

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UNA CÁMARA ANECOICA Y UNA CÁMARA REVERBERANTE

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

GALLEGOS GUZMÁN FABIO ENRIQUE
fabhiomam@hotmail.com
MONTALVO ECHEVERRÍA DANILO XAVIER
dalodalo1978@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. MIGUEL HINOJOSA
miguel.hinojosa@epn.edu.ec

Quito, DICIEMBRE 2008

DECLARACION

Nosotros, Fabio Enrique Gallegos Guzmán y Danilo Xavier Montalvo Echeverría, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Fabio Enrique Gallegos Guzmán

Danilo Xavier Montalvo Echeverría

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por GALLEGOS GUZMÁN FABIO ENRIQUE y MONTALVO ECHEVERRÍA DANILO XAVIER, bajo mi supervisión.

Ing. MIGUEL HINOJOSA
DIRECTOR DE PROYECTO

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1

REQUERIMIENTOS DE UNA CÁMARA ANECOICA Y UNA CÁMARA REVERBERANTE.

1.1	INTRODUCCIÓN A LA ACÚSTICA	1
1.1.2	ACÚSTICA	1
1.1.3	DEFINICION DE SONIDO Y RUIDO ACUSTICO	1
1.1.4	TIPOS DE RUIDOS ACUSTICOS	2
1.1.5	CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	2
1.1.5.1.1	Ruido Continuo o Constante	2
1.1.5.2	Ruido Fluctuante	2
1.1.5.3	Ruido Impulsivo	2
1.1.6	CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA	3
1.1.6.1	Ruido Blanco	3
1.1.6.2	Ruido Rosa o Rosado	3
1.1.6.3	Ruido Marrón	3
1.1.7	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SONIDO	4
1.1.8	MAGNITUDES DEL SONIDO	5
1.1.8.1	Amplitud(A)	5
1.1.8.2	Frecuencia (f)	5
1.1.8.3	Longitud de Onda (λ)	5
1.1.8.3	Velocidad del sonido (v)	5
1.1.8.4	Impedancia Acústica (Z)	6
1.2	CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO	6
1.2.1	Intensidad	6
1.2.2	Potencia sonora	7
1.2.3	Presión sonora o acústica	7
1.2.4	Intensidad sonora	7
1.2.5	Nivel de potencia sonora	8
1.2.6	Nivel de presión sonora	8
1.2.7	Nivel de intensidad del sonido	8
1.2.8	Tono	8
1.2.9	Timbre	9

1.3	CAMPO AUDIBLE.	9
1.4	EL DECIBELIO Y LA PONDERACION “A”.	12
1.5	CÁMARA ANECOICA	13
1.5.1	Eco	14
1.5.2	Campo Directo	14
1.5.3	Ambiencia	15
1.5.4	Absorción	15
1.6	CÁMARA REVERBERANTE	17
1.7	CAMPO SONORO REVERBERANTE	18
1.7.1	Primeras reflexiones o reflexiones tempranas.	19
1.7.2	Reflexiones tardías o cola reverberante	20
1.8	TEORIAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS ACÚSTICO DE LAS CÁMARAS	20
1.8.1	Teoría geométrica	21
1.8.2	Teoría estadística	22
1.8.2.1	Medición del tiempo de reverberación según las normas ISO 354 Y UNE-EN-ISO 140-4	23
1.8.2.2	Tiempo óptimo de reverberación	25
1.8.3	Teoría ondulatoria	26
1.9	ESPECIFICACION DE REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA ANECOICA Y CÁMARA REVERBERANTE	28

CAPITULO 2

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE MATERIALES

UTILIZADOS PARA LAS CÁMARAS A DISEÑAR

2.1	DETERMINACION DEL TIPO DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS CÁMARAS A DISEÑAR	31
2.2	MATERIALES ABSORBENTES Y RESONADORES	33
2.2.1	Materiales absorbentes	33
2.2.2	Materiales porosos	35
2.2.3	Materiales poroso-rigidos.	36
2.2.4	Materiales poroso-flexibles	37
2.2.5	Materiales para argamasa.	37
2.2.6	Materiales resonadores.	38
2.3	RESONADORES.	38
2.3.1	RESONADORES SIMPLES.	38
2.3.1.1	Resonador simple tipo helmholtz.	38
2.3.1.2	Resonador simple de membrana.	40

2.3.2	RESONADORES ACOPLADOS	41
2.3.2.1	En serie.	41
2.3.2.2	En paralelo - paneles perforados	42
2.4	MATERIALES DIFUSORES.	46
2.4.1	Difusores acústicos convexos	47
2.4.2	Difusores acústicos QRD	47

CAPITULO 3

	DISEÑO DE UNA CÁMARA ANECOICA	
3.1	CARACTERISTICAS DE LA CÁMARA ANECOICA	49
3.2	VOLUMEN DE LA SALA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA	49
3.3	FORMA ARQUITECTÓNICA DE LA SALA	50
3.4	MATERIALES PARA REVESTIMIENTO INTERNO	51
3.5	AISLAMIENTO CONTRA RUIDO EXTERNO DE LA SALA	52
3.5.1	Paredes internas	53
3.5.2	Paredes externas	53
3.5.3	Techo	54
3.5.4	Piso	54
3.5.5	Puertas	54
3.5.5.1	Puerta exterior	54
3.5.5.2	Puerta interior	55
3.6	AISLAMIENTO CONTRA VIBRACIONES	56
3.7	TRATAMIENTO ACÚSTICO DE LA CÁMARA ANECOICA	56
3.8	PISO	58
3.9	ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA ESTADÍSTICA	59
3.10	ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA GEOMÉTRICA	66
3.11	SISTEMAS ADICIONALES	66
3.11.1	Iluminación	66
3.11.2	Parámetros Atmosféricos	67
3.11.3	Sistema De Video	68
3.12	EQUIPAMIENTO PARA PRUEBAS	68
3.12.1	Área De Prueba	68
3.12.2	Equipos De Prueba	69
3.13	EJEMPLO DE PRUEBAS A REALIZARSE	72

CAPITULO 4

	DISEÑO DE UNA CÁMARA REVERBERANTE	
4.1	CARACTERISTICAS DE LA CÁMARA REVERBERANTE	75
4.2	ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA REVERBERANTE	75
4.2.1	Volumen De La Sala En Función De La Frecuencia	75
4.2.2.	Forma Arquitectónica De La Sala	76
4.2.3.	Materiales Para Revestimiento Interno	77
4.2.4	Aislamiento Acústico De La Cámara Reverberante	78
4.2.4.1	Paredes internas	78
4.2.4.2	Paredes externas	79
4.2.4.3	Puerta	80
4.2.5	Aislamiento Contra Vibraciones De La Cámara Reverberante	81
4.2.5.1	Piso	82
4.2.5.2	Techo	82
4.3	ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA ESTADÍSTICA	84
4.4	ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA GEOMÉTRICA	91
4.5	SISTEMAS ADICIONALES	91
4.5.1	Iluminación	91
4.5.2	Parámetros Atmosféricos	92
4.5.3	Sistema De Video	93
4.6	EQUIPAMIENTO PARA PRUEBAS	94
4.6.1	Área De Prueba	94
4.6.2	Equipos De Prueba	95
4.7	EJEMPLO DE PRUEBAS A REALIZARSE	96

CAPITULO 5

	EFFECTOS DEL RUIDO EN LOS SERES HUMANOS	
5.1	RUIDO.	105
5.1.1	Contaminación Acústica	106
5.1.2	Fuentes De Ruido	106
5.1.3	Efectos Adversos Del Ruido Sobre La Salud	108
5.1.4	Efectos Auditivos	109
5.1.4.1	Pérdida auditiva	109
5.1.4.1.1	Desplazamiento temporal (TTS)	109
5.1.4.1.2	Desplazamiento permanente (PTS)	109
5.1.4.2	Enmascaramiento	111
5.1.4.3	Dolor en el oído	112

5.1.5	Efectos Fisiológicos No Auditivos	112
5.1.5.1	Efectos fisiológicos conscientes	113
5.1.5.1.1	Respuesta reflejo	113
5.1.5.1.2	Alteración del equilibrio	114
5.1.5.1.3	Fatiga corporal	114
5.1.5.1.4	Resonancia en el organismo	115
5.1.5.1.5	Deficiencia vocales	116
5.1.5.1.6	Otros tipos de dolor	116
5.1.5.2	Efectos fisiológicos inconscientes.	116
5.1.5.3	Efectos cardiovasculares	117
5.1.5.4	Efectos gastrointestinales	117
5.1.5.5	Efectos respiratorios	118
5.1.5.6	Alteraciones endocrinas e inmunológicas	118
5.1.5.7	Efectos en el sistema nervioso	119
5.1.5.8	Efectos sobre la piel	119
5.1.5.9	Efectos en la vista	120
5.1.6	Efectos Psicosociales	121
5.1.6.1	Interferencia en la comunicación	122
5.1.6.2	Efectos sobre el sueño	122
5.1.6.3	Efecto sobre el rendimiento y la memoria	123
5.1.6.4	Efectos sobre la conducta	124
5.1.6.5	Efectos sobre la salud mental	124
5.1.6.6	Efectos sobre el estrés	124
5.1.6.6.4	Efectos sobre el estado de ánimo	124

CAPITULO 6

ESTUDIO DE LA LEGISLACIÓN ECUATORIANA E INTERNACIONAL REFERENTE AL RUIDO

6.1	LEGISLACIÓN DEL RUIDO EN EL ECUADOR Y OTROS PAISES	127
6.1.1	Carácter General	128
6.1.2	Leyes Para La Seguridad Ciudadana	129
6.1.3	Leyes Para Las Actividades Molestas y Aparatos Ruidosos	129
6.1.4	Leyes Para Los Vehículos A Motor	129
6.1.5	Leyes De Relación Con La Administración	130

CONCLUSIONES	136
---------------------	-----

RECOMENDACIONES	137
------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

RESUMEN

El presente proyecto de titulación recoge fundamentos de la ingeniería acústica que describen la propagación del sonido y su comportamiento en las cámaras anecoicas y cámaras reverberantes, mediante un análisis exhaustivo y detallado, presentando una aplicación práctica que permite reforzar los conocimientos que aquí se presentan.

En el primer capítulo se muestra una descripción general de todos los requerimientos que se deben tener en cuenta al momento de realizar el diseño de cámaras acústicas (cámara anecoica y cámara reverberante), estos requerimientos están estrechamente relacionado con el tipo de pruebas a realizar en las cámaras y el campo de aplicación para el que se diseña. También se expone brevemente varios de los parámetros característicos del sonido y se realiza una conceptualización de las cámaras anecoicas y cámaras reverberantes. Además de una descripción de las cuatro teorías básicas en las cuales se fundamenta el análisis acústico de las cámaras.

En el capítulo segundo se presenta una descripción de los diferentes materiales utilizados en la construcción de las cámaras acústicas, ya que estos son los que determinan las características propias y funcionalidad de cada una de ellas. Se describe también los materiales utilizados en el aislamiento acústico así como en el acondicionamiento propio de cada cámara, presentando un cuadro con su clasificación y las características principales que los definen.

En el capítulo tercero se presenta el diseño de una cámara anecoica tomando en consideración los requerimientos estudiados en los capítulos anteriores, así como los criterios para la insonorización, aislamiento acústico de la sala. Se definen las características de la cámara anecoica tales como: volumen, forma, dimensión, aislamiento y acondicionamiento acústico, iluminación, sistemas de monitoreo, equipos de prueba; para su operación dentro del campo audible. Se realiza el análisis del diseño mediante la aplicación de la teoría estadística y se proporciona un ejemplo del tipo de aplicaciones de la cámara.

En el capítulo cuarto se presenta el diseño de una cámara reverberante tomando en cuenta los requerimientos vistos en capítulos anteriores. Se utiliza como referencia las normas UNE-EN 20354 e ISO 3741 sección 5, así como diversas recomendaciones de materiales y formas de construcción. Se definen las características propias de la cámara reverberante tales como: volumen, forma, dimensión, aislamiento y acondicionamiento acústico, iluminación, sistemas de monitoreo, equipos de prueba; Se realiza el análisis del diseño mediante la aplicación de la teoría estadística.

Dentro de los capítulos tercero y cuarto se explican los criterios bajo los cuales se descarta la aplicación del análisis de las cámaras mediante la teoría geométrica debido a las condiciones de volumen y rango de frecuencia de funcionamiento seleccionado para las aplicaciones

En el capítulo quinto se expone el efecto que produce el ruido en los seres humanos, definimos lo que es la contaminación acústica, describiendo las

diferentes fuentes de ruido y las complicaciones que estas acarrearán a la salud de los seres humanos, y sus posibles consecuencias irreversibles a través de la presentación de una tabla que cuantifica los niveles tolerables por los seres humanos.

En el capítulo sexto se realiza un estudio de la legislación ecuatoriana e internacional referente al ruido, dando a conocer las diferentes leyes, ordenanzas y reglamentos presentes en países europeos y americanos que ya cuentan con una legislación para el control de la contaminación acústica. También presentamos un punto de vista para lo que sería una elaboración correcta de una ordenanza que rijan nuestros caminos hacia una sociedad libre de contaminación por ruido.

Resumimos los puntos más importantes del resultado del análisis de las teorías acústicas así como del diseño de la cámara anecoica y la cámara reverberante, y la determinación de los parámetros característicos más relevantes de las mismas.

Finalmente se presenta como anexos hojas de características de equipos de prueba necesarios para el funcionamiento de las cámaras acústicas. Se incluyen ejemplares de leyes y ordenanzas nacionales e internacionales, que nos brindan una perspectiva de qué parámetros considerar al momento de plantear una ley en el Ecuador, que vele y salvaguarde la salud de las personas.

PRESENTACIÓN

En la actualidad las escuelas politécnicas, universidades y centros de investigación del mundo destinan una gran parte de sus recursos a la investigación de temas que afectan a la salud y el desarrollo del ser humano.

Uno de los factores que hoy en día asedia de manera incesante la salud de los seres humanos es justamente los problemas físicos y psicológicos causados por la exposición continua y prolongada a diferentes fuentes de ruido.

Estas fuentes, algunas naturales y otras artificiales, han ido incrementándose sin control en especial en los países en vías de desarrollo como los de centro y sur de América. El Ecuador, lamentablemente, no es la excepción.

Por esto es necesario crear espacios donde poder investigar estas fuentes de ruido para poder controlar y disminuir los efectos causados por la exposición a los mismos.

En este marco la Escuela Politécnica Nacional en su afán de servir a la comunidad y atenta al desarrollo tecnológico y científico del país, tiene previsto la realización de un proyecto de investigación de Metrología Acústica y Vibraciones, el cual incluye el diseño y construcción de un laboratorio especializado en medición y certificación de parámetros acústicos. El presente proyecto de titulación ha sido desarrollado como una gran oportunidad de aprendizaje técnico y con un enorme compromiso con el desarrollo del país en el área de la investigación acústica, ya que al ser limitados los trabajos sobre este campo, no se ha tomado en cuenta una herramienta tan importante para el estudio de estos fenómenos.

CAPITULO 1

REQUERIMIENTOS DE UNA CÁMARA ANECOICA Y UNA CÁMARA REVERBERANTE.

En este capítulo se realizará una descripción general de todos los requerimientos que se deben tener en cuenta al momento de realizar el diseño de una cámara anecoica y una cámara reverberante.

1.1 INTRODUCCIÓN A LA ACÚSTICA.

En esta sección se verá conceptos fundamentales, definiciones, notaciones y unidades.

1.1.2 ACÚSTICA

Debido a que el sonido es una onda mecánica que se propaga a través de la materia en estado gaseoso, líquido o sólido, pero no en el vacío, podemos decir que:

La acústica es una rama de la física que estudia la generación, transmisión, recepción, absorción, detección, reproducción y control del sonido, la cual está íntimamente relacionada con varias ramas de la ingeniería.

1.1.3 DEFINICION DE SONIDO Y RUIDO ACUSTICO.

La definición de ruido acústico puede hacerse desde dos puntos de vista diferentes, la expresión **subjetiva** del ruido que se refiere a la sensación que produce en el ser humano y una definición **objetiva** que conlleva al ruido como fenómeno físico.

Desde el punto de vista subjetivo, al ruido se lo puede definir como:

- Un sonido no deseado

- Un conjunto de sonidos no coordinados que producen una sensación desagradable
- Un sonido no deseado capaz de perjudicar psíquica, física, social o económicamente al receptor.

En definitiva se puede decir que ruido es todo grupo de sonidos que interfieren las actividades humanas que proviene de una apreciación psicológica que de manera general cada persona receptora decide directamente que sonido es ruido o no.

Así, el **ruido acústico** es aquel ruido (sonido no deseado) producido por la mezcla de ondas sonoras de distintas frecuencias y distintas amplitudes. La mezcla se produce a diferentes niveles ya que se conjugan tanto las frecuencias fundamentales como los armónicos que las acompañan. La representación gráfica de este ruido es la de una onda sin forma característica definida.

1.1.4 TIPOS DE RUIDOS ACUSTICOS.

El ruido acústico se puede clasificar en función del tiempo o de la frecuencia. Esta clasificación se la puede realizar para cualquier otro tipo de ruido.

1.1.5 CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

De acuerdo a este parámetro al ruido lo podemos clasificar de la siguiente manera.

1.1.5.4 Ruido Continuo o Constante.

Ruido cuyo nivel de presión acústica y respuesta de frecuencia permanece constante o presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo del tiempo. Estas fluctuaciones deben de ser menores de 5dB durante el período de observación.

1.1.5.5 Ruido Fluctuante.

Ruido cuyo nivel de presión acústica y respuesta de frecuencia fluctúa a lo largo del tiempo. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias.

1.1.5.6 Ruido Impulsivo.

Ruido cuyo nivel de presión acústica se presenta por impulsos. Se caracteriza por un ascenso brusco del ruido y una duración total del impulso muy breve en relación al tiempo que transcurre entre impulsos (es un caso especial del ruido continuo). Estos impulsos pueden presentarse repetitivamente en intervalos iguales de tiempo o bien aleatoriamente.

1.1.6 CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.

Distinguimos tres tipos de ruido acústico dependiendo de su frecuencia, a saber: ruido blanco, ruido rosa, ruido marrón. Además existen fuentes de ruido artificiales o generadores de ruido que emiten ruido blanco o rosa. Estos generadores de ruido son utilizados en acústica para realizar ciertas mediciones como aislamiento acústico, insonorización, reverberación, etc.

1.1.6.4 Ruido Blanco.

Denominado así por asociación con la luz blanca, se caracteriza por su distribución uniforme en el espectro audible (20 Hz a 20 KHz.). Es decir, es un ruido cuya respuesta en frecuencia es plana, lo que significa que su intensidad (amplitud de sonido) es constante para todas las frecuencias. Fonéticamente suena así: “Shshshshsh” (como suenan las interferencias televisivas)

1.1.6.5 Ruido Rosa o Rosado.

En este tipo de ruido la respuesta en frecuencia no es plana, su intensidad decae 3 decibelios por octava. El ruido rosa que emiten los generadores de ruido utiliza filtros de 1/3 de banda de octava para medir la acústica de salas. Se elige 1/3 de octava para el filtro porque es a partir de ahí cuando el oído es capaz de detectar irregularidades en la respuesta en frecuencia). Fonéticamente suena así: “Fsfsfsfsfs” (como suenan las interferencias radiofónicas)

1.1.6.6 Ruido Marrón.

Este no es un ruido muy común pero existente en la naturaleza. El ruido marrón está compuesto principalmente por ondas graves y medias. Fonéticamente suena así: “Jfjfjfjfjfjfjfjf” (como cuando se fríe un huevo).

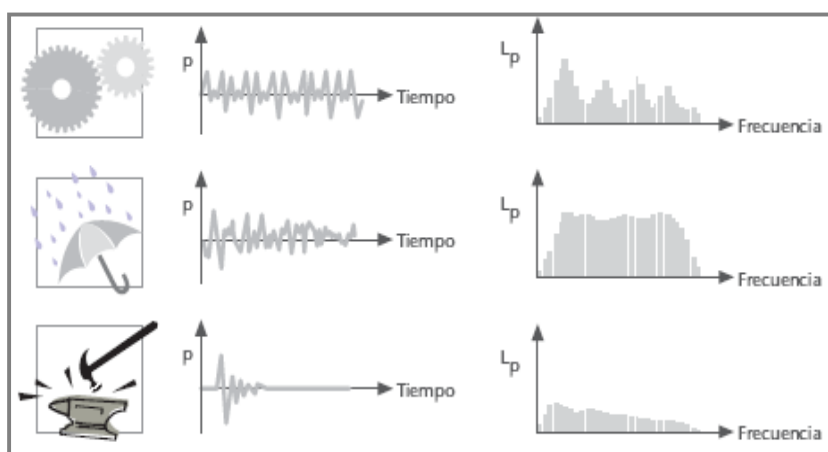


Fig. 1.1 Ejemplos de ruido

1.1.7 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SONIDO.

Desde el punto de vista físico, **Sonido** es el conjunto de perturbaciones capaces de viajar a través de un medio distinto del vacío, mediante ondas sonoras que viajan con una velocidad propia (velocidad del sonido), y que tienen una frecuencia comprendida entre 20 Hz y 20 KHz. A las perturbaciones con frecuencias inferiores a 20 Hz se les llama infrasonidos y a las que tienen una frecuencia superior a 20 KHz. se denominan ultrasonidos. La representación mas conocida del sonido es un espectro que nos proporciona la amplitud (presión) en función de sus componentes en frecuencia.

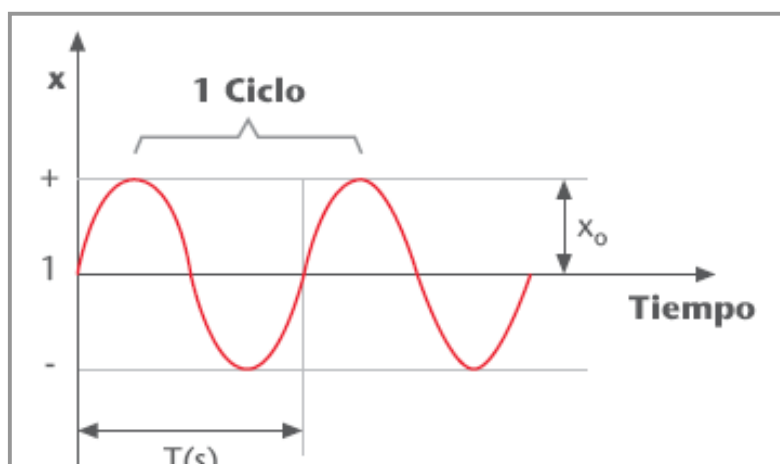


Fig. 1.2 Representación del sonido

1.1.8 MAGNITUDES DEL SONIDO.

Las magnitudes fundamentales que define este movimiento son:

1.1.8.4 Amplitud(A).

Es la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración en el medio elástico; determina la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora.

1.1.8.5 Frecuencia (f).

Es el número de veces que la perturbación se reproduce a sí mismo por segundo. Es la inversa del período de repetición (**T**), se mide en hertzios (**Hz**) que mide la cantidad de oscilaciones por segundo.

1.1.8.6 Longitud de Onda (λ).

Indica el tamaño de la onda, es decir, la distancia que recorre un frente de onda en un período completo de oscilación. Se relaciona con la frecuencia, período y la velocidad del sonido mediante las siguientes expresiones.

$$\lambda = c \cdot T = c/f \quad (1.1)$$

1.1.8.3 Velocidad del sonido (v).

Es la velocidad a la que viajan las ondas sonoras en un medio elástico. Depende de las condiciones ambientales y fundamentalmente del medio donde se propague, llamado campo acústico.

En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos es mayor que en los gases.

1.1.8.4 Impedancia Acústica (Z).

Matemáticamente, se define como la presión sonora P , dividida por la velocidad v , de una onda acústica, y físicamente representa la resistencia de una superficie al paso de dicha onda acústica.

$$Z = P/v \quad (1.2)$$

A continuación se presenta una tabla con los valores característicos de velocidad e impedancia acústica para algunos elementos:

MATERIAL	VELOCIDAD (m/s)	IMPEDANCIA (rayls)
Aire a 0°C	331	427
Aire a 20°C	340	414
Agua	1,493	$144 \cdot 10^4$
Madera	3,900	$140 \cdot 10^5$
Cemento	4,000	$162 \cdot 10^5$
Acero	5,100	$390 \cdot 10^5$

Tabal 1.1 Impedancia característica de algunos elementos.

Los cálculos de la velocidad e impedancia varían independientemente en cada elemento, ya que al tratarse de sólidos, líquidos y gases no se puede aplicar una misma fórmula para su cálculo, por lo tanto no se debe realizar una comparación lineal entre los valores referidos.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO.

En esta sección se analizará las características del sonido que son:

1.2.10 INTENSIDAD.

Es la cantidad de energía acústica que posee un sonido. Viene determinada por la potencia, que a su vez está determinada por la amplitud y permite distinguir si un sonido es fuerte o débil, Esta cualidad se mide con el sonómetro y los resultados se expresan en decibelios (dB). Existen tres conceptos íntimamente ligados con la parte energética de la onda sonora que son:

1. Potencia Sonora
2. Presión Sonora
3. Intensidad Sonora

1.2.11 POTENCIA SONORA.

Es la emisión de energía acústica de la fuente por unidad de tiempo para una banda determinada. Se mide en watios (w). Pudiendo hablar de Potencia Instantánea, que es la tasa a la que es radiada la energía en cualquier instante de tiempo; Potencia Máxima, que es el valor máximo de potencia en cualquier instante de tiempo y Potencia Media, que es el valor integrado de potencia en un intervalo de tiempo determinado. Esta última suele ser mucho menor que la Potencia Máxima, puesto que el valor de potencia fluctúa en el intervalo del tiempo de medida.

1.2.12 PRESIÓN SONORA O ACÚSTICA.

Es producto de la propia propagación del sonido. La energía provocada por las ondas sonoras genera un movimiento ondulatorio de las partículas del aire, provocando la variación alterna en la presión estática del aire (pequeñas variaciones en la presión atmosférica. La presión atmosférica es la presión del aire sobre la superficie terrestre) Cuando estas ondas se encuentran en su camino con el oído la presión que ejercen sobre el mismo no es igual para toda la longitud de onda. Así pues la presión sonora queda definida como la diferencia de presión instantánea (cuando la

onda sonora alcanza al oído) y la presión atmosférica estática. La unidad de medida es el Pascal.

1.2.13 INTENSIDAD SONORA

La intensidad del sonido (I) en una dirección específica de un punto del campo sonoro, se define como el flujo de energía sonora a través de una unidad de área en ese punto, siendo dicha unidad de área perpendicular a la dirección especificada.

$$I = P / S; (W/m^2) \quad (1.3)$$

Siendo "P" la potencia sonora emitida por la fuente.

La respuesta del oído no es lineal, es decir, la respuesta no es proporcional al valor absoluto del estímulo, sino que lo es a la relación entre el estímulo y un valor umbral. Debido a esto y a los amplios márgenes de potencia (1 a 10^{-12}) que se manejan en las ondas sonoras, se usan escalas logarítmicas que se definen como:

1. Nivel de Potencia Sonora
2. Nivel de Presión Sonora
3. Nivel de Intensidad del Sonido

1.2.14 NIVEL DE POTENCIA SONORA.

Como la potencia sonora expresada mediante la expresión:

$$L_w (dB) = 10 \log (W/W_0) \quad (1.4)$$

Siendo W_0 la potencia de referencia, 10^{-12} vatios, quedando la expresión:

$$L_w (dB) = 10 \log W - 10. \quad (1.5)$$

1.2.15 NIVEL DE PRESIÓN SONORA.

Expresado en dB se define como:

$$L_p (dB) = 10 \log (P/P_0)^2 = 20 \log (P/P_0), \quad (1.6)$$

Siendo " P_0 " la presión sonora de referencia, de valor habitual $20 \text{ mPa} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$.

1.2.16 NIVEL DE INTENSIDAD DEL SONIDO.

En dB, es igual a 10 veces la razón entre la intensidad de un sonido (I) y la intensidad sonora de referencia (I_0):

$$LI \text{ (dB)} = 10 \text{Log} (I / I_0). \quad (1.7)$$

Donde:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2.$$

1.2.8 TONO.

Es la propiedad de los sonidos que los caracteriza como más agudos o más graves, en función de su frecuencia. Suele ser utilizado como sinónimo de altura (los términos tono o altura se refieren a la cualidad de la sensación sonora que nos permite distinguir entre un sonido grave o bajo, de otro agudo o alto. El tono se eleva al aumentar la frecuencia.). Viene determinado por la frecuencia fundamental de las ondas sonoras, y es lo que permite distinguir entre sonidos graves, agudos o medios. El tono lo determina la frecuencia de la onda, medida en ciclos por segundos o Hercios (Hz). Para que puedan percibir los humanos un sonido, éste debe estar comprendido en la franja de 20 y 20.000 Hz. A esto se le denomina rango de frecuencia audible. Cuanta más edad se tiene, este rango va reduciéndose tanto para tonos graves como para agudos.

- Tonos graves (frecuencias bajas, de 20 a 300 Hz).
- Tonos medios (frecuencias medias, de 300 a 2.000 Hz).
- Tonos agudos (frecuencias altas, de 2.000 hasta 20.000 Hz).

1.2.9 TIMBRE.

Es la cualidad que confiere al sonido los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental. Esta cualidad es la que permite distinguir dos sonidos de igual frecuencia e intensidad pero que tienen distinta forma de onda, es decir, distinta evolución temporal.

El sonido no se compone de un único tono (onda sinusoidal en el tiempo), sino de la superposición de ondas sinusoidales simples que forman el espectro del sonido (excepto en el caso de los diapasones y los audímetros, que sólo producen un tono).

1.3 CAMPO AUDIBLE.

Dado que el sonido es un fenómeno físico que produce vibraciones, este provoca una sensación auditiva en el ser humano, ocasionando una reacción del nervio auditivo, dando lugar al proceso que se conoce como audición. Nuestro sistema nervioso produce sensación auditiva solo para las frecuencias comprendidas entre 20 y 20 KHz. Fuera de estos límites las ondas no son audibles, para que un sonido sea audible no basta con que esté dentro del campo audible, sino también que la intensidad física o la amplitud de la presión sonora se encuentre también dentro de un intervalo, ya que por debajo del mismo no es percibido, por la falta de excitación suficiente (umbral de audición), y por encima produce sensación de dolor, este intervalo varía con la frecuencia de sonido.

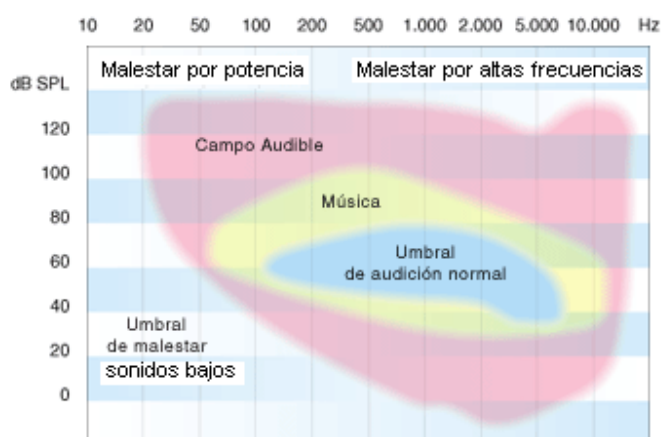


Fig. 1.3 Respuesta al sonido del oído humano

Si un sonido tuviese componentes en la mayoría de las frecuencias comprendidas en el campo audible resultaría muy difícil y poco práctico medir una a una cada frecuencia, por lo que se divide el espectro en grupos o bandas de frecuencias

siendo las mas utilizadas aquellas que poseen un ancho proporcional y especialmente las bandas de octava y tercio de octava.

Se denomina **banda de octava** al grupo de frecuencias comprendidas entre dos frecuencias f_1 y f_2 que cumplen con la siguiente relación:

$$f_2 = 2f_1$$

Y se denomina frecuencia central de la banda a la media geométrica de las frecuencias extremas, es decir:

$$f_c = \sqrt{(f_1 \times f_2)} \quad (1.8)$$

Mediante el análisis de frecuencia de un determinado sonido, la energía acústica del mismo se distribuye electrónicamente en bandas, obteniéndose un nivel de presión acústica por cada banda, normalmente se utilizan 8 bandas asignadas cada una de ellas a una octava. Cada banda está definida por la diferencia correspondiente al valor central de la banda siendo los más empleados los siguientes valores: 31,5Hz; 63Hz; 125Hz; 250Hz; 500Hz; 1.000Hz; 2.000Hz; 4.000Hz; 8.000Hz.

Cuando se desea un análisis del sonido mas detallado, se emplean las bandas de **tercio de octava**.

Una banda de **tercio de octava**, es un grupo de frecuencias comprendidas entre dos frecuencias f_1 y f_2 que se rigen por la siguiente relación:

$$f_2 = f_1 \times 2^{1/3} \quad (1.9)$$

Donde la frecuencia central se relaciona con las frecuencias extremas mediante las siguientes expresiones:

$$f_1 = f_c / 2 \quad (1.10)$$

$$f_2 = f_c \times 2 \quad (1.11)$$

Para los **tercios de octava** las frecuencias centrales son: 100Hz, 125Hz, 160Hz, 200Hz, 250Hz, 315Hz, 400Hz, 500Hz, 630Hz, 800Hz, 1.000Hz, 1.250Hz, 2.000Hz, 2.500Hz, 3.150Hz, 4.000Hz y 5.000Hz.

Las frecuencias para la **banda de octava** y **tercio de octava** se encuentran normalizadas en la Norma **UNE-74002-78(ISO 266)**.

