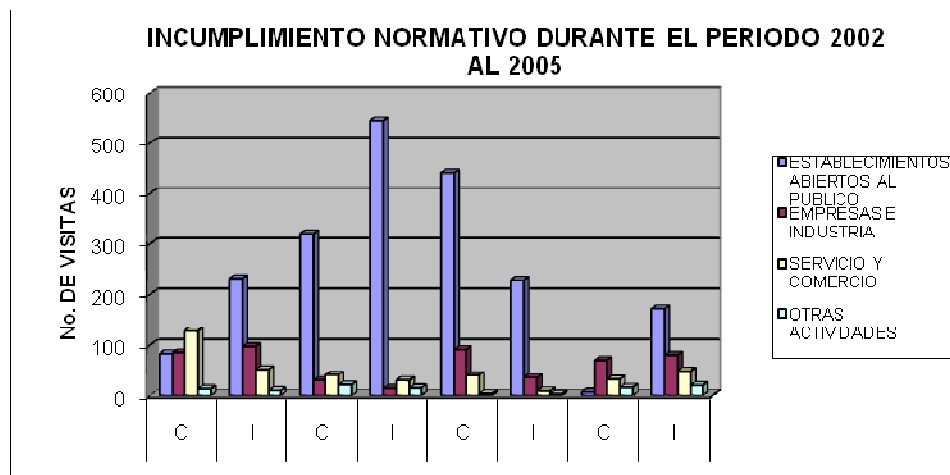
Tabla 2. Relación de cumplimiento e incumplimiento normativo durante el periodo comprendido entre los años 2002 al 2005.

Tipo de actividad	Año 2002		Año 2003		Año 2004		Año 2005	
	C	I	C	I	C	I	C	I
Establecimientos abiertos al publico	83	23	32	54	44	22	7	17
Empresas e industria	85	97	30	14	91	35	70	80
Servicio y comercio	128	52	41	30	40	9	32	49
Otras actividades	13	10	21	15	4	3	16	20
Total visitas	309	39	41	60	57	27	12	32
		1	3	3	6	6	5	1

Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente. “plan de mejoramiento de ruido 2007 / 2008, presentado a la Personería de Bogotá”

C: Cumplimiento Normativo. I: Incumplimiento Normativo.

Figura 2. Relación de cumplimiento e incumplimiento Normativo durante el periodo comprendido entre los años 2002 al 2006.



Fuente: Secretaría Distrital de ambiente. “plan de mejoramiento de ruido 2007 / 2008, presentado a la Personería de Bogotá”

1.2.2 Cali. En la ciudad de Cali el DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente), entidad que afirma que los generadores de ruido en la ciudad continúan siendo los establecimientos comerciales, bares, discotecas, chivas rumberas, equipos de sonido de las viviendas, iglesias y caninos.

En relación con el cumplimiento de la normatividad existente, la norma diurna se cumple en el 65% de los casos y se incumple en el 35%. Al contrario, la norma nocturna apenas se cumple en el 19% y se incumple en el 81%. La situación es especialmente crítica en la zona residencial, donde la norma nocturna escasamente se cumple en el 7% de los casos. Según los resultados de las mediciones realizadas para el día del no carro, realizado en Santiago de Cali, el 7 de febrero de 2002, se encontró que los sitios de mayor afectación por ruido vehicular son:

- Calle 15 con Carrera 15

- Calle 13 con Carrera 10
- Calle 5 entre Carreras 62-63
- Calle 5 con Carrera 39
- La ermita
- Club Noel
- Comfenalco Calle 5 con Carrera 9

Es de anotar que en todos los sitios donde se realizaron los muestreos (20 puntos) se supero la norma de 65 dB(A) para zona residencial y 70 dB(A) para zonas comerciales.

1.2.3 Medellín. La Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede de Medellín, apoyada por las universidades que integran el convenio REDAIRE y la Secretaría del Medio Ambiente de Medellín, durante los meses de Julio y Agosto de 2004 desarrolló un estudio para determinar los niveles de ruido en el centro de Medellín. Este estudio contó con un diseño experimental y un manejo geoestadístico de datos y resultados.

Para el desarrollo del estudio se eligió un área en el centro de Medellín con una extensión de aproximadamente 4 Km². El área se dividió en 10 zonas, cada una de las cuales a su vez se subdividió en 16 cuadrículas de muestreo con 154 m de lado. De acuerdo con el diseño experimental se seleccionaron 4 horarios de muestreo (5 a 9 horas, 11 a 15 horas, 17 a 21 horas y 23 a 03 horas) y 4 grupos de trabajo para efectuar toma de datos simultáneamente en diferentes cuadrículas. El volumen de datos recopilados por cuadrícula permite la caracterización de las zonas en diferentes horarios y así mismo concluí que el centro de Medellín en su totalidad no cumple con las normas de contaminación por ruido establecidas en la Resolución 8321 de 1983, (hoy Resolución 0627 de 2006). La zona más afectada por ruido es la 3, localizada entre las calles 43 y 49 y las carreras 40 y 49, presentando unos niveles de ruido de 71.6 dB(A). En cambio la zona más silenciosa fue la de Carlos E. Restrepo, zona 1 con un promedio de 66.8 dB(A). El

periodo que se encontró como más ruidoso fue el comprendido entre las 11 y las 15 horas con un promedio de 72.7 dB(A). De otra parte en el estudio del 2002 desarrollado por Publio Informadores, se realizó un barrido exhaustivo del centro de la ciudad creando una malla de 160 cuadrículas y se midieron los niveles de ruido para cuatro franjas horarias definidas así: 7:00–9:00 a.m., 9:30–11:30 a.m., 12:00 m. – 2:00 p.m. y 5:00-7:00 p.m.; franjas que buscaban incluir las horas picos de tráfico vehicular. Se concluyó que el área presentaba ruido generalizado y con altos niveles, así mismo se identificaron puntos críticos.

En este estudio del 2002, la franja horaria con niveles de ruido promedio más altos es la de 5:00-7:00 p.m.; en cambio los niveles más bajos se registraron en las franjas de 9:30-11:30 a.m. y 12:00-2:00 p.m. La zona más ruidosa es la correspondiente a las Avenidas Oriental, El Palo, la calle San Juan; y la menos contaminada por ruido es el barrio Carlos E. Restrepo.

El estudio de 2004 concluye que en el centro de Medellín se encuentra una fuerte mezcla de actividades comerciales, institucionales, industriales y hasta residenciales que hacen muy difícil la aplicación de las normas existentes dada la confusión en la identificación del uso del suelo.

Se identifican sectores críticos como Plaza minorista, El Palo con el Huevo, la Avenida del Ferrocarril y San Juan con Carabobo. Se destaca en la noche los altos niveles de ruido de la Avenida Primero de Mayo con Junín, generados por la intensa actividad nocturna.

1.2.4 Barranquilla. De acuerdo con las estadísticas del DAMAB en Barranquilla a diario se reciben quejas por contaminación sonora, denuncias que en los fines de semana pueden aumentar. La ciudad vive acosada de manera permanente por el paseo campante de ‘equipos de sonido con carro’, los pitos incesantes de los

buses y busetas, los parlantes de almacenes anunciando promociones, los cantos y rezos de iglesias que se tomaron parques y viviendas y la más reciente novedad: los megáfonos de los carromuleros invitando a comprar frutas y verduras por las calles de cualquier barrios. A ello se suman el sonido estridente de la música en almacenes especializados, sobre todo del centro, y los poderosos equipos de sonido de los establecimientos donde se expende licor.

2 EL RUIDO COMO CONTAMINANTE AMBIENTAL

2.1 Definición de sonido y ruido

Es la sensación auditiva producida por un movimiento de partículas en un medio elástico (gaseoso, líquido o sólido) a partir de una posición de equilibrio. El calificativo de agradabilidad o no, es subjetivo respecto al receptor.

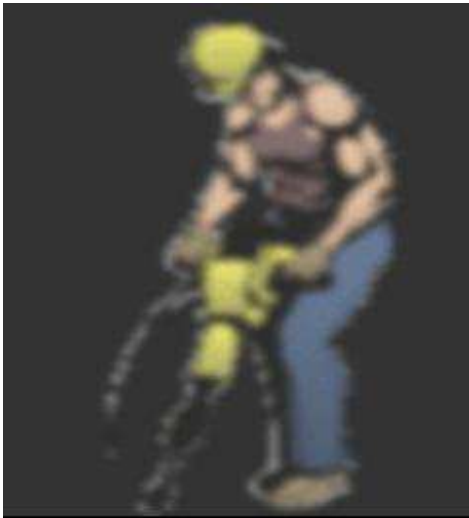
Figura 3. a) Sonido. b) Ruido.



Sonido

- Movimientos ondulatorios y vibratoriales regulares y armónicos en un medio elástico capaz de estimular el oído humano.
- Onda mecánica que requiere un medio de propagación: gaseoso, líquido o sólido a partir de una posición de equilibrio.
- De origen radiante y se propaga en forma de ondas, las cuales son sensibles al oído.
- Sensación agradable para el receptor. Articulada, clara y no perturbadora para el receptor.

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS



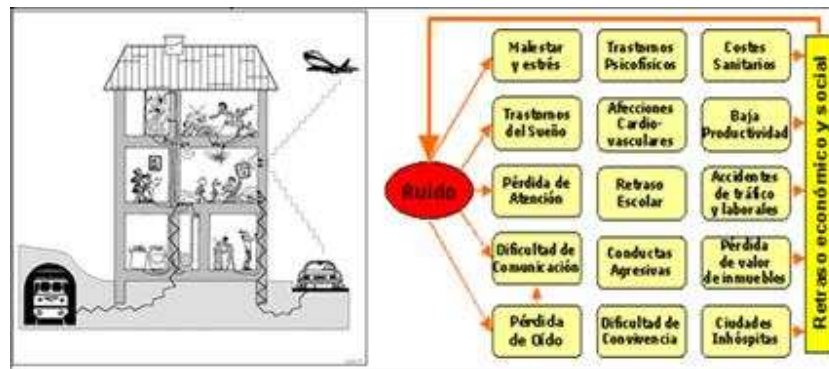
El Ruido.

- Sensación desagradable y molesta.
- Sonido inarticulado, confuso \pm fuerte por lo tanto es no deseado, molesto y perturbador.
- Intervienen tres elementos: fuente, medio de propagación y receptor.
- Es \pm constante por lo que perturba el medio que lo rodea.
- Es de carácter subjetivo lo que dificulta medir sus efectos.
- Causa efectos auditivos y extra auditivos.
- Las fuentes dan origen a una transmisión aérea y otra de tipo estructural.

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

2.2 La contaminación por ruido ambiental

Figura 4. Ruido ambiental y sus efectos.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

Figura 5. Monitoreo de ruido ambiental.



- El ruido es el contaminante más común, y puede definirse como cualquier sonido que sea calificado por quien lo recibe como algo molesto, indeseado, inoportuno o desagradable.
- Así, lo que es música para una persona, puede ser calificado como ruido para otra.
- En un sentido más amplio, ruido es todo sonido percibido no deseado por el receptor.
- Se clasifica como un factor adverso, desagradable, molesto que interfiere la convivencia ciudadana.
- Es considerado por las Naciones Unidas, como un Derecho Fundamental y violatorio de los Derechos Humanos.



- Es el contaminante más barato de producir y necesita muy poca energía para ser emitido.
- Es complejo de medir y cuantificar.
- No deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede tener un efecto acumulativo en sus efectos en el hombre.
- Tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes, vale decir, es localizado.
- No se traslada a través de los sistemas naturales, como el aire contaminado movido por el viento, por ejemplo.
- Se percibe sólo por un sentido: el oído, lo cual hace subestimar su efecto.

Fuente: RAS LTDA

2.3 Efectos extra-auditivos

Rara vez la contaminación sonora ambiental (ruido en exteriores) origina efectos directos sobre el órgano auditivo, en su mayoría estos efectos perjudiciales están asociados a exposiciones ocupacionales.

Figura 6. Sensación de rabi



Malestar

- Sensación de rabi, depresión, intranquilidad, desasosiego, perturbación.
- El índice de malestar depende de la intensidad, de las características de emisión, tiempo de permanecía, horario de generación, intermitencia, el número de impactos, actividad del receptor.

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

Figura 7. Interferencia en la comunicación.



Interferencia en la comunicación

- Comprensión de la palabra resulta interferida o enmascarada por el ruido de fondo afectando la comunicación y el entendimiento del mensaje.
- La inteligibilidad de la palabra debe superar en 15 dB al ruido de fondo, ruidos superiores a 45 interfieren la comunicación.
- En interiores la comunicación se ve afectada por características de reverberación de la habitación, en recintos difusos se produce perdida de la discriminación y percepción.

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

Figura 8. Interferencia en el trabajo.



Interferencia en el trabajo y en las tareas intelectuales

- Ruido de fondo interfiere con la concentración, produce distracciones y reduce rendimiento, afecta la realización de tareas intelectuales, incrementa los errores y potencialmente puede dar origen a accidentes laborales
- Los ruidos de impacto e intermitentes dan origen a una mayor interferencia laboral por sobresaltos, frecuencias altas puede causar irritación e ineficiencia y ruidos de baja frecuencia son mucho más molestos.

Figura 9. Trastornos del sueño.



Trastornos del sueño

- El ruido ambiental produce trastornos del sueño importantes. El sueño ininterrumpido es un prerequisite para el buen funcionamiento fisiológico y mental
- La dificultad de conciliar el sueño o se interrumpe su calidad y amanece cansado. OMS 35 dB se interfiere el sueño y 45 dB lo perturba. Los ruidos de impacto o intermitentes originan mayores perturbaciones y molestias en la consolidación del sueño
- El ruido es un factor de dificultad para conciliar, con diferencias de la sensibilidad relacionadas con la edad y con el sexo, especialmente en grupos vulnerables como: ancianos y niños.
- Aproximadamente un 30% de las personas se despiertan con un pico Sonoro de 70 dB(A) y un 50% tienen alteraciones del sueño a 50 dB(A).

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

Figura 10. Estrés por ruido.



El estrés de trabajo sigue cuando las exigencias del trabajo no igualan las capacidades, los recursos, o las necesidades del trabajador.

Estrés por el ruido

- Cansancio crónico, insomnio, cambios en la conducta, agresividad, trastornos psicológicos.
- Las respuestas neurovegetativas al ruido se traducen en una reacción de estrés y conductas agresivas consecuente con su exposición.

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

2.4 Efectos sociales y económicos del ruido

Figura 11. Monitoreo de ruido generado por un puente peatonal.



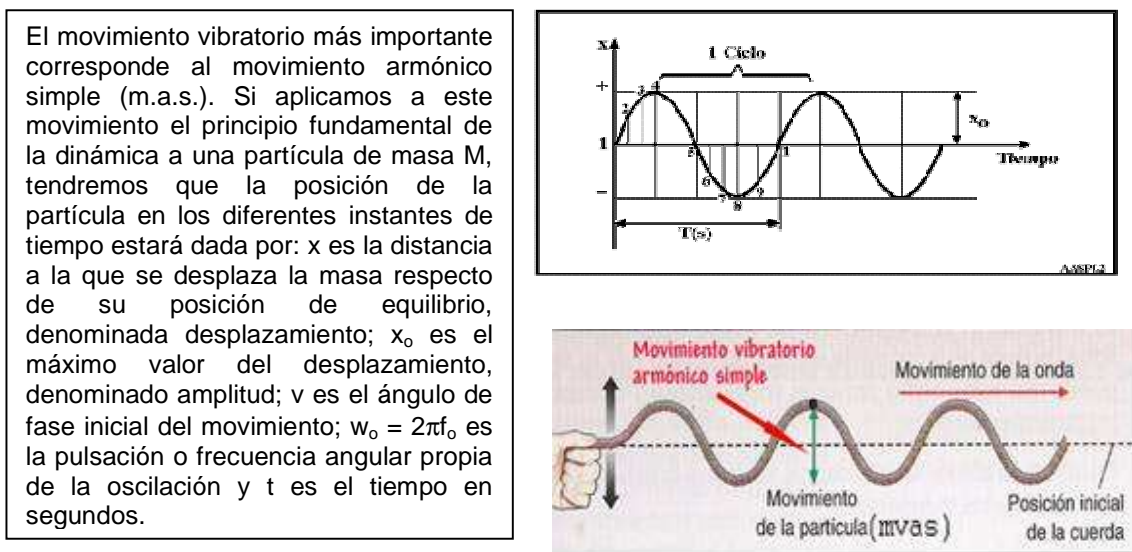
Fuente: RAS LTDA.

- Pérdida del valor económico de los inmuebles residenciales, en especial en cercanías de aeropuertos, vías de alta circulación, puentes peatonales, discotecas, bares, estaciones del tren y terminales de transporte.
- En zonas de alto impacto se genera desplazamiento forzado de poblaciones, originando pérdidas sociales importantes.
- Se impulsa el cambio del uso de suelo de zonas tradicionalmente residenciales.
- Se aumenta el número de quejas y enfermedades comunitarias, especialmente de tipo nerviosas.
- Se altera la convivencia ciudadana y se vulneran los derechos fundamentales.

3 NOCIONES DE ACÚSTICA BÁSICA

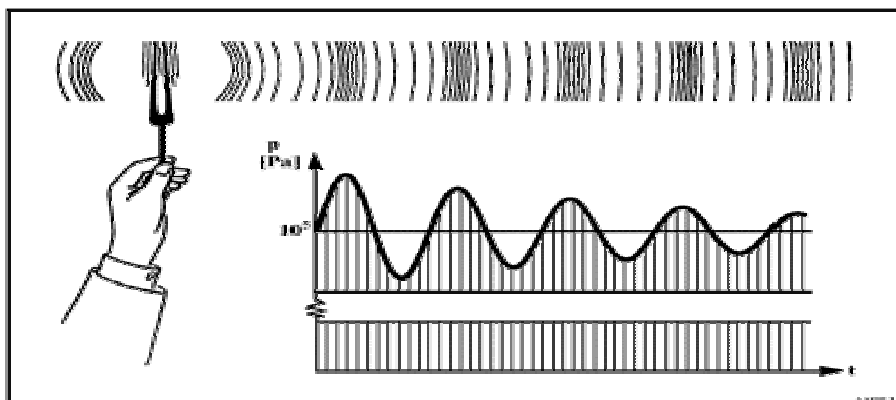
3.1 Movimiento ondulatorio armónico simple

Figura 12. Representación gráfica de una onda senoidal



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

Figura 13. Representación gráfica de una onda de presión.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.2 Características del sonido

3.2.1 Velocidad (C en m/s)

- Indica la distancia viajada por las ondas sonoras en una unidad de tiempo.
- La velocidad del sonido en el aire esta dada por la relación: $c = 331.3 + 0.607 \Delta t$ o c .
- La velocidad del sonido en un gas depende de su peso molecular y de su temperatura dada por la siguiente relación:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Ecuación 1. Velocidad del sonido en un gas.

Donde:

$\gamma = C_p/C_v = 1,4$ para gases diatómicos (como el aire), $R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$,

$M =$ masa de 1 mol en $\text{kg/mol} = 0,0288 \text{ kg/mol}$ para el aire,

$T =$ temperatura absoluta en K.

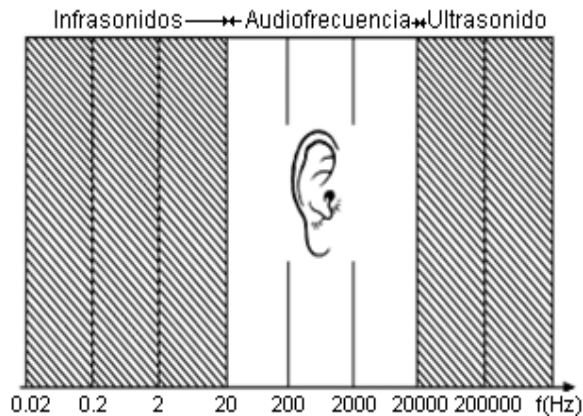
$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ resulta $c = 344 \text{ m/seg}$.

Tabla 3. Velocidad del sonido para ondas planas en varios medios (Beranek, 1993).

Medio	Velocidad [m/s]
Aire a 0 °C	332
Aire a 20 °C	344
Anhídrido carbónico	260
Hidrógeno	1294
Agua a 20 °C	1482
Alcohol etílico a 20°	1170
Vapor a 100 °C	405
Acero	5200
Aluminio	5000
Bronce	3480
Corcho	500
Hormigón	3500
Granito	3950
Madera	4000
Mármol	3810
Plomo	1190
Vidrio	5000

3.2.2 Frecuencia (f, en ciclos por s o Hz)

Figura 14. Infrasonidos, audiofrecuencias y ultrasonidos.



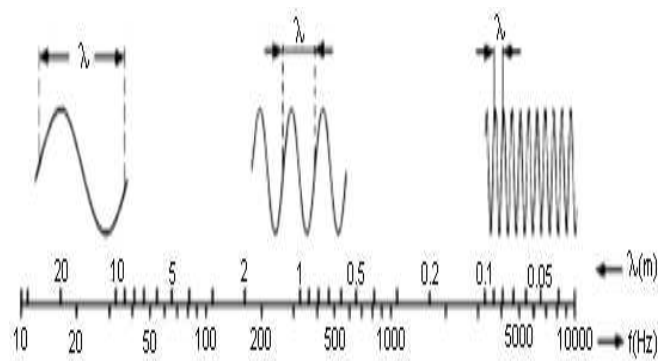
La frecuencia de un fenómeno periódico como una onda sonora es el número de veces que dicho fenómeno se repite por unidad de tiempo (es decir el número de ciclos por segundo).

La frecuencia normalmente se designa mediante un número, seguido de una unidad hertzio (hz). El margen de frecuencia del oído humano se encuentra, normalmente, entre 20 y 20.000 hz (zona de audiofrecuencia).

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.2.3 Longitud de onda (λ en m o cm)

Figura 15. Longitud de onda.



Describe las características en el espacio de una onda; es la distancia entre dos puntos análogos de una onda.

Esta longitud es la misma distancia que viaja la onda sonora en un tiempo de un período, es decir en un ciclo completo de vibración.

FRECUENCIA f, DADA POR:
 $\lambda = C/f = C \cdot T$, en m, cm o en pies.

Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

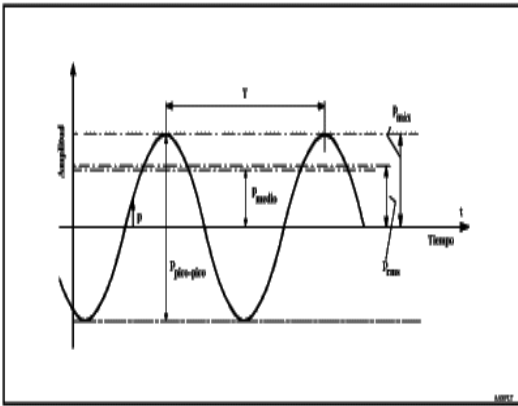
3.2.4 Amplitud (A) (Pascuales, Newtons, dB)

Indica la magnitud de las variaciones de presión. Cuanto mayor sea este valor mas fuerte será la sensación del sonido percibido.

Se define como el desplazamiento máximo, más allá de la posición normal o de "reposo", de las moléculas, átomos o partículas del medio trasmisor de las vibraciones.

