

Diseño acústico y electroacústico de un estudio de producción de audio en el municipio de Sibundoy (Putumayo), que cumpla con estándares de calidad profesionales.

Wilson Andrés Loza Ortega

Universidad Nacional Abierta y A Distancia
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería
Tecnología en Producción de Audio
Bogotá D.C
2018

Diseño acústico y electroacústico de un estudio de producción de audio en el municipio de Sibundoy (Putumayo), que cumpla con estándares de calidad profesionales.

Wilson Andrés Loza Ortega

Trabajo de grado presentado para optar al título de tecnólogo en producción de Audio

Luis Montañez Carrillo

Líder de Tecnología en Producción de Audio

Director de proyecto:

Cristhian Orlando Perdomo Romero

Universidad Nacional Abierta y A Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Tecnología en Producción de Audio

Bogotá D.C

2018

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2018

Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Descripción del problema	18
2. Justificación	19
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos específicos.....	20
4. Marco referencial	21
4.1 Marco Teórico	21
4.1.1 Frecuencia del Sonido.	21
4.1.2 Espectro Frecuencial	21
4.1.3 Banda de Frecuencias.	21
4.1.4 Relación entre niveles de presión sonora (SPL) y frecuencia (Fr).....	22
4.1.5 Ondas Estacionarias.	25
4.2 Propagación Del Sonido En El Espacio Libre	25
4.3 Propagación Del Sonido En Un Recinto Cerrado.....	26
4.4 Resonancia	27
4.4.1 Modos Normales.	27
4.5 Tiempo de reverberación. $rt60$	30
4.6 Ruido Y Contaminación Ambiental	32
4.6.1 Fuentes de Ruido.....	32
4.6.2 Tipos de Ruido.....	32

4.6.3 Tipos de Fuentes de Ruido.	33
4.6.3.1 Fuentes Fijas.	33
4.6.3.2 Fuentes Móviles.	33
4.6.3.3 Fuentes Fijas/Móviles.	33
4.6.4 Medición y Control de Ruido.....	34
4.6.4.1 Curvas de Ponderación	34
4.6.4.2 Características Dinámicas.	34
4.6.4.3 Características Generales de los Dispositivos de Medición.	34
4.6.4.4 Condiciones Generales al Medir Fuentes Fijas.	35
4.6.5 Sonómetro.....	35
4.6.6 Descriptores de Ruido.	36
4.6.7 Ruido y Efectos Sobre la Salud.	37
4.7 Materiales Aislantes Acústicos	39
4.7.1 Pérdida de Transmisión Sonora a Través de las Paredes.	39
4.7.2 Pérdida de Transmisión para Paredes Simples.	40
4.7.3 Paredes Múltiples.	40
4.8 Aislamiento Acústico.....	41
4.8.1 Transmisión del Sonido.	41
4.8.2 Aislamiento acústico de sistemas de una hoja.	42
4.8.3 Aislamiento Acústico a Ruido Aéreo de Elementos Mixtos.	42
4.8.4 Aislamiento a Ruido Aéreo de Sistemas Multi-Hojas.	43
4.8.5 Índice de Reducción Acústica del Vidrio.....	45
4.9 Materiales Absorbentes.....	46

4.9.1 Coeficientes de Absorción del Sonido.	47
4.9.2 Coeficientes de Absorción de Diversos Materiales en Función de la Frecuencia.....	47
4.9.3 Absorción.	50
4.9.4 Absorbentes porosos.....	51
4.10 Criterios De Acondicionamiento Acústico.....	51
4.10.1 Golden Ratios.	51
4.10.2 Criterio de Bonello.	52
4.10.3 Difusión.	53
4.10.3.1 Difusores poli cilíndricos.....	55
4.10.3.2 Difusores de Schroeder.	56
4.10.3.3 Difusores de Schroeder tipo MLS.	56
4.10.3.4 Difusores de Schroeder tipo QRD.	57
4.10.3.5 Difusores de Schroeder tipo PRD.	58
4.10.3.6 Resonadores de membrana o diafragmáticos.	59
4.10.3.7 Resonadores simples de cavidad (tipo resonador de Helmholtz).....	61
4.10.3.8 Resonadores Múltiples de Cavidad a Base de Perforaciones o Ranuras.	62
4.10.3.9 Resonadores de cavidad a base de listones.....	63
4.11 Filosofías de Diseño para las Salas de Control	64
4.11.1 Salas de control.....	64
4.11.1.1 Tomas Hidley.....	65
4.11.1.2 Putnam (1960).	65
4.11.1.3 Veale (1973) criterio de la habitación inerte.....	67
4.11.1.4 Rettinger (1977).....	70

4.11.1.5 Non-Environment. Tom Hidley 1980.....	71
4.11.1.6 Criterio LEDE Davis 1981.	73
4.11.1.7 Diseño de imagen controlada (CID) Walker 1993.....	75
4.12 Salas De Grabación.....	80
4.13 Marco Normativo	82
4.13.1 Normativa Aplicable y Recomendable.....	82
4.13.1.1 Características Generales de los Dispositivos de Medición.	82
4.13.2 Sonómetro.....	83
4.13.3 Criterio NC, Revisión de la Normatividad para el Ruido Acústico en Colombia y su Aplicación.	84
4.13.3.1 Legislación Colombiana.	84
5. Levantamiento Y Caracterización	87
5.1 Mediciones y Levantamiento del Recinto Existente	89
5.1.1 Medidas Del Control Room.....	91
5.1.2 Medidas De La Suite De Grabación.....	91
5.2 Calculo del SPL1 (cálculo aproximado de niveles de ruido existente proveniente del recinto que afectan al vecindario).....	91
5.2.1 Medición De Nivel De Presion Sonora Fuera Del Recinto.....	91
5.2.1.1 Estándar Metodológico para la Medición de Ruido.....	91
5.2.1.2 Parámetros de Medición.	92
5.2.1.3 Representación gráfica de los niveles de ruido.....	93
5.2.1.4 Mediciones de ruido realizadas en las viviendas vecinas y en el exterior del recinto..	93

5.2.1.4.1 Resultados arrojados por los descriptores de ruido.	96
5.3 Criterios Acústicos.....	101
5.3.1 Calculo Del Tiempo De Reverberacion Rt60	101
5.3.1.1 Calculo del tr60 para la sala de control vacía.....	102
5.3.2 Calculo de Modos Normales.....	107
6. Desarrollo Del Diseño, Análisis Y Resultados	111
6.1 Aislamiento Acústico Del Recinto	111
6.1.1 Tratamiento del Techo.....	112
6.1.1.1 Losas Aligeradas.....	112
6.1.1.2 Viguetas y Bovedilla.	114
6.1.1.3 Elementos de Armadura.	114
6.1.1.4 Elementos del Patín de Concreto.....	114
6.1.1.5 Bovedilla.....	115
6.1.1.6 Detallado de Viguetas y Bovedillas.....	116
6.1.1.7 Componentes.	118
6.1.1.8 Concreto.....	118
6.1.1.9 Procedimiento Constructivo.....	119
6.1.2 Piso.	121
6.1.2.1 Implementación de Piso Flotante en la Suite de Grabación.....	121
6.1.3 Puertas.....	124
6.1.3.1 Puerta Tipo Pa 52.....	125
6.1.3.2 Segunda Puerta Acústica de Vidrio RS4.....	127
6.1.4 Ventanas (Inerco Acústica).....	127

6.1.4.1 Datos Acústicos.....	128
6.1.4.2 Dimensiones.	128
6.1.5 Paredes.....	129
6.1.6 División Separadora del Cuarto de Control y la Suite de Grabación.	133
6.2 Acondicionamiento Acústico Del Recinto.	133
6.2.1 Acondicionamiento Acústico en la Sala de Control.	133
6.2.1.1 Elección De Materiales Absorbentes.....	137
6.2.1.1.1 Paneles fonoabsorventes.....	138
6.2.1.1.2 Trampas de bajos.....	139
6.3 Sistema Electroacústico	144
6.4 Calculo Del Tiempo De Reverberación Rt60 Teniendo En Cuenta Los Materiales Acústicos Propuestos.....	150
7. Conclusiones.....	152
8. Discusión.....	153
Referencias Bibliográficas	155
ANEXOS	161

Lista de Tablas

		Pág.
Tabla 1.	Efectos del ruido en la salud Fuente Organización Mundial de la Salud	38
Tabla 2.	Relaciones de materiales de absorción.....	48
Tabla 3.	Nivel de contaminación por ruido permitido	86
Tabla 4.	Tiempo de reverberación según Beranek.....	102
Tabla 5.	Mediciones en de sala de control	102
Tabla 6.	Índices De Absorción De Elementos De La Sala	103
Tabla 7.	Superficies de referencia.....	103
Tabla 8.	Tiempo de reverberación de la sala según Sabine	104
Tabla 9.	Tiempo de reverberación de la sala según Norris	105
Tabla 10.	Tiempo de reverberación de la sala según Sette	106
Tabla 11.	Cálculo de modos axiales.....	108
Tabla 12.	Cálculo de modos tangenciales	109
Tabla 13.	Cálculo de modos oblicuos	109
Tabla 14.	Proporciones de mezcla del concreto.....	119
Tabla 15.	Especificaciones del piso flotante	124
Tabla 16.	Dimensiones puertas acústicas.....	126
Tabla 17.	Especificaciones de ventana acústica.....	128
Tabla 18.	Coeficientes de absorción de paneles acústicos	139
Tabla 19.	Coeficientes de absorción de trampas de bajo	140
Tabla 20.	Medidas del recinto.....	150

Tabla 21. Coeficientes de absorción según los materiales seleccionados.....	150
Tabla 22. Nuevo tiempo de reverberación según Sabine	151

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Niveles audibles en función de la frecuencia.....	22
Figura 2. Niveles audibles en función de la frecuencia junto con las zonas correspondientes a la música y a la palabra	24
Figura 3. Generación de onda estacionaria.....	27
Figura 4. Caminos recorridos por las reflexiones que generan los modos propios axiales (a), tangenciales (b) y oblicuos (c).	29
Figura 5. Simulación realizada con SYSNOISE de la distribución modal de un recinto	29
Figura 6. Diagrama de los distintos caminos que toma el sonido cuando.....	41
Figura 7. Aislamiento Acústico Específico de un Elemento Constructivo	44
Figura 8. Gráfico de Bolt junto a algunos ratios propuestos	54
Figura 9. Comparativa entre los efectos de absorción, reflexión y difusión	54
Figura 10. Ejemplo de difusor poli cilíndrico	55
Figura 11. Difusor MLS (izquierda) y diagrama de difusión a la frecuencia.....	57
Figura 12. Difusores de Schroeder tipo QRD	58
Figura 13. Difusores de Schroeder tipo QRD	58
Figura 14. Difusores de Schroeder tipo PRD	59
Figura 15. Calculadora de difusor	59
Figura 16. Resonador de membrana.....	60
Figura 17. Resonador de membrana.....	61
Figura 18. Esquema básico de un resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base	62
Figura 19. Resonador de cavidad (Helmholtz).....	63

Figura 20. Resonadores de cavidad a base de listones	64
Figura 21. Diseño Putnam	66
Figura 22. Esquema de la geometría que debía tomar la.....	67
Figura 23. Recomendación de diseño de Rettinger, a) planta, b) perfil	70
Figura 24. Plano en planta de un control Non-.....	71
Figura 25. Plano en perfil de dos posibles soluciones de sala de control.....	72
Figura 26. Estructura de las paredes de un estudio Non-Environment	73
Figura 27. Líneas tangenciales a la circunferencia alrededor del punto de escucha	77
Figura 28. Superficies planas asociadas a las curvas en las cuales se producen las reflexiones óptimas.	78
Figura 29. Vista del alzado del control CID.....	78
Figura 30. Diseño de sala de grabación Philip Newel.....	81
Figura 31. Ubicación satelital de la sala escogida para el tratamiento acústico.....	87
Figura 32. Sala escogida para el tratamiento acústico.....	88
Figura 33. Sala de grabación	88
Figura 34. Sala de control.....	89
Figura 35. Levantamiento del recinto.....	90
Figura 36. Representación gráfica de niveles de ruido y afectación al vecindario	93
Figura 37. Curva de ruido de medición fuera del recinto.....	98
Figura 38. Transmisión sonora por flancos	101
Figura 39. Gráfica del tiempo de reverberación según Sabine.....	104
Figura 40. Gráfica del tiempo de reverberación según Norris	105
Figura 41. Gráfica del tiempo de reverberación según Sette	106

Figura 42. Grafica Modos propios ordenados de menos a mayor	110
Figura 43. Elementos que conforman el techo del sitio.....	113
Figura 44. Elementos fundidos en una capa monolítica	113
Figura 45. Vigüeta en hierro	114
Figura 46. Perfil de acero.....	115
Figura 47. Perfil de acero usado en fundición de plancha	115
Figura 48. Colocado del bloquelón en plancha.....	116
Figura 49. Colocado de material aislante.....	116
Figura 50. Montaje de bloquelón en vigüetas o perfiles.....	117
Figura 51. Montaje de perfiles	117
Figura 52. Bloquelon para plancha	118
Figura 53. Malla electrosoldada.....	120
Figura 54. Piso flotante pre fabricado.....	121
Figura 55. Colocado de piso flotante	122
Figura 56. Colocado final del piso.....	123
Figura 57. Colocado de alfombra.....	124
Figura 58. Puerta acústica	125
Figura 59. Puerta acústica en vidrio.....	127
Figura 60. Ventana acústica.....	129
Figura 61. Diseño acústico para insonoración	130
Figura 62. Estructura de aislamiento acústico	131
Figura 63. Estructura de aislamiento visto lateralmente	132
Figura 64. Sujeción de material aislante con sistema de correas	132

Figura 65. Diseño de sala de control.....	134
Figura 66. Partes de un resonador Helmholtz.....	135
Figura 67. Colocado de paneles absorbentes según principio	136
Figura 68. Colocado de paneles absorbentes según principio CID	136
Figura 69. Paneles acústicos en tela.....	139
Figura 70. Trampa de bajo vista del lado	140
Figura 71. Trampa de bajo vista de frente	141
Figura 72. Trampa de bajo colocada en su sitio.....	142
Figura 73. Ubicación de trampas de bajo.....	143
Figura 74. Espuma fonoabsorbente tipo domos.....	144
Figura 75. Interface de audio escogida	144
Figura 76. Preamplificador de audio escogido	145
Figura 77. Controlador DAW escogido.....	145
Figura 78. Monitores escogidos.....	146
Figura 79. Combo micrófonos dinámicos Shure	147
Figura 80. Micrófonos de condensador AKG.....	148
Figura 81. Preamplificador de audífonos escogidos	149
Figura 82. Auriculares escogidos para monitoreo	149
Figura 83. Nueva gráfica del tiempo de reverberación según Sabine.....	151

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Cotización 1 de materiales absorbentes por empresa ECUSTIC	161
Anexo 2. Cotización 2 de materiales absorbentes por empresa ECUSTIC	162
Anexo 3. Cotización 3 de materiales absorbentes por empresa ECUSTIC	163
Anexo 4. Medición de ruido ambiental incidente en el estudio	164
Anexo 5. Medición de ruido procedente del estudio	165
Anexo 6. Medición del ruido en una casa vecina	166
Anexo 7. Tiempo de reverberación con materiales considerados para el acondicionamiento acústico.....	167
Anexo 8. Gráfica del tiempo de reverberación con materiales acústicos	168
Anexo 9. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la mañana posición 1,2 y 3	169
Anexo 10. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la mañana posición 4,5 y 6.....	170
Anexo 11. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la mañana posición 7 y 8.....	171
Anexo 12. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la tarde posición 1,2 y 3	172
Anexo 13. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la tarde posición 4,5 y 6	173
Anexo 14. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la tarde posición 7 y 8	174
Anexo 15. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la noche posición 1,2 y 3.....	175
Anexo 16. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la noche posición 4, 5 y 6.....	176
Anexo 17. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la noche posición 7 y 8.....	177

Introducción

El presente trabajo permitió determinar las condiciones acústicas existentes de un recinto ubicado en la el departamento del Putumayo municipio de Sibundoy, con el fin de definir soluciones de diseño para el aislamiento y acondicionamiento de un espacio destinado al desarrollo de actividades de producción de audio.

Dado que la formación técnica no abarca a profundidad el área de acústica y sus fundamentos, se ve obligatorio desarrollar una investigación bibliográfica profunda a través de la física de ondas que, por supuesto, las condiciones que rodearon éste proceso no fueron las más favorables, puesto que el tiempo que llevaría entender la acústica necesitaría de años de estudio desde la ingeniería. Para solventar éste inconveniente, se recurrió a herramientas de calculo que empresas de acústica las brindan gratuitamente a través de internet. Dentro del desarrollo del proceso metodológico aplicado, se consultó autores de gran reconocimiento en la acústica como L. Beranek y Antoni Carrión Isbert, además de manuales y tesis que brindaron un camino a seguir. Se llevaron a cabo, mediciones de ruido, cálculos acústicos de aislamiento, acondicionamiento acústico y especificaciones de sistemas electro-acústicos con el fin de cumplir con condiciones de calidad para las actividades a desarrollar. Los resultados obtenidos, permitieron la obtención de las condiciones acústicas óptimas para el desarrollo del diseño.

Al final de este proceso, se observó que los cálculos, la elección de los materiales, elección de los paramentos, materiales, fue optima ya que se siguió un proceso metodológico que proporcione buen resultado y un lugar para producir audio mejores condiciones acústicas.

Además, ésta experiencia proporcione resultados, recomendaciones y sugerencias que vinculan “la acústica teórica e instrumental” como una materia fundamental y necesaria en el currículo de la tecnología en producción de audio.

1. Descripción del problema

En el municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo, no se desarrollan actividades de producción musical en espacios con alta calidad acústica, lo que incide directamente en la calidad de los productos terminados.

Para el desarrollo del proyecto se seleccionó un espacio donde actualmente se cuentan con equipos tecnológicos para la captura de señales sonoras, pero no presentan condiciones acústicas para obtener los mejores registros sonoros.

Al interior del recinto se presentan problemas de reverberaciones y modos de resonancia los cuales impiden grabar y mezclar apropiadamente obteniendo malas referencias sonoras auditivas que no permiten cumplir con trabajos de calidad a la comunidad.

También, dentro del recinto existen condiciones estructurales que permiten la transmisión acústica de niveles de ruido que afectan con ruido y contaminación sonora a la comunidad en general y al medio ambiente. El lugar, es una zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido muy moderado, se trata de un sector sin contaminación acústica que al medir proporcionó resultados desfavorables que demostraron la necesidad de implementar un tratamiento de aislamiento acústico.

Dentro del recinto las condiciones no son las mejores; existen fenómenos acústicos desfavorables que inciden en el desarrollo de las funciones propias para lo que es concebido, determinando la necesidad de mejorar las acústica del lugar con un acondicionamiento basado en principios y criterios modernos y estructurados previamente por organismos de investigación a nivel mundial. De manera obvia y gracias a la época, el internet provee de una extensa y valiosa información que muchos estudiosos de la acústica arquitectónica brindan como modelos a seguir para conseguir resultados acústicos óptimos y balanceados.

2. Justificación

Si se diseña un estudio de producción de audio concebido en satisfacer los estándares del mercado local en el departamento del P utumayo, se lograría suplir las necesidades de la localidad ofreciendo productos de calidad musical, audiovisual y audio-publicitaria.

Al analizar previamente el recinto y realizando una valoración subjetiva de su estado acústico actual, se observa que éste presenta de ante mano problemas de ruido y contaminación ambiental que están afectando a los vecinos del sector, los que reportan reiteradamente sus molestias causadas por emisiones de ruido provenientes de su interior.

La baja oferta de espacios acústicos con condiciones óptimas para el desarrollo de actividades de producción de audio, impulsa a acondicionar acústicamente el lugar, y así proporcionar a nivel empresarial un espacio que potencialmente, podría satisfacer las necesidades del cliente en cuanto a la calidad del producto final, obteniendo mejor respuesta en captura, monitoreo y escucha, evitando confundir y cometer errores que interfieran en el resultado del trabajo realizado.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar el diseño acústico y electro-acústico de un estudio de producción de audio para el municipio de Sibundoy (Putumayo), mediante la aplicación de técnicas de aislamiento y acondicionamiento, que permitan obtener condiciones óptimas y de calidad para el desarrollo de las actividades.

3.2 Objetivos específicos

Determinar el estado acústico interno y externo del recinto, para verificar cual son las necesidades de diseño.

Calcular sistemas de aislamiento y acondicionamiento acústico de acuerdo a las necesidades valoradas y los criterios acústicos recomendados para la construcción y montaje de estudios de producción de audio.

Especificar sistemas electro-acústicos óptimos que permitan asegurar las condiciones de calidad del estudio de producción.

4. Marco referencial

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Frecuencia del Sonido.

El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora se denomina frecuencia (f) del sonido y se mide en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado.

4.1.2 Espectro Frecuencial

La gran mayoría de los sonidos que percibimos no constan únicamente de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas. Incluso, cada uno de los sonidos generados por un instrumento musical están formados por más de una frecuencia. Se puede conocer que frecuencias componen un sonido observando el denominado espectro frecuencial (o simplemente espectro) del mismo, entendiendo por tal a las frecuencias que lo integran junto con su correspondiente nivel de presión sonora.

4.1.3 Banda de Frecuencias.

Las notas inferior y superior de un piano de 88 teclas tienen unas frecuencias fundamentales de 27,5 Hz y 4.400 Hz, respectivamente. La primera corresponde a un sonido muy grave, mientras que la segunda va asociada a uno muy agudo. Por consiguiente, un sonido grave está caracterizado por una frecuencia baja, en tanto que uno agudo en una frecuencia alta. El conjunto de frecuencias situado entre ambos extremos se denomina banda o margen de frecuencias del piano.

En el caso de la audición humana, la banda de frecuencias audibles para una persona **joven** y sana se extiende, aproximadamente, de 20 Hz a 20.000 Hz (o bien 20 kHz). Las frecuencias inferiores a 20 Hz se llaman subsónicas y las superiores a 20 kHz ultrasónicas, dando lugar a los

infrasonidos y ultrasonidos, respectivamente. (Carrión 1998, p. 31-32)

4.1.4 Relación entre niveles de presión sonora (SPL) y frecuencia (Fr).

La banda de frecuencias audibles para una persona joven con una audición normal, va desde 20 Hz (sonidos más graves) hasta 20.000 Hz o 20 kHz (sonidos más agudos). Ahora bien, el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todo este margen de frecuencias. (Carrión, 1998, p. 36-37).

En la siguiente imagen veremos la variación de los umbrales de audición y de dolor en función de la frecuencia

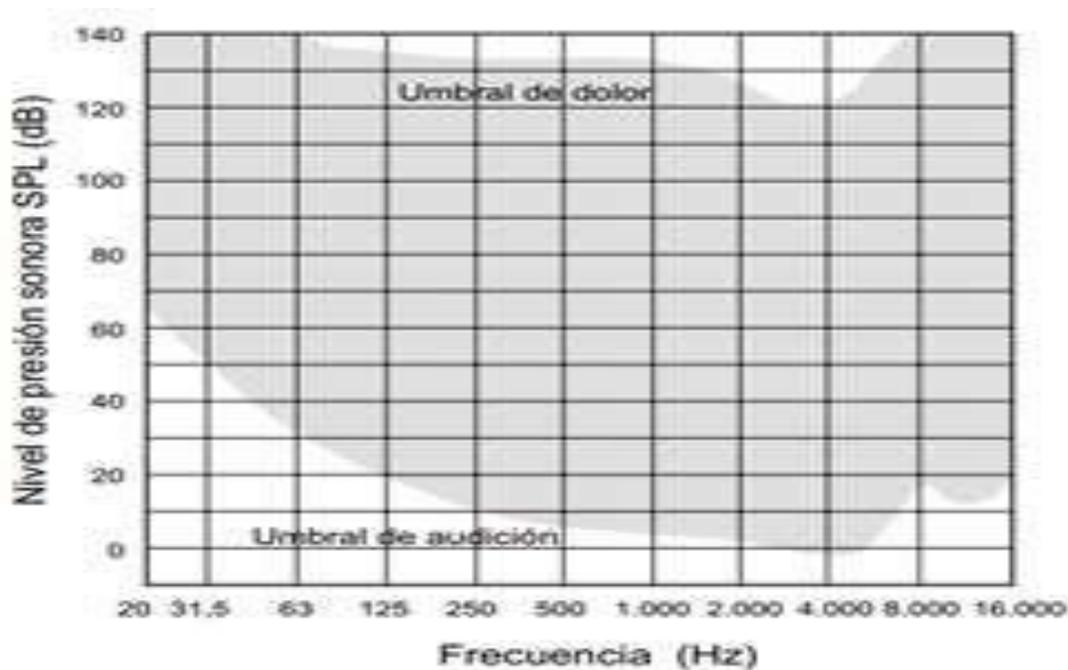


Figura 1. Niveles audibles en función de la frecuencia

Fuente. Beranek, 2009

Según la anterior grafica se concluye:

- Para niveles bajos de presión sonora, el oído es muy insensible a bajas frecuencias, es decir, el nivel de presión sonora de un sonido grave tiene que ser mucho más elevado que el nivel correspondiente a un sonido de frecuencias medias para que ambos produzcan la misma sonoridad. Por ejemplo, un nivel SPL= 70 d, a 20 Hz, produce la misma sonoridad que un nivel SPL= 5 dB, a 1 kHz (sonoridad=sensación subjetiva de nivel sonoro)
- Para dichos niveles bajos, el oído también presenta una atenuación a altas frecuencias.
- A medida que los niveles aumentan, el oído tiende a responder de forma más homogénea en toda la banda de frecuencias audibles, hasta el punto que cuando son muy levados, la sonoridad asociada a tonos puros de diferente frecuencia es muy parecida.

Este cambio de comportamiento del oído en función del nivel de señal explica el hecho de que al subir el volumen el amplificador de un equipo de música, se percibe un mayor contenido de graves y agudos del pasaje musical reproducido. Igualmente pone de manifiesto la confusión que puede surgir al seleccionar unas cajas acústicas de parecida calidad. Las de mayor rendimiento, y que por tanto radian más potencia sonora para la misma potencia eléctrica aplicada, pueden producir la sensación de que suenan mejor, exclusivamente debido a que la percepción de graves y agudos es mayor. Una vez descrito el comportamiento del oído humano desde el punto de vista de la percepción de niveles en función de frecuencia, es conveniente establecer una comparación entre los mismos y las zonas representativas de generación sonora asociada la voz humana y a los instrumentos musicales convencionales.

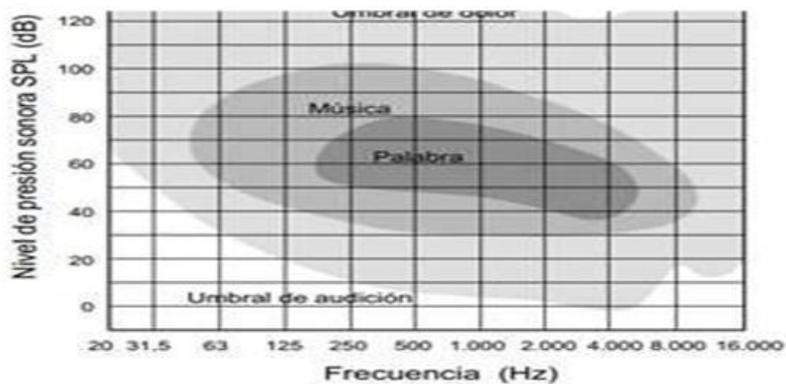


Figura 2. Niveles audibles en función de la frecuencia junto con las zonas correspondientes a la música y a la palabra

Fuente. Beranek, 2009

Según se puede apreciar, la capacidad de la persona como receptora del sonido es mucho mayor que como emisora.

El estudio del sonido en los recintos involucra no sólo las reflexiones del sonido en el volumen considerado sino también, investigaciones acerca de cómo medir el sonido en tales condiciones y el efecto que los diversos materiales tienen sobre la absorción y el control del sonido. (Beranek, 1969, p.303)

Se suele encontrar dos condiciones en el estudio del sonido en los recintos, tenemos los recintos pequeños de formas sencillas donde el campo sonoro interior puede describirse en términos matemáticos precisos y los recintos grandes que requiere de un cálculo más preciso y profundo en su recolección de información.

Tengamos en cuenta que, en los recintos muy grandes e irregulares no es posible una descripción exacta del campo sonoro; las mediciones realizadas por fuera de un recinto deben ser consideradas como un proceso estadístico en función de tiempo, permitiendo una descripción confiable de las condiciones acústicas del

lugar. (Rufa, 2004)

4.1.5 Ondas Estacionarias.

“Citando un caso que ejemplifica la situación acústica de los recintos pequeños y cerrados, es el estudio del tubo cerrado rígidamente”. (Beranek , 1986)

Se observa que a lo largo del eje x del tubo el campo sonoro, puede describirse como la combinación de una onda de ida y de una onda de vuelta. En realidad, la onda de ida es la suma de la onda original que partió de la fuente más las ondas de ida que están haciendo su segundo, tercero, cuarto, y más viajes, similarmente.

La onda de vuelta es una combinación de la primera onda reflejada y las ondas que están haciendo el camino de vuelta.

Estas ondas de ida y de vuelta, se suman en magnitud y producen lo que se llama una onda estacionaria.

Si no hay ninguna superficie absorbente en las paredes del tubo la onda tendrá una intensidad igual a cero, a esto le llamaremos onda permanente ("*standing wave*") si hay absorción en los extremos del tubo, habrá un flujo de energía a través del tubo con intensidad diferente. (Beranek, 1969, p.304)

4.2 Propagación Del Sonido En El Espacio Libre

Cuando una fuente sonora situada en un recinto cerrado es activada, genera una onda sonora que se propaga en todas las direcciones. Un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo recibe dos tipos de sonido: el denominado sonido directo, es decir, aquél que le llega directamente desde la fuente sin ningún tipo de interferencia, y el sonido indirecto o reflejado originado como consecuencia de las diferentes reflexiones que sufre la onda sonora al incidir sobre las superficies límite del recinto. Existe una serie de conceptos asociados al sonido directo,

que en primer lugar, se considera una fuente sonora omnidireccional, es decir, una fuente que radia energía de manera uniforme en todas las direcciones.

El hecho de que la radiación sea uniforme implica que, a una distancia cualquiera de la fuente, el nivel de presión sonora SPL será siempre el mismo, con independencia de la dirección de propagación considerada. Es la llamada propagación esférica. A medida que uno se aleja de la fuente, la energía sonora se reparte sobre una esfera cada vez mayor, por lo que el nivel SPL en cada punto va disminuyendo progresivamente. En concreto, la disminución del mismo es de 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. Es la denominada ley cuadrática inversa y significa que el valor de la presión sonora se reduce a la mitad. (Carrión, 1998, p. 47)

4.3 Propagación Del Sonido En Un Recinto Cerrado

Según la bibliografía de Antoni Carrion Isbert (1998), la energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre, mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto.

En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas. Lógicamente, cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas

reflexiones. (Carrión, 1998)

4.4 Resonancia

La resonancia se define como la vibración natural de un sistema. (Rufa & Bidondo, s.f.)

4.4.1 Modos Normales.

También llamados modos propios, son el fenómeno que se produce cuando una superficie entra en vibración al ser excitada por una señal sonora, éste patrón de vibración que se desarrolla en las **superficies**, depende del material que esté compuesto. Si entendemos un recinto cerrado como un espacio compuesto por una serie de **superficies**, el aire que se encuentra dentro del recinto tendrá un patrón de vibración determinado en función de los **modos normales** que se generen en su interior.

“Como vemos en la Figura 7, al impactar una onda sonora contra la superficie parte de la energía se absorberá, parte se transmitirá al exterior y, otra parte, será reflejada al interior del recinto.