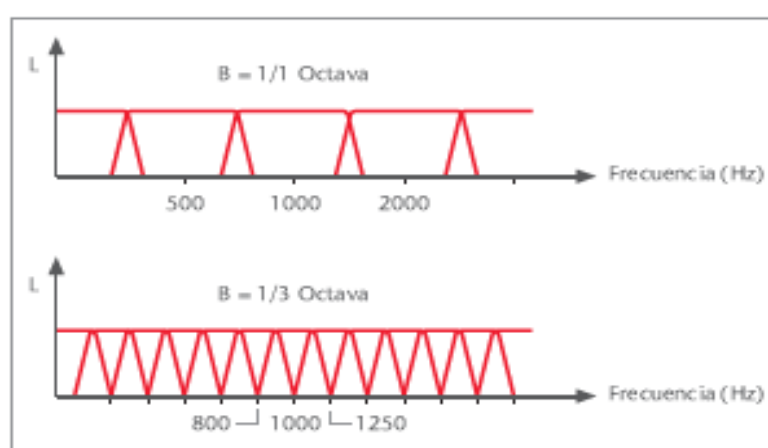


Fig. 1.4 Banda de octava y tercio de octava

1.4 EL DECIBELIO Y LA PONDERACION “A”.

Otra unidad de evaluación de el sonido es el **decibelio** (dB), que es utilizado para representar la dependencia de una magnitud física cuyo valor se extiende en un rango amplio respecto de una variable, esta representación es la que se conoce como escala decibélica. El decibelio es la décima parte del belio, el belio es el logaritmo en base 10 de la relación de dos potencias o intensidades. Esta unidad es demasiado grande por lo que se ha normalizado el uso del decibelio; un ejemplo de utilización se da en los niveles de intensidad y sonoridad ya que la relación entre ellos no es lineal.

Dado que el oído humano no tiene respuesta lineal, este no se comporta igual para el mismo nivel de presión sonora en diferentes frecuencias. Por ejemplo si tenemos un sonido lineal en toda la banda audible (20 Hz a 20 KHz.) y todas las bandas a un nivel de 30 dB, si nuestro oído fuese lineal podríamos oír con la misma intensidad auditiva las frecuencias bajas, medias y agudas. Sin embargo esto no es cierto, el oído humano tiene una menor sensibilidad en las frecuencias graves y agudas frente a las medias. Lo que más oímos por tanto son las frecuencias medias, y las que menos oímos son las graves seguidas de las agudas.

Por lo que es necesario ajustar los niveles de dB que hemos medido con la percepción que tiene el oído según cada frecuencia. Este ajuste se realiza ponderando los dB medidos mediante una tabla de ponderación ya especificada y que se llama la escala "A". Los decibelios ya ponderados en "A" se representan como **dB(A)** y los no ponderados, llamados lineales, como dB.

La escala de ponderación "A" es la más utilizada, está internacionalmente normalizada y su curva de ponderación se ajusta a la respuesta del oído humano.

También existen otras curvas de ponderación que son menos utilizadas tales como la escala "B" usada para sonidos de intensidad media, la escala "C" usada para sonidos altos y la escala "D" usada para medida de ruido de aviones de reacción, y la escala "U", la mas reciente, usada para medir sonidos audibles en presencia de ultrasonido. Cuando no se usa ponderación, se dice que es el nivel lineal.

Las curvas de ponderación **A**, **B**, **C**, **D** en función de la frecuencia, se muestran en la siguiente gráfica.

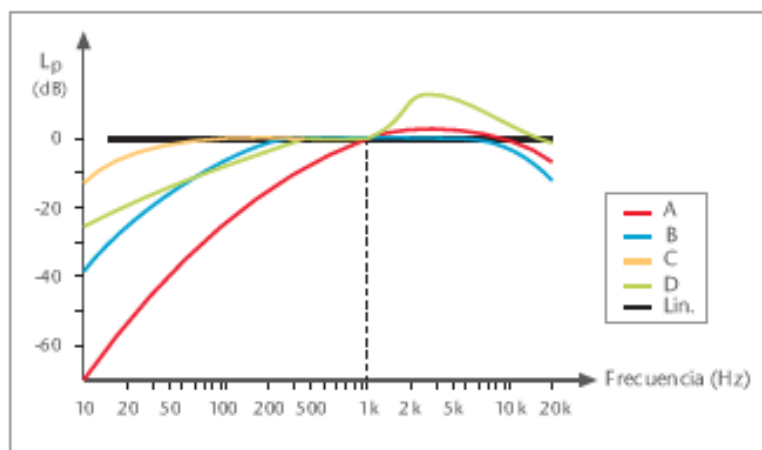


Fig. 1.5 curvas de ponderación A, B, C, D

1.5 CÁMARA ANECOICA

Una CÁMARA ANECOICA es un espacio físico que absorbe toda la energía (de acuerdo a la banda energética que se esté considerando) que incide sobre sus paredes, por tanto cualquier fuente energética que se encuentre en su interior deberá responder como si se encontrara en el espacio libre.

En el contexto acústico, una cámara anecoica es una estructura totalmente libre de reverberaciones acústicas y aisladas del exterior con cuñas ubicadas en su interior para evitar la reflexión del sonido que incide sobre las paredes, suelos y techos, para lo que debemos considerar las cualidades acústicas adecuadas para su diseño. Las características acústicas son aquellas que están relacionadas con el comportamiento del sonido, entre las cuales se encuentran: sonido directo e indirecto, las reflexiones tempranas, la reverberación, el tiempo óptimo de reverberación, existencia o no de ecos, cobertura sonora, etc.

El diseño de la sala debe considerar varios parámetros acústicos que definen el comportamiento y las características de propagación del sonido en campos cerrados y todas las teorías aplicadas en el análisis acústico de la cámara.

Se describirán todos aquellos que influyen en el presente diseño.

1.5.1 ECO.

Es un fenómeno que tiene lugar en ambientes donde existen superficies reflectoras; consiste en una sola reflexión que retorna a la fuente sonora, después de chocar contra un obstáculo ubicado a 17mts de dicha fuente, perpendicular a la onda incidente, después de transcurridos 100ms

El tiempo “t” que se demora esta reflexión viene dado por la siguiente expresión:

$$t = \frac{2d}{c} \quad (1.12)$$

Donde,

d.- es la distancia a la superficie más próxima

c.- es la velocidad del sonido (345 m/s en el aire)

Factor **2.-** es el recorrido de ida y vuelta del sonido desde la fuente sonora a la superficie.

La distribución del campo sonoro dentro de la cámara es un factor importante en la construcción, se entiende por **Campo Sonoro** al valor que toma la presión sonora en cada punto del espacio de la cámara.

El campo sonoro se divide en dos componentes:

- El campo directo
- El campo sonoro reverberante.

1.5.2 CAMPO DIRECTO

Conocido también como **sonido directo** es aquel donde se encuentre la parte del sonido que es emitida por la fuente sonora y que por tanto aún no experimenta ninguna reflexión. Este campo disminuye con la distancia a razón de 6 dB por cada duplicación de la distancia (ley cuadrática inversa), por ejemplo: si se mide una presión sonora de 80 dB a una distancia de 1m desde la fuente a una distancia de 2m se tendrá 74 dB de presión sonora; a 4m (el doble de la distancia) existirá una presión sonora de 68 dB y así sucesivamente.

1.5.3 AMBIENCIA

La distribución en el tiempo de las primeras reflexiones crea la sensación de ambiente que no es más que la posibilidad de identificar auditivamente el espacio en que se encuentra. El control de la ambiencia se puede lograr mediante un cuidadoso diseño que consiste en trazar sobre un plano de la cámara los rayos acústicos; medir sus recorridos y determinar los tiempos de llegada de cada una de las reflexiones. Todo este proceso se lo realiza actualmente mediante programas y máquinas especializadas.

1.5.4 ABSORCIÓN

No es más que la distribución de la energía sonora debido a su disipación en forma de calor, al ser absorbida por el medio que atraviesa. Este cambio de energía depende de la intensidad de la onda sonora, de la distancia recorrida y de las características del medio los cuales definen el coeficiente de absorción abreviado con la letra griega α (alfa).

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}} \quad (1.13)$$

El coeficiente de absorción tiene gran importancia en el diseño de las cámaras acústicas y la elección del material absorbente define el grado de reflexiones que se desee.

A continuación se presentará una tabla con los coeficientes de absorción de diferentes materiales en función de la frecuencia.

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlock) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m ²	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m ²	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m ²	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m ² fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic	-	0,80	0,71	0,86	0,68	-
Panel cielorraso Acustidom (Manville)	-	0,72	0,61	0,68	0,79	-
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4	-	0,70	0,61	0,70	0,78	-
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	-	0,72	0,62	0,69	0,78	-
Panel cielorraso fisurado Auratone	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m ² /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m ² /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

Tabla 1.2. Coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia (según varias fuentes). Los valores no suministrados no estaban disponibles.

1.6 CÁMARA REVERBERANTE

Una **CÁMARA REVERBERANTE** es un recinto cuyas superficies han sido tratadas con materiales muy reflectores y que por consiguiente refleja una gran proporción del sonido incidente.

Son utilizadas para medir la potencia sonora emitida por una fuente y para medir en el laboratorio el coeficiente de absorción sonora de una muestra de material absorbente.

En el contexto acústico, una cámara reverberante es un cuarto donde las paredes están diseñadas para absorber una mínima cantidad de energía sonora. El sonido dentro de la cámara se aproxima a un **campo difuso** en el cual la energía se distribuye uniformemente a través del cuarto y viaja con la misma probabilidad en todas las direcciones, es decir, su densidad de energía es estadísticamente uniforme y en las direcciones de propagación las ondas sonoras se distribuyen al azar (adireccional).

Las características principales de las cámaras reverberantes es la de proporcionar un ambiente útil para la medida de características acústicas tales como la reducción de nivel de ruido de recintos acústicos o los componentes de la pérdida de transmisión de los recintos, y las características absorbente de los materiales.

Las cámaras reverberantes son asimétricas debido a que sus superficies presentan un conjunto de elementos convexos que generalmente se encuentran suspendidos en el techo y que están distribuidos irregularmente con la finalidad de crear un campo sonoro difuso.

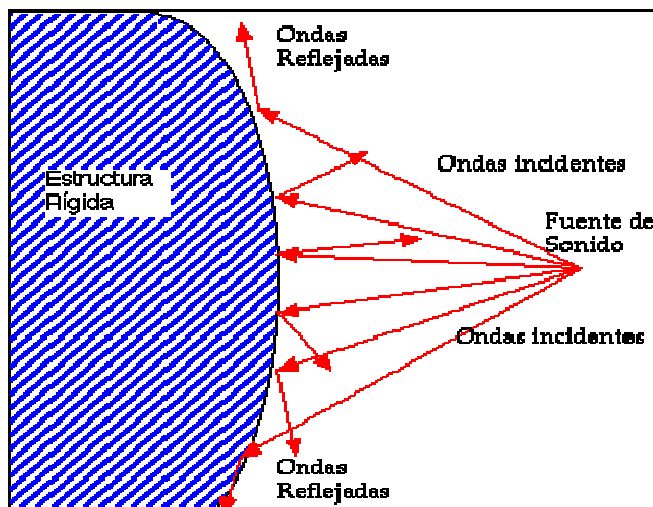


Fig. 1.6 Superficies convexas

En el interior de estas cámaras acústicas se crea un campo sonoro reverberante. El **campo difuso** (sonoro reverberante) es un espacio total o parcialmente cerrado, donde una vez que la fuente ha cesado, las ondas sonoras se reflejan repetida o continuamente sobre las superficies.

1.7 CAMPO SONORO REVERBERANTE

Corresponde a los sonidos que van desde la fuente sonora y los sonidos después de una o más reflexiones en las superficies.

Depende de dos factores:

- Las características de las superficies.- el coeficiente de absorción de los materiales de construcción implica pérdidas por absorción, el tamaño influye en los fenómenos de difracción y la forma (liso o rugoso) determina el porcentaje de reflexiones especulares respecto a las difusas.
- La longitud total recorrida por el sonido desde la fuente hasta el receptor.

Dentro del sonido reflejado existe una segunda clasificación debida al tiempo transcurrido desde que llegó al receptor el sonido directo.

1.7.1 PRIMERAS REFLEXIONES O REFLEXIONES TEMPRANAS.

Son aquellas que llegan al receptor dentro de los 100 milisegundos que siguen a la recepción del sonido directo. Estos límites varían de acuerdo a la forma, volumen y aplicación de la cámara. Son propias de cada punto de la cámara y proporcionan la información necesaria para describir las condiciones acústicas de un receptor situado en esta posición. Su análisis es realizado mediante la teoría geométrica

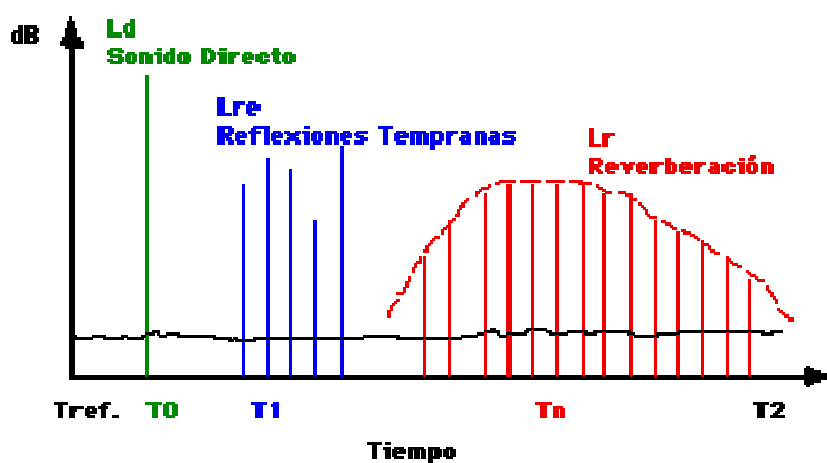
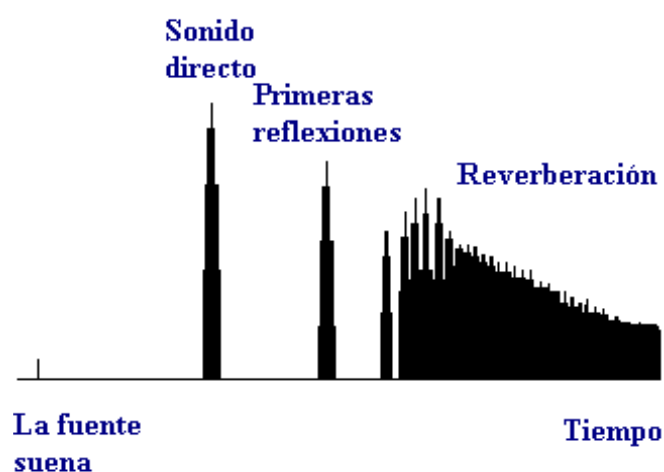


Fig. 1.8 Sonido directo y primeras reflexiones

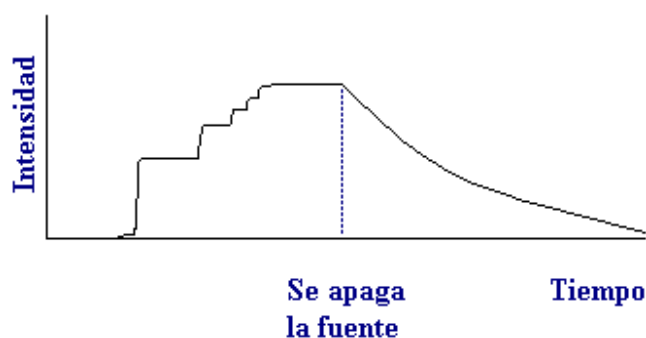


Fig. 1.9 Sonido Directo y cola reverberante

1.9.2 REFLEXIONES TARDÍAS O COLA REVERBERANTE

Son todas aquellas que llegan después de las primeras reflexiones y corresponden a todas aquellas de orden superior a 3s después de apagada la fuente. Su densidad es mayor que las de las primeras reflexiones y su nivel sonoro es menor. Permiten determinar como es la reverberación de la cámara, es decir, cuanto tiempo perdura el sonido en ella, por lo que depende específicamente de la absorción de las superficies de los materiales utilizados en la construcción, además de la forma y el volumen de la cámara. Su estudio se lo realiza mediante la teoría estadística.

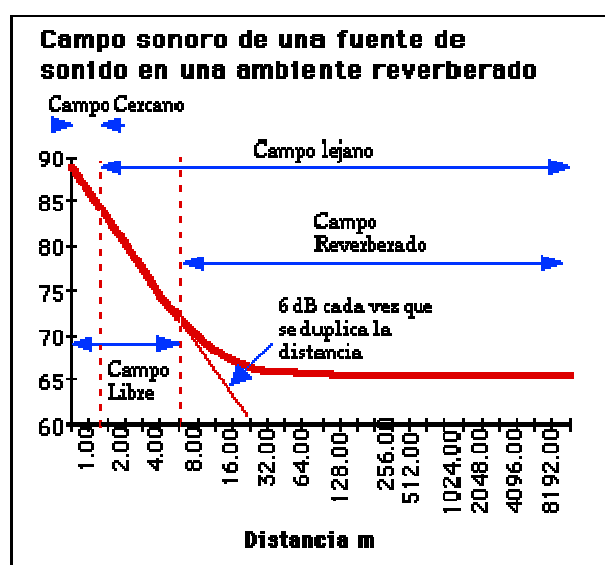


Fig. 1.10 Campo sonoro de una fuente de sonido en un ambiente reverberado

1.8 TEORIAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS ACÚSTICO DE LAS CÁMARAS

Se estudiará brevemente las cuatro teorías básicas en las cuales se fundamenta el análisis acústico de las cámaras.

1.8.1 TEORÍA GEOMÉTRICA.

Esta teoría se la emplea con las primeras reflexiones de la curva de energía – tiempo, que caracteriza a una posición determinada de la sala. Consiste en aplicar las leyes de la óptica geométrica al sonido. Para lo cual se deben tratar a las ondas sonoras como rayos sonoros. Un rayo es una línea que indica la dirección y sentido de la propagación, por lo tanto es perpendicular a las ondas sonoras. Posee un contenido energético que depende de varios factores:

- La energía total radiada.
- El número de rayos emitidos.
- La directividad de la fuente.

Es así, una fuente distribuye su energía a todos los rayos que emite según su patrón de directividad. Por ejemplo, si la fuente es omnidireccional los rayos se disiparan en todas las direcciones con la misma cantidad de energía.

La propagación de los rayos sonoros cumple con las leyes básicas de la Óptica Geométrica que son:

- Propagación rectilínea.- basada en el principio de Fermat que establece que una onda se propaga en el menor tiempo posible desde la fuente al receptor, es decir, en línea recta.
- Las leyes de la reflexión.
- Ley de Snell de la Refracción que explica el cambio de dirección de una onda cuando pasa de un medio a otro.

En el caso de la cámara anecoica se desprecia el fenómeno de la reflexión, mientras que en la cámara reverberante las reflexiones deben ser máximas.

1.8.2 TEORÍA ESTADÍSTICA

Esta teoría es utilizada para analizar la reverberancia en las cámaras acústicas. La reverberancia es un factor importante en el acondicionamiento acústico ya que determina la permanencia del sonido después de suprimir la fuente acústica que lo produjo. Se mide por medio del tiempo de reverberación, que es el tiempo que tarda en atenuarse la energía sonora en el interior de la cámara acústica.

Técnicamente se define al tiempo de reverberación (TR) como el tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial desde que cese la fuente que produce el sonido (se ha elegido 60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente). Este nivel va decayendo linealmente, con lo que el tiempo de reverberación se lo puede obtener a partir de la pendiente de la recta de caída del nivel, obtenida por regresión lineal.

Se deben seguir las siguientes prescripciones para su medición en un punto.

- Se genera un sonido impulsivo y se registra el nivel acústico con el sonómetro en el punto donde se desea medir el tiempo de reverberación.
- La evaluación del tiempo de reverberación a partir de la curva de caída empezará alrededor de 0.1 seg. después de que la fuente sonora haya sido

desconectada, o a partir de un nivel de presión sonora algunos decibelios por debajo del que existía al principio.

- El rango utilizado no deberá ser menor que 20 dB, y no debe ser tan grande que la caída observada no se pueda aproximar a una línea recta.
- El extremo inferior de este rango debe estar al menos 10 dB sobre en nivel del ruido de fondo.
- El tiempo de reverberación se debe medir en bandas de octava, usando al menos las bandas de 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz.
- El número mínimo de mediciones requerido para cada banda de frecuencias es de seis. Se deberá utilizar al menos una posición de fuente y tres posiciones de sonómetro con dos lecturas en cada caso.

1.8.2.1 Medición del tiempo de reverberación según las normas ISO 354 Y UNE-EN-ISO 140-4.

El tiempo de reverberación depende de cuan absorbentes sean las superficies que cubren las cámaras, es así, que si las paredes son muy reflectoras(es decir que reflejan la mayor parte de energía que a ella le llegan), se necesitan muchas reflexiones para que se extinga el sonido; por consiguiente **TR** será grande. Por el contrario si son muy absorbentes, en cada reflexión se absorberá una proporción alta del sonido dando lugar que unas pocas reflexiones sean inaudibles y entonces **TR** será pequeño.

Dado que los materiales duros son pocos absorbentes del sonido, un ambiente con superficies de este tipo tendrán un tiempo de reverberación (TR) largo. Una cámara con materiales absorbentes por el contrario tendrán un tiempo de reverberación corto.

El tiempo de reverberación se lo puede determinar mediante la formula de Sabine

$$TR = \frac{0.161V}{A} \quad ; \text{ seg} \quad (1.14)$$

Donde V es el volumen del local medido en m^3 , A es la absorción del local medida en m^2 , y se define como la sumatoria del área de cada superficie S_i , multiplicado por su coeficiente de absorción α_i .

$$A = \sum S_i * \alpha_i \quad (1.15)$$

Esta formula es valida para coeficientes de absorción pequeños, para cálculos mas exactos donde se considera la absorción del aire se debe agregar el termino $-4m*V$ donde m es el coeficiente de absorción del aire que depende de la temperatura, humedad y la frecuencia.

Entonces el tiempo de reverberación quedaría así:

$$TR = \frac{0.161V}{\alpha S - 4mV} \quad (1.16)$$

También existen otras formulas que permiten determinar el tiempo de reverberación como las de:

Eyring:

$$TR = \frac{-0.161V}{S \ln(1 - \alpha) - 4mV} \quad (1.17)$$

Donde:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{1}{S} \sum S_i \alpha_i$$

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorción promedio de la cámara.

Millington:

$$TR = 0.161 \frac{V}{\sum -S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad (1.18)$$

Donde:

S_i = área del i -ésimo material.

α_i = coeficiente de absorción del i-ésimo material.

Fitzroy:
$$TR = \frac{0.161V}{S^2} [T_x + T_y + T_z] \quad (1.19)$$

$$T_x = \frac{S_x}{-\ln(1 - \alpha_x)}$$

$$T_z = \frac{S_z}{-\ln(1 - \alpha_z)}$$

Donde:

$$T_y = \frac{S_y}{-\ln(1 - \alpha_y)}$$

S_x= Superficie de las paredes laterales.

S_y= Superficie de las paredes: posterior y anterior.

S_z= Superficie del piso y del techo.

α_x = Absorción promedio de las paredes laterales.

α_y = Absorción promedio de las paredes: posterior y anterior.

α_z = Absorción promedio del piso y del techo.

Esta última ecuación es la más utilizada en la actualidad, sobre todo cuando no se tiene una distribución uniforme de la absorción.

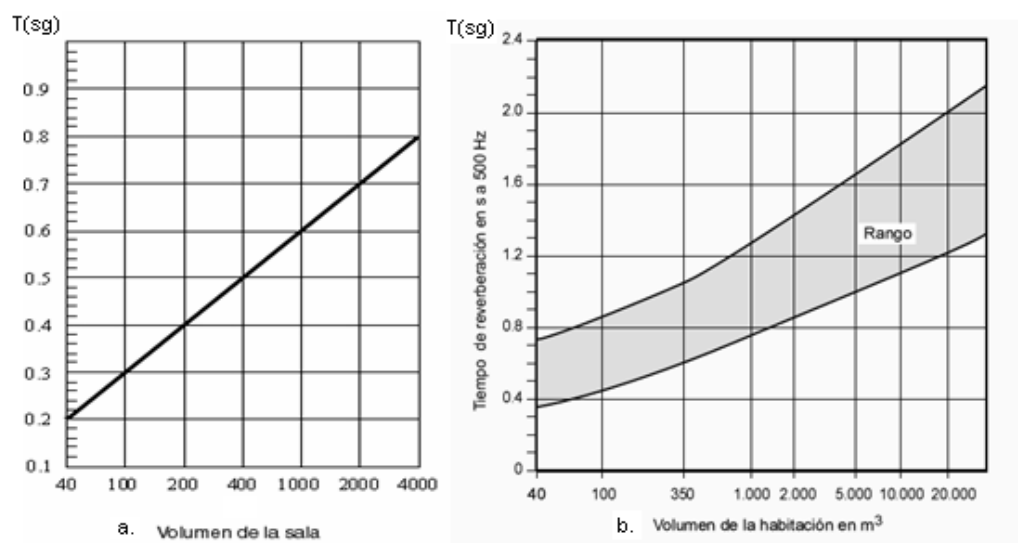


Fig. No 1.11 Curvas de tiempos de reverberación.

a. Tiempo óptimo ideal para una cámara anecoica

b. Rango experimental permitido para una cámara anecoica

1.8.2.2 Tiempo óptimo de reverberación.

El tiempo de reverberación óptimo de las cámaras depende principalmente del uso que se les da a éstas, de los materiales absorbentes que se utilicen para su construcción, es así que cuando el tiempo es pequeño son muy absorbentes y la cámara es anecoica (sorda) y si el tiempo es muy grande, las señales se percibirán entrelazadas y confusas, entonces la cámara es reverberante.

Como conclusión se puede decir que la reverberación determina la buena acústica de una sala.

Todas las expresiones para calcular el **TR** se apoyan en el modelado estadístico de la respuesta sonora de una sala, mediante el que se tratan a todas las reflexiones por igual, pertenezcan a las primeras reflexiones o a la cola reverberante. Suponen además las siguientes condiciones de campo difuso:

- Las ondas reflejadas se propagan en todas las direcciones con igual probabilidad

- La densidad de energía sonora en un instante de tiempo dado, es la misma con independiente posición en la sala.
- La energía sonora en un punto se obtiene con la suma de las medidas de las contribuciones de todas las reflexiones que pasan por el.

Debido a las suposiciones de esta teoría los resultados obtenidos son aproximados aunque facilitan la comprensión la caracterización del campo sonoro en el interior de la cámara acústica.

1.8.3 TEORÍA ONDULATORIA.

Es una teoría utilizada fundamentalmente para estudiar la respuesta en frecuencia de las cámaras acústicas. Esta basa su fundamento en la naturaleza ondulatoria del sonido para caracterizar el campo sonoro en el interior de un recinto mediante la resolución de la ecuación de onda.

Las soluciones de la ecuación de onda se les denomina modos propios de la cámara y ocurren a la frecuencia de resonancia (resonancia propia) los cuales dependen de la geometría y las dimensiones de la cámara acústica.

El cálculo de la ecuación resulta muy complicado para cámaras con geometría irregular pero es muy sencillo para estructuras paralelepípedas de dimensiones l_x , l_y , l_z ; y paredes totalmente reflectantes.

Aplicando la formula de Rayleigh para obtener las frecuencias propias se tiene:

$$F_{k,m,n} \equiv 172,5 \sqrt{\left(\frac{k}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{l_z}\right)^2} \quad (1.20)$$

Donde:

K,m,n = son números enteros (1, 2, 3...) que indican el modo correspondiente, este valor indica cuantos nulos posee la presión sonora (llamados nodos) en cada una de las tres direcciones posibles de propagación (x,y,z). Por lo tanto la respuesta de la cámara puede variar de una posición a otra desapareciendo la contribución de un nodo si la fuente sonora o el receptor se sitúan sobre uno de sus nodos.

Es decir, en una cámara acústica existen infinitos modos localizados discretamente en frecuencia y cuya intensidad aumenta con la misma. La ubicación de estos modos en frecuencia es característica de propia de cada sala acústica ya que depende de su forma geométrica y de sus dimensiones. Las características electromagnéticas deben ser lo mas uniformes posibles para así evitar la coloración del sonido.

La coloración del sonido se produce cuando existe una concentración de modos en una banda estrecha de frecuencias, esto causa que las componentes del sonido próximas a esta zona sean realzadas respecto a las otras frecuencias. Sin embargo ya que la densidad de modos aumenta con la frecuencia a partir de una frecuencia (**fmax**), no será apreciable la coloración.

$$F_{\max} = 1849 \sqrt{\frac{TR_{mid}}{V}} \quad (1.21)$$

Donde:

$$TR_{mid} = \frac{TR(500) + TR(1000)}{2} \quad (1.22)$$

TRmid (500): es el tiempo de reverberación de la banda de octava centrada en 500 Hz.

1.9 ESPECIFICACION DE REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA ANECOICA Y CÁMARA REVERBERANTE.

El diseño de las cámaras acústicas esta estrechamente relacionado con el tipo de pruebas a realizar o el campo de utilización que se le dará a la misma, por lo que es importante conocer de manera global los criterios y parámetros de diseño, para luego dar una presentación detallada de cada una de las cámaras.

Se debe considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de mediciones que se realizarán con la cámara.
- Rango de frecuencia donde operará la cámara.
- El espacio disponible para la construcción.
- El tamaño de la cámara (**VOLUMEN**).
- La geometría de la cámara.
- El área de la muestra ya que en el mercado existen un sin número de productos de diferente tamaño.
- El tipo de material que se empleará en la construcción de la cámara tanto para su aislamiento (insonorización) como para el acondicionamiento acústico acorde a la aplicación dada.
- El apantallamiento que se empleará en la construcción.
- Equipos de medición que se emplearán para la adquisición de datos.
- Sistema de monitorización del equipo puesto en análisis.
- Conexiones: de red monofásica y trifásica, de corriente continua que llevarán en el interior si el caso lo amerita, así como el tipo de ventilación con silenciadores. La cámara no debe poseer flujos de aire ya que puede crear mucho polvo y afectar algunas de las curvas características.
- Líneas de señalización y control.

- La humedad relativa en el interior de la cámara acústica.

Cada una de las cámaras requiere de parámetros más específicos al momento de diseñarlas y construirlas, puesto que dependen principalmente de la aplicación y de equipos o implementos que van a ser utilizados.

La función de las cámaras a diseñar estará orientada principalmente a aplicaciones de metrología acústica (en el rango de audio).

La cámara anecoica debe considerar cuales son los parámetros y características principales de los transductores acústicos (micrófonos y cajas acústicas). Un transductor electroacústico es un transductor que transforma el sonido en electricidad o viceversa; por ejemplo, un micrófono es un transductor electroacústico que convierte la energía acústica (vibraciones sonoras: oscilaciones en la presión del aire) en energía eléctrica (variaciones de voltaje). Un altavoz también es un transductor electroacústico, pero sigue el camino contrario. Un altavoz transforma la corriente eléctrica en vibraciones sonoras.

Para la definición de los requerimientos de la cámara anecoica a diseñar se deben considerar los siguientes parámetros que son los más críticos teniendo en cuenta las características de los transductores acústicos:

- La frecuencia de corte = 100 Hz.
- El aislamiento a vibraciones externas
- Aislamiento de ruido aéreo.
- Un coeficiente de absorción de los materiales con un valor de 1(ideal).
- La respuesta del sistema no debe caer mas de 10 dB respecto al valor dado de sensibilidad en el espectro audible.
- Un tiempo de reverberación igual a 0 (o lo mas cercano posible).
- La longitud de las cuñas deben estar en función de la absorción deseada.

- Volumen aproximado de 125 metros cúbicos; el cual debe considerar los valores de las longitudes de onda dentro del campo audible que oscilan entre menos de 2 cm. (una pulgada) hasta aproximadamente 17 metros (56 pies).

Igualmente, el diseño de la cámara reverberante debe tener en cuenta parámetros importantes como:

- El tiempo de reverberación, el cual debe ser superior a 1sg.
- Los materiales deben tener un coeficiente de absorción igual a cero (o lo mas cercano a cero)
- El ancho de banda dentro del cual va a funcionar la cámara.
- La uniformidad estadística del campo difuso.
- Los materiales a utilizarse en la construcción de las paredes reflectivas y su grado de difusión.
- La dimensión de las palas reverberantes.
- La utilización de difusores y de que tipo.
- El volumen adecuado para evitar solapamiento de las frecuencias.

CAPITULO 2

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS CÁMARAS A DISEÑAR

2.1 DETERMINACION DEL TIPO DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS CÁMARAS A DISEÑAR

En el diseño de las cámaras anecoicas y cámaras reverberantes, los materiales utilizados en su construcción juegan un papel importante, ya que estos son los que determinan las características propias y funcionalidad de cada una de ellas.

En el interior de las cámaras anecoicas, donde lo que interesa conseguir es un campo libre (donde no existan reflexiones), deben utilizarse materiales altamente absorbentes de la energía acústica; mientras que en las cámaras reverberantes debe conseguirse un campo lo más difuso posible, donde existan un gran número de ondas reflejadas, deben utilizarse materiales altamente reflectantes.

Es común confundir el aislamiento acústico con el acondicionamiento acústico, aunque las dos tratan la acústica de los espacios. El aislamiento acústico busca proporcionar a un determinado recinto una protección contra la penetración del ruido sin importar la calidad sonora del mismo, en cambio el acondicionamiento acústico

pretende mejorar la propia acústica del recinto, controlando parámetros importantes del mismo como los son el tiempo de reverberación, resonancias modales, números de reflexiones etc.