Media cuadrática o rms= $\frac{1}{t} \sqrt{a^2 dt} = 0.707$ a - promedio de los cuadrados de las variaciones instantáneas de la amplitud de onda.

Figura 16. Amplitud.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.3 Cualidades del sonido

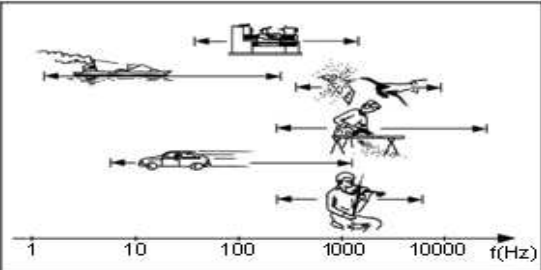
3.3.1 Intensidad

Es la propiedad que hace que éste se capte como fuerte o como débil, es una magnitud de la cantidad de energía. Equivale a una potencia por unidad de superficie y se expresa en W/m².

3.3.2 Tono

Figura 17. Tonos de diferentes fuentes.

Cualidad del sonido mediante la cual el oído puede distinguir entre los graves y los agudos. La magnitud física asociada es la frecuencia. En la percepción sonora intervienen otros factores de carácter psicológico. Adicionalmente se refiere a la calidad del sonido dependiendo de la frecuencia que lo conforma.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.3.3 Timbre

Figura 18. Tono de diferentes instrumentos.

El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir sonidos procedentes de diferentes instrumentos, aún cuando posean igual tono e intensidad. Por esta cualidad es posible reconocer a una persona por su voz, característica de cada individuo. Está relacionado con la complejidad de las ondas sonoras que llegan al oído y depende de la cantidad de armónicos que tenga un sonido y de la intensidad de cada uno de ellos.

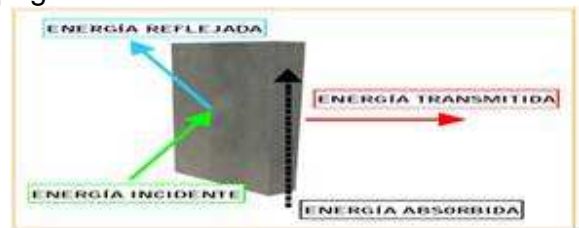


Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.4 Propiedades del sonido

Figura 19. Comportamiento de la propagación de las ondas sonoras.

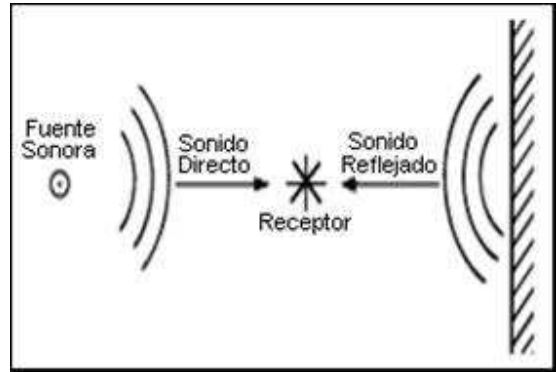
Los comportamientos de la propagación de las ondas sonoras viajan hacia el exterior en todas las direcciones en forma pulsante, cuando chocan con algún obstáculo ocurren diferentes fenómenos acústicos, tales como: reflexión, absorción, difracción y transmisión o refracción, en la mayoría de las situaciones ocurren simultáneamente.



3.4.1 Reflexión

Figura 20. Reflexión de las ondas sobre una superficie.

La reflexión se produce cuando una onda incidente sobre un obstáculo, al chocar parte de la onda cambia de dirección o sentido de su propagación, volviendo al mismo medio de llegada. En la reflexión no varía ni la frecuencia, ni la velocidad de propagación, ni cambia el ángulo de reflexión con la normal de incidencia. Si la superficie es lisa, se produce una reflexión especular (el ángulo del sonido reflejado es el mismo que el sonido incidente). En superficies irregulares, el sonido se refleja en múltiples direcciones, produciendo una difusión homogénea del campo sonoro.

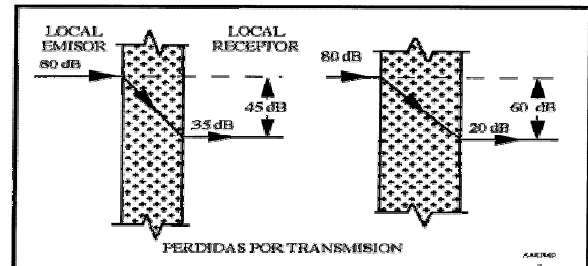


Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.4.2 Refracción

Figura 21. Refracción de ondas.

Cambio de dirección que presenta una onda sonora al pasar de un medio de propagación a otro, con diferente densidad. Tanto el ángulo de incidencia de las ondas como la diferencia de densidad en los medios, determinan el grado de refracción.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

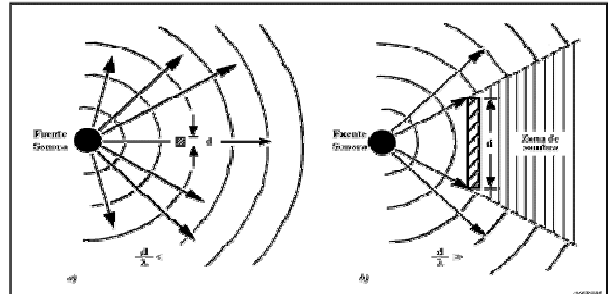
LEYES DE LA REFRACCIÓN

El rayo incidente, el refractado y la normal sobre la superficie del segundo medio caen en el mismo plano. El ángulo de incidencia y el ángulo de refracción se relacionan por: $\text{Sen } \theta_i / V_{\text{incidente}} = \text{Sen } \theta_r / V_{\text{Refracción}}$.

3.4.3 Difracción

Figura 22. Difracción de ondas.

La difracción es el cambio en la dirección de la propagación de las ondas sonoras, cuando chocan con un obstáculo. El grado de difracción depende de la longitud de la onda (λ), de manera que se pueden contemplar 3 posibilidades. Para $h < \lambda$, no se producen sombras. Para $h = \lambda$, el ruido llega atenuado. para $h > \lambda$, se producen zonas de sombras.

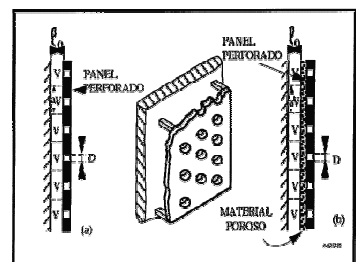


Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.4.4 Absorción

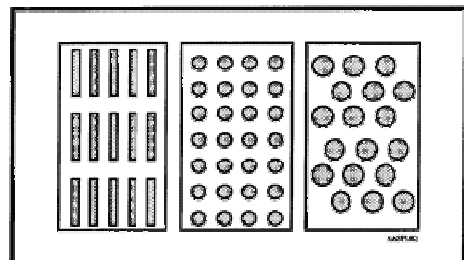
Figura 23. Materiales absorbentes

La energía que incide en un obstáculo no es devuelta al medio de transmisión, sino que se transforma en calor. La cantidad de energía absorbida dependerá de la naturaleza del material.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

La porosidad es una característica de los materiales absorbentes. Al entrar las ondas en estos materiales rebotan en miles de bolsas de aire hasta que pierden parte de su energía, la cual se ha convertido en calor.



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

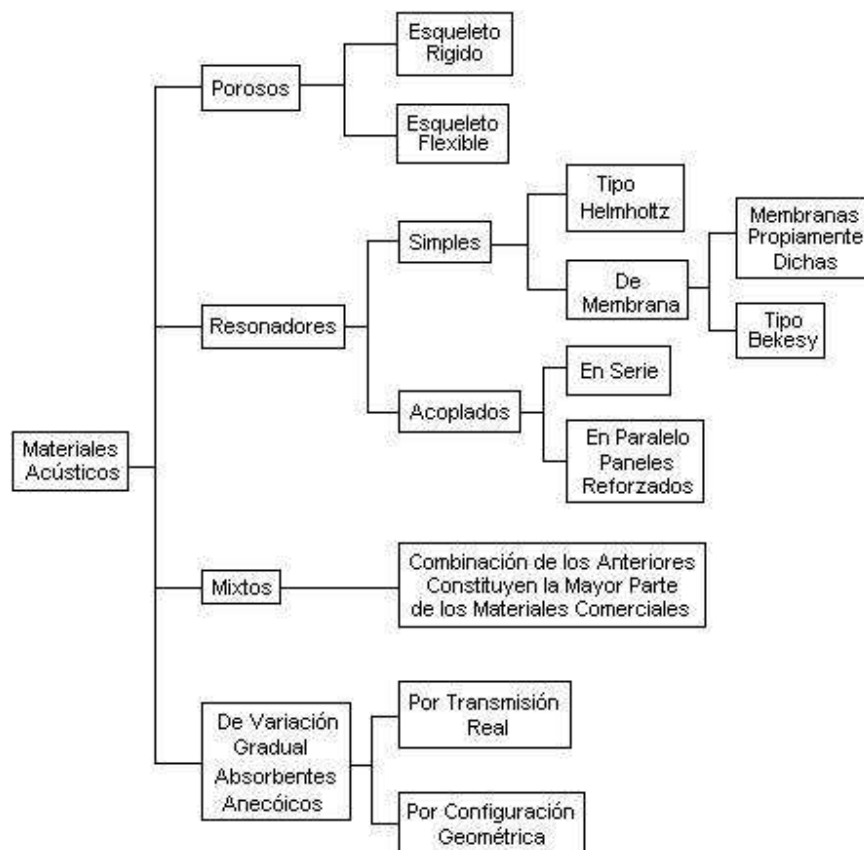
Tipos de Materiales Absorbentes

Absorbedores disipativos, materiales porosos, fibrosos o con agujeros o cavidades en su estructura.

Absorbedores de membrana., instalación de paneles de madera o corcho sobre bastidores separados a distancia de la pared, dejando una cámara de aire.

Absorbedores de Helmholtz o llamados resonadores, son cajas de resonancia con agujeros en forma de cuello por donde entra la onda sonora y pierde parte de su energía, atenuando la emisión sonora.

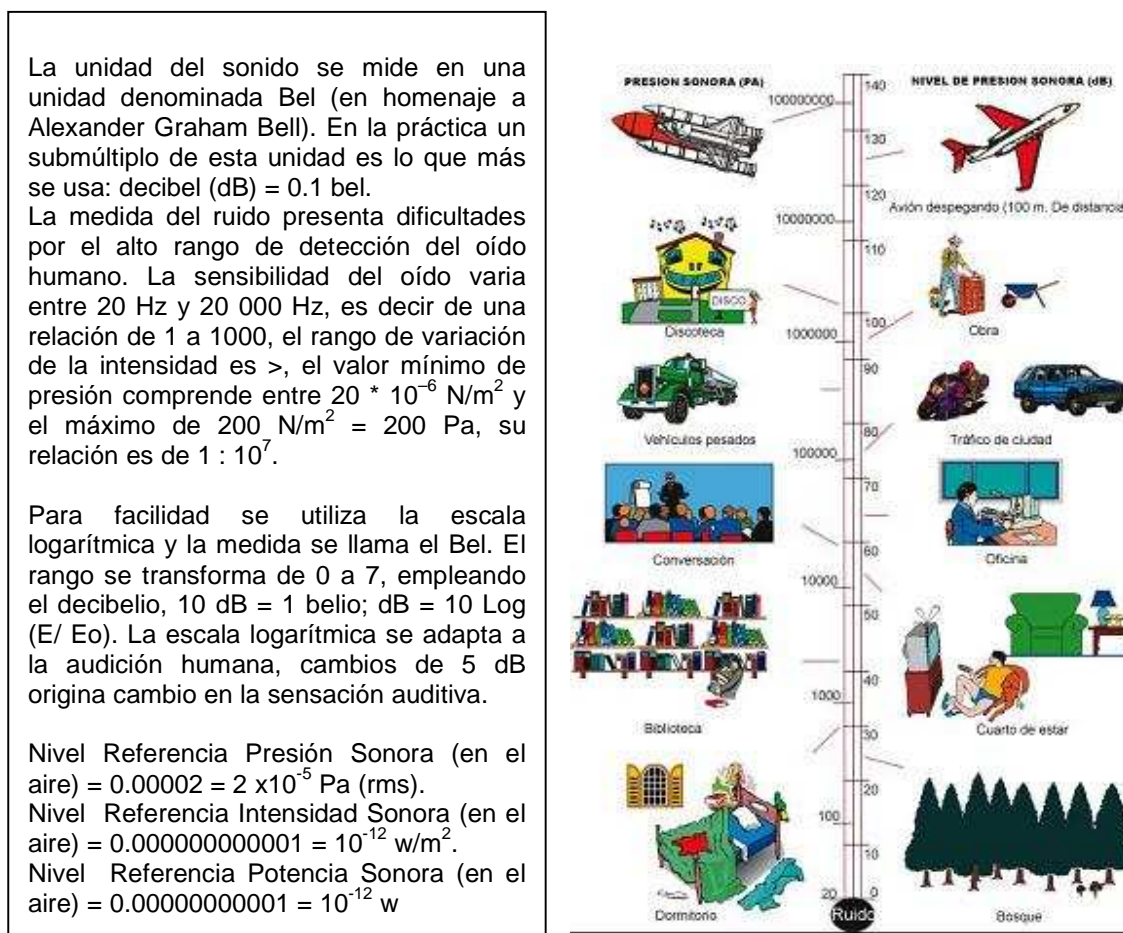
Figura 24. Estructura organizacional de los materiales acústicos.



3.5 Niveles acústicos concepto de nivel y decibel

3.5.1 Concepto de Decibelio

Figura 25. Relación de Niveles de Presión Sonora en (dB) y en (mPa).



Fuente Cyril M. Harris y documento OMS

3.6 Magnitudes acústicas

Figura 26. La intensidad sonora I_n medida sobre un sector dS de una superficie

3.6.1 Nivel de potencia acústica

Al expresar la potencia acústica de una fuente, en una escala logarítmica, "nivel de potencia sonora" L_w en dB, dado por:

$$L_w = 10 \text{Log} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

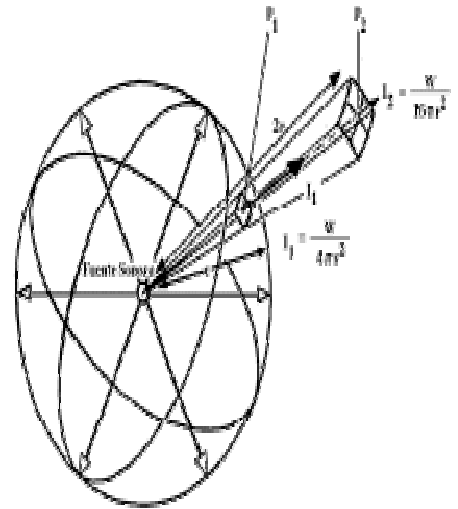
Ecuación 2. Nivel de potencia sonora.

W es la potencia de la fuente y W_0 es la potencia de referencia ambas en wattios, cuyo valor normalizado es de 1 picowattios o bien 10^{-12} wattios. Si se sustituye este valor en la Ecuación 2, se obtiene:

$$L_w = 10 \text{Log} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) = 10 \text{Log}(W) + 120$$

Ecuación 3. Potencia Acústica

El término nivel de potencia acústica no debe confundirse con el nivel de presión acústica, ya que en el primer caso es una medida de la potencia acústica radiada por la fuente, mientras que el segundo nivel depende no sólo de la potencia de la fuente, sino también de la distancia a la fuente y de las características del espacio que rodea a la fuente.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano

3.6.2 Nivel de presión acústica

El nivel de presión acústica (L_p) en dB, se expresa como:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Ecuación 4. Presión acústica

P es el valor de la presión acústica a una distancia determinada de la fuente y P_0 es la presión acústica de referencia cuyo valor es de 20 micropascales. Tanto la intensidad como la presión acústica de referencia son los valores mínimos que son audibles para las personas dentro de un rango de frecuencias en el que el oído es más sensible.

El nivel de presión acústica de las ondas sonoras está dado por la expresión:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{\bar{p}}{2 \times 10^{-5}} \right) = 20 \log \bar{p} + 26$$

Ecuación 5. Presión acústica de ondas sonoras.

A una presión sonora P de 20 μPa le corresponde un nivel de presión sonora de 0 dB, mientras que a un valor de 40 μPa el valor del nivel correspondiente es de 6 dB de acuerdo con la ecuación, es decir al doble de cualquier valor de presión sonora le corresponde en el nivel un incremento de 6 dB. Por la misma razón si se multiplica la presión sonora por 10, el nivel se encuentra en 20 dB.

Con el fin de proporcionar una escala adecuada, la presión sonora rms real se divide por la presión sonora de referencia, 2×10^{-5} Pa, antes de tomar el logaritmo. Dado que la presión de referencia es aproximadamente igual a la presión audible mínima a 1 KHz, la relación para cualquier sonido audible es mayor que la unidad y el nivel de presión sonora, en dB, es positivo, correspondiendo 0 dB aproximadamente al umbral de audición a 1 KHz. La escala se extiende hacia arriba, típicamente hasta los 120 dB antes de que el sonido llegue a ser tan sonoro que comience a hacer daño. La palabra "nivel" se incluye siempre que se emplee la escala de decibelios.

Debido a que los decibelios fueron definidos originalmente para relaciones de potencias, y a que la potencia sonora es proporcional al cuadrado de la presión, se ha sacado al factor 2 fuera del logaritmo, por lo que aparece el factor 20 en dicha expresión (20).

Ejemplo 1. Determinación del valor de la intensidad de una fuente en un punto.

Dada una fuente sonora puntual en campo libre, que emite una potencia acústica de 0,0045 vatios, encontrar el valor de la intensidad sonora en la dirección radial a una distancia de 3 m de la fuente.

A partir de la ecuación, encontramos que:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{0.0045}{12 * 9} = 0.0000416 \text{ w/m}^2$$

Ecuación 6. Intensidad sonora en un punto.

Podemos considerar que intensidad existiría en la dirección radial a una distancia doble, es decir:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{0.0045}{12 * 36} = 0.00001042 \text{ w/m}^2$$

Ecuación 7. Intensidad sonora radial en un punto.

Como se puede observar la intensidad se ha reducido a la cuarta parte del valor anterior, debido a que la distancia entre la fuente y el punto se ha duplicado, de acuerdo con la denominada ley de la divergencia.

Ejemplo 2. Determinación de la intensidad sonora creada por un conjunto de fuentes.

Suponiendo que la conversación de una persona corresponde a una presión instantánea de 10 dinas/cm², calcular la intensidad sonora de una población de tres millones de habitantes todos ellos produciendo la mencionada presión.

Teniendo en cuenta la Ecuación 8, nos encontramos con que para una persona la intensidad sería:

$$I = \frac{P^2}{P_0 C}$$

Ecuación 8. Calculo de intensidad sonora para una persona.

y considerando que $P = 10 \text{ dinas/cm}^2 = 10 \text{ N/m}^2$ así como $P_0 = 1,213 \text{ Kg/m}^3$ y $C = 343 \text{ m/s}$ a una temperatura del aire de 201, la impedancia característica del aire será de 415 KgA c/m^2 . Luego el valor de la intensidad será:

$$I = \frac{10}{415} = 0.241 * 10^4 \text{ Kw/m}^2$$

Ecuación 9. Intensidad sonora para una persona.

Y teniendo en cuenta que la población es de 3.000.000 de habitantes, y que todos ellos emiten la misma potencia, el valor total será:

$$I_T = nI_1 = 30000000,241 * 10^4 = 72.3 \text{ Kw/m}^2$$

Ecuación 10. Energía liberada en una conversación.

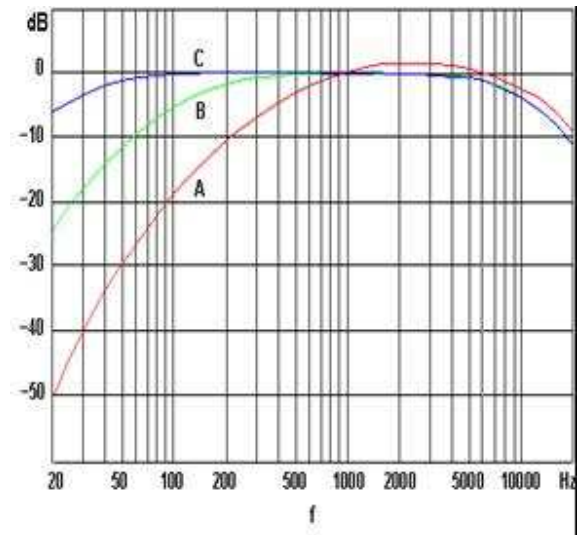
Como podemos comprobar la energía que se libera en la conversación es muy pequeña, por lo que con un número muy elevado la cantidad de energía sigue siendo reducida.

Si duplicásemos el número de personas hablando la cantidad de energía se duplicaría.

3.6.3 Escala de ponderación del sonido

Figura 27. Escalas de ponderación del sonido.

<p><u>Escala de Ponderación A o dB(A)</u> Diseñada para obtener una respuesta a la frecuencia similar a la del oído humano, para niveles bajos de presión acústica.</p> <p><u>Escala de Ponderación B o dB(B)</u> Diseñada para obtener una respuesta a la frecuencia similar a la del oído humano, para niveles medios de presión acústica.</p> <p><u>Escala de Ponderación C o dB(C)</u> Diseñada para obtener una respuesta a la frecuencia similar a la del oído humano, para niveles altos de presión acústica.</p> <p><u>Escala de Ponderación D o dB(D)</u> Diseñada para evaluar el ruido de Aviones.</p>



Fuente: Ruido Industrial y Urbano

3.6.4 Adición de decibeles. A menudo es necesario combinar niveles, por ejemplo:

1. Para calcular el nivel sonoro que resulta de la combinación de fuentes de ruido.
2. Para determinar el nivel sonoro combinado de una fuente más el ruido de fondo.
3. Para calcular el nivel de presión sonora global a partir de niveles de banda de octava o niveles de banda de tercio de octava.
4. Para calcular el nivel sonoro con ponderación A para un espectro determinado de banda de octava.
5. Para combinar el nivel de presión sonora de dos o más fuentes de sonido.

6. Para calcular el nivel sonora con ponderación A, a partir de los niveles de potencia sonora de banda de octava.

El nivel de una combinación no es la suma de los niveles individuales. Por ejemplo, en un punto determinado, si una máquina produce un nivel sonoro de 50 dB y una segunda máquina también produce un nivel de 50 dB, mientras ambas están funcionando, el nivel sonoro no es 100 dB. Esto se debe a que el nivel sonoro, en decibelios, no sigue una escala lineal; la escala es logarítmica. Para averiguar el nivel de la combinación, se puede resolver a través de expresiones matemáticas, partiendo de la definición del nivel de presión sonora.

$$L_p = 10 \text{Log} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

$$\text{Log} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = L_p / 10, \text{ ó, } \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 10^{L_p / 10}$$

Ecuación 11. Cálculo de nivel combinacional puntual.

Puesto que las potencias relativas se pueden sumar, la forma general de cálculo está dada por:

$$L_{p \text{ total}} = 10 \text{Log} \left(10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10} + \dots + 10^{L_{pn}/10} \right)$$

Ecuación 12. Cálculo de nivel combinacional general.

Ejemplo 1. Combinar varios niveles sonoros.