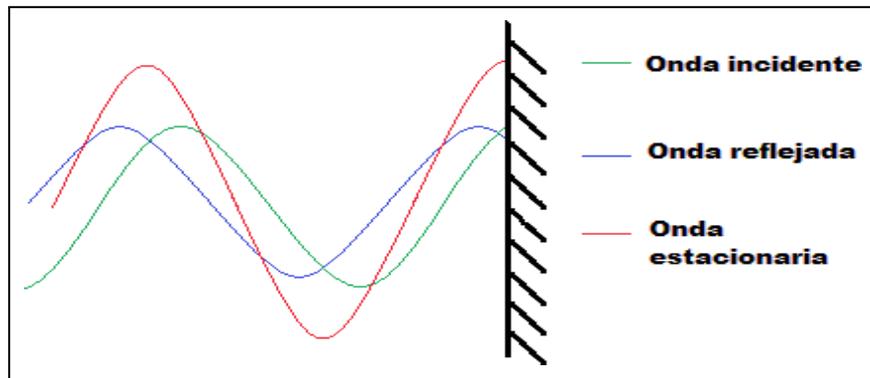


Figura 3. Generación de onda estacionaria

Fuente. Beranek, 2009

Las ondas estacionarias generan un aumento en la presión sonora de ciertas frecuencias en ciertos puntos de la sala. Al igual que tenemos máximos de presión, habrá ciertos puntos en los que la presión será nula, o casi nula, lo cual nos permite hacernos una idea de la falta de uniformidad del nivel de presión sonora que tendremos en el recinto.

Las ondas estacionarias que se generarán se llaman frecuencias propias de los modos propios y éstas serán aquellas frecuencias para las cuales el recinto responde a una excitación, es decir, serán las frecuencias de resonancia de la sala las cuales podremos calcular para un recinto con forma de cubo rectangular.

Se distinguen entre 3 tipos de modos:

El primero de ellos serán los modos axiales, que son aquellos que se generan al formarse una onda estacionaria entre dos paramentos paralelos del recinto.

El segundo, los modos tangenciales, formados entre cuatro de las seis superficies del recinto. Estos modos tendrán un nivel de presión sonora -3 dB inferior al de los modos axiales. Y, finalmente los modos oblicuos, los cuales se generan por las reflexiones que se producen en seis o más, de las superficies del recinto; el nivel de presión de éstos será -6 dB inferior al producido por los modos axiales.

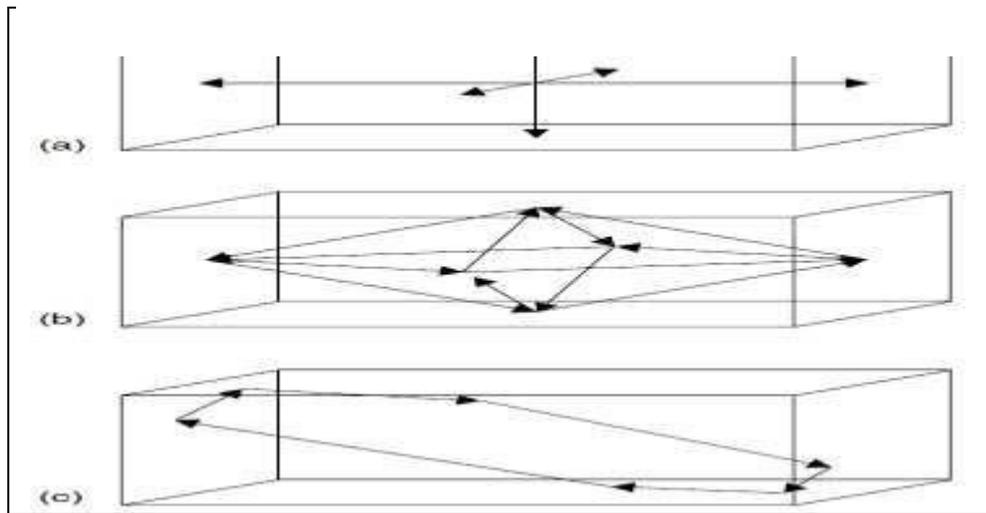


Figura 4. Caminos recorridos por las reflexiones que generan los modos propios axiales (a), tangenciales (b) y oblicuos (c).

Fuente. Beranek, 2009

Además, se puede realizar un estudio de la distribución del nivel de presión sonora por cada uno de los modos propios generados en el recinto mediante algún programa de simulación acústica que nos permitiría conocer los puntos de máxima afección.

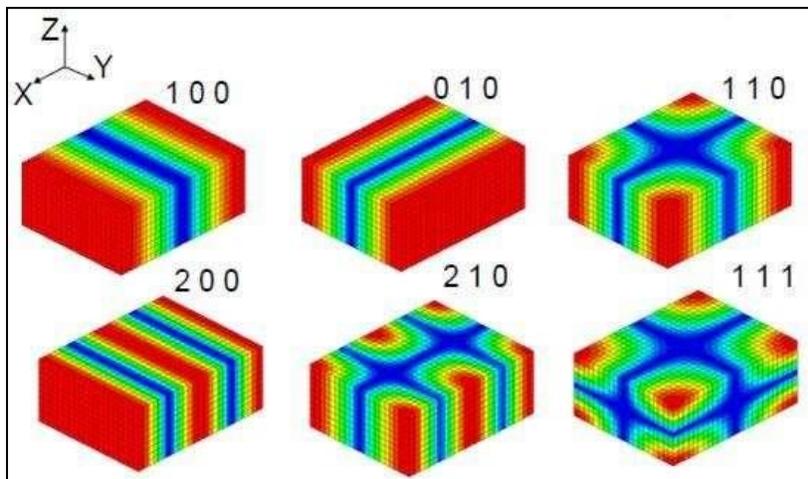


Figura 5. Simulación realizada con SYSNOISE de la distribución modal de un recinto

Fuente. Elaboración propia

Como vemos en la Figura 9, cada modo tiene una distribución distinta del nivel de presión sonora en el interior del recinto. Por ejemplo, el modo (100) se correspondería con un modo axial generado entre las superficies paralelas coloreadas en rojo. Además, el color rojo representa un máximo de presión y el color azul un mínimo, lo que nos permitirá saber en qué puntos de la sala tendremos un máximo y un mínimo de presión al excitar esa frecuencia. (Vázquez Rosado, s.f.).

4.5 Tiempo de reverberación. $rt60$

“Se define la reverberación como las múltiples reflexiones que suceden dentro un recinto”.
(Bidondo, 2004)

En el libro *Acústica* de Beranek figuran estos textos: “Después del periodo de las reflexiones tempranas, comienzan a aparecer las reflexiones de las reflexiones, y las reflexiones de las reflexiones de las reflexiones, y así sucesivamente, dando origen a una situación muy compleja en la cual las reflexiones se densifican cada vez más. Esta permanencia del sonido aún después de interrumpida la fuente se denomina reverberación.

Siguiendo el libro de Beranek, en cada reflexión, una parte del sonido es absorbido por la superficie con la que choca, otra parte es reflejada y otra parte absorbida donde puede transformarse en minúsculas cantidades de calor, o propagarse a otra habitación vecina, o ambas cosas. La parte reflejada mantiene su carácter de sonido, y viajará dentro del recinto hasta encontrarse con otra superficie, en la cual nuevamente una parte se absorberá y otra parte se reflejará. El proceso continúa así hasta que la mayor parte del sonido sea absorbido, y el sonido reflejado sea ya demasiado débil para ser audible, es decir, se extingue.

Para medir cuánto demora este proceso de extinción del sonido se introduce el concepto de tiempo de reverberación: T ; técnicamente definido como el tiempo que demora el sonido en bajar

60 dB por debajo de su nivel inicial (los estudiosos del tema eligieron 60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente). En algunas publicaciones se suele representar también este valor con el símbolo RT60, formado por la sigla en inglés de reverberation time (tiempo de reverberación), seguida por la referencia a los 60 dB. Otra abreviatura es T60.

Fórmula para calcular el tiempo de reverberación según Sabine:

$$TR_{60}_{Sabine} = 0,161 \cdot V / \bar{S} \bar{a}$$

Fórmula para calcular el tiempo de reverberación según Eyring Norris:

$$TR_{60}_{EYRING-NORRIS} = 0,161 \cdot V / -S \ln(1 - \bar{a})$$

Fórmula para calcular el tiempo de reverberación según Millington Sette:

$$TR_{60}_{Millington-Sette} = 0,161 \cdot V / -\sum_{i=1}^n S_i \ln(1 - \bar{a}_i)$$

Como ejemplo, si al interrumpir un sonido de 90 dB éste se reduce a 30 dB en 3seg, entonces será T = 3 s. Salvo para sonidos inicialmente muy intensos, antes de caer 60 dB el sonido se vuelve inaudible por quedar enmascarado por el ruido de fondo o ruido ambiente.

El tiempo de reverberación depende de cuán absorbentes sean las superficies de la sala. Así, si las paredes son muy reflectoras (es decir que reflejan la mayor parte del sonido que llega a ellas), se necesitarán muchas reflexiones para que se extinga el sonido, y entonces T será grande. Si, en cambio, son muy absorbentes, en cada reflexión se absorberá una proporción muy alta del sonido, por lo tanto en unas pocas reflexiones el sonido será prácticamente inaudible, por lo cual T será pequeño.

Dado que los materiales duros, como el hormigón o los azulejos, son poco absorbentes del sonido, un ambiente con paredes de este tipo tendrá un tiempo de reverberación largo. “Una sala

cubierta con materiales absorbentes como cortinados, alfombras, etc., por el contrario, tendrá un tiempo de reverberación corto”. (Beranek, 1986)

4.6 Ruido Y Contaminación Ambiental

La Contaminación Acústica es una mezcla compleja de vibraciones diferentes, las cuales producen, generalmente, una sensación desagradable.

4.6.1 Fuentes de Ruido.

Originados por:

- a) Conglomerados urbanos.
- b) Transporte aéreo y terrestre: Aviones, Automóviles, Pasajeros, Cargas, Ferrocarriles.
- c) Actividades: Industrias, Talleres, Construcción, Comercios, Espectáculos.
- d) Agentes Atmosféricos: Viento, Lluvia, Granizo.
- e) Personas: Juegos, Pisadas, Conversaciones, Reuniones sociales.
- f) Industrias
- g) Procesos productivos: Fuentes Mecánicas, Electromagnéticas, Térmicas, Fluodinámicas.
- h) Causas Esporádicas: Sirenas de los Sistemas de Emergencia, Ladridos, etc.

4.6.2 Tipos de Ruido.

- a) Ruido continuo: Producido por maquinaria de proceso ininterrumpido o por circulación vehicular.
- b) Ruido intermitente: Producido por maquinaria de operación cíclica, paso de vehículos, aviones, etc.
- c) Ruido impulsivo: Producido por impactos, explosiones, disparos de armas, etc.
- d) Ruido con contenido tonal: Producido por maquinarias de proceso ininterrumpido o con partes rotativas (motores, ventiladores, etc.) o flujo de gases y líquidos.

- e) Ruido de baja frecuencia: Producido por grandes motores diesel, barcos, plantas de energía, etc.

4.6.3 Tipos de Fuentes de Ruido.

4.6.3.1 Fuentes Fijas.

- a) Ruidos generados en la construcción.
- b) Obras en construcción.
- c) Demoliciones.
- d) Trabajos en calles y servicios.
- e) Ruidos generados por la industria.

4.6.3.2 Fuentes Móviles.

- a) Ruido generado por el tránsito vehicular.
- b) Ruido generado por el ferrocarril y el subterráneo.
- c) Ruido generado por el tráfico aéreo.

4.6.3.3 Fuentes Fijas/Móviles.

- a) Ruido generado por actividades comunitarias.
- b) Mercados.
- c) Actividades comerciales.
- d) Servicios de reparto urbano.
- e) Recolección de residuos.
- f) Colegios.
- g) Ruido generado por la actividad de las personas.
- h) Pisadas.
- i) Juegos infantiles.

j) Espectáculos y Esparcimiento.

4.6.4 Medición y Control de Ruido

Técnicas y conceptos de medición de ruido:

4.6.4.1 Curvas de Ponderación

En frecuencias muy bajas y muy altas, el oído es menos sensible, por lo que se aplican filtros de corrección llamados “de ponderación”.

a) El filtro de ponderación A es el que mejor se aproxima a la respuesta del oído, quedando la medición expresada en dBA.

b) El filtro de ponderación C se haya indicado cuando se evalúa sonidos de nivel alto o con un gran contenido de bajas frecuencias, quedando la medición expresada en dBC.

4.6.4.2 Características Dinámicas.

a) Respuesta Rápida (Fast): $t = 0,125$ ms.

Ruidos de variación rápida (> 5 dB)

b) Respuesta Lenta (Slow): $t = 1$ s.

Ruidos de variación lenta o promedio de ruidos de variaciones rápidas inferiores a 5 dB.

c) Respuesta Impulsiva (I): $t = 35$ ms.

Ruido con alto contenido impulsivo.

4.6.4.3 Características Generales de los Dispositivos de Medición.

Características generales del instrumental.

a) Medidor de nivel sonoro (SLM) integrador clase 2 o mejor "SONOMETRO" (Norma IEC804.

b) Equipos adicionales de características similares a las fijadas para el SLM.

c) Filtros según norma IRAM 4081.

d) Calibrador clase 2 o mejor, según norma IRAM 4123.

4.6.4.4 Condiciones Generales al Medir Fuentes Fijas.

Condiciones de medición

- a) Determinación del nivel de presión sonora equivalente, compensado A y expresado en dBA.
- b) Medido en respuesta S (lenta).
- b) Altura de medición: 1,2 m. a 1,5 m. sobre el nivel del piso.
- c) Separación mínima de paredes, edificios o estructuras reflejantes del sonido: 3,5 m.

4.6.5 Sonómetro.

Es un instrumento que sirve para medir niveles de presión sonora SPL. El sonómetro mide el nivel de ruido que hay en determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio. (dB) La norma CEI 60651 (en España, UNE-EN 60651) y la norma CEI 60804 (en España, UNE- EN 60804), emitidas por el CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), establecen, para el ámbito europeo, las normas que han de seguir los fabricantes de sonómetros. Además, en todos los países, normas nacionales e internacionales clasifican los sonómetros en función de su grado de precisión. En España y otros países europeos se sigue la norma CEI 60651, donde se establecen 4 tipos en función de su grado de precisión. De más a menos:

- a) Sonómetro de clase 0: se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
- b) Sonómetro de clase 1: permite el trabajo de campo con precisión.
- c) Sonómetro de clase 2: permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo.
- d) Sonómetro de clase 3: es el menos preciso y sólo permite realizar mediciones aproximadas, por lo que sólo se utiliza para realizar reconocimientos.

Sea del tipo que sea, básicamente, el sonómetro siempre está formado por:

- a) Un micrófono con una respuesta en frecuencia similar a la de las audiofrecuencias,

generalmente, entre 8 Hz y 22 kHz. Tipo electret.

- b) Un circuito que procesa electrónicamente la señal.
- c) Una unidad de lectura (vúmetro, led, pantalla digital, etc).

Muchos sonómetros cuentan con una salida (un jack, por lo general, situado en el lateral), que permite conectarlo con un osciloscopio, con lo que la medición de la presión sonora se complementa con la visualización de la forma de la onda.

4.6.6 Descriptores de Ruido.

Mediante fórmulas matemáticas y con un trabajo estadístico preliminar, los descriptores de ruido ayudan a valorar un sitio contaminado acústicamente.

- a) LAeq: Nivel Sonoro Continuo Equivalente: Es la energía promedio ponderada “A” durante todo el período de medición.

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A(t)^2}{r_0^2} dt \right]$$

- b) L den: Equivalente Día, Tarde, Noche, se debe evaluar una muestra por segundo.

$$L_{den} = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(\frac{L_{day}}{12} + 4 \cdot \frac{L_{evening}}{10} + 8 \cdot \frac{L_{night}}{10} \right) \right]$$

- c) Noise Pollution Level: nivel de contaminación con ruido y se aplica penalidad por desviación estándar.

$$NPLL = L_{Eeq} + 2,5S$$

4.6.7 Ruido y Efectos Sobre la Salud.

Ref: (*Ruido y Salud*), Osman Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, España, con la colaboración de la unión Europea y la junta de Andalucía. 2009.

El oído es esencial para el bienestar y la seguridad. Si se toma como base la definición de salud de la OMS, la molestia causada por el ruido puede ser considerada un problema de salud. Se estima que el 22% de la población europea está molesta o muy molesta por el ruido (17).

Hay diversos estudios que se centran en alguno de los efectos adversos sobre la salud, atribuidos al ruido, aunque los resultados obtenidos no siempre coinciden o son fiables, debido a errores metodológicos o a la no reproducibilidad de los resultados.

Por ejemplo, el impacto del ruido en la presión sanguínea en niños no está claro aún. Hay factores de estilo de vida y de predisposición cuya influencia es difícil de estudiar de forma separada respecto al ruido, es un problema constante en los estudios ambientales. A esto se pueden unir problemas metodológicos como el tamaño del estudio, contraste insuficiente entre niveles de ruido, sesgo de selección, ajuste insuficiente por factores tales como el estatus socioeconómico, antecedentes familiares, el aislamiento sonoro, etnia, etc. Un ejemplo de esto es el estudio realizado para valorar el impacto del ruido en la presión sanguínea en niños.

Según la Comisión Europea, la exposición al ruido perturba el sueño, afecta al desarrollo cognitivo infantil y puede provocar enfermedades psicosomáticas. Según cálculos de la Comisión, los costes externos de la contaminación del aire y del ruido del tráfico ascienden al 0,6% del PIB.

La siguiente tabla resume los efectos sobre la salud y un nivel orientativo a partir del cual se pueden producir, según la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 1.

Efectos del ruido en la salud Fuente Organización Mundial de la Salud

Entorno	Nivel de sonido dB(A)	Tiempo (h)	Efecto sobre la salud
Exterior de viviendas	50-55	16	Molestia
Interior de viviendas	35	16	Interferencia con la comunicación
Dormitorios	30	8	Interrupción del sueño
Aulas escolares	35	Duración de la clase	Perturbación de la comunicación
Áreas industriales, comerciales y de tráfico	70	24	Deterioro auditivo
Musica en auriculares	85	1	Deterioro auditivo
Actividades de ocio	100	4	Deterioro auditivo

Fuente. Organización mundial de la salud, 2018

Aspectos importantes en relación a los efectos sobre la salud, son la duración del ruido y el modo en que se distribuye en el tiempo y el espectro de frecuencias: los de larga duración y nivel de sonido alto son los más dañinos para el oído y generalmente los más molestos. Los de alta frecuencia tienden a ser de más riesgo auditivo y más molesto que los de baja frecuencia.

En cuanto a la distribución en el tiempo, los sonidos intermitentes parecen ser menos dañinos para el oído que los sonidos continuos a causa de la habilidad del oído para regenerarse durante los períodos de silencio. Sin embargo, los sonidos intermitentes (intercalan períodos de silencio) e impulsivos (caracterizados por niveles de sonido relativamente altos y de muy corta duración) tienden a ser más irritantes a causa de su impredecibilidad.

Los principales efectos adversos sobre la salud reconocidos por la Organización Mundial de la Salud y otros organismos como la Agencia de Protección Ambiental de EEUU, y el Programa

Internacional de Seguridad Química (IPCS) en sus monográficos sobre criterios de salud ambiental (Environmental Health Criteria) son:

- Efectos auditivos: discapacidad auditiva incluyendo tinnitus, (escuchar ruidos en los oídos cuando no existe fuente sonora externa), dolor y fatiga auditiva
- Perturbación del sueño y todas sus consecuencias a largo y corto plazo
- Efectos cardiovasculares
- Respuestas hormonales (hormonas del estrés) y sus posibles consecuencias sobre el metabolismo humano y el sistema inmune
- Rendimiento en el trabajo y la escuela
- Molestia
- Interferencia con el comportamiento social (agresividad, protestas y sensación de desamparo)
- Interferencia con la comunicación oral

4.7 Materiales Aislantes Acústicos

Son los productos utilizados en edificación y que contribuyen a la protección frente al ruido y que son proporcionada por los fabricantes. Los productos que componen los elementos constructivos homogéneos se caracterizan por la masa por unidad de superficie (Kg/m²).

4.7.1 Pérdida de Transmisión Sonora a Través de las Paredes.

Las características de una pared colocada entre dos habitaciones se expresan ordinariamente en términos de la pérdida de transmisión (TL) en dB. La pérdida de transmisión se define como la relación (expresada en dB) de la energía acústica transmitida a través de la pared a la energía acústica incidente sobre ella.

4.7.2 Pérdida de Transmisión para Paredes Simples.

Para paredes simples de construcción y amortiguadas de manera que no resuenan cuando se las golpea con un martillo depende principalmente del producto de la densidad superficial (kilogramo por metro •cuadrado) y de la frecuencia. El espesor no es por lo general importante para las paredes de menos de 30 cm, excepto si aumenta su peso. (Beranek, 1986, p.349)

4.7.3 Paredes Múltiples.

Cuando la pérdida de transmisión debe exceder los 40dB es por lo general económico y efectivo usar paredes dobles. Cuando se combinan paredes simples o se adaptan dobles, la magnitud de la reducción de ruido lo grada dependerá de las pérdidas de trasmisión de los materiales. Se dice que, las pequeñas aberturas, el mal ajuste de las puertas, o una ventana muy delgada, pueden anular en gran parte la eficacia de la aislación.

Si se dispone un recinto completamente cerrado en un campo de ruido uniforme. Para determinar el valor de la pérdida de trasmisión y calcular la reducción de ruido total para el recinto, deben considerarse las áreas y los coeficientes de trasmisión de todas las paredes, puertas y ventanas.

Mediante una formula el libro dice que la pequeña ventana tiene mucho mayor transmisión que la que ocurre sobre el resto de la pared. Se corrobora que las superficies pesadas tienen menor índice de transmisión.

Si se usara una ventana con dos vidrios, esto es, dos hojas de 6 mm separadas por un espacio de aire de 25 mm, la pérdida de trasmisión para toda la estructura sería igual a la del bloque de concreto, esto equivale a decir: 46 dB de pérdida por transmisión. (Beranek, 1986, p.351)

Cuando se combinan paredes simples o dobles para formar un recinto, la magnitud de la

reducción de ruido lograda depende de las pérdidas de transmisión combinadas. En efecto, las pequeñas aberturas, el mal ajuste de las puertas, o una ventana muy delgada, puede anular en gran parte la eficacia de la aislación.

4.8 Aislamiento Acústico

4.8.1 Transmisión del Sonido.

Los sonidos generados en el interior de un recinto se propagan produciendo principalmente, dos sucesos relevantes a la hora de entender qué está pasando en el mismo. A medida que el sonido se propaga desde su emisión en la fuente, el primer fenómeno que podemos tener en cuenta es “el impacto del sonido contra los paramentos del recinto”. Una vez que sucede, podemos decir que la energía de las ondas que impactan sobre estos paramentos se divide en tres sucesos, como podemos ver en la siguiente figura siguiente:

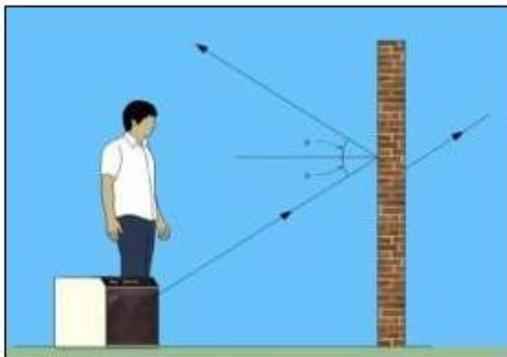


Figura 6. Diagrama de los distintos caminos que toma el sonido cuando

Fuente. Beranek, 2009

El primero de ellos es la reflexión de parte de la energía incidente en la pared hacia el interior del recinto. Este es un fenómeno a tener muy en cuenta en el estudio del campo sonoro generado en el recinto ya que, la dirección hacia la que se dirige la onda reflejada y el nivel de presión acústica con la que ésta se refleja determinará el campo acústico existente.

En segundo lugar, tendremos en cuenta la cantidad de energía que se pierde al provocar la

vibración de las partículas del paramento sobre el que incide la onda sonora. La cantidad de energía que se transforma en calor depende, principalmente, del tipo de material del paramento, así como, de la estructura molecular del mismo.

Finalmente, una cantidad de la energía incidente sobre el paramento se transmitirá directamente a través de éste, provocando transmisión del sonido a un espacio colindante o hacia el exterior. Estos dos últimos sucesos serán los más importantes a la hora de estudiar el aislamiento acústico. (Vázquez Rosado, s.f.).

4.8.2 Aislamiento acústico de sistemas de una hoja.

Una partición simple o de una hoja, se define como aquella que tiene sus dos caras exteriores rígidamente unidas, de forma que se mueven como si fueran una sola.

Los parámetros que tienen mayor influencia en el índice de reducción acústica a ruido aéreo R^1 de un elemento constructivo en una partición simple son: la masa, la rigidez de la partición, las resonancias, los efectos de coincidencia, la frecuencia de las ondas acústicas y su ángulo de incidencia con la partición.

Realizar un cálculo exacto del índice de reducción acústica es muy complicado debido a que ciertos parámetros que caracterizan a la partición no son fáciles de conseguir, por ello, se realizan aproximaciones que nos permiten aproximarnos al problema.

4.8.3 Aislamiento Acústico a Ruido Aéreo de Elementos Mixtos.

(R: hace referencia a índice de reducción)

Se cita un ejemplo donde podría ser una pared de ladrillo con una puerta o ventana. Estos casos se darán en casi todos los sistemas reales, por lo que será interesante estudiarlo.

Suponiendo que uno de los dos elementos que componen la pared divisoria de superficie S , tiene una superficie S_1 y un índice de reducción acústica R_1 y que el otro elemento tiene una

superficie S_2 el índice de reducción acústica R_2 , podremos calcular el índice de reducción del sistema que se está diseñando R_m como:

$$R_m = -10 \log \left(\frac{S_1}{S} \cdot 10^{-0,1R_1} + \frac{S_2}{S} \cdot 10^{-0,1R_2} \right) \text{ dB}$$

Además, si la división estuviese formada por más de dos elementos distintos podríamos calcularlo con la ecuación:

$$R_m = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1R_i}}{\sum_{i=1}^n S_i} \right)$$

Donde S_i es el área del elemento en m^2 y R_i el índice de reducción acústica del elemento.

Es interesante destacar que cuando un recinto está compuesto por dos o más elementos diferenciados con diferentes índices de reducción acústica el R del sistema estará condicionado al R_i o del elemento constructivo más débil.

Se recomienda buscar soluciones homogéneas, es decir, no tiene ningún sentido instalar una puerta acústica con un $R_{pv} \approx 50$ dB en una pared cuyo $R_{pv} = 30$ dB ya que estaremos desaprovechando completamente el aislamiento que nos aporta la puerta acústica debido a que el R_m del sistema completo será mucho más bajo que el de la puerta. Como máximo podremos obtener un R_m 10 dB superior al del elemento con menor índice de reducción acústica de los dos. (Vázquez Rosado, s.f.).

También y para más facilidad de cálculo, encontraremos en la red internet a la página: (Ursa, 2018) en donde nos dirige a descargar una hoja en Excel que calcula el R estimado para cerramientos.

4.8.4 Aislamiento a Ruido Aéreo de Sistemas Multi-Hojas.

“Para conseguir un aislamiento acústico a ruido aéreo, lo que debe evitarse es que el medio transmisor del ruido (el aire) circule libremente”: (Manual de aislamiento acústico, 2015, p. 24)

Principalmente debe evitarse el camino de transmisión directa entre emisor y receptor mediante la colocación de barreras, pantallas, paredes, etc.

Para conseguir grandes aislamientos es importante incrementar la masa (peso) del paramento o pared de separación. Cuanto mayor es la masa, mayor aislamiento se conseguirá.

El cálculo de la energía acústica transmitida a través de una pared es muy sencillo, si conocemos el nivel de presión acústica del sonido incidente, así como el aislamiento acústico bruto normalizado del material, siendo la diferencia de estos dos valores, la energía transmitida a través de la pared. Por ejemplo, si tenemos un local con un nivel de presión sonora de 80 dB que incide en una pared, mientras que en el local receptor el nivel de presión sonora es de 35 dB, entonces el aislamiento acústico bruto a ruido aéreo es de 45 dB. Referencia tomada. (Manual de aislamiento acústico, 2015)

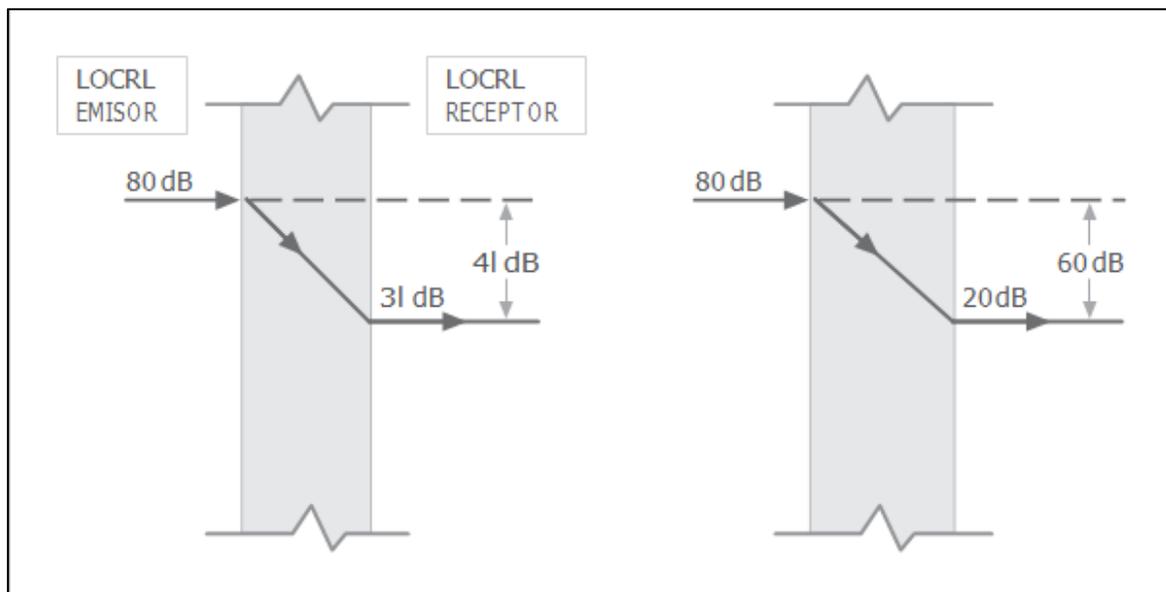


Figura 7. Aislamiento Acústico Específico de un Elemento Constructivo

Fuente. Beranek, 2009

Sin embargo, los ruidos generados en un recinto, pueden penetrar dentro de los recintos próximos no sólo a través de las paredes comunes, sino que también se transfieren sonidos a través de todas las otras paredes del recinto en el que está colocada la fuente sonora. Esta transmisión indirecta aparece cuando una pared está conectada con otros elementos, estos elementos próximos alcanzan un estado de vibración que se propaga a lo largo de las paredes laterales.

Por tanto, el aislamiento acústico total de un recinto se determina mediante el aislamiento acústico de todos sus límites, y depende del nivel de ruido existente en el exterior del recinto y del nivel de ruido máximo admisible (ruido creado en el interior del recinto debido a la actividad realizada en el mismo) en el interior de dicho recinto. (Manual de aislamiento acústico, 2015, p. 24)

4.8.5 Índice de Reducción Acústica del Vidrio.

Es importante reflejar la respuesta de este tipo de materiales al aislamiento a ruido aéreo debido a que en la mayoría de proyectos el vidrio formará, de una u otra manera, parte del mismo. Podremos encontrarlos, por tanto, diferentes tipos de vidrios que tendrán un comportamiento diferenciado en cuanto a aislamiento acústico.

Vidrio Sencillo:

Este tipo de vidrio está compuesto por un vidrio homogéneo o monolítico de una hoja. Su índice de reducción acústico aumenta con el espesor pero disminuye entre 10 dB y 15 dB en torno a la frecuencia crítica del mismo. El valor de la frecuencia crítica podremos calcularlo como:

$$f_c = \frac{1280}{h} \text{ Hz}$$

Siendo h el espesor en centímetros, por lo que al aumentar dicho espesor disminuirá proporcionalmente la frecuencia crítica. Vidrio Laminado

Este tipo de vidrio está compuesto por dos o más vidrios monolíticos unidos por un material plástico denominado “butiral de polivinilo” PVB. Esta composición presenta una elevada resistencia a la penetración y consigue un aumento en el índice de reducción acústica. Además, existe en el mercado un vidrio laminado que incluye una lámina de PVB acústica, la cual recibe la denominación PVB(A). Este aumento en el R se produce por la práctica eliminación del efecto de coincidencia al aumentar el factor de pérdidas asociado a la deformación de corte del material plástico.

Unidad de Vidrio Aislante:

Este tipo de vidrio es el más extendido en la práctica. Consiste en dos vidrios monolíticos o laminados, separados por una cámara de aire sellada herméticamente.