La capacidad de aislamiento acústico de un determinado material, es la capacidad que posee éste para atenuar el sonido que lo atraviesa.

La atenuación o pérdida de transmisión sonora está definida como la diferencia entre la potencia acústica que incide y el nivel de potencia acústica que atraviesa el material.

La pérdida de transmisión sonora depende de la frecuencia, del tamaño del tabique o pared y de la absorción del recinto receptor. Dado que la atenuación depende de varios factores no se pueda decir con propiedad que existen materiales aislantes acústicos.

Para conseguir un buen aislamiento acústico, son necesarios materiales que sean duros, pesados, no porosos (no permeables al sonido), y si es posible, flexibles, con rangos de atenuación superiores a los 20 dB. Es decir, resulta conveniente que los materiales usados sean pesados y blandos al mismo tiempo.

De todo lo dicho anteriormente, el mejor material aislante de todos es el plomo ya que aísla el sonido y las vibraciones.

Existen otros materiales que también presentan un alto grado de aislamiento ya que son lo suficientemente rígidos y no porosos; estos materiales son: el hormigón, el acero, terrazo, etc.

También actúan como un gran aislante acústico las cámaras de aire (espacio de aire hermético), entre paredes. Si se agrega además material absorbente (como la lana de vidrio) entre las paredes el aislamiento mejora aun más.

Es importante señalar que cuando se realiza un aislamiento acústico no se debe prestar atención solo a las paredes, suelos y techos del recinto, sino que también, a los pequeños detalles como la junta entre las paredes mal selladas, una puerta que no encaja bien, ya que pueden restar eficacia al aislamiento.

En el acondicionamiento acústico, existen tres materiales que son utilizados principalmente: Los absorbentes acústicos, los resonadores, los espesores, y los difusores.

Los absorbentes, son materiales porosos que disipan la energía acústica transformándola en energía calorífica por rozamiento de su estructura interior.

Los resonadores, son dispositivos que utilizan una cavidad resonante para disipar la energía acústica (de ahí su nombre).

Los espesores, son materiales permeables que disipan y retienen el sonido al atravesar su estructura celular, existen espesores mayores y espesores menores.

Los mayores abarcan un rango de frecuencia más amplio (desde los sonidos agudos hasta los graves), y los menores actúan más eficientemente hacia los agudos cayendo su funcionamiento en los graves.

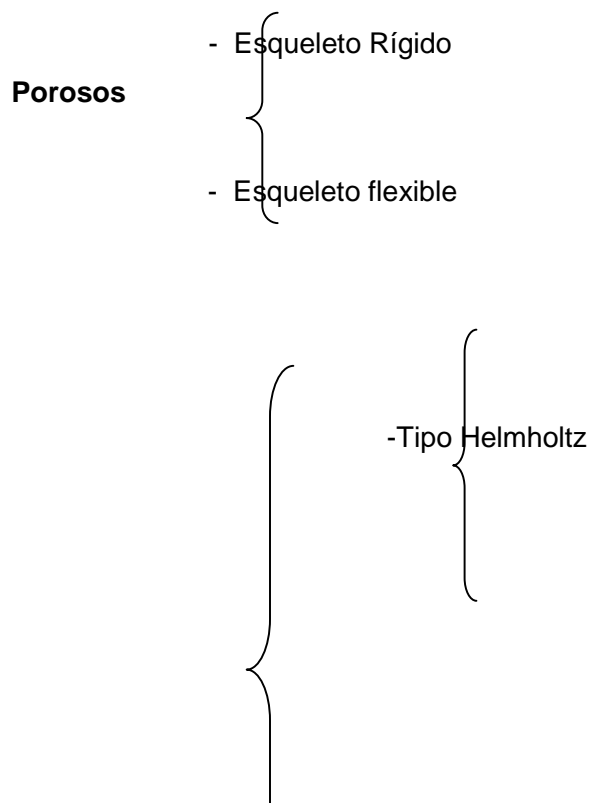
Los difusores, tienen la propiedad de reflejar el sonido en todas las direcciones, independientemente del ángulo de incidencia.

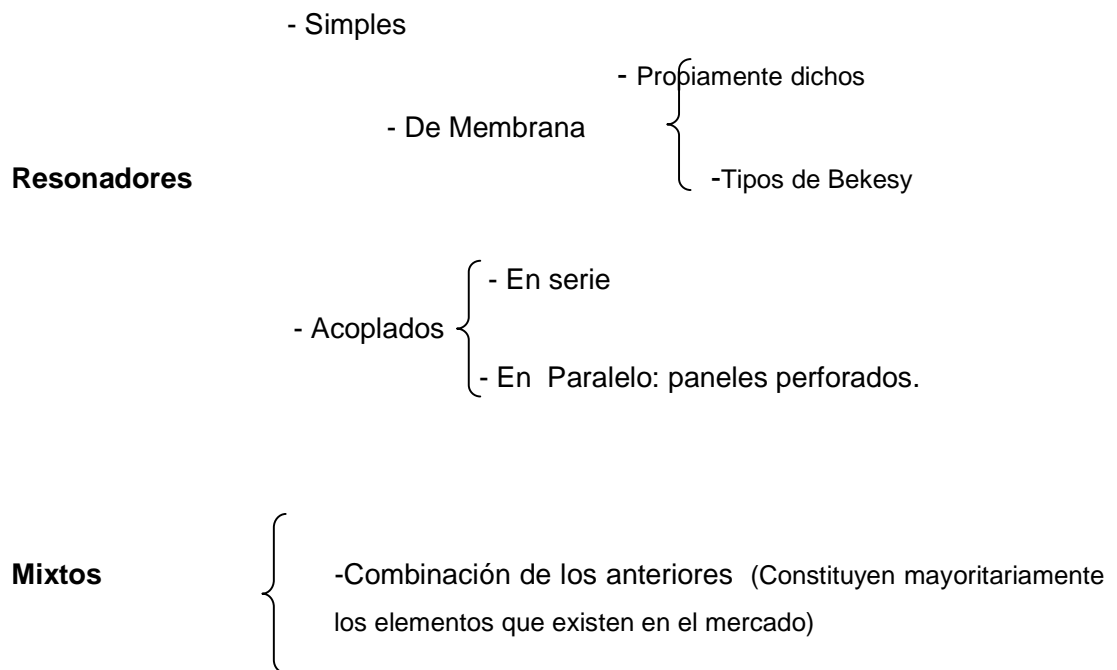
2.2 MATERIALES ABSORBENTES Y RESONADORES.

2.2.1 MATERIALES ABSORBENTES.

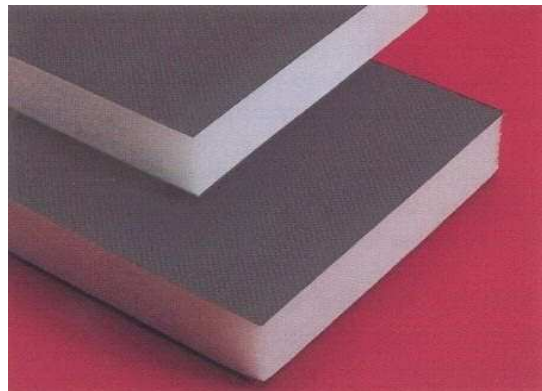
Los materiales absorbentes, son materiales livianos, porosos y permeables, constituidos básicamente de fibras textiles, fibras vegetales, fibras minerales (fibra de vidrio, fibra de roca volcánica) o por espumas sintéticas (poliuretano, resina de melamina).

Los tipos principales de materiales absorbentes están en consonancia con los procesos y mecanismos de degradación de la energía acústica y se los puede clasificar de acuerdo al siguiente esquema:





Clasificación de materiales absorbentes.



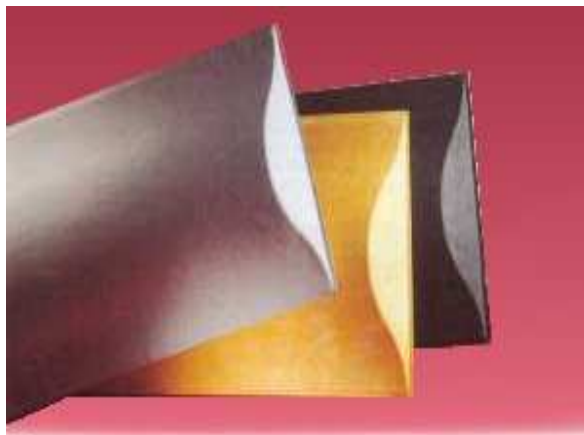


Fig 2.1 Materiales absorbentes

2.2.2 MATERIALES POROSOS.

Los materiales porosos están constituidos por una estructura granular o fibrosa, presentando una gran cantidad de intersticios o poros comunicados entre si.

Al incidir la onda acústica sobre la superficie de estos materiales, un alto porcentaje de los mismos penetra por los poros haciendo entrar en vibración a las fibras produciéndose una transformación de la energía acústica en energía cinética, con lo que el aire que ocupa los poros entra en movimiento produciéndose una pérdida de energía por el rozamiento de las partículas.

En este tipo de materiales son muy importantes el espesor de la capa y la distancia a la pared soporte. Su espesor se suele elegir en función del coeficiente de absorción deseado, ya que si es demasiado delgado se reduce el coeficiente de absorción a las bajas frecuencias y por el contrario, si es muy grueso, resulta demasiado caro.

Dentro de los materiales porosos podemos distinguir varios tipos como son los porosos de esqueleto rígido, y los de esqueleto flexible.

2.2.3 MATERIALES POROSO-RIGIDOS.

Se usan como yesos absorbentes sonoros con una estructura granular o fibrosa de tela o esterilla hecha con material orgánico o lana artificial, o de losetas acústicas y bloques comprimidos de fibras con aglutinantes. Estos materiales son muy absorbentes y se montan con facilidad siempre y cuando la superficie esté preparada.

En estos materiales el decremento del coeficiente de absorción se ve afectado principalmente por la disminución del espesor, al reflejarse parte de la energía sonora en la superficie rígida de soporte y volver al interior de la cámara. Este problema se presenta sobre todo a las frecuencias de 250, 500 y 1.000 Hz. Es posible aumentar la absorción especialmente a las frecuencias de 250 y 125 Hz, al dejar un espacio de aire entre el material y la pared al realizar el montaje.

Se lo puede encontrar en forma de paneles o tableros acústicos de fácil instalación. Una aplicación común de estos es la de colocarlos como techos suspendidos ya que permiten la combinación de techos absorbentes con la iluminación, aire acondicionado y elementos de calor radiante. Los tamaños más comunes de encontrar oscilan desde 30x30cm. a 30x60cm, y espesores de 1 a 3 cm.

Dependiendo de su formación es frecuente encontrarlos presentando propiedades de apariencia estética, facilidad de limpieza, posibilidad de pintado, reflectancia lumínica, resistencia al fuego, etc.

2.2.4 MATERIALES POROSO-FLEXIBLES.

Este tipo de materiales presentan un esqueleto flexible o elástico, el mismo que está sujeto a vibraciones al igual que el aire contenido en los poros.

Generalmente se los instala como sistema de dos capas con la formación: capa de material absorbente-aire-capa de material-aire-pared.

Las características principales de estos materiales son:

- Al aumentar el número de capas del sistema, de una a dos, aumenta de manera significativa las frecuencias para las que el coeficiente de absorción es relativamente alto.
- Para aumentar el coeficiente de absorción con la frecuencia, se aumenta la distancia entre capas a medida que nos alejamos de la pared rígida.
- Para evitar saltos en la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, los espacios de aire no deben ser iguales ni múltiplos unos de otros.

2.2.5 MATERIALES PARA ARGAMASA.

Estos materiales se forman por una mezcla de ingredientes secos, a los que se les añade un aglutinante líquido. Se aplican normalmente a una capa de cemento o sobre cualquier otro material. Se puede aplicar en dos o más capas usando métodos normales de empastado o con pistola.

Los huecos entre las partículas dan la porosidad necesaria para la absorción sonora.

Sus coeficientes de absorción oscilan de 0.3 a 0.4 hasta frecuencias de 500Hz, Aumentando a partir de ahí de manera importante, presentando los valores mas altos para frecuencias a partir de los 1000Hz, con coeficientes alrededor de los 0.8 a 0.9.

2.2.6 MATERIALES RESONADORES.

Los resonadores son dispositivos que utilizan una cavidad resonante para disipar la energía acústica. La absorción de la energía acústica se produce mediante un

proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico de manera selectiva y preferente en una banda de frecuencia determinada.

2.3 RESONADORES.

2.3.1 RESONADORES SIMPLES.

2.3.1.1 Resonador simple tipo helmholtz.

El tipo mas simple de resonador es el de Helmholtz, el cual consiste en un pequeño volumen de aire dentro de una cavidad en contacto con el aire de la cámara a través de una pequeña abertura que es el cuello del resonador.

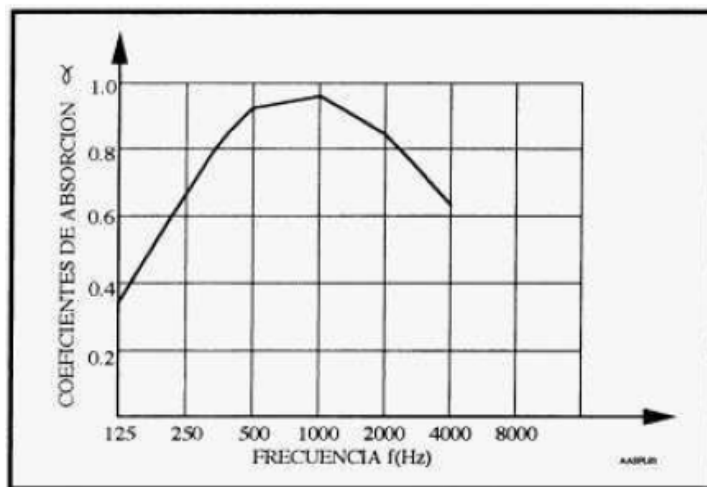


Fig. 2.2 Curva de resonador de Helmholtz

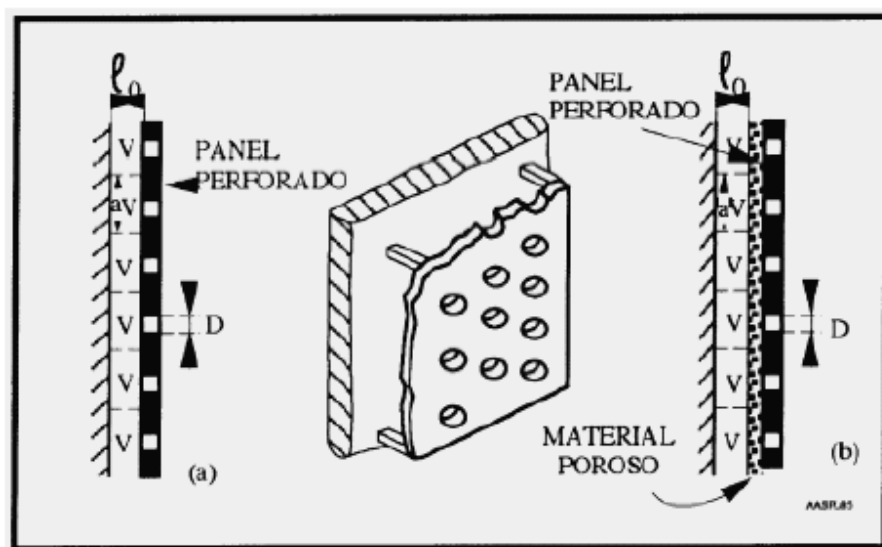


Fig. 2.3 Esquema de un resonador de Helmholtz.

Tienen la propiedad de controlar frecuencias de resonancias sin afectar mucho la reverberación de la sala. Presentan un coeficiente de absorción muy alto localizado en una banda estrecha de frecuencias, pero con valores muy altos cercanos a la unidad. Si se cubre la cavidad y el cuello del resonador con un material poroso, se amplía la banda de frecuencias en que es eficaz, pero se disminuye el valor máximo que presenta de coeficiente de absorción a casi la mitad.

Estos resonadores son empleados en sitios donde existe una gran reverberación a una determinada frecuencia, para reducir este valor sin afectar al resto de las frecuencias en la reverberación.

La frecuencia de resonancia viene dada por la expresión:

$$f = \frac{s}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (2.1)$$

Donde:

s: es la velocidad del sonido en el aire.

A: es le área del cuello del resonador.

V: es el volumen del resonador.

L: es la longitud del cuello del resonador.

Las principales características de los resonadores de Helmholtz son:

- El coeficiente de absorción esta definido por la inercia y la resistencia del aire en los agujeros del sistema.
- La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia presenta un máximo claramente definido.
- La frecuencia a la que el coeficiente de absorción presenta un máximo aumenta con el incremento del diámetro de las aberturas y con una reducción de la distancia entre ellas, o entre la capa perforada y la pared.
- El sistema se puede calcular para unos parámetros dados permitiendo la absorción sonora necesaria dentro de las bandas de frecuencias en que el sistema sea eficaz.

2.3.1.2 Resonador simple de membrana.

Estos sistemas se basan en el hecho de que una onda acústica es parcialmente absorbida cuando encuentra en su camino cuerpos capaces de vibrar a su propio ritmo. Si el cuerpo que se encuentra tiene unos modos de vibración discretos, absorbe solo algunas de las frecuencias y por tanto la absorción es selectiva. Como el panel tiene inercia y amortiguamiento, parte de la energía sonora incidente se convierte en energía mecánica y se disipa en forma de calor por eso absorbe sonido. Pero al entrar el panel en vibración, él mismo actúa como un radiador sonoro por lo que en estos sistemas el coeficiente de absorción no es superior a 0.5

Estos materiales tienen ventaja respecto a los porosos en aspectos como la resistencia a los golpes, duración y posibilidad de tratar o redecorar la superficie, pueden barnizarse, pulirse o pintarse.

Son idóneos para crear un recinto con un campo sonoro más difuso ya que una onda plana que se refleja desde una superficie vibrante pierde sus propiedades direccionales.

Las principales características de estos materiales son:

- La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia de un sistema vibratorio rígido se representa en forma de una curva de resonancia.
- La capacidad de absorción depende de la elasticidad de los materiales, así como de su peso específico, dimensiones y del procedimiento de sujeción de los paneles, así como de su posición relativa respecto a la pared rígida y del relleno de los espacios entre el sistema y la pared.
- El amortiguamiento de los bordes de los paneles y relleno de los huecos con materiales blandos, produce un aumento del coeficiente de absorción y un cambio hacia la zona de las bajas frecuencias del valor máximo del coeficiente de absorción.

2.3.2 RESONADORES ACOPLADOS

2.3.2.1 *En serie.*

Los sistemas de paneles rígidos tienen un gran número de ventajas artísticas y de construcción, comparados con los materiales porosos, como son resistencia a los golpes, duración y la posibilidad de aceptar alguna clase de superficie tratada y redecorada; pueden barnizarse pulirse o pintarse.

En el sistema de paneles removibles su tamaño debe ser variado, con el fin de que el ancho del rango de frecuencia sea el adecuado para el coeficiente de absorción.

Esta variación se debe a la aparición de huecos entre la unión de los paneles individuales y en las proyecciones sobre las superficies en puntos donde la distancia entre la pared y el sistema cambia.

Como la absorción de cada elemento del sistema se determina mediante los datos de la construcción tales como, tipo de material, dimensiones del sistema, distancia a la que está colocada la pared, forma de ensamblaje, debiendo prestar gran atención ya que todo ello repercute en los parámetros calculados.

Para la sujeción de los paneles rígidos, es preferible emplear arandelas amortiguadas, que no perderán sus propiedades elásticas con el tiempo. Estas arandelas no se comprimirán demasiado durante el montaje.

Los paneles cilíndricos de madera contrachapada tienen un valor máximo de coeficiente de absorción en la zona de las bajas frecuencia, y un área determinada por la longitud de la cuerda y la altura del arco del panel.



Fig. 2.4 Resonadores acoplados en serie

2.3.2.2 En paralelo - paneles perforados

Los sistemas de paneles perforados como los sistemas de paneles rígidos, pueden incluirse fácilmente en el plan general de diseño arquitectónico, pudiendo seleccionarse las dimensiones del sistema y su decoración externa.

El diagrama de las aberturas y su forma y figura pueden variarse de acuerdo con el diseño. Los sistemas son duraderos y el gasto económico está justificado. El tratamiento de un recinto con sistemas de paneles perforados tiene que asegurar que todos los elementos calculados de la construcción se realicen en la práctica, ya que sus propiedades acústicas dependen en primer lugar de esto.



Fig. 2.5 Resonadores acoplados en paralelo

Los sistemas de paneles perforados consisten en paneles separados, tales que rompan la impresión de continuidad de la superficie en el tratamiento decorativo de las paredes o techo o pared del recinto. Se usa un nuevo método de diseño para

separar los puntos entre los paneles individuales en las superficies interiores del recinto.

Consiste en poner listones de madera o metal delgado entre las filas de las aberturas. A menudo se emplean listones semejantes en el tratamiento de superficies cubiertas de materiales absorbentes sonoros, para paneles perforados y para sistemas porosos.

El tipo de producto singular más ampliamente usado de este grupo es el designado como paneles metálicos perforados con relleno de fibra mineral. Se le da al panel un acabado con esmaltes de alta calidad, que lo hace particularmente adecuado en las instalaciones donde es necesario un lavado frecuente.

Otro subgrupo de conjuntos acústicos especiales son paneles de madera perforados con relleno de fibra mineral. Esta clasificación se describe mejor como un método de construcción acústica más que como un material o conjunto acústico. La construcción consiste normalmente en el montaje de vigas de madera a viguetas de 5.5 o 10 cm., entre las cuales se coloca una capa de lana mineral o lana de vidrio. Las vigas están cruzadas con listones de madera secundarios, a los cuales se aseguran las láminas de madera perforada.

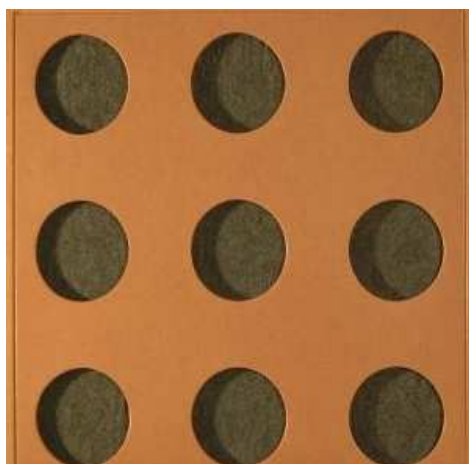


Fig. 2.6 Resonadores de paneles perforados

La función principal del tablero es suministrar una superficie acústicamente transparente, rígida, duradera de buena apariencia que sea también incombustible y sin afectarse por condiciones extremas de humedad. Cuando alguno de estos requisitos no sea tan importante, se pueden utilizar otros revestimientos, tales como tableros rígidos perforados, rejilla metálica.

El acabado de estos materiales es en esmaltes de alta calidad, que facilitan un lavado frecuente. Su aplicación más general es como techos acústicos suspendidos, por su facilidad de montaje y de coordinación con los sistemas aire/luz.

Todos estos materiales tienen un alto rendimiento como absorbente acústico, variando sus valores en función de la forma de perforación, de la densidad y espesor del elemento absorbente, así como el espacio de aire existente detrás de él.

El diseño de estos sistemas trata de resolver el problema del aumento del coeficiente de absorción, que es particularmente crítico en el diseño de grandes auditorios. Cada célula de este sistema consiste en una abertura y en un espacio de aire detrás de ella, sin divisiones entre las células, comportándose como un resonador. Esta aproximación a la solución del problema sólo es correcta para condiciones de incidencia normal de la onda sonora.

En estos sistemas los agujeros forman los cuellos de los resonadores, y el aire detrás de cada agujero, forma la cavidad del resonador. Generalmente, no es necesario dividir la cavidad de los resonadores.

De forma análoga al resonador simple, la frecuencia de resonancia del resonador acoplado está determinada por las dimensiones del cuello de la cavidad, aunque el resonador acoplado no es tan selectivo en su absorción.

Las principales características de estos materiales son:

- El coeficiente de absorción sonora de estos sistemas está definido por la inercia y la resistencia del aire en los agujeros del sistema.
- La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia de una capa simple, tiene un máximo perfectamente definido.
- La frecuencia a la que el coeficiente de absorción presenta un máximo, aumenta con el incremento del diámetro de las aberturas y con una reducción de la distancia entre las aberturas, o entre la capa perforada y la pared.
- El sistema se puede calcular para unos parámetros dados, permitiendo la absorción sonora necesaria, dentro de los límites de las bandas de frecuencia especificada.
- El sistema es muy eficaz, económico y estable en su operación.
- Un defecto importante de la capa es que tiene una variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, comparativamente más estrecho y puntiagudo que con los sistemas de resonadores acoplados en paralelo

2.4 MATERIALES DIFUSORES.

Son elementos que se acoplan a los paramentos del recinto (control, salas, escenario, locutorio, etc.) con el fin de mejorar la difusión,

Al contrario que un paramento liso que actúa como un espejo generando una imagen sonora muy parecida a la original pero con el correspondiente retraso (delay) que falsea la escucha real del evento sonoro, en el caso de los difusores esta reflexión no es especular sino "pulverizada" lo que ofrece una imagen sonora rica y que no interfiere con la primera escucha de la señal, es decir genera espacio tras de ella.

Los difusores tienen el efecto en los recintos de definir mejor los sonidos y generar mas espacio.

Los difusores pueden ser de varios tipos:

- *Convexos*
- *Residuales cuadráticos (QRD)*
- *Birradiales*

- *Perforados*

Asimismo se asocian para formar combinaciones de tipos

Los difusores permiten oír mucho mejor al salvar las interferencias de las primeras reflexiones (<20 mseg.) cosa que no se puede conseguir de ninguna otra manera (salvo oyendo con auriculares)

2.4.1 DIFUSORES ACÚSTICOS CONVEXOS

Una superficie convexa (cilíndrica) refleja un frente de ondas de forma divergente por lo que es un difusor natural.

El espesor de esta superficie afectará a la gama de bajas frecuencias difundidas, lo que le hace comportarse como membrana (absorción de bajas frecuencias ó trampa de graves)

El campo de difusión es perpendicular al eje del cilindro.

Ideales para rincones, evitando el efecto rincón y haciendo a la vez una trampa de graves.



Fig. 2.7 Difusor cilíndrico

2.4.2 DIFUSORES ACÚSTICOS QRD

QRD es la abreviatura de Difusor de Residuo Cuadrático, genera un campo de difusión en el sentido perpendicular a las lamas o canales.

Su frecuencia mínima está dada por la profundidad de los canales y su frecuencia máxima por la anchura de estos.

Su construcción suele ser en MDF (DM) aunque se pueden hacer en madera maciza, metacrilato, vidrio, escayola, mármol, etc.

Se utilizan sobre todo en paredes traseras de controles y donde se precise aumentar la difusión como escenarios, locutorios, platos y salas de grabación.



Fig. 2.8 Difusor acústico QRD

CAPITULO 3

DISEÑO DE UNA CÁMARA ANECOICA

En este capítulo se realizará el diseño de una cámara anecoica tomando en cuenta todos los requerimientos del comportamiento del sonido en los grandes espacios, la insonorización, reflexión, refracción, difracción y aislamiento acústico.

3.1 CARACTERISTICAS DE LA CÁMARA ANECOICA

La normativa ISO 3744 exige ciertas características esenciales que debe cumplir una cámara anecoica dependiendo del uso de la misma. Se detalla a continuación las más importantes.

- El volumen libre de la cámara debe ser aproximadamente de 125 m^3
- La cámara anecoica se utilizara para la determinación de características direccionales de transductores de sonido, medida de los niveles de sonido generados por equipos pequeños (impresoras, accesorios automotrices, instrumentos musicales, etc.), calibración de dispositivos electro-acústicos
- La humedad relativa de la cámara debe ser superior al 40%, y la temperatura, superior a los 10°C .

3.2 VOLUMEN DE LA SALA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

El volumen de la cámara anecoica se lo ha seleccionado en función de dos parámetros principales que son:

- La calificación del GRADO de la sala.
- La menor frecuencia en la banda de interés.

De acuerdo a la norma ISO 3744, sobre la medida de frecuencias en el rango de 100Hz a 10 KHz, para obtener la calificación de GRADO DE INGENIERIA se recomienda un volumen libre aproximado de la cámara anecoica de 125 m^3

3.3 FORMA ARQUITECTÓNICA DE LA SALA.

La forma mas usada para la construcción de una cámara anecoica es un rectángulo, ya que al maximizar la absorción de ondas reflectantes en las paredes del recinto se simula un campo libre ideal.

Las medidas del volumen interno seleccionadas de la cámara son:

Frente: 5.4 m

Profundidad: 5.3m

Altura: 4.3 m

Con estas medidas se obtiene un volumen de 123 m^3

Se debe considerar el aislamiento acústico de la sala y la insonorización de la misma, por lo que las medidas aproximadas del volumen grueso son:

Frente: 7m

Profundidad: 6.9m

Altura: 5.9m

Con estas medidas se obtiene un volumen de 284.97 m^3

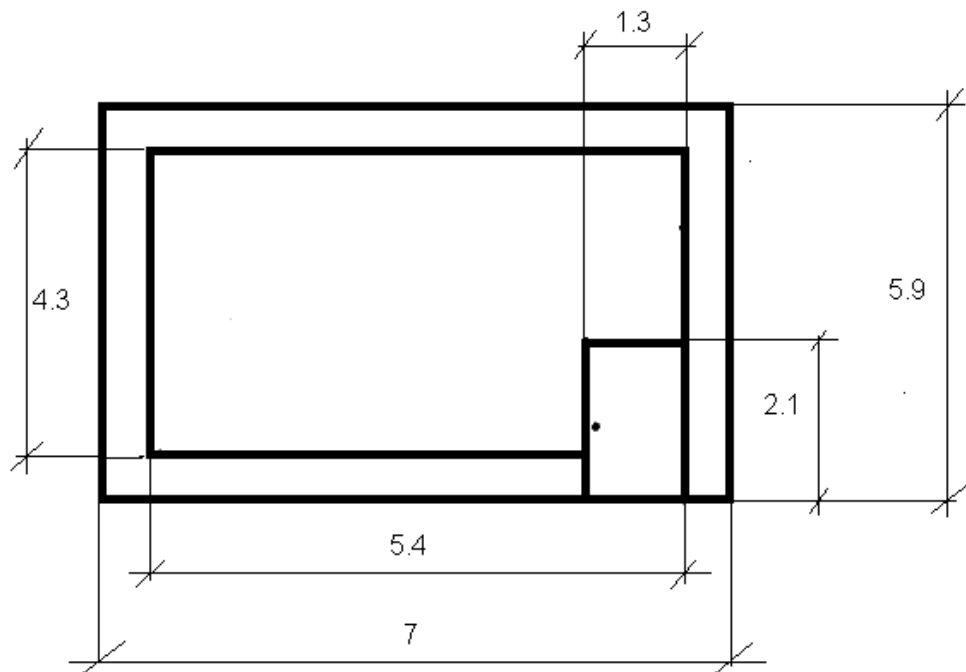


Fig. 3.1 Vista frontal de la cámara anecoica. (Medidas en metros)

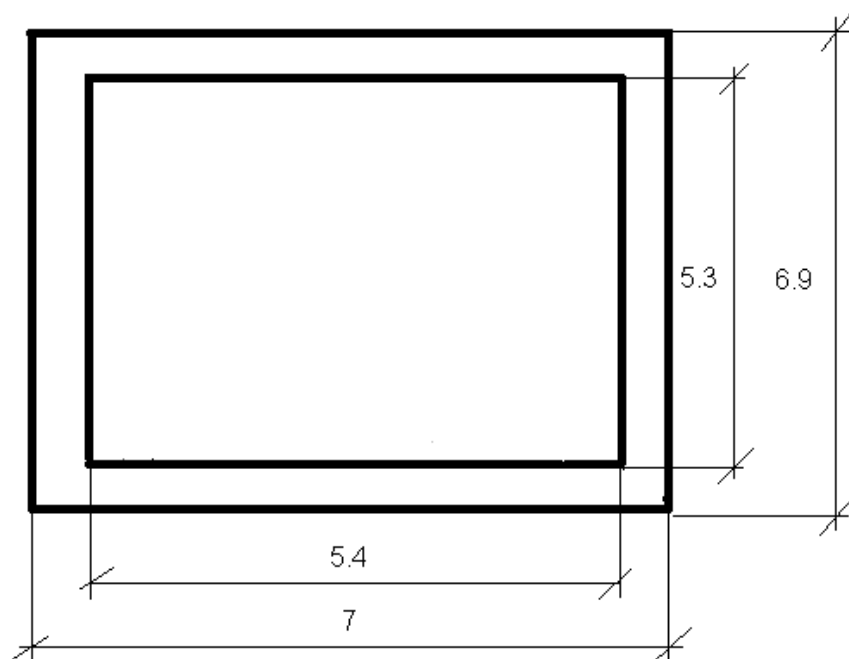


Fig. 3.2 Vista superior de la cámara anecoica. (Medidas en metros)

3.4 MATERIALES PARA REVESTIMIENTO INTERNO.

El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definida la forma, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo con objeto de obtener unos tiempos de reverberación óptimos.

Se seleccionaron los siguientes materiales de la tabla 1.2 para los aislamientos y tratamiento acústico de la cámara anecoica:

- Ladrillo visto pintado
- Hormigón pintado
- Lana de vidrio
- Espuma de poliuretano
- Paneles de madera

Los siguientes materiales no están incluidos en la tabla 1.2, sin embargo se utilizarán en lugares pequeños de la cámara por lo que se considera apropiado especificarlos.