En un punto determinado, una máquina produce un nivel sonoro de 70 dB si es la única en operación. Una segunda máquina produce un nivel de 66 dB si es la única que funciona. Una tercera máquina produce un nivel de 65 dB si solo ella funciona. ¿Cuál es el nivel sonoro de las tres operando simultáneamente?

$$L_p \text{ total} = 10\text{Log}(10^7 + 10^{6.6} + 10^{6.5}) = 72.3 \text{ dB}$$

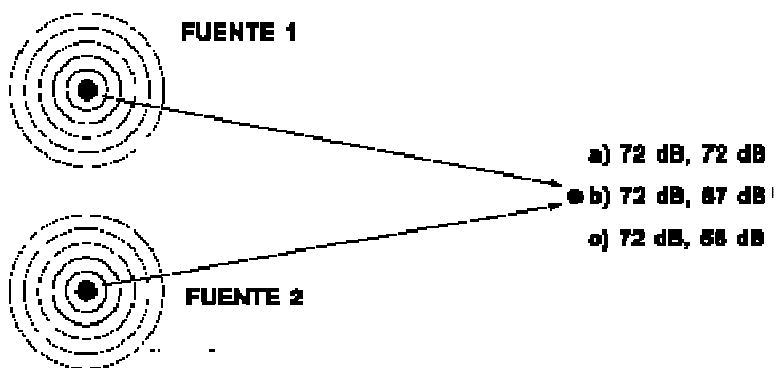
Ecuación 13. Solución ejemplo 1.

El nivel sonoro operando las tres máquinas simultáneamente es 72,3.

Ejemplo 2. Suma de dos niveles acústicos.

En un punto determinado, una fuente sonora 1 produce un nivel de presión sonora de 72 dB, y una segunda fuente sonora 2 produce un nivel de presión sonora de otros 72 dB en el mismo punto (Figura 28). Encontrar el nivel de presión sonora cuando ambas fuentes funcionan simultáneamente. Si la segunda fuente varía su funcionamiento, encontramos que en el mismo punto produce un nivel de presión sonora de 67 dB, encontrar de nuevo el nivel de presión sonora total. Por último, si la misma fuente sonora 2, cambia de nuevo su funcionamiento y en el mismo punto el nivel de presión sonora es de 58 dB, encontrar el nivel de presión sonora total.

Figura 28. Dos fuentes sonoras funcionando simultáneamente.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

De acuerdo con lo expuesto en el apartado de combinación de niveles, si se sigue el procedimiento gráfico, en primer lugar encontramos la diferencia entre los dos niveles:

$$L_{p1} - L_{p2} = 72 - 72 = 0$$

Ecuación 14. Nivel combinacional ejemplo 2.

Este valor se lleva al eje de abscisas de la Figura 27, y se sube hasta la intersección con la curva que da un valor $\Delta L = 3$ dB, ahora este valor lo sumamos al de 72 y el nivel de presión sonora total es de 75 dB. Como se puede apreciar siempre que se sumen niveles acústicos de valores iguales, el nivel acústico total se incrementa en 3 dB.

Si estudiamos ahora el segundo supuesto, vemos que la diferencia entre los dos niveles de presión acústica es:

$$L_{p1} - L_{p2} = 72 - 67 = 5 \text{ dB}$$

Ecuación 15. Nivel combinacional ejemplo 2a.

de nuevo este valor los llevamos al eje de abscisas y se sube hasta la intersección con la curva, trazando a continuación una paralela al eje de abscisas hasta el eje de ordenadas, encontrando un valor de $\Delta L = 1,4$ dB que sumado al mayor de los niveles nos da un nivel de presión sonora total de $72 + 1,4 = 73,4$ dB.

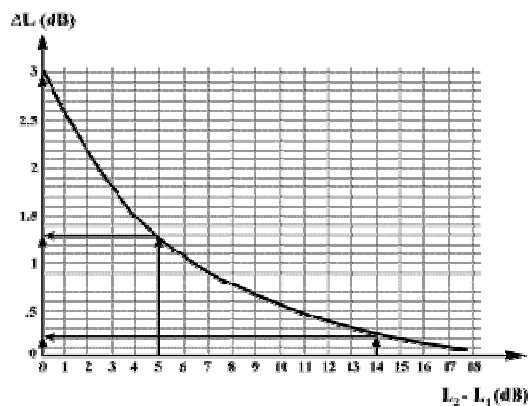
Finalmente si consideramos el caso tercero encontramos la diferencia:

$$L_{p1} - L_{p2} = 72 - 58 = 14 \text{ dB}$$

Ecuación 16. Nivel combinacional ejemplo 2b.

como en los dos casos anteriores encontramos el valor de $\Delta L = 0,2$ dB que sumado al mayor de los niveles nos da un valor total de 72,2 dB, es decir, que cuando la diferencia entre los dos niveles acústicos es superior a 10 dB, prácticamente el nivel acústico total es el que corresponde al mayor de los niveles sumados.

Figura 29. Diagrama de suma de los dos niveles.

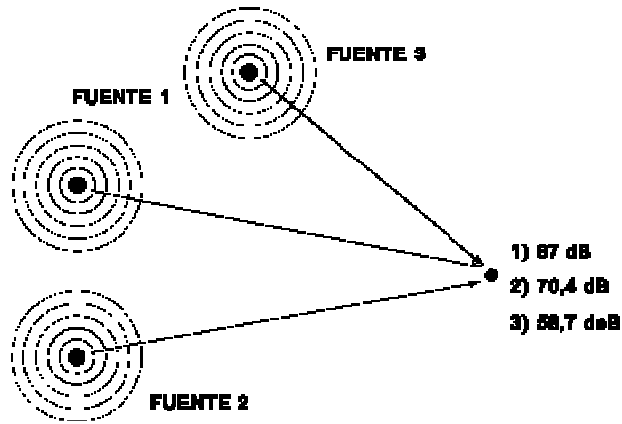


Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

Ejemplo 3. Suma de varios niveles acústicos.

En un recinto se encuentran tres fuentes de ruido, de tal manera que cuando solo funciona la primera en un punto determinado crea un nivel de presión sonora de 63 dB; si la segunda fuente sonora funciona solamente, genera en el mismo punto anterior un nivel de presión sonora de 70,4 dB, y por último cuando solo funciona la tercera fuente, el nivel de presión sonora en el mismo punto que en los dos casos anteriores es de 58,7 dB. Encontrar el nivel de presión sonora cuando las tres fuentes están funcionando simultáneamente (Figura 30).

Figura 30. Tres fuentes sonoras funcionando simultáneamente.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

Para determinar el nivel de presión sonora total, en primer lugar se seleccionan para sumar los niveles, los correspondientes a las dos fuentes que crean los mayores niveles en el punto determinado, que en este caso corresponden a los dos primeros. Siguiendo el procedimiento gráfico establecido para la suma de niveles, en primer lugar encontramos el valor de la diferencia entre los dos niveles:

$$L_{p1} - L_{p2} = 70.4 - 63 = 7.4 \text{ dB}$$

Ecuación 17. Niveles acústicos 3a.

este valor lo llevamos sobre el eje de abscisas de la Figura 27 y trazamos una paralela al eje de ordenadas hasta que encuentra la curva, determinando el valor de ΔL trazando otra paralela al eje de abscisas, siendo su valor el de 0,8 dB que sumado al mayor de los niveles, alcanza un valor de $L'_p = 70,4 + 0,8 = 71,2$ dB.

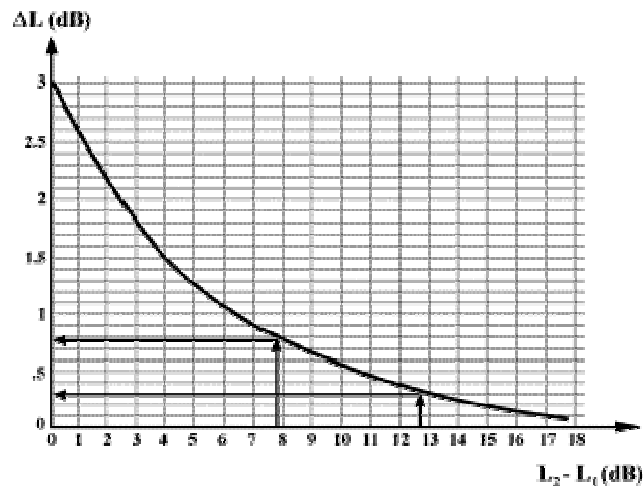
Ahora repetimos el proceso con la fuente sonora tercera de 58,7 dB, por lo que determinando en primer lugar la diferencia entre niveles obtenemos:

$$L'_p - L_{p3} = 71.2 - 58.7 = 12.5 \text{ dB}$$

Ecuación 18. Niveles acústicos 3b.

y siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior, encontramos el valor de $\Delta L = 0,1$ dB siendo el nivel de presión sonora total creado por las tres fuentes en el punto de 71,3 dB. Podemos apreciar que la contribución de la tercera fuente al nivel acústico total es prácticamente despreciable, ya que cuando la diferencia entre niveles es superior a 10 dB, la segunda fuente sonora prácticamente no contribuye al nivel acústico total.

Figura 31. Diagrama de suma de tres niveles.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

3.6.5 Sustracción de decibeles. Para la sustracción de decibeles se va a desarrollar el siguiente ejercicio:

En un punto determinado de un salón existe un nivel total de presión sonora (L_t) de 90 dB, operando simultáneamente varias máquinas. Cuando una máquina se apaga, el nivel de presión sonora (L_1) disminuye en 85 dB. ¿Cuál es el nivel de presión sonora (L_2) de la máquina que se apagó? Usando la expresión matemática:

$$L_2 = 10\text{Log}\left(10^{L_2/10} - 10^{L_1/10}\right) = 10\text{Log}(10^9 - 10^{8,5}) = 88,3 \text{ dB}$$

Ecuación 19. Ejemplo sustracción de decibeles.

Ejemplo 4. Niveles de potencia acústica combinados.

Supongamos que una máquina ruidosa en un taller tiene un nivel de potencia acústica de 80 dB re 1 picovatio (pW), mientras que una segunda máquina en el mismo taller tiene un nivel de potencia acústica de 76,5 dB re 1 pW. Encontrar el nivel de potencia acústica combinado.

Se sigue el mismo procedimiento que para el cálculo del nivel de presión acústica y el nivel de intensidad acústica. En primer lugar determinamos la diferencia entre los dos niveles, es decir $80 - 76,5 = 3,8$ dB. Teniendo en cuenta la Figura 27, observamos que a esta diferencia le corresponde un valor de $\Delta L = 1,5$ dB, que debemos sumar al mayor de los niveles de potencia $80 + 1,5 = 81,5$ dB siendo el nivel de potencia acústica total.

Si tratamos de solucionar analíticamente el problema, de acuerdo con la definición de nivel de intensidad, tendremos:

$$L_{w2} = 10\text{Log}\left(\frac{W_2}{W_{re}}\right) \text{ entonces } W_2 = (10^{0,1L_{w2}})W_{re}$$

$$L_{w1} = 10\text{Log}\left(\frac{W_1}{W_{re}}\right) \text{ entonces } W_1 = (10^{0,1L_{w1}})W_{re}$$

Ecuación 20. Nivel de potencia acústica en un punto.

donde $w_{re} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, luego

$$L_{WT} = 10 \text{Log} \frac{W_T}{W_{re}}$$

Ecuación 21. Nivel de potencia acústica total.

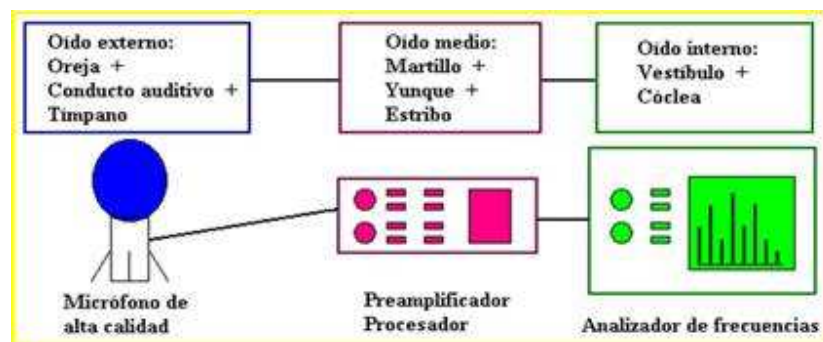
Por consiguiente: $W_T = W_1 + W_2$, entonces:

$$L_{WT} = 10 \text{Log} \left(10^{0.1L_{w1}} + 10^{0.1L_{w2}} \right) \frac{W_{re}}{W_{re}} = 10 \text{Log} (10^8 + 10^{7.65}) = 81.6 \text{ dB}$$

Ecuación 22. Solución ejemplo 4.

3.6.6 Esquema de la función auditiva e instrumentos de evaluación sonora

Figura 32. Instrumentos de evaluación sonora.

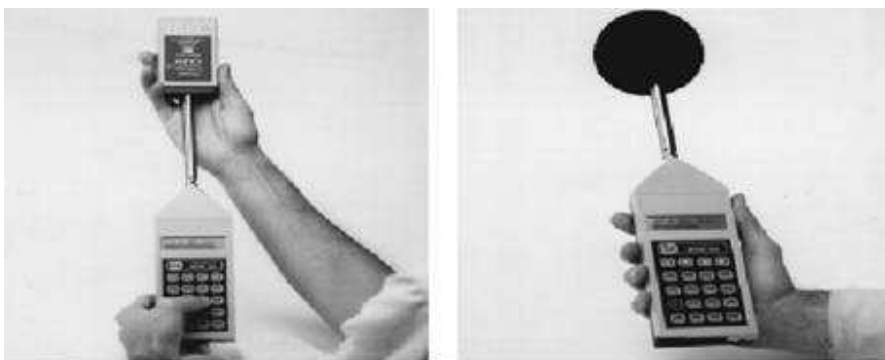


Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

3.6.7 El medidor de ruido o de presión sonora- El medidor de nivel sonoro, también denominado sonómetro o decibelímetro es el instrumento de medición acústica más simple, que responde ante un sonido en forma aproximada a como lo hace el oído humano, registra las medidas objetivas y reproducibles y por esa razón, el más difundido. Está orientado a determinar el nivel sonoro, L_{pA} , es decir el nivel de presión sonora con intercalación de una adecuada red de compensación (o ponderación) de frecuencias.

El equipo de evaluación está constituido internamente por: el micrófono, amplificador de señal sonora, filtros de ponderación, atenuador, calibrador y protector de viento. El grado de precisión de las medidas así como también de los tiempos de registros y condiciones termo higrométricas varía su complejidad al igual que su costo.

Figura 33. Sonómetros.



Fuente: RAS LDA.

3.6.8 Ponderaciones de tiempo en los sonómetros

Tabla 4. Ponderaciones.

Ponderación Temporal	Caracterización
S	El instrumento responde lentamente ante los eventos sonoros. El promediado efectivo de tiempo es de aproximadamente un segundo.

Continuación Tabla 4.

Ponderación Temporal	Caracterización
----------------------	-----------------

F	Brinda una respuesta al estímulo sonoro más rápida. La constante de tiempo es menor (125 milisegundos) y por tanto, puede reflejar fluctuaciones poco sensibles a la ponderación anterior.
I	Tiene una constante de tiempo muy pequeña. Se emplea para juzgar cómo influye, en el oído humano, la intensidad de sonidos de corta duración 35 msg.
Peak	Permite cuantificar niveles picos de presión sonora de extremadamente corta duración (50 microsegundos). Posibilitando la determinación de riesgo de daño auditivo ante los impulsos.

4 ASPECTOS BASICOS DEL RUIDO Y SU PROPAGACION

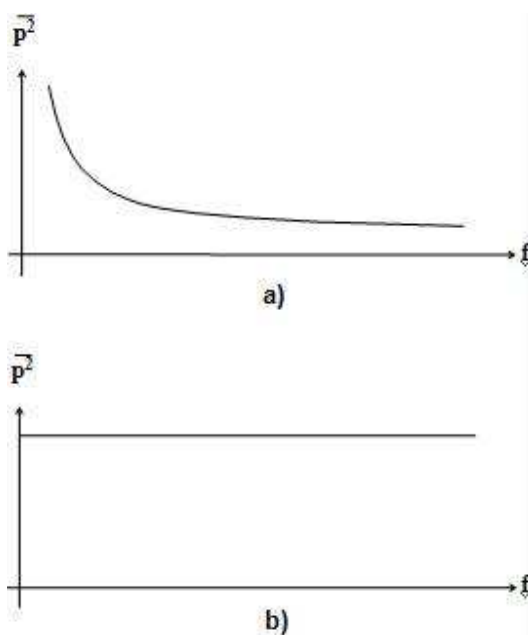
4.1 Por su frecuencia

Figura 34. a) Ruido rosa. b) Ruido blanco.

Ruido Rosa.

En el ruido rosa la energía es proporcional a $1/f$, mayor contenido de bajas frecuencias (el nombre se inspira en la luz rosa, que contiene todos los colores, pero el rojo con mayor intensidad). Se utiliza como señal de prueba para ensayos acústicos, ya que contiene igual energía en todas las bandas de octava (o de tercio de octava).

Se caracterizado por un descenso de tres decibelios por octava.



Ruido blanco.

El ruido blanco tiene un espectro constante con la frecuencia e independiente de esta (su nombre proviene de la analogía con la luz blanca, que contiene todos los colores con igual intensidad).

Fuente: Ruido Industrial y urbano

4.2 Por tiempo

Ruido Continuo.

El ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante o casi constante, fluctuaciones hasta de un segundo, y que no presenta cambios repentinos durante su emisión. + de 60 golpes por minuto.



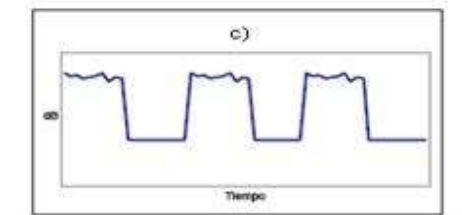
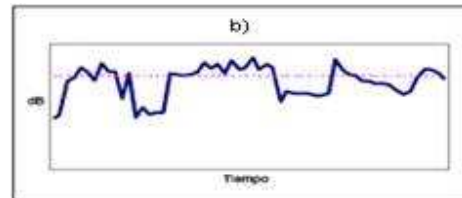
Figura 35. Ruidos: a) continuo, b)

fluctuante, c) intermitente.

Fuente: Ruido Industrial y Urbano

Ruido Fluctuante.

El ruido cuyo nivel de presión acústica varía significativamente más de una vez durante el periodo de observación.



Ruido Intermitente.

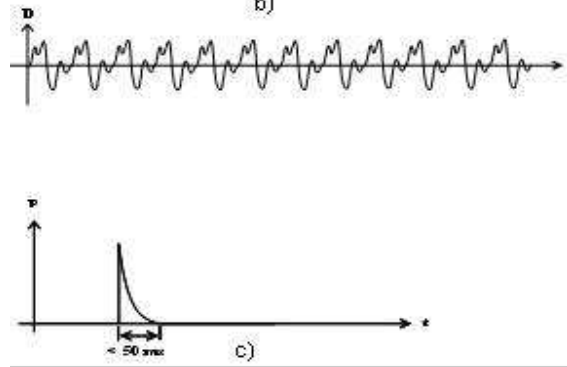
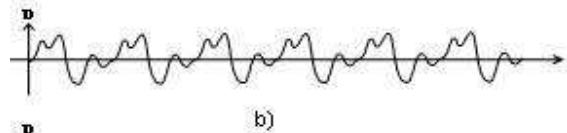
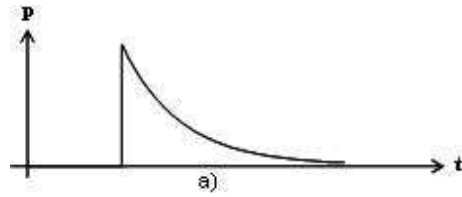
El ruido cuyo nivel de presión acústica iguala el nivel ambiental 2 o + veces durante el tiempo de monitoreo. El periodo de tiempo, permanece constante y difiere del nivel ambiental, siendo del orden de un segundo o +.

Fuente: Manual de Medidas Acústicas y de control de ruido

Figura 36. Ruidos: a) Inestable, b) Estable, c) de Impacto.

Ruido Inestable.

El ruido cuyo nivel de presión acústica varía significativamente durante el periodo de observación.



Ruido Estable.

El ruido cuyo nivel de presión sonora permanece esencialmente constante fluctuaciones ± 2.5 dB, durante el periodo de observación.

Ruido Impulsivo o de impacto.

El ruido cuyas variaciones de los niveles, involucran valores máximos o intervalos $>$ de uno por segundo. Cuando son $<$ de un segundo, se considera ruido continuo o intermitente. Impacto crecimiento casi instantáneo menor a 10s. Impulsivo crecimiento instantáneo menor a 50 milisegundos.

Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

4.3 Como se trasmite el sonido

Figura 37. Formas de transmisión del sonido.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

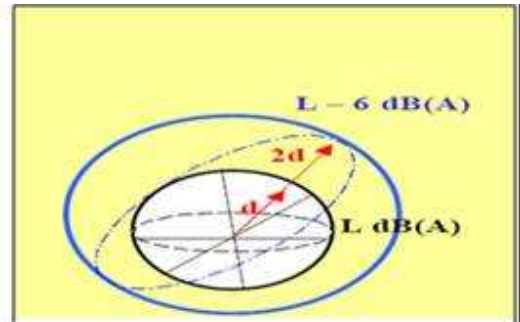
4.4 Propagación del sonido en campo libre

Figura 38. Propagación puntual y cilíndrica de una fuente lineal.

La energía sonora está concentrada en un punto y se propaga uniformemente en todas las direcciones, disminuyendo en amplitud según se alejan de la fuente. Al duplicar la distancia el nivel sonoro disminuye en 6 dB(A) cumpliendo la Ley del cuadro inversa y se aplica a emisiones procedentes de aviones, industrias, de actividades constructivas, entre otras.

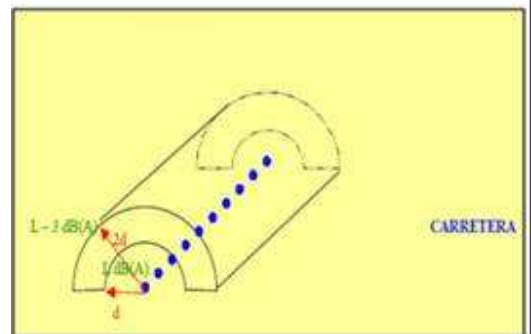
$$I = \frac{P^2}{\rho c} = \frac{w}{4\pi r^2} = L_w = L_p + 20\text{Log}(r) + 11$$

Ecuación 24. Intensidad sonora de fuente puntual



En este modelo de una fuente lineal, su propagación se da en forma de ondas cilíndricas, obteniéndose una diferente relación de variación de la energía en función de la distancia cada tres dB. Se aplica en infraestructura de transporte (carretera o vía ferroviaria), considerada desde el punto de vista acústico, puede asimilarse a una fuente lineal.

$$I = \frac{P^2}{\rho c} = \frac{w}{2\pi r} = L_w = L_p + 10\text{Log}(r) + 3$$



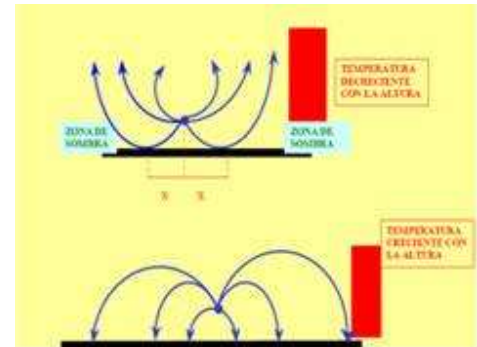
Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

4.5 Influencia de la temperatura, del viento, suelo y barreras en la propagación del sonido

4.5.1 Influencia de la temperatura

Figura 39. Influencia de la temperatura

Las variaciones de temperatura tienen influencia sobre la densidad del aire, y por lo tanto, sobre la velocidad de propagación de las ondas sonoras ($c = f(\text{densidad})$). La temperatura del aire puede decrecer con la altitud (caso más usual), o bien, crecer con ella (inversión térmica). Si la temperatura decrece con la altura, los rayos sonoros se curvan con pendiente creciente, provocando una zona de sombra alrededor de la fuente. Sin embargo, en el caso de inversión térmica, los rayos se curvan hacia el suelo, eliminando la zona de sombra. Esta situación de inversión térmica puede provocar un aumento de 5 a 6 dB(A) con relación a la situación normal.