En caso de que uno de los dos vidrios sea laminado se deberá poner esta parte hacia el lado saliente, normalmente el interior del recinto, ya que el R varía con la temperatura de los vidrios laminados.

Pero además, también cabe la posibilidad de tener un sistema formado por un acristalamiento múltiple y separado por una cámara de aire no sellada. En este caso se trabaja con éste sistema como si fuera una pared de dos hojas.

El mayor índice de reducción acústica se consigue cuando los dos vidrios tienen espesores diferentes, con una relación 1:2 y la separación entre ambos es mayor de 20 cm.

4.9 Materiales Absorbentes

“Todo material absorbe energía sonora en algún grado. Cuando las ondas sonoras alcanzan un material, parte de la energía acústica de la onda es absorbida y/o transmitida y la restante es

reflejada”. (Suplemento de la revista, 2009)

4.9.1 Coeficientes de Absorción del Sonido.

Las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos el sonido, lo cual lleva a definir el coeficiente de absorción sonora, abreviado con la letra griega α (alfa), nos indica la división entre la energía absorbida y la energía incidente:

$$a = \frac{E_{\text{absorbente}}}{E_{\text{incidente}}}$$

El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, y por esa razón se han medido y tabulado los coeficientes de absorción para varios materiales y objetos. En general, los materiales duros, como el hormigón o el mármol, son muy reflectores y por lo tanto poco absorbentes del sonido, y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente muy absorbentes.

En general la absorción aumenta con la frecuencia, debido a que para frecuencias altas la longitud de onda es pequeña y entonces las irregularidades de la superficie o el propio espesor del material son más comparables con la longitud de onda. En algunos casos, algún fenómeno de resonancia entre el material y la pared puede mejorar la absorción en bajas frecuencias. (Miyara, 2004)

4.9.2 Coeficientes de Absorción de Diversos Materiales en Función de la Frecuencia.

En la siguiente tabla se encuentran algunos materiales que presentados en tabla, ofreciéndonos el coeficiente de absorción en un rango de frecuencias. Este rango de frecuencias la acústica la conoce como en tercios de octava. Estos datos brindan una información relevante para los cálculos acústicos necesarios.

Tabla 2.**Relaciones de materiales de absorción**

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
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	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,4
Alfombra de lana 2,3 kg/m ²	0,1	0,1	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m ²	0,0	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 (Manville) 19 mm	-	0,80	0,71	0,86	0,68	-
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	-	0,72	0,61	0,68	0,79	-

Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	-	0,70	0,61	0,70	0,78	-
Panel cielorraso Perfil (Manville) 4 mm	-	0,72	0,62	0,69	0,78	-
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7
Asiento de madera (0,8 m ² /asiento)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Personas en asiento de madera (0,8 m ² /persona)	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5
Personas en asiento tapizado (0,8 m ² /persona)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Personas de pie (0,8 m ² /persona)	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5

Fuente. Beranek, 2009.

4.9.3 Absorción.

El hecho de que nos lleguen reflexiones desde distintos puntos del recinto hasta nuestros oídos facilita la creación de una imagen sonora que determina la procedencia del sonido. Cuando disponemos de un punto de escucha concreto necesitaremos que ésta procedencia sea la fuente sonora estéreo de la que disponemos para la escucha, muy necesaria para la mezcla y masterización de audio por lo que habrá que tener mucho cuidado con la cantidad y nivel de energía de las ondas sonoras que llegan hasta el punto de escucha.

Además, la absorción permite también que el tiempo de reverberación del recinto en cuestión se sitúe en los márgenes recomendables para el tipo de uso que éste tenga. (Miyara, 2004, p.53)

4.9.4 Absorbentes porosos.

Se denominan materiales absorbentes porosos a todos aquellos materiales compuestos por fibras cuya disposición microscópica es de canales por los cuales el sonido penetra. Al entrar por dichos canales la energía de la que dispone el sonido se pierde, en parte, en forma de calor lo que provoca una reducción de energía total de la onda reflejada de nuevo hacia el interior del recinto. Este fenómeno recibe el nombre de resistividad al flujo de aire y, consiste en la capacidad de los materiales de reducir la energía acústica disminuyendo, para ello, la velocidad de las partículas de aire que se encuentran vibrando.

Una característica importante del sonido reflejado sobre un paramento es que el punto donde tenemos un máximo de velocidad de la onda estacionaria, por lo que será, en éstos puntos, donde podremos obtener un máximo en la absorción acústica de dichas ondas. Por tanto, es evidente destacar, que el grosor del material será determinante en la cantidad de absorción acústica de éste. (Miyara, 2004, p.54)

4.10 Criterios De Acondicionamiento Acústico

4.10.1 Golden Ratios.

Los problemas derivados de la distribución de los modos propios son conocidos desde hace mucho tiempo. El primero en definir una relación óptima entre las dimensiones del recinto fue Sabine en el año 1900. Éste recomendó un ratio óptimo de 2 : 3 : 5 posiblemente basándose en los ratios de los intervalos armónicos en la música.

Bolt fue uno de los primeros que investigó la distribución de los modos propios. Su estudio se basó en conseguir un promedio entre las distancias correctas de modos propios con el fin de conseguir que los problemas de picos y valles se minimicen dentro de la respuesta modal de la sala.

El mismo ratio que propuso Sabine entra dentro de lo propuesto por Bolt, no obstante, para éste último, el ratio óptimo sería $1 : 2^{1/3} : 4^{1/3}$ ($1 : 1.25 : 1.6$). Además, Bolt propuso un área dentro del cual existen una serie de ratios óptimos que se pueden usar para conseguir una correcta distribución modal. Room Ratios propuestos por Bolt:

Estos ratios proponen una relación óptima entre las dimensiones del recinto fijando la dimensión z del mismo en uno y variando las dimensiones x, y que nos permitirán escoger el tamaño adecuado. Por ejemplo, si elegimos el ratios promedio que nos proporciona la gráfica ($1 : 1.25 : 2$) podremos diseñar un recinto cuyas dimensiones sean, $z = 2.8$ m, $x = (2.8 \times 1.25) = 3.5$ m y $y = (2.8 \times 1.6) = 4.48$ m. (Vázquez Rosado, s.f.).

4.10.2 Criterio de Bonello.

En el año 1981 Bonello presentó un artículo en el cual proponía un criterio para la correcta distribución de los modos propios dentro de un recinto. Para establecer dicho criterio partió del cálculo de los 48 primeros modos propios de un recinto según la ecuación de Rayleigh, A continuación, dividió el espectro en 1/3 de octava y contó el número de modos propios existentes en cada una de las bandas.

La razón por la cual se decidió a contar la cantidad de modos propios en cada banda de tercio de octava fue que nuestro oído no es capaz de discriminar entre los distintos modos que se encuentran en una banda concreta de frecuencia, lo que percibe es la suma de la energía sonora

total recibida en dicha banda.

De acuerdo con el procedimiento descrito hasta ahora la función de densidad modal, es calculada para intervalos de tercio de octava entre 10 y 200 Hz siguiendo el criterio descrito por Bonello:

1. La función de densidad modal deberá ser estática o ascendente, es decir, cada banda de tercio de octava deberá de tener, igual, o mayor número de modos que la predecesora.
2. No deberán haber, en una misma banda de tercio de octava, valores de frecuencias modales repetidos y, si esto ocurriera, sólo será aceptable si $D \geq 5$.

Además, Bonello decidió comparar su método con los “Golden Ratios” dados por otros autores. En la siguiente figura se muestra el diagrama de Bolt junto a varios puntos marcados por las letras desde A-P. Las letras representadas en el diagrama se corresponden con algunos ratios que cumplen con el criterio de Bonello.

4.10.3 Difusión.

“Entendemos por difusión del sonido el fenómeno que se produce cuando el sonido incidente sobre una superficie es reflejado en múltiples direcciones. Este fenómeno se produce cuando las dimensiones del objeto sobre el que impacta el sonido son proporcionales a la longitud de onda del mismo y conseguimos, con ello, una mayor uniformidad en el campo sonoro del recinto.

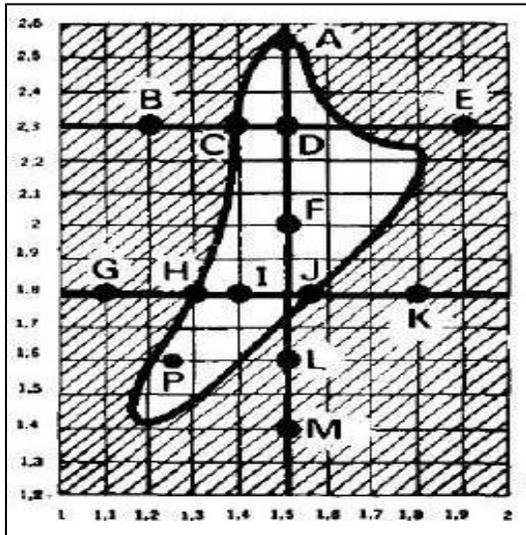


Figura 8. Gráfico de Bolt junto a algunos ratios propuestos

Fuente. Beranek, 2009

En la siguiente figura se presenta una comparación entre el efecto producido sobre una onda incidente ante distintos materiales, uno absorbente, otro reflector y otro difusor.

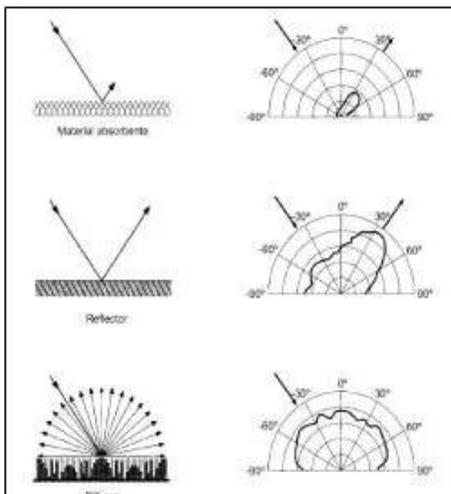


Figura 9. Comparativa entre los efectos de absorción, reflexión y difusión

Fuente. Beranek, 2009

Viendo la Figura podemos sacar varias conclusiones. La primera de ellas es que cuando el sonido incide ante un material absorbente la cantidad de energía

reflejada es muy pequeña. Por otro lado, cuando observamos el efecto producido por el elemento reflector vemos como la cantidad de energía reflejada es mucho mayor que en el caso anterior, pero casi toda esta energía se proyecta en la dirección de la reflexión. Por último, vemos como para el caso de los difusores, si bien la cantidad de energía refleja es muy grande (pero no tanto como en el reflector), la dirección de propagación de la misma es mucho más uniforme que para el caso anterior.” (Vázquez Rosado, s.f., p.43).

4.10.3.1 Difusores poli cilíndricos.

“Los difusores poli cilíndricos están formados por un conjunto de superficies lisas de forma convexa, cuyo radio de curvatura no puede ser mayor que 5 cm. Normalmente son construidos con planchas de madera.

En caso de que el radio de curvatura fuera mayor que cinco cm el sistema se comportaría como una superficie únicamente reflectante, por lo que habría que ser cuidadosos en el uso de este tipo de difusores. En la siguiente Figura podemos ver un ejemplo de este tipo de difusores.



Figura 10. Ejemplo de difusor poli cilíndrico

Fuente. Beranek, 2009

4.10.3.2 Difusores de Schroeder.

Este tipo de difusores están diseñados específicamente para trabajar en un margen determinado del espectro. Su diseño se basa en la teoría de los números desarrollada por Manfred R. Schroeder y se basan en distintas secuencias matemáticas que se repiten.

“Los difusores de Schroeder se denominan genéricamente RPG (“Reflection Phase Grating”) y, principalmente, se construyen a base de madera. A continuación se describen detalladamente cada uno de los tres tipos diferentes que podemos estudiar”: (Vázquez Rosado, s.f., p.45).

4.10.3.3 Difusores de Schroeder tipo MLS.

“Los difusores MLS (“Maximum Length Sequence”) están basados en unas secuencias periódicas, denominadas: de “longitud máxima” o de “Galois”, las cuales sólo pueden adquirir dos valores: -1 y +1.

El elemento difusor está compuesto por una superficie dentada creada a partir de una superficie lisa y reflectante. A cada uno de los tramos que componen el difusor se le asigna un valor de la secuencia, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Si el valor es -1, el tramo correspondiente de la superficie quedará inalterado,
- Si el valor es +1, se crea una ranura en el espacio ocupado por el tramo en cuestión.

La anchura de dicho tramo se denomina W y tendrá un tamaño igual a $\lambda/2$, mientras que la profundidad del mismo será $d = \lambda/4$, donde λ es la longitud de onda la frecuencia de diseño del difusor

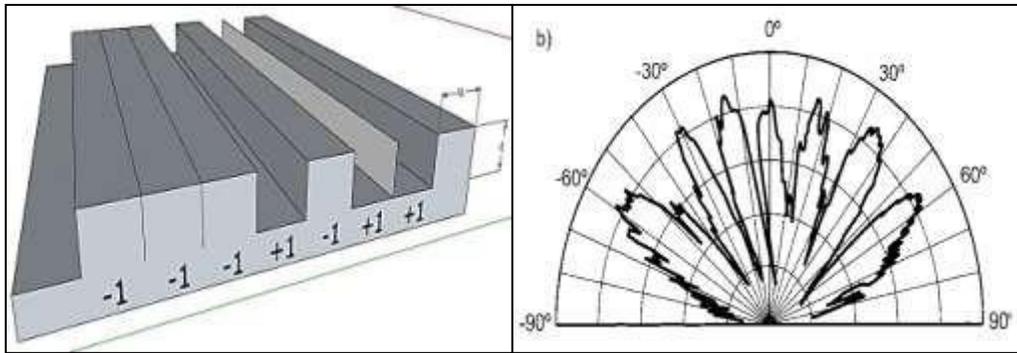


Figura 11. Difusor MLS (izquierda) y diagrama de difusión a la frecuencia

Fuente. Beranek, 2009

“No obstante, el margen de frecuencias para el cual es válido este tipo de difusor es únicamente del orden de una octava por lo que en la práctica este tipo de difusores no es muy usado”. (Vázquez Rosado, s.f., p.46).

4.10.3.4 Difusores de Schroeder tipo QRD.

“Existen dos tipos de difusores QRD (“Quadratic-Residue Diffusor”), uno son los unidimensionales y el otro son los bidimensionales. Los primeros de ellos son los más usados a nivel práctico, tanto en el diseño de salas de concierto como en estudios de grabación. Este tipo de difusores están formados por una serie de ranuras paralelas de forma rectangular, de igual anchura y distinta profundidad. Generalmente, dichas ranuras están separadas por unos divisores delgados y rígidos.

La profundidad de cada una de las ranuras se obtiene a partir de una secuencia matemática que da lugar a una estructura periódica, lo cual provoca, en un determinado margen de frecuencias, una difusión del sonido incidente en planos perpendiculares a dichas ranuras.

Dicha secuencia, la cual nos proporciona las distintas profundidades y que nos permite conseguir una distribución de energía reflejada lo más uniforme posible en todas las direcciones del espacio

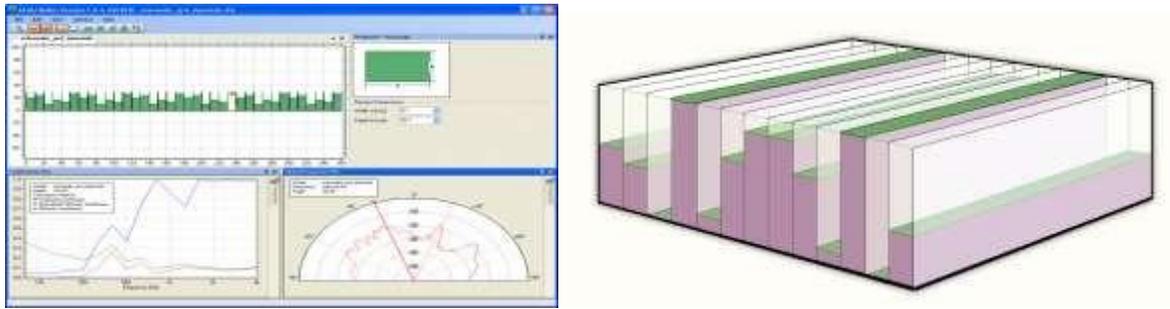


Figura 12. Difusores de Schroeder tipo QRD

Fuente. Beranek, 2009

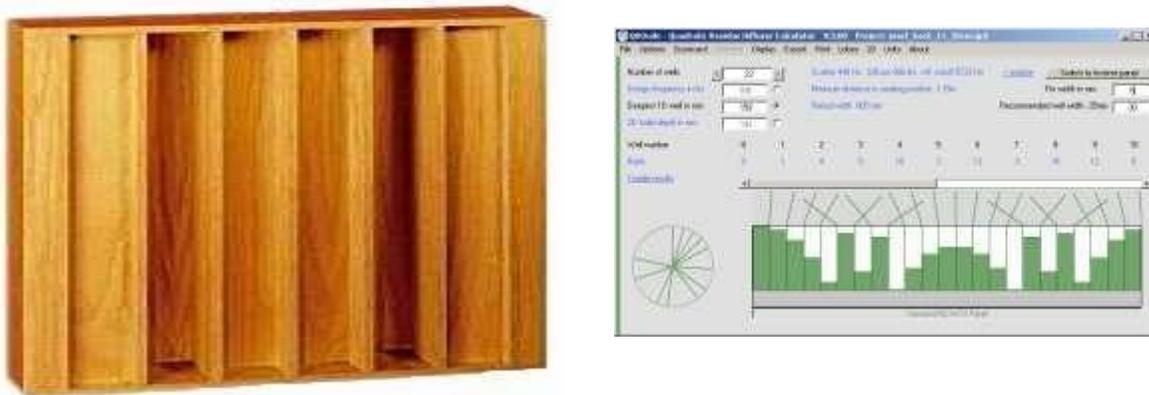


Figura 13. Difusores de Schroeder tipo QRD

Fuente. Beranek, 2009

También, existe una calculadora en internet muy fácil de usar:

Ésta calculadora nos permite diseñar de manera muy precisa el tipo de difusor tipo QRD; la forma de acceder a ella es en la página web: (*subwoofer-builder*, 2018) donde encontraremos un software download free para acceder. Soporta plataforma win Pc.

4.10.3.5 Difusores de Schroeder tipo PRD.

“Los difusores PRD (“Primitive-Root Diffusor”) o de raíces primitivas son iguales a los QRD unidimensionales, salvo por que la secuencia generadora para el cálculo de las profundidades de cada una de las ranuras se calcula a partir de la expresión $g^n \text{ mod } p$

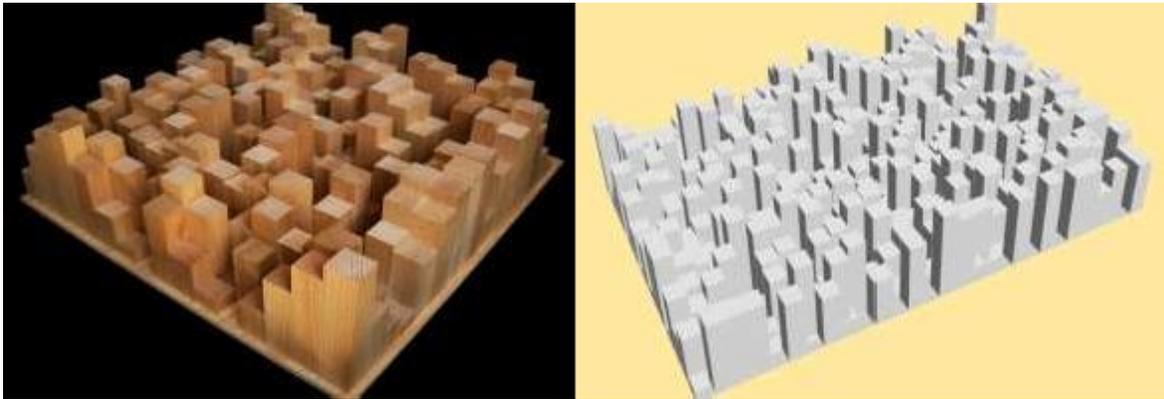


Figura 14. Difusores de Schroeder tipo PRD

Fuente. Beranek, 2009

Nota: Existe una calculadora igualmente en internet que nos calcula el difusor. Además, en paginas como pinterest o YouTube encontraremos como construir éste tipo de difusores.

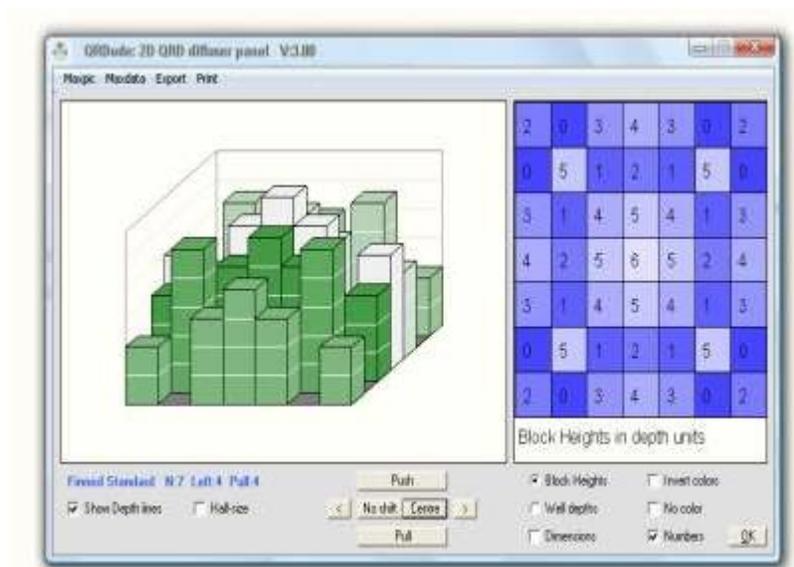


Figura 15. Calculadora de difusor

Fuente. Beranek, 2009

4.10.3.6 Resonadores de membrana o diafragmáticos.

Este tipo de absorbentes reciben el nombre de absorbentes selectivos debido a que su rango de trabajo se centra en una zona determinada del espectro. Este tipo de absorbentes suelen estar constituidos por una superficie de algún material impermeable al aire, normalmente contrachapado,

colocado sobre unos bastidores a una distancia determinada de una superficie rígida.

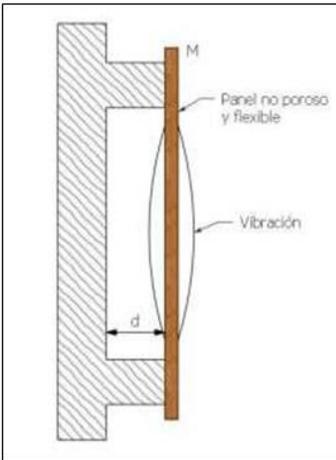


Figura 16. Resonador de membrana

Fuente. Beranek, 2009

El funcionamiento de este tipo de absorbentes se basa en la idea de que cuando una onda sonora incide sobre la superficie, ésta comienza a vibrar originándose un movimiento en el cual se producirá una pérdida de energía de la onda sonora incidente al transformarse ésta en calor. La máxima absorción se producirá a la frecuencia de resonancia del sistema que, normalmente, será a baja frecuencia. (Vázquez Rosado, s.f., p.55).



Figura 17. Resonador de membrana

Fuente. Beranek, 2009

4.10.3.7 Resonadores simples de cavidad (tipo resonador de Helmholtz).

Este tipo de resonadores están compuestos por una cavidad cerrada de aire conectada a la sala a través de un cuello estrecho, un buen ejemplo podría ser una botella abierta. El funcionamiento de éste tipo de resonadores depende directamente de las características geométricas del resonador y actúan alrededor de una frecuencia de resonancia concreta.

Por otro lado, la manera de absorber de este tipo de dispositivos se basa en el aire existente dentro de la cavidad. Cuando el sonido incide sobre el resonador pone en movimiento el aire que se encuentra en el cuello del resonador, el cual a su vez, comprime y expande el aire de la cavidad. Debido al rozamiento con las paredes del cuello, parte de la energía se disipa en forma de calor.

Además, esta pérdida de energía podrá aumentarse colocando un material absorbente poroso muy ligero en la boca del cuello o un material absorbente en la cavidad. Este principio de absorción puede ser aplicado a varios tipos de resonadores, los resonadores simples de cavidad, los paneles perforados y los paneles alveolados. (Vázquez Rosado, s.f., p.57).

4.10.3.8 Resonadores Múltiples de Cavidad a Base de Perforaciones o Ranuras.

“Este tipo de resonadores consisten en un panel de material no poroso y rígido en el que se crean una serie de perforaciones circulares o ranuras, montado a una cierta distancia, d , de una pared rígida con el objetivo de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

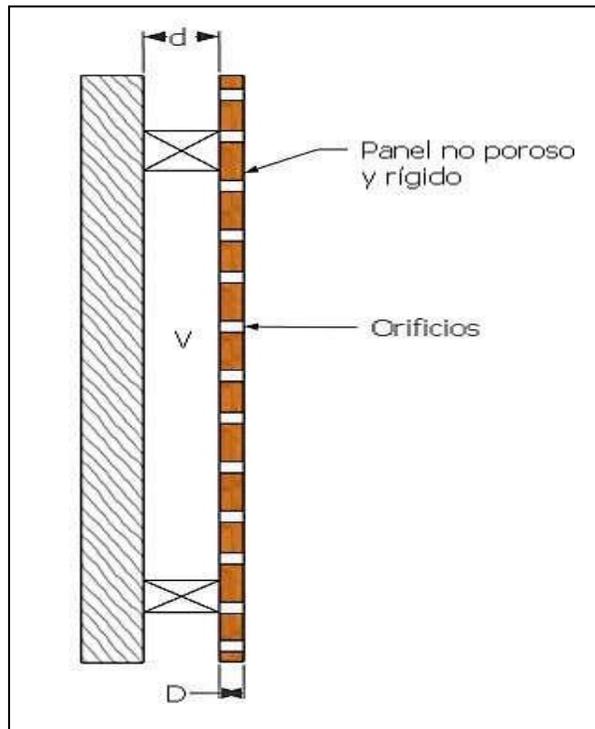


Figura 18. Esquema básico de un resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base

Fuente. Beranek, 2009

Este tipo de sistemas son más o menos selectivos dependiendo de la posición en la que se encuentre el material absorbente, no obstante podremos conseguir una respuesta más plana del difusor realizando una serie de modificaciones.

La primera de ellas será rompiendo la uniformidad de las perforaciones o ranuras realizando éstas de diferentes tamaños. De ésta manera la masa de aire contenida en cada ranura dejará de ser constante y habrá diferentes frecuencias de resonancia, lo que nos aportará una mayor uniformidad en frecuencia.

Otra opción sería haciendo que la distancia del panel a la pared sea variable montando el panel en forma de cuña con una inclinación determinada, lo que provocará que la rigidez del aire de la cavidad varíe, ya que es directamente proporcional a esta distancia.

Por último, podremos conseguir una mayor uniformidad aumentando notablemente el porcentaje de perforación del panel.

El material del que están hechas las placas sobre las que se realizan las perforaciones puede ser desde madera hasta metal, pasando por cartón-yeso o ladrillo. (Vázquez Rosado, s.f., p.59).

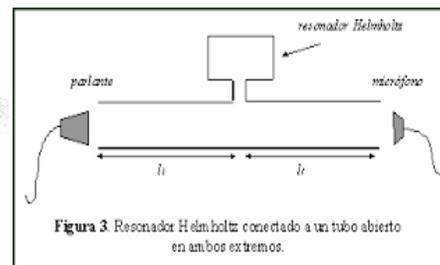
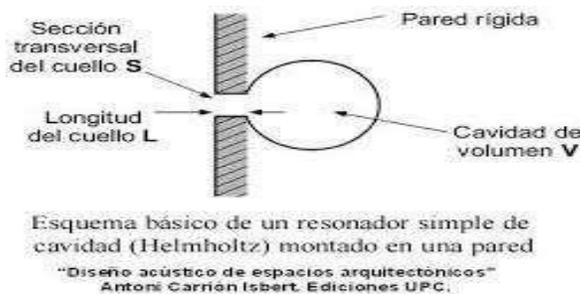


Figura 19. Resonador de cavidad (Helmholtz)

Fuente. Beranek, 2009

4.10.3.9 Resonadores de cavidad a base de listones.

“Este sistema está compuesto por una serie de listones de espesor equiespaciados y montados a una distancia de una pared rígida con el fin de dejar interpuesta una cavidad cerrada de aire contenido en los espacios entre los listones”. (Vázquez Rosado, s.f., p.64).

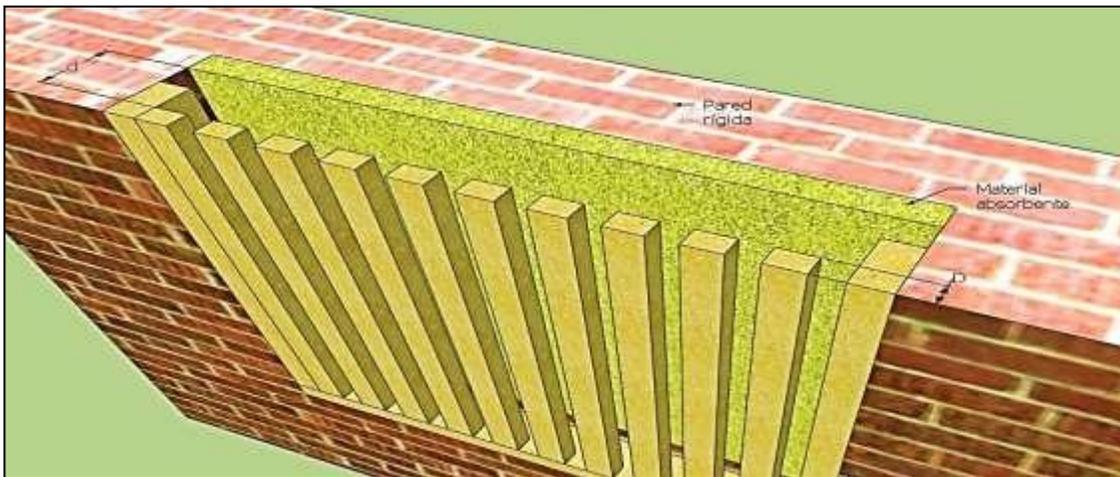


Figura 20. Resonadores de cavidad a base de listones

Fuente. Beranek, 2009

4.11 Filosofías de Diseño para las Salas de Control

“Hasta ahora, desde los años 60 del pasado siglo, las filosofías de diseño de estudios de grabación se han centrado exclusivamente en los controles, posiblemente porque sean los recintos más críticos desde el punto de vista del diseño acústico”. (Vázquez Rosado, s.f., p.66).

4.11.1 Salas de control.

Existen numerosos criterios de diseño de salas de control que se han ido desarrollando desde finales de los años 50 y principios de los años 60 hasta la actualidad ante la necesidad de tener una buena escucha.

En un principio, la razón principal de buscar las mejores condiciones acústica dentro de este espacio surgió por la aparición de las grabaciones estereofónicas.

Al tener la posibilidad de situar los instrumentos dentro de un plano sonoro concreto se empezó a necesitar una habitación donde las condiciones de ésta no afectaran lo más mínimo a la reproducción estereofónica.

“Hasta entonces, las salas de grabación solían ser cuartos situados en una esquina del estudio de grabación donde, como mucho, se había intentado controlar el tiempo de reverberación a media y alta frecuencia, debido a que no existían materiales que trabajasen a baja frecuencia.”

(Vázquez Rosado, s.f., p.66).

4.11.1.1 Tomas Hidley.

“Oriundo de los Ángeles, California, fue uno de los principales creadores de estudios de grabación en la década de los sesenta. No hay muchas publicaciones sobre los métodos de diseño de Hidley, pero algunos de los aspectos principales de sus diseños son los que se enumeran a continuación:

- a) Simetría con respecto al plano medio de la habitación con el fin de conseguir una buena imagen estéreo.
- b) Eliminar las reflexiones procedentes de la pared trasera.
- c) Eliminar las reflexiones procedentes del techo.
- d) Monitores de escucha empotrados en la pared frontal del control.
- e) Tiempo de reverberación bajo a baja frecuencia.

Estas cinco características son, hoy en día, llevadas a cabo en el diseño de este tipo de espacios. Además, con el fin de obtener una absorción en un rango de frecuencias lo más amplio posible, Hidley creó sus famosas trampas de graves consistentes en paneles de lana mineral colgados verticalmente a una altura entre dos y tres metros. Estos elementos son conocidos hoy en día como “Hangers” y su uso está bien extendido. (Vázquez Rosado, s.f., p.66).