- Arena fina
- Placas de plomo de 5mm
- Marcos de madera de 15x10cm
- Resortes

3.5 AISLAMIENTO CONTRA RUIDO EXTERNO DE LA SALA.

Para el aislamiento contra ruido externo de la cámara anecoica se diseñó una estructura doble.

El interior (estructura interior) que se construirá usando paredes de concreto con un espesor de 0.3m revestido internamente con planchas de lana de vidrio

El exterior (estructura exterior) usando ladrillos de 24 x 11,5 x 6 cm pintados

Se separará las dos estructuras entre si por una capa de espuma de poliuretano.

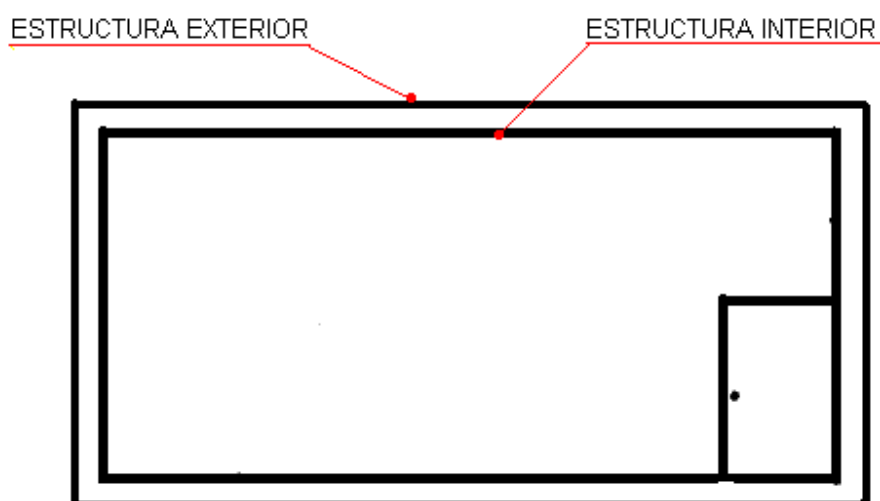


Fig.3.3 Estructura doble de la cámara anecoica

3.5.1 PAREDES INTERNAS.

Se construirán con bloques de 20 x 14 x 7 cm, con enlucido interno de 5 cm. de arena fina y cemento,

La parte exterior de las paredes internas estarán recubiertas con una malla metálica de 5mm para producir el efecto de la jaula de Faraday, acompañado de un enlucido de 5 cm.

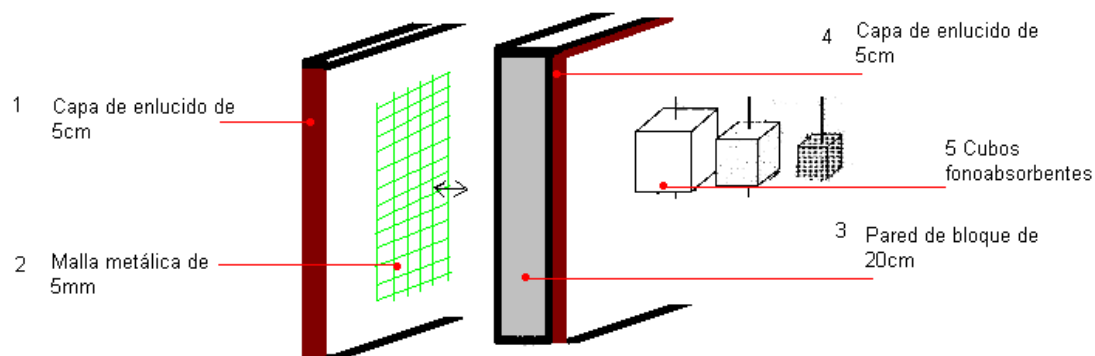


Fig. 3.4 Ensamblaje de la estructura interior de la cámara anecoica.

3.5.2 PAREDES EXTERNAS

Se construirá con ladrillos de 24 x 11,5 x 6 cm, revestidos de pintura blanca.

La separación de las estructuras externa e interna será de 15cm de ancho y se rellenará con espuma de poliuretano.

Las dimensiones finales de las paredes se pueden apreciar en la Fig. 3.5

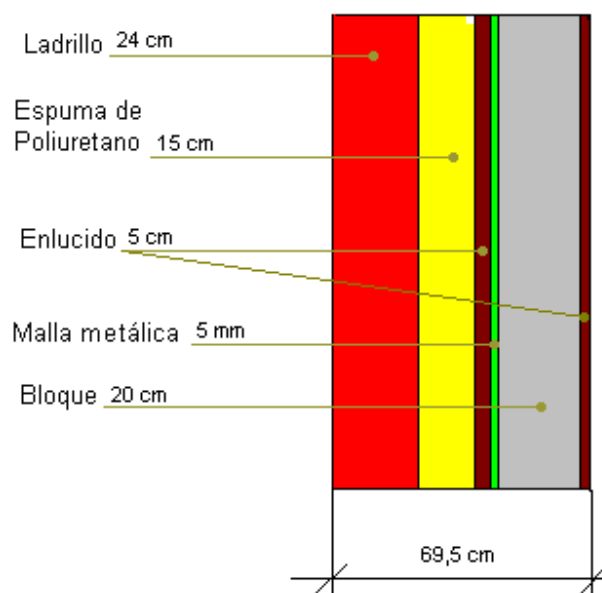


Fig. 3.5 Dimensiones de espesor de las distintas capas constitutivas de las paredes. (Medidas en centímetros)

3.5.3 TECHO

Se tratarán como una pared de la estructura interna más, por lo que su construcción se realizará en forma similar a la seleccionada para dichas paredes.

3.5.4 PISO.

Estará constituida por una placa de hormigón de 5cm de espesor sobre la cual se asentará el peso de la estructura interna.

3.5.5 PUERTAS

La cámara anecoica es alcanzada a través de dos puertas acústicas, una es montada en la estructura exterior y la otra en la estructura interior.

3.5.5.1 Puerta exterior

Medirá 2.1 x 1.3 x 0.17m, y estará formada por paneles de madera aglomerada, sujetas a un marco de madera.

El interior es rellenado por una lámina de plomo y arena, el acabado interior se compone de dos paneles de fibra de vidrio cubiertos por un paño grueso.

En la figura se puede apreciar un corte superior de la puerta con sus medidas.

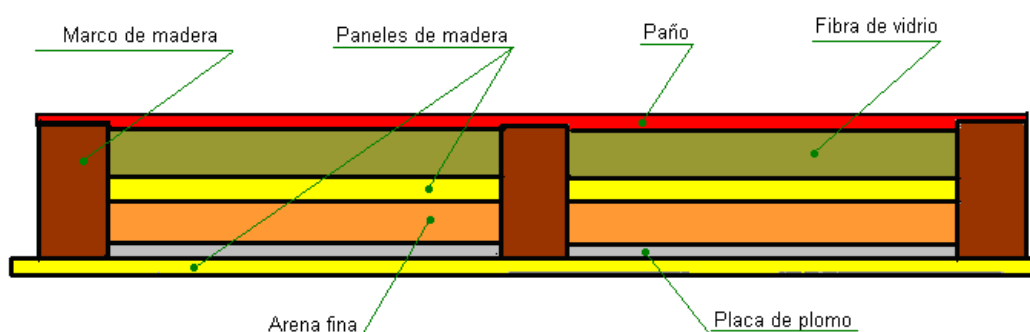


Fig. 3.6 Puerta exterior (Corte de la vista superior)

Las medidas de la puerta exterior serán 10cm mayores en largo y alto que las de la puerta interior, de esta forma se garantiza que la puerta interior se abra completamente hacia afuera.

3.5.5.2 Puerta interior

Estará constituida por un marco metálico de 30,5cm de ancho sobre el cual se montará una estructura con medidas de grosor igual a las paredes interiores de la cámara.

Las medidas finales de la puerta interior serán 2 x 1,2 x 0,305m.

Las dos puertas estarán equipadas con mecanismos manuales que permitan abrir y cerrar fácilmente las mismas.

De esta forma queda garantizado un excelente aislamiento contra el ruido de impacto externo.

3.6 AISLAMIENTO CONTRA VIBRACIONES.

El aislamiento contra la vibración externa se logra montando la estructura interior sobre bases independientes, cada una constituida de 10 resortes que soportan 1 ton, repartidas por todo el perímetro de la cámara.

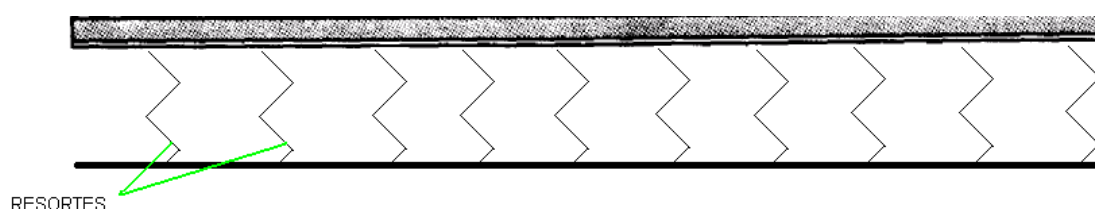


Fig. 3.7 Esquema del aislamiento contra vibraciones mediante arreglo de resortes

3.7 TRATAMIENTO ACÚSTICO DE LA CÁMARA ANECOICA.

Para el revestimiento del piso, techo y paredes de la cámara anecoica se ha seleccionado un diseño probado en la Universidad de Berlín.

La absorción del sonido se la consigue mediante cubos fonoabsorbentes de diferentes tamaños, dispuestos en cuatro capas consecutivas desde el interior de la cámara hacia las paredes.

La capa mas cercana a la pared se hace de cubos suspendidos de 14 centímetros de lado y las capas siguientes de cubos de 12, 10 y 8 centímetros respectivamente.

Este arreglo forma una cuadrícula espacial de 15 centímetros de separación entre los centros de los cubos fonoabsorbentes.

Los cubos estarán hechos de espuma de poro abierto inflamable de poliuretano de 28 Kg/m^3 de densidad.

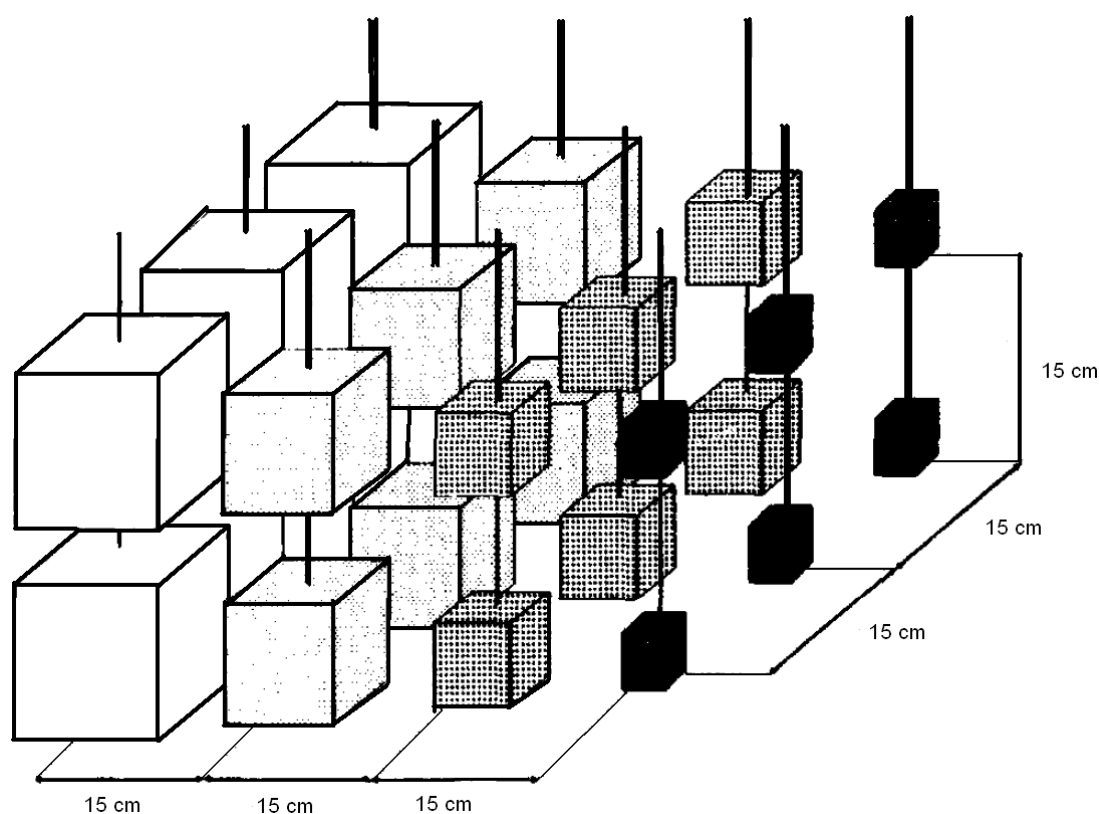


Fig. 3.8 Disposición de cubos fonoabsorbentes

Los cubos se suspenden usando secuencias de hilo nylon formando redes plásticas en el techo y el piso.

Las secuencias atraviesan los cubos entrando por el centro de una cara y saliendo por el centro de la cara opuesta.

En el techo se colocan cuatro capas colgadas de una red plástica.

En el piso de manera similar se suspende una red a 1 m del fondo del piso de la cual se suspenden las cuatro capas de cubos.

Con el fin de eliminar la rugosidad de los acabados internos en las superficies internas del techo, piso y paredes, se colocarán 2 capas de lana de vidrio de 5 cm de grueso cada una. La densidad de las capas es de 50 Kg/m^3 .

3.8 PISO.

El piso será construido utilizando una red de acero, fijada a un marco metálico que es parte de las paredes de concreto de la estructura interior.

La red metálica cuelga a 1 m sobre el fondo de la cámara anecoica y 0.30 m sobre el material absorbente.

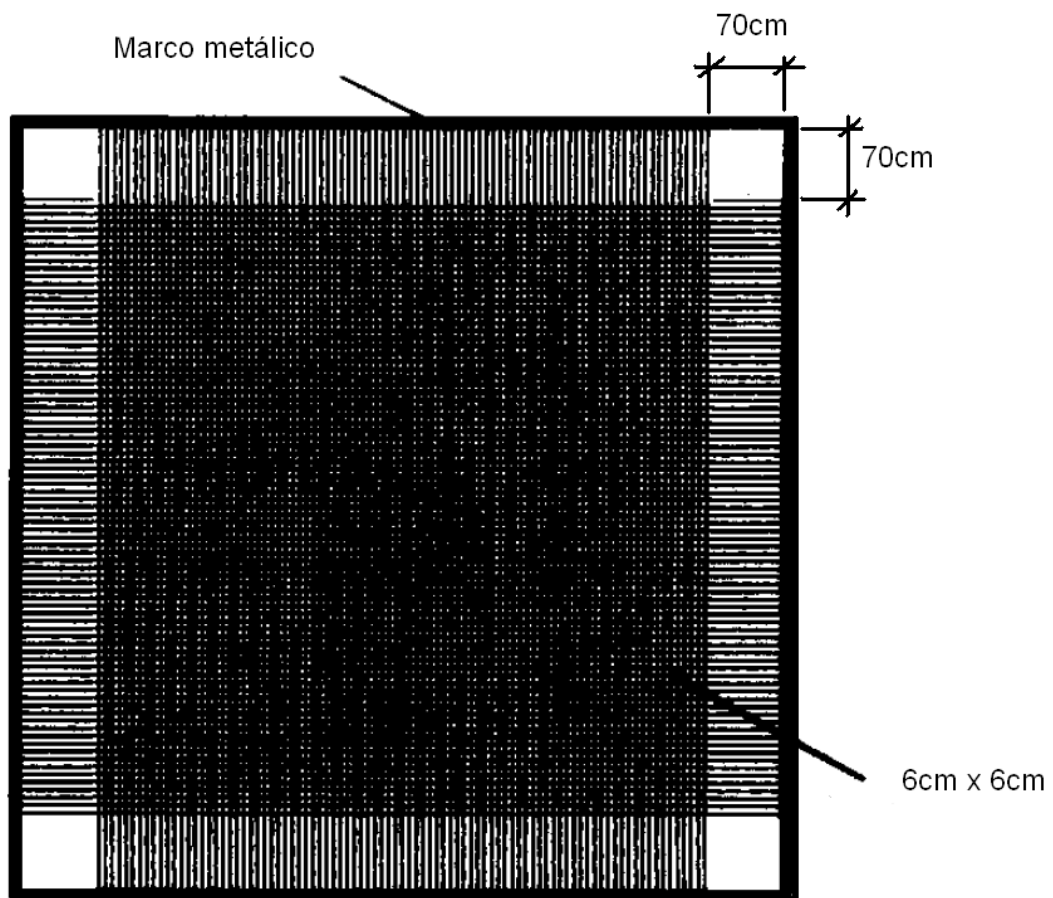


Fig. 3.9 Piso de malla metálica

Luego de realizar el tratamiento acústico de la cámara anecoica tendremos el volumen real de la cámara para realizar pruebas.

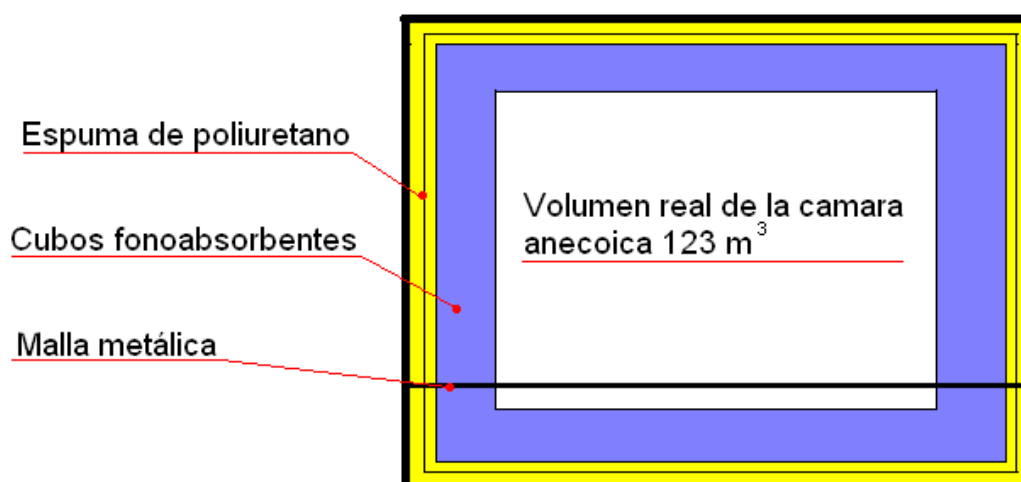


Fig. 3.10 Corte lateral de la cámara anecoica

3.9 ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA ESTADÍSTICA.

Mediante el modelo de la teoría estadística realizamos el análisis la reverberación en las cámaras acústicas. La reverberancia es un factor importante en el acondicionamiento acústico ya que determina la permanencia del sonido después de suprimir la fuente acústica que lo produjo. Se mide por medio del tiempo de reverberación, que es el tiempo que tarda en atenuarse la energía sonora en el interior de la cámara acústica.

Para encontrar el tiempo de reverberación en el diseño utilizamos la fórmula de Sabine que se define como:

$$TR = \frac{0.161V}{A} ; \text{seg} \quad (3.1)$$

Donde V es el volumen del local medido en m^3 , A es la absorción del local medida en m^2

Para condiciones reales, el coeficiente promedio de absorción sonora se encuentra calculando el valor relativo del área de cada unidad mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (3.2)$$

Donde

α = coeficiente de absorción promedio de la cámara, S_1, S_2, \dots, S_n , son las áreas de las distintas unidades no uniformes; $\alpha_1 S_1, \alpha_2 S_2$, son las absorciones de cada unidad, S es el área total de todas las superficies internas de la cámara reverberante.

Dependiendo de la absorción acústica promedio de la cámara $\bar{\alpha}$, es decir, de si la cámara es muy absorbente o muy reverberante, la absorción A se analiza bajo las siguientes condiciones:

$$A = S\bar{\alpha} \quad \bar{\alpha} < 0,2 \quad (3.3)$$

$$A = -S \ln(1 - \bar{\alpha}) \quad \bar{\alpha} > 0,2 \quad (3.4)$$

La absorción total de la cámara reverberante se determina mediante la fórmula:

$$A = \bar{\alpha} S = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (3.5)$$

A partir del tiempo de reverberación, podemos determinar la *constante de la cámara* “ R ”, la misma que cuantifica la absorción total del sonido de una cámara donde se ha considerado el tiempo de reverberación de Sabine.

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{S}{\frac{160}{0,161V} - 1} \text{ m}^2 \quad (3.6)$$

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del coeficiente de absorción (α), Superficie interna de la cámara, la Constante R y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia $f=125\text{Hz}$.

Superficie total de la cámara anecoica (S_T):

Calcularemos primero el número de cubos fonoabsorbentes que conformaran las 4 capas del aislamiento interno, así como su superficie total.

Se dividen la superficie de cada pared para una cuadrícula de 15cm, de esta forma se obtiene el numero de cubos por capa y por pared.

Cubos pared frontal $((6.8 \times 5.7)/0.15^2) = 1722$ cubos por capa

Se multiplica el número de cubos por la superficie de cada uno, capa por capa

$$S \text{ capa 1 } (1722 \times 6 \times 0.14^2) = 202.50 \text{ m}^2$$

$$S \text{ capa 2 } (1722 \times 6 \times 0.12^2) = 178.48 \text{ m}^2$$

$$S \text{ capa 3 } (1722 \times 6 \times 0.10^2) = 103.32 \text{ m}^2$$

$$S \text{ capa 4 } (1722 \times 6 \times 0.08^2) = 66.12 \text{ m}^2$$

Se suma las superficies de cada capa y se obtiene la superficie total de los cubos fonoabsorbentes por pared.

$$S \text{ pared frontal } (202,50 + 178,48 + 103,32 + 66,12) = 550.42 \text{ m}^2$$

Se realiza el mismo cálculo para las otras paredes.

$$S \text{ pared frontal} = 550.42 \text{ m}^2$$

$$S \text{ pared posterior} = 550.42 \text{ m}^2$$

$$S \text{ paredes laterales} = 799.49 \text{ m}^2$$

$$S \text{ techo y piso} = 799.49 \text{ m}^2$$

La sumatoria es la superficie total de los cubos fonoabsorbentes de la cámara.

$$S \text{ cubos fonoabsorbentes} = 2,699.82 \text{ m}^2$$

En el cálculo de la superficie de las paredes se ha introducido un error de 10cm por cada pared por tolerancia al acabado estructural de las mismas, así el cálculo de la superficie total se realiza como se muestra a continuación:

$$S_T = S_{\text{puerta}} (2.1 \times 1.3) + S_{\text{pared frontal}} ((5.7 \times 6.8)-2,73) + S_{\text{pared posterior}} (5.7 \times 6.8) + S_{\text{pared lateral izquierda}} (5.7 \times 6.7) + S_{\text{pared lateral derecha}} (5.7 \times 6.7) + S_{\text{piso}} (6.8 \times 6.7) + S_{\text{techo}} (6.8 \times 6.7) + S_{\text{cubos fonoabsorbentes}} (2,699.82)$$

$$S_T = 2.73 + 36.03 + 38.76 + 38.19 + 38.19 + 45.56 + 45.56 + 2,699.82 \text{ ;m}^2$$

$$S_T = 2,944.82 \text{ m}^2$$

Coeficiente de absorción promedio de la cámara anecoica (α)

Tomamos los datos de la Tabla 1.2 para el coeficiente de absorción:

α_i para las paredes = 0.13

α_i para los cubos fonoabsorbentes = 0.3

S_i para las paredes con las dimensiones conocidas.

Aplicamos la formula

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

$$\bar{\alpha} = \frac{0.13 * [(6.8 * 6.7 * 2) + (6.8 * 5.7 * 2) + (6.7 * 5.7 * 2)] + (0.3 * 2699.8)}{2944.82}$$

$$\bar{\alpha} = 0.2858$$

$$\bar{\alpha} = 0.2858 \quad \text{donde se cumple que: } \alpha > 0.2;$$

Absorción total de la cámara anecoica

$$A = -S \ln(1 - \alpha)$$

$$A = -2944.82 \ln(1 - 0.2858) \text{ m}^2$$

$$A = 987.69 \text{ m}^2$$

Tiempo de reverberación TR

Calculamos primero el volumen de la cámara anecoica.

$$\text{Largo} \times \text{altura} \times \text{profundidad} \quad (6.8 \times 6.7 \times 5.7) = 259.69 \text{ m}^3$$

Aplicamos la formula de Sabine.

$$TR = \frac{0.161 * V}{A}$$

$$TR = \frac{0.161 * 259.69}{987.69}$$

$$TR = 0.042s$$

Constante de la cámara anecoica (R)

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$$R = \frac{2944.82 * 0.2858}{0.715}$$

$$R = 1180m^2$$

ELEMENTO	$\alpha(f=125 \text{ Hz})$	$S_i(m^2)$	$\alpha x S_i$
Puerta	0,13	2,73	0,3549
Pared Frontal	0,13	36,03	4,6839
Pared Posterior	0,13	38,76	5,0388
Pared Lateral Izquierda	0,13	38,19	4,9647
Pared Lateral Derecha	0,13	38,19	4,9647
Piso	0,13	45,56	5,9228
Techo	0,13	45,56	5,9228
Cubos	0,3	2699,8	809,94

Sumatoria $\alpha x S_i$	841,7926
S Total	2944,82
α(promedio)	0,2858
Absorción (sala)	987,69
Volumen(m^3)	259,69
TR(Seg)	0,042

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=250Hz**.

ELEMENTO	$\alpha(f=250 \text{ Hz})$	$S_i(m^2)$	$\alpha x S_i$
Puerta	0,75	2,73	2,0475
Pared Frontal	0,75	36,03	27,0225
Pared Posterior	0,75	38,76	29,07
Pared Lateral Izquierda	0,75	38,19	28,6425
Pared Lateral Derecha	0,75	38,19	28,6425

Piso	0,75	45,56	34,17
Techo	0,75	45,56	34,17
Cubos	0,53	2699,8	1430,894

Sumatoria $\alpha x S_i$	1614,659
S Total	2944,82
α(promedio)	0,54
Absorción (sala)	1614,659
Volumen(m³)	259,69
TR(Seg)	0,025

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=500Hz**.

ELEMENTO	α (f=500 Hz)	S_i (m ²)	$\alpha x S_i$
Puerta	1	2,73	2,73
Pared Frontal	1	36,03	36,03
Pared Posterior	1	38,76	38,76
Pared Lateral Izquierda	1	38,19	38,19
Pared Lateral Derecha	1	38,19	38,19
Piso	1	45,56	45,56
Techo	1	45,56	45,56
Cubos	0,9	2699,8	2429,82

Sumatoria $\alpha x S_i$	2674,84
S Total	2944,82
α(promedio)	0,9
Absorción (sala)	2674,84
Volumen(m³)	259,69
TR(Seg)	0,015

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=1000Hz**.

ELEMENTO	α (f=1000 Hz)	S_i (m ²)	$\alpha x S_i$
Puerta	1	2,73	2,73

Pared Frontal	1	36,03	36,03
Pared Posterior	1	38,76	38,76
Pared Lateral Izquierda	1	38,19	38,19
Pared Lateral Derecha	1	38,19	38,19
Piso	1	45,56	45,56
Techo	1	45,56	45,56
Cubos	1,07	2699,8	2888,786

Sumatoria $\alpha x S_i$	3133,806
S Total	2944,82
α(promedio)	1,06
Absorción (sala)	3133,806
Volumen(m³)	259,69
TR(Seg)	0,013

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=2000Hz**.

ELEMENTO	α (f=2000 Hz)	S_i (m ²)	$\alpha x S_i$
Puerta	1	2,73	2,73
Pared Frontal	1	36,03	36,03
Pared Posterior	1	38,76	38,76
Pared Lateral Izquierda	1	38,19	38,19
Pared Lateral Derecha	1	38,19	38,19
Piso	1	45,56	45,56
Techo	1	45,56	45,56
Cubos	1,07	2699,8	2888,786

Sumatoria $\alpha x S_i$	3133,806
S Total	2944,82
α(promedio)	1,06
Absorción (sala)	3133,806
Volumen(m³)	259,69
TR(Seg)	0,013

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=4000Hz**.

ELEMENTO	α (f=4000 Hz)	S_i (m ²)	$\alpha \times S_i$
Puerta	1	2,73	2,73
Pared Frontal	1	36,03	36,03
Pared Posterior	1	38,76	38,76
Pared Lateral Izquierda	1	38,19	38,19
Pared Lateral Derecha	1	38,19	38,19
Piso	1	45,56	45,56
Techo	1	45,56	45,56
Cubos	1	2699,8	2699,8

Sumatoria $\alpha \times S_i$	2944,82
S Total	2944,82
α(promedio)	1
Absorción (sala)	2944,82
Volumen(m³)	259,69
TR(Seg)	0,014

3.10 ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA GEOMÉTRICA.

Esta teoría se la emplea con las primeras reflexiones de la curva de energía – tiempo, que caracteriza a una posición determinada de la sala. Consiste en aplicar las leyes de la óptica geométrica al sonido. Esta analogía entre el método geométrico en óptica y acústica es tanto mayor cuanto menor es la longitud de la onda sonora respecto a las dimensiones de las superficies reflectantes, esto significa que el método geométrico se puede emplear con exactitud solo cuando comparativamente se consideran grandes superficies reflectantes o bien cuando analizamos sonidos de media y alta frecuencia. Solo en el caso de grandes recintos, donde existe el peligro de aparición de ecos o de recintos con grandes superficies reflectantes donde existe la posibilidad del efecto de perturbación direccional de los rayos reflejados, o de recintos que tienen superficies curvas o con un extraño rincón donde existe la posibilidad de concentraciones anómalas de energía el carácter sonoro se determina mediante diagramas de rayos reflejados.

En el diseño de la cámara reverberante no se considera la teoría geométrica ya que esta fue considerada para frecuencias bajas (dentro del campo audible) y para un volumen de 200m^3 que es el requerimiento mínimo para este tipo de diseño

3.11 SISTEMAS ADICIONALES

3.11.1 ILUMINACIÓN

Se utilizará 4 lámparas frías de 60W (luz blanca), distribuidas en el interior de la cámara reverberante como se muestra a continuación.

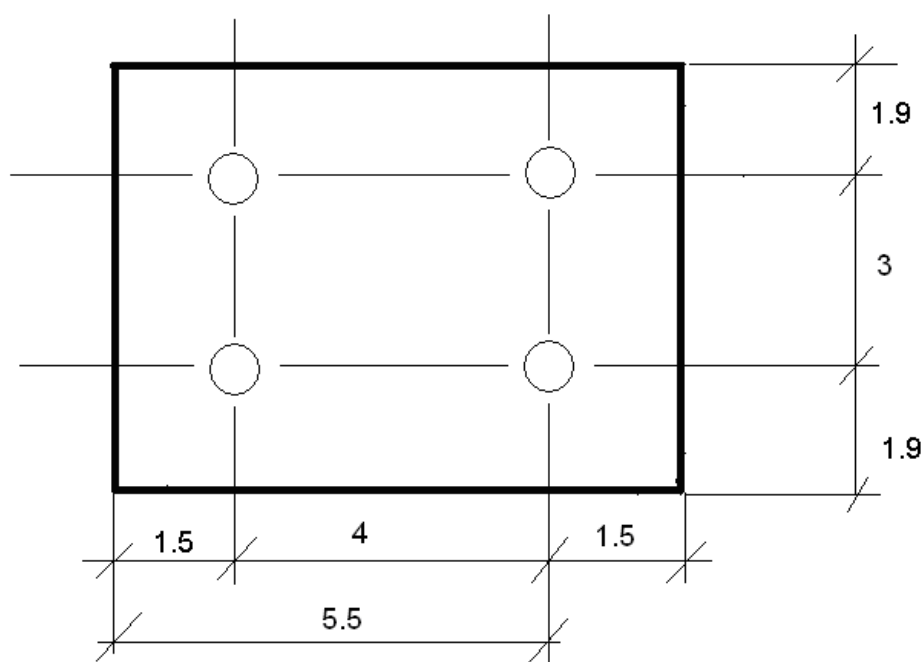


Fig. 3.11 Distribución de luminarias (Medidas en metros)

3.11.2 PARAMETROS ATMOSFERICOS

Como se indicó en los requerimientos de la cámara anecoica es necesario cumplir con ciertas condiciones climáticas para asegurar que el aire no influya en las mediciones a realizarse en el interior de la misma, según el Instituto Nacional de

Meteorología e Hidrología INAMHI, en Quito tenemos los siguientes parámetros atmosféricos en promedio:

- Temperatura media del aire: 13.2°C
- Humedad relativa media: 75%
- Presión atmosférica media: 547,7 mmHg
- Densidad del aire: 0.001257 g/cm

Con lo que se cumple las condiciones establecidas en la norma ISO 3744 para el diseño de una cámara anecoica.

3.11.3 SISTEMA DE VIDEO

Para poder observar cualquier anomalía en el interior de la cámara anecoica como mala posición de los equipos de medida, deterioro físico de los elementos constitutivos de la cámara, etc., se utilizará un sistema de CCTV compuesto por:

- 1 cámara IP
- 1 Grabador de video con 36 horas de memoria continua
- 1 Cpu con teclado, mouse, monitor, tarjeta de red, impresora y DVD/RW.