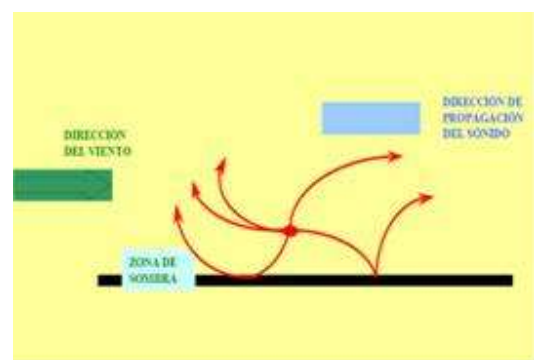


Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

4.5.2 Influencia del viento

Figura 40 Influencia del viento en la propagación del ruido.

La influencia del viento puede generar variaciones de 5 dB(A) en distintas situaciones. En presencia del viento, el sonido, en lugar de propagarse en línea recta, se propaga según líneas curvas. En el sentido del viento, su propagación es favorable, los rayos sonoros se curvan hacia el suelo. Contra el viento o en su ausencia, su propagación es desfavorable, los rayos sonoros se curvan hacia lo alto, formándose, a partir de una cierta distancia de la fuente (normalmente superior a los 200 metros), una zona de sombra. La atenuación debida al viento es un fenómeno muy complejo difícil de modelar.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

4.5.3 Influencia del suelo

Figura 41. a) Efecto suelo. b) Reflexiones con el suelo. c) Reflexión del sonido.

La atenuación por el suelo es el resultado de la interferencia entre el sonido directo y el reflejado por el suelo y depende en gran medida del tipo de superficie: el suelo duro (asfalto, cerámica, cemento) produce un incremento de la reflexión, el suelo blando (tierra o hierba), debido al repartimiento espacial de la energía acústica, disminuye la reflexión. Del mismo modo, un suelo mojado o espejo de agua, aumentan el nivel de la reflexión.

El suelo se clasifica acústicamente:

- Suelo duro: pavimentos de asfalto y hormigón, agua y todas las demás superficies que tengan poca porosidad.
- Suelo blando: suelo cubierto por vegetación.
- Suelo muy blando: las superficies muy porosas como el suelo de material suelto.
- Suelo mixto: superficie que incluye áreas duras y blandas.

La atenuación debida al suelo, A_{gr} , es principalmente el resultado del sonido reflejado por la superficie del suelo que interfiere con la propagación acústica desde la fuente hasta el receptor.

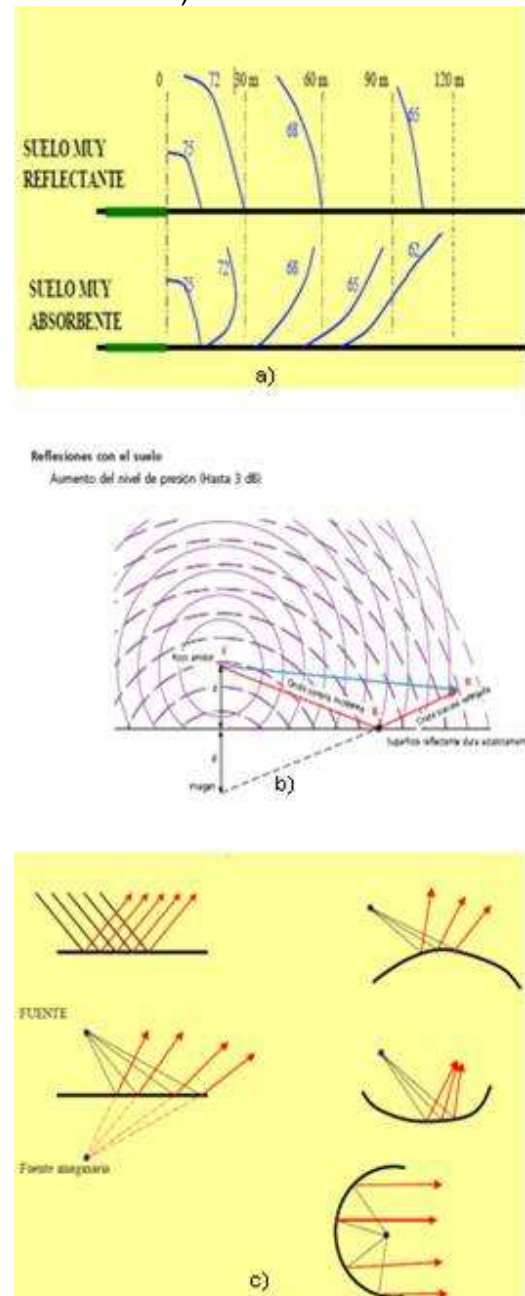
La serie de normas de ISO 1996, especifica los métodos para el cálculo por atenuación del ruido por influencia para superficies de suelo de cualquier forma, se puede calcular la atenuación debida al suelo a partir de la siguiente ecuación.

$$A_{gr} = 4.8 - (2h_m/d)[17 + (300/d)] \geq 0 \text{ dB}$$

Ecuación 25. Atenuación generada por el suelo

En donde:

h_m es la altura promedio de la trayectoria de propagación acústica por encima del suelo, en metros; d es la distancia desde la fuente hasta el receptor, en metros.

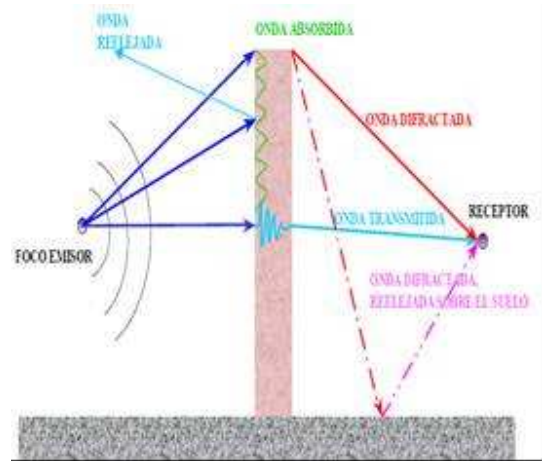


Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

4.5.4 Efecto de los obstáculos en la propagación

Figura 42. Obstáculos.

La influencia de los obstáculos en la propagación de la onda sonora se considera como un apantallamiento (a menudo llamado barrera) si cumple los siguientes requisitos:
 La densidad de la superficie es mínimo 10 kg/m^2 .
 El objeto tiene una superficie cerrada sin grietas grandes ni huecos.
 La dimensión horizontal del objeto normal en la línea fuente-receptor es mayor que la longitud de onda acústica λ en la frecuencia de banda media nominal para la banda de octava de interés; en otras palabras $l_1 + l_2 > \lambda$



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido.

4.6 Causas de la contaminación sonora de tipo ambiental

Figura 43. Causas generadoras de ruido en la fuente.

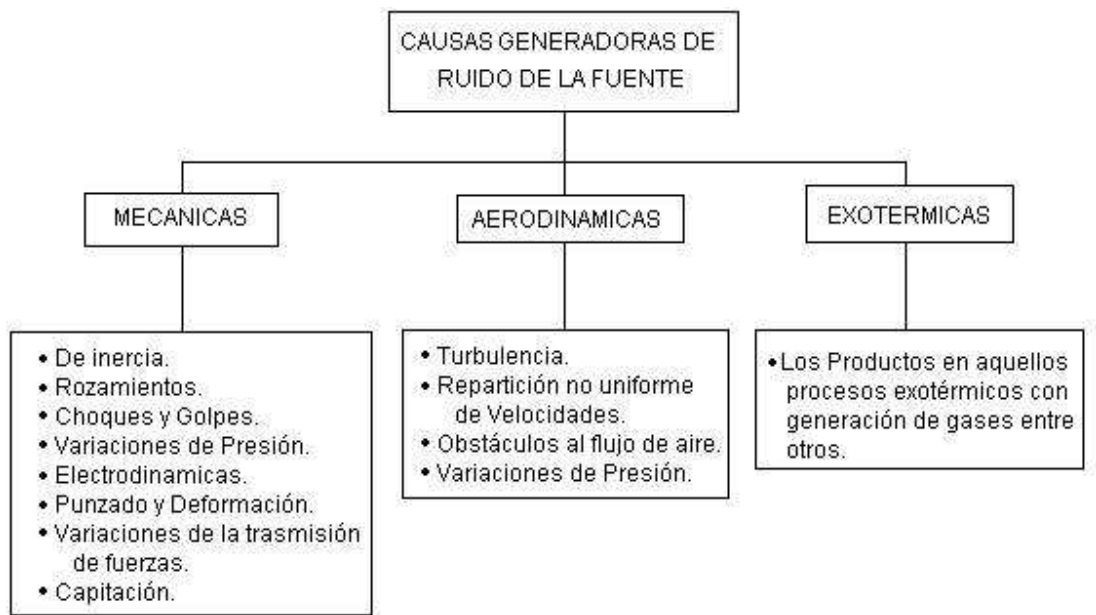


Figura 44. Fuerzas: a) Mecánicas. b) Aerodinámicas. c) Exotérmicas.

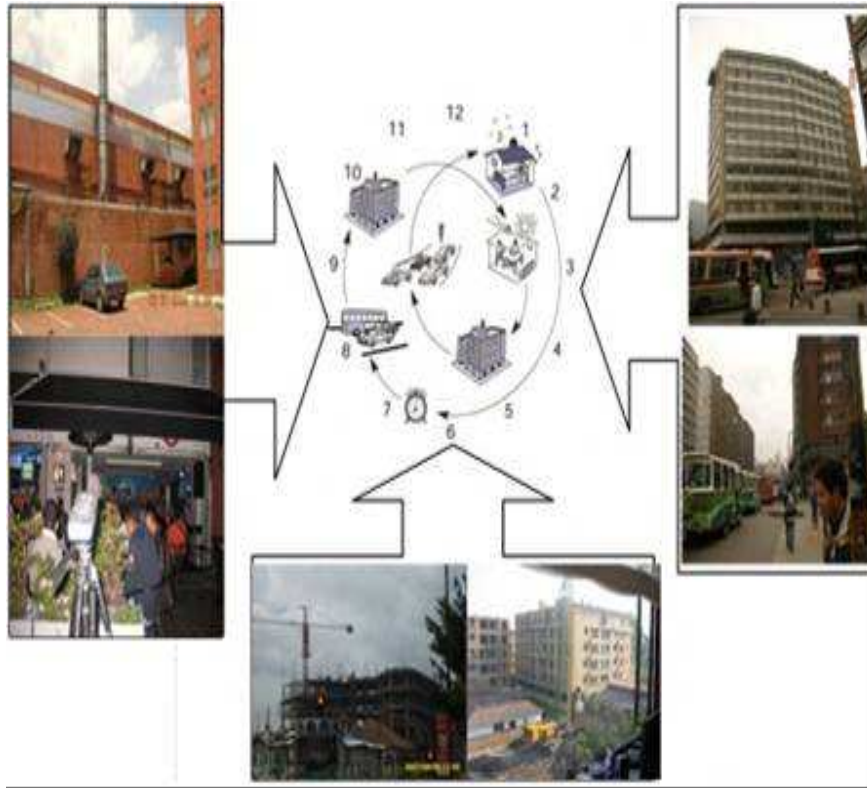


Fuente: RAS LTDA.

4.6.1 Principales causas de la contaminación ambiental.

Entre las principales causas de la contaminación ambiental, se pueden mencionar: las emisiones provenientes del flujo vehicular, las actividades comerciales (establecimientos de comercio, tales bares, discotecas), actividades constructivas (mantenimiento de vías y construcción de edificaciones), actividades industriales (industrial metalmecánica, Alimentos, Química, etc), actividades de culto religioso (iglesias), actividades recreativas y de esparcimiento (conciertos al aire libre y espectáculos públicos), propias de la comunidad en edificaciones (plantas eléctricas, transformadores, sistemas de ventilación y ascensores entre).

Figura 45. Fuentes ambientales de ruido en el ambiente Urbano.



Fuente: RAS LTDA.

4.6.2 Contaminación de fuentes móviles de tipo rodado

Figura 46. Fuentes móviles.

FUENTES MÓVILES DE TRÁFICO RODADO

- Principal fuente de alteración en zonas urbanas.
- El número de fuentes es alta en el ambiente urbano.
- El número de personas afectadas es generalizado.
- Cubre un alto espacio urbano.
- Es difícil precisar el responsable.
- El número de quejas de la comunidad es alto.
- Crecimiento insostenible del número de vehículos.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- El ruido se caracteriza por ser fluctuante.
- Se requiere registros y evaluaciones que garanticen una adecuada predicción.
- Se utilizan LeqAT, Leq 10, Leq 90, indicadores TNI (índice de contaminación por tráfico).

FACTORES - RUIDO DE TRAFICO.

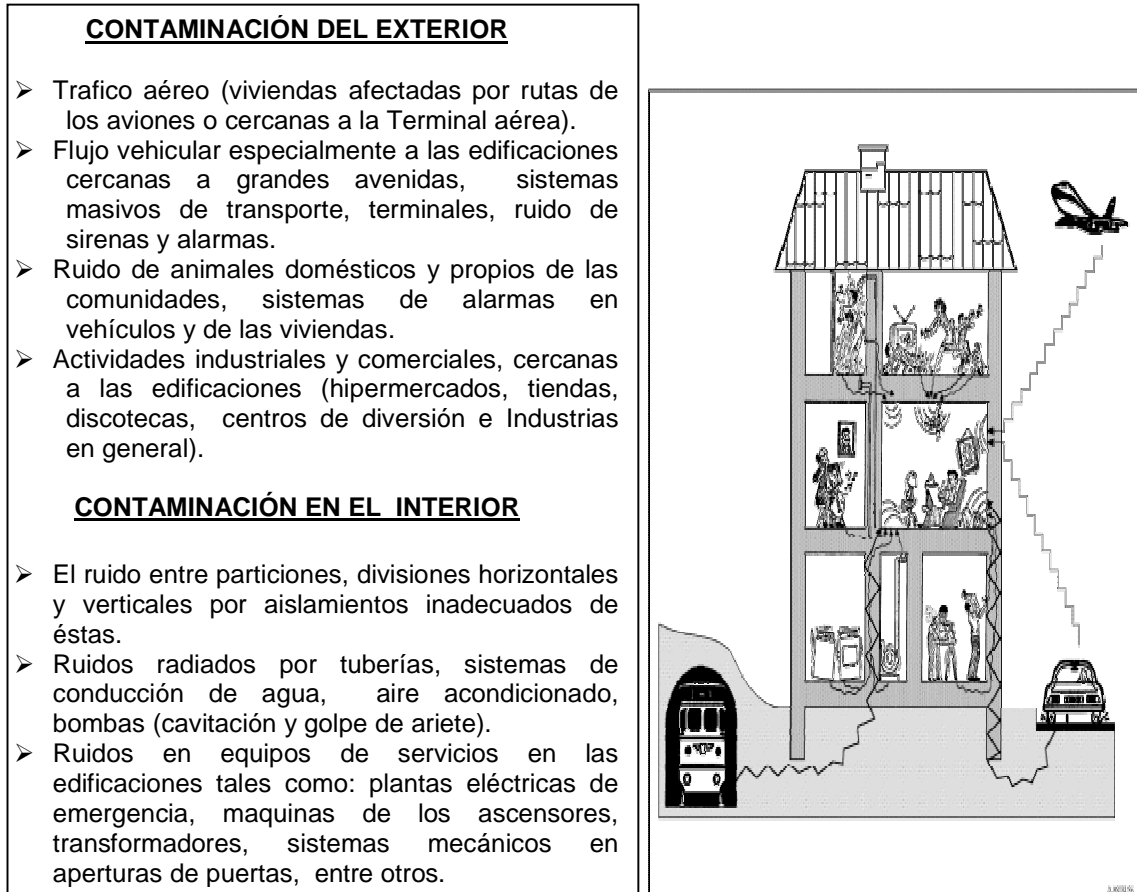
- Volumen y velocidad del tráfico.
- Su composición (liviano o pesado).
- Gradiente de la carretera.
- Condiciones del flujo (arranque, parada).
- Tipos de Superficies de la vía y sus irregularidades.



Fuente: RAS LTDA.

4.6.3 Contaminación en interior de las edificaciones

Figura 47. Contaminación sonora en interior de edificaciones.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano

Figura 48. Contaminación sonora proveniente de los sistemas de extracción y ventilación.



Fuente: RAS LTDA.

Figura 49. Contaminación sonora proveniente sistemas hidromecánicos, plantas eléctricas, sistemas de ventilación, sistemas de apertura de puertas en garajes y parqueaderos, entre otros.



Fuente: RAS LTDA.



Figura 50. Actividades constructivas y mantenimiento de vías.




Fuente: RAS LTDA.


4.7 Principales fuentes de emisión sonora por actividad económica

Tabla 5. Relación del tipo de actividad, fuentes generadoras y rangos de presión sonora.


Tipo de actividad económica	Descripción fuentes Vías de propagación	Rangos de niveles Sonoros en db(A)	Material fotográfico de apoyo
<p>Actividades Comerciales.</p> <p>Discotecas, bares, Centros Comerciales, Supermercados y centros deportivos de cultura física</p> <p>Ruidos continuos e intermitentes especialmente de baja frecuencia proveniente de los bajos de las cabinas de los amplificadores y de los asistentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrumentos musicales. Ruidos de los asistentes, presentaciones en vivo. ➤ Perifoneo, música ambiental. ➤ Sistemas de ventilación y aire acondicionado. ➤ Plantas eléctricas, calderas y bombas. ➤ Sistemas de alarmas y dispositivos de seguridad. Clientes y vendedores. ➤ Extractores y sistemas de aire acondicionado. <p>Estas emisiones se propagan del interior hacia el exterior por puertas, ventanas, aperturas, paredes y ductos de ventilación afectando los predios circunvecinos.</p>	<p>68.0 a 85.3 dB(A)</p> <p>Registros en el exterior de los establecimientos a distancias entre 1.5 a 3 m de la fuente al sonómetro.</p> <p>Consolidados de 10 registros en diferentes establecimientos en conceptos de 2006.</p>	 <p>Fuente: RAS LTDA.</p>  <p>Fuente: RAS LTDA.</p>

Tipo de actividad económica	Descripción fuentes Vías de propagación	Rangos de niveles Sonoros en db(A)	Material fotográfico de apoyo
<p>Actividades de Culto Religioso.</p> <p>Ruidos continuos e intermitentes especialmente de baja frecuencia, originados por cantos y alabanzas e instrumentos musicales de percusión apoyados con amplificadores.</p>	<p>➤ Equipos de Sonido, ➤ Amplificadores ➤ Instrumentos Musicales ➤ Culto religioso.</p> <p>Emisión intermitente y discontinua, la cual se propaga al exterior del recinto por puertas, ventanas, aperturas, paredes y ductos de ventilación hacia el exterior afectando los predios circunvecinos.</p>	<p>56.5 a 75.8 dB(A)</p> <p>Registros en el exterior del establecimiento religioso, tanto en las horas de culto como en la salida de los feligreses.</p> <p>Consolidados de 6 registros en diferentes conceptos técnicos año 2006</p>	 <p>Fuente: RAS LTDA.</p>


Continuación Tabla 5-

Tipo de actividad económica	Descripción fuentes Vías de propagación	Rangos de niveles Sonoros en db(A)	Material fotográfico de apoyo
<p>Actividades Constructivos</p> <p>Emplazamiento constructivo los cuales originan ruidos de impacto, intermitente, continuos, y vibraciones estructurales o por el terreno. Las emisiones son diferentes en la mayoría de las etapas de la construcción tales como; Descapote, zanjado, pilotaje, estructuración y/o acabados entre otras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Piloteadoras, ➤ Martillo neumático. ➤ Mezcladoras, ➤ Retroexcavadoras ➤ Compactadoras, ➤ Niveladoras ➤ Camiones y Volquetas. ➤ Herramienta neumática y Manuales. ➤ Plantas eléctricas y bombas <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Las emisiones se propagan por vía aérea y estructural, afectando a los predios circunvecinos a la obra. ➤ El impacto varía según el horario de trabajo de la obra, cercanía de los receptores y equipos utilizados. 	<p>65.3 a 88.3 dB(A)</p> <p>Registros en el exterior del emplazamiento constructivo a 3 m de las fuentes, los valores picos de impacto superiores a 100 dB(A).</p> <p>Consolidados de 7 registros en diferentes conceptos técnicos año 2006</p>	 <p>Fuente: RAS LTDA.</p>


Continuación Tabla 5-

Tipo de actividad económica	Descripción fuentes Vías de propagación	Rangos de niveles Sonoros en db(A)	Material fotográfico de apoyo
<p><u>Actividad industrial</u></p> <p>Industria Textilera, Dedicadas al hilado y/o fabricación de tejidos o teñido.</p> <p>Ruido continuo, de impacto, intermitente y fluctuante. Adicionalmente algunos procesos dan origen a vibraciones. En el Interior mucha de las fuentes originan ruidos de mas 100 dB(A).</p>	<p>Cardadoras, hiladoras, telares, enconadoras, tejedoras, y equipos de soporte tales como; calderas, plantas eléctricas, sistemas de extracción, ventilación, chimeneas entre otras.</p> <p>La contaminación en este tipo de instalaciones se produce por difracción, reflexión de las ondas sonoras en aperturas, techos ventanas, sistemas de ventilación y paredes que se propagan hacia los predios circunvecinos.</p>	<p>66.7 a 78.0 dB(A)</p> <p>Registros en el exterior de los establecimientos de fabricación de textiles y confecciones.</p> <p>Consolidados de 6 registros en diferentes conceptos técnicos año 2006</p>	 <p>Fuente: RAS LTDA.</p>

Continuación Tabla 5-

Tipo de actividad económica	Descripción fuentes Vías de propagación	Rangos de niveles Sonoros en dB(A)	Material fotográfico de apoyo
<p>Industrias Metalúrgicas</p> <p>Se pueden clasificar grandes factorías como pequeños talleres de carpintería metálica.</p> <p>Ruido continuo, intermitente y de impacto de alto espectro (altas y bajas frecuencias)</p> <p>Adicionalmente algunos procesos dan origen a vibraciones que afectan estructuralmente los contornos a sus instalaciones.</p>	<p>Se encuentran un sin número de equipos tales como: troqueladoras, tornos, taladros, cizallas eléctricas, dobladoras, Herramientas neumáticas y manuales. Que producen impactos sonoros hacia el exterior.</p> <p>La contaminación se propaga por techos y por aperturas desde el interior del establecimiento hacia los predios receptores más cercanos. El uso de troqueladotes de altas toneladas da origen a ruidos de impacto que se propagan como ruidos radiados estructuralmente.</p>	<p>67.6 a 82.3 dB(A)</p> <p>Registros en el exterior de los establecimientos y talleres de fabricación de textiles y confecciones.</p> <p>Consolidados de 5 registros en diferentes conceptos técnicos año 2006</p>	 <p>Fuente: RAS LTDA.</p>

Continuación Tabla 5-

Tipo de actividad económica	Descripción fuentes Vías de propagación	Rangos de niveles Sonoros en dB(A)	Material fotográfico de apoyo
<p>Industria de carpintería y derivados de la Madera.</p> <p>Se pueden clasificar grandes factorías como pequeños talleres de carpintería, ebanisterías, al igual que el corte de la Madera. Los equipos de corte como las sierras dan origen a ruidos superiores a 100 dB(A) que producen ruidos de alto espectro altas y bajas frecuencias.</p>	<p>Se encuentran una variedad de equipos tales como: Sierras circulares y de cinta, planeadoras, taladros, pulidoras, lijadoras, entre otros.</p> <p>La contaminación se propaga por techos y por aperturas desde el interior del establecimiento hacia los predios receptores más cercanos</p>	<p>63.7 a 84.5 dB(A)</p> <p>Registros en el exterior de los establecimientos y talleres de fabricación de textiles y confecciones.</p> <p>Consolidados de 4 registros en diferentes conceptos técnicos año 2006</p>	 <p>Fuente: RAS LTDA.</p>

Fuente: Los Autores

4.8 Conflictos de uso del suelo en las edificaciones

En las ciudades se presentan conflictos por usos del suelo en las mismas edificaciones, donde se construyen edificaciones de uso comercial y residencial, lo cual genera problemas por las diferentes actividades del comercio que pueden producir ruido, afectando los habitantes de las viviendas.