4.11.1.2 Putnam (1960).

“Hasta la aparición de los sistemas de reproducción estereofónicos la posición dentro de la sala

de los altavoces no era considerada importante.

Putnam se situó como uno de los primeros en intentar desarrollar un concepto de diseño de salas de control para reproducción estereofónica.

En el año 1959 le fue encargado la construcción de los estudios “United Recording Corporation” en Hollywood. En la siguiente Figura podemos ver una foto de la parte frontal de la sala de control de los estudios “United Recording Corporation” diseñados por Putnam.



Figura 21. Diseño Putnam

Fuente. Vázquez, S.f. p.72.

La idea de éste diseño fue situar los altavoces dentro de una especie de saliente creado en la parte frontal del control con forma de bocina con el fin de acomodar la reproducción de monoaural a estereofónica. El resultado de éste diseño, fue que se consiguió incrementar la eficiencia de radiación de los monitores. Normalmente, la mesa se situaba pegada a la pared frontal del estudio justo debajo del visor a través del cual podemos ver la sala de grabación.

Al retrasar la posición de la mesa de mezclas se produjeron anomalías en el campo sonoro introducidas por las reflexiones de la mesa. Con el fin de reducir estas anomalías se decidió que el lugar donde se posicionan los altavoces debía tomar forma de bocina y que ésta se acoplase

perfectamente a la forma y dimensiones del control.

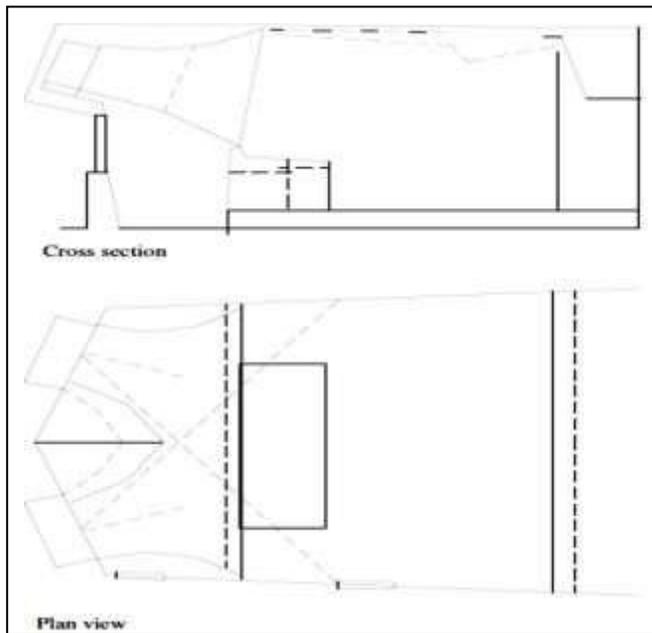


Figura 22. Esquema de la geometría que debía tomar la

Fuente. Vázquez, S.f. p.72.

Como se puede ver en la figura, la forma de la bocina se extiende hasta la mesa de mezclas, por lo que debían hacerla de un material transparente para no interferir en el campo de visión del visor que conecta con la sala de grabación.

Por tanto, “con éste diseño Putnam consiguió, además de mejorar la eficiencia de radiación de los altavoces, aumentar notablemente el área de escucha óptima de estas salas, lo cual fue revelador para la época.” (Vázquez Rosado, s.f., p.67).

4.11.1.3 Veale (1973) criterio de la habitación inerte.

“Edward J. Veale fue uno de los primeros que relacionó la Psicoacústica con el diseño de controles de grabación. En el año 1973 presentó un artículo para la sociedad de ingeniería de audio (AES) en el que enfatizaba la importancia de construir una buena imagen sonora en nuestros cerebros.

El objetivo de su diseño no era otro que el de crear una habitación inerte con el fin de que la señal reproducida por los altavoces tuviera una respuesta o influencia nula de la habitación en la cual era reproducida.

Con el fin de conseguir éste precepto, Veale, proporcionó una serie de recomendaciones en cuanto al sistema de reproducción y los materiales necesarios para la construcción de la sala de control. Según Veale, además del sonido directo, un oyente necesita una serie de reflexiones para poder crearse una correcta imagen sonora.

Teniendo en cuenta la respuesta temporal de nuestro sistema auditivo, las reflexiones que llegan antes de los 8 primeros milisegundos no sirven para nada, debido a que nuestro oído las integra con el sonido directo y no somos capaces de diferenciarles de éste. Por otro lado, las reflexiones que llegan después de los primeros 10 milisegundos con respecto a la señal original son útiles y necesarias, para poder crearnos una correcta imagen estéreo, mientras que las que llegan después de 80 milisegundos introducen una coloración en dicha imagen.

Por otro lado, no sólo el aspecto temporal de las reflexiones es importante, también necesitamos que éstas lleguen en un número y amplitud necesarias debido a que, cuando no tenemos un número suficiente de reflexiones en la sala de control, el resultado de la mezcla llevada a cabo en éste tendrá un exceso de reverberación.

Según esto, Veale estableció que era necesaria la llegada de un número entre 4 y 7 reflexiones al punto de escucha para que fuera construida correctamente la imagen sonora. Además, estableció que la primera reflexión debería de llegar al oyente entre los primeros 10 o 15 milisegundos después del sonido directo y la amplitud de ésta debería estar entre 4 y 6 decibelios por debajo del sonido directo.

Por tanto, el patrón que deben de seguir estas reflexiones fue establecido como la curva de

caída de un tiempo de reverberación de 0,17 segundos.

Veale, quiso enfatizar el uso de los materiales con los que se debía de tratar la sala de control. Según Veale, era importante que estos materiales fueran pasivos y reactivos, como podrían ser los resonadores de membrana o Helmholtz, debido a que éstos podrían introducir modificaciones no lineales en el campo sonoro del recinto. Por tanto, su recomendación fue usar **materiales a base de espumas en fibras y aumentar la absorción en baja frecuencia** por el espesor de dichos materiales.

Finalmente, Veale estableció un laso criterio de diseño que propone tres pasos, los problemas básicos del recinto, la decoración de éste y el ambiente acústico.

Primer punto fue los problemas básicos del recinto: referencia a los modos propios de la sala y propone resolverlo a base de la correcta elección de las dimensiones de la sala y, en función a las frecuencias de resonancia de la sala aplicar distintos grosores y densidades de los materiales para minimizarlos en la medida de lo posible.

El segundo punto fue los requerimientos de diseño y decoración de la sala de control: muchas veces este aspecto es impuesto por el cliente, por lo que es muy importante interactuar con éste y ser cuidadoso con que los aspectos acústicos no se vean influenciados por los estéticos.

En cuanto al ambiente acústico de la sala una parte de lo que Veale estableció fue un especial interés en la ocupación de la sala. Si ésta se encuentra ocupada por varias personas es posible que las primeras enmascaren las reflexiones necesarias para poder obtener una buena imagen sonora. Para ello Veale propone utilizar el techo como reflector, variando su forma e inclinación. (Vázquez Rosado, s.f., p.70).

4.11.1.4 Rettinger (1977).

Rettinger publicó varios artículos y un libro en los cuales compartió sus ideas sobre construcción de salas de control.

Además del propio acondicionamiento acústico de la sala de control, Rettinger puso especial atención en las características de los altavoces, el aislamiento de la sala de control y el ruido de fondo.

Según Rettinger, la planta de la sala de control no debe ser rectangular, ha de tener una forma de trapecio o semitrapecio. Esto supone que las paredes laterales de la parte delantera del control no podrán ser paralelas y deberán tener una inclinación lineal o bien, una inclinación curva, tal y como podemos ver en la figura..... Además, estas paredes deberán ser construidas de un material reflectante.

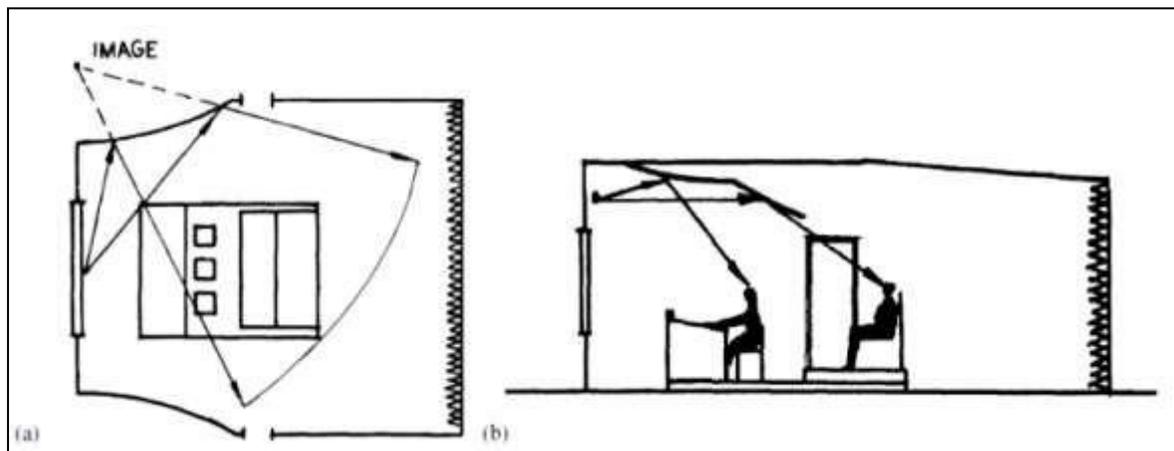


Figura 23. Recomendación de diseño de Rettinger, a) planta, b) perfil

Fuente. Vásquez, S.f. p.72.

Gracias a esta forma, con la mitad delantera de control evitando paralelismos, evitamos que los modos propios de la habitación se generen a las mismas frecuencias minimizando, por tanto, su influencia en la acústica del recinto.

Por otro lado, “como podemos ver en la figura b (perfil), el techo en la parte trasera tiene una

forma determinada para permitir que lleguen las reflexiones necesarias al punto de escucha y conseguir, así, una correcta imagen estéreo.” (Vázquez Rosado, s.f., p.72).

4.11.1.5 Non-Environment. Tom Hidley 1980.

“Esta filosofía de diseño fue desarrollada por Tom Hidley a mediados de los años 80. Tras incluirlo como un proyecto de postgraduación del “Institute of Sound and Vibration Research” de la Universidad de Southampton en 1980, codirigido por el propio Hidley y Philip Newell, se presentó como ponencia en la X conferencia del Institute of Acoustics (UK) en 1994.

El principal objetivo de ésta filosofía es proveer condiciones de monitorización lo más cercanas posibles a las que se conseguirían en campo libre. Este tipo de controles permiten reducir tanto el tiempo de decaimiento de las reflexiones, como la energía modal hasta tal punto que es posible percibir muchos defectos en las grabaciones de manera fácil.

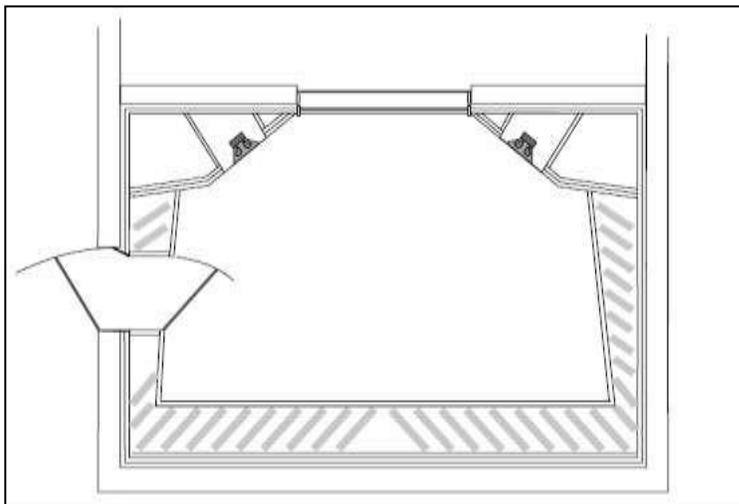


Figura 24. Plano en planta de un control Non-

Fuente. Vázquez, S.f. p.72.

En la Figura podemos ver un plano en planta de la filosofía Non- Environment. Tanto las paredes laterales, como la trasera, están formadas por sistemas absorbentes de banda ancha compuestos por hangers. Además, la pared frontal y el suelo son totalmente reflectantes.

Por otro lado, en la siguiente figura, vemos un plano en perfil de dos posibles opciones de pared trasera absorbente con los hangers dispuestos en posición horizontal y con éstos dispuestos en posición vertical

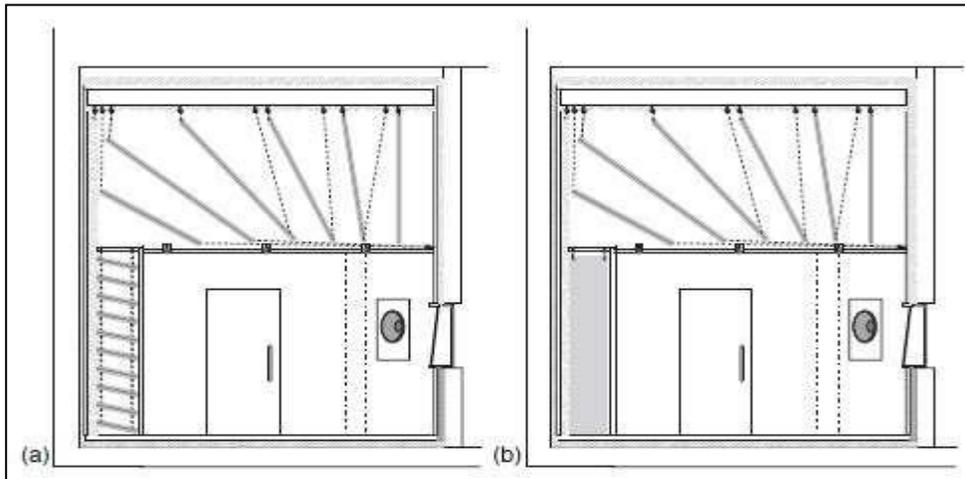


Figura 25. Plano en perfil de dos posibles soluciones de sala de control

Fuente. Vázquez, S.f. p.72.

Además, podemos ver también como la disposición de los paneles del techo están dispuestos de tal forma que apuntan directamente a la emisión de los monitores empotrados en la pared. Salvo por el suelo y algún equipamiento dispuesto en el interior de la habitación los monitores emiten hacia una superficie semi-anecoica. Los problemas que nos puedan producir la mesa de mezclas o cualquier otro equipo que se encuentre en el camino directo entre los monitores y el técnico puede ser fácilmente resuelto proporcionando una angulación apropiada a estos equipos de manera que las reflexiones sean redireccionadas hacía posiciones lejanas del punto de escucha.

Uno de los puntos buenos de estos diseños es que consiguen una gran uniformidad entre estudios de distintos tamaños pero, es interesante remarcar que su implementación es bastante cara debido a la gran cantidad de materiales necesarios para su construcción. (Vázquez Rosado,

s.f., p.75).

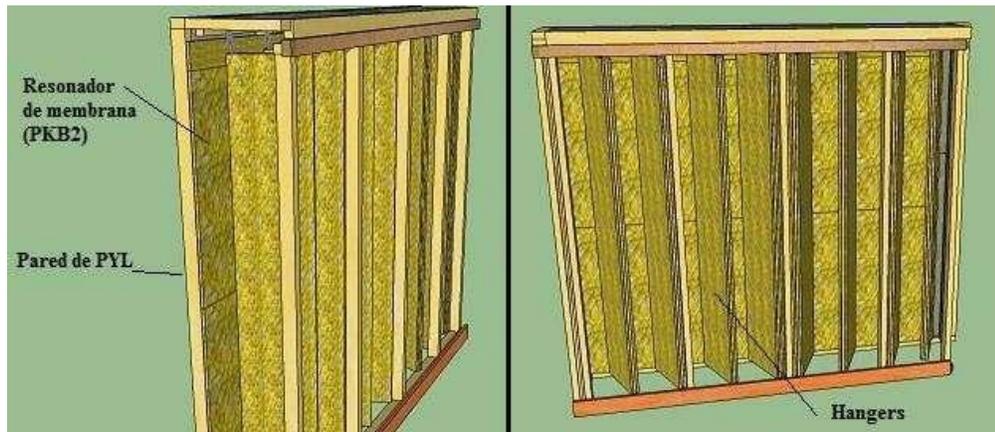


Figura 26. Estructura de las paredes de un estudio Non-Environment

Fuente. Vásquez, S.f. p.72.

Estas habitaciones tienen una gran absorción en alta y frecuencias medias, la cual se consigue con la utilización de materiales porosos convencionales. Por otro lado, la absorción en baja y media-baja frecuencia se consigue con la construcción de laberintos acústicos a través de los cuales las ondas son guiadas, difundidas y difractadas. Además, al final de estos “conductos” se instala un resonador de membrana, a base de un material pesado, para atacar a la muy baja frecuencia.

4.11.1.6 Criterio LEDE Davis 1981.

Uno de los primeros criterios que persiguió unos objetivos estandarizados de diseño fue el criterio LEDE (Live-End-Dead-End). La idea básica del diseño consiste en evitar que lleguen al punto de escucha reflexiones con un nivel tan alto que puedan crear el típico efecto filtro peine que se produce cuando a una señal se le suma una réplica retardada.

Cuanto menor es la diferencia entre los caminos que recorren el sonido directo y el reflejado menor será el retardo entre ambos y, por tanto, el intervalo al cual ocurre una cancelación en el sonido de la sala será mayor. Por el contrario, cuanto mayor sea la diferencia de llegada entre el

sonido directo y el reflejado, menores serán los intervalos a los cuales se producen cancelaciones. Esto producirá que tengamos más cancelaciones en un espacio menor del eje de frecuencias.

Esta afirmación llevó a Don Davis y Chip Davis a proponer una sala de control con la parte delantera muy absorbente y la trasera muy poco absorbente y difusa, con el fin de, por un lado, evitar la reflexiones de primer orden y, por otro, conseguir una sonoridad dentro del recinto igual que si estuviéramos en un recinto de grandes dimensiones, cumpliendo el criterio propuesto por Beranek de conseguir en el interior del recinto un ITD (Initial Time Delay) de 20 ms.

Un concepto a tener en cuenta en éste tipo de diseños es que, cuanto mayor sea el ITD del recinto mayor sensación de espacialidad tendremos dentro de éste. Además, habrá que tener en cuenta en el diseño que cuando la sala de control sea menor que la sala de grabación el ITD de ésta última será mayor que el de la sala de control y, por tanto, habrá que evitarlo direccionando y absorbiendo las frecuencias necesarias.

El sentido de este diseño es permitir que el ITD de la sala de grabación pueda ser reproducido completamente en el interior del control.

A mediados de los 80 Peter D'Antonio y John H. Kinnert mejoran el concepto LEDE gracias a los avances realizados por Schröder en el campo de la difusión y a la supresión de la parte delantera totalmente absorbente introduciendo el concepto RFZ ("Reflection Free Zone").

En éste caso, consiste en direccionar las primeras reflexiones que se producirán, en la parte delantera del recinto mediante el direccionamiento con superficies reflectoras a la parte de atrás de la sala donde se encontraran instalados unos difusores que permitirán reducir la energía de éstas reflexiones y crear un campo difuso.

Las paredes encargadas de direccionar las reflexiones estarán compuestas de materiales ligeros

(madera, placas de yeso) y construidas normalmente dentro de un recinto paralelepípedo, por lo que para el estudio de la zona de baja frecuencia no se tendrán en cuenta éstos paramentos y se considerarán solo los paramentos exteriores que se suponen lo suficientemente rígidos. (Vázquez Rosado, s.f., p.78).

4.11.1.7 Diseño de imagen controlada (CID) Walker 1993.

“Este criterio fue desarrollado por Walker en el año 1993 como solución a la remodelación de varios controles en la BBC. El nombre que le fue dado fue Controlled Image Design (CID).

La filosofía de diseño se basó en el control de las primeras reflexiones en las proximidades del punto de escucha con el objetivo de conseguir una correcta imagen estéreo. Para ello, la filosofía CID se centró en la redirección de las primeras reflexiones mediante paredes duras correctamente posicionadas, con los que se conseguía un ahorro notable en la necesidad de uso de materiales absorbentes.

Las reflexiones tempranas pueden subdividirse en tres pasos. El primer lugar corresponde a las reflexiones que llegan en un tiempo de hasta 5 ms, éstas no pueden ser discriminadas por nuestro oído y, por tanto, serán interpretadas como sonido directo. En segundo lugar: desde estos 5 ms hasta aproximadamente 50-80 ms después de la llegada del sonido directo el sistema auditivo humano es capaz de interpretar estas reflexiones. Además, en la región entre 5 ms y hasta 10-20 ms las reflexiones que nos lleguen al punto de escucha pueden causar confusión en la imagen sonora. Finalmente, por encima de los 80 ms la energía del sonido es completamente integrada por nuestro oído. Las reflexiones que nos llegan no son interpretadas individualmente dependiendo de su nivel con respecto al sonido directo.

Por otro lado, otro aspecto a tener en cuenta es que, para una correcta reproducción estereofónica los monitores no deben estar espaciados a más de 4 o 5 metros. Además, en un

ambiente anecónico la imagen estéreo no queda bien definida a menos que el oyente se encuentre en un punto muy cercano a la línea central en la que se encuentran los altavoces.

Estas conclusiones llevaron a Walker a proponer que en el punto de escucha no podían llegar reflexiones antes de los 20 ms y debían de llegar con un nivel con respecto al sonido directo de -20 dB. En los controles convencionales tratados únicamente con materiales absorbentes la llegada de las reflexiones posteriores a 20 ms se encuentran en un rango de niveles de -5 dB a -12 dB . No obstante, tras la implementación, y posterior medida, de algunos controles este objetivo fue reducido a 15 ms y -15 dB debido a que era un objetivo mucho más realista.

La filosofía de diseño de los controles CID comienza con el posicionamiento de los altavoces en el interior de la habitación completamente vacía. Cabe destacar que con ésta filosofía de diseño se simplifica la geometría del diseño a dos planos en vez de tener en cuenta las tres dimensiones reales del recinto.

Una vez posicionados los altavoces y el punto de escucha en un triángulo equilátero se genera una circunferencia de entre 1.5 y 3 metros de radio, dependiendo del tamaño del recinto, alrededor de la posición de escucha. Esta circunferencia delimita claramente el espacio por el cual no puede llegar ninguna reflexión de primer orden.

A continuación, se deben encontrar los rayos que pasan tangenciales al círculo que hemos creado alrededor del punto de escucha y que salen de la fuentes de cara a obtener los puntos donde deberán situarse los paneles reflectantes, tal y como podemos ver en la siguiente Figura.

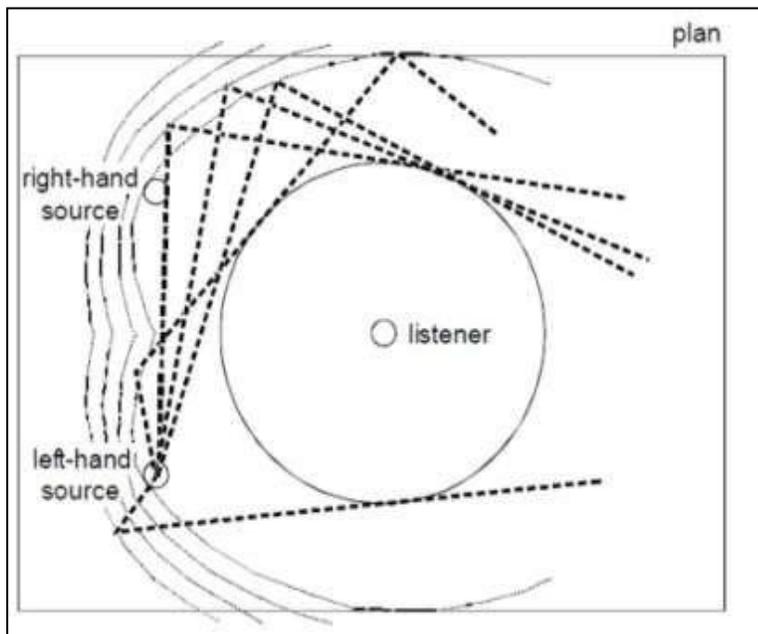


Figura 27. Líneas tangenciales a la circunferencia alrededor del punto de escucha

Fuente. Vásquez, S.f. p.72.

Dada la dificultad del problema este trabajo fue llevado a cabo con un programa informático desarrollado para tal fin.

Como se ha dicho, las superficies curvas en la cuales se producen las reflexiones deben sustituirse por superficies planas para evitar las posibles concentraciones de sonido que las superficies curvas pueden provocar. Como vemos en la figura, éstas superficies se generan en distintos planos y se aprovecha la transición entre unos y otros para instalar el material absorbente que irá a reducir el tiempo de reverberación de la sala.

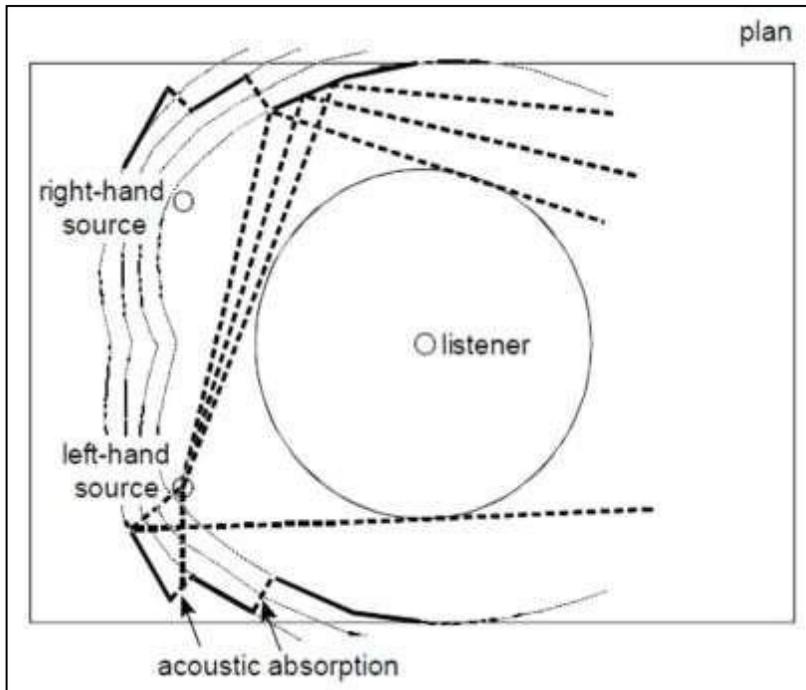


Figura 28. Superficies planas asociadas a las curvas en las cuales se producen las reflexiones óptimas.

Fuente. Vásquez, S.f. p.72.

Este mismo cálculo deberá hacerse para el plano en alzado, tal y como podemos ver en la siguiente figura:

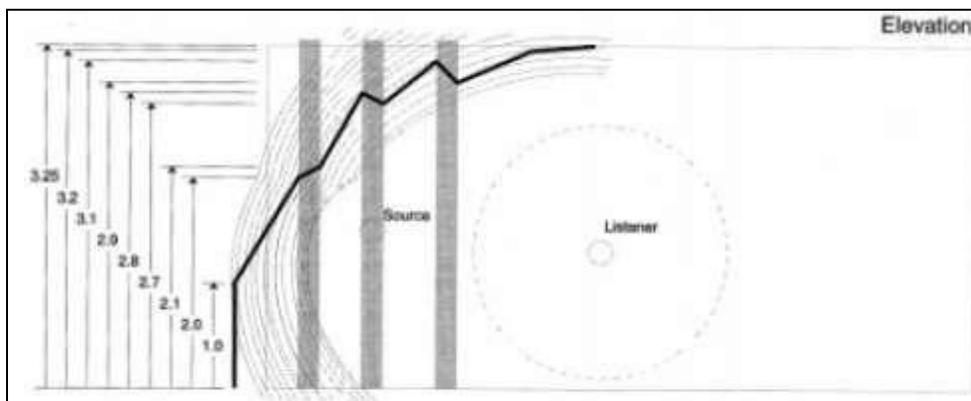


Figura 29. Vista del alzado del control CID.

Fuente. Vásquez, S.f. p.72.

Finalmente, habrá que poner especial atención a la pared trasera ya que será ésta la que nos proporcione las primeras reflexiones que lleguen al punto de escucha. No obstante, cuando el camino recorrido por la reflexión es, aproximadamente, 4,5 metros mayor que la distancia relativa del sonido directo, la atenuación de dicha reflexión es de unos 10 dB con respecto al sonido directo. Por tanto, no será necesaria la instalación de una gran cantidad de material absorbente en esta zona. Además, tampoco será necesaria la instalación de sistemas complejos de difusión ya que alternando distintos materiales absorbentes podemos conseguir una difusión adecuada.

Cabe destacar que la mayoría de diseños de este tipo han sido llevados a cabo para la disposición de los monitores en soportes, no obstante se comprobó que si en vez de posicionar los altavoces en soportes se situaban instalados en el interior de las paredes frontales el diseño final sería más sencillo, con menos discontinuidades en las superficies reflectantes que para el caso habitual.

Otro objetivo de diseño en éste tipo de controles es el tiempo de reverberación. Todos los controles CID diseñados han sido concebidos para tener un tiempo de reverberación de 0,35-0,40 ms. Este tiempo es un poco más alto que el de los estudios de grabación habituales para simular un ambiente sonoro más cercano al de las salas de reproducción habituales, con lo que se consigue una mayor uniformidad de escucha entre salas. Pero tiene un problema, y es que hay que poner especial cuidado en los materiales absorbentes elegidos ya que casi todos los materiales absorbentes tienen un gran poder de absorción a altas frecuencias, y a muy alta frecuencia el propio aire contenido en el recinto actuará como absorbente, por lo que habrá que ser cuidadosos en la selección de éstos.

Finalmente, también habrá que poner cuidado con las reflexiones generadas por la mesa de

mezcla por lo que la inclinación y situación de ésta será crítica. (Vázquez Rosado, s.f., p.81).

4.12 Salas De Grabación

(Suite de Grabación, Recording Room)

Como ya se ha comentado anteriormente, no existen muchos textos referentes al diseño de salas de grabación, pero si bien es cierto, algunas de las características aplicables al diseño de salas de control pueden ser aplicadas a este tipo de recintos.

La primera, como parece obvio, es la distribución modal. El recinto deberá tener una relación entre sus dimensiones tales que la distribución modal de este sea lo más óptima, acercándose en la medida de lo posible, a los mejores ratios y, por tanto, alejándose de los malos. Como ya sabemos, conseguiremos que no haya excesivas frecuencias de resonancia en la sala y, por tanto, que tengamos una respuesta plana.

Otra característica deseable para éste tipo de recintos es que sean neutrales, es decir, debe ser una sala suficientemente viva como para permitir que las características sonoras de los instrumentos sean aparentes. Esto se traduce en disponer dentro de la sala de un tiempo de reverberación (o tiempo de decaimiento) con una suave caída junto con reflexiones discretas que añadirán vida al instrumento pero sin modificar la naturaleza de éste.

Además, éste tipo de recinto debe estar diseñado en función del tipo de música o instrumento que en ellos va a ser grabado. Parece lógico que las necesidades de grabación de una voz no serán las mismas que las de una batería, por ejemplo. Normalmente, para las voces necesitaremos un recinto muerto, es decir, con un tiempo de reverberación bajo, mientras que para las baterías será mucho mejor tener un tiempo de reverberación más elevado.

Un ejemplo de este tipo de salas son las desarrolladas durante mediados de los 70 por el diseñador de estudios de grabación Philip Newel. En el año 1974, Newel, director por aquel

entonces de los estudios “Town House”, decidió diseñar una sala reverberante de piedra.



Figura 30. Diseño de sala de grabación

Fuente. Newel, S.f.

Durante meses, ni productores ni ingenieros fueron capaces de encontrarle una utilidad a ésta sala, hasta que el músico Phil Collins, que estaba preparando su primer álbum en solitario, decidió utilizarla como sala de ensayo para no ocupar la sala de grabación. Fue en éste momento cuando se dieron cuenta que la reverberación controlada y el brillo de las reflexiones eran especulares por la superficie en piedra. De ésta manera, nació la canción “In the air tonight” que se encuentra dentro del álbum “Face Value” cuyo sonido de batería sigue siendo un referente hoy en día.

Finalmente, ésta sala se mantuvo en uso durante los siguientes 25 años, hasta que el estudio fue totalmente reformado.