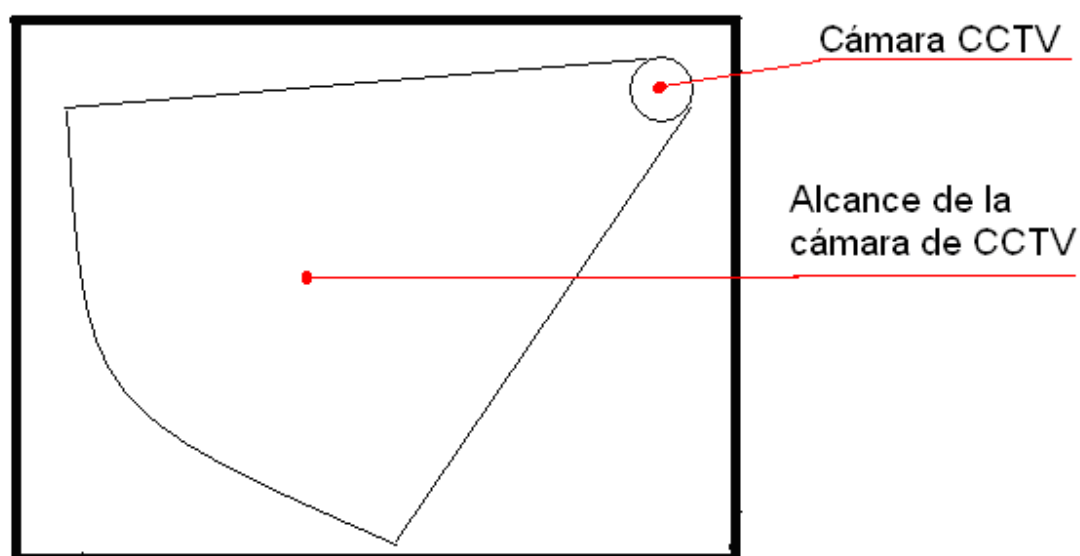


Fig. 3.12 Sistema de CCTV

3.12 EQUIPAMIENTO PARA PRUEBAS.

3.12.1 AREA DE PRUEBA

La norma UEN-EN 20354 indica que para una cámara anecoica diseñada para pruebas en baja frecuencia el área de la muestra debe ser hasta de 12m^2 , en forma rectangular, para este efecto se marcará en el piso un rectángulo de $3 \times 4\text{m}$, y se colocará una fuente omnidireccional en el un extremo y el receptor en el otro como se muestra en la Fig. 3.13

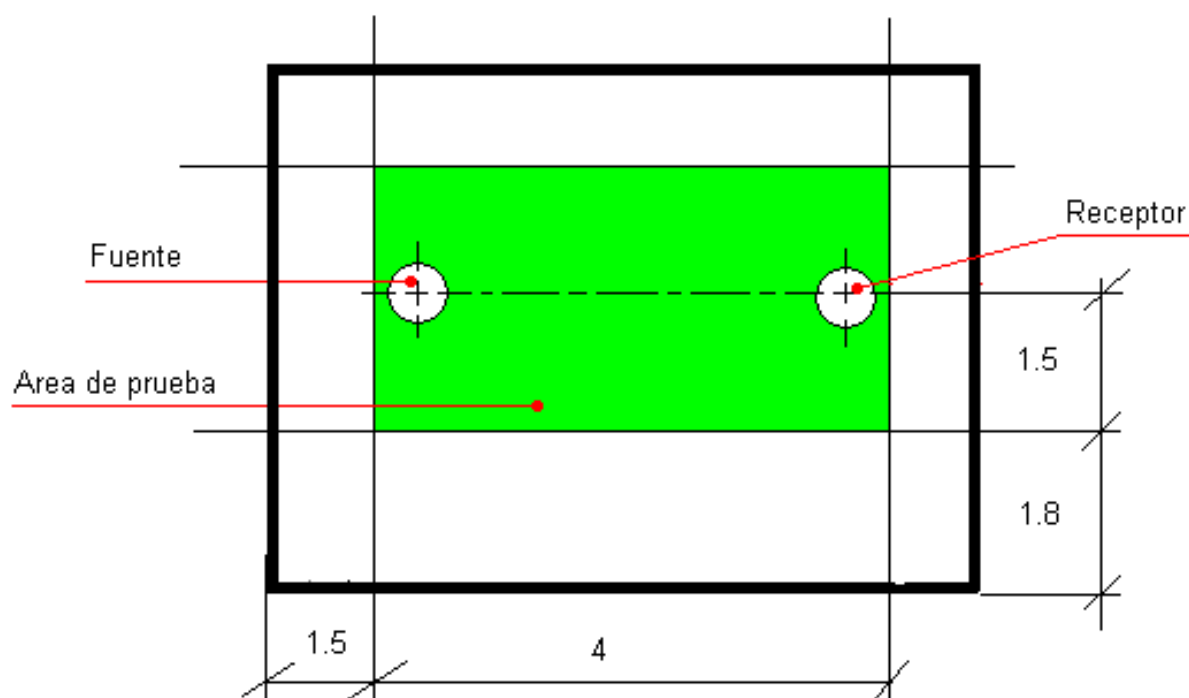


Fig. 3.13 Área de prueba (Medidas en metros)

3.12.2 EQUIPOS DE PRUEBA

Caja acústica autoamplificada de dos vías 210W

Marca: ALTO

Modelo PS-4

Costo: 320 E

Soporte Bafle 5614



Costo: 25 E

Micrófono omnidireccional profesional clip-condensador de baja sensibilidad, 20-20.000 Hz, 144 dB SPL max.

Marca DPA Microphones

Modelo DPA 4061-M

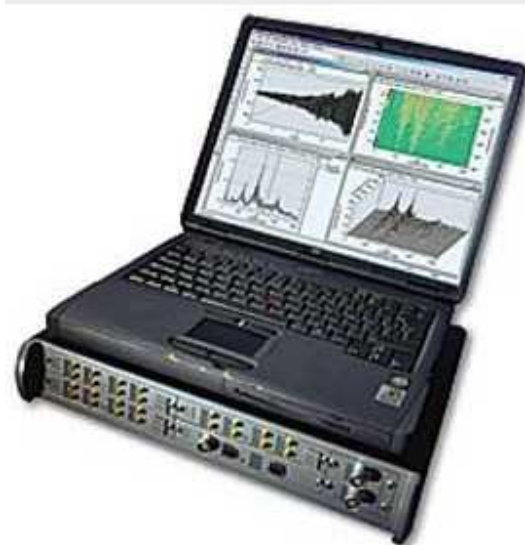
Costo: 350 E



Analizador acústico y de vibración

Marca LMS

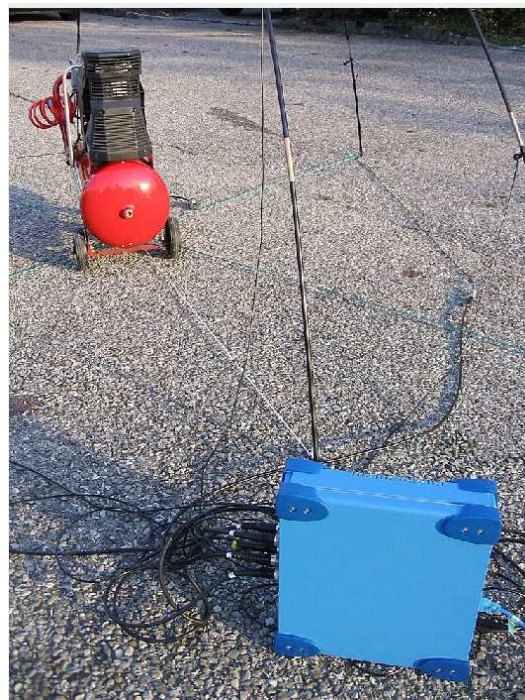
Costo: Varía entre 30.000 – 50.000 E



Analizador Acústico

OROS serie 3

Costo: varia entre 18.000 – 28.000 E



Fuente de presión acústica

Marca CESVA

Modelo FP 120

Costo: Varía entre 12.000 - 20.000 E



Computador portátil

Marca HP

Modelo Compaq 2510p Business Notebook PC

Costo: 1110 E



3.13 EJEMPLO DE PRUEBAS A REALIZARSE

Configuración de medida

Los elementos que es preciso utilizar son los siguientes:

- Ordenador portátil
- Analizador acústico
- Caja acústica autoamplificada
- Micrófono omnidireccional (colocado a una altura de 1,2 m respecto al suelo)

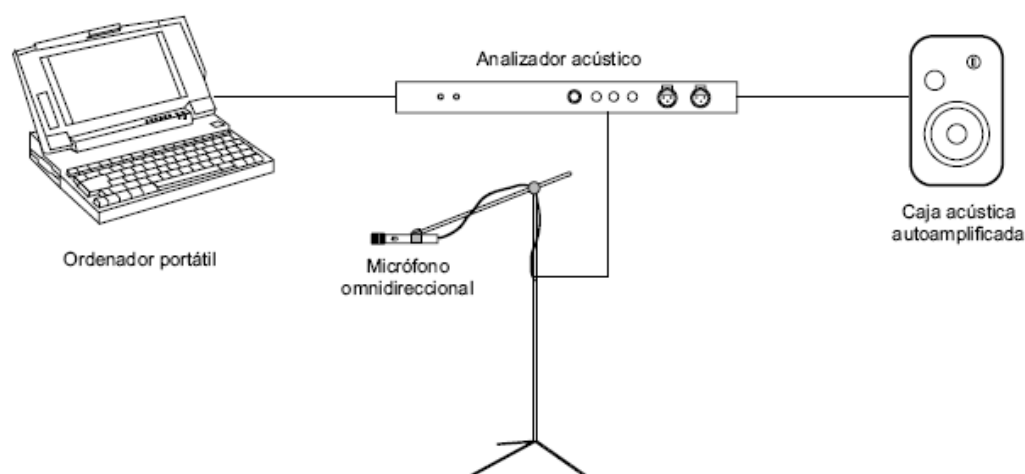


Fig. 4.16 Configuración de medida.

En la figura 4.17 se muestran los diagramas polares de directividad (en el plano horizontal) de la caja acústica utilizada correspondientes a las bandas de frecuencias de octava centradas en 250 Hz, 1 kHz y 4 kHz.

El motivo de elegir una caja acústica con los diagramas polares anteriores es la similitud de los mismos con los correspondientes a los de la voz humana.

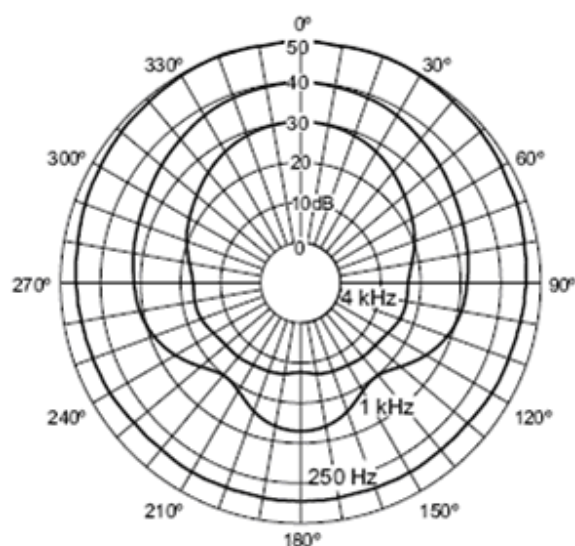


Fig. 4.17 Diagramas polares de directividad de la caja acústica utilizada correspondiente a las bandas de 250 Hz, 1 KHz y 4 KHz

Parámetros

Los parámetros relacionados con la configuración de medida anterior son los siguientes:

- Ruido de fondo (NC)
- Tiempo de reverberación (RT)
- Definición (D50)
- Claridad (C80)
- Inteligibilidad de la palabra (RASTI)

- Ruido de fondo (NC)

Se considera ruido de fondo todo aquel ruido que se percibe en una sala cuando en la misma no se realiza ninguna actividad. Dicho ruido puede ser debido al sistema de climatización, a instalaciones eléctricas y/o hidráulicas

- Tiempo de reverberación (RT)

Se define como el tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial desde que cese la fuente que produce el sonido

- Definición (D50)

La Definición D50 es la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía total recibida por el mismo. Se calcula en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4kHz. Su valor deberá ser siempre $D > 50\%$; Cuanto más elevado sea dicho valor, mejor será la inteligibilidad de la palabra y la sonoridad.

- Claridad (C80)

Indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.

Se determina a partir de la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80ms, calculada en cada banda de frecuencias entre 125Hz y 4kHz. Los valores recomendados dependen del tipo de música. El valor promedio para frecuencias medias-altas (500Hz, 1kHz y 2kHz) puede aceptarse entre -4 y 8 dB.

- Inteligibilidad de la palabra (RASTI)

La inteligibilidad de la comunicación se reduce debido al ruido de fondo. El oído es un transductor y no discrimina entre fuentes de ruido, la separación e identificación de las fuentes sonoras se da en el cerebro. Como ya es sabido, la voz humana produce sonido en el rango de 100 a 10000Hz, pero la información verbal se encuentra en el rango de los 200 a 6000Hz. La banda de

frecuencia determinada para la inteligibilidad de la palabra, es decir entender palabra y frase, esta entre 500 y 2500 Hz.

- Sonoridad (S)

La sonoridad es el atributo que nos permite ordenar sonidos en una escala del más fuerte al más débil

CAPITULO 4

DISEÑO DE UNA CÁMARA REVERBERANTE

En este capítulo se realizará el diseño de una cámara reverberante tomando en cuenta todos los requerimientos del comportamiento del sonido en los grandes espacios, difracción y maximización de las reflexiones.

Además se utilizará como referencia las normas UNE-EN 20354 e ISO 3741 sección 5, así como diversas recomendaciones de materiales y formas de construcción.

4.1 CARACTERISTICAS DE LA CÁMARA REVERBERANTE

La normativa UNE-EN 20354 exige ciertas características esenciales que debe cumplir una cámara reverberante. Se detalla a continuación las más importantes.

- El volumen de la cámara debe ser, aproximadamente, de 200 m^3 .
- La cámara debe permitir una gran difusión del campo sonoro, para lo que se necesitan difusores suspendidos (grandes placas que cuelgan del techo dispuestas de manera especial para provocar gran reverberación)
- El área de la muestra debe ser de 12 m^2 , en forma rectangular, dispuesto en el centro de la cámara

- La humedad relativa de la cámara debe ser superior al 40%, y la temperatura, superior a los 10°C.

4.2 ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA REVERBERANTE

4.2.1 VOLUMEN DE LA SALA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

El volumen de la cámara reverberante se ha seleccionado en función de la menor frecuencia en la banda de interés.

Para nuestro caso la frecuencia inferior será de 100Hz por lo que de acuerdo a la recomendación de la norma **ISO 3741 sección 5**, el volumen mínimo recomendado para la cámara reverberante es de 200 m³.

4.2.2. FORMA ARQUITECTÓNICA DE LA SALA.

No existe una forma ideal para la construcción de cámaras reverberantes, pero lo mejor es seleccionar formas no uniformes ni simétricas para que el campo reverberante producido en su interior sea lo mas difuso posible, evitando así focos de reverberación en distintos puntos de la cámara.

Se seleccionó la forma trapezoidal mostrada en la figuras 4.1a y 4.1b.

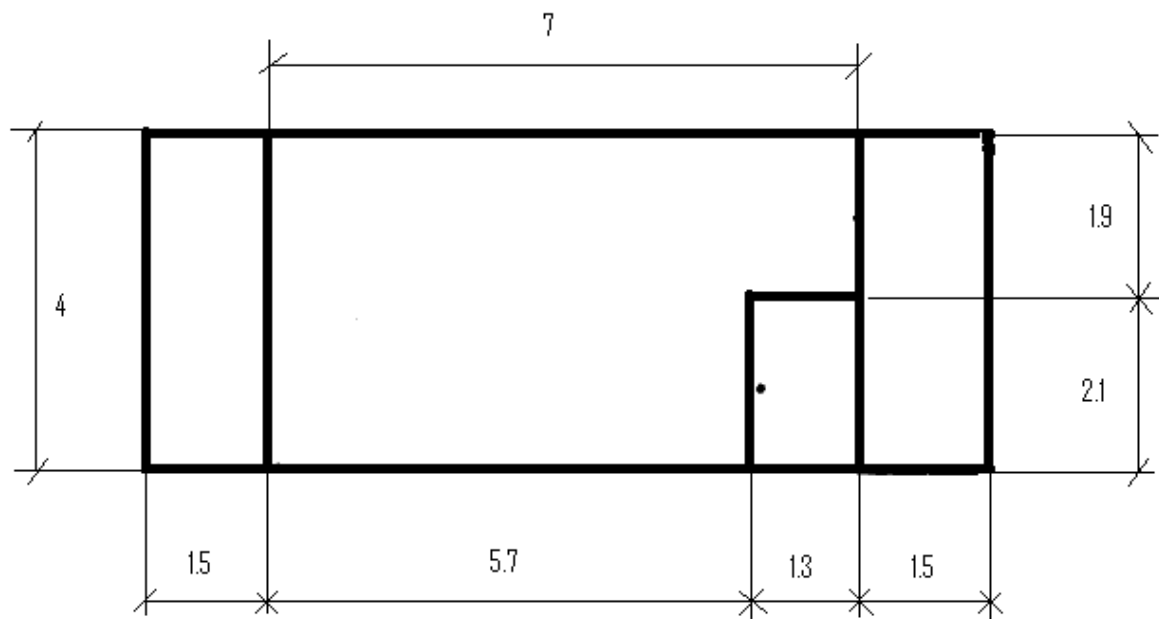


Fig. 4.1a. Vista frontal de la cámara reverberante (Medidas en metros).

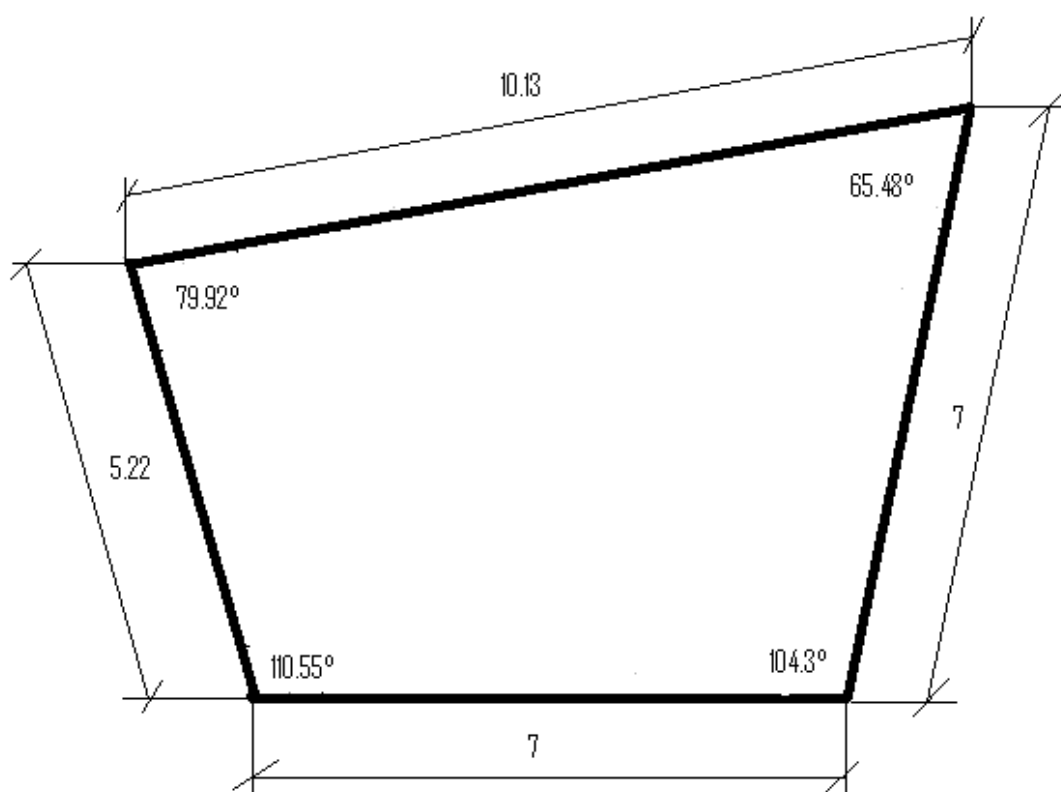


Fig.4.1b. Vista en planta de la cámara reverberante (Medidas en metros).

El área del piso es de 50m^2 y la altura de la cámara es de 4m, con lo que obtenemos un volumen de 200m^3 .

4.2.3. MATERIALES PARA REVESTIMIENTO INTERNO.

El éxito en el diseño acústico de cualquier tipo de recinto, una vez fijado su volumen y definida la forma, radica en primer lugar en la elección de los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del mismo, con objeto de obtener unos tiempos de reverberación óptimos.

Se seleccionó los siguientes materiales de la tabla 1.2 para los revestimientos y aislamientos:

- Ladrillo visto pintado
- Placa de yeso (Durlock)
- Lana de Vidrio
- Vidrio
- Espuma de poliuretano
- Azulejo
- Hormigón pintado

4.2.4 AISLAMIENTO ACÚSTICO DE LA CÁMARA REVERBERANTE.

Para el aislamiento contra ruido externo de la cámara reverberante se diseñó una estructura doble.

El interior (estructura interior) que se construirá usando paredes de concreto con un espesor de 0.3m revestido internamente con azulejos.

El exterior (estructura exterior) usando ladrillos de 24 x 11,5 x 6 cm pintados

Se separará las dos estructuras entre si por una capa de espuma de poliuretano.

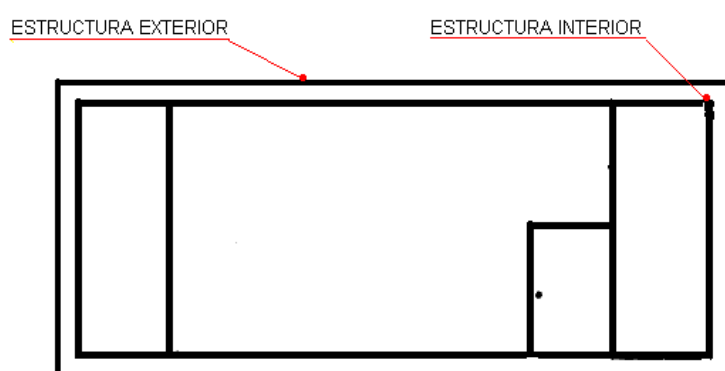


Fig. 4.2. Aislamiento acústico de estructura doble de la cámara reverberante.

4.2.4.1 Paredes internas

Se construirán con bloques de 20 x 14 x 7 cm, con enlucido interno de 5 cm. de arena fina y cemento, sobre la cual se colocará azulejos de 40 x 40cm

La parte exterior de las paredes internas estarán recubiertas con una malla metálica para producir el efecto de la jaula de Faraday, acompañado de un enlucido de 5 cm.

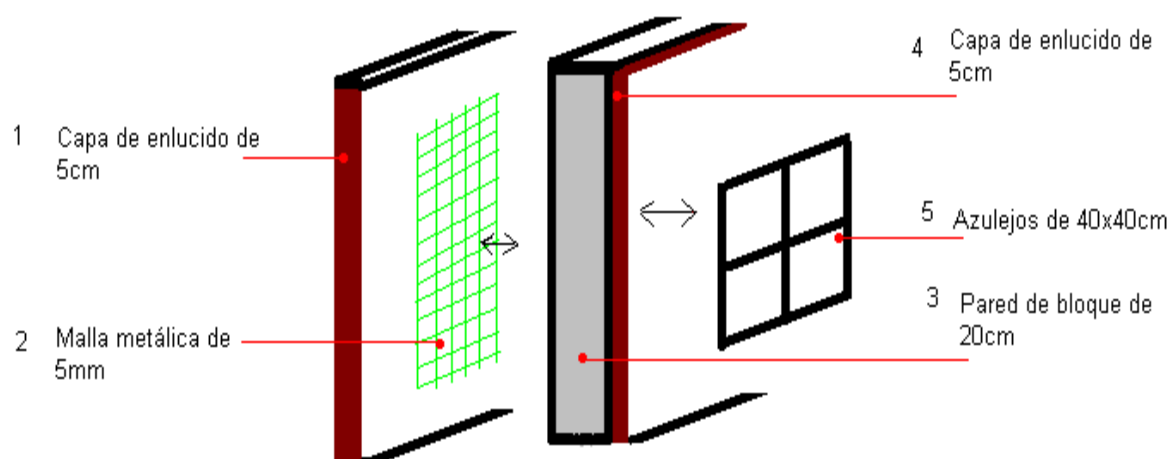


Fig. 4.3 Ensamblaje de la estructura interior de la cámara reverberante.

4.2.4.2 Paredes externas

Se construirá con ladrillos de 24 x 11,5 x 6 cm, revestidos de pintura blanca.

La separación de las estructuras externa e interna será de 15cm de ancho y se rellenará con espuma de poliuretano.

Las dimensiones finales de las paredes se pueden apreciar en la Fig. 4.4

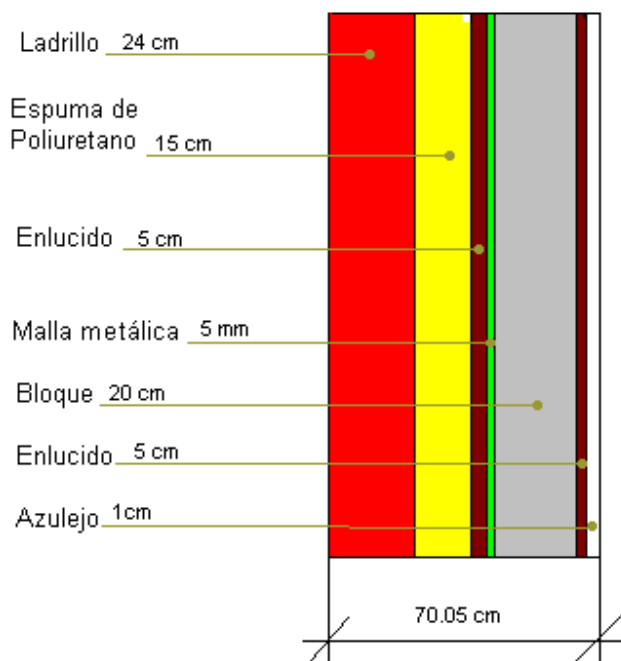


Fig. 4.4 Aislamiento acústico de la cámara reverberante

4.2.4.3 Puerta.

Se utilizará el concepto del “Tabique doble” para construir la puerta.

Está conformado por dos hojas de vidrio grueso de distintos espesores, en este caso 8mm y 10mm, fijados al marco mediante masilla de silicona.

En el borde interior se coloca una mezcla de material absorbente, (lana de vidrio para evitar condensaciones por diferencia de temperaturas), y gránulos de “silica gel”, que es un poderoso deshumectante.

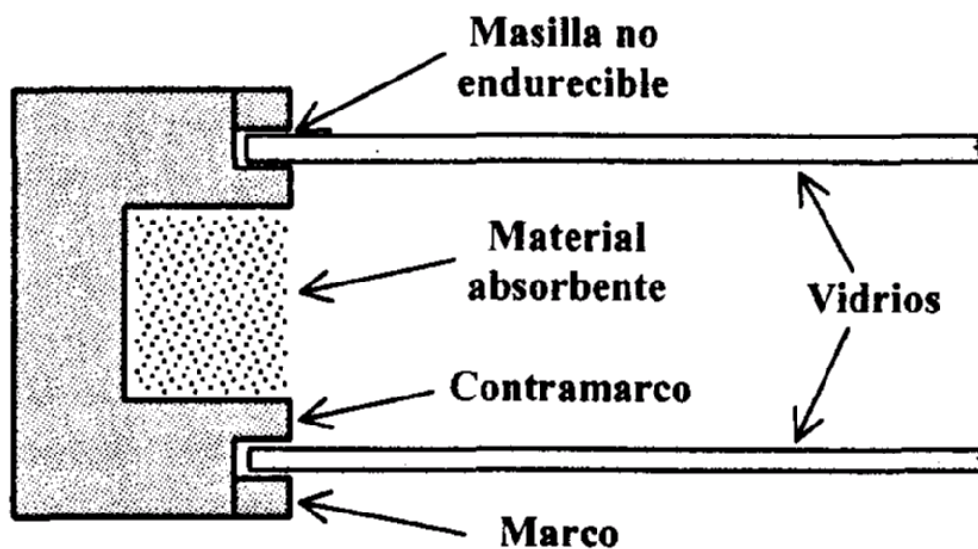


Fig. 4.5 Puerta tipo “Tabique Doble”

4.2.5 AISLAMIENTO CONTRA VIBRACIONES DE LA CÁMARA REVERBERANTE

4.2.5.1 Piso

Para el aislamiento contra la vibración externa se ha seleccionado un piso falso constituido por una placa inferior de yeso de 10cm de espesor y una placa superior de concreto de 5cm montadas sobre un perfil metálico tipo C.

Al igual que en las paredes se colocará una malla metálica bajo la placa de concreto superior y se rellenará el espacio entre las placas con lana de vidrio.

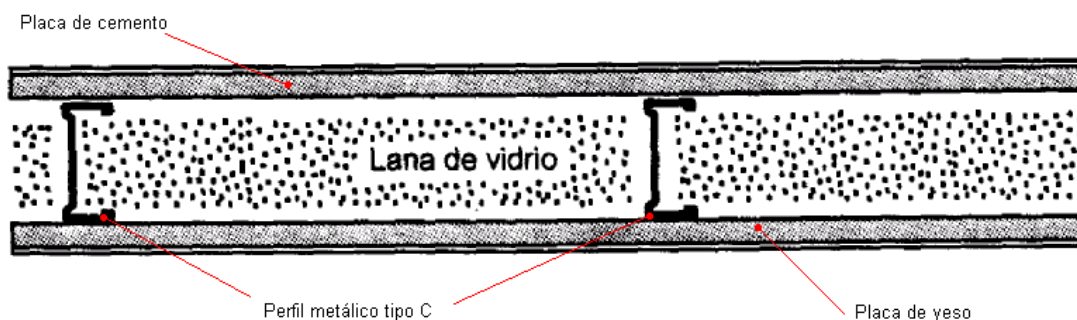


Fig. 4.6 Aislamiento del piso de la cámara reverberante

Finalmente se montará la placa inferior de yeso sobre resortes distribuidos en toda el área de la cámara, estos resortes deberán soportar 1tonelada cada uno.

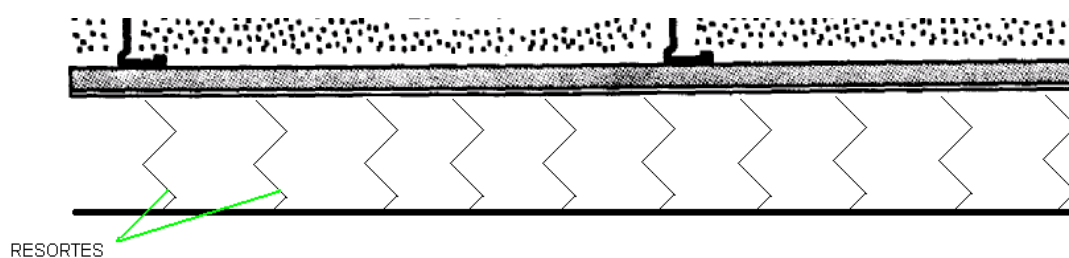


Fig. 4.7 Montaje del piso sobre resortes

4.2.5.2 Techo.

La construcción del techo se realizará con hormigón pintado donde se colocarán superficies difusoras convexas de madera MDF (**Medium-density fiberboard**), con velo acústico de Melamina, en forma indistinta con el fin de proporcionar un campo reverberante lo mas difuso posible.