Figura 51. Conflicto de usos de suelo en edificaciones.



Fuente: RAS LTDA.

5 VIBRACIONES

5.1 Introducción

Las vibraciones es un tema importante por los efectos que puede causar en la salud y los daños en las edificaciones principalmente. Las vibraciones son originadas especialmente por las herramientas (martillos, pulidoras, taladros), máquinas (troqueladoras, compresores, plantas eléctricas y motores en general), automotores (vehículos de tipo pesado) y otros elementos utilizados en las actividades humanas.

La afectación por vibraciones a nivel ambiental se manifiestan especialmente en las edificaciones, las cuales provienen del exterior (aporte de vías por el tránsito vehicular, sistemas de transporte férreo, terminales aéreas, mantenimiento de las vías, etc), del interior de las mismas, por los equipos e instalados, tales como: moto bombas, ascensores, plantas eléctricas, puertas, escaleras, entre otros.

5.2 Conceptos básicos

Un sistema mecánico oscilará (vibrará) si se mueve de su posición de descanso o equilibrio. El tiempo en segundos que tarda el sistema en realizar una oscilación completa se define como su periodo. El número de veces que el sistema hace una oscilación completa en un segundo se denomina frecuencia de vibración; se expresa en hercios (Hz), o ciclos por segundo. La frecuencia es la recíproca al periodo. Por ejemplo, supongamos que un motor eléctrico, montado sobre muelles, es desplazado en dirección vertical y luego soltado; si la frecuencia de vibración es 14 Hz, el periodo es 71 milisegundos.

El movimiento en función del tiempo de cualquier punto particular de un sistema lineal vibrante viene dado por:

$$x = x_0 \text{Sen}(2\pi ft)$$

Ecuación 26. Desplazamiento en función del tiempo

Donde x_0 es la amplitud del desplazamiento del movimiento, f es la frecuencia de la vibración en hertz y t es el tiempo en segundos. La velocidad y la aceleración son:

$$v = (2\pi f)x_0 \text{Cos}(2\pi ft)$$

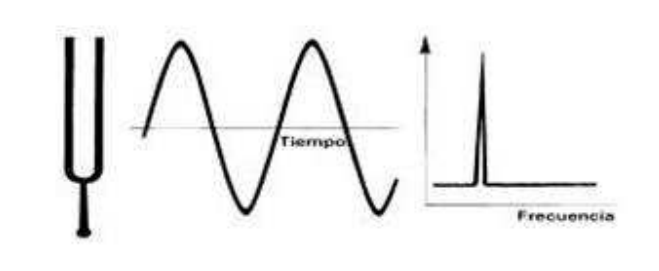
Ecuación 27. Velocidad en función del tiempo

$$a = -(2\pi f)^2 x_0 \text{Sen}(2\pi ft)$$

Ecuación 28. Aceleración en función del tiempo.

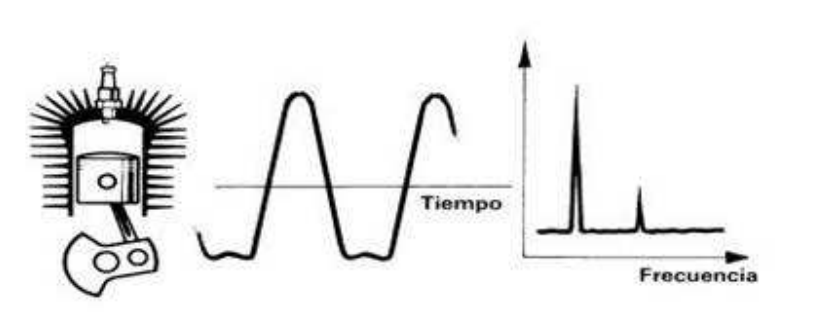
Las vibraciones se representan en tres dimensiones la amplitud, tiempo y frecuencia, o se utilizan las proyecciones sobre distintos planos para identificar los movimientos vibratorios.

Figura 52: Vibraciones



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.

Figura 53: fenómeno ondulatorio.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.

No obstante, en la práctica se utilizan otros parámetros más representativos del movimiento vibratorio como son el coeficiente de amortiguamiento, rigidez o deflexión estática.

Figura 54. Fuentes generadoras de vibraciones.



Fuente: RAS LTDA.

Figura 55. Efectos en la salud generados por las vibraciones.



Fuente: OMS

Figura 56. Instrumentos de medición de las vibraciones.



Fuente: RAS LTDA.

5.3 Terminología de las vibraciones

Los parámetros utilizados para identificar el movimiento de un cuerpo en vibración o sistema masa muelle son: la masa de la máquina, la rigidez del muelle, el amortiguamiento y las fuerzas fluctuantes exteriores.

5.3.1 Masa, rigidez. Amortiguamiento. Fuerzas de excitación. Por masa del sistema se entiende al sólido rígido, la máquina, que se mueve verticalmente.

La rigidez es una característica específica de muelle y representa la reacción del muelle y representa la reacción del muelle frente al desplazamiento de su posición de equilibrio; también se conoce por constante del muelle. Se define como la relación entre la fuerza ejercida por el muelle y el desplazamiento provocado. Como unidad de medida se emplea kg/mm o dina/mm.

Por amortiguamiento se entiende la pérdida de energía mecánica debida al rozamiento o fuerzas viscosas. La característica fundamental de este factor reside en el hecho que el amortiguamiento es proporcional a la velocidad relativa entre dos cuerpos en movimiento.

Existen tres tipos de amortiguamiento:

- Amortiguamiento seco se produce cuando no existe lubricación entre los sólidos.
- Amortiguamiento fluido se presenta cuando existe un fluido viscoso entre los sólidos.
- Amortiguamiento de histéresis se origina por deformación del sólido en vibración.

5.3.2 Espectro en frecuencia. El movimiento vibratorio puede contar de una sola frecuencia de oscilación, caso de un diapasón, o de varias frecuencias que actúan simultáneamente.

El fenómeno vibratorio se representa indicando la variación de la amplitud respecto de la frecuencia y al tiempo. El estudio y análisis de las vibraciones se efectúa descomponiendo las señales en frecuencias y se conoce como “espectro

en frecuencia". El análisis en frecuencia permite identificar los movimientos fundamentales de la máquina y el origen de las vibraciones no deseadas.

5.4 Amplitud, aceleración y velocidad

El parámetro más importante en vibraciones es la amplitud y se utiliza para valorar cuantitativamente las vibraciones. Para evacuar las vibraciones se consideran los siguientes factores:

- El valor "pico a pico" indica el recorrido máximo del desplazamiento de la máquina.
- El valor "pico" se utiliza para indicar los niveles de choque de vibraciones de corta duración. Indica el valor máximo que alcanza sin considerar el factor tiempo.
- El valor "medio" se utiliza para señalar el intervalo o duración del movimiento. Es un parámetro que tiene poco interés práctico.
- El valor "eficaz" es el factor más importante de la amplitud ya que relaciona no solo la historia de las ondas sino el valor de la energía, es decir la capacidad destructiva de la vibración.

El movimiento vibratorio se describe además del desplazamiento por la velocidad o por la aceleración. Cuando se representa las distintas variables en un gráfico de amplitud- tiempo, se diferencia por un desfase de 90° entre las distintas curvas.

En el caso de señales senoidales la amplitud, la velocidad y la aceleración están relacionadas por la frecuencia. De forma que la velocidad se obtiene a partir de la aceleración dividiendo por un factor proporcional a la frecuencia, " $2\pi f$ " y el desplazamiento se obtiene al dividir por un factor proporcional al cuadrado de la

frecuencia. Se utilizan integradores electrónicos para las mediciones prácticas de las citadas magnitudes.

La experiencia ha demostrado que el valor más indicativo de la gravedad de las vibraciones es el valor eficaz de la velocidad en el intervalo de frecuencia de 10 a 1000 Hz. Cuando se utiliza el desplazamiento para valorar las vibraciones se da más importancia a las componentes de baja frecuencia. Cuando se emplea la aceleración prima las componentes en alta frecuencia.

En la práctica, el espectro de velocidad de muchas máquinas es casi plano. En los casos de piezas giratorias el desplazamiento es el indicador clave, ya que el desplazamiento aumenta con la frecuencia de giro.

5.5 Frecuencia natural. Deflexión estática

Frecuencia natural es la oscilación que se origina en un sistema vibratorio elástico cuando dejan de actuar las fuerzas exteriores. Para el caso de un sistema masa-muelle, la frecuencia natural (f_0) se calcula según:

$$f_0 = (k/m)^{0.5}/2$$

Ecuación 29. Frecuencia de un sistema masa-muelle.

Deflexión estática es la reducción en la longitud de un resorte que se produce al colocar la máquina sobre el muelle. Para calcular la deflexión (X_s) se utiliza la expresión:

$$X_s = mg/K$$

Ecuación 30. Deflexión estática.

La relación entre la frecuencia natural y la deflexión estática se obtiene al eliminar la k en las expresiones anteriores, resultado:

$$f_0 = (g/X_s)^{0.5}/2; X_s$$

$$f_0 = 5/(X_s)^{0.5}; X_s \text{ en cm}$$

$$f_0 = 1.58(X_s)^{0.5}/2; X_s \text{ en mm}$$

Ecuación 31. Relación entre frecuencia natural y deflexión estática.

5.6 Estudio de los movimientos vibratorios

El término “señal” se emplea para indicar la variación de las diferentes magnitudes utilizadas para estudiar los fenómenos vibratorios. Se distinguen tres tipos de señales o movimientos vibratorios: senoidales, no senoidales y pulsaciones.

Por senoidal se considera el movimiento cuyo desplazamiento varía de forma periódica según un movimiento armónico simple. También varía la velocidad y la aceleración de las partículas. La ecuación que regula el movimiento vibratorio se representa por la expresión:

$$x = x_0 \text{Sen}(wt)$$

Ecuación 32. Movimiento vibratorio.

siendo: x desplazamiento

x_0 amplitud máxima

t tiempo en segundos

w frecuencia angular en rad/seg.

En caso de movimiento no senoidal la amplitud o desplazamiento varía de forma periódica aunque no senoidal. Pero de acuerdo con el desarrollo de Fourier el movimiento se puede considerar como suma de movimientos senoidales con

amplitud y frecuencia propias. Por pulsación se conoce el movimiento resultante de dos movimientos armónicos con idénticas frecuencias, de forma que las amplitudes se suman cuando están en fase y se restan cuando el desfase es de 180°. La frecuencia del movimiento se llama frecuencia pulsante.

Estos mismos fenómenos se producen donde las ondas sonoras discretas coinciden con las reflejadas, y de acuerdo con el principio de superposición las ondas resultantes unas veces se anulan y otras se amplifican. Aparecen líneas o superficies nodales (de valores mínimos) y zonas donde los valores son máximos, conocidos por vientres.

En el estudio de los movimientos vibratorios se distinguen de forma general los siguientes casos, según se considere o no la existencia de fuerzas exteriores y amortiguamiento. Así, distinguimos entre vibraciones libres y forzadas, con o sin amortiguamiento.

5.7 Niveles de perturbación por vibraciones

Artículo 43.- Niveles de perturbación por vibraciones

1. La instalación de cualquier tipo de máquina, equipos de aire acondicionado o cualquier instalación y/o actividad industrial, comercial y constructiva, que transmita vibraciones capaces de ser detectadas directamente al generar sensaciones táctiles, se realizará acoplado elementos antivibratorios adecuados, cuya idoneidad técnica deberá justificarse en los proyectos de construcción en edificaciones y actividades productivas en general.

2. No se permitirá la instalación y el funcionamiento de máquinas o instalaciones que originen en el interior de las edificaciones niveles de vibraciones superiores a

los límites establecidos en el presente artículo. No se podrán transmitir vibraciones que originen, dentro de los edificios receptores, valores k superiores a los indicados en el en la Tabla 6.

3. Los niveles de ruido procedentes del tráfico, de los trabajos en la vía pública y en la edificación se regularán por las normas contenidas en la presente Norma.

4. Se consideran vibraciones transitorias aquellas cuyo número de impulsos no es superior a 3 sucesos por día.

Tabla 6. Valores de referencia de vibraciones en valor k.

Área	Horario	Vibración continua o intermitente e impulsos repetidos.	Vibraciones transitorias.
Sanitario	Día	2	16
	Noche	1,41	1,41
Residencial	Día	2	16
	Noche	1,41	1,41
Administrativo	Día	4	128
	Noche	4	12
Industrial y comercial	Día	8	128
	Noche	8	128

Las zonas de trabajo que exijan un alto índice de precisión tendrán un valor k igual a 1, día y noche.

Se considerarán vibraciones transitorias aquellas cuyo número de impulsos sea inferior a tres sucesos por día.

Para evaluar la molestia producida por las vibraciones, se utilizará al índice k mediante las siguientes expresiones:

$$K = a/0.0035 \text{ para } f \leq 2$$

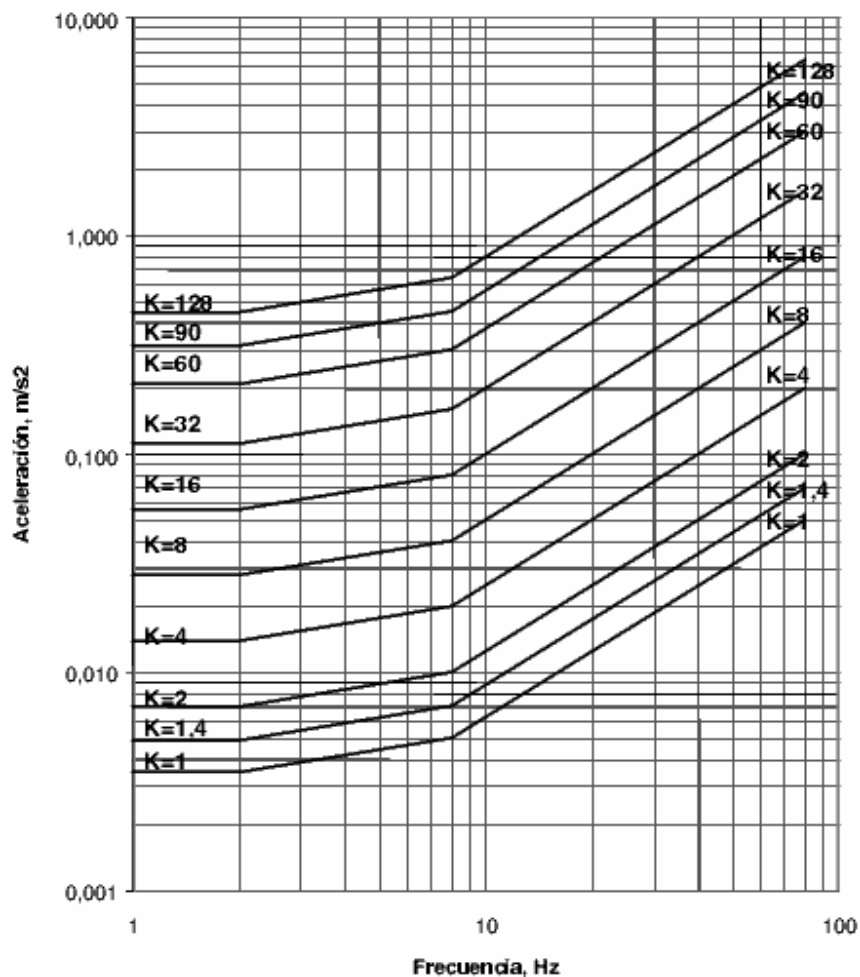
$$K = a/[0.0035 + 0.000257(f - 2)] \text{ para } 2 \leq f \leq 8$$

$$K = a/0.00063f \text{ para } 8 \leq f \leq 80$$

Ecuación 33. Comportamiento de K a diferentes frecuencias.

donde a es la aceleración eficaz de la vibración expresada en (m.s⁻²) y f es la frecuencia de la vibración expresada en (Hz), o bien mediante la gráfica que se adjunta a continuación.

Figura 57. INDEX K



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.

Ejemplos de aplicación

1. Se desea instalar un montaje antivibrátil a un equipo formado por un motor ventilador, donde el ventilador gira a 1200 r.p.m. y el motor a 3600 r.p.m. el conjunto pesa 82 kg. Determinar el sistema de suspensión con un rendimiento del 95%. Decide si se debe instalar en la planta baja o en la planta alta de un edificio.

La frecuencia de excitación más desfavorable es 1200 rpm.

Para un rendimiento del 95% del gráfico se obtiene una deflexión de 1.2 cm.

Esta deflexión es adecuada para cuando se instala en planta baja.

Cuando se instala en la planta alta es necesaria una deflexión de 20 mm.

Las características de los muelles serán:

$$K = (82/4)/1.2 = 17.08 \text{ kg/cm}$$

$$K = (82/4)/2 = 10.15 \text{ kg/cm}$$

2. Calcular los aisladores adecuados para una máquina cuyo peso total es de 3,3 Tn. y cuya frecuencia de excitación es de 15 Hz.

A) Se eligen 18 puntos de apoyo. Peso por aislador 184 kg.

B) Se eligen aisladores según el gráfico con una deflexión de 7 mm o constante.

$$k = 184/7 * 10^{-3} = 29.285 \text{ kg/m (da N)}$$

C) La frecuencia de resonancia del sistema es:

$$f_0 = 15.8/7^{0.5} = 6 \text{ Hz}$$

Vibraciones en edificaciones.

Una parte de ISO 2631 ofrece una guía para la aplicación de ISO 2631, para la respuesta humana a la vibración en edificios. No es una guía sobre los niveles de molestia de los ocupantes o límites de las vibraciones en edificios, pero contiene curvas ponderadas para la respuesta humana a estas vibraciones.

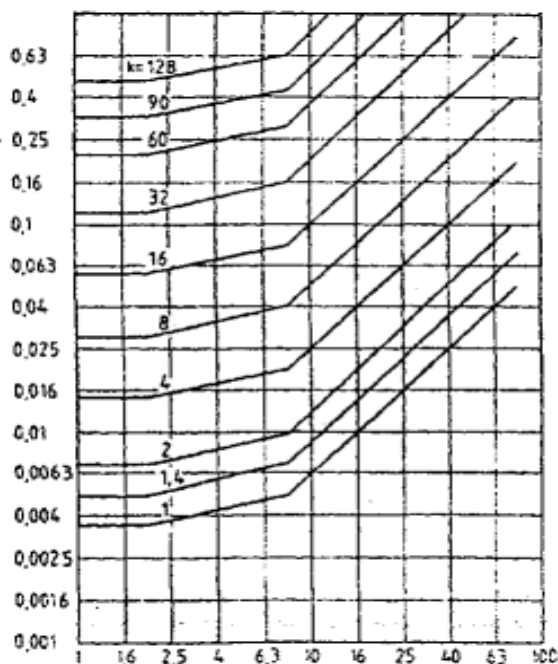
Con respecto a la molestia de seres humanos a las vibraciones en edificios, esta norma se limita a las siguientes consideraciones:

- a. Vibración continua
- b. Vibración intermitente

Se entrega curvas ponderadas de respuesta en frecuencia para igual molestia de humanos, junto con los métodos de medición a utilizarse.

Se tiene en cuenta la hora del día y uso del espacio ocupado del edificio.

Figura 58. Respuesta en frecuencia vs. Molestia en humanos.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.

Efectos en el Organismo de la Vibración

Se pueden clasificar según los efectos que tienen sobre el organismo:

- Vibraciones de muy baja frecuencia, inferiores a 2 Hz.
Efectos sobre el aparato vestibular del oído, las de baja frecuencia afectan al sistema nervioso y se presentan en tractores, autobuses y aviones.
- Vibraciones de baja frecuencia, de 2 a 20 Hz.
Pueden ocasionar problemas en los huesos y en las articulaciones.
- Vibraciones de alta frecuencia, de 20 a 1000 Hz.
El efecto se presenta como una quemadura que puede llegar al brazo y dejar marcas permanentes.

6 SISTEMAS DEL CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES

El enfoque clásico del control de la contaminación sonora y vibracional corresponde a los siguientes elementos fuente emisora, medio de propagación de las ondas acústicas y receptor afectado.

Figura 59. Forma de propagación del sonido.



6.1 El control en origen o fuente de emisión

Es el método de control más conveniente para intervenir un problema de contaminación de ruido o minimizar sus efectos molestos hacia la comunidad receptora. En general esto significa la modificación del equipo generador de ruido y/o vibraciones, lo que plantea una serie de limitaciones conceptuales desde el diseño del equipo o máquina, puesto que una vez construido, las soluciones de este tipo de control son costosas y difíciles de implementarse.

Una vez analizado la problemática de la fuente se pueden esquematizar algunas alternativas:

- Cambio de equipos y/o procesos ruidosos (remachado por soldadura, prensas mecánicas por hidráulicas, herramientas neumáticas por

eléctricas, procedimientos de enderezado o conformado por prensas o gatos hidráulicos).