Otra característica deseable para éste tipo de recintos es que tengan un volumen que sea, al menos, dos veces mayor que el de la sala de control y, a ser posible, cinco veces mayor. El objetivo de esto es conseguir que el tiempo de reverberación de la sala de grabación pueda ser escuchado completamente en la sala de control, ya que si fuese al revés y el control tuviese más

tiempo de reverberación que la sala de control, el tiempo de reverberación de ésta enmascararía al de la sala de grabación.

Por otro lado, y de cara a evitar ecos y la creación de estacionarias se suele recomendar que las paredes de este tipo de recintos no sean paralelas, debiendo tener ángulos grandes de, por lo menos, 5° y, preferiblemente, 15°.

Dado que lo más normal es que el objetivo de las salas de grabación sea albergar instrumentos de muy diversa índole una buena idea puede ser diseñar la sala con acústica variable, de cara a poder adecuar las características acústicas de ésta a cada tipo de instrumento a grabar. (Vázquez Rosado, s.f., p.86).

4.13 Marco Normativo

4.13.1 Normativa Aplicable y Recomendable.

En cuanto al *diseño de salas de control*, hay dos recomendaciones importantes, una es la *ITU-R BS.1116* y la otra, la *ITU-R BS.775-1*. La primera de ellas se refiere a las condiciones de escucha. Esto implica la forma de la habitación, las proporciones o el *tiempo de reverberación* entre otros. La segunda se centra en la *disposición de los altavoces para obtener una buena escucha de referencia*.

4.13.1.1 Características Generales de los Dispositivos de Medición.

Características generales del instrumental:

- a) Medidor de nivel sonoro (SLM) integrador clase 2 o mejor "SONOMETRO" (Norma IEC804.
- b) Equipos adicionales de características similares a las fijadas para el SLM.
- c) Filtros según norma IRAM 4081.
- d) Calibrador clase 2 o mejor, según norma IRAM4123.

4.13.2 Sonómetro.

Es un instrumento que sirve para medir niveles de presión sonora SPL. El sonómetro mide el nivel de ruido que hay en determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio. (dB) La norma CEI 60651 (en España, UNE-EN 60651) y la norma CEI 60804 (en España, UNE- EN 60804), emitidas por el CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), establecen, para el ámbito europeo, las normas que han de seguir los fabricantes de sonómetros. Además, en todos los países, normas nacionales e internacionales clasifican los sonómetros en función de su grado de precisión. En España y otros países europeos se sigue la norma CEI 60651, donde se establecen 4 tipos en función de su grado de precisión. De más a menos:

- a) Sonómetro de clase 0: se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
- b) Sonómetro de clase 1: permite el trabajo de campo con precisión.
- c) Sonómetro de clase 2: permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo.
- d) Sonómetro de clase 3: es el menos preciso y sólo permite realizar mediciones

aproximadas, por lo que sólo se utiliza para realizar reconocimientos.

Sea del tipo que sea, básicamente, el sonómetro siempre está formado por:

- a) Un micrófono con una respuesta en frecuencia similar a la de las audiofrecuencias, generalmente, entre 8 Hz y 22 kHz. Tipo electret.
- b) Un circuito que procesa electrónicamente la señal.
- c) Una unidad de lectura (vúmetro, led, pantalla digital, etc).

Muchos sonómetros cuentan con una salida (un jack, por lo general, situado en el lateral), que permite conectarlo con un osciloscopio, con lo que la medición de la presión sonora se

complementa con la visualización de la forma de la onda.

4.13.3 Criterio NC, Revisión de la Normatividad para el Ruido Acústico en Colombia y su Aplicación.

En el presente artículo se revisa la normatividad jurídica y técnica sobre el ruido acústico para Colombia, y su aplicación tomando como casos de estudio cinco de las principales ciudades del país: Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena y Barranquilla. Se revisan las Leyes, Decretos y Resoluciones que regulan el ruido acústico ambiental, al igual que las normas técnicas a tomar en cuenta cuando de ruido se trata, como son NTC, ANSI, ISO, entre otras que son de relevancia en Colombia. También, se realiza una revisión de la aplicación de estas regulaciones, a través del estudio de los resultados de investigaciones encontrados en la literatura y que han sido llevados a cabo en las principales ciudades del país.

4.13.3.1 Legislación Colombiana.

En el marco legislativo de Colombia, las leyes correspondientes a la problemática del ruido van ligadas a una serie de normativas dedicadas a la temática de acústica como son las Normas Técnicas Colombianas (NTC), que se enfocan en definir e instaurar las medidas y procedimientos realizables en Colombia y relacionadas con el tema. Igualmente Colombia tiene instaurados unos decretos que describen las problemáticas ambientales más pertinentes.

La primera institución encargada de los aspectos ambientales en Colombia tenía por nombre Inderena, que era la Institución Nacional de Recursos Naturales creada en 1968. Con la expedición del Código Nacional de los Recursos Naturales en 1974 se empieza a generar conciencia y acción de protección ambiental previniendo y controlando la contaminación (Colombia, 1974). En el Decreto Ley 2811 (Colombia, 1974), junto con la Ley 09 del año 1979 (Colombia, 1979), se generalizan las problemáticas ambientales, y en el año 1983 se estipula la

Resolución 8321 (Colombia 1983) mediante la cual se dictan las medidas de protección y conservación auditiva en las personas a causa de la emisión de ruido.

A partir de la Resolución 8321, en Colombia se empezó a percibir la problemática del ruido desde el punto de vista normativo y esta resolución estuvo a cargo de ser emitida por el Ministerio de Salud. La necesidad de generar acciones de cambio ambiental en el mundo en la década de los ochenta y comienzos de los noventa conllevaron a la Declaración de Río en 1992 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1992), DALY atribuibles a ruido ocupacional.

Con el fin de alcanzar acuerdos internacionales entre países para la sostenibilidad ambiental y el desarrollo sostenible. En 1993, bajo la Ley General Ambiental de Colombia conocida como la Ley 99 (Colombia, 1993) es formalizada la institución gubernamental que se encarga de los aspectos ambientales y territoriales del país: el Ministerio del Medio Ambiente.

Para el año 1995, el Ministerio de Medio Ambiente, promulgó el Decreto 948 (Colombia, 1995), con el cual se reglamentaron parcialmente las leyes correspondientes a la prevención y control de la contaminación ambiental y la protección de la calidad del aire. Entre los artículos 42 y 64 de este decreto se dictaminan las condiciones de la generación y emisión de ruido en determinados sectores y sujeto a leyes estipuladas en cada ciudad con respecto a la problemática del ruido. Este decreto también dictamina las sanciones legales impuestas para las violaciones de la Resolución 8321. Algunas multas van desde los 15 y 30 salarios mínimos hasta los 200 y 300 salarios mínimos vigentes en Colombia. (Casas, Betancur y Montaña, 2015)

Tabla 3.**Nivel de contaminación por ruido permitido**

FUENTE	Nivel de contaminación por ruido máximo permitido
Zona residencial o habitacional	65 día, 50 noche dB
Zona con uso permitido de oficina	78 dB
Ruido urbano de noche	60 a 50 dB
Habitación interior día	45 dB
Habitación interior noche	30 dB
Estudio de grabación	30 dB

Fuente. Ministerio de salud, 2006

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el diseño del estudio de producción de audio y tener un margen claro de que es lo pertinente y prioritario, se pretende trabajar en fases, dando así mejor respuesta a los parámetros a tener en cuenta en cada uno de los objetivos específicos, es así como se establecen las fases de trabajo.

Metodológicamente nos basaremos en una tesis escrita por *Manuel Vázquez Rosado* donde nos habla sobre la Metodología de diseño de estudios de grabación y aplicación a l caso práctico. En éste escrito para la *politécnica Universidad de Madrid con lectura registrada el 15-07-2013 presentada como trabajo final de máster*, nos habla sobre la necesidad de tener un diseño metodológico estándar para el correcto diseño de un estudio de diseño sonoro o producción de audio.

Se planteó una serie de procesos que nos permitieron conocer el estado acústico actual del recinto y sus alrededores. Se sigue una normatividad de medición y cálculo para arrojar una predicción acústica la cual arrojó valores a considerar:

5. Levantamiento Y Caracterización

El recinto seleccionado para el diseño se encuentra ubicado en la dirección calle 5 N. 3-24 en el municipio de Sibundoy Putumayo. En esta edificación se desarrollan actividades de casa de habitación. El espacio cuenta con una configuración geométrica rectangular, con materiales constructivos tales como ladrillo, repello, piso cerámica, en techo, vigas y eternit en paredes ladrillo, repello y pintura, en piso cerámica y puertas de madera En la figura X, se presentan imágenes del espacio y los elementos constructivos.

No es posible mostrar imágenes satelitales claras puesto que no existe cobertura en éste lugar por parte de la aplicación Google Maps.

El clima predominante en Sibundoy oscila en los 16 a 20 grados centígrados, tiene una extensión total de 93km cuadrados y se encuentra a 80 kilómetros de la capital Putumayense. Las coordenadas del lugar están alrededor de $1^{\circ} 12' 12''$ N, $76^{\circ} 55' 9''$ W



Figura 31. Ubicación satelital de la sala escogida para el tratamiento acústico

Fuente. Elaboración propia



Figura 32. Sala escogida para el tratamiento acústico

Fuente. Elaboración propia



Figura 33. Sala de grabación

Fuente. Elaboración propia



Figura 34. Sala de control

Fuente. Elaboración propia

5.1 Mediciones y Levantamiento del Recinto Existente

Se realizaron mediciones del área y volumen del recinto. se consideran los ladrillos para la primera medición.

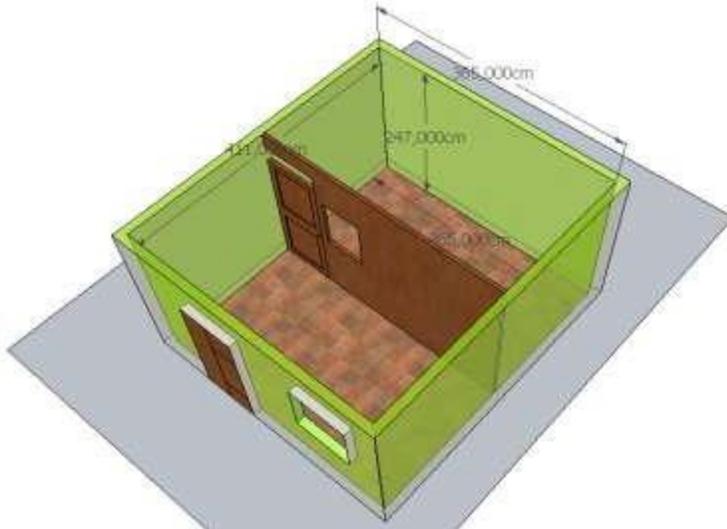


Figura 35. Levantamiento del recinto

Fuente. Elaboración propia

Se tomaron medidas de las dimensiones en bruto del recinto a analizar. Con las medidas existentes y no considerando los muros, tenemos:

Ancho: 3.65mts; Profundidad: 4.11mts; Alto: 2.47mts

Volumen del recinto: 37.05 mts(3)

Área del recinto: 68mts (2)

Área de la puerta de madera: siendo un rectángulo se calcula el área como un cuadrilátero con dos lados de igual magnitud:

$$b \text{ (base)} = 0.80 \text{ mts } h \text{ (altura)} = 1,89 \text{ mts } A = b \times h$$

$$A = 1,4 \text{ mts}(2)$$

Área de la ventana de vidrio normal y marco en madera : siendo un cuadrado se calcula a partir de uno de sus lados. Es el producto de la base por la altura, se asemeja al área de un paralelogramo.

$$A = 0,64 \text{ mts}(2)$$

5.1.1 Medidas Del Control Room.

Ancho: 3,65mts;

profundidad 2,08 mts;

Alto: 2,47 mts

5.1.2 Medidas De La Suite De Grabación.

Ancho: 3,65 mts;

profundidad: 2,03 mts;

Alto: 2,47 mts

5.2 Calculo del SPL1 (cálculo aproximado de niveles de ruido existente proveniente del recinto que afectan al vecindario)

Primero, y basándonos en el problema de contaminación ambiental, decidimos hacer una medición de un día, en periodos normales de trabajo dentro del estudio de producción de audio.

Se realizó una medición en la mañana, otra en la tarde y otra en la noche trazando un mapa de ruido.

5.2.1 Medición De Nivel De Presion Sonora Fuera Del Recinto.

5.2.1.1 Estándar Metodológico para la Medición de Ruido.

Debido a las constantes quejas presentadas por los vecinos del sector, los que argumentan ser afectados por las fuentes sonoras presentes dentro del recinto (batería, parlantes o monitores varios y ensayo de ensamble grupal) se pretende conocer el nivel de presión sonora continua equivalente promedio que genera el recinto argumentando su medición por medio de procesos estandarizados y con sus consecuentes recomendaciones.

Según el “protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas, escrito por Carlos Alberto Echeverri Londoño; ingeniero químico y jefe del programa de ingeniería Ambiental de la Universidad de Medellín, Investigador del grupo de investigaciones y

mediciones ambientales; y Alice Elizabeth González Fernández, recibido y aceptado entre los años 2010 y 2011, revista de ingenierías de la Universidad de Medellín; se establece un documento metodológico y los procedimientos necesarios para llevar a cabo las funciones de evaluación de ruido, de una manera estandarizada, adecuada y confiable.

El protocolo se orienta a implementar en forma detallada el procedimiento para determinar la emisión de ruido, contenido en la resolución 0627 del 2006 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a la vez que introduce algunas modificaciones que lo mejoran en forma considerable.

5.2.1.2 Parámetros de Medición.

Nos basaremos en la normatividad (2.2 parámetros de medición del protocolo) con la ayuda de una hoja en Excel diseñada por: *Andrés Mauricio Paz, (Ingeniero de Sonido de la Universidad de San Buenaventura Bogotá, Magister en Musicoterapia de la Universidad Nacional de Colombia y Músico de la Universidad Javeriana)*. Ésta programación arrojó de forma automática los parámetros de medición exigidos en la normatividad colombiana. Esta hoja de Excel cumple con los parámetros legales explícitos en la normatividad de ruido y contaminación ambiental para Colombia. (revisión: Francisco Rufa y Alejandro Bidondo, Universidad de San Buenaventura 2005).

Al no contar con un sonómetro ni un decibelímetro, se usó una aplicación emuladora de decibelímetro para dispositivo Mobile Android con el que se realizó las mediciones. Sound Analyzer App ofrecido por Dominique Rodrigues, versión 2.2, actualizado el 5 de febrero del 2017. Ésta aplicación permite utilizar un Smartphone como un sonómetro SLM. El ruido ambiental puede ser monitoreado en tiempo real y su micrófono no es ajustable por medio de una calibración guiada por la aplicación. Se diseña y establece un Mapa de Ruido situando algunos

puntos alrededor de la fuente.

5.2.1.3 Representación gráfica de los niveles de ruido.

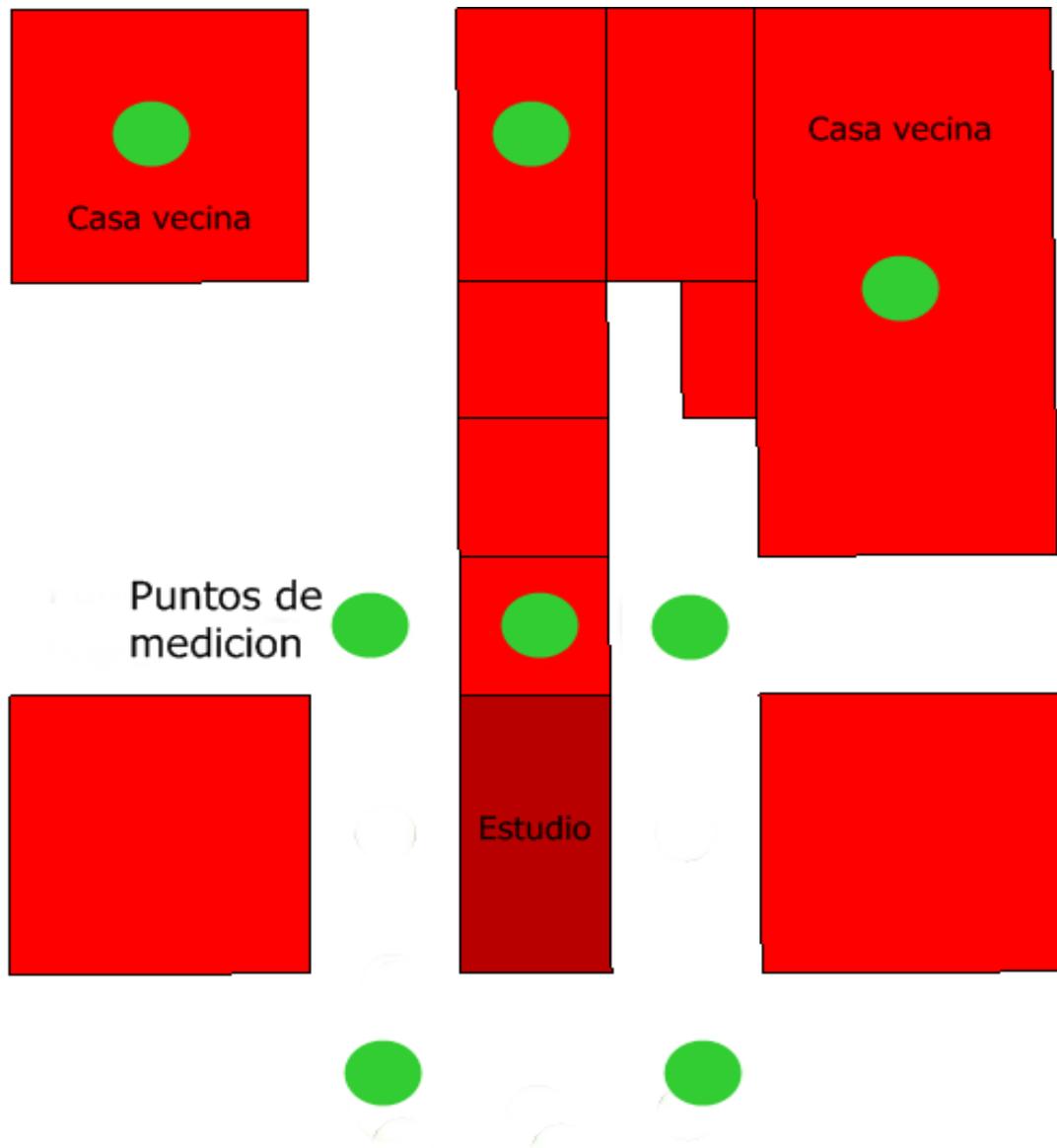


Figura 36. Representación gráfica de niveles de ruido y afectación al vecindario

Fuente. Elaboración propia

- Recinto con fuente sonora a 90 dBA.
Recinto destinado para ser usado como un estudio de grabación y diseño sonoro.
- Recintos afectados por transmisión sonora proveniente de la fuente (Habitaciones de la misma edificación y casas vecinas).
- Solares y sector vereda que rodea a las construcciones vecinas y al recinto.

El color púrpura muestra la fuente emisora de sonido (90dBA) El color rojo muestra los recintos afectados por ruido

El color azul muestra los espacios ligeramente afectados por ruido Los puntos de color verde son los puntos de medición (8 puntos)

Se realizaron una serie de pasos tomando como referencia la Norma técnica Colombiana NTC 3522 del 2005 y la resolución 0627 del 7 de abril sobre Ruido ambiental, 2006)

Para entender y conocer sobre qué nivel de presión sonora continua equivalente y el nivel de contaminación sonora ambiental presente en los alrededores vecinos producida por el recinto en actividad normal de funcionamiento diario, se realizaron durante un día mediciones de ruido las cuales fueron planteadas metodológicamente mediante los siguientes aspectos:

1. Las mediciones se realizaron durante periodos de tiempo en el mañana, la tarde, y la noche.
2. Se sitúan 8 posiciones en el mapa de ruido, alrededor de la casa y se determina un tiempo de 1,20 minutos por punto, donde se tomaron varias medidas, las cual se consideraron necesarias para saber el SPL correspondiente.
3. Se realizaron mediciones durante 20 minutos en el interior de algunas viviendas cercanas. mientras la fuente sonora estaba en actividad.
4. las mediciones en dB deberían ser tomadas a 1 segundo por muestra pero, tomaremos 5 segundos ya que la recopilación de los datos no es automática digital si no, de forma manual.
5. Se considera un error sistemático la proximidad del cuerpo humano junto al decibelímetro. Consideraríamos un aumento de presión y por ende una distorsión por intermodulación producida en el micrófono del celular por la proximidad del cuerpo que soportando un fenómeno de difracción sonora creando una sombra acústica la cual podría afectar

el resultado.

6. Se considera un error también de tipo sistemático el no contar con un micrófono de tipo Electret (micrófono provisto en los decibelímetros, instrumentos de medición sonora y sonómetros de todo tipo A, B).

7. El sonómetro tipo aplicación es calibrado mediante programación de preferencias las cuales posibilitan colocarlo en respuesta lenta (slow) y en curva de ponderación (A).

5.2.1.4 Mediciones de ruido realizadas en las viviendas vecinas y en el exterior del recinto.

Situamos el sonómetro tipo aplicación de medición como “equipo adicional de características similares a las fijadas por el SLM (medidor de nivel sonoro integrador clase 2 o mejor) sonómetro norma IEC804.

Condiciones de Medición:

Según la metodología usada por el Ingeniero Electromecánico y profesor de Ruido y Contaminación Ambiental de varias Universidades a nivel mundial: Francisco Rufa (Argentina, 2005) nos habla sobre las condiciones generales al medir fuentes fijas.

1. Determinación del nivel de presión sonora equivalente, compensado A y expresado en dBA
2. Medido en respuesta S (lenta)
3. Altura de medición: 1,2 m a 1,5 m sobre el nivel del piso
4. Separación mínima de paredes, edificios o estructuras reflejantes del sonido: 3.5 m

5.2.1.4.1 Resultados arrojados por los descriptores de ruido.

Mediante éstas fórmulas matemáticas y un trabajo estadístico preliminar (consultar hoja de Excel, cálculos de ruido), los descriptores de ruido nos ayudaron a valorar el nivel de contaminación sonora que ejerce el recinto en actividad funcional y que afecta las condiciones de contaminación ambientales en sus alrededores vecinos.

a) Nivel Sonoro Continuo Equivalente

El nivel sonoro continuo equivalente

L_{Aeq} es la energía promedio durante todo el periodo de medición. Las mediciones se hicieron tomando en cuenta un día normal de trabajo dentro del estudio.

$L_{Aeq} = 52.15$ dB (mañana) jornada de la mañana la cual corresponde a actividades de edición, mezcla y masterización digital de audio). La fuente que se utilizó fueron los monitores a 90dB

L_{Aeq}

= 57,10 dB (tarde) jornada de la tarde la cual fue de ensayo de ensamble (guitarra eléctrica con amplificador de 80w, bajo con amplificador de 80w, batería acústica, grabación en vivo con monitorización de la sesión generando un aproximado de 100 dB dentro del recinto. El valor tuvo una penalización de 5dB de incremento.

L_{Aeq}

= 49.31 dB (noche). Jornada de descanso. El recinto no estuvo actividad sonora pero se aplicó una penalización de 10dB de incremento.

Promedio $L_{Aeq} = 52, 85$ dB nos indica el nivel sonoro continuo equivalente o la energía promedio durante un día. Éste resultado demuestra que al tratarse de

a) **Promedio día tarde noche:**

1. **L(den): equivalente día, tarde, noche**

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}}{10}} \right) \right)$$

$$L_{den} = 52,92 \text{ dB}$$

b) **Nivel de contaminación acústica:**

2. **NPLL (Noise Pollution Level).** Determina el nivel de contaminación por ruido aplicando una penalización por desviación estándar.

$$NPLL = L_{Eeq} + 2,5S$$

S = desviación estándar

$$NPLL = 52,853 \text{ dB} + 2,5 (1,32)$$

$$NPLL = 55,55 \text{ dB}$$

determinaremos éste valor como SPL2

En la siguiente grafica observamos la curva de ruido que fue encontrada tras la medición fuera del recinto en un horario normal laboral normal del mismo. El color verde siendo el más alto en dB en función de tiempo cronológico, nos muestra niveles que superan la normatividad colombiana para el horario de la tarde. Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para el 2017 decreta que: resolución No 0627/06: se adopta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental para el sector D (*“Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado”*) con un máximo de 55 dB en el día y en la noche un máximo de 50 dB.

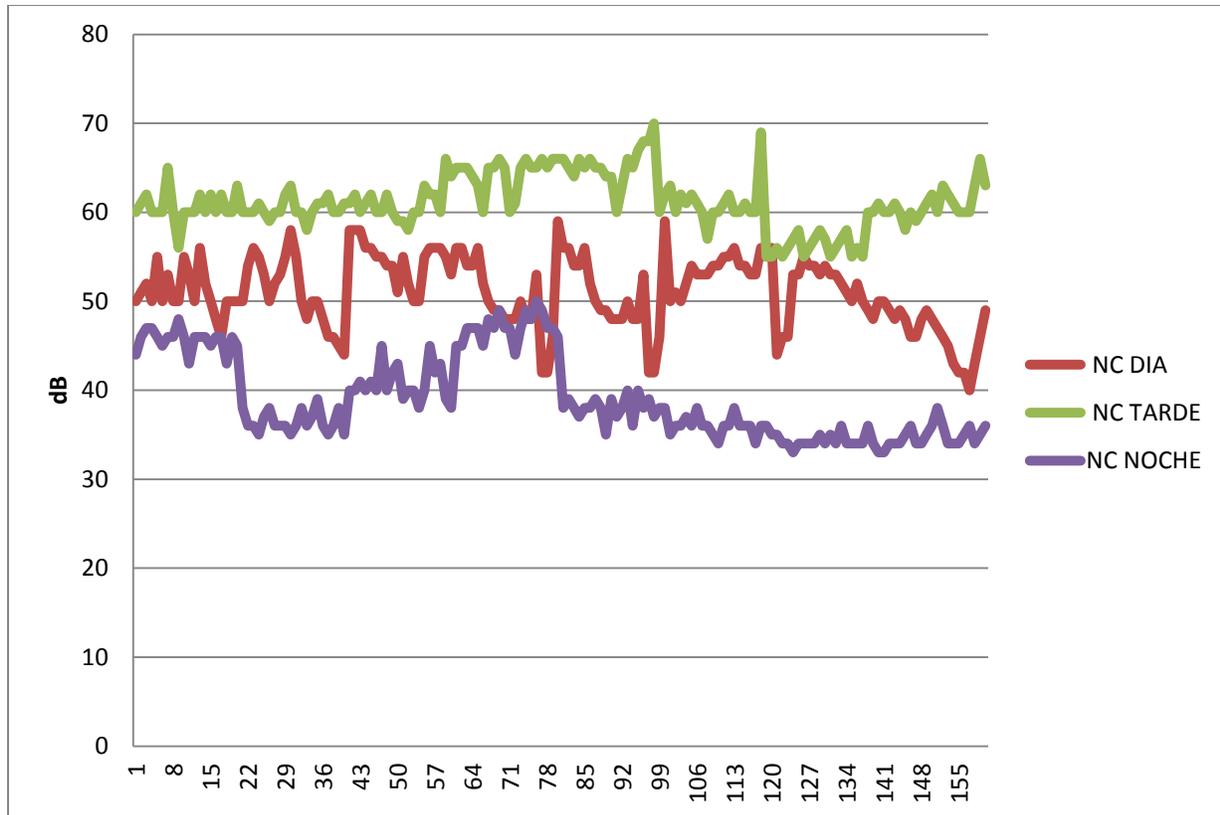


Figura 37. Curva de ruido de medición fuera del recinto

Fuente. Elaboración propia

El nivel de contaminación acústica presente es evaluada de forma artesanal en cuanto a dispositivos o herramientas de medición, pero se hizo uso de la formulación normalizada para medición de ruido y contaminación ambiental lo cual nos provee el SPL_1 que existe fuera del recinto y el nivel de contaminación acústica que produce.

Tras los resultados y las gráficas arrojadas por el Excel, se observa que existe contaminación acústica a los alrededores del recinto y está afectando a la comunidad colindante. Esto corrobora y justifica las quejas reiteradas de la comunidad vecina.

Descripción de la Experiencia:

De forma subjetiva y por medio de la practica en campo, existieron apreciaciones subjetivas con respecto a la medición realizada y a lo percibido de manera sensorial. Se pretenderá entonces

relatar subjetivamente dichas percepciones psicoacústicas vividas dentro de la experiencia investigativa.

Esta evaluación comparte criterio con el artículo de contaminación sonora escrito por Andrés Núñez Rubiano en el taller de Psicoacústica (contaminación sonora: fenómenos auditivos y no auditivos), 2011. Lo cual promueve la comprensión de los efectos psicopatológicos no auditivos con sus consecuencias al cuerpo humano. *Dice que a más de 60 dB con un tiempo de emisión largo dan como resultado a diferentes reacciones como la dilatación de pupilas, parpadeo acelerado, agitación respiratoria, aceleración del pulso, aumento de la presión arterial, dolor de cabeza, poca irrigación sanguínea, mayor actividad muscular especialmente en el cuello y la espalda dando como resultado tensión y dolor. También hace referencia a niveles mayores de 85 dB en donde tenemos como consecuencia procesos físicos más complejos.*

Cuando se realizó la medición dentro de las habitaciones colindantes y las casas cercanas a la fuente, se determinó que la herramienta de medición no arrojó un valor significativo en decibeles pero subjetivamente se percibió contaminación acústica presentada dentro de las viviendas cercanas con la emisión constante de algo parecido a una “bruma de frecuencias bajas constante y desagradable”

Con base en la definición de ruido “mezcla compleja de vibraciones que causan molestia”; se llegó a la conclusión que existe algo muy complejo de describir pero que, de manera Psicoacústica se percibe y causa molestias sensoriales y psicológicas posiblemente representadas en cansancio, estrés y depresión post emisión del ruido. Estas apreciaciones determinan subjetivamente que éste fenómeno acústico es causado y generado por el recinto y, que causa contaminación ambiental afectando a personas habitantes del lugar.

Por medio de la práctica comprobamos que la estructura o el diseño arquitectónico del recinto

es potencial para la transmisión sonora produciendo vibraciones complejas a los lugares afectados. El material del techo del recinto que lo recubre es de asbesto, fibra de cemento o fibrocemento que por las características propias del material es fono y fotoconductor.

El techo del recinto se catalogaría dentro del estudio acústico, como si “no existiera” y el cubo no tendría dicho lado, como si se tratara de una campana. El recinto se compara con una campana que genera ondas sonoras que viajan a distancia y cobertura afectando las condiciones acústicas del lugar vecino y sus casas habitacionales cercanas.

Otro fenómeno observado es el que consideramos como de transmisión sonora por flancos (*Beranek 1993.*) El recinto está ubicado en una casa de construcción particular de la zona, sus habitaciones colindan pegadas de forma continua. Según el mapa de ruido, se observa que el recinto se ubica al final de una casa. La pared lateral colindante junto con las otras paredes y el piso, al vibrar transmiten vibración a las otras paredes y radian energía a las habitaciones finales de la casa y a la casa vecina. La casa vecina estaría fuertemente afectada debido a que la transmisión de ruido es aéreo y de transmisión por flancos al tiempo. La transmisión por flancos consiste en vibraciones longitudinales elásticas de paredes no adyacentes y radiadas al recinto receptor por las paredes laterales al propagarse por el espesor de éstas.