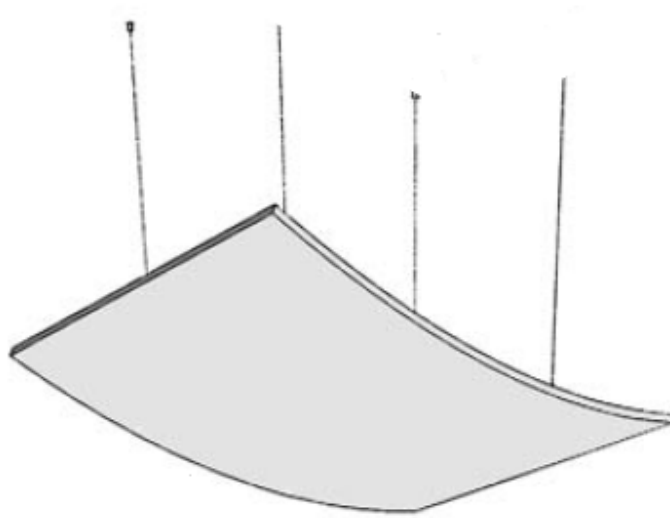


Fig. 4.8 Tablero de MDF convexo

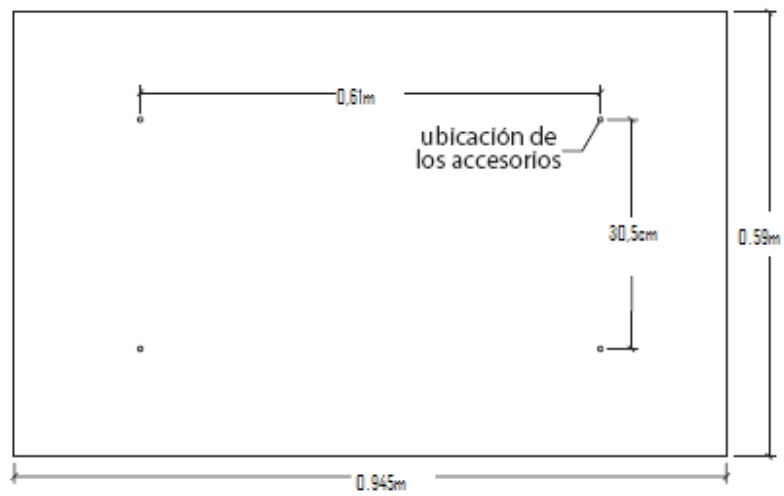


Fig. 4.9 Dimensiones de los tableros MDF

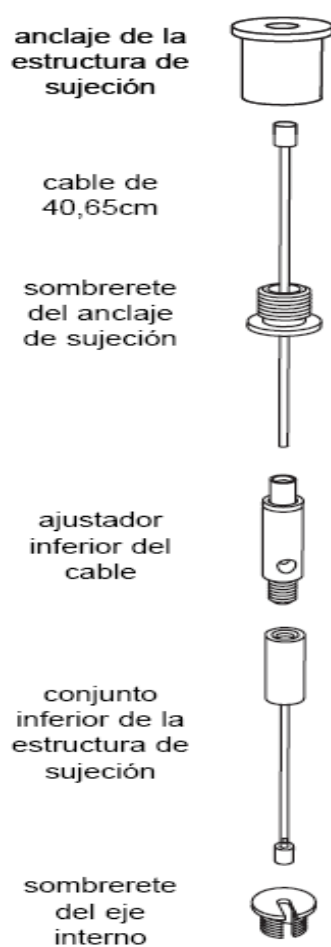


Fig. 4.10 Sistema de sujeción de Tableros MDF al techo

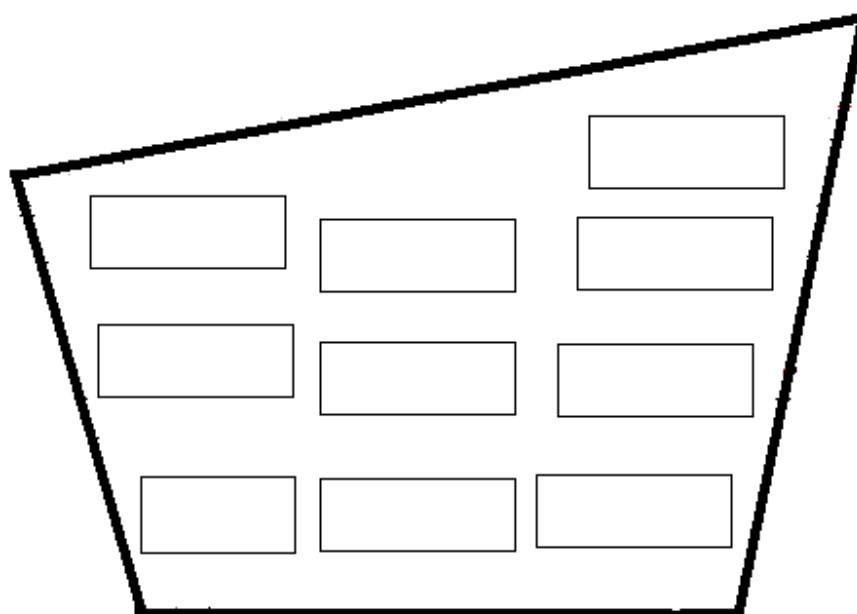


Fig.4.11 Distribución de los difusores convexos colgantes en la cámara reverberante

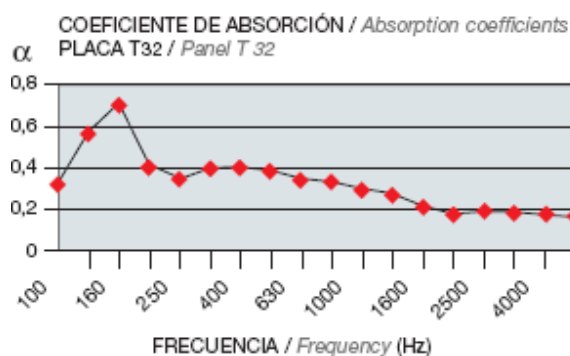


Fig. 4.12 Coeficientes de absorción de tableros MDF con recubierta de Melamina.

4.3 ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA ESTADÍSTICA.

Mediante el modelo de la teoría estadística se realiza el análisis de la reverberación en las cámaras acústicas. La reverberancia es un factor importante en el acondicionamiento acústico ya que determina la permanencia del sonido después de

suprimir la fuente acústica que lo produjo. Se mide por medio del tiempo de reverberación, que es el tiempo que tarda en atenuarse la energía sonora en el interior de la cámara acústica.

Para encontrar el tiempo de reverberación en el diseño utilizamos la formula de Sabine que se define como:

$$TR = \frac{0.161V}{A} ; \text{seg}$$

Para condiciones reales, el coeficiente promedio de absorción sonora se encuentra calculando el valor relativo del área de cada unidad mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

Donde S_1, S_2, \dots, S_n , son las áreas de las distintas unidades no uniformes; $\alpha_1 S_1, \alpha_2 S_2$, son las absorciones de cada unidad, S es el área total de todas las superficies internas de la cámara reverberante.

Dependiendo de la absorción acústica promedio de la cámara $\bar{\alpha}$, es decir, de si la cámara es muy absorbente o muy reverberante, la absorción A se analiza bajo las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} A &= S\bar{\alpha} & \bar{\alpha} < 0,2; \\ A &= -S \ln(1 - \bar{\alpha}) & \bar{\alpha} > 0,2; \end{aligned}$$

La absorción total de la cámara reverberante se determina mediante la fórmula:

$$A = \bar{\alpha} S = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

A partir del tiempo de reverberación, podemos determinar la *constante de la cámara* “*R*”, la misma que cuantifica la absorción total del sonido de una cámara reverberante donde se ha considerado el tiempo de reverberación de Sabine.

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{S}{\frac{t_{60}S}{0,161V} - 1} \quad \text{m}^2$$

A continuación presentamos un ejemplo de cálculo del coeficiente de absorción (α), Superficie de interna de la cámara, la Constante *R* y el tiempo de reverberación (*TR*) para la frecuencia **f=125Hz**.

Superficie total de la cámara reverberante (*S_T*):

$S_T = S_{\text{puerta}} (1.3 \times 2.1) + S_{\text{pared frontal}} ((7 \times 4) - 2.73) + S_{\text{pared posterior}} (10.13 \times 4) + S_{\text{pared lateral izquierda}} (5.22 \times 4) + S_{\text{pared lateral derecha}} (7 \times 4) + S_{\text{piso}} (\text{dato diseño } 50) + S_{\text{techo}} (\text{dato diseño } 50) + S_{\text{paneles Mdf}} (20 \times 0.59 \times 0.945).$

$$S_T = 2.73 + 25.27 + 40.52 + 20.88 + 28 + 50 + 50 + 11.15 \quad ;\text{m}^2$$

$$S_T = 228.55 \text{ m}^2$$

Coeficiente de absorción promedio de la cámara reverberante (α)

Para esto usamos datos de la Tabla 1.2 para el coeficiente de absorción

α_i para azulejo = 0.01

α_i para vidrio = 0.03

α_i para Tableros MDF = 0.50

Sustituimos los valores en la siguiente formula:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

$$\alpha \frac{(0,03 \times 2,73) + (0,01 \times 25,27) + (0,01 \times 40,52) + (0,01 \times 20,88) + (0,01 \times 28) + (0,01 \times 50) + (0,50 \times 11,15) + (0,01 \times 50)}{228,55}$$

$$\alpha \frac{0,08190 + 0,25270 + 0,40520 + 0,20880 + 0,28000 + 0,50000 + 5,57500 + 0,50000}{228,55}$$

$$\alpha \frac{7,80360}{228,55}$$

$$\alpha = 0,03414 \quad \text{donde se cumple que: } \alpha < 0,2;$$

Absorción total de la cámara reverberante

$$A = \alpha S = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

$$A = 0,03414 \times 228,55 \text{ m}^2$$

$$A = 7,80360 \text{ m}^2$$

Constante de la cámara reverberante (R)

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$$\frac{7,80360}{1 - 0,03414}$$

$$R = 1 - 0,03414$$

$$R = 8,07943 \text{ m}^2$$

ELEMENTO	$\alpha(f=125 \text{ Hz})$	$S_i(\text{m}^2)$	$\alpha \times S_i$
Puerta	0,03	2,73	0,08190
Pared Frontal	0,01	25,27	0,25270
Pared Posterior	0,01	40,52	0,40520
Pared Lateral Izquierda	0,01	20,88	0,20880
Pared Lateral Derecha	0,01	28	0,28000
Piso	0,01	50	0,50000
Paneles Mdf	0,50	11,15	5,57500
Techo	0,01	50	0,50000
Absorción (sala)			7,80360
$\alpha(\text{promedio})$			0,03414
Volumen(m^3)			200
TR(Seg)			4,1263

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=250Hz**.

ELEMENTO	$\alpha(f=250\text{Hz})$	$S_i(\text{m}^2)$	$\alpha \times S_i$
Puerta	0,02	2,73	0,05460
Pared Frontal	0,01	25,27	0,25270
Pared Posterior	0,01	40,52	0,40520
Pared Lateral Izquierda	0,01	20,88	0,20880
Pared Lateral Derecha	0,01	28	0,28000

Piso	0,01	50	0,50000
Paneles Mdf	0,4	11,15	4,46000
Techo	0,01	50	0,50000
Absorción (sala)			6,66130
α(promedio)			0,02914
Volumen(m³)			200
TR(Seg)			4,8338

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=500Hz**.

ELEMENTO	α (f=500Hz)	S_i (m²)	$\alpha \times S_i$
Puerta	0,02	2,73	0,05460
Pared Frontal	0,01	25,27	0,25270
Pared Posterior	0,01	40,52	0,40520
Pared Lateral Izquierda	0,01	20,88	0,20880
Pared Lateral Derecha	0,01	28	0,28000
Piso	0,01	50	0,50000
Paneles Mdf	0,4	11,15	4,46000
Techo	0,01	50	0,50000
Absorción (sala)			6,66130
α(promedio)			0,02914
Volumen(m³)			200
TR(Seg)			4,8338

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=1000Hz**.

ELEMENTO	$\alpha(f=1000\text{Hz})$	$S_i(\text{m}^2)$	$\alpha \times S_i$
Puerta	0,01	2,73	0,02730
Pared Frontal	0,01	25,27	0,25270
Pared Posterior	0,01	40,52	0,40520
Pared Lateral Izquierda	0,01	20,88	0,20880
Pared Lateral Derecha	0,01	28	0,28000
Piso	0,02	50	1,00000
Paneles Mdf	0,35	11,15	3,90250
Techo	0,02	50	1,00000
Absorción (sala)			7,07650
α(promedio)			0,03096
Volumen(m^3)			200
TR(Seg)			4,5502

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=2000Hz**.

ELEMENTO	$\alpha(f=2000\text{Hz})$	$S_i(\text{m}^2)$	$\alpha \times S_i$
Puerta	0,07	2,73	0,19110
Pared Frontal	0,02	25,27	0,50540
Pared Posterior	0,02	40,52	0,81040
Pared Lateral Izquierda	0,02	20,88	0,41760
Pared Lateral Derecha	0,02	28	0,56000
Piso	0,02	50	1,00000
Paneles Mdf	0,22	11,15	2,45300
Techo	0,02	50	1,00000
Absorción (sala)			6,93750
α(promedio)			0,03036
Volumen(m^3)			200
TR(Seg)			4,6414

Cálculo del coeficiente de absorción (α) y el tiempo de reverberación (TR) para la frecuencia **f=4000Hz**.

ELEMENTO	$\alpha(f=4000\text{Hz})$	$S_i(\text{m}^2)$	$\alpha \times S_i$
Puerta	0,04	2,73	0,10920
Pared Frontal	0,02	25,27	0,50540
Pared Posterior	0,02	40,52	0,81040
Pared Lateral Izquierda	0,02	20,88	0,41760
Pared Lateral Derecha	0,02	28	0,56000
Piso	0,02	50	1,00000
Paneles Mdf	0,2	11,15	2,23000
Techo	0,02	50	1,00000
Absorción (sala)			6,63260
$\alpha(\text{promedio})$			0,02902
Volumen(m^3)			200
TR(Seg)			4,8548

4.4 ANÁLISIS DE LA SALA MEDIANTE LA TEORÍA GEOMÉTRICA.

Esta teoría se la emplea con las primeras reflexiones de la curva de energía – tiempo, que caracteriza a una posición determinada de la sala. Consiste en aplicar las leyes de la óptica geométrica al sonido. Esta analogía entre el método geométrico en óptica y acústica es tanto mayor cuanto menor es la longitud de la onda sonora respecto a las dimensiones de las superficies reflectantes, esto significa que el método geométrico se puede emplear con exactitud solo cuando comparativamente se consideran grandes superficies reflectantes o bien cuando analizamos sonidos de media y alta frecuencia. Solo en el caso de grandes recintos, donde existe el peligro de aparición de ecos o de recintos con grandes superficies reflectantes donde existe la posibilidad del efecto de perturbación direccional de los rayos reflejados, o de recintos que tienen superficies curvas o con extraños rincones donde existe la posibilidad de concentraciones anómalas de energía, el carácter sonoro se determina mediante diagramas de rayos reflejados.

En el diseño de esta cámara reverberante no se considera la teoría geométrica ya que la cámara fue considerada para frecuencias bajas (dentro del campo audible) y para un volumen de 200 m^3 que es el requerimiento mínimo para este tipo de diseño

4.5 SISTEMAS ADICIONALES

4.5.1 ILUMINACIÓN

Se utilizará 6 lámparas frías de 60W (luz blanca), distribuidas en el interior de la cámara reverberante como se muestra a continuación.

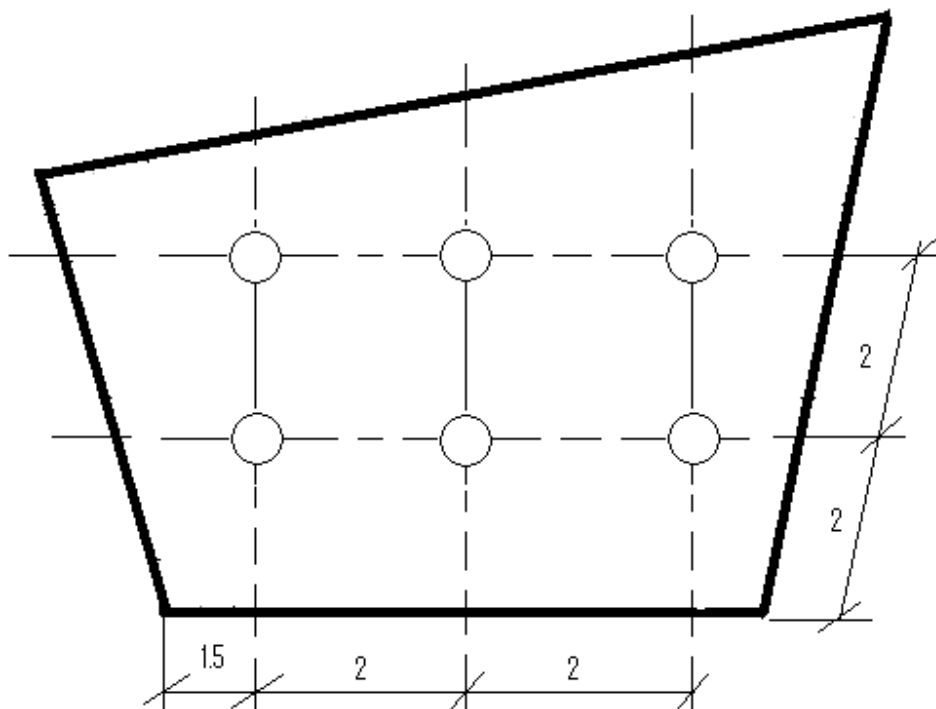


Fig. 4.13 Distribución de luminarias (Medida en metros)

4.5.2 PARÁMETROS ATMOSFERICOS

Como se indicó en los requerimientos de la cámara anecoica es necesario cumplir con ciertas condiciones climáticas para asegurar que el aire no influya en las mediciones a realizarse en el interior de la misma, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, en Quito tenemos los siguientes parámetros atmosféricos en promedio:

- Temperatura media del aire: 13.2°C
- Humedad relativa media: 75%
- Presión atmosférica media: 547,7 mmHg
- Densidad del aire: 0.001257 g/cm

Con lo que se cumple las condiciones establecidas en la norma UNE-EN 20354 para el diseño de una cámara reverberante.

4.5.3 SISTEMA DE VIDEO

Para poder observar cualquier anomalía en el interior de la cámara anecoica como mala posición de los equipos de medida, deterioro físico de los elementos constitutivos de la cámara, etc., se utilizará un sistema de CCTV compuesto por:

- 1 Cámara IP
- 1 Grabador de video con 36 horas de memoria continua
- 1 Cpu con teclado, mouse, monitor, tarjeta de red, impresora y DVD/RW.

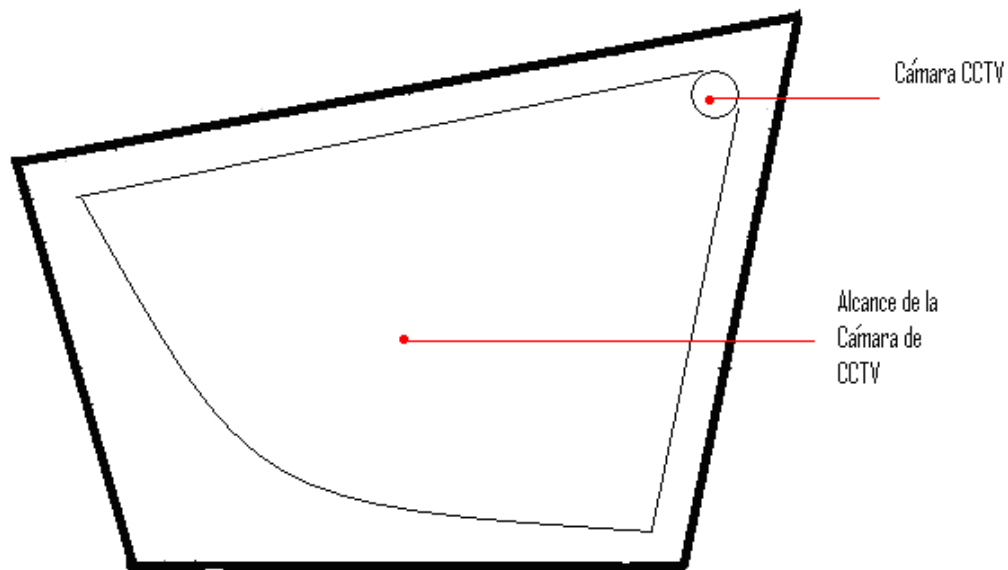


Fig. 4.14 Alcance de la cámara de CCTV

4.6 EQUIPAMIENTO PARA PRUEBAS.

4.6.1 AREA DE PRUEBA

La norma UEN-EN 20354 indica que para una cámara reverberante de volumen aproximado a 200m^3 , el área de la muestra debe ser de 12m^2 , en forma rectangular, para este efecto se marcara en el piso un rectángulo de 3 x 4m, y se colocara una fuente omnidireccional en el un extremo y el receptor en el otro como se muestra en la Fig. 4.15

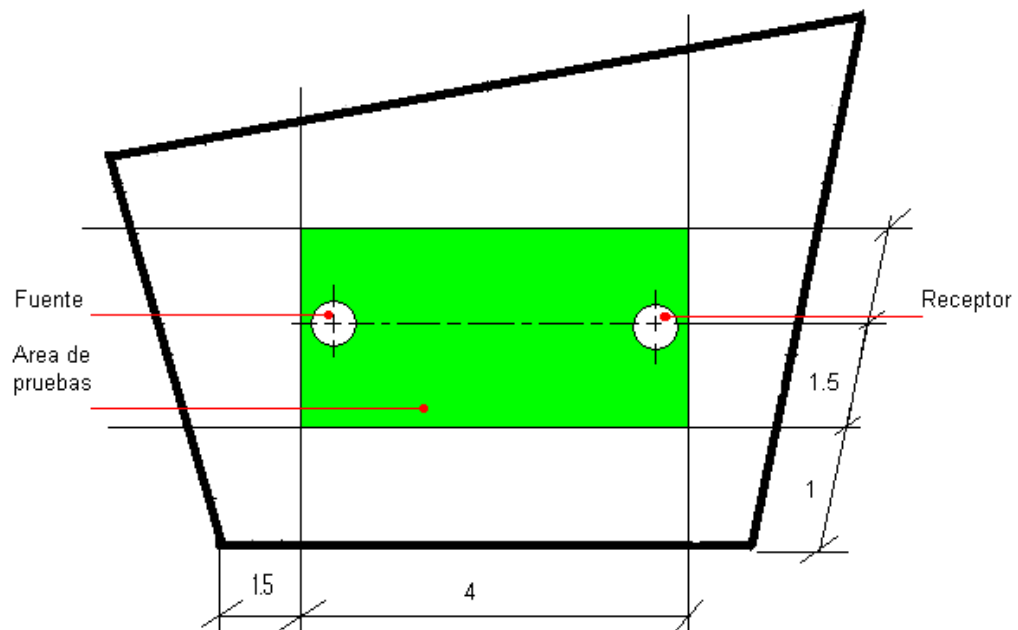


Fig. 4.15 Área para pruebas en la cámara reverberante (Medidas en metros)

4.6.2 EQUIPOS DE PRUEBA

Caja acústica autoamplificada de dos vías 210W

Marca: ALTO

Modelo PS-4

Costo: 320 E



Soporte Bafle 5614

Costo: 25 E



Micrófono omnidireccional profesional clip-condensador de baja sensibilidad, 20-20.000 Hz, 144 dB SPL max.

Marca DPA Microphones

Modelo DPA 4061-M

Costo: 350 E



Analizador acústico y de vibración

Marca LMS

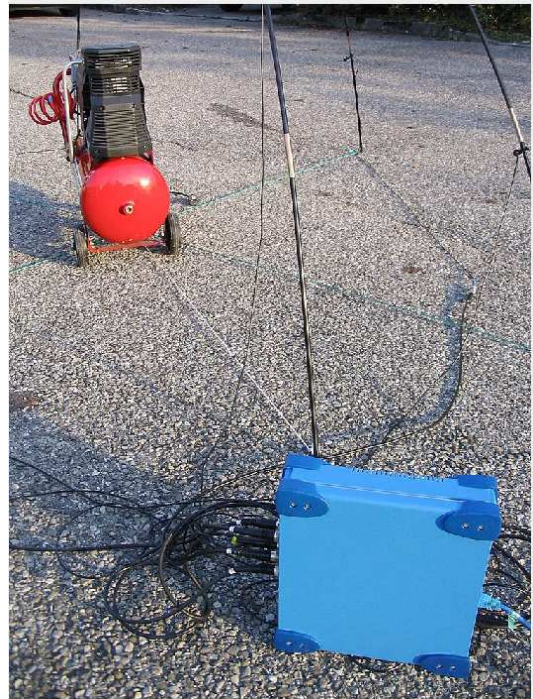
Costo: Varía entre 30.000 – 50.000 E



Analizador Acústico

OROS serie 3

Costo: varia entre 18.000 – 28.000 E



Fuente de presión acústica

Marca CESVA

Modelo FP 120

Costo: Varía entre 12.000 - 20.000 E



Computador portátil



Marca HP

Modelo Compaq 2510p Business Notebook PC

Costo: 1110 E

4.7 EJEMPLO DE PRUEBAS A REALIZARSE

A continuación se presenta un ejemplo práctico del tipo de pruebas que se pueden realizar en la cámara reverberante diseñada.

El proyecto fue desarrollado por el Grupo de Dispositivos y Sistemas Acústicos y Ópticos, (DISAO), del Departamento de Física Aplicada en la Escuela Politécnica Superior de Gandía; Universidad Politécnica de Valencia, ubicada en Grao de Gandía (Valencia) - España

NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA EMITIDO POR TUBOS FLEXIBLES PARA CONDUCCIONES DE AIRE ACONDICIONADO

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el procedimiento seguido para comparar el ruido producido por tubos flexibles de diferentes diámetros y con distintas lanas acústicas absorbentes, construidos para el uso en sistemas de aire acondicionado, con los proporcionados por tubos rígidos, y se comparan con medidas para tubos rígidos. Las medidas de potencia acústica se han realizado en cámara reverberante siguiendo aproximadamente el procedimiento marcado por la normativa

INTRODUCCIÓN

El ruido en las instalaciones es uno de los problemas que se aborda con mayor profundidad en el borrador del nuevo Código Técnico de la Edificación. Además, en los últimos años el uso de sistemas de aire acondicionado ha tenido un aumento considerable: ha pasado de ser una instalación poco común en la vivienda a estar incluida de manera habitual en la gran mayoría de viviendas de nueva construcción (o por lo menos, una preinstalación básica basada en conductos). El problema del ruido que este tipo de instalaciones produce, suele tener difícil solución en obras ya realizadas, y debe hacerse un estudio en fase de proyecto de la instalación completa, desde el compresor hasta la rejilla o el difusor de salida.

Una de las variables que el ingeniero acústico debe conocer es la potencia acústica que el sistema produce. Normalmente, el diseño se basa en la búsqueda del caudal adecuado de salida a través del difusor, es decir, los metros cúbicos de aire acondicionado por hora que deben entrar en un recinto determinado. Este dato de entrada debe servirnos en el diseño del sistema desde el punto de vista de la potencia acústica del ruido generado. Cada vez es más común tener curvas que relacionan ambos elementos.

Las conducciones en las que se basa el sistema de aire acondicionado puede estar formado por elementos rígidos (acero galvanizado, etc.), o conducciones en forma de sándwich (por ejemplo, lámina de aluminio, lana acústica y lámina de aluminio). En este último caso existen soluciones en forma de “oruga” que permiten un mejor manejo de ciertas terminaciones.

Se presenta un trabajo donde se ha medido la potencia acústica de tubos flexibles de diferentes diámetros y con distintas lanas acústicas absorbentes, contruidos para el uso en sistemas de aire acondicionado, y se comparan con medidas para tubos rígidos.

POTENCIA ACÚSTICA RADIADA POR UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

La potencia acústica de ruido emitido por salidas de aire, unidades de salida, reguladores y válvulas mediante medición en sala reverberante se realiza según la norma UNE-EN ISO 5135

La norma internacional ISO 5135 define los requisitos para el ensayo acústico en cámaras reverberantes de los equipos tales como unidades de salida de aire, reguladores y válvulas en sistemas de difusión y distribución de aire. Esta basada en el empleo de la norma ISO 3741, la cual describe las instalaciones de ensayo acústico, la instrumentación y los procedimientos que se deben usar para la determinación de los niveles de potencia acústica en bandas de octava o tercio de octava, con precisión de laboratorio, emitidos por fuentes de ruido. Además describe dos métodos a través de los cuales se determinará la potencia de la fuente bajo estudio, calificados como métodos de precisión de grado 1, de los cuales se ha elegido el procedimiento directo. Éste último ha sido el que se ha elegido para los ensayos y permite calcular el nivel de potencia sonora de la fuente a partir del nivel de presión medido en la cámara reverberante así como del tiempo de reverberación y volumen de la misma. La potencia acústica vendrá dada por la siguiente expresión

$$L_w = \bar{L}_p + \left\{ 10 \log \frac{A}{A_0} + 4.34 \frac{A}{S} + 10 \log \left(1 + \frac{Sc}{8Vf} \right) - 25 \log \left[\frac{427}{400} \frac{B}{B_0} \sqrt{\frac{273}{273 + \theta}} \right] - 6 \right\} \text{ dB}$$

donde para cada banda de frecuencia considerada:

L_w	es el nivel de potencia sonora de la fuente bajo estudio (dB);
\bar{L}_p	es el nivel de presión acústica medio en la cámara reverberante (dB);
A	es el área de absorción equivalente de la cámara reverberante (m ²);
A_0	= 1 (m ²);
S	es la superficie total de la cámara reverberante (m ²);
V	es el volumen de la cámara (m ³);
f	es la frecuencia central de la banda correspondiente (Hz);
θ	la temperatura (°C);
B	es la presión atmosférica (Pa);
B_0	= 1.013 × 10 ⁵ (Pa);
c	es la velocidad del sonido a la temperatura θ , $c = 20.05 \sqrt{273 + \theta}$ (m/s).

Finalmente el término 4.34 A/S fue añadido para tener en cuenta la absorción del aire en cámara de ensayo. La aplicación de esta fórmula, combinado con el

procedimiento descrito en la norma, nos permite la obtención de la potencia acústica buscada, que se tabula en función del caudal.

MEDIDAS

En la figura 4.16 se muestra la fotografía de uno de los tubos medidos en cámara reverberante. El tubo mide en tramo recto 4 m. El elemento a medir es un tubo oruga compuesto por un sándwich de aluminio, lana de poliéster y aluminio. La sonda de medida del caudal se coloca en la boca de salida, en el centro. En la parte superior de la cámara (no visible), se encuentra el sistema que alimenta al tubo. Para todas las medidas se mantienen constantes todos los elementos, cambiando sólo el tubo a medir.



Fig. 4.16 Ejemplo de tubo medido

En la figura 4.17, se muestra la evolución del espectro en frecuencia para diferentes diámetros de tubo, a la potencia acústica constante global de 15 dBA. En las figuras 4.18 Y 4.19 se realiza la misma comparativa, para potencias de 20 y 25 dBA.