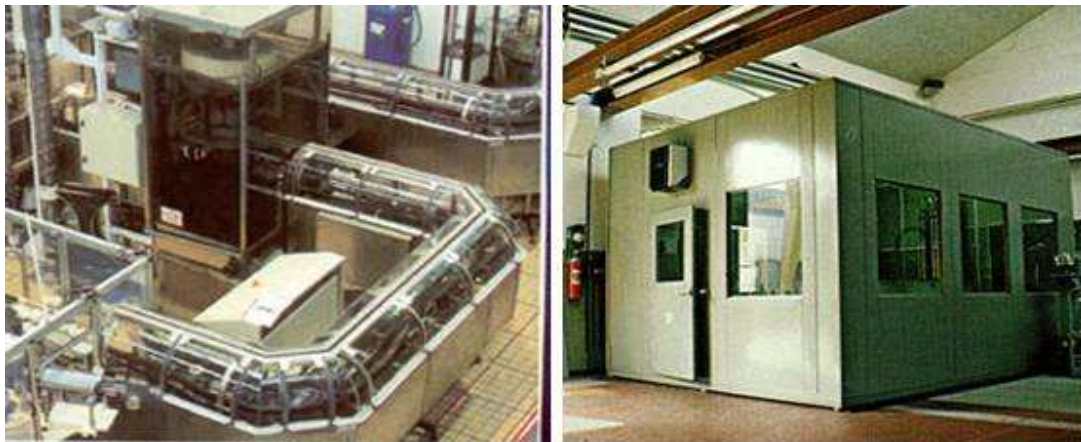
- Modificación de los procesos de trabajo. Estos procedimientos se basan en las modificaciones parciales de los equipos o máquinas, de modo que el ruido generado o emitido sea menor por ejemplo: reducción de las velocidades de rotación de los equipos especialmente en ventiladores, cambio de engranajes rectos por otros helicoidales.
- Reducción de las fuerzas generadoras del ruido. Modificaciones en elementos del equipo que minimicen las fuerzas generadoras de la fuente, tales como: sustitución de piezas desgastadas, equilibrio dinámico de la maquinaria, engrasado y lubricación adecuado de las partes móviles del equipo, instalación de elementos amortiguadores entre las superficies que chocan entre sí., interponiendo materiales amortiguadores entre superficies que chocan entre sí.

6.2 Control en el camino de transmisión

Otra técnica general de reducción de ruido es el control en el camino de transmisión o propagación de la onda sonora, de tal forma que se reduzca la energía que se afecta al receptor. Esto se puede conseguir por diferentes caminos:

- Cerramientos: en muchos casos no es práctico ni económico reducir el nivel de ruido en la fuente lo que exige implementar otras medidas complementarias como realizar un cerramiento a los equipos o procesos ruidosos, el cual puede ser total o parcial. Pero debe ser cuidadosa su selección especialmente de los requerimientos de aire y temperatura requerida de los equipos a ser confinados.

Figura 60. Pantallas difractoras.

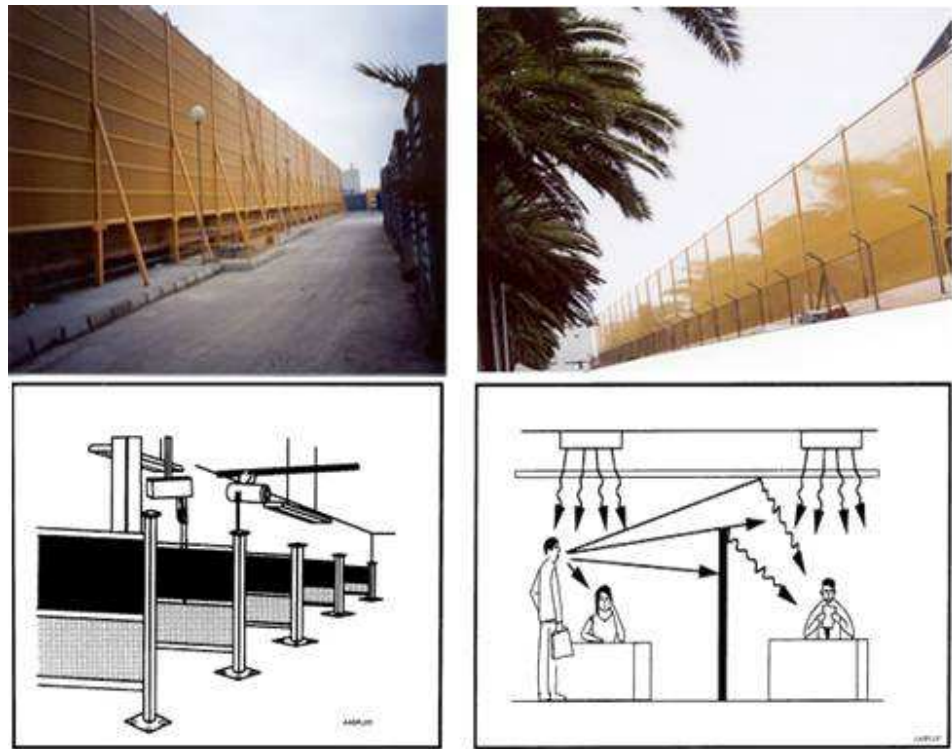


Fuente: RAS LTDA.

- Pantallas difractoras: es una actuación económica y efectiva ambientalmente, el resultado de esta mitigación depende en gran medida de la frecuencia del sonido incidente, que es atenuado en diferentes grados según la zona en la que esté ubicado el receptor de interés ambiental. El diseño de las pantallas de control de ruido funciona como un obstáculo sólido que se interpone o bloquea al receptor de la línea de visión de la fuente sonora. La atenuación del ruido se basa en el fenómeno de la difracción del sonido. Su atenuación depende fundamentalmente de la altura efectiva de la pantalla, de la longitud de onda del sonido y del ángulo de deflexión generado por esta y la emisión del ruido incidente sobre el receptor de interés ambiental.

El diseño de la pantalla de protección debe contemplar las características de ubicación de las principales fuentes de emisión (altura, ubicación, distancias al receptor y la localización del receptor al igual que se altura personal expuesto en los alrededores a estas fuentes en particular).

Figura 61. Pantallas de protección.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.

- Divergencia geométrica: al aire libre, se puede proporcionar una atenuación aumentando la distancia entre la fuente y el receptor (ley del cuadro inversa, la intensidad decrece en 6 dB) al duplicar la distancia entre la fuente y el receptor). Debido a que la mayoría de las fuentes no radian uniformemente en todas las direcciones, es posible conseguir una reducción considerable variando la orientación relativa entre la fuente y el receptor. Por ello la orientación de las pistas en un aeropuerto constituye una consideración importante para la reducción de ruido en una comunidad adyacente. Siempre que sea posible, se debe elegir la ubicación de la fuente de forma que proporcione una protección adicional al receptor respecto de la fuente.

- Medidas pasivas: organización del edificio. La planificación cuidadosa de la situación de las dependencias en el interior de un edificio, en lo que respecta a la posición relativa de las fuentes de ruido y aquellas áreas en las que se desean condiciones silenciosas, puede dar como resultado un considerable ahorro económico en cuanto a las medidas de control de ruido.
- Absorción: una de las formas más efectivas de atenuar el sonido en su camino de transmisión es por medio de la absorción. Supongamos que una serie de máquinas están funcionando dentro de una oficina. Gran parte del ruido procedente de estas fuentes que alcanza a los trabajadores en el lado opuesto de la habitación se refleja en el techo, paredes y suelo. Por tanto, el uso de absorción acústica en forma de materiales acústicos en el techo proporciona atenuación en el camino entre la fuente y el receptor. Dicha absorción también reduce el nivel del sonido que alcanza a los trabajadores después de múltiples reflexiones de las paredes, techo y suelo. Si el ruido se comunica por un conducto de ventilación, debe emplearse la atenuación a lo largo de este camino en forma de recubrimiento absorbente acústico.
- Discontinuidades: se puede impedir el flujo de energía acústica a lo largo del camino entre la fuente y el receptor introduciendo discontinuidades que reflejen la energía y la devuelvan hacia la fuente. En las residencias, esto se puede conseguir con una discontinuidad en la construcción del edificio. De forma similar se puede impedir la transmisión acústica por el aire. Los silenciadores funcionan de acuerdo con este principio, aunque algunos silenciadores también incluyen absorción en el camino de transmisión.

Este método de control además tiene aplicaciones específicas sobre el aislamiento acústico que se tratara más adelante.

6.3 Control en el receptor

Ambientalmente el control sobre el receptor no es fácil o tan simple como el suministro de elementos de protección personal, su aplicación reviste de algunas dificultades técnicas legales, puesto el nivel sonoro por inmisión o el interior de predio del receptor, no se puede manipular y manejar del responsable de la emisión sonora a no ser que el afectado lo acepte.

Algunos controles técnicos se pueden efectuar, tales como: aislamiento acústico en las fachadas del receptor, puertas o ventanales, tratamientos acústicos en paramentos horizontales o verticales, entre otros

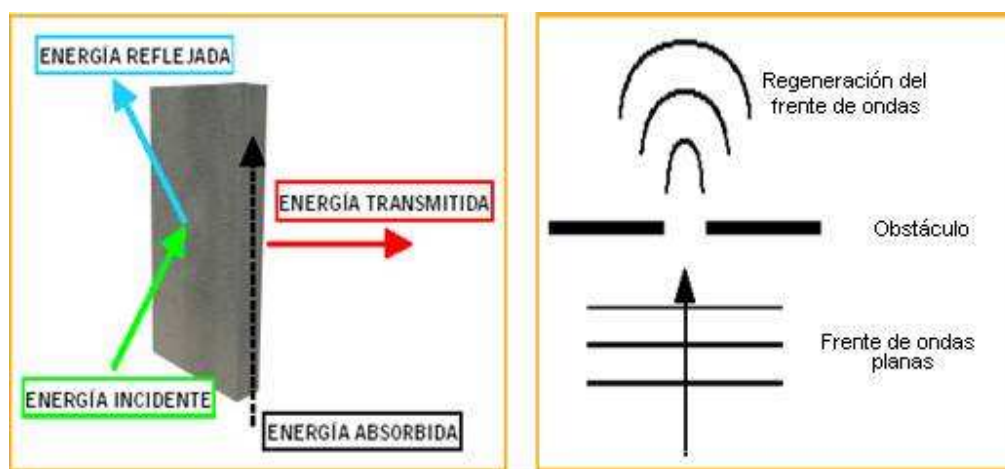
7 AISLAMIENTOS Y TRATAMIENTOS ACÚSTICOS

El propósito del aislamiento acústico es impedir que los ruidos del interior y/o exterior de una edificación de origen a una perturbación y molestias hacia los residentes o a los ocupantes de este.

En el caso del ruido aéreo, se debe actuar sobre los elementos o particiones de separación (fachadas y particiones horizontales y verticales en el interior), entre la fuente emisora y el receptor posiblemente a ser afectado. Para ruidos de impacto y de vibraciones de propagación estructural, es necesario intervenir la fuente emisora y los elementos de separación, con el fin de disminuir la vibración de los elementos constructivos.

La aplicación tanto del aislamiento en una edificación, como también de los fenómenos de contaminación hacia su interior cumplen con las propiedades del sonido tales como son: reflexión, absorción, refracción y difracción. De modo que los principios de actuación de los métodos de control deberían estar conceptualizados en estas propiedades.

Figura 62. Aislamientos y tratamientos acústicos.



Fuente: Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido.

Las principales vías de penetración en una edificación pueden ser:

Ruidos que penetran en el recinto por la vía de propagación aérea:

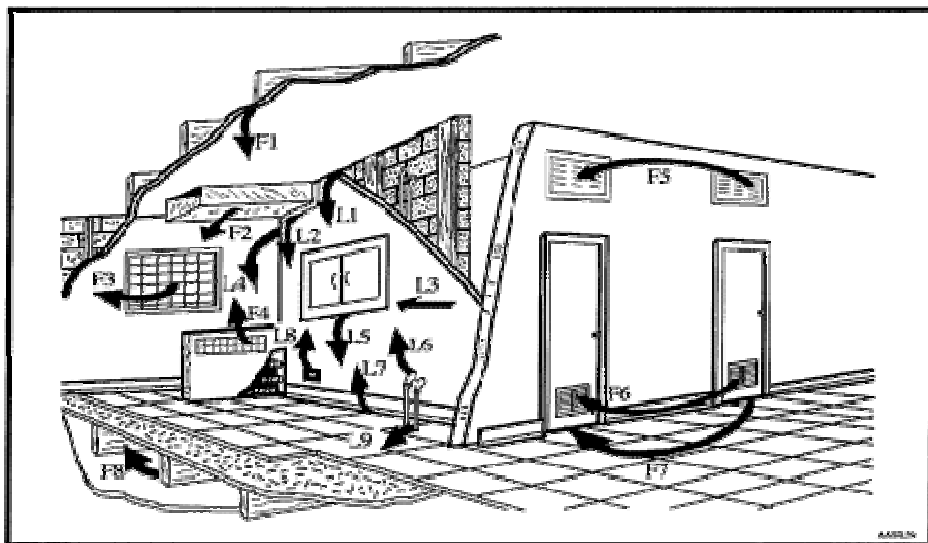
- Por las aberturas y grietas en las paredes o muros de las fachadas en las edificaciones.
- En los conductos de ventilación y aire acondicionado.
- Por transmisión o refracción en paredes o particiones entre recintos de una edificación.
- Por ruidos radiados y/o vibraciones elásticas de la pared que separa el recinto de la fuente y el receptor.

Ruidos y Vibraciones estructurales de los cuerpos sólidos de la edificación:

- Las vibraciones radiadas en las paredes las cuales se convierten en radiadores de sonido (transmisión de ruido de impacto).

- Por vibraciones longitudinales elásticas de paredes no adyacentes; son vibraciones que se propagan por el espesor de las paredes y son radiadas al recinto por las paredes laterales.
- Por transmisión de impactos sonoros.
- Por vibraciones de maquinaria transmitidas a través del suelo, cimientos y otras partes de la estructura del edificio.

Figura 63. Aislamientos acústicos.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

7.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo

El ruido aéreo se produce cuando las ondas sonoras inciden sobre un cerramiento, interior o exterior. El cerramiento entra en vibración, atenuándose parte de la energía inicial. Esta vibración traspasa el cerramiento, provocando la aparición de nuevas ondas sonoras de menor intensidad.

El objetivo, en el aislamiento a ruido aéreo, es que las ondas pierdan la mayor cantidad de energía posible al atravesar el cerramiento, lo cual dependerá de sus características. Cuanto mayor sea la energía que se pierde mayor será el aislamiento del cerramiento.

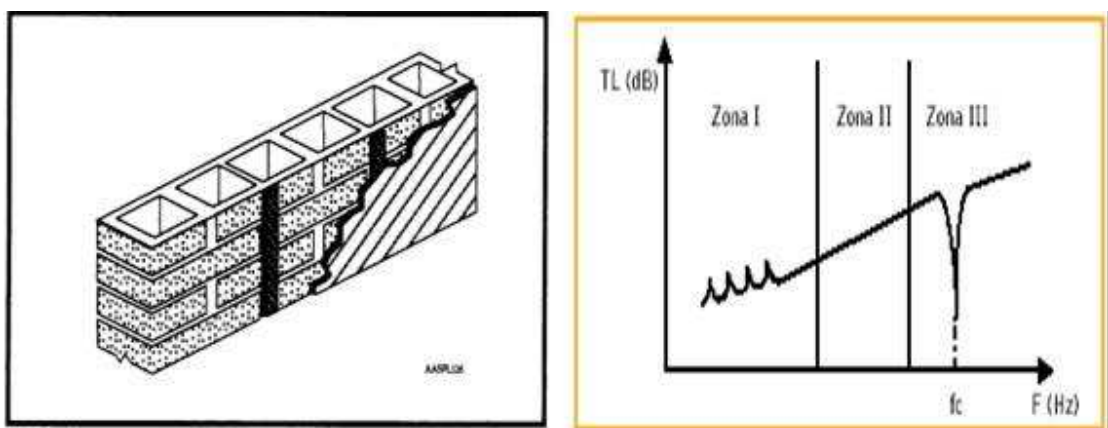
7.1.1 Tipos de cerramientos. Simples: están formados por una sola capa. Pueden ser homogéneos (formadas por un solo material, ej: tabique de hormigón) o heterogéneos (formadas por varios materiales, ej: tabique de ladrillo y yeso). Para este tipo de cerramiento el aislamiento puede estimarse a través de sus propiedades mecánicas y calcularse a partir de la ley de masa (masa por unidad de superficie en kg/m^2), considerando la rigidez del material aislante (N/m^2).

Las pérdidas de transmisión (TL) de un cerramiento que separa dos recintos se definen como la cantidad de energía acústica que se atenúa al atravesar dicho cerramiento, expresada en dB.

Su valor es función de la frecuencia. Este índice viene dado por la siguiente expresión:

$TL(\text{dB}) = L - L_2$ Siendo L el nivel de presión acústica en el recinto emisor y L_2 el nivel de presión acústica en el recinto receptor.

Figura 64. Gráfica de las pérdidas de transmisión por una pared simple con su respectiva curva.



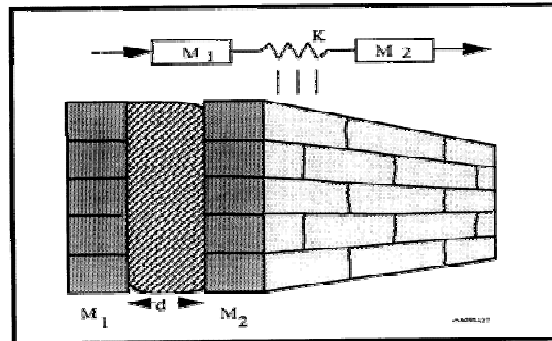
Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

Múltiples: están formados por varias capas simples separadas por un elemento elástico (una cámara de aire, u otro medio elástico).

Las particiones múltiples se definen como una combinación de paredes simples separadas mediante una cavidad de aire o un medio elástico. Los parámetros más importantes que afectan al aislamiento de una pared múltiple son los siguientes:

- Masa por unidad de superficie (kg/m) y rigidez de cada una de las paredes simples.
- Distancia de separación entre las dos particiones simples.
- Características del medio elástico colocado en la cavidad.

Figura 65. Gráfica de las pérdidas de transmisión por una pared múltiple.

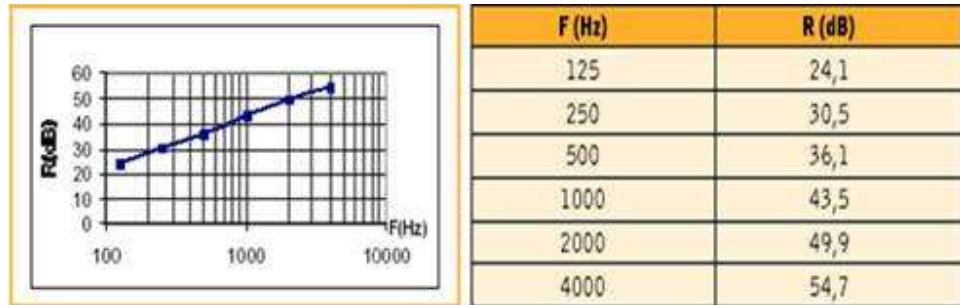


Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

7.1.2 Términos para la evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo. El aislamiento a ruido aéreo viene determinado por la diferencia de niveles de presión acústica entre dos recintos. Cuanto mayor sea esta diferencia mayor será el aislamiento.

El aislamiento de un elemento constructivo puede expresarse de varias formas:

Figura 66. De forma gráfica y por tabulación.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

Valor único índices tales como:

Aislamiento acústico bruto (entre dos recintos) - Norma ISO 140-3.

Aislamiento acústico normalizado a ruido aéreo (R) - Norma ISO 140-4.

Aislamiento acústico global a ruido aéreo (RA)

Aislamiento acústico global a ruido aéreo ISO 717-1 (Rw).

7.2 Aislamiento acústico a ruido de impacto

El ruido de impacto es causado por el choque de un objeto contra un cerramiento, que hace vibrar los elementos estructurales. Estas vibraciones se transmiten a través de los cerramientos pudiendo recorrer grandes distancias hasta su atenuación.

Las características y el nivel de un ruido de impacto dependerán de varios factores. Los más importantes son los siguientes:

- Las características de la fuente de ruido (ej: el tipo de objeto que golpea el suelo).
- La estructura del suelo.
- El revestimiento o material de acabado del suelo.

El objetivo, en el aislamiento a ruido de impacto, es cortar el camino de transmisión de las vibraciones mediante la interposición de materiales de diferente naturaleza. Esto se puede conseguir bien utilizando revestimientos blandos (moqueta) o bien utilizando una estructura de 'suelo flotante', que consiste en una capa de material elástico situado entre la solera de hormigón y el forjado.

Al contrario que en el caso del ruido aéreo, la masa de los elementos estructurales no influye de forma significativa. Un forjado con mayor masa por unidad de superficie no será más eficiente para la atenuación del ruido de impacto.

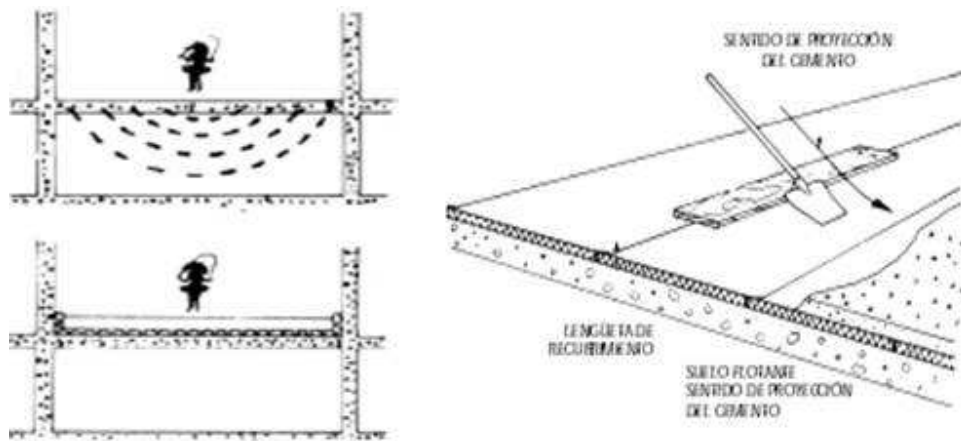
Por último, otro de los mecanismos utilizados para reducir la transmisión de vibraciones es la construcción de un 'techo flotante', que se encuentra desligado de la estructura.

Para valorar el aislamiento de un elemento constructivo al ruido de impacto comúnmente se utilizan técnicas las cuales están normalizadas y se expresan en varios términos:

- Nivel normalizado del ruido de impactos de un elemento constructivo horizontal (L)- Norma ISO 140-6.
- Nivel global de ruido de impactos de un elemento constructivo horizontal (L) Norma ISO 717-2.
- Nivel normalizado del ruido de impactos en edificios (L') Norma ISO 140-6.

- Nivel global de ruido de impactos en edificios (L') Norma ISO 717-2.

Figura 67. Aislamiento acústico.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

7.3 Aislamiento de vibraciones

El ruido de vibraciones procede habitualmente de las máquinas. Este tipo de ruidos es una combinación de ruido aéreo y estructural, por lo que su tratamiento es complejo.