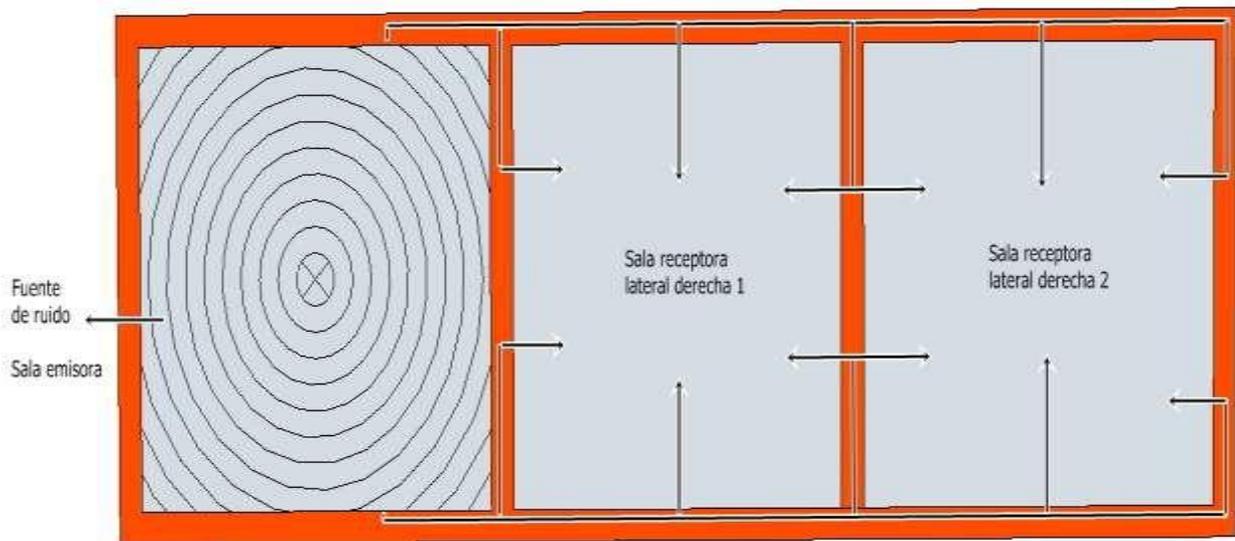


Figura 38. Transmisión sonora por flancos

Fuente. Elaboración propia

5.3 Criterios Acústicos

5.3.1 Calculo Del Tiempo De Reverberacion $Rt60$.

Leo Beranek plantea unos estándares de tiempo de reverberación para recintos más grandes al recinto que estamos evaluando, pero podríamos hacer una estimación. El tiempo de reverberación óptimo planteado para una sala de grabación de voz y música estaría en un punto intermedio entre 0.20 y 0.37.

Segundos. Entonces a 1000 Hz sería 0.3 segundos de tiempo de reverberación $RT60$ recomendado para éste tipo de salas.

Tabla 4.**Tiempo de reverberación según Beranek**

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0.46 seg	0.40 seg	0.33 seg	0.30 seg	0.28 seg	0.26 seg

Fuente. Beranek, 2009.

Según las mediciones en bruto del recinto y basándonos en otra hoja en Excel expedida gratuitamente para uso de cálculos acústicos por “Aurea Ingeniería Acústica la cual es miembro asociado de la asociación Catalana de consultores acústicos y la cual es una compañía especializada en acústica, control de ruido y vibraciones 2017”; Introducimos los datos en la tabla de materiales teniendo en cuenta las dos salas divididas por una lámina de triplex que las separa (control room y suite de grabación) actualmente existentes e instaladas estéticamente.

5.3.1.1 Calculo del tr60 para la sala de control vacía.

Estas gráficas y cálculos matemáticos se hicieron mediante de una hoja en Excel diseñada por la empresa: (áure enginyeria acústica)

Determinamos el Tiempo de Reverberación TR60 de la sala de control vacía. Las dos salas se dividieron por una superficie de triplex. Teniendo en cuenta las dimensiones de la sala de control tenemos:

Tabla 5.**Mediciones en de sala de control**

L1 (anchura)	3,65 m
L2 (profundidad)	2,08 m
L3 (altura)	2,47 m
Volumen=	18,75224 m cúbicos

Fuente. Elaboración propia

Contando con los materiales presentes sin ningún tipo de elemento interno dentro de éste recinto destinado a ser el cuarto de control observamos los coeficientes de absorción que representan para cada material según la siguiente tabla.

Tabla 6.

Índices de absorción de elementos de la sala

superficie	material	125	250	500	1000	2000	4000
S1	pared	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
S2	piso baldosa	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
S3	techo en Eternit	0,00	0,00	0,35	0,55	0,46	0,00
S4	Pared triplex 1cm	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
S5	ventana vidrio	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
S6	puerta	0,19	0,22	0,26	0,24	0,23	0,20
Total	Absorción Sala	0,01	0,01	0,26	0,40	0,33	0,01

Fuente. Elaboración propia

Superficies de Referencia:

La fórmula nos pide la superficie, igualmente el Excel calcula perfectamente éste valor para cada superficie de la sala.

Tabla 7.

Superficies de referencia

S suelo	7,592 m2
S techo	7,592 m2
S lateral L	5,1376 m2
S lateral R	5,1376 m2
S anterior	9,0155 m2
S posterior	9,0155 m2
S total	43,4902 m2

Fuente. Elaboración propia

Calculamos el tiempo de reverberación según Sabine:

$$TR_{60}^{SABINE} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{a}}$$

Los resultados arrojados por la hoja de Excel para cálculo del tiempo de reverberación según Sabine del cuarto de control fueron los siguientes:

Tabla 8.

Tiempo de reverberación de la sala según Sabine

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1Kh	2000 Hz	4000 Hz
TR60 SABINE	4,19	4,19	0,13	0,08	0,10	2,34

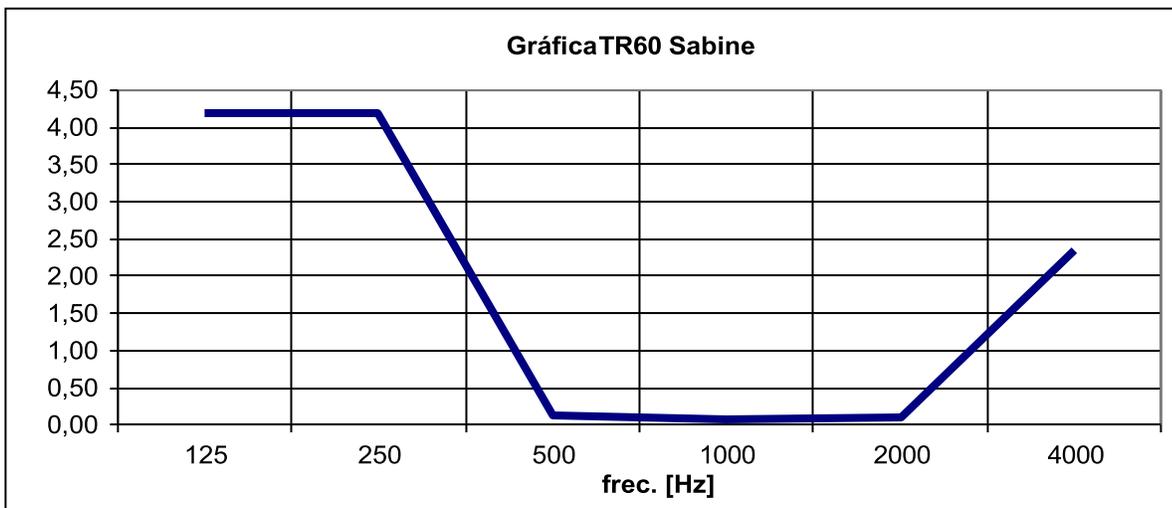


Figura 39. Gráfica del tiempo de reverberación según Sabine

Fuente. Elaboración propia

Para seguridad de la investigación y medición calculamos el tiempo de reverberación según

Eyring Norris:

$$TR_{60}^{EYRING-NORRIS} = \frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \text{Logh}(1 - \bar{a})}$$

Los resultados arrojados por la hoja de Excel para cálculo del tiempo de reverberación según **Eyring-Norris** del cuarto de control fueron los siguientes:

Tiempo de reverberación TR60 según **Eyring Norris**:

Tabla 9.

Tiempo de reverberación de la sala según Norris

	125	250	500	1000	2000	4000
TR60 Eyring-Norris	0,97	0,89	0,10	0,06	0,07	0,66

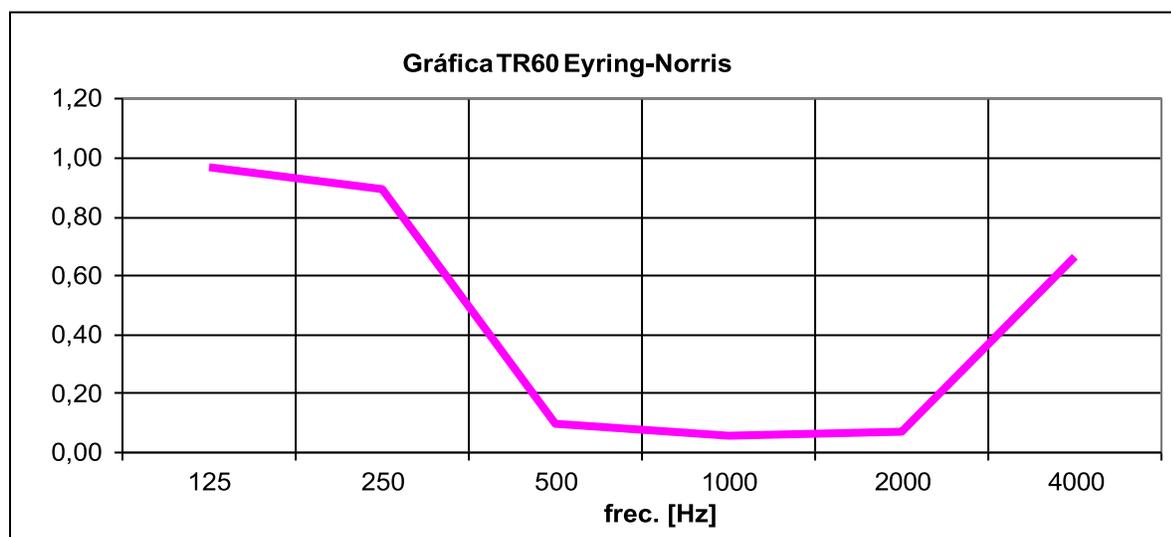


Figura 40. Gráfica del tiempo de reverberación según Norris

Fuente. Elaboración propia

Finalmente calculamos el tiempo de reverberación TR60 pero ahora teniendo en cuenta un el criterio de Millington Sette del cual el resultado también lo arrojó la hoja de Excel.

$$TR60_{\text{Millington-Sette}} = \frac{0.61 \cdot V}{-\sum_{i=1}^n a_i \cdot \log n(1 - a_i)}$$

Tabla 10.

Tiempo de reverberación de la sala según Sette

	125	250	500	1000	2000	4000
TR60 MILLINGTON-SETTE	0,77	0,69	0,09	0,05	0,07	0,48

Fuente. Elaboración propia

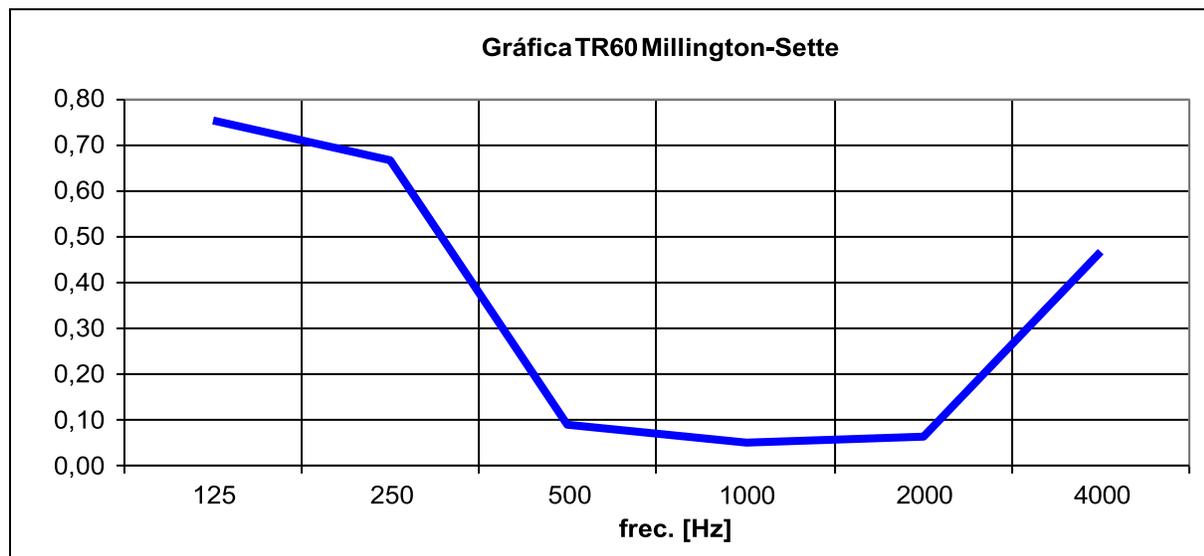


Figura 41. Gráfica del tiempo de reverberación según Sette

Fuente. Elaboración propia

El uso de la hoja de Excel nos arrojó los valores del tiempo de reverberación de 4.9 segundos mostrando un valor elevado para frecuencias entre los 250 y 125 Hz o sea, en las frecuencias medias bajas. Observamos que existe un tiempo de reverberación bastante alto en las frecuencias bajas, lo cual es corroborado subjetivamente mediante la sensación al reproducirse instrumentos de naturaleza bajos.

Se valora de forma subjetiva sobre la experiencia y observación del comportamiento acústico del recinto. Se observa que cuando suenan reproducciones con monitores de instrumentos como

una flauta, una quena, un pingullo, el charango, etc o instrumentos que estén por encima de éstas frecuencias críticas registradas, no representan problemas de reverberación significativas; al contrario, de un bombo acústico, una batería, un trombón o un bajo, músicas que lleven sub-bass, o algo por el estilo, se generan muchas reflexiones en el interior de la sala, presentando acoples que se evidencian con el resonar de las estructuras existentes, generando distorsiones y pérdida del entendimiento sonoro auditivo.

Igualmente se observa que después de los 2000Hz el RT60 comienza a crecer. Entre los 500 y 2000 Hz las condiciones son mejores y se observa un promedio entre 0,13 y 0,8 segundos lo cual está dentro de los parámetros normales de tiempo de reverberación para un estudio de producción de audio.

5.3.2 Calculo de Modos Normales.

Dado la complejidad de éste tema, se intenta hacer un acercamiento con cálculo de modos normales de resonancia por medio de una hoja de Excel. Esta hoja .xls la proporciona AUREA Ingeniería Acústica igualmente.

La programación responde a:

$$f_{n_x, n_y, n_z} = \frac{c}{2} \times \sqrt{\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2}}$$

Introducimos las medidas del cuarto de control considerando la temperatura a 20 grados centígrados así:

L: 3,65 mts.

W: 2,08 mts

H: 2,47 mts.

Consideramos la velocidad de propagación: 343,38 m/s

Con éstos datos determinamos las superficies independientes:

Superficie del suelo: 7,592 m²

Superficie techo: 7,592 m²

Superficie lateral L: 9,0155 m²

Superficie lateral R: 9,0155 m²

Superficie anterior: 5,1376 m²

Superficie posterior: 5,1376 m²

Superficie total: 43,4902 m²

Volumen total: 18,75224 m³

Perímetro total: 32,8 m

La hoja en Excel nos arroja los siguientes resultados:

Para los modos Axiales se observa los siguientes resultados:

Tabla 11.

Cálculo de modos axiales

nx ny nz	Axial L	Axial W	Axial H
1	47,04	82,54	69,51
2	94,08	165,08	139,02
3	141,11	247,63	208,53
4	188,15	330,17	278,04
5	235,19	412,71	347,55
6	182,23	495,25	417,06
7	329,27	577,8	486,57
8	376,3	660,34	556,08
9	423,34	742,88	625,58

Fuente. Elaboración propia

Para los modos tangenciales se observa los siguientes resultados:

Tabla 12.**Cálculo de modos tangenciales**

nx	ny	Tangencial L&W	Tangencial L&H	Tangencial W&H
1	1	95	83,93	107,91
2	1	125,15	116,97	179,12
3	1	163,48	157,3	257,2
4	1	205,46	200,58	337,41
1	2	171,66	146,76	161,68
2	2	190,01	167,86	215,82
3	2	217,18	198,09	283,98
4	2	250,31	233,94	358,24
1	3	252,06	213,77	224,27
2	3	264,9	228,77	265,96
3	3	285,01	251,79	323,73
4	3	311	280,86	390,51
1	4	333,5	281,99	290,03
2	4	343,31	293,52	323,35
3	4	359,06	311,8	372,32
4	4	380,02	335,72	431,64

Fuente. Elaboración propia

Y por último, los modos oblicuos:

Tabla 13.**Cálculo de modos oblicuos**

nx	ny	nz	Oblicuos
1	1	1	117,72
1	2	1	185,19
1	1	2	168,38
2	1	1	143,16
2	2	1	202,32
1	2	2	220,89
2	1	2	187,06
2	2	2	235,43

Fuente. Elaboración propia

Según estos datos, cumplimos con el criterio de Bonello, produciéndose un aumento gradual de la densidad modal en cada banda de frecuencias.

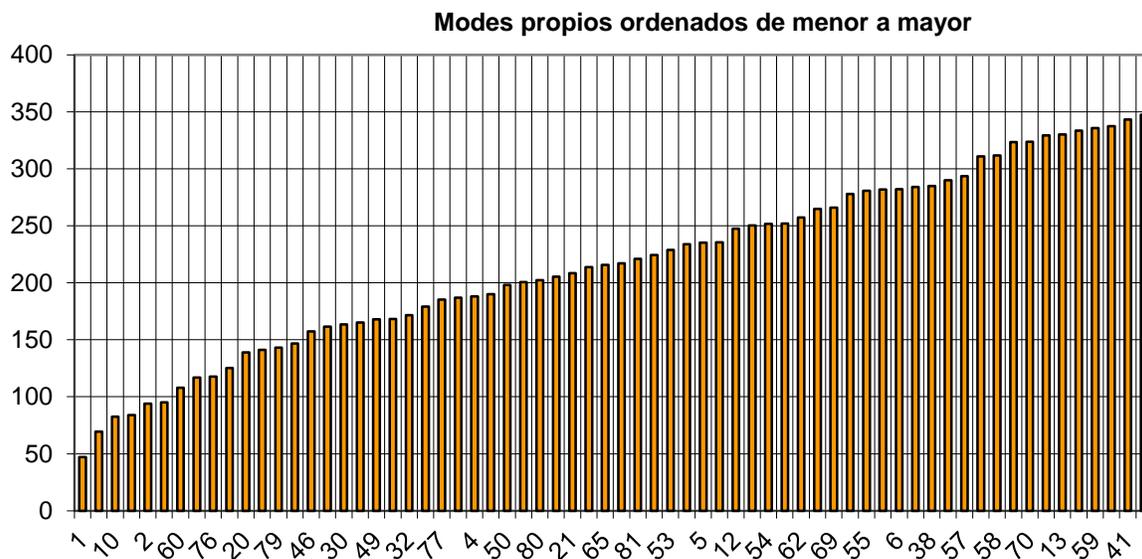


Figura 42. Grafica Modos propios ordenados de menos a mayor

Fuente. Elaboración propia

6. Desarrollo Del Diseño, Análisis Y Resultados

Es evidente la ayuda técnica que requiere ésta actividad constructiva, por lo tanto se pretenderá contratar mano de obra experta que viva y trabaje en la zona de ubicación (Sibundoy Putumayo). Viven algunos maestros de obra expertos (albañiles, carpinteros, artesanos, otros) y ellos con su experiencia, brindaran total apoyo y seguridad en la construcción del mismo. Así mismo, los costos se reducirían ya que la mayoría de los materiales NO se consiguen en el mercado local.

Se pretende en este capítulo abordar todos los conceptos y referencias logradas en el marco teórico para llevarlas a la práctica y tratar el recinto como si fuera un cubo rectangular de 6 lados: cuatro paredes, un piso y un techo.

Las mediciones que realizamos nos llevan a priorizar el tratamiento a realizar para centrarnos directamente al aislamiento acústico.

Durante la experimentación encontramos resultados reveladores. En primer lugar se presentan factores de ruido y contaminación ambiental incidente en los vecinos del sector. A raíz de éste cálculo, determinamos que el techo presenta el principal problema ya que es como si no existiera un lado del cubo.

6.1 Aislamiento Acústico Del Recinto

Reducción de ruido (NR) (*Beranek , 1986*) La reducción de ruido en dB se puede definir como: $NR = SPL_1 - SPL_2$

Se recuerda que se colocó una fuente sonora de 90 dB en el interior del recinto, considerando a ésta como SPL_1 . El SPL_2 lo tomamos del valor arrojado en la medición de ruido con el descriptor NPL (nivel de contaminación por ruido) con un valor de 55,55 dB.

$$NR = 90 - 55,55 = 34,45 \text{ dB.}$$

6.1.1 Tratamiento del Techo.

Con base en los resultados de la experimentación determinamos que el cubo no tiene un lado. Ese lado tiene un material fono-conductor el cual potencia la transmisión de energía sonora, por lo tanto, el techo necesita la implementación y construcción de una plancha tipo vigueta y bovedilla. Recordemos que el coeficiente de transmisión sonora es directamente proporcional al peso de los materiales que conforman los lados del recinto (marco teórico conceptual. (Beranek, 1986)

Esta implementación se basará en el manual de Construcción De Techos- Sistema Vigueta Y Bovedilla. (Manual con la colaboración , 2008)

6.1.1.1 Losas Aligeradas.

Está compuesta por los siguientes elementos: vigueta, bovedilla malla electro soldada y la capa de compresión (concreto) resultando una construcción sencilla y de bajo costo. Las losas construidas con este sistema quedan integradas en una sola pieza monolítica, por el concreto colado sobre la bovedilla y la vigueta formando la capa de compresión. El sistema no requiere cimbra de contacto porque al apoyar las bovedillas en las viguetas se cubre toda la superficie y se elimina la cimbra de contacto.

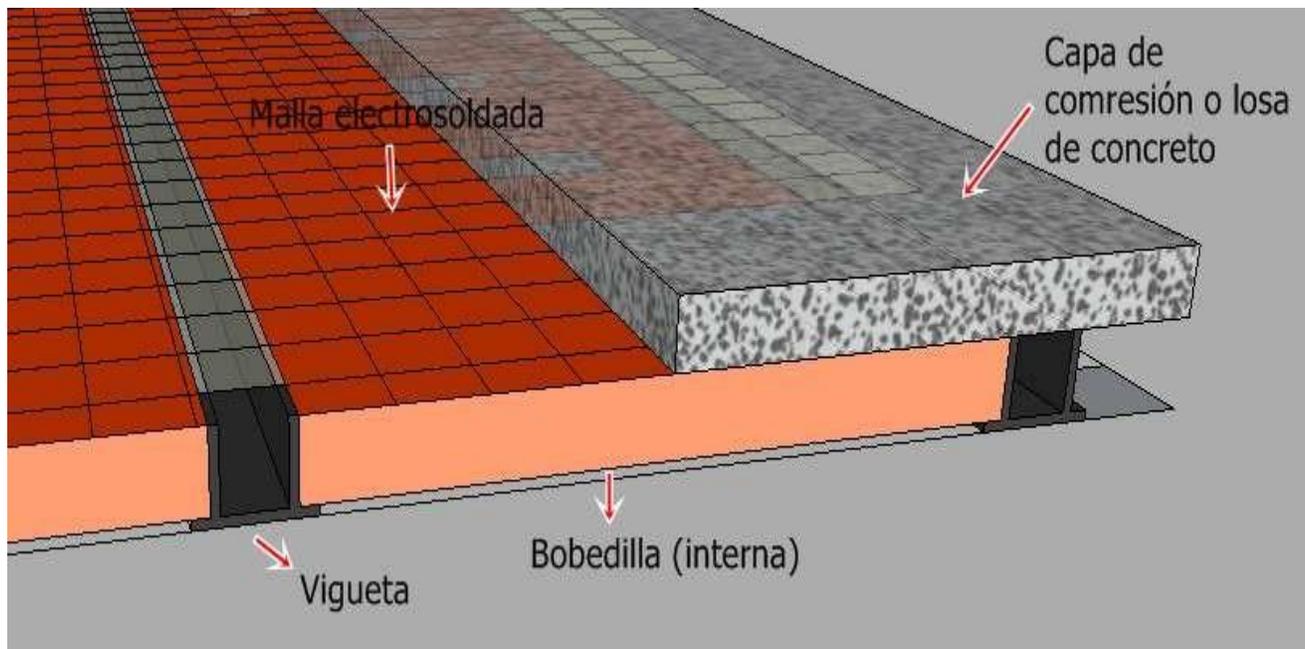


Figura 43. Elementos que conforman el techo del sitio

Fuente. Elaboración propia

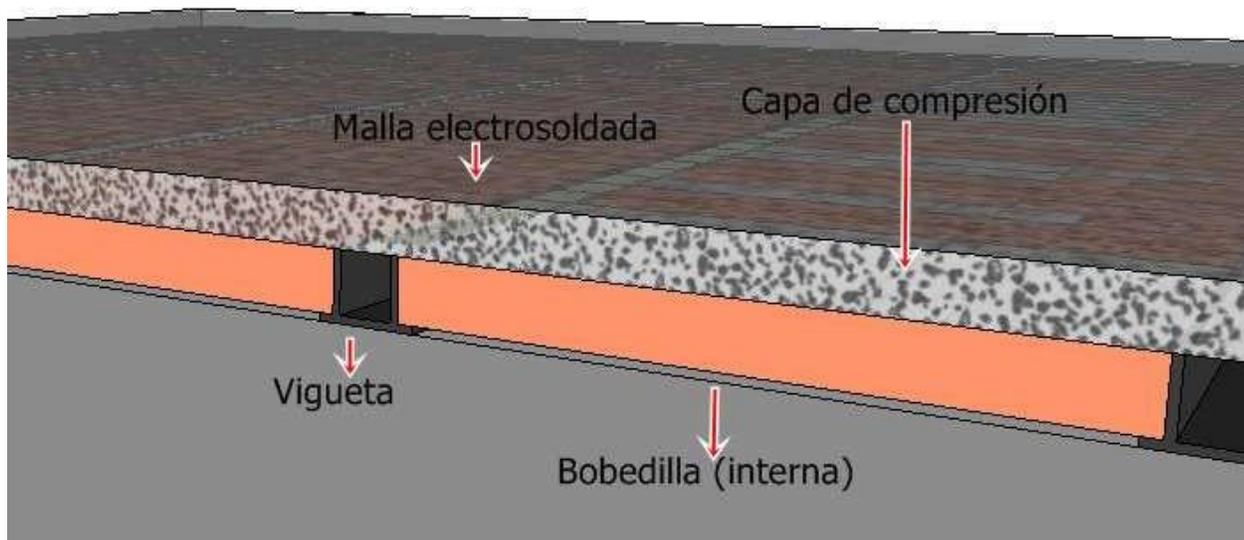


Figura 44. Elementos fundidos en una capa monolítica

Fuente. Elaboración propia

6.1.1.2 Vigüeta y Bovedilla.

Las vigüetas están formadas por una armadura y un patín de concreto colado en la parte inferior.

6.1.1.3 Elementos de Armadura.

La armadura es un producto electro soldado triangular formado por tres varillas corrugadas unidas por alambre liso calibre 8" (4.11 mm), en forma de zigzag, mediante un proceso de soldadura por resistencia eléctrica a cada 20 cm.

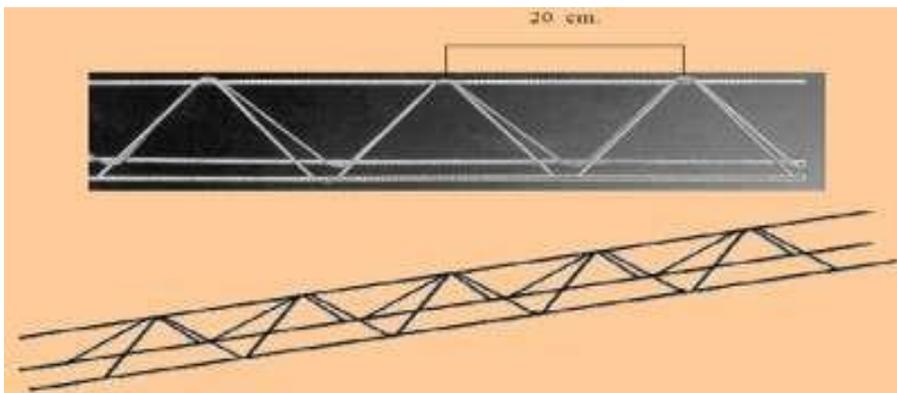


Figura 45. Vigüeta en hierro

Fuente. URSA, 2018

6.1.1.4 Elementos del Patín de Concreto.

Una vez que esta la armadura se le agrega concreto colado en las dos varillas inferiores más el acero de refuerzo que requiera dependiendo el claro y cargas al que va a ser sometida la losa formándose el patín.

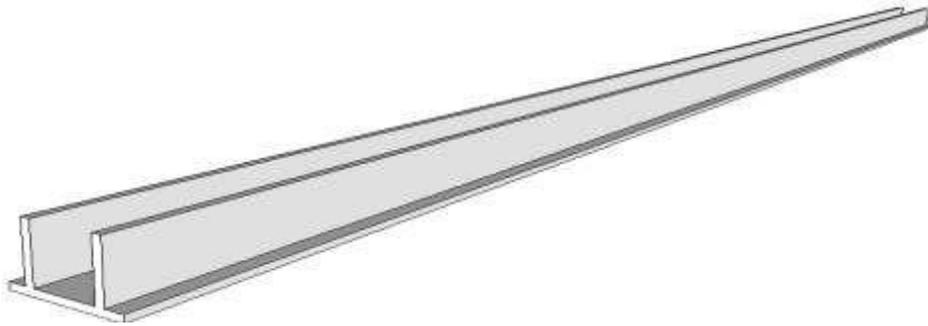


Figura 46. Perfil de acero

Fuente. Elaboración propia

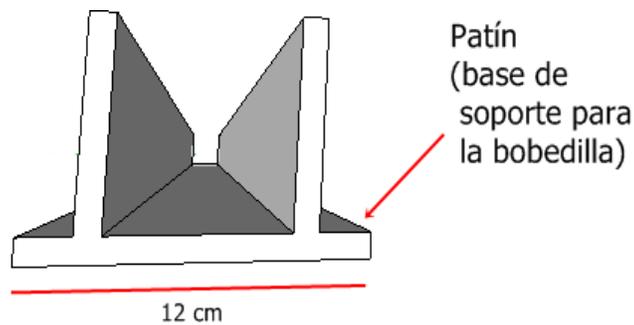


Figura 47. Perfil de acero usado en fundición de plancha

Fuente. Elaboración propia

La vigueta prefabricada es el elemento más importante de este sistema constructivo llamado (vigueta y bovedilla) ya que forma parte integral de la losa sirviendo como apoyo de las bovedillas y a la capa de compresión.

6.1.1.5 Bovedilla.

Las bovedillas son elementos que pueden ser de diversos materiales *barro cerámico, cemento y arena o poliestireno*. Las bovedillas se apoyan directamente en las viguetas cubriendo en forma conjunta toda la superficie de la losa.



Figura 48. Colocado del bloquelón en plancha

Fuente. URSA, 2018

Su función es eliminar la cimbra de contacto, aligerar la losa, aislante térmico y acústico, obteniendo más seguridad y calidad en la aplicación de éste sistema constructivo.