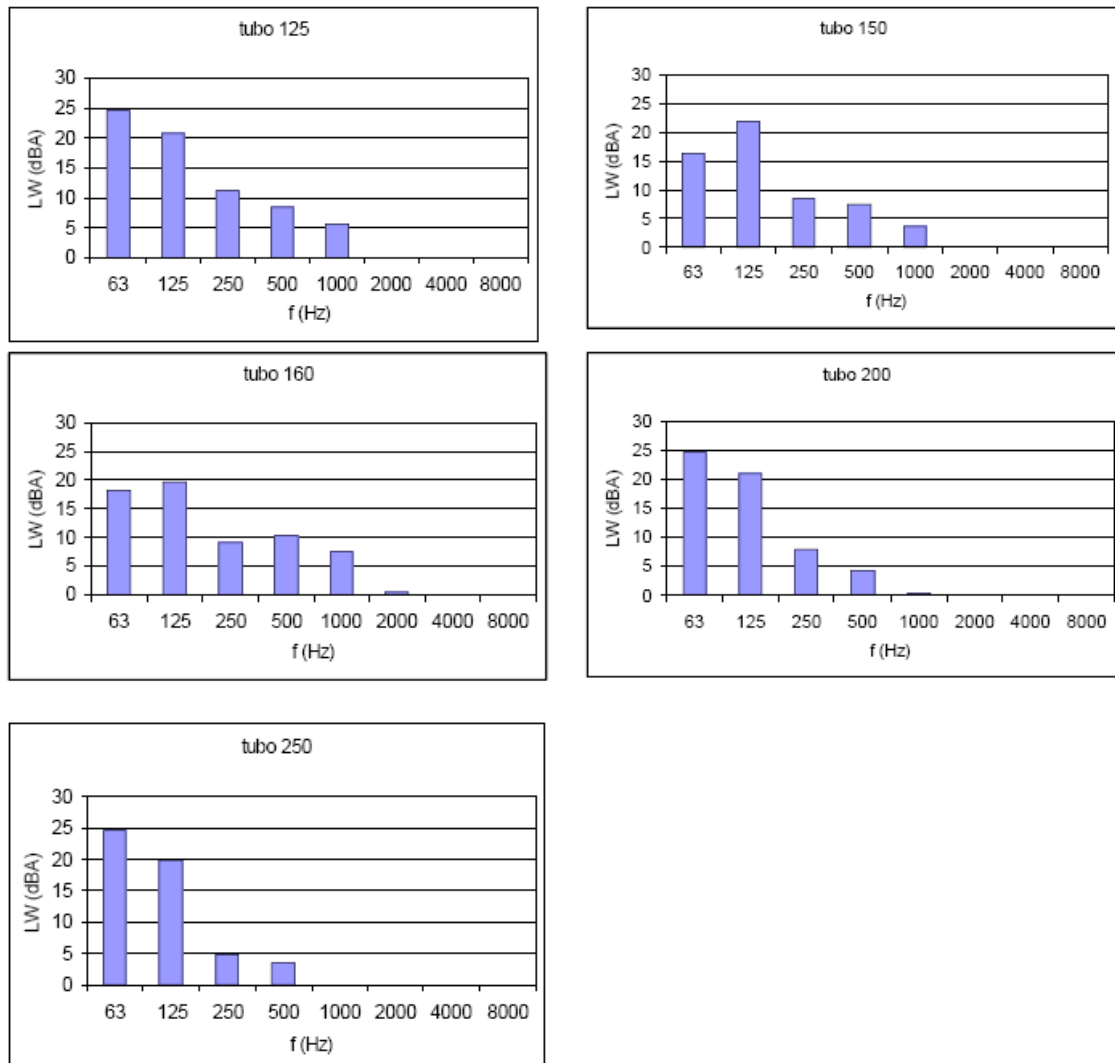


Fig. 4.17 Evolución del espectro de ruido para diferentes diámetros (en mm) para una potencia acústica global de 15 dBA

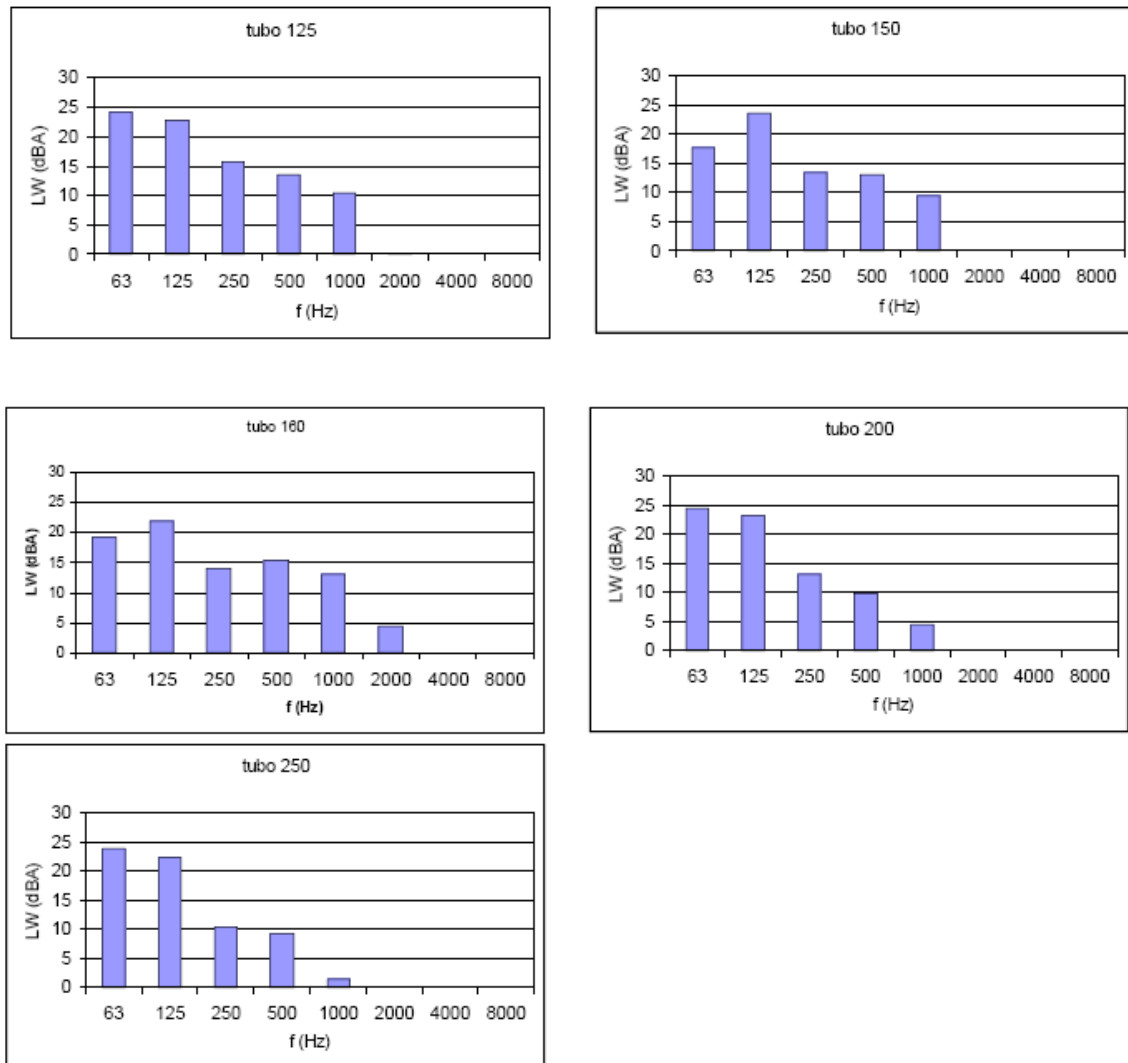


Fig. 4.18 Evolución del espectro de ruido para diferentes diámetros (en mm) para una potencia acústica global de 20 dBA

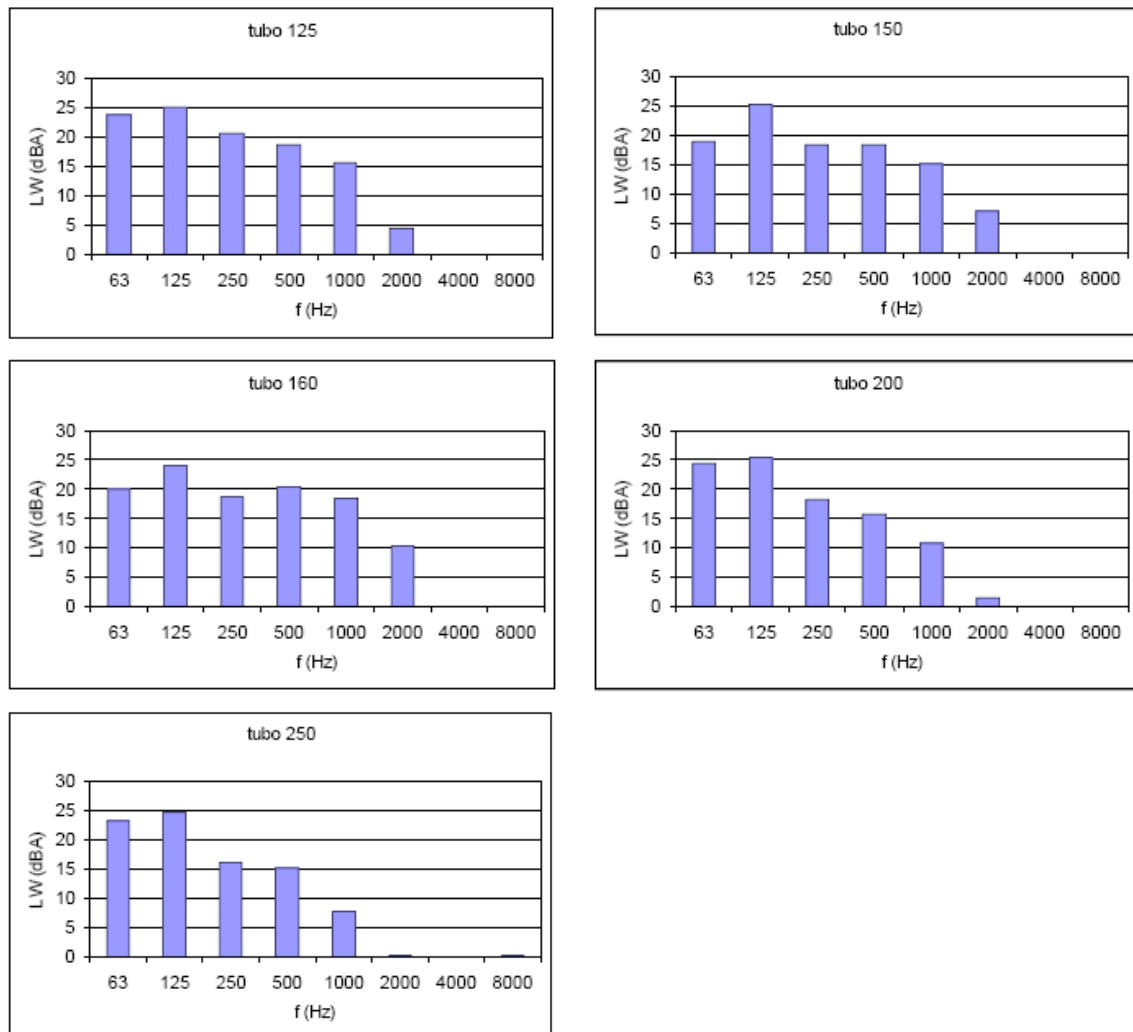


Fig. 4.19 Evolución del espectro de ruido para diferentes diámetros (en mm) para una potencia acústica global de 25 dBA

En la figura 4.20 se muestra un ábaco obtenido para poder determinar de forma sencilla, el caudal en función de la potencia acústica de ruido, la cual se mantiene constante. Se ha incluido, además el ajuste lineal, el cual presenta una correlación buena. En la figura 4.21, se ha realizado el mismo ábaco, con el caudal constante.

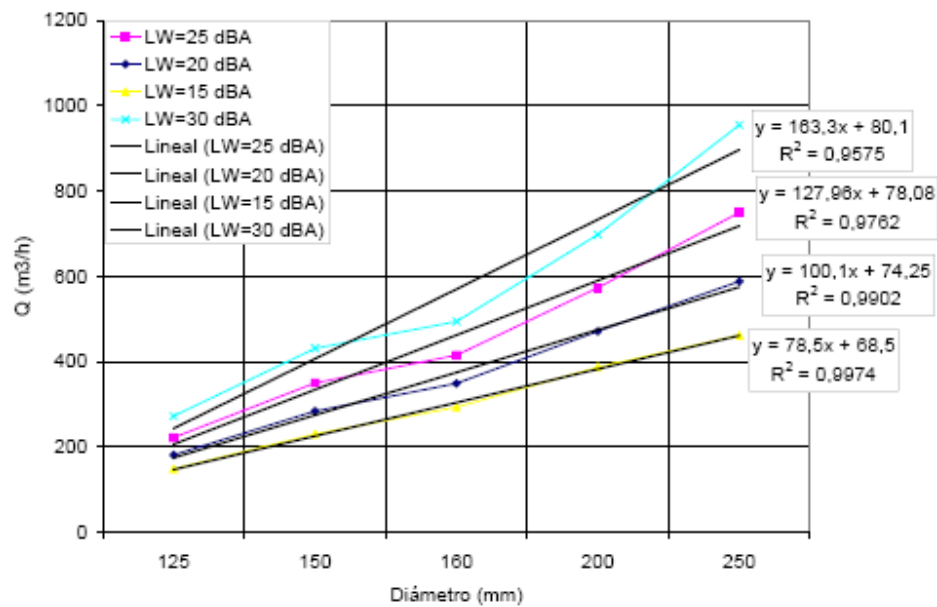


Fig. 4.20 Caudal en función del diámetro, a potencia acústica constante

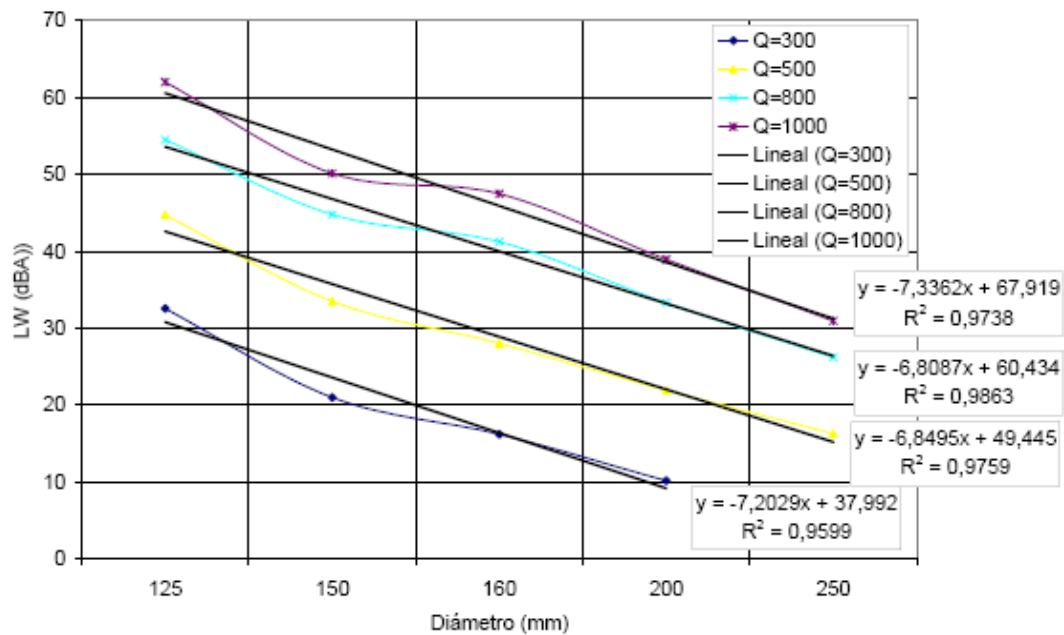


Fig. 4.21 Potencia acústica en función del diámetro, a caudal (m³/h) constante

En la figura 4.22 se muestra una comparativa de mediciones de estos tubos flexibles respecto a tubos rígidos del mismo diámetro de acero galvanizado.

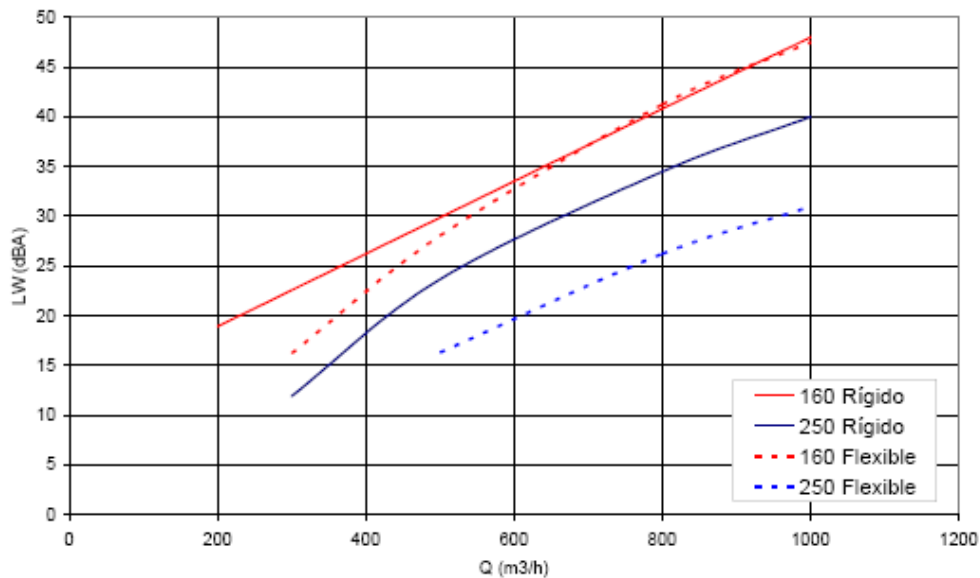


Fig. 4.22 Potencia acústica en función del diámetro, a caudal (m³/h) constante

CAPITULO 5

EFFECTOS DEL RUIDO EN LOS SERES HUMANOS

Los sonidos son vibraciones transmitidas por el aire que pueden ser percibidas por el oído humano e interpretadas por el cerebro. Los sonidos se caracterizan por su intensidad, por el conjunto de sus frecuencias y las variaciones de ambas en el tiempo. Las personas pueden interpretar los sonidos como señales o **ruido**, distinguiéndose las primeras como portadoras de información útil mientras que los ruidos serán sonidos indeseables que perturban ya sea por interferir con la audición de las señales, por sus intensidades o frecuencias desagradables o por transmitir información indeseable. Los sonidos pueden ser generados por múltiples fuentes y se expanden en todas las direcciones cuando se difunden en un campo abierto.

Es difícil definir al ruido con precisión, existen definiciones que giran en un entorno que definen al ruido como sonido no deseado (esta definición es la más difundida y la que más aceptación tiene en la comunidad), sonido perjudicial o dañino para quién lo percibe; técnicamente, el ruido es un tipo de energía secundaria de los procesos o actividades que se propagan en el ambiente desde la fuente productora hasta el receptor a una velocidad determinada y disminuyendo su intensidad con la distancia y el entorno físico.

5.1 RUIDO.

El **ruido** o **sonido no deseado** se ha definido como un “conjunto de sonidos que producen en el hombre un efecto desagradable en razón a su molestia evidente, del cansancio, de la perturbación y, en algunos casos del dolor producido”. Su consideración para el derecho ambiental nace como una simple perturbación, para transformarse después en una verdadera contaminación por formas de energía: **la contaminación acústica**.

5.1.1 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.

La contaminación acústica es considerada por la mayoría de los seres humanos como un factor medioambiental muy importante que incide de manera principal en su calidad de vida. Este término hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir un sonido que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para un ser humano.

La contaminación acústica posee características peculiares respecto de otras formas de contaminación. El ruido a diferencia de otros contaminantes no deja residuos sólidos, líquidos o gaseosos, esto se debe a que el sonido es un medio de comunicación, de expresión y de comprensión entre los seres vivos y su entorno. Las

personas afectadas por la contaminación acústica pueden ser trabajadores en el ámbito de su trabajo, ciudadanos al interior de sus viviendas, usuarios de los medios de transporte públicos o privados, transeúntes, etc. Por lo general las fuentes de ruido causantes de la contaminación no pueden ser controladas por el afectado.

La denominada contaminación acústica perturba las distintas actividades sociales, interfiriendo la comunicación hablada, perturbando el sueño, el descanso y la relajación; impidiendo la concentración y el aprendizaje y, lo que es más grave, creando estados de cansancio y tensión que pueden terminar en enfermedades de tipo nervioso y cardiovascular.

5.1.2 FUENTES DE RUIDO.

Existen dos fuentes principales productoras de ruido.

- Fuentes Naturales, como el viento, la lluvia, las tormentas eléctricas, el sonido del mar, el murmullo del agua, las erupciones de los volcanes, el sonido producido por los animales, etc.
- Fuentes antropogénicas, aquellos ruidos que son causados por actividades humanas, entre las que tenemos:
 - Ruido producido por la circulación del tráfico debido a la inadecuada e insuficiente estructura vial.
 - Ruido producido por los motores de los aviones en las pistas o en los talleres de comprobación y reparación de motores de reacción.
 - Ruido producido por el tráfico ferroviario.
 - Ruido producido por el incremento de tráfico aéreo, lo que origina la construcción de nuevos aeropuertos los cuales se encuentran cercanos a las ciudades, y la existencia de zonas habitada en las

trayectorias de vuelo durante el despegue y aterrizaje de los aviones.

- Ruido ocasionado por la industria principalmente por la metalúrgica y la textil.
- Ruido ocasionado por las imprentas.
- Ruidos generados en las oficinas, por las computadoras, impresoras, copiadoras, el público, los sistemas de ventilación, los teléfonos, etc.
- La inexistente e insuficiente insonorización de los edificios.
- Ruidos ocasionados por las obras públicas.
- Los ruidos originados en las discotecas, bares y lugares de ocio.
- Ruidos generados por los potentes motores utilizados en la industria naval, centrales térmicas.
- Ruido producido por las actividades militares de orden público.
- Otras fuentes que producen, como lo son los ruidos de vecindad, la recolección de la basura, cortadores de césped motorizados, elementos para la limpieza urbana, mercados, etc.
- Fuente de ruido para uso de los laboratorios, son un conjunto formado por un generador de ruido Rosa y Blanco y un amplificador de potencia. El AP600 ha sido especialmente diseñado para generar y reproducir señales. Gracias a su salida de ruido interno y su entrada para ruido externo puede ser utilizado como generador de ruido + amplificador, solo como generador de ruido o solo como amplificador. Además permite insertar entre el generador de ruido y el amplificador equipos suplementarios de tratamiento de la señal como ecualizadores o compresores.

5.1.3 EFECTOS ADVERSOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD

Los efectos negativos del ruido sobre la salud de los seres humanos y el bienestar de la comunidad han sido estudiados por investigadores de todo el mundo.

La diversidad de los efectos provocados por el ruido en el ser humanos es amplia, algunos de ellos han sido identificados y son cuantificables mientras que otros aun no han sido claramente determinados. En muchas ocasiones nos encontramos con la dificultad de cuantificar las variables subjetivas como lo son la molestia y el estado de ánimo. La elección de escalas representativas, la interpretación de éstas, son algunas de las dificultades más comunes.

Por otra parte, en determinadas ocasiones se deben medir las reacciones fisiológicas que requieren del empleo de tecnologías caras poco disponibles e incluso aun no existentes.

Otro factor que impide la posibilidad de dar conclusiones es la existencia de múltiples factores distintos al ruido que son capaces de provocar los mismos síntomas.

Dados estos antecedentes clasificaremos los efectos del ruido sobre los seres humanos en tres grandes grupos:

- Efectos Auditivos.
- Efectos Fisiológicos no auditivos.
- Efectos Psicosociales.

5.1.4 EFECTOS AUDITIVOS

Debido que el oído es el principal órgano receptor de los sonidos, éste es el más afectado en una sobrecarga acústica, por tal razón los efectos auditivos del ruido constituye la consecuencia más directa y cuantificable del ruido en los seres humanos. El exceso de presión sonora que llega al oído provoca pérdidas de sensibilidad auditiva temporal o permanente, experimentándose dolor en el oído.

5.1.4.1 Pérdida auditiva

La pérdida auditiva es el efecto del ruido que más ha sido investigado, la exposición a ruidos que contienen gran cantidad de energía acústica puede ocasionar desplazamientos de los umbrales de audición, los mismos que son ascendentes, es

decir, que después que se producen los sonidos requerirán mayores niveles de presión sonora para ser escuchados.

Los desplazamientos de los umbrales auditivos por exposición al ruido pueden ser temporales o permanentes, conocidos como: TTS (*temporal threshold shift*) y PTS (*permanent threshold shift*), respectivamente.

5.1.4.1.1 Desplazamiento temporal (TTS)

Tras una breve exposición a niveles de ruido, relativamente intensos, se produce, de forma temporal un desplazamiento del umbral auditivo inducido por el ruido que ocasiona una pérdida temporal de la audición. Cuando cesa la exposición al ruido el nivel de audición que se tenía con anterioridad a la exposición acústica se recupera en poco tiempo. La recuperación de la audición está en función de la intensidad del desplazamiento, el tipo y tiempo de exposición y la susceptibilidad individual.

5.1.4.1.2 Desplazamiento permanente (PTS)

La exposición excesiva y prolongada a un estímulo acústico puede producir efectos graves y permanentes sobre la audición, por lesiones, de mayor o menor gravedad sobre el oído interno. La exposición prolongada al ruido ocasiona un desplazamiento permanente del umbral de audición inducido por el ruido y, consecuentemente una alteración irreversible sensorineural.

La organización mundial de la salud OMS, considera que los 50 dB (decibeles) como límite superior deseable. Si se sobrepasa esta cifra se corre el riesgo de sufrir una disminución importante de la capacidad auditiva.

La deficiencia auditiva se produce principalmente en la banda de frecuencia de 3000 a 6000 Hz. el efecto más grande (**HIPOACUSIA**) ocurre a los 4000 Hz.

Determinados tipos de sonidos pueden provocar además de la fatiga o muerte de las células ciliadas, desgarros del tímpano y luxaciones de los huesosillos del oído medio. Los ruidos involucrados en este tipo de trauma son impulsivos (como

disparos, explosiones, etc.), según cual sea la posición de nuestro cuerpo a este tipo de ruidos, el daño puede producirse en un oído o en los dos.

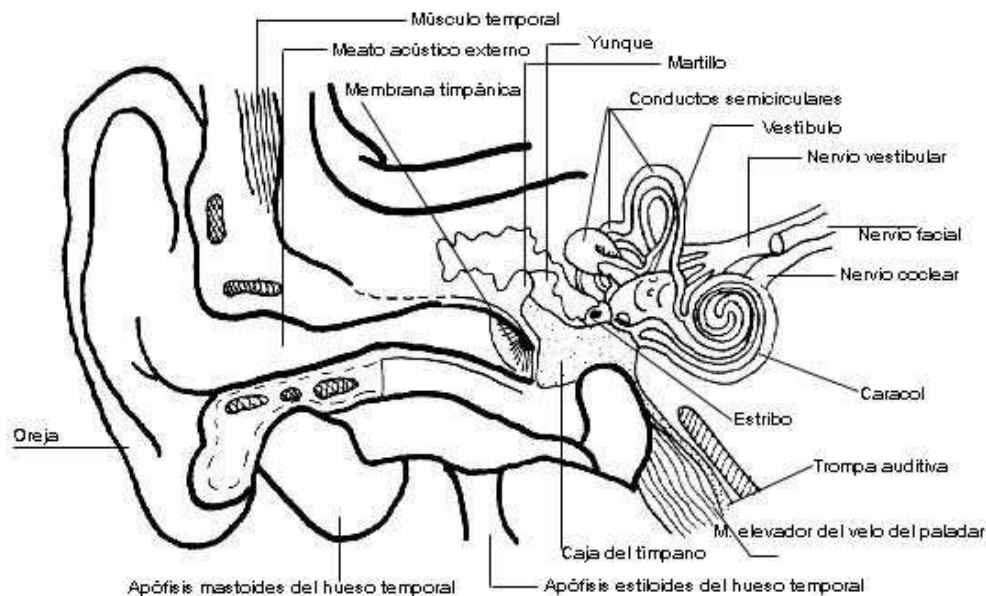


Fig. 5.1 Oído Humano (corte frontal)

Para evitar la pérdida de la audición debido a la exposición de ruidos impulsivos las presiones sonoras máximas nunca deben exceder de 140 dB para los adultos y 120 dB para los niños.

La principal consecuencia social de la deficiencia auditiva es la incapacidad para escuchar lo que se habla en la conversación cotidiana, eso se considera una limitación social grave, incluso los valores mínimos de deficiencia auditiva (10 dB en una frecuencia de 2000 Hz a 4000 Hz y en ambos oídos) pueden perjudicar la comprensión del habla.

El ruido interfiere en la comunicación oral, la mayor parte de la energía acústica del habla está en la banda de frecuencia de 200 a 6000 Hz con una intensidad variable entre 30 y 70 dB y la señal mas constante es de 300 a 3000 Hz.

La interferencia en el habla es básicamente un proceso de enmascaramiento.

5.1.4.2 Enmascaramiento

Se habla de enmascaramiento “masking”, cuando la presencia de un ruido oculta a otro sonido. El ruido enmascarador es aquel que impide o reduce la escucha del sonido enmascarado. Este concepto está asociado a la idea del ruido que dificulta o imposibilita la audición de un mensaje que desea escucharse, por tal razón al enmascaramiento se lo suele tratar como ruido, mientras que al enmascarado nos referimos como sonido.

La presencia de un ruido (enmascarador) reduce la sonoridad de los otros sonidos (enmascarados), en general, los ruidos de mayor intensidad enmascaran a los sonidos de menor intensidad.

En otras palabras se puede decir que el enmascaramiento consiste en el incremento del umbral de auditividad de un determinado sonido debido a la presencia de otro sonido (ruido).

La magnitud del desplazamiento del umbral del sonido enmascarado depende de las propiedades físicas de ambos sonidos. En particular de los niveles de intensidad, contenido espectral y dinámica temporal de los sonidos involucrados. Algunas frecuencias enmascaran con mayor facilidad a otras.

El tipo de enmascaramiento muchas veces descrito a veces es denominado enmascaramiento directo. El cual sucede cuando los receptores del oído que son estimulados por un sonido de cierta frecuencia también son excitados por sonidos de frecuencias coincidente o aledaña. El enmascaramiento directo o simplemente enmascaramiento es el más frecuente y significativo en cuanto a sus efectos, existiendo otros tipos de enmascaramientos, como el enmascaramiento remoto, central y temporal.

La incapacidad para comprender el habla genera problemas personales y cambios en la conducta. Los grupos mas afectados por las interferencias auditivas son los ancianos, los niños que están en el proceso de aprendizaje de la lengua y de la lectura, y los individuos que no están familiarizados con el lenguaje que están escuchando.

En el ámbito laboral, el enmascaramiento tiene consecuencias como.

- Disminución de la seguridad, ya que el trabajador recibe con dificultad el aviso de un posible peligro.
- Disminución de las posibilidades de formación del trabajador ya que la comunicación oral queda parcialmente afectada.
- Obligación al trabajador a utilizar una intensidad vocal alta, realizando un sobreesfuerzo vocal que le puede hacer desarrollar una disfonía disfuncional.

5.1.4.3 Dolor en el oído

Cuando la presión acústica en el oído es elevada se producen sensaciones de incomodidad, esto suele suceder para niveles comprendidos entre los 80 dB y 100 dB. Cuando los niveles de presión sonora son aún superiores la incomodidad se transforma en dolor.

En determinados casos particulares como la presencia de alguna afección auditiva los umbrales de dolor descienden, entonces, cuando existe alguna inflamación en el oído es probable que basten 80 dB para producir dolor.

5.1.5 EFECTOS FISIOLÓGICOS NO AUDITIVOS

Los efectos fisiológicos no auditivos involucran todas aquellas alteraciones sobre el normal funcionamiento del organismo que se producen como consecuencia de la exposición al ruido.

Algunas de las alteraciones físicas pueden ser advertidas por el individuo expuesto al ruido, como el caso de la fatiga corporal, las náuseas, las respuestas reflejo y el dolor de cabeza entre otros. En cambio muchas anomalías que sufre el organismo a nivel funcional pueden pasar inadvertidos por el sujeto afectado, como por ejemplo las alteraciones gastrointestinales y los trastornos cardiovasculares.

Algunos de los efectos fisiológicos extra-auditivos son temporales y no dejan secuelas clínicas significativas como por ejemplo la respuesta reflejo a un ruido de corta duración y alto nivel. Sin embargo algunos efectos no auditivos del ruido

pueden tener consecuencias terribles e irreversibles como por ejemplo, ciertos daños cardiovasculares.

5.1.5.1 Efectos fisiológicos conscientes.

Dentro de este grupo se encuentran los efectos del ruido que son reconocibles por el individuo en el momento de ocurrencia lo cual no implica que necesariamente el ser humano asocie su causa al ruido, ya que el afectado podría sentir conscientemente los síntomas sin identificar su causa.

Dentro de los principales efectos tenemos:

5.1.5.1.1 Respuesta reflejo.

La respuesta reflejo consiste de una contracción involuntaria de los músculos de las extremidades y columna como consecuencia de un sonido abrupto e inesperado. Este reflejo prepara al individuo para tomar acción frente a una posible situación de peligro la cual podría estar siendo alertada por el ruido. La respuesta reflejo también está acompañada de parpadeo o cierre momentáneo de los ojos, lo que cumple la función de protegerlos frente a un posible impacto frontal.

Es común que la respuesta reflejo este acompañado de un movimiento de la cabeza en dirección hacia la fuente del ruido, en búsqueda de su identificación. También la respiración puede verse afectada produciéndose movimientos respiratorios más profundos y lentos.

En ciertas condiciones el sonido repentino puede generar miedo en forma posterior a la respuesta reflejo, si esto ocurre existirán mayores alteraciones al sistema circulatorio y se generará transpiración. Esto último variará la resistencia galvánica de la piel.

Ciertos estudios han determinado que si el ruido no posee un significado intrínseco de gran importancia, el ser humano se habitúa luego de algunas repeticiones,

llegando a la conclusión de que la respuesta reflejo solo se presenta en los primeros impactos.

5.1.5.1.2 Alteración del equilibrio

El equilibrio es regulado por el aparato *vestibular*, también llamado laberinto. En el se encuentran los canales semicirculares que son tres conductos que poseen un fluido en su interior y están recubiertas de células ciliadas sensibles al movimiento. Estos canales están orientados de tal manera que permiten las aceleraciones angulares de la cabeza. También, dentro del vestíbulo se encuentran otros órganos que permiten los movimientos lineales de la cabeza permitiendo controlar la percepción visual de la cabeza.

Los canales semicirculares se encuentran dentro del oído interno y son muy vulnerables a estímulos sonoros intensos. Cuando esto sucede puede verse afectado temporalmente el sentido del equilibrio, lo que ocasiona que se experimenten deficiencias motrices, movimientos rítmicos e involuntarios de los ojos, mareos, vértigo, náuseas e incluso desmayos.

5.1.5.1.3 Fatiga corporal

El ruido puede causar directa e indirectamente la sensación de fatiga, especialmente aquellos ruidos que contienen longitudes de ondas grandes e incluso infrasonidos.

Los principales afectados son los trabajadores que están expuestos a este tipo de ruidos, los cuales llegan a presentar síntomas de fatiga crónica.

Un factor indirecto del ruido que puede provocar fatiga física es la realización de esfuerzos para comprender mensajes hablados en presencia del ruido.

5.1.5.1.7 Resonancia en el organismo

El organismo de los seres humanos responde de diferentes maneras frente a los estímulos sonoros. La cantidad de energía acústica que ingresa al organismo depende de los cambios de impedancia que la perturbación acústica experimenta al atravesar los medios de propagación que encuentra en su camino. El cuerpo humano impone cierta resistencia a que la onda sonora ingrese a él; una vez que la energía acústica ingresa al organismo se propaga dentro del mismo a través de tejidos y huesos.

Las ondas acústicas interaccionan mecánicamente con el organismo de manera compleja. Cuando la longitud de onda de un sonido, es mucho menor que de una determinada cavidad, éste se comporta en forma análoga a una gran sala en las que se producen reflexiones. Y si la longitud de una onda es mucho mayor que la cavidad, las moléculas de aire vibran como un todo produciendo compresiones y expansiones del volumen del aire interior.

Algunos de los efectos localizados relacionados con la invasión de ondas acústicas en el organismo son:

- Vibraciones en el pecho, garganta.
- Vibraciones en la pantorrilla.
- Vibraciones en los muslos y zona lumbar.
- Vibraciones en las cavidades nasales.
- Sensación de ensanchamiento de la garganta.
- Vibración de la pared abdominal.
- Vibración del tabique nasal.
- Gran presión bajo el esternón.
- Molestias debajo de las costillas y de la faringe.

Cabe señalar que debido a la resistencia que el ser humano ofrece a la invasión de ondas sonoras, para que este tipo de resonancias se presenten se requieren niveles de excitación elevados (superiores a 125 dB).

Es preciso indicar que las resonancias internas como consecuencia del ruido, no dependen del oído en absoluto. Llegando incluso a que una persona sorda experimente este tipo de resonancias con igual magnitud que una persona con audición normal (e incluso pueden ser más concientes de ellos).

5.1.5.1.5 Deficiencia vocales

Cuando se produce una comunicación oral en un ambiente de ruido, el individuo debe elevar la potencia de su voz entre 3 y 6 dB por cada 10 dB de aumento de ruido de fondo (en niveles sonoros de la voz de 55 dB a 1 metro de distancia).

Si este tipo de escenario se presenta frecuentemente, como por ejemplo los profesores de las escuelas, se pueden ocasionar alteraciones crónicas en su aparato vocal. Las componentes de la voz en estado relajado no son las mismas que las de la voz forzada. Por tal motivo al elevar en un ambiente de ruido no significa solamente elevar los niveles sonoros sino que también implica elevar la frecuencia (a razón de 24 dB/octava), la ocurrencia de estos fenómenos involuntarios se los denomina *reflejo cócleorecurrencial*.