Estos choques mecánicos causados directamente en la estructura de una construcción, como son por ejemplo los originados por maquinarias rotativas, o por el tráfico rodado, se propagan a través de las paredes en forma de ondas de compresión, flexión e incluso como ondas de torsión. Las ondas de compresión se propagan a través de la tierra, los cimientos, y por los elementos estructurales de la construcción en todas las direcciones, atenuándose gradualmente con la distancia, desde el origen del choque o vibración. La rapidez con la que se

atenúan y la distancia a la cual se propagan, dependen de una forma significativa de las propiedades del material a través del cual se propaga.

Figura 68. Fuentes generadoras de vibraciones.



Fuente: RAS LTDA.

Equipos rotativos en colindancias entre dos paramentos horizontales o verticales dan origen a ruidos radiados estructuralmente y vibraciones.

Para disminuir la propagación de vibraciones se pueden adoptar varias soluciones:

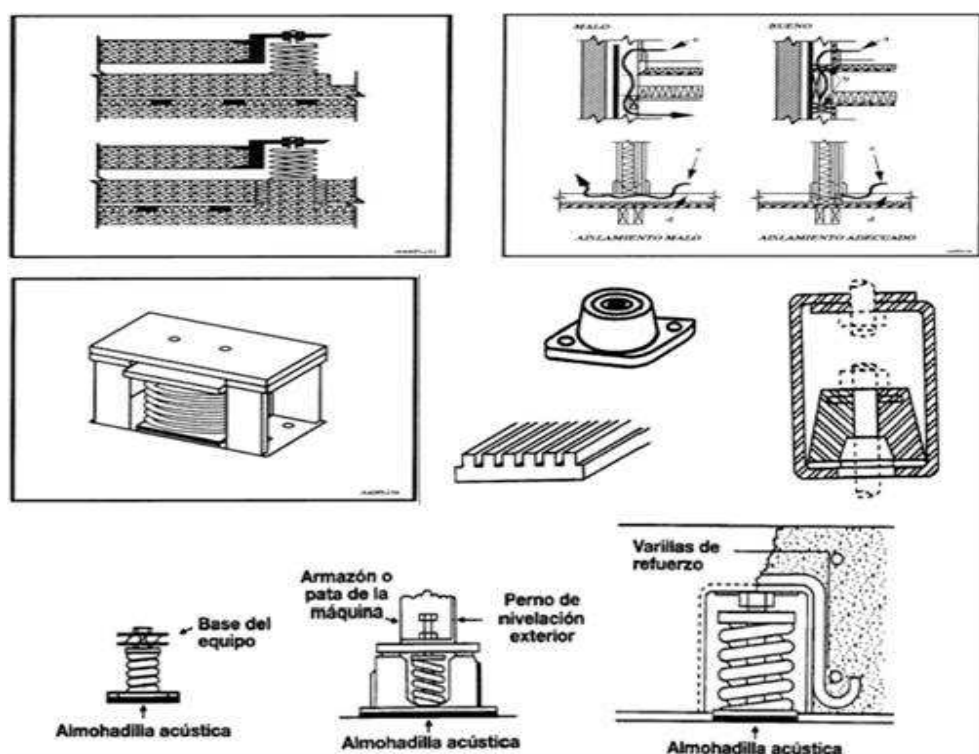
Utilizar amortiguadores de diferentes materiales (caucho, acero, etc...) como elementos de soporte de la maquinaria. De esta forma se evita el contacto rígido de la máquina con la estructura y por tanto la transmisión de vibraciones.

La elección del amortiguador depende principalmente de la frecuencia de vibración de la máquina y del peso que debe soportar. Se deben seleccionar amortiguadores cuya frecuencia natural sea de dos a cuatro veces menor que la frecuencia de vibración de la máquina.

Utilizar un bloque de inercia, que consiste en una losa de hormigón sobre la que descansa la máquina. Esta estructura se monta a su vez sobre unos amortiguadores.

Pueden existir varios procedimientos para proteger a un recinto contra las vibraciones. En primer lugar, se debe reducir la amplitud de las vibraciones en el punto donde aparecen. En segundo lugar, los recintos en los que el nivel de ruido debería ser más bajo, se situarían tan lejos como sea posible de las principales fuentes de ruido. En tercer lugar, las paredes que se encuentren en el camino principal de conexión entre las fuentes de ruido y el recinto a aislar, se construirán con materiales que tengan buena atenuación. Por último, en estructuras hechas de materiales que tengan buenas propiedades de conducción del sonido, deberían suministrarse recubiertas con materiales que no conduzcan estas vibraciones.

Figura 69. Control de vibraciones y de ruidos de impacto.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

En los sistemas vibratorios, con el fin de conseguir un buen aislamiento, la frecuencia propia del sistema debería ser tan baja como sea posible. Esto se puede conseguir aumentando la masa que se coloca en la base debajo de la

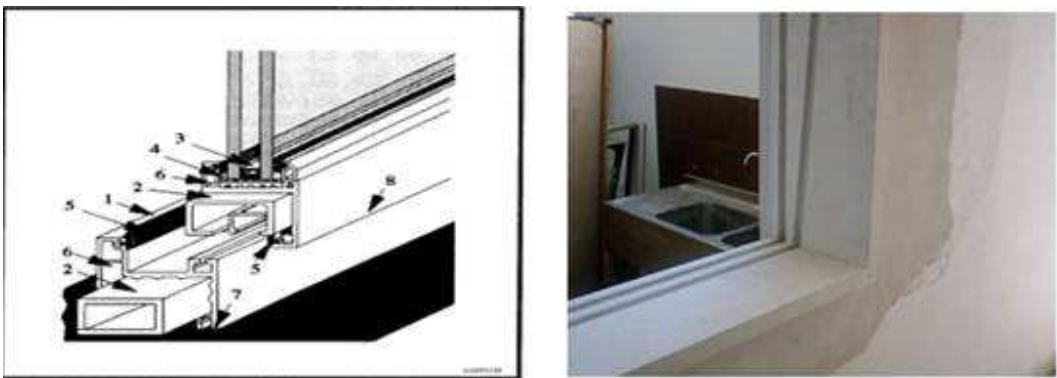
máquina, aumentando el espesor de la capa elástica, y escogiendo un material elástico que tenga las necesarias propiedades elásticas, y que las pueda conservar sin variación con el tiempo. Estas propiedades se pueden encontrar en el caucho y en el corcho, por ejemplo cuando el espesor es de 2.5 cm y la masa de 10 Kg/cm², tiene una frecuencia propia de 16 Hz.

7.4 Aislamiento acústico de ventanas

Las puertas y ventanas son frecuentemente los peores elementos en el aislamiento acústico, ya que tienen un peso comparativamente bajo y no siempre cierran herméticamente, dando origen a huecos, rendijas o aperturas por donde se propaga o se filtra la emisión hacia las edificaciones. El factor básico que influye en el aislamiento acústico de ventanas es el espesor de los cristales ofreciendo un mayor o menor coeficiente de atenuación.

Las ventanas dobles tienen un mejor aislamiento acústico y cuando son utilizando vidrios de diferentes espesores se obtienen superiores resultados.

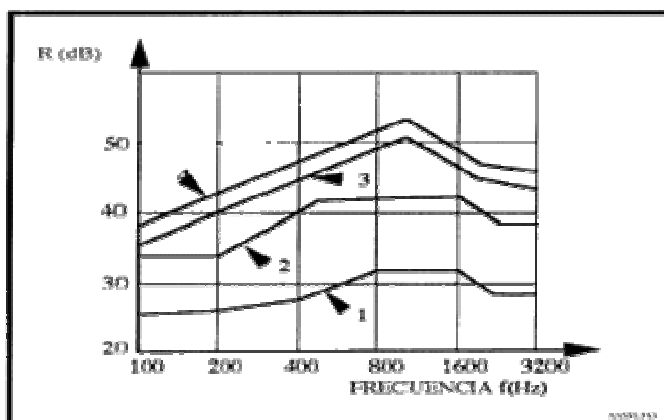
Figura 70. Aislamiento acústico de ventanas.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

Reducción aislamiento acústico para diferentes tipos de ventanas según su espesor

Figura 71. Atenuación vs frecuencia.



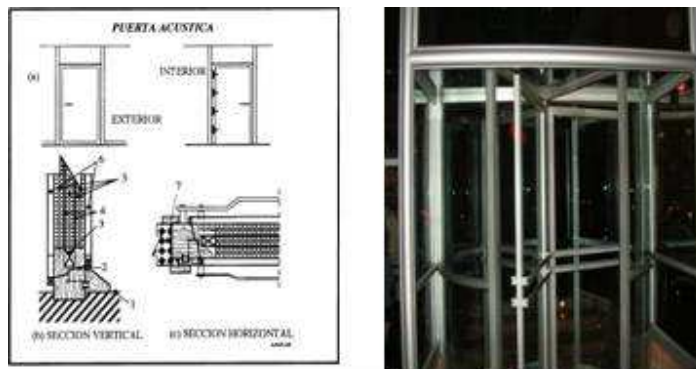
Fuente: Manual de la Evaluación del Impacto Ambiental.

Los valores del aislamiento proporcionados por las ventanas se determinarán mediante ensayo. No obstante y en ausencia de ensayo, el aislamiento proporcionado por las ventanas se podrá determinar mediante las ecuaciones siguientes, en función del tipo de acristalamiento, de la clase de carpintería según la clasificación que se establece en la NBE-CT "Condiciones térmicas en los edificios" y la NBE-CA 82 y según la Norma UNE 85-208-80 "Clasificación de las ventanas de acuerdo con su permeabilidad al aire".

7.5 Aislamiento acústico de puertas

Las puertas ambientalmente son aperturas las cuales ofrecen un menor aislamiento acústico y dependen no sólo de ellas mismas, sino también de los detalles de aislamiento de sus componentes tales como: marco de la puerta, las uniones, las juntas alrededor del cierre y su hermeticidad.

Figura 72. Puerta simple de apertura frontal y rotativa de hojas.



Fuente: RAS LTDA.

Los valores del aislamiento proporcionado por las puertas se determinarán mediante ensayo. No obstante y en ausencia de ensayo según la NBE-CA 82, el aislamiento proporcionado en dB(A) por puertas macizas, metálicas o de madera y laminadas, unidas por bastidor se podrá determinar mediante la siguiente expresión matemática, en función de su masa M por unidad de superficie, expresada en kg/m²:

$$R = 16.6 * \text{Log}M - 8$$

Ecuación 34. Aislamiento por puertas.

En las puertas especiales constituidas por laminados blandos a la flexión, de madera, fibras minerales o vegetales, cartón, amianto-cemento, etc, montados sin unión rígida entre láminas e incluyendo capas de material absorbente amortiguador, el aislamiento se determinará mediante la siguiente ecuación en función de su masa M por unidad de superficie expresada en Kg/m²:

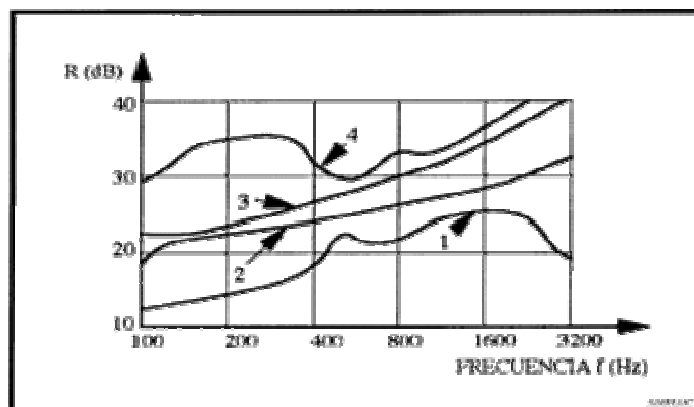
$$R = 16.6 * \text{Log}M + 2$$

Ecuación 35. Aislamiento por laminados blandos.

Las ecuaciones anteriores son aplicables a puertas provistas de juntas de estanqueidad, debiendo minorarse en 5 dB(A) los valores obtenidos en caso de

carpintería sin éstas. En determinados casos, cuando dos espacios estén separados mediante distribuidor y dos puertas, puede considerarse que el aislamiento total es la suma de los aislamientos proporcionados por cada puerta. Un problema importante de las puertas es el de las holguras y rendijas de las carpinterías, ya que pueden causar disminuciones en el aislamiento del orden de 3 a 5 dB, lo que se puede evitar con bandas de estanqueidad y resaltes.

Figura 73. Dependencia con la frecuencia del aislamiento acústico.



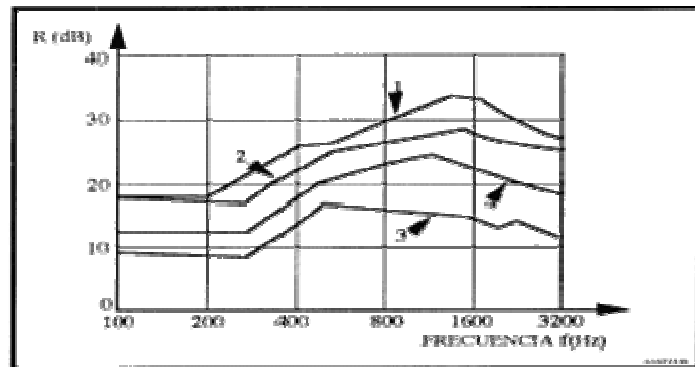
Fuente: Ruido Industrial y Urbano

Una puerta normal hecha de tablero presenta un aislamiento acústico de aproximadamente 20 dB, mientras que una puerta hecha de una plancha única y una de dos planchas con una capa de fibra mineral entre ellas dan respectivamente 23 y 28 dB. El aislamiento acústico de dos puertas en un marco, proporciona un aislamiento medio de 34 dB.

El material de que están hechas, el método de construcción, la presencia de grietas alrededor de la puerta (en el marco), todo tiene un efecto sobre el valor del aislamiento acústico de las puertas. Esto se puede ver en la figura que presenta las curvas de aislamiento acústico de las puertas. Las curvas 1 y 3 son para puertas rellenas con fibras de vidrio y fieltro sin sellado de las mismas, y la 2 y 4

son las mismas pero con sellado. Se ve que al tapar las grietas aumenta el aislamiento sonoro de 5 a 7 dB.

Figura 74. Dependencia con la frecuencia del aislamiento sonoro de puertas con capas.



Fuente: Ruido Industrial y Urbano.

Ejemplo: Cálculo del nivel acústico ponderado A, a partir de niveles en bandas de octava.

Una fuente de ruido genera un espectro en bandas de octava según se expresa seguidamente.

Tabla 7. Nivel de presión sonora en bandas de octava en dB.

Frecuencia central en bandas de octava (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nivel de presión sonora en bandas de octava (dB)	65	77	63	55	58	52	50	47

Determinar el nivel de presión sonora en octavas con ponderación A, así como el valor lineal correspondiente en dB y dBA.

El primer paso a seguir es tomar los valores de la ponderación A que aparecen en la tabla 3. Por consiguiente el nuevo valor del nivel de presión sonora del espectro en octavas en dBA será el dado en la tabla siguiente fila tercera.

Tabla 8. Nivel de presión sonora en bandas de octava en dBA.

Frecuencia central en bandas de octava (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nivel de presión sonora en bandas de octava (dB)	65	77	63	55	58	52	50	47
Ponderación A (dB)	- 26,2	- 16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1
Nivel de presión sonora en bandas de octava (dBA)	38,3	60,9	54,4	51,8	58,0	53,2	51,0	45,9

Una vez obtenido este espectro en dBA pasemos seguidamente a determinar el valor lineal del nivel de presión sonora, para lo cual se sumarán los diferentes niveles de dos en dos, es decir, vamos a encontrar el nivel total de las octavas de 4.000 y 8.000 Hz, siendo la diferencia entre ambos niveles de 5,1 dBA, por lo que la cantidad a sumar sería de 1,2 dBA al nivel mas alto de estos niveles en bandas de octava de $51 + 1,2 = 52,2$ dBA. Repetimos este procedimiento para el resto de las octavas, presentando sus valores en la Tabla 9.

Tabla 9. Nivel de presión sonora total en dBA.

L_i (dBA)	51,0	53,2	58,0	59,8	60,4	61,4	64,2
L_{i+1} (dBA)	45,9	52,2	55,7	51,8	54,4	60,9	38,8
$L_i - L_{i+1}$ (dBA)	5,1	1,0	2,3	8,0	6,0	0,5	25,4
ΔL (dBA)	1,2	2,5	1,8	0,6	1,0	2,8	0,0
L (dBA)	52,2	55,7	59,8	60,4	61,4	64,2	64,2

El valor del nivel de presión sonora en toda la banda es de 64,2 dBA. El procedimiento seguido se repite, aunque en este caso a partir de los valores de la Tabla 10 en dB.

Tabla 10. Nivel de presión sonora total en dB.

L_i (dB)	77	78,2	78,4	78,5	78,5	78,5	78,5
L_{i+1} (dB)	65	63	58	55	52	50	47
L_i - L_{i+1} (dB)	12	15,2	20,4	23,5	26,5	28,5	31,5
ΔL (dB)	0,5	0,2	0,1	0	0	0	0
L (dB)	78,2	78,4	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5

Como podemos apreciar el valor del nivel total es de 78,5 dB, muy superior al de 64,2 dBA, esto se debe a que en el espectro en dB los valores mas elevados se encuentran en las octavas mas bajas, en las que la ponderación es más fuerte.
Ejemplo: Determinación de la absorción total del aire a una frecuencia y una humedad relativa específica.

Suponiendo un recinto con un volumen de 25.000 m³, determinar la absorción total de aire a las frecuencias de 500, 1.000 y 4.000 Hz, y una humedad relativa del 40%. Si el recinto tiene un volumen de 3.500 m³ encontrar el valor de la absorción del aire a las mismas frecuencias. Discutir los resultados en ambos casos.

Teniendo en cuenta la figura 55, el valor de m para cada una de las frecuencias mencionadas anteriormente será para cada metro: m para 500 Hz vale 0,001; para 1.000 Hz será 0,005 y para 4.000 Hz el valor es de 0,0075.

Por otro lado, a partir de la Ecuación 36 obtendremos el valor de la absorción para el recinto de volumen 25.000 m³:

$$A_{500} = 4_{m500} * V = 4 * 0.001 * 25000 = 100m^2$$

$$A_{1000} = 4_{m1000} * V = 4 * 0.005 * 25000 = 500m^2$$

$$A_{4000} = 4_{m4000} * V = 4 * 0.0072 * 25000 = 720m^2$$

Ecuación 36. Valores de absorción para volumen 25000 m³.

Con relación al recinto de 3.500 m³ el valor de la absorción será:

$$A_{500} = 4_{m500} * V = 4 * 0.001 * 3500 = 14m^2$$

$$A_{1000} = 4_{m1000} * V = 4 * 0.005 * 3500 = 70m^2$$

$$A_{4000} = 4_{m4000} * V = 4 * 0.0072 * 3500 = 100.8m^2$$

Ecuación 37. Valores de absorción para volumen 3500 m³.

Según podemos deducir de los resultados anteriores la absorción debida al aire a bajas frecuencias, aunque el recinto sea muy grande es prácticamente despreciable. Por otro lado, cuando el volumen es pequeño la absorción debida al aire se puede despreciar en general.

Así mismo, se puede apreciar como a medida que aumenta la frecuencia se incrementa el valor de la absorción para un mismo valor de V, empezando a ser significativa a las frecuencias más elevadas.

8 MAPAS DE RUIDO

Para la OMS, un componente crucial de la implementación de planes para reducir el ruido, es tener un conocimiento cuantitativo razonable de la exposición a este, lo cual se logra a través de mapas de ruido, entre otros. El término general de mapas de ruido se suele utilizar para referirse a mapas horizontales de líneas isofónicas a cierta altura del suelo, a un nivel sonoro continuo equivalente, los cuales son una representación gráfica de los niveles de exposición de las fuentes de ruido que afectan a la sociedad; por ejemplo, el tráfico vehicular, los aviones, las vías férreas, las industrias, la construcción, las fiestas y las actividades humanas en general, representaciones que en muchas ocasiones son difíciles de cuantificar, sin embargo, en algunos casos, es posible contar con los datos de la exposición a los niveles de ruido, para el caso de Colombia, muchas mediciones son realizadas debido a las quejas de la comunidad. En otros casos, la exposición se puede calcular de las características de los procesos mecánicos. En países en desarrollo, generalmente existe falta de información estadística apropiada para estimar la exposición a los niveles de ruido. Sin embargo, en donde se necesita reducir los niveles de ruido, la falta de información completa no debe prevenir el desarrollo de estimaciones temporales de la exposición de ruido. La información básica acerca de la población expuesta, sistemas de transporte, la industria y otros factores pertinentes se pueden utilizar para calcular las exposiciones temporales de ruido. Estos entonces pueden ser utilizados para desarrollar y aplicar los planes provisionales de ruido.

Por otro lado, los mapas de ruido pueden ser de diferentes tipos, dentro de los cuales se destacan mapas verticales, mapas con información numérica en puntos

receptores, mapas de análisis de contribución de las distintas fuentes, mapas con población expuesta, entre otros.

Los mapas de ruido pueden ser además generales o específicos sobre una o varias fuentes determinadas. Los mapas urbanos serían del primer tipo, mientras que es frecuente realizar mapas específicos del entorno de las carreteras, de los ferrocarriles, de los aeropuertos, de canteras, zonas de ocio, zonas de obra, de determinadas industrias.

A la hora de abordar la elaboración de un mapa de ruido es necesario determinar en primer lugar las características del mapa que se desea obtener, si es general o específico para una fuente, el ámbito del mapa y altura sobre el suelo de las mediciones, la escala de trabajo y precisión de los datos, los índices acústicos e información reflejados en el mapa, entre otros.

Una vez determinadas las características de los mapas, es necesario seleccionar la técnica que se va a emplear, dentro de las cuales se encuentran: las medidas mediante sonómetros, los métodos o modelos de previsión o la combinación de medidas y previsiones, en función de las características del mapa es posible utilizar una u otra técnica.

Los mapas de carácter general, como es el caso de los mapas de aglomeraciones, son más difíciles de elaborar mediante modelos de previsión, ya que no siempre es posible determinar el comportamiento de las fuentes de ruido y disponer de métodos de cálculo confiables. El uso de modelos de previsión para los mapas de carreteras, ferrocarriles y aeropuertos presenta numerosas ventajas prácticas, y con las precauciones adecuadas se ha conseguido una muy buena fiabilidad de los resultados.

Por otro lado, las técnicas de medida directa de niveles sonoros resultan muy caras en general y requieren periodos de tiempo excesivamente largos para realizar los mapas. Sin embargo, los resultados reflejan dentro de los límites de precisión y de tiempo de las medidas, valores reales del ruido en situaciones existentes.

8.1 Ventajas y desventajas de los mapas de ruido

Mediante el empleo de mapas de ruido se pueden definir zonas aptas para distintos usos y construcciones de acuerdo con lo establecido en el POT. Los mapas de ruido son un método efectivo y relativamente económico de manejo, administración y manipulación de datos referidos al ruido y constituye una herramienta fundamental de gestión, planificación y control de ruido ambiental. A su vez estos permiten que se reconozcan fácilmente áreas de alta exposición al ruido donde se requieren acciones, y áreas menos expuestas donde el ruido no debe incrementarse. Existen programas específicos para elaborar mapas del ruido generado por el tráfico vehicular, por los ferrocarriles, por las aeronaves, e incluso para la industria y con ellos se puede determinar con mayor o menor error los ruidos que las distintas fuentes originan, sin embargo, los costos implícitos en estos muchas veces son muy elevados convirtiéndose en una desventaja.