Figura 49. Colocado de material aislante

Fuente. URSA, 2018

6.1.1.6 Detallado de Viguetas y Bovedillas.

Para obtener resultados de seguridad estructural y buena calidad en los elementos que forman el sistema de carga de la losa es necesario considerar los siguientes detalles:

Correcta fabricación de la vigueta

Correcta selección y calidad de la bovedilla

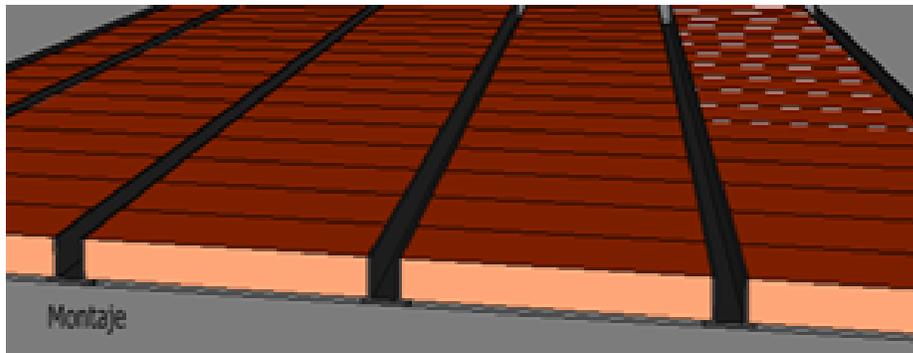


Figura 50. Montaje de bloquelón en viguetas o perfiles

Fuente. Elaboración propia

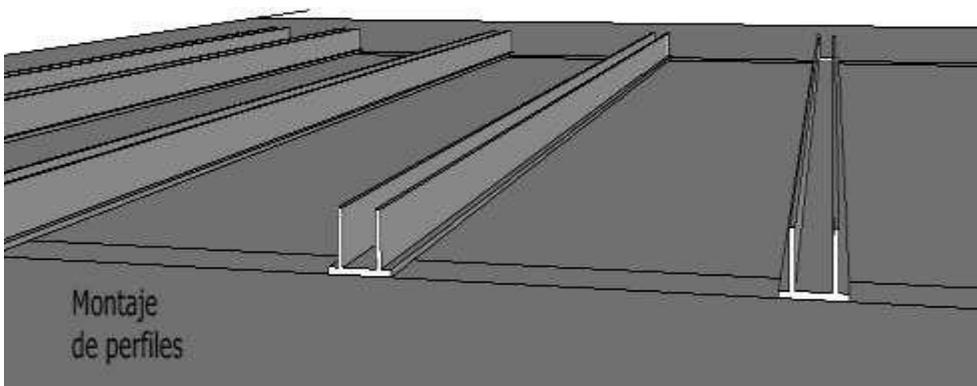


Figura 51. Montaje de perfiles

Fuente. Elaboración propia

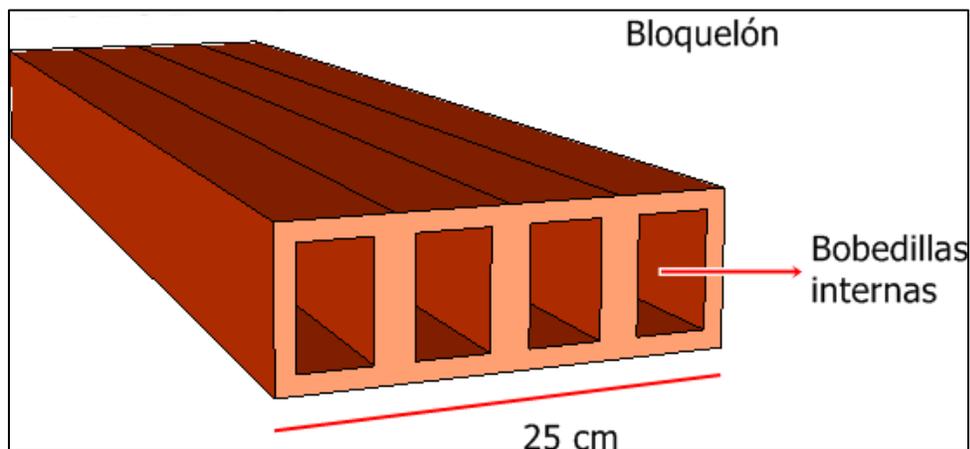


Figura 52. Bloquelon para plancha

Fuente. Elaboración propia

6.1.1.7 Componentes.

Malla electrosoldada: Para la fabricación de la capa de compresión se debe considerar el acero de repuesto, (malla electrosoldada) con el fin de evitar agrietamientos por temperatura.

El acero de refuerzo es el mínimo requerido por las normas vigentes para contracción y temperatura para espesores de 3 a 4 cm. se requiere una elecromalla 66-1010 y para 5 cm una elecromalla de 66-88.

6.1.1.8 Concreto.

El concreto debe tener una resistencia como mínimo de $200 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$ su función es aportar junto con las viguetas la resistencia estructural a la losa.

Tabla de proporciones: Componentes para la obtención de una resistencia a la compresión mínima de $200 \text{ Kg}/\text{Cm}^2$

Tabla 14.
Proporciones de mezcla del concreto

USOS	Cemento bulto	Arena botes	Grava botes	Agua botes
Losas castillos y zapatas	1	4 ¹ / ₄	5 ¹ / ₂	1 ³ / ₄

Fuente. URSA,2018.

6.1.1.9 Procedimiento Constructivo.

a. Apuntalamiento:

Revisar los niveles de castillos y muros de apoyo de las viguetas para asegurar la pendiente de la losa; la función del apuntalamiento es sostener el sistema hasta que la capa de compresión alcance su resistencia, de esta manera se evita que el techo quede colgado.

b. Colocación de viguetas:

Las viguetas se colocan a partir de los muros de arranque, estas deberán apoyarse por lo menos 5 cm sobre los muros. Las viguetas se colocan manualmente sobre el muro ya nivelado.

Se cuela la capa de compresión junto con la dala perimetral para que la losa quede amarrada a los muros y además trabaje por sismo y se evita el doble gasto de dala.

Para dar la separación adecuada de las viguetas se colocan una bovedilla en cada extremo y se juntan bien las viguetas que la sostienen.

c. Colocación de bovedillas:

Las bovedillas se colocan junto a las viguetas una por una, procurando que no quede espacio entre ellas para evitar fugas de concreto es decir deben quedar bien sentadas y ajustadas.

Las bovedillas de los extremos deben apoyarse al menos un centímetro. En el caso que el entre- eje del extremo sea menor que le ancho de la bovedilla, estas se cortan y se apoyan sobre el muro.

d. Instalaciones eléctricas:

Se colocan ya sea entre los huecos de las bovedillas (en el caso de bovedilla de poliestireno se ranura para que no corte la capa de compresión o por la viga). En el caso de tener una caja eléctrica a “Cielo raso” se quita la bovedilla donde ira instalada, se coloca una tabla debajo de las viguetas, y se amarra con alambre recocado a las diagonales de la armadura.

e. Refuerzo de la capa de compresión:

La malla electrosoldada se corta en el piso al tamaño necesario y se sube al techo para colocarla en su sitio. Con alambre recocado se marra a cada 50 cm. a la varilla superior de la armadura. En el caso que se tenga que traslapar con un cuadro más 5 cm. es suficiente.

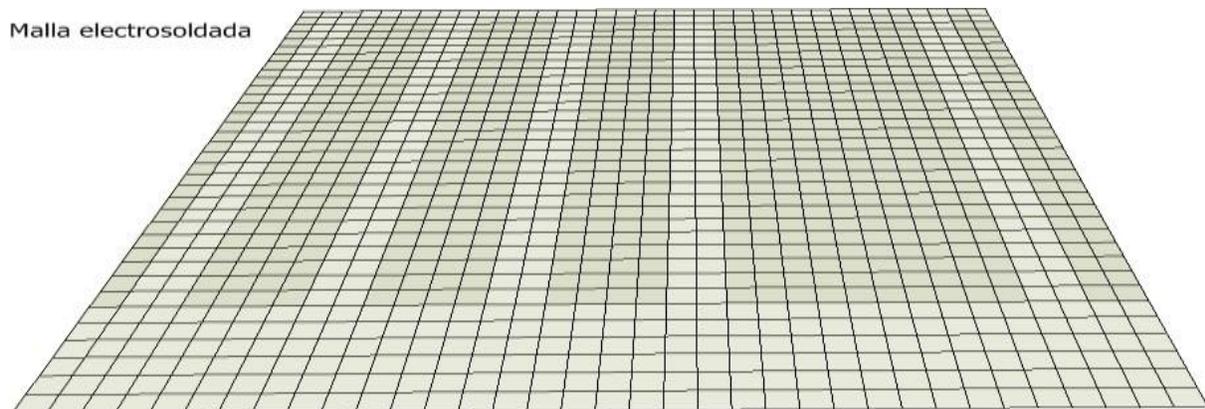


Figura 53. Malla electrosoldada

Fuente. Elaboración propia

f. Colado de la Capa de Compresión:

Por último colamos la capa de compresión, para esto es importante tener bien mojada la superficie de la losa y tapar todos los huecos de las bovedillas que estén expuestos para evitar fugas de concreto. El techo ya colado se debe mantener húmedo durante los siguientes 7 días, los puntales se pueden retirar después de 7 días del colado.

Al realizarse el colado del concreto en la obra, las diagonales de la armadura funcionan como conectores entre el concreto recién colado y el patín de la vigueta integrado en una pieza, la vigueta en la capa de compresión (Como si todo se uniera y fabricara al mismo tiempo).

6.1.2 Piso.

El piso actual en baldosa nos presenta varios factores entre los cuales, destacamos que el tiempo de reverberación alto es debido a la naturaleza del material. Se colocará un tapete de material de alfombra lo cual hace quevite reflexiones tipo comb-filter.

Para la suite de grabación, se instalará un sistema de piso flotante de la siguiente manera:

6.1.2.1 Implementación de Piso Flotante en la Suite de Grabación.

Base para alfombras (*Base para alfombras, tomado del manual de ISOLANT S.A.*): Se escogió la base para alfombras *Isolant* de 6 mm. de espesor, tipo Acoustic la cual es un producto higiénico, resistente, impermeable, flexible, elástico, y de ilimitada vida útil, es el único producto del mercado con un aditivo exclusivo que retarda la propagación de la llama y en su proceso de combustión no produce gases tóxicos.

Se han realizado ensayos en laboratorios que corroboran que esta base para alfombras alarga la vida útil en al menos 3 años y disminuye 21 dBA en promedio los ruidos de impacto.



Figura 54. Piso flotante pre fabricado

Fuente. Mercadolibre.com

Según el fabricante, en la carta de especificaciones se habla sobre membranas amortiguantes de ruido, que brindan mayor confort en este tipo de revestimientos. La reducción del sonido en una losa normalizada con Base para Alfombra Acoustic y alfombra tipo “Tapizmel” ronda los 47 dB. El fabricante especifica también que para la colocación paso a paso son vitales estas recomendaciones:

La membrana se instala con su cara acanalada hacia abajo y para el pegado de la misma se provee en cada rollo de producto una espátula que ayudará a distribuir mejor el pegamento por la superficie de la membrana.

Los rollos de membrana se pegan “a tope”. Preparación de superficies y el material; el lugar donde se instale el producto deberá estar limpio, seco, libre de polvillo y suciedad, se desenrolla el producto y la alfombra con tres horas de anterioridad para facilitar los pasos siguientes.



Figura 55. Colocado de piso flotante

Fuente. Mercadolibre.com

Pegamento; los pegamentos que se utilizan son adhesivos de doble contacto que no

contengan: Tolueno, Benceno y Xileno

Pegado al contrapiso; se aplica pegamento en el contrapiso y en la parte inferior del producto, se deja orear y se pega, se instala en paralelo y a lo más largo de la habitación, se debe dejar unos 5 a 10 cm. de sobrante sobre el zócalo el cual luego se recortara con una trincheta, se debe empezar la instalación desde el sector más alejado de la puerta de la habitación para no pisar el material durante la instalación.



Figura 56. Colocado final del piso

Fuente. Mercadolibre.com

Pegado de la alfombra; dejar asentar durante dos o tres horas la base para alfombras *Acoustic* antes de pegar la alfombra sobre ésta; cada alfombra puede tener una recomendación especial para su instalación.



Figura 57. Colocado de alfombra

Fuente. Mercadolibre.com

Tabla 15.

Especificaciones del piso flotante

CARACTERISTICA	ACOUSTIC
Estructura de celda	Cerrada
espesor	6,5 mm / 4,5 mm (acanalado)
Resilencia (Recuperación de espesor total)	75.95%
Índice de reducción de ruidos de impacto	30.4dB
Conductividad térmica	0.040 $W/m^{\circ}C$
permeabilidad al agua	Impermeable.

Fuente. Mercadolibre.com

La presentación viene en rollos de 1x20 m.

6.1.3 Puertas.

El diseño propone la instalación de dos puertas acústicas dobles tipo PA 52 colocadas de la siguiente manera: Primero, una puerta doble a la entrada, a 18 cm. hacia dentro de la puerta principal existente conservando la geometría del paramento en drywall. La segunda puerta va

instalada en la entrada a la suite de grabación conservando el paramento del centro de la misma.

6.1.3.1 Puerta Tipo Pa 52 (aislanteacustico.net)

Está fabricada mediante carcasa con refuerzo central interior, de acero con galvanizado en caliente y chapas de acero sobre perfiles rellenos de paneles acústicos incombustibles de lana de roca con composición en diferentes espesores y densidades. El espesor total de la puerta normalmente es de 80 mm para su cierre hermético y acústico dispone de un doble ribete perimetral de estanqueidad (caucho y neopreno respectivamente.) Esta puerta se ubicará en la entrada principal siendo segunda puerta contigua a la puerta existente.



Figura 58. Puerta acústica

Fuente. Elaboración propia

Dimensiones:**Tabla 16.****Dimensiones puertas acústicas**

PUERTA	ACUSTICA	(mm)	Peso (Kg)
PA 52			
1 HOJA		800 X 2120	96
1 HOJA		920 X 2120	105
1 HOJA		1020 X 2120	114
1 HOJA		1120 X 2120	123
1 HOJA		1220 X 2120	132
2 HOJAS		1320 X 2120	152
2 HOJAS		1420 X 2120	160
2 HOJAS		1595 X 2120	178
2 HOJAS		1795 X 2120	196
2 HOJAS		1995 X 2120	214
2 HOJAS		2195 X 2120	234
2 HOJAS		2395 X 2120	256

Fuente. Mercadolibre.com

En la localidad del Sibundoy Putumayo, se encuentran varios carpinteros que pueden hacer fabricar ésta puerta a bajo costo.

6.1.3.2 Segunda Puerta Acústica de Vidrio RS4.

Desde un punto de vista estético y funcional, se decide instalar una puerta acústica en vidrio que divide el control room y la suite de grabación.



Figura 59. Puerta acústica en vidrio

Fuente. Mercadolibre.com

Las especificaciones del fabricante son: aislamiento acústico de $R_w=42\text{dB}$ compuesta de un marco con chapa pulida de 1.5mm de espesor y hoja construida con tubo pulido con marcos atornillados para sujeción de 2 vidrios laminados de 4x4 y 5x5 mm. Provista de doble burlete perimetral. El cierre es a presión por medio de una leva interior y bisagras de inercia. El certificado acústico para RS4 es de ensayo numero 4.012.210

6.1.4 Ventanas (Inerco Acústica)

Se utiliza los espacios de las ventanas existentes y se reemplazaron cada una con un Visor acústico de alto aislamiento, modelo *INAWIN VR 2* Visor acústico metálico con marco tratado acústicamente y sistema de montaje modular con tratamientos absorbentes inter-vidrios, modelo

estándar de fabricación *INAWIN VR 2* compuesto por la fabricación de dos visores con tratamiento absorbente intermedio tipo *INAPHON*, y con vidrios inclinados para evitar ondas estacionarias en el sistema.

La materia prima utilizada será: Acero tratado, Aluminio tratado, Vidrios laminares, Material aislante absorbente ignifugo.

6.1.4.1 Datos Acústicos.

Tabla 17.

Especificaciones de ventana acústica

Frecuencia Hz.	50	125	250	1000	2500	5000
R' Índice de reducción de ruido dB	20.9	30.2	40.8	62.5	69.9	80.6

Fuente. Mercadolibre.com

Ejemplo de solución VR-2 con interespaciado de 100 mm entre visores. Valoración según la Norma ISO 717-1:

$$R'_{n, w} (C ; C_{tr}) = 52 (-2 ; -9) \text{ dB} / R'_A = 50 \text{ dBA}$$

Evaluación basada en resultados de medidas in situ obtenidos mediante un método de ingeniería (UNE en ISO 140:3).

6.1.4.2 Dimensiones.

Sobre las dimensiones de A ancho, y H altura en función de las posibilidades constructivas y necesidades de aislamiento acústicos se definen los espesores de los vidrios acústicos, hay marcos a partir de 40mm.



Figura 60. Ventana acústica

Fuente. Elaboración propia

6.1.5 Paredes.

Haciendo una analogía con la teoría del “cubo” en la definición de ecuación de onda donde se relaciona la fórmula de continuidad, estado y Euler (Beranek 1996, definición de la ecuación de onda en un estado ideal), se propone construir un cubo suspendido de alguna manera en el interior del cubo existente. Esto evitaría la transmisión por flancos y el ruido transmitido a las viviendas vecinas evitando la contaminación acústica existente.

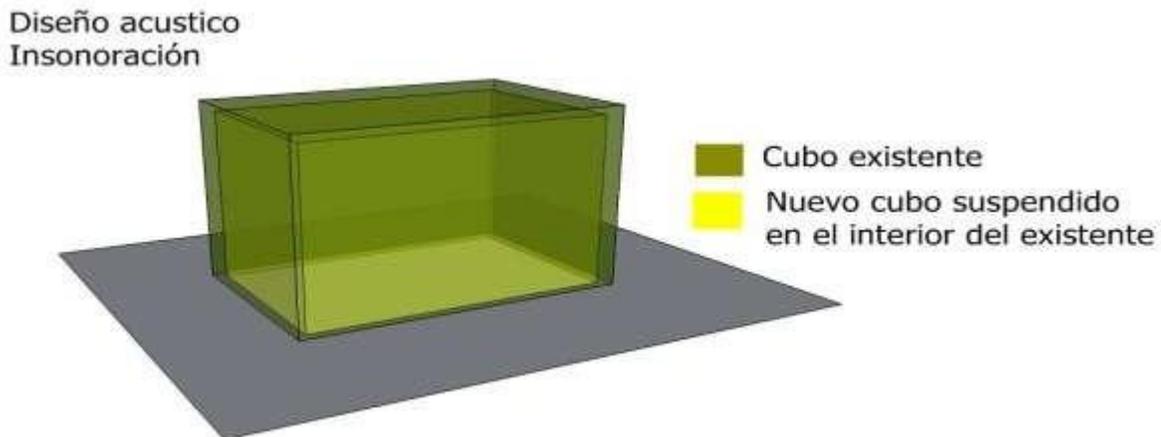


Figura 61. Diseño acústico para insonoración

Fuente. Elaboración propia

Además del muro existente, en cuanto a las paredes se refiere, se pretende instalar una estructura tipo “Sistemas Multi- hoja” que refuerce la estructura y cree una barrera acústica para evitar la transmisión sonora. Se trata de una estructura en aglomerado de madera tipo Drywall de 3,8 cm de espesor a 6,2 cm del muro existente. El Drywall es un producto manufacturado que su proveedor más cercano es Home-Center en Bogotá.

Su instalación es de fácil adaptación y viene con todos sus elementos y manuales de usuario. También la empresa cuenta con asesoría e instalación por parte de expertos. (*Drywall, s.f.*) El transporte de este material saldría muy costoso si se lo hace desde Bogotá hasta el Putumayo, por el contrario, desde la ciudad más cercana y con más oferta en materiales siendo Pasto Nariño, se pensaría en la compra de éste material no de la marca Drywall, si no aglomerado de madera común ensamblados que lo venden en muchos aserríos en la ciudad. Estos paneles proveen más peso al sistema que se pretende ensamblar y vienen de cualquier medida. El único problema, es que no cuentan con una carta de especificación acústica detallada provista por el fabricante.

Dentro de la cámara de aire de 5 centímetros que se forma al instalar los paneles, el espacio entre la pared y el aglomerado de madera, funcionaría como una cámara de aire tipo resorte, en donde también, se integra paneles de fibra de vidrio sujetados por un sistema de correas.



Figura 62. Estructura de aislamiento acústico

Fuente. Elaboración propia

Éstos paneles se encuentran fácilmente en el mercado, igualmente, Home-Center es un buen proveedor. El sistema de correas soportaran los paneles, se recomienda tipo sunchos o sujetadores de gran resistencia.

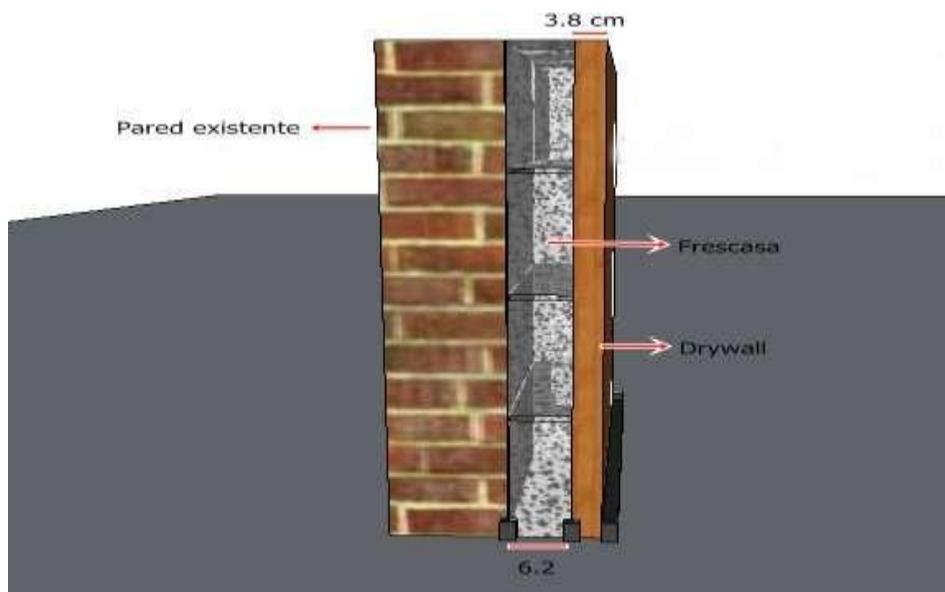


Figura 63. Estructura de aislamiento visto lateralmente

Fuente. Elaboración propia

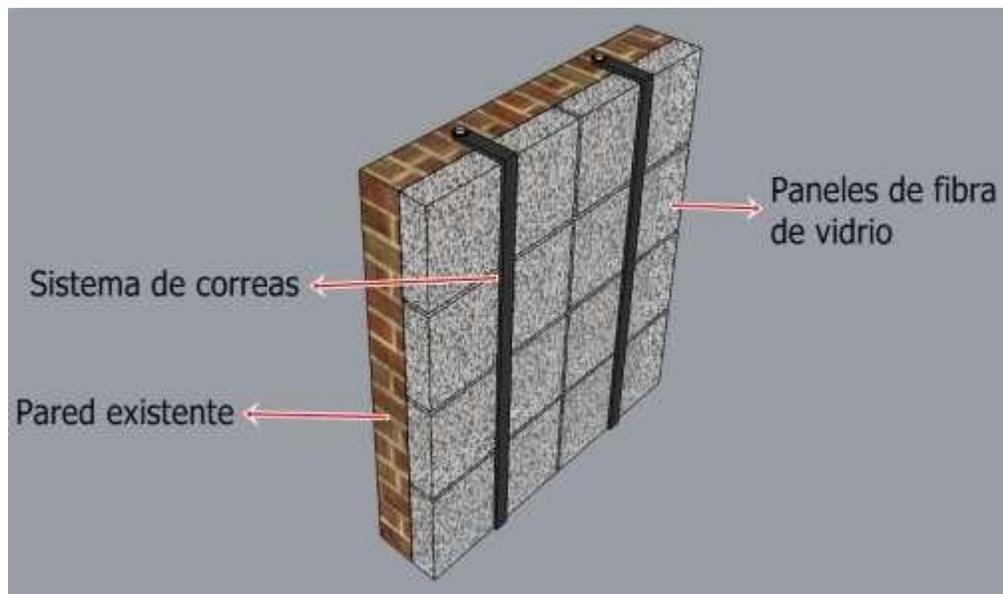


Figura 64. Sujeción de material aislante con sistema de correas

Fuente. Elaboración propia

En el anterior dibujo, observamos el recinto recubierto con el sistema Drywall mas los paneles de fibra de vidrio. También observamos la idea de doble puerta y doble ventana a la entrada principal y pared frontal del mismo.

6.1.6 División Separadora del Cuarto de Control y la Suite de Grabación.

Se propone instalar una lámina de Triplex mas de 1cm con una distancia de 5cm desde la otra lamina de triplex que está actualmente instalada y que va de suelo a techo. En la mitad se instala igualmente fibra de vidrio y la instalación de la doble ventana.

Ésta pared se encuentra a 2,8 mts de profundidad desde la entrada principal, dejando para la suite de grabación un espacio de 2,03 mts de profundidad.

6.2 Acondicionamiento Acústico Del Recinto.

Para el acondicionamiento acústico, se toma algunos de los criterios consultados y resumidos en el marco teórico.

6.2.1 Acondicionamiento Acústico en la Sala de Control.

Se toma como base el principio de (*Rettinger*) y sus ideas sobre construcción de salas de control. “*Según Rettinger, la planta de la sala de control no debe ser rectangular, ha de tener una forma de trapecio o semitrapecio*” o sea que; las paredes laterales de la parte delantera del control no podrán ser paralelas y deberán tener una inclinación lineal o bien, una inclinación curva. Rettinger nos recomienda que éstas paredes deberán ser construidas de un material reflectante.

Gracias a esta forma, evitamos que los modos propios de la habitación se generen a las mismas frecuencias el techo en la parte trasera tiene una forma determinada para permitir que lleguen las reflexiones necesarias al punto de escucha y conseguir, así, una correcta imagen estéreo.

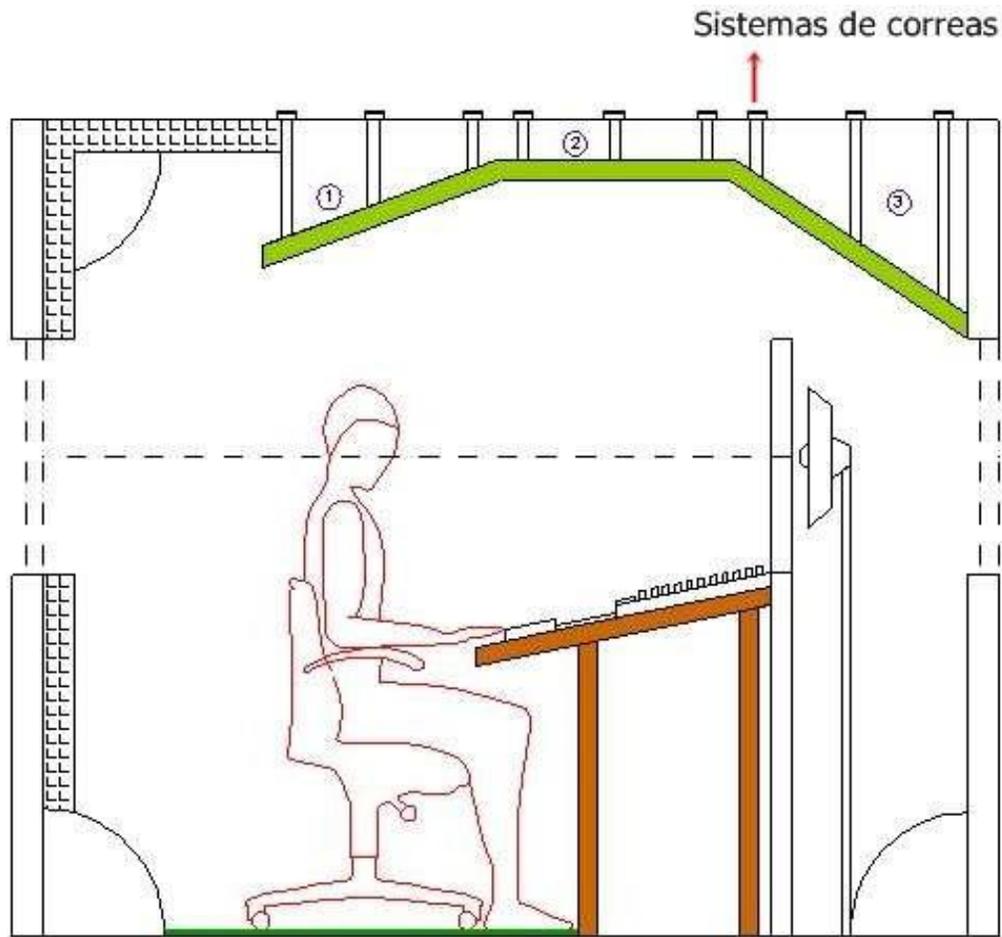


Figura 65. Diseño de sala de control

Fuente. Elaboración propia

Los números indicados como 1,2,3 corresponden a los paneles acústicos suspendidos y fijos al techo por un sistema de correas y chazos. Se propone instalar espuma acústica pegada a las paredes y techo restante y en algunas esquinas 2 trampas de bajos (ver diseño de trampas de bajos) .

Los paneles que irían colgantes en el Control Room están compuestos por algunos materiales que se han escogido para tal fin. Están recubiertos por paneles acústicos perforados tipo resonador de Helmholtz y, por lana de vidrio en su interior. También, el sistema que los asegura

en una sola unidad es en . madera como se muestra en la figura siguiente: las medidas son de 1 mt por 60 cm

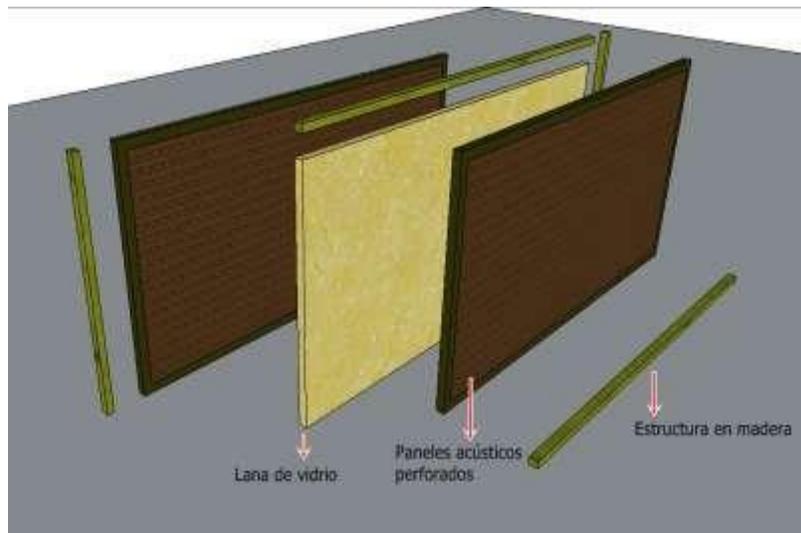


Figura 66. Partes de un resonador Helmholtz

Fuente. Elaboración propia

También utilizaremos el principio de Imagen Controlada, *Walker 1993 Controlled Image Design (CID)*. El diseño se basa en el control de las primeras reflexiones en las proximidades del punto de escucha. El objetivo la redirección de las primeras reflexiones mediante paneles absorbentes con los que se consigue un ahorro en el uso de materiales absorbentes.

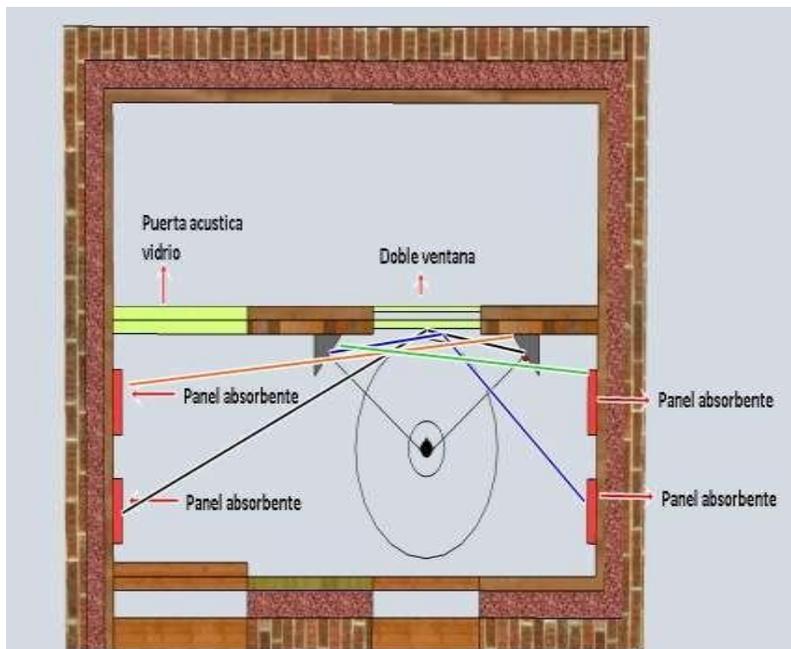


Figura 67. Colocado de paneles absorbentes según principio

Fuente. Elaboración propia

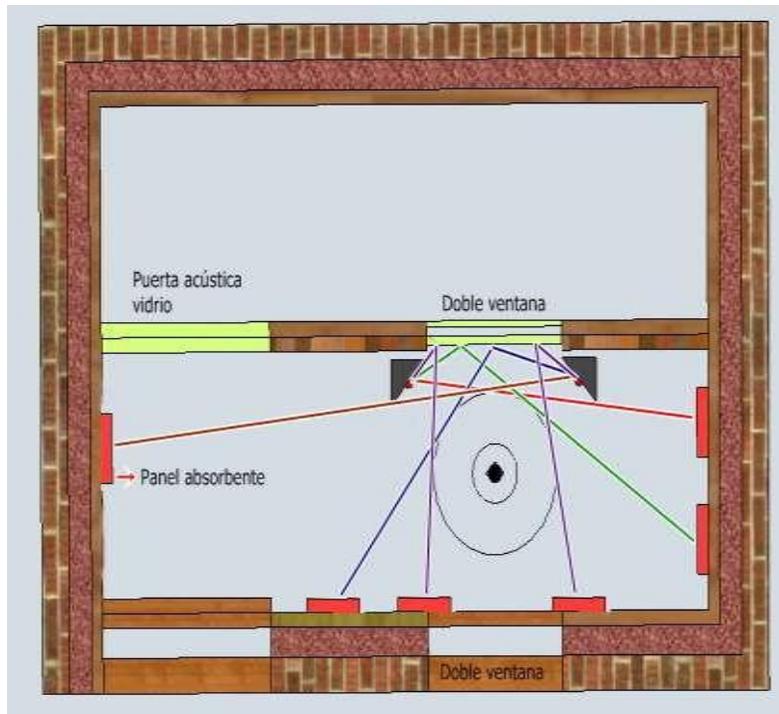


Figura 68. Colocado de paneles absorbentes según principio CID

Fuente. Elaboración propia

Una vez posicionados los altavoces y el punto de escucha en un triángulo equilátero se genera una circunferencia de 1.5 metros de radio, alrededor de la posición de escucha. Esta circunferencia delimita claramente el espacio por el cual no puede llegar ninguna reflexión de primer orden.