5.1.5.1.6 Otros tipos de dolor

La contaminación acústica y la incidencia del ruido sobre el ser humano pueden ocasionar dolores locales, como la cefalea (dolor de la cabeza en la zona nasal), así como también molestias al tragar y dolores testicular.

5.1.5.2 Efectos fisiológicos inconscientes.

Los efectos fisiológicos inconscientes corresponden aquellas alteraciones funcionales involuntarias que por lo general pasan desapercibidas por el individuo. La gran mayoría son controladas por el sistema vegetativo (sistema nervioso autónomo), el cual administra las funciones para la vida sobre las cuales no tenemos control voluntario, como el sistema cardiovascular, digestivo, endocrino y respiratorio. El sistema vegetativo se encarga de realizar automáticamente los ajustes necesarios para mantener el equilibrio en su entorno.

Los estímulos acústicos, son transformados en señales eléctricas, las mismas que son conducidas por el nervio auditivo hacia el cerebro. En su trayectoria, el nervio auditivo atraviesa el tronco cerebral, en el cual se encuentran los centros de control de las funciones vegetativas del cuerpo.

Cuando la energía eléctrica que conduce el nervio auditivo es elevada, puede generarse una excitación en las regiones y nervios del tronco cerebral, pudiendo provocar alteraciones en las funciones vegetativas del ser humano.

Los principales efectos fisiológicos inconscientes son:

5.1.5.3 Efectos cardiovasculares

La exposición al ruido puede provocar diferentes disturbios y patología cardiovasculares a saber:

- Incremento de la presión sanguínea, diastólica y sistólica, sobre todo aquella, a través de una vasoconstricción generalizada que provoca una disminución del flujo sanguíneo periférico.
- Daños isquémicos.
- Hipertensión.
- Aumento del colesterol en la sangre.
- Taquicardias.

- Cambios morfológicos del corazón.

5.1.5.4 Efectos gastrointestinales

Algunos procesos gastrointestinales involucrados en la digestión pueden ser alterados por la presencia del ruido.

Las principales consecuencias son:

- La disminución de la actividad gástrica provoca náuseas, vómitos.
- Provoca un enlentecimiento en la digestión de los alimentos lo que ocasiona digestiones pesadas.
- Reducción de la motilidad del estómago (función necesaria para la liberación de espacio para que ingresen nuevos alimentos).
- Disminución del tránsito intestinal.
- Disminuciones o aumentos en las secreciones de la saliva, lo que provoca dolor al tragar los alimentos.
- Gastritis o úlcera estomacal, intestinal o duodenal (provocadas por exposiciones a ruidos mayores de 85 dB)

5.1.5.5 Efectos respiratorios

La respiración puede ser afectada por el ruido como un agente externo.

Las principales consecuencias en el sistema respiratorio son:

- Aceleración de la frecuencia respiratoria (TAQUIPNEA), que unida a los efectos circulatorios genera un aumento en el consumo de oxígeno.
- Dificultades al respirar, produciendo ahogamiento y reaccionando mediante tos.
- Desgarros de los alvéolos pulmonares si el estímulo acústico es muy elevado.

5.1.5.6 Alteraciones endocrinas e inmunológicas

El cuerpo humano se encuentra conformado por glándulas que segregan hormonas que permiten desarrollar funciones vitales. Cuando el ser humano se encuentra expuesto a niveles de ruido, puede verse afectada la secreción de ciertas glándulas.

La presencia del ruido puede originar:

- La secreción en mayor cantidad de cortisol, provocando efectos sobre el sistema inmunológico con un aumento de glicemia (glucosa en la sangre) favoreciendo la diabetes y la acumulación o re-localización de grasas.
- Incremento en la producción de adrenalina y noradrenalina, las mismas que son estimulantes que incrementan la actividad de funciones corporales como el ritmo cardíaco, la presión sanguínea, contracción de los vasos sanguíneos, aumento del pulso y la fuerza de la contracción del corazón.
- Incremento de las secreciones de la hipófisis.
- Aumento de los niveles de la hormona del crecimiento (HGH), y de la hormona sexual masculina (ANDRÓGENOS).
- Alteración de las glándulas sudoríparas.

5.1.5.7 Efectos en el sistema nervioso

La presencia de niveles de ruido exagerados produce cambios en el sistema nervioso de los seres humanos, como son:

- Provoca tensiones que generan respuestas de estrés.
- Irritabilidad.
- Nerviosismo.
- Agresividad.
- Alteración de la observación y los procesos mentales de análisis y concentración.

5.1.5.8 Efectos sobre la piel

La exposición al ruido produce efectos en el órgano más extenso de los seres humanos.

Entre las principales consecuencias tenemos:

- Elevación en la actividad eléctrica de la piel.
- Enrojecimiento del cutis.
- Enfriamiento de la piel.
- Cambios en la resistencia galvánica de la piel.
- Fisuras en la piel, en los casos de elevada cantidad de energía acústica.

5.1.5.9 Efectos en la vista

La exposición sonora provoca varias consecuencias en la vista, tales como:

- La dilatación de las pupilas.
- Estrechamiento del campo visual.
- Disminución de la percepción del color.
- Variación de la frecuencia crítica de fusión del ojo.
- Decrementos de la precisión de la vista.
- Cambios en el nivel de percepción del brillo de fondo.
- Déficit del color rojo y de la visión nocturna.
- Disminución de la velocidad de movimiento del ojo para algunos ángulos.

También debe señalarse que si la estimulación sonora se produce sobre un oído, se pueden producir algunas deficiencias en el ojo opuesto, tales como pérdida de sensibilidad, reducción del campo visual y cambios en la verticalidad percibida de una línea.



Fig. 5.2 Transtornos producidos por el ruido

5.1.6 EFECTOS PSICOSOCIALES

El ruido puede producir varios efectos sociales y conductuales, así como molestia. Estos efectos muy a menudo son complejos, sutiles e indirectos y son resultado de la interacción de diversas variables no auditivas.

Entre éstos citamos, el sueño, la memoria, la atención y el procesamiento de la información.



Fig. 5.3 Efectos psicosociales del ruido

5.1.6.1 Interferencia en la comunicación

Uno de los efectos psicosociales más notorios es la interferencia de la comunicación, debido al enmascaramiento de la voz (anteriormente explicado), produciendo la discontinuidad parcial o total del diálogo.

Cuando el ruido está presente de forma permanente o se repite frecuentemente las consecuencias sociales son severas, ya que ocasionará que las personas que participen de un diálogo deban esforzar su voz y posiblemente se fatiguen de forma rápida.

5.1.6.2 Efectos sobre el sueño

El ruido produce trastornos del sueño importantes, el sueño es una actividad que ocupa un tercio de nuestras vidas y nos permite descansar, ordenar y proyectar nuestro consciente.

El ruido puede causar efectos primarios durante el sueño y efectos secundarios que se pueden observar al siguiente día. El sueño ininterrumpido es un prerequisite para el buen funcionamiento fisiológico y mental.

Los efectos primarios del trastorno del sueño son:

- Dificultad para conciliar el sueño.
- Interrupción del sueño.
- Alteración en la profundidad del sueño.
- Cambios en la presión arterial y en la frecuencia cardíaca.
- Incremento del pulso.
- Vasoconstricción.
- Variación en la respiración.
- Arritmia cardíaca y mayores movimientos corporales.
- Aumento de la probabilidad de ser despertado durante las noches.

Los efectos secundarios del trastorno del sueño son:

- Percepción de menor calidad del sueño.
- Fatiga.
- Depresión.
- Reducción del rendimiento.

Se ha comprobado que sonidos del orden de los 60 dB reducen la profundidad del sueño.

Para descansar apropiadamente el nivel de sonido equivalente no debe sobrepasar los 30 dB(A) para el ruido continuo de fondo y se debe evitar el ruido individual por encima de los 45 dB(A).

5.1.6.3 Efecto sobre el rendimiento y la memoria

El ruido puede perjudicar el rendimiento de los procesos cognitivos, principalmente en trabajadores y niños. Entre los efectos cognoscitivos más afectados por el ruido se encuentran la lectura, la atención, la solución de problemas y la memorización.

La exposición al ruido afecta negativamente al rendimiento, especialmente en las escuelas cercanas a los aeropuertos, donde los niños tienen problemas en la adquisición y comprensión de la lectura y comunicación verbal, favoreciendo el aislamiento del niño, haciéndolo poco sociable.

Algunos ruidos constantes pueden crear un estado monótono, lo cual podría disminuir el nivel de activación y producir sueño, y en ciertos casos sobre activar al individuo más allá del nivel óptimo para el desempeño de determinada tarea y de esta forma perjudicarla.

En otras palabras, la pérdida del rendimiento depende del tipo de ruido y de las exigencias de la tarea a realizar. El nivel de caída del rendimiento está afectado por la familiaridad que la persona tenga con la tarea a realizar, el tiempo necesario para realizarlo, la necesidad de uso de palabras y las variaciones de atención.

5.1.6.4 Efectos sobre la conducta

El ruido produce alteraciones en la conducta momentáneas, las mismas que consisten en agresividad o mostrar un individuo con mayor grado de desinterés o irritabilidad. Estas alteraciones son generalmente pasajeras y se producen debido a

la presencia de un ruido que produce inquietud, miedo o inseguridad en determinados casos.

5.1.6.5 Efectos sobre la salud mental

El ruido no causa directamente enfermedades mentales, pero se ha comprobado que puede acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales latentes. La exposición a altos niveles de ruido puede ocasionar el desarrollo de la neurosis.

5.1.6.6 Efectos sobre el estrés

El ruido es un factor generador de estrés, esto implica que todos los síntomas y signos propios del estrés pueden hacerse presente cuando estemos expuestos al ruido.

Al estar expuestos a niveles acústicos elevados se producen la activación de algunas glándulas y cambios en la secreción endocrina, como el cortisol. El cortisol, es también conocido como la hormona del estrés.

5.1.6.7 Efectos sobre el estado de ánimo

Como ya sabemos el ruido es un agente externo indeseado que en la mayoría de los casos no se lo puede controlar, frecuentemente provoca cambios en el estado de ánimo.

El ruido puede ocasionar cambios de estados de ánimo activos como:

- Irritabilidad.
- Enojo.
- Ansiedad.
- Fastidio.

- Nerviosismo.
- Depresión.
- Molestia.
- Impotencia.
- Disminución del deseo sexual.
- Locura leve (problemas psiquiátricos).
- Exaltación, etc.

En la tabla 4.1 presentamos los valores guía recomendados por la ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD “OMS”, ordenados por ambiente específicos y efectos sobre la salud. Donde para cada efecto sobre la salud, se establecieron límites específicos del ruido con el nivel más bajo que produce un efecto negativo sobre la salud (esto es, el efecto crítico sobre la salud).

Si bien los valores guía se refieren a los niveles de sonido que afectan al receptor más expuesto a los ambientes mencionados, se pueden aplicar a la población en general.

El tiempo para el nivel máximo de ruido recomendado (LAeq) durante el día y la noche es de 12 a 16 horas y de 8 horas, respectivamente. No se establece el tiempo para la tarde, pero generalmente el valor guía debe ser de 5 a 10 dB menos que en el día. Se recomiendan otros marcos de tiempo para escuelas, centros preescolares y campos de juegos, según la actividad.

Detalle.		Valores límite recomendados		
Recinto	Efectos en la salud	LAeq (dB)	Tiempo (horas)	LAmx, fast (dB)
Exterior habitable	Malestar fuerte, día y anochecer	55	16	-
	Malestar moderado, día y anochecer	50	16	-

Interior de viviendas	Interferencia en la comunicación verbal, día y anochecer	35	16	
Dormitorios	Perturbación del sueño, noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Perturbación del sueño, ventana abierta (valores en el exterior)	45	8	60
Aulas de escolar y preescolar, interior	Interferencia en la comunicación, perturbación en la extracción de información, inteligibilidad del mensaje	35	Durante la clase	-
Dormitorios de preescolar, interior	Perturbación del sueño	30	Horas de descanso	45
Escolar, terrenos de juego	Malestar (fuentes externas)	55	Durante el juego	-
Salas de hospitales, interior	Perturbación del sueño, noche	30	8	40
	Perturbación del sueño, día y anochecer	30	16	-
Salas de tratamiento en hospitales, interior	Interferencia con descanso y restablecimiento	¹		
Zonas industriales, comerciales y de tráfico, interior y exterior	Daños al oído	70	24	110
Ceremonias, festivales y actividades recreativas	Daños al oído (asistentes habituales: < 5 veces/año)	100	4	110
Altavoces, interior y exterior	Daños al oído	85	1	110
Música a través de cascos y auriculares	Daños al oído (valores en campo libre)	85 ⁴	1	110
Sonidos impulsivos de juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego	Daños al oído (adultos)	-	-	140 ²
	Daños al oído (niños)	-	-	120 ²
Exteriores en parques y áreas protegidas	Perturbación de la tranquilidad	³		

TABLA 4.1

¹: Tan débil como se pueda.

²: Presión sonora pico (no L_{max}, fast), medida a 100 mm del oído.

³: Las zonas tranquilas exteriores deben preservarse y minimizar en ellas la razón de ruido perturbador a sonido natural de fondo.

⁴: Bajo los cascos, adaptada a campo libre.

CAPITULO 6

ESTUDIO DE LA LEGISLACIÓN ECUATORIANA E INTERNACIONAL REFERENTE AL RUIDO

6.1 LEGISLACIÓN DEL RUIDO EN EL ECUADOR Y OTROS PAISES

Desde hace ya varios años se viene considerando al ruido como una forma de contaminación ambiental; ya que es capaz de producir alteraciones en el medio ambiente, afectando negativamente a todo individuo y al ecosistema en general.

Una legislación establece una normativa de aplicación obligatoria en relación con determinada materia que posee un ámbito y campo de aplicación claramente definidos, existiendo en el campo de la acústica legislación internacional, nacional y municipal.

La legislación internacional hace referencias a parámetros específicos que pueden afectar a más de un país como por ejemplo el ruido aeronáutico y aeroportuario o el ruido producido por los vehículos de vigilancia militares entre países.

En el marco de la legislación nacional cada país establece normas y leyes de prevención del medio ambiente, incluido a la contaminación por ruido como una de los principales agentes contaminantes de la actualidad.

Las leyes y reglamentos referentes al control del ruido son muchos mas rigurosos en los países desarrollados. Sus habitantes han aprendido a evitar el ruido por que saben que éste les produciría estrés y trastornos en su salud física y mental, lo que afectaría a su calidad de vida. Por eso, en esos países no admiten el ruido provocado por motores, pitos y alta voces de vehículos; ni alto volumen en equipos de sonido; porque saben respetar la tranquilidad y el descanso de las demás personas. Incluso los propietarios de discotecas deben instalar ventanas sonoamortiguadas de doble o triple vidrio en sus locales, para obtener un permiso de funcionamiento de ahí que los países industrializados registren menores niveles de ruido que los que están en vías de desarrollo, porque aplican varias normas de control, a más de regirse por una

adecuada planificación urbana, utilizan protectores de oído, instalan ventanas sonoamortiguadas, cumplen un estricto control para evitar vehículos bulliciosos, entre otras medidas.

En Inglaterra y Estados Unidos las leyes contra ruidos (noise laws) son promulgadas a través de ordenanzas municipales las cuales son basadas en el derecho romano de no perjudicar a los demás (*alterum non laedere*). Aquí las autoridades municipales son encargadas de proteger a los miembros de la comunidad contra enfermedades y declarar al ruido como una fuente de contaminación ambiental.

Por su parte uno de los países de habla hispana que más normas y leyes tiene referentes al ruido en la actualidad es España. Este país cuenta con normas o disposiciones generales, particulares y sectoriales. Las principales son las siguientes:

6.1.1 CARÁCTER GENERAL:

- Constitución Española.
- Ley del Ruido (ley 37/2003).
- RD 1513 / 2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la ley 37/2003, 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Código Civil (Artículos relevantes para el tema del ruido).
- Ley 62/1978, de protección jurisdiccional de los derechos fundamentales de la persona.
- Ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de protección civil del derecho al honor, ala intimidad personal y familiar y a la propia imagen
- Código Penal
- Ley 38/1972 de Protección del ambiente Atmosférico
- Norma Básica de identificación NBE-CA-88 sobre las condiciones acústicas de los edificios
- Ley 7/1985, Reguladora de las Bases del Régimen Local.

6.1.2 LEYES PARA LA SEGURIDAD CIUDADANA.

- Ley Orgánica 9/1983, Reguladora del derecho de reunión
- Ley Orgánica 2/1986, de Fuerzas y cuerpos de seguridad.
- Ley Orgánica 1/1992, sobre Protección de la Seguridad ciudadana.

6.1.3 LEYES PARA LAS ACTIVIDADES MOLESTAS Y APARATOS RUIDOSOS.

- Artículos 7.2 de la ley de propiedad horizontal y 27.2 e de ley de Arrendamientos urbanos.
- Reglamento de Actividades molestas, insalubre, nocivas y Peligrosas (RAMINP)
- O.M de 15 marzo de 1963, que da instrucciones complementarias para la aplicación del RAMINP.
- RD 286/2006 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajos contra los riesgos relacionados con la explotación al ruido.
- RD1316/1989 sobre la protección de los trabajadores frente al ruido, derogado por el anterior.
- Real decreto 213/1992, sobre especificaciones sobre el ruido en el etiquetado de aparatos.

6.1.4 LEYES PARA LOS VEHÍCULOS A MOTOR.

- Ley sobre el tráfico, Circulación de vehículos a motor y Seguridad Vial (RDL 339/1990).
 - Reglamento General de Circulación de 1992, derogado por el siguiente:
 - Reglamento General de Circulación (RD 1428/2003 de 21/11).
 - Reglamento General de vehículos.

- Anexo I. relación entre artículos del reglamento General de Vehículos y reglamentación vigente.
- Reglamento del Procedimiento Sancionador.
- Decreto 1439/1972 sobre homologación de Vehículos Automóviles en lo que se refiere al Ruido por ellos producido.

6.1.5 LEYES DE RELACIÓN CON LA ADMINISTRACIÓN

- Ley Orgánica 1/2002, reguladora del Derecho de asociación.
- Ley Orgánica 4/2001, reguladora del Derecho de Petición.
- Ley 30/1992, del régimen jurídico de las Administraciones Públicas y del procedimiento Administrativo Común.
- Reglamento del procedimiento para el Ejercicio de la Potestad Sancionadora (RD 1398/1993).
- Ley 29/1998, reguladora de la Jurisdicción Contencioso- Administrativo
- Ley 38/1995, sobre el derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente, derogada por la siguiente.
- Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

En América Latina, países como México, Chile, Argentina, Uruguay, cuenta en su constitución con leyes que regulan la contaminación ambiental por ruido y vibraciones, además facultan a sus departamentos municipales para que emitan ordenanzas que permitan realizar un mayor control.

La Constitución Política de la República del Ecuador, cuando habla de los derechos colectivos declara que el estado protege el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación, que garantice un desarrollo sustentable. Vela por que este derecho no sea afectado y garantiza la preservación de la naturaleza.

Nuestro país basado en la ley de gestión Ambiental y del Regalamiento a la ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental establece la norma para preservar la salud y bienestar de las personas y del medio ambiente en general mediante el establecimiento de los niveles máximos permisibles de ruido, estableciendo métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones generales en lo referente a la preservación y control de ruidos.

La legislación municipal está dada a través de ordenanzas y decretos. En el Ecuador los municipios pueden emitir ordenanzas encaminados en la ley Orgánica de Régimen Municipal.

Pocas son las ciudades en el Ecuador que disponen ordenanzas municipales que regulen estrictamente el grado permisible de contaminación acústica, sobre todo aquellas con marcado incremento poblacional y vehicular

Pero la solución no está solo en emitir leyes, ordenanzas o decretos; debe implementarse acciones de control que comprenden inspección, habilitación y certificación de la amplitud acústica, así como la vigilancia mediante visitas para verificación periódica.

Mas allá de tomar acciones legales enmarcadas en las leyes establecidas, se debe establecer medidas de prevención. La labor preventiva por excelencia es la educación, que puede realizarse sistemáticamente en escuelas y demás instituciones educativas, así como también la difusión de información a través de los medios de comunicación.

En el Ecuador, el ruido no suele ser producido necesariamente por el desarrollo tecnológico, sino por la falta de respeto hacia las demás personas. A partir de investigaciones científicas y de reportes médicos, se analiza los efectos nocivos del ruido y de la contaminación ambiental, específicamente en Quito, que debido a la

altitud, la contaminación atmosférica se agudiza por la menor cantidad de oxígeno en el aire. Por otra parte, la radiación solar directa desencadena reacciones fotoquímicas complejas con los contaminantes primarios, tales como los óxidos de nitrógeno, lo que produce contaminantes secundarios (como el ozono) que son extremadamente difíciles de reducir. Por esto es imperativo concienciar al público sobre los efectos nocivos de la contaminación ambiental y del desequilibrio de los ecosistemas.

“Desafortunadamente, el público suele tomar conciencia de la magnitud de un problema cuando éste ocasiona efectos catastróficos sobre la población”.

Además, la ley Orgánica de Régimen Municipal, faculta a cada municipalidad del país prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente en coordinación con las entidades afines. La generación y modificación del ruido ambiental urbano, genera daños a la salud ambiental y alteración de la paz de la ciudadanía.

Con el fin de atender este problema, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito emitió la Ordenanza No. 0123: Las normas de esta Ordenanza “se aplican a las personas naturales y jurídicas, públicas y privadas cuyas actividades producen u originan contaminación acústica (ruido) y vibraciones, provenientes de fuentes móviles (vehículos) y aquellas generadas por el hombre”. A través de ordenanza, y de las unidades ambientales zonales,

El Municipio realiza estudios e investigaciones para determinar:

1. Los efectos molestos y peligrosos que genera, en las personas, la contaminación por ruido.
2. La planificación, los programas, reglamentos y normas que deben ponerse en práctica para prevenir y controlar sus causas.
3. El nivel de presión sonora, banda de frecuencia, duración y mas características, en zonas industriales, comerciales, habitacionales, centros educativos, casas hospitalarias y lugares de descanso.
4. La presencia de ruido específico contaminante en zonas determinadas

5. Las características de las emisiones de ruido de dispositivos de alarmas y sirenas que utilices las fuentes fijas y móviles.

Otra de las ciudades en implementar este tipo de ordenanzas y control es la ciudad de Azogues, donde la unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad, para enfrentar el fenómeno de contaminación por ruido, propuso al concejo Municipal crear la ordenanza para la “Prevención y Control de la Contaminación Producida por el Ruido”. Esta ordenanza se aplicaría a las personas naturales y jurídicas, publicas y privadas cuyas actividades produzcan u originen emisiones contaminantes de ruido y de vibraciones, provenientes de fuentes móviles y aquellas producidas por el hombre. Después de revisar las leyes y ordenanzas que actualmente existen en nuestro país, debemos señalar que a pesar que éstas toman como base las normas suscritas por organismos internacionales como las recomendaciones dadas por las Organización Mundial de la Salud (OMS) que es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en la salud a nivel mundial, y de las referencias de leyes de otros países como las de España; existe cierto vacío en la elaboración de dichas normas en cuanto a estructura.

Daremos un punto de vista para lo que sería la elaboración correcta de una ordenanza que nos oriente hacia una sociedad libre de contaminación por ruido.

En la estructura de una ordenanza se debe contar con la sección que establece la política a seguir, en este caso la prevención acústica, es decir se debe explicar la política, ya que dará una pauta clara sobre el espíritu de la ordenanza.

Como segundo punto se debe explicar el objeto de la ordenanza, la misma que establecerá el alcance de la misma. No se debe confundir el objeto con la política de la ordenanza, el objeto puede llegar a ser menos abarcativo que la política.

Luego se debe establecer la sección de definiciones que deberá incluir todos y cada uno de los términos que pertenecen al lenguaje corriente o que en el contexto de la normativa asuma un significado preciso o específico. Esta definición debe ser presentada en carácter técnico y al mismo tiempo debe permitir un entendimiento del conocimiento al lector, no especificado o distinguirlos de los otros conceptos generales para así dar una interpretación errónea e incorrecta de la misma.

Otra parte dentro de la estructura de la ordenanza es la que trata sobre los medios de realización por la cual se crean, denominan, distribuyen o asignan el o los organismos de aplicación de las ordenanzas y sus funciones específicas. Es importante también que se deba incluir la parte presupuestaria y el origen de las mismas como por ejemplo: impuestos, tasas, multas, etc.

Luego del delineamiento de las pautas generales se debe enunciar los cuestionamientos específicos la que tratará las responsabilidad individual, la responsabilidad colectiva.

Una de las secciones mas importantes debe ser la dedicada a las prevenciones establecidas en una ordenanza, esta sección debe ser la encargada de promover la investigación técnica, los programas educativos, los programas de salud publica, los estudios epidemiológicos, el establecimiento se zonas o áreas acústicas protegidas, la implementación de una cartografía sonora que cuente con toda la información disponible para el análisis acústico.

Otra sección es la que comprende a las penalidades. La que debe encarga las sanciones a las infracciones a cualquier normativa. Las sanciones tradicionales no hablan de multas y clausuras dependiendo del grado de la infracción, pero como ya lo menciono anteriormente, la normativa debe estar encaminada a ala regulación y prevención principalmente, de ahí que debe incluirse sanciones como la obligatoriedad de asistir a cursos talleres, realización de servicios a la comunidad siempre encaminados a la temática que dio origen ala infracción.

Luego debe señalarse los procedimientos administrativos para la aplicación de la ordenanza.

La estructura de una ordenanza no solo debe contar con las partes antes mencionadas, sino que además debe incluir el conjunto de normas técnicas y de procedimiento que garanticen resultados óptimos y enmarcados en la ley;

Que no beneficien no perjudiquen a ningún individuo en particular, sino, siempre a la comunidad y al medio ambiente.

En la actividad existen varios organismos internacionales dedicados a la normalización, uno de ellos es la Organización Internacional de Normalización (ISO) la misma que se encarga de la normalización de procedimientos de medición y resultados para la técnica.

Otra de los organismo a es la comisión Electrotécnica Internacional, la que se encarga de la normalización del instrumental de medición, estableciendo las condiciones de estabilidad, respetabilidad, precisión, etc.

En la mayoría de los países existen organismos nacionales de normalización y mayoritariamente estos se encuentran afiliados a la ISO o participan de forma activa o como observadores en la elaboración de normas internacionales. Donde básicamente estas normas son la referencia para cada país lógicamente adaptado a su terminología y el uso que le den.

En el Ecuador el organismo encargado es el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), el mismo que emite las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE, ya sean de carácter obligatorias, voluntarias y emergentes, reglamentos técnicos, códigos de prácticas , manuales técnicos, guías de práctica entre otras.

El instituto Ecuatoriano de Normalización es miembro de organismos internacionales como:

ISO: Organización Internacional de Normalización.

OIML: organización internacional de Petrología.

CAN: Comité Andino de Normalización.

COPANT: Comisión Panamericana de Normas Técnicas.

Para terminar debemos decir que todo esto no es posible sin la existencia de medidas de tipo legislativo solidamente fundamentadas, sin el aporte de conocimiento técnico y científico actualizado que cumpla con las exigencias de las sociedades modernas, sin la utilización inteligente de los recursos disponibles. Además debe optarse por la formación personal a cargo del control y la inclusión de programas educativos formales e informales dirigidos a la comunidad con la finalidad de crear conciencia colectiva del grave problema de la contaminación acústica producida por ruido y vibraciones.

CONCLUSIONES

- El tiempo de reverberación depende no solo del volumen del recinto, si no también de las áreas de sus superficies interiores, de sus coeficientes medios de absorción, la forma geométrica de las cámaras, las posiciones de la fuente sonora y de los materiales empleados en su construcción. Es decir que el tiempo de reverberación que caracteriza a una sala depende de todos los aspectos constitutivos de la cámara.
- El tiempo de reverberación para una misma cámara anecoica o cámara reverberante no es constante para todas las frecuencias ya que la absorción sonora de las superficies interiores y de los materiales constitutivos de las cámaras varían en función de dicha frecuencia.
- El tiempo de reverberación **TR** depende de cuan absorbentes sean las superficies que cubren las cámaras, es así, que si las paredes son muy reflectoras(es decir que reflejan la mayor parte de energía que a ella le llegan), se necesitan muchas reflexiones para que se extinga el sonido; por lo consiguiente **TR** será grande. Por el contrario si son muy absorbentes, en

cada reflexión se perderá una porción alta del sonido dando lugar a unas pocas reflexiones que serán muy débiles, y otras casi imperceptibles; entonces **TR** será pequeño.

- El tiempo de reverberación de una cámara anecoica o reverberante se puede calcular mediante la fórmula de Sabine siempre y cuando la absorción total de la cámara sea constante, no se trabaje en un ambiente húmedo o inestable, y los materiales constitutivos del interior de la cámara no alteren considerablemente el ambiente diseñado
- El campo sonoro dentro de la cámara reverberante debe garantizar un comportamiento **difuso**, es decir, que las ondas sonoras se propaguen con la misma probabilidad en todas las direcciones y la densidad de energía sea estadísticamente uniforme y constante.
- Los valores determinados en el presente diseño tales como tiempos de reverberación, coeficiente de absorción y Constante R de las cámaras anecoica y reverberante satisfacen los requerimientos establecidos por las normas internacionales para obtener la certificación a nivel de INGENIERIA para un laboratorio de Metrología Acústica en el rango de frecuencias correspondientes al campo audible.
- El éxito en el diseño acústico de la cámara anecoica y cámara reverberante una vez fijada su forma y definido su volumen radica en la elección de los materiales con las características de absorción adecuadas a utilizar como revestimientos de las mismas con el fin de obtener tiempos de reverberación óptimos y propios de cada cámara según su aplicación.
- La contaminación acústica perturba las distintas actividades sociales, interfiriendo la comunicación, perturbando el sueño, el descanso y la relajación; impidiendo la concentración y el aprendizaje, creando estados de

cansancio y tensión que pueden convertirse en enfermedades graves de tipos nerviosos y cardiovasculares.

- La contaminación acústica en nuestro país exige medidas urgentes de carácter legislativo sólidamente fundamentadas en el conocimiento técnico y científico actualizado sobre el tema, además de una administración coherente e inteligente de los recursos actualmente disponibles.

RECOMENDACIONES

- Para obtener valores correctos que permitan un diseño óptimo del tiempo de reverberación de una cámara, se recomienda realizar las mediciones y los cálculos tomando como referencia las bandas de octava y usando al menos las bandas de 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz.
- En el diseño de la cámara reverberante se recomienda que el número mínimo de mediciones para cada banda de frecuencias sea seis. Se deberá utilizar al menos una posición de fuente y tres posiciones de receptor con dos lecturas en cada caso.
- Se recomienda ampliar los contenidos de los programas académico en las asignaturas referentes al estudio de la acústica a nivel de pregrado, ya que siendo este un tema de sumo interés para el desarrollo del país no se han realizado muchos trabajos de investigación y menos aún de legislación adecuados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRION, Antoni, *Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos*, Editorial Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, España 1998, pp. 71-126.

RECUERO, Manuel, *Acondicionamiento Acústico*, Editorial Paraninfo, España 2001, pp. 27-128.

TRIBALDOS, Clemente, *Sonido Profesional*, Editorial Paraninfo, España 1999, pp. 15-70

ESCUDERO, Francisco J, *Electroacústica Aplicada*, Editorial DOSSAT S.A., España 1954, pp. 43-65

MIYARA, Federico, *Acústica*, Editorial Paraninfo, España 2000, pp. 20-160

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

<http://www.ia.csic.es/Proyectos.aspx?Lang=ES&id=42>

<http://www.cinstrum.unam.mx/~clastro.instrumentacion/acustica.htm>

<http://www.naeacustica.com/contacto.htm>

<http://www.cinstrum.unam.mx/~clastro.instrumentacion/acustica.htm>

http://www.naeacustica.com/acustica_industrial.htm

<http://pdf.rincondelvago.com/absorcion-de-ondas-sonoras.html>

<http://www.mundimat.pt/pdfs/IDEATEC/1.pdf>

http://www.sonomarket.es/index.php?option=com_phpshop&page=shop.browse&category_id=67&option=com_phpshop&Itemid=68

http://www.sonomarket.es/index.php?option=com_phpshop&page=shop.browse&category_id=67&keyword=&manufacturer_id=&Itemid=68&orderby=pshop_product.product_name&limit=10&limitstart=10

<http://www.directindustry.es/cat/instrumentos-de-medicion-prueba/instrumentos-de-medicion-acustica-instrumentos-de-medicion-vibratoria-I-492.html>

<http://www.directindustry.es/prod/oros/analizador-acustico-13193-45619.html>

ANEXO 1

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DEL
ECUADOR.
LIMITES PERMISIBLES DE NIVELES DE RUIDO
AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES
MÓVILES, Y PARA VIBRACIONES

ANEXO 2

ORDENANZA METROPOLITANA 123
ORDENANZA PARA LA PREVENCIÓN Y
CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN
SUSTITUTIVA DEL CAPITULO II PARA EL
CONTROL DEL RUIDO, DEL TITULO V DEL
LIBRO SEGUNDO DEL CÓDIGO MUNICIPAL.

ANEXO 3

REAL DECRETO ESPAÑOL 1909/81, DE 24 DE JULIO, POR EL QUE SE APRUEBA LA NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN NBE-CA-81 SOBRE CONDICIONES ACÚSTICAS EN LOS EDIFICIOS.

ANEXO 4

DATASHEET FUENTE DE PRESION FP120

ANEXO 5

DATASHEET CAMARA IP VIVOTEK