Otra desventaja de los mapas de ruido radica en la dificultad de contar con las variables que se deben tener en cuenta, dentro de las cuales se encuentran las siguientes: número de ciudadanos expuestos a distintos niveles (con subgrupos de población como alumnos, enfermos, trabajadores, etc.), tiempos de exposición y la dosis de ruido recibida en los obligatorios traslados de casa al trabajo. En relación con los sistemas de medición, los mayores inconvenientes residen en cómo poder transformar mediciones de corta duración en valoraciones de niveles sonoros anuales. El procedimiento de utilización de modelos exige un trabajo minucioso de

contraste de resultados, siendo más complicado cuando mayor exactitud se desee en los resultados.

Los mapas de ruido de las grandes ciudades son sin duda los que ofrecen un mayor grado de dificultad en su elaboración, deben contemplar múltiples focos de ruido por separado, y al tratarse de áreas densamente edificadas, la evaluación de los niveles sonoros se complica notablemente.

8.2 Mapas de ruido para Colombia

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada a las metodologías de diferentes países se pudo observar que los mapas de ruido son unas herramientas válidas para el control y mejora de los niveles sonoros ambientales existentes en las ciudades, sin embargo, los resultados que proporcionan no tienen la exactitud que algunos pretenden dar. Asimismo, es imposible disponer de un número suficiente de puntos de medida, como para caracterizar a toda una ciudad o a un país, debido a esto es importante para la elaboración de los mapas de ruido aunar esfuerzos entre las diferentes entidades encargadas de realizar el control y seguimiento al ruido ambiental.

Para iniciar el proceso de elaboración de mapas de ruido, es importante adelantar campañas de medición de los niveles sonoros en diferentes zonas del país que se consideren críticas. Dichos mapas podrán contener la información capturada por las autoridades ambientales y las de salud, en relación con las mediciones realizadas por quejas de la comunidad y poder detectar las fuentes de ruido y los niveles que se alcanzan, para establecer la población afectada a los diferentes niveles de ruido.

Igualmente, la elaboración de mapas de ruido permitiría establecer la percepción que sienten las personas ante las molestias ocasionadas por la contaminación acústica y tomar las medidas de control necesarias para cada zona y mitigar los impactos a la salud y al medio ambiente que se ocasionan por los diferentes sectores que generan ruido.

La efectividad de los mapas de ruido se comprueba cuando son utilizados por las autoridades ambientales, como herramienta para la planificación urbana, permitiendo detectar las fuentes más perjudiciales, y actuar sobre las mismas controlándolas a través de la generación e implementación de normas, así como también estableciendo una zonificación acústica de las ciudades por medio de los mapas de ruido. Por otra parte, la repetición cada cierto período de tiempo de las mediciones, o la aplicación de modelos que permitan evaluar las medidas correctivas que se aplican, permiten llevar adelante eficaces controles del ruido en las ciudades y en el país.

En estos momentos el país cuenta con varias Normas Técnicas para realizar, mediciones de todo tipo de ruido, dentro de las cuales se encuentra la NTC 3520, la cual presenta diferentes métodos de medición; como el de integración continua, técnicas de muestreo y mediciones bajo condiciones meteorológicas seleccionadas. El propósito de esta norma, es proporcionar los métodos para obtener datos con el fin de describir el ruido ambiental, de igual manera se muestra como debe ser la representación de resultados y las zonas de ruido.

La norma técnica 3520 establece que se usen los contornos que indican límites entre zonas de múltiplos de 5 dB. Se debe hacer referencia a las zonas mediante la citación en decibeles, de los límites superior e inferior.

El Artículo 22 de la Resolución 0627 establece la obligatoriedad de la realización de Mapas de Ruido, a poblaciones mayores de cien mil (100.000), y da un plazo

máximo para su realización de cuatro años contados a partir de la entrada en vigencia de la Resolución mencionada. Los mapas de ruido se elaborarán de acuerdo con las especificaciones del Anexo 5 de la Resolución 0627 de 2006.

Si se identifican las diferentes zonas sobre un mapa mediante colores o sombreado, se recomienda que se use la combinación de colores (o el sombreado) y las clases especificadas en la Tabla 11. En algunos casos, es posible que sea suficiente usar ancho de zona igual a 10 dB(A); en tales casos, se deben emplear los colores (o el sombreado) como se especifica en la Tabla 12.

Tabla 11. Combinación de colores para representaciones gráficas cada 5 dB(A).

Zona de ruido en dB	Color	Sombreado
Debajo de 35 dB	Verde claro	Puntos pequeños, baja densidad
35 a 40	Verde	Puntos medianos, media densidad
40 a 45	Verde oscuro	Puntos grandes, alta densidad
45 a 50	Amarillo	Líneas verticales, baja densidad
50 a 55	Ocre	Líneas verticales, media densidad
55 a 60	Naranja	Líneas verticales, alta densidad
60 a 65	Cinabrio	Sombreado cruzado, baja densidad
65 a 70	Carmín	Sombreado cruzado, media densidad
70 a 75	Rojo lila	Sombreado cruzado, alta densidad
75 a 80	Azul oscuro	Franjas verticales anchas
80 a 85	Azul oscuro	Completamente negro

Tabla 12. Combinación de colores para representaciones gráficas como 10 dB(A).

Zona de ruido en dB	Color	Sombreado
Debajo de 45 dB	Verde	Puntos medianos, mediana densidad
45 a 55	Amarillo	Líneas verticales, baja densidad
55 a 65	Naranja	Líneas verticales, alta densidad
65 a 75	Rojo	Sombreado cruzado, media densidad
75 a 85	Azul	Franjas verticales anchas

Para la elaboración de los mapas de ruido, es importante tener en cuenta los detalles y la escala del mapa, para lo cual es necesario conocer:

- El tamaño, estructura y uso del área en cuestión.
- El objeto de la planificación (decisión a gran escala sobre la ubicación de nuevas fuentes y nuevos receptores, cambio del uso en campo, decisión final sobre la ubicación de nuevos receptores).
- Etapa del procedimiento de planificación.

El mapa de ruido deberá ser establecido sobre un mapa oficial, de escala determinada, y que permita identificar los detalles relevantes tales como edificios, instalaciones de tráfico, áreas industriales, áreas de agricultura, vegetación y contornos de la altura por encima del nivel del mar. El trazado de los mapas se debe realizar para mostrar las áreas donde hay zonas con ruido igual o para dibujar los contornos de tales áreas, o para ver la combinación de los contornos de las áreas. El mapa debe mostrar la ubicación en donde los datos fueron medidos o en donde fueron calculados.

9 CONCLUSIONES

- ❖ El crecimiento, cambios y dinámica de las ciudades en cuanto a población, industrias, construcciones, vehículos, establecimientos de comercio, genera un aumento en la problemática ambiental, por tal motivo se recomienda estar actualizando el módulo de ruido de la Especialización en Ingeniería Ambiental de la Universidad Industrial de Santander.
- ❖ El módulo de ruido de la Especialización en Ingeniería Ambiental de la UIS, tiene orientación sobre salud ocupacional, y el enfoque que se le debe dar a este módulo debe ser ambiental, tal como se propone en el presente proyecto de ruido y vibraciones.
- ❖ El cambio en la normatividad con respecto a ruido aprobada en el año 2006, las nuevas tecnologías, exigen fundamentos acústicos y una nueva interpretación normativa.
- ❖ La orientación que se le debe dar al especialista en ingeniería ambiental en el área de ruido debe estar basado en la problemática ambiental que se presenta en las ciudades.
- ❖ El modulo de ruido debe ser una herramienta de consulta y orientación para los estudiantes y egresados de la especialización en Ingeniería Ambiental.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Harris, Cyril. Manual de Medidas de Medidas Acústicas y Control de Ruido. Tercera Edición en Español M.38.498, 1995.
- [2] Larry W. Canter. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Mc Graw Hill, segunda Edición, 1998.
- [3] Gerard Kiely. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc Graw Hill, Primera Edición, 1999.
- [4] Nils R. Grimm/ Robert C. osaler. Manual de Diseño de Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Mc Graw Hill, Primera Edición, 1996.
- [5] Recuero, Manuel. Manual de Acústica Arquitectónica Aplicada de. Ed. Paraninfo, 1998. C/ Magallanes 2528015 Madrid España.
- [7] Manual de Contaminación Ambiental Fundación MAPFRE Itsemap Ambiental 1994.
- [8] Manual de Higiene Industrial. Fundación MAPFRE. 1991.
- [9] Manual de fundamentos de Higiene Industrial. Consejo Interamericano de Seguridad 1981.

[10] Norma Técnica Colombianas Icontec NTC 3321, 3521, 3522 y 3447 (ISO 1996/1,1996/2, 1996/3).

[11] Ortega, Ramón. Rodríguez, Ignacio. Manual de Gestión del Medio Ambiente Fundación MAPFRE. 1994.

[12] Pascual, José. Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ed. Mc Graw Hill, 1994.

[13] Puerta, Jorge. Quinchía, Roberto. Evaluación y Control de Ruido Industrial. Primera Edición, 1991.

[15] Resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

[16] Secretaria Distrital de Ambiente _____

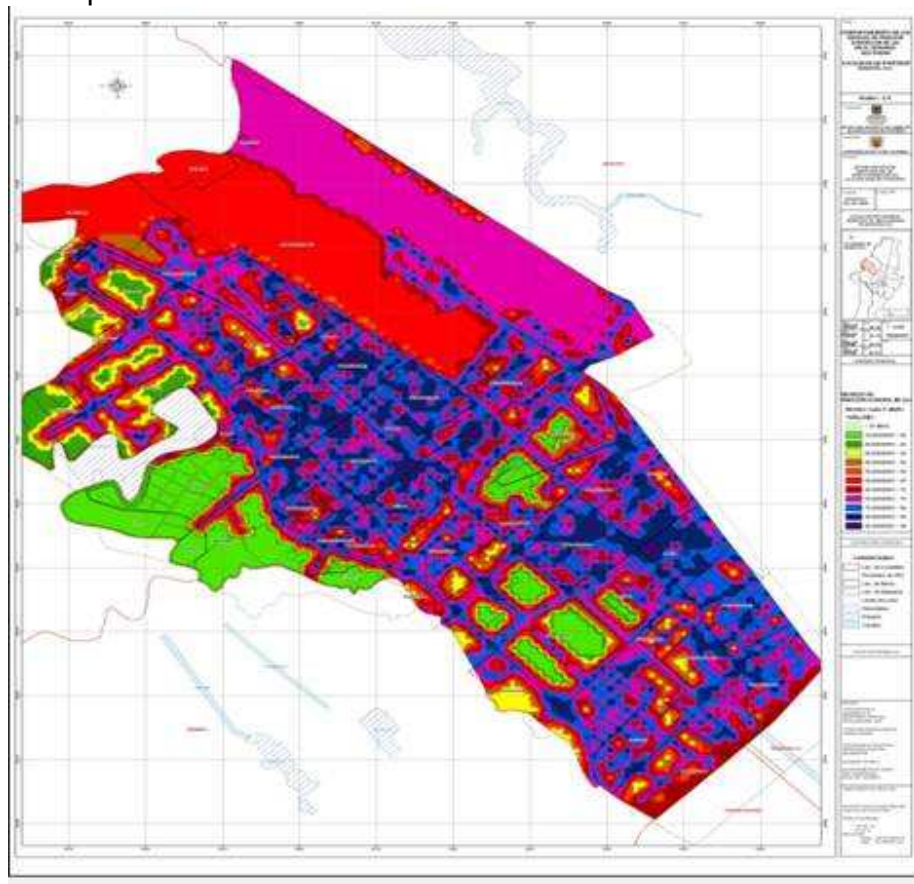
[17] Universidad Incca de Colombia Mapas de Ruido de 2007/2008.

[18] Experiencias del Grupo de Ruido de la Secretaria Distrital de Ambiente.

ANEXO A

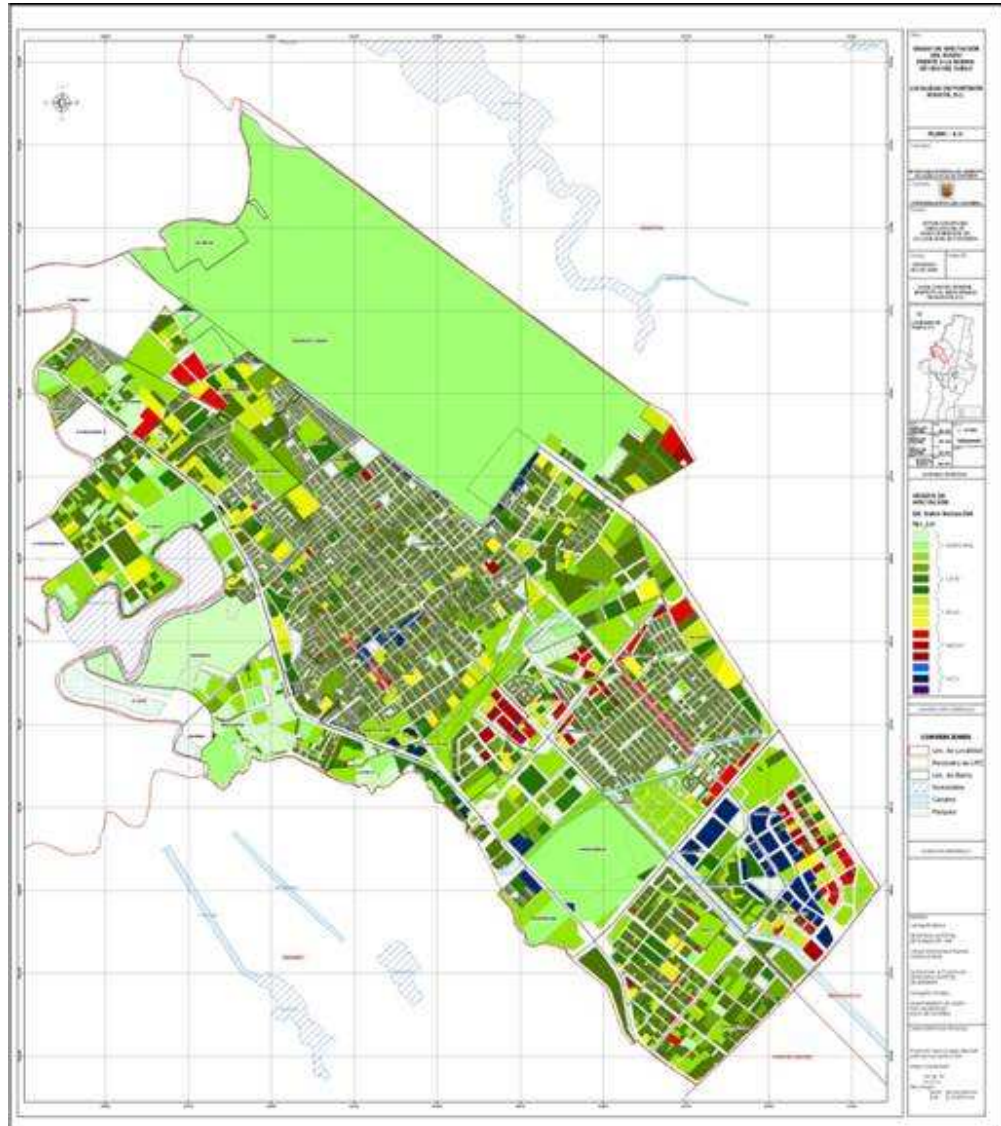
MAPAS DE RUIDO

Figura A1. Mapa de ruido Localidad de Fontibón.



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente.

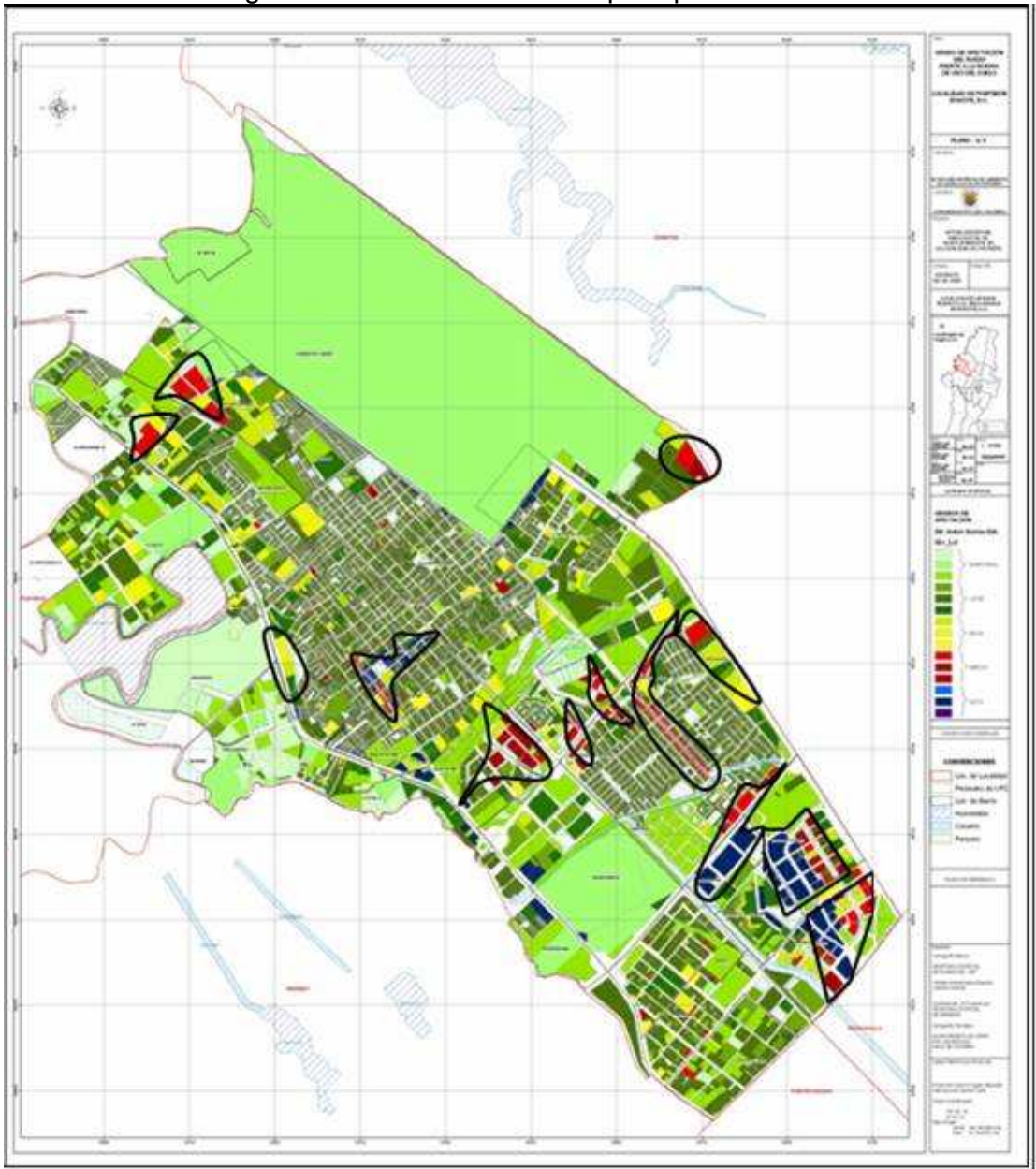
Figura A2.



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente.

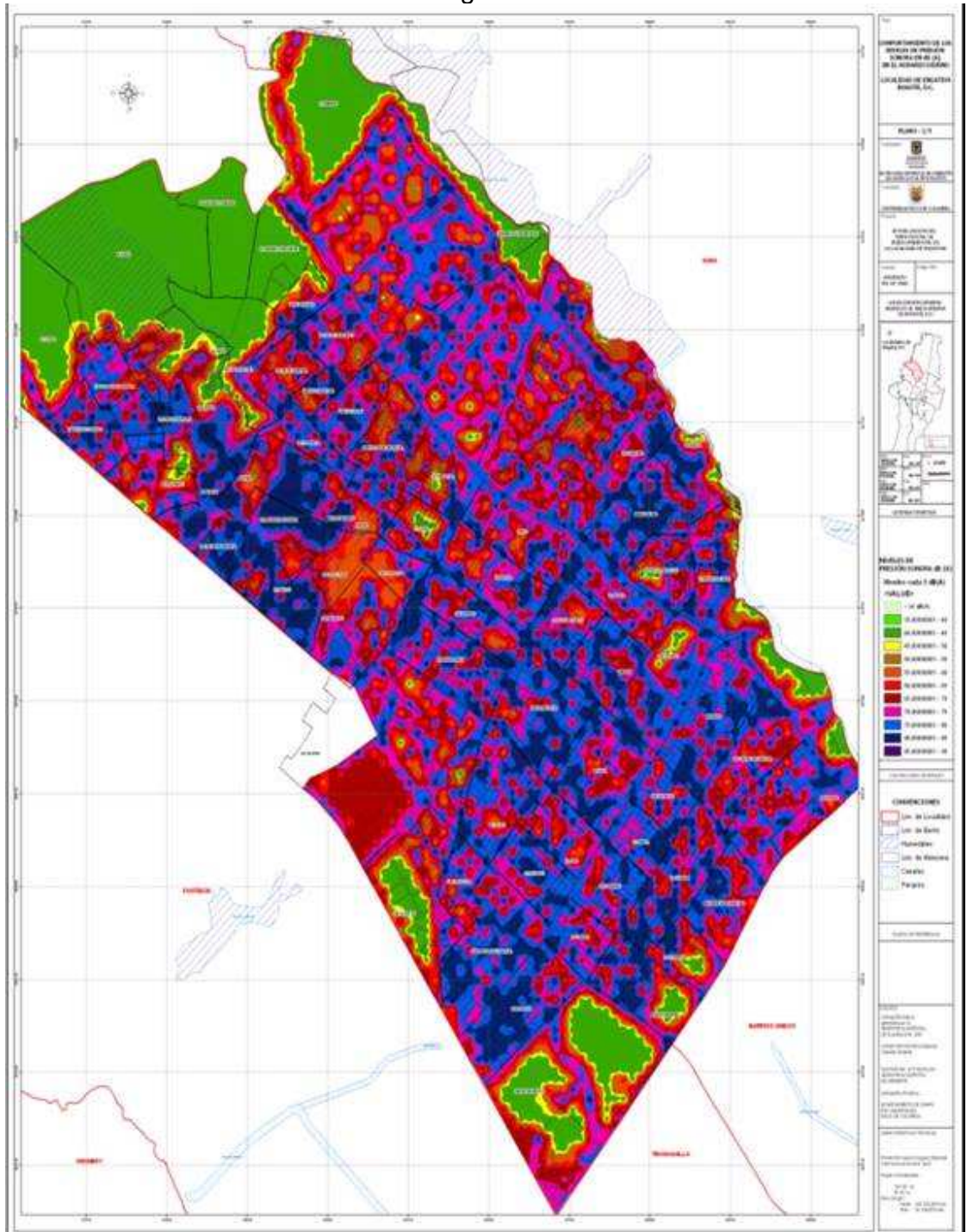
Zonas de conflictos generados por el aporte de ruido proveniente de la malla vial y fuentes fijas que conforma la localidad

Figura A3. Zonas de conflicto por aporte de ruido.



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente.

Figura A4.



Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente.