Luego encontramos los rayos que pasan tangenciales al círculo alrededor del punto de escucha y que salen de la fuentes de cara a obtener los puntos donde deberán situarse los paneles. Finalmente, habrá que poner especial atención a la pared trasera ya que será ésta la que nos proporcione las primeras reflexiones que lleguen al punto de escucha. No será necesaria la instalación de una gran cantidad de material absorbente en esta zona. Además, tampoco será necesaria la instalación de sistemas complejos de difusión ya que alternando distintos materiales absorbentes podemos conseguir una difusión adecuada.

6.2.1.1 Elección De Materiales Absorbentes.

En la pared trasera incluiremos materiales absorbentes montados en paneles que estarían ubicados en frente de los parlantes o monitores. El material sugerido para éstos paneles los provee la empresa Ecustic ubicada en la ciudad de Bogotá.

ver: cotización y precios en el anexos.

La empresa Ecustic provee materiales con altos valores de absorción sonora para ser implementado en algún recinto para lograr modificar su tiempo de reverberación. El mecanismo de funcionamiento de éste material se basa en la resistencia que ofrece al flujo de aire, reduciendo la amplitud de la onda y transformando la energía en calor. Vienen en diferentes tipos de presentaciones y formas geométricas que sirven para aumentar la superficie de absorción aparente sin aumentar la superficie real ocupada.

Son de fácil instalación, se adhieren a cualquier superficie adaptándose a cualquier característica arquitectónica. Son resistentes al fuego ya que no producen llama y retrasan su propagación.

En algunas las esquinas del recinto se recomienda el montaje de espumas de la misma naturaleza pero que actúan como trampas de bajos. Ver cotización enviada por la empresa.

6.2.1.1.1 Paneles fonoabsorventes.

Estos paneles ya vienen diseñados para controlar el exceso de reflexiones de media y alta frecuencia. Este tipo de dispositivos acústicos tienen buenos niveles de absorción acústica, se ajustan a cualquier superficie o características arquitectónicas de cualquier lugar.

Entre los materiales que componen los paneles, se encuentran laminas rígidas de fibra de vidrio, un marco en madera o estructura perimetral interna, soportes metálicos sobre la estructura en madera. Su parte trasera termina rígida en madera.

El acabado va en tela sono-permeable. Cada panel cuenta con unas dimensiones de 1,22 mts y 61 centímetros y tiene un índice NRC 0,70.

Entre los beneficios y ventajas que en el fabricante y proveedor se encuentran que se puede remover fácil permitiendo su lavado y mantenimiento, no interfiere con la arquitectura del recinto y se presentan en varios diseños y colores.

La empresa ECUSTIC ofrece la instalación de los paneles, permitiendo ofrecer otras propuestas al diseño. (ver lista de precios anexos)

Esta empresa brinda los coeficientes de absorción presentes en ésta tabla:

Tabla 18.

Coefficientes de absorción de paneles acústicos

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 1 KHz
coeficiente	0,10	0,22	0,52	0,86	0,89	0,96

Fuente. Elaboración propia

Ver especificaciones en los anexos (ficha técnica paneles acústicos.pdf).

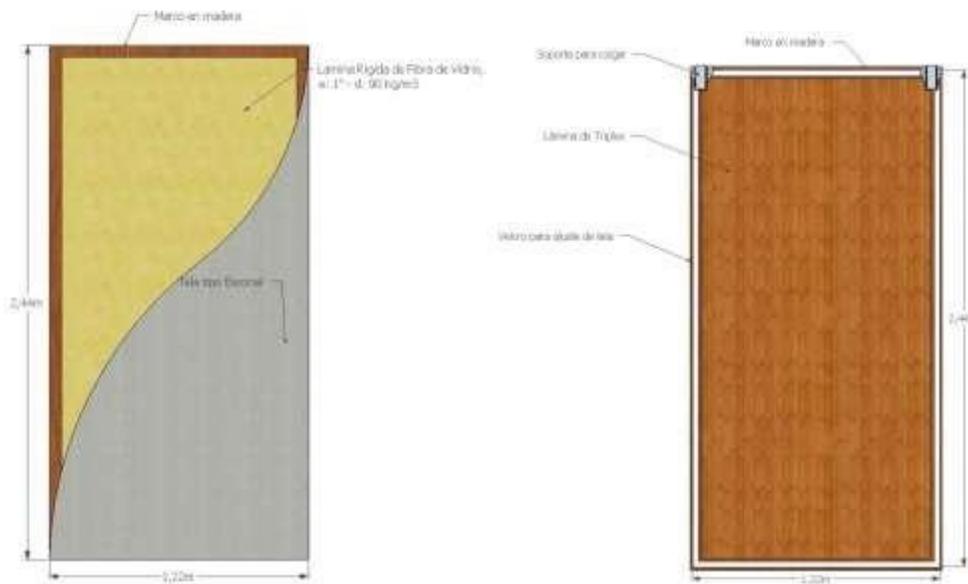


Figura 69. Paneles acústicos en tela

Fuente. Elaboración propia

6.2.1.1.2 Trampas de bajos.

Según la prueba SGS, BS5852, CA117, ISO9001 las frecuencias de absorción para el Bass

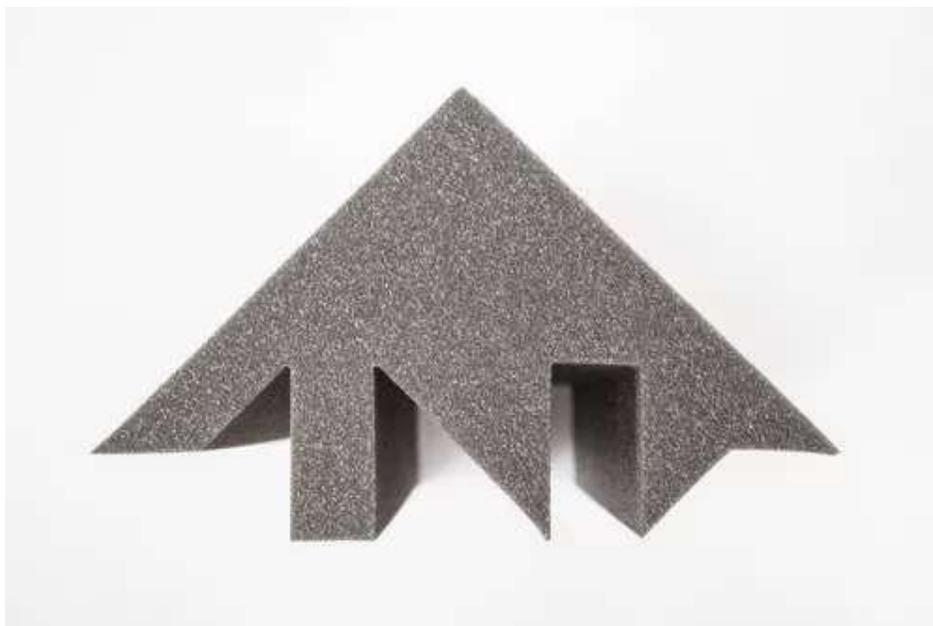
Trap son por unidad:

Tabla 19.***Coefficientes de absorción de trampas de bajo***

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 Khz	2 Khz	4 Khz
coeficiente	0,1	0,24	0,64	1,06	1,03	1

Fuente. ECUSTIC, s.f.

Nota: (no figura en las especificaciones del proveedor anterior así que nos remitimos a la página Mercadolibre en donde se encuentra disponible el producto. Aunque no provee de información, nos brinda algunos datos que podemos tener en cuenta. La densidad es de 35 Kg/m³ lo cual es una ventaja, un NRC de 0,7.

**Figura 70. Trampa de bajo vista del lado**

Fuente. ECUSTIC, s.f.



Figura 71. Trampa de bajo vista de frente

Fuente. ECUSTIC, s.f.

La idea es armar un dispositivo como trampa s de bajos para ser instaladas en algunas de las esquinas que componen el recinto. las esquinas serían las cuatro esquinas superiores de la suite de grabación y dos equinas una superior posterior izquierda y una posterior derecha. Se propone que todas las trampas deben ubicarse en las esquinas del techo puesto que facilitarían su conservación al no se estropeadas por accidentes con los pies o instrumentos varios.

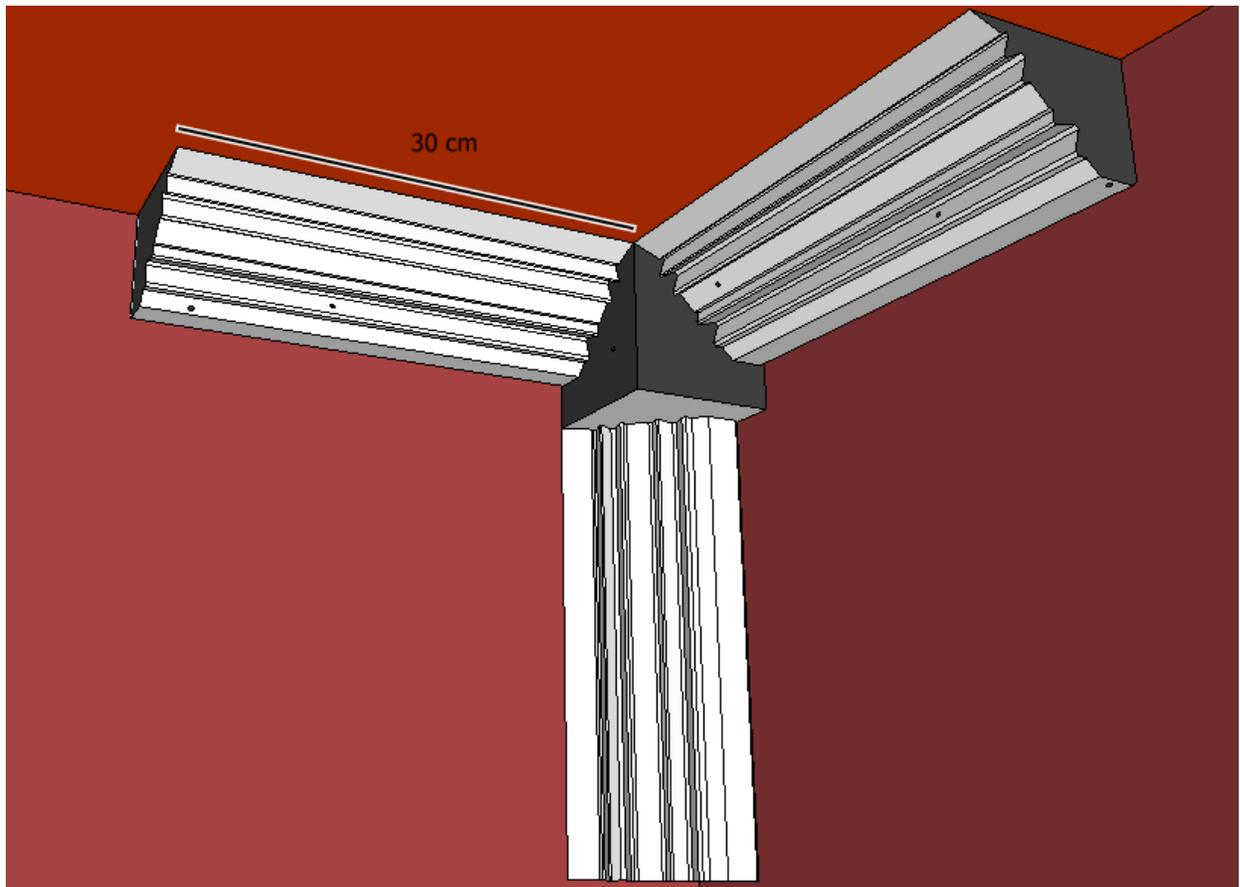


Figura 72. Trampa de bajo colocada en su sitio

Fuente. Elaboración propia

El cubo del centro del eje sera en madera y la forma de sujeción para éste sistema serán tornillo común en el cubo y pegante en silicona a las espumas. Se propone instalarlos sobre el muro y el techo, cortando esta proporción al material absorbente que recubrirá toda la pared y el techo.

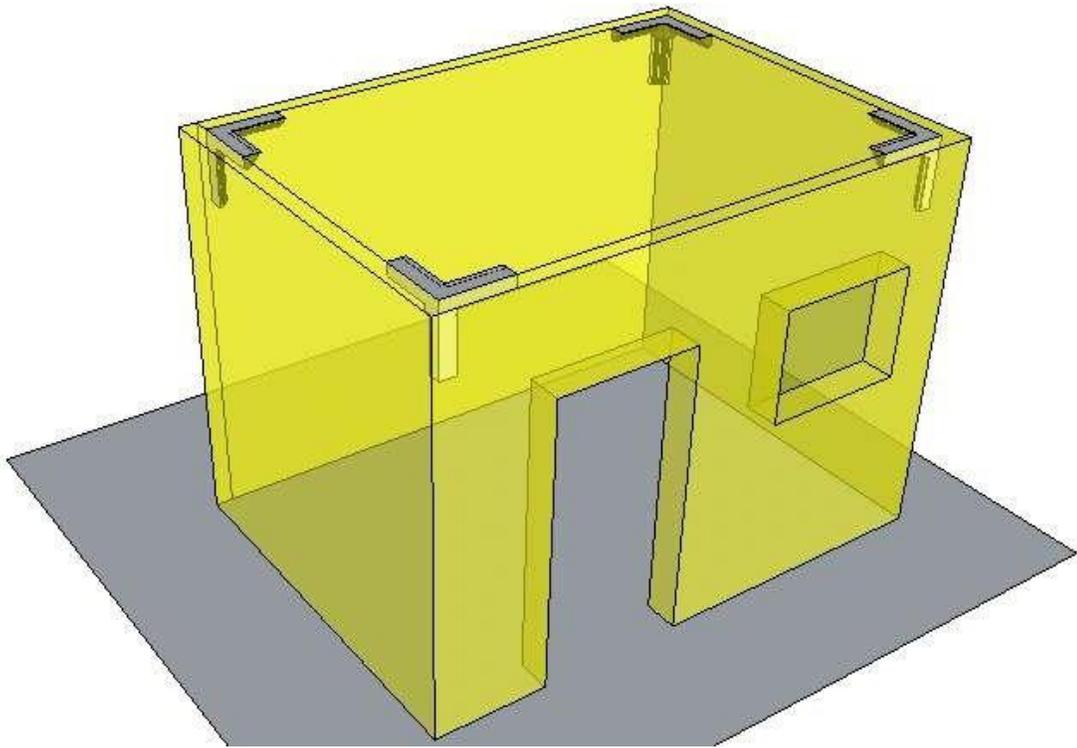


Figura 73. Ubicación de trampas de bajo

Fuente. Elaboración propia

En la suite de grabación se propone la instalación de éste sistema de trampas de bajos en las esquinas superiores. Las paredes estarán recubiertas por espuma acústica de 50 mm. Esta espuma la provee la empresa Ecustec, la espuma escogida es de tipo domos.



Figura 74. Espuma fonoabsorbente tipo domos

Fuente. ECUSTIC, s.f.

Esta espuma recubrirá la pared en su totalidad, dejando libre la puerta en vidrio, las trampas de bajos y la ventana doble que comunica visualmente con la mesa del control room.

6.3 Sistema Electroacústico

Se selecciona los siguientes equipos teniendo en cuenta un montaje electroacústica económico y confiable

INTERFACE DE AUDIO

Focusrite clarett pre 8 X



Figura 75. Interface de audio escogida

Fuente. Mercadolibre.com

Interface de audio de 8 canales preamplificados, su latencia es muy baja, sus conversión digital es muy buena y su ruido es extrabajo, se la encuentra en el mercado a un precio de US \$

1000 (*clarett8prex, s.f.*)

PREAMPLIFICADOR/ADAT

Focusrite clarett octo pre



Figura 76. Preamplificador de audio escogido

Fuente. Mercadolibre.com

8 preamplificadores de micrófono y 8 salidas analógicas de línea, es compatible con la interface que hemos elegido para extender la capacidad de esta, su precio en el mercado es

US\$804.99 (*clarett-octopre, s.f.*)

CONTROLADOR DE DAW

Avid Artist Mix



Figura 77. Controlador DAW escogido

Fuente. Mercadolibre.com

8 faders sensibles al tacto, su conexión es de alta velocidad, capacidad para manipular diferentes parámetros del plugins, es compatible con Mac OSX y Windows y con cualquier DAW , su precio es de \$999 Dólares. (*audioproduccion, s.f.*)

MONITORES

Tannoy Reveal 402



Figura 78. Monitores escogidos

Fuente. Mercadolibre.com

Monitores ideales para estudio, reproduce altas frecuencias de manera detallada, de igual forma su reproducción de frecuencias bajas es óptima, su precio es de \$750.000 (*REVEAL, s.f.*) (*reveal-402, s.f.*)

MIROFONOS

SHURE KIT DMK 57-52



Figura 79. Combo micrófonos dinámicos Shure

Fuente. Mercadolibre.com

Micrófonos dinámicos Shure, sm 57 ideales para grabar percusión, estándar para grabación de redoblante, el micrófono beta 52 utilizado para captura de frecuencias bajas como las que el bombo emite, el precio de este kit es de \$ 2.023.300 (*shure, s.f.*) (mercadolibre, s.f.)

MICROFONOS AKG C414



Figura 80. Micrófonos de condensador AKG

Fuente. Mercadolibre.com

Micrófonos de condensador bastantes sensibles, su cobertura en frecuencias va desde los 20hz hasta los 20000 hz, perfectos para grabación de voces y otros instrumentos su precio es de \$ 4.422.000 C/U (Microphones, s.f.) (mercadolibre, microfono-de-condensador, s.f.)

PREAMPLIFICADOR DE AUDIFONOS

Behringer Ha 8000 V2



Figura 81. Preamplificador de audífonos escogidos

Fuente. Mercadolibre.com

Preamplificador de audífonos de 8 secciones independientes que nos permite un monitoreo estéreo excelente, su precio es de \$560.000 (*mercadolibre, Behringer Ha 8000 V2 Amplificador De Audifonos , s.f.*)

AUDIOTECHNICA ATH-PACK5



Figura 82. Auriculares escogidos para monitoreo

Fuente. Mercadolibre.com

Auriculares serie M de audiotechnica, ofrecen una claridad bastante buena y un sonido profesional que permite detallar la mezcla de forma más precisa, su precio es de US\$299.00_(ATH-PACK5, s.f.)

6.4 Calculo Del Tiempo De Reverberación Rt60 Teniendo En Cuenta Los Materiales

Acústicos Propuestos.

Se retoma las medidas del lugar así:

Tabla 20.

Medidas del recinto

L1 (anchura)	3,65 m
L2 (profundidad)	2,08 m
L3 (altura)	2,47 m
Volumen=	18,75224 m cúbicos

Fuente. Elaboración propia

Se omiten algunas superficies como lo es la puerta doble en madera, puesto que ya se está calculando con superficies en madera como los paneles suspendidos del techo y el aglomerado de las paredes.

Tabla 21.

Coefficientes de absorción según los materiales seleccionados

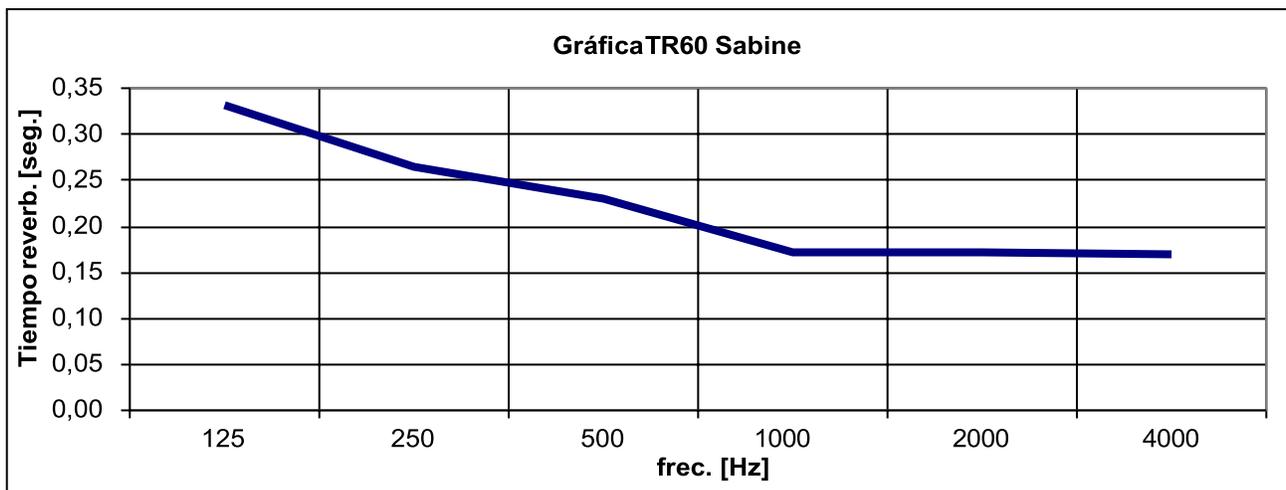
material	125	250	500	1000	2000	4000	m2
pared	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	10,64
Persona adulta	0,23	0,33	0,39	0,42	0,47	0,47	1
pared seraradora	0,61	0,65	0,24	0,12	0,1	0,06	9,38
silla	0,06	0,08	0,1	0,12	0,12	0,12	1
nuevo techo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	10,22
Drywall + fibra de vidrio	0,47	0,52	0,5	0,55	0,58	0,63	1,6
piso baldosa	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	10,64
Vidrio puerta y ventanas	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,64
panel fonoabsorbente	0,1	0,22	0,52	0,86	0,89	0,96	10
trampas de bajos	0,11	0,24	0,64	1,06	1,03	1	5
Absorción sala	0,133282353	0,167817647	0,193070588	0,257652941	0,258447059	0,262255882	68

Fuente. Elaboración propia

Tabla 22.**Nuevo tiempo de reverberación según Sabine**

	125	250	500	1000	2000	4000
TR60 SABINE	0,33	0,26	0,22	0,17	0,17	0,169

Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

Figura 83. Nueva gráfica del tiempo de reverberación según Sabine

El tiempo de reverberación a bajas frecuencias es muy difícil de controlar. Se debe tener especial atención en la elección de este tipo de materiales y en la creación de mecanismos de contención de estas frecuencias, como lo son las trampas de bajos.

Evidentemente el tiempo de reverberación resultante es menor, o sea el resultado del acondicionamiento acústico es favorable para el control de las reflexiones a bajas frecuencias.

La pared instalada en aglomerado de madera y paneles de fibra de vidrio provee al sistema un coeficiente de absorción alto en bajas frecuencias, de hecho es mucho mayor que las trampas de bajos.

7. Conclusiones

- Mediante la práctica se logró reforzar conocimientos acerca de algunos temas brindados en UNAD, así mismo se exploró un poco más en el campo de la acústica.
- Se logró establecer que el sitio escogido para el tratamiento acústico, presenta problemas de tiempo de reverberación y modos de resonancia
- Fue posible establecer que uno de los problemas más grandes que se presentan en el sitio es la contaminación auditiva que se genera, hacia las habitaciones y casas vecinas, esto gracias a la aplicación Sound Analyzer, que nos permitió medir el nivel de Db que estamos sacando del lugar.
- Se escogió materiales pertinentes para el debido aislamiento y acondicionamiento acústico.
- Se tomó como referencia criterios de diseño acústico para una mejor colocación de los materiales escogidos y así tener mejores resultados en los problemas presentados.
- El cálculo final de tiempo de reverberación, permitió evidenciar que los materiales actuaron de forma pertinente.
- Se logró bajar el tiempo de reverberación en las frecuencias donde se presentaba el problema, así como también una buena distribución modal.

8. Discusión

Al desarrollar éste proyecto, se evidenciaron los cambios que un lugar puede presentar antes y después de su respectivo aislamiento y acondicionamiento acústico, se pudo identificar que problemas predominan en la sala escogida, tales como tiempo alto de reverberación en varias frecuencias, mala distribución modal y altos Db que estaban afectando a la comunidad vecina, para esto se utilizaron técnicas que sirvieron como refuerzo cognoscitivo a lo brindado en la UNAD, se hicieron mediciones de ruido, empleando la aplicación Sound Analyzer, ya que no se contaba con un sonómetro profesional, para disminuir el margen de error se hicieron varias mediciones en un tiempo de 1:20 min, el cálculo del SPL sacado del estudio se lo hizo realizó utilizando hojas de Excel, de igual forma el cálculo de tiempo de reverberación y distribución modal se realizó a través de hojas de Excel disponibles en internet.

Con base a esto se llegó a la conclusión de lo necesario de colocar un techo que permita mayor aislamiento acústico, ya que la habitación cuenta con techo de eternit que es fon conductor; en este caso se opta por fundir plancha con bloquelón hueco y material aislante, se buscó profundizar en el tema de la acústica, en la clasificación y utilización de materiales a usar y en que diseño era pertinente dentro de nuestro estudio para tener una buena escucha y así nada pueda interferir en nuestras tareas dentro del estudio de producción de audio, se investiga y selecciona los diferentes elementos que pueden ir dentro del estudio, como espuma fonoabsorbente, resonadores de Helmholtz, paneles absorbentes, piso flotante, trampas de bajos y difusores, esto con el fin de disminuir el tiempo de reverberación dañino para la mezcla de audio, tanto en la sala de grabación y sala de control, así mismo se realizó una investigación rigurosa sobre diseño de estudios de grabación, para entender dónde y cómo colocar los elementos que se utilizaran en el tratamiento acústico, el diseño toma como base el modelo

Rettinger de paredes no paralelas y reflectantes, esto para evitar tener problemas de modos propios en las mismas frecuencias, y el principio CID de Walker con el fin de saber con más exactitud dónde ubicar los paneles absorbentes en la sala de control y así controlar las primeras reflexiones próximas al punto de escucha, por último se investigó el sistema electroacústico conveniente para el estudio con sus precios actuales.

La realización de ésta tesis de grado permitió un acercamiento más profundo al tema de acústica y sus fundamentos teóricos e instrumentales. Se evidencia un aprendizaje sobre éstos temas que son de vital importancia en el desarrollo profesional laboral futuro de un productor de audio.

Entender desde la física y sus explicaciones el comportamiento del sonido en un medio real, brinda conocimiento y técnicas integradoras que pueden ser usadas en todos los procesos creativos y de producción (captura de sonido, mezcla, y otros procesos involucrados en la producción de música y audio). Además de l refuerzo cognoscitivo logró la construcción del documento final evidenciando la co n creación entre estudiante y tutor, reforzando el aprendizaje autónomo del estudiante y brindando mayor capacidad de discernimiento y lógica a la hora de tomar decisiones.

Referencias Bibliográficas

- Alto, E., González, C., & Carranza, J. A. (junio de 2004). Aspectos evolutivos de la autorregulación emocional en la infancia. *Canales de psicología*, 20(1), 69-79.
- ATH-PACK5. (s.f.). Recuperado de <http://www.audio-technica.com/cms/headphones/bbfe706bdac56807/index.html>
- Audioproduccion. (s.f.). *Los 6 Mejores Controladores Para El DAW*. Recuperado de <https://www.audioproduccion.com/mejores-controladores-para-el-daw/>
- Áure ingeniería acústica . (s.f.). (*áure ingeniería acústica Pg. De gràcia 32, 3er 2ª 08007 BNC 934674637*)
- Bar-On, R. (2000). Emotional and social intelligence: insights from emotional quotient. En R. & Bar-On, *The handbook of emotional intelligence: theory, development, assesment and application at home, school and in the workplace*. San Francisco: Jossey-
- Beranek, L. (1969). *El sonido en los recintos*. 2da Ed. Bogotá: s.n.
- Beranek, L. (1986). *Libro Acústica de leo Beranek*. Capítulo IV. Bogotá: s.n.
- Bertoglia, L. (2005). Ansiedad y Rendimiento en asolescentes escolares. Una alternativa de acción. *Psicoperspectivas*, 4, 27-32.
- Bidondo, A. (2004). *Universidad de San Buenaventura*. Bogotá: s.n.
- Bruscia, K. (2013). *Musicoterapia: Métodos y prácticas*. México: Pax México.
- Caballero-Coronado, A. (2012). *Musicoterapia en Alumnos con necesidades educativas especiales en el aula de Educación Secundaria*. Argentina: UNIR.
- Carrión, I. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Bogotá: s.n.
- Casas, O., Betancur, C., y Montaña, J. (2015). Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su aplicación, 11 (1)

Clarett 8prex. (s.f.). Obtenido de Imagen 73 Interface de audio escogida

Clarett8prex. (s.f.). Recuperado de <https://global.focusrite.com/thunderbolt-audio-interfaces/clarett-8prex>

Cotto-Rivera, J. (2009). *El aprendizaje del cerebro y la educación preescolar Tesina sometida como Requisito para grado de Maestría*. s.l: Universidad Metropolitana.

Dalmau, J. (5 de 2015). *Homeostasis. Emociones y Sentimientos*. Recuperado el 15 de 6 de 2015, de Homeostasis. Emociones y Sentimientos: <http://www.amhb.org/wp-content/uploads/2015/05/HOMEOSTASIS-EMOCIONES-Y-SENTIMIENTOS-final.pdf>

Del Carmen Ospina-Ospina, F. (2011). Síntomas de ansiedad y depresión en adolescentes escolarizados de 10 a 17 años en Chía, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 13(6), 908-920.

Drywall. (s.f.). *expo fierros*. Recuperado de <http://fierros.com.co/guia/category/drywall>

Fernández, P., & Extremera, N. (2005). La inteligencia Emocional y la educación de las emociones desde el Modelo de Mayer y Solovey. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19(3), 63-93.

FSMCV. (12 de Enero de 2012). *Musica y Danza Docentenotas*. Recuperado el 2014, de Musica y Danza Docentenotas. Recuperado de: <http://www.docenotas.com/10677/una-tesis-doctoral-concluye-que-la-musica-es-una-eficaz-herramienta-contra-el-fracaso-escolar/>

Gaeta, M. L., & Martín, P. (2009). Estrés y adolescencia: Estrategias de afrontamiento y autoregulación en el contexto escolar. *Revista de Humanidades*, 15, 327-344.

García, J. F., Frias, D., & Llobell, J. P. (1999). Potencia Estadística del Diseño de Solomon. *Psicothema*, 11(2), 431-436.

Gaskell, W. H. (1916). *The involuntary nervous system*. Londres: Longmans Green.

- Goleman, D. (1995). *Inteligencia Emocional*. Madrid: Vergara.
- Gutierrez, P., Ibáñez, P., & Prieto, S. (2012). Yo quiero ser Marifé de Triana. Experiencia para el desarrollo de la Inteligencia Emocional a través de la Musicoterapia. *Tejuelo*(13), 24-46.
- Heaton ND, G. J. (1988). The enteric nervous system: structure and pathology. En B. R, *Autonomic failure. A textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system* (págs. 238-263). Oxford: Oxford Medical Publisher.
- Heaton, N. D., Garrett, J. R., & Howard, E. R. (1988). The enteric nervous system: structure and pathology. En B. R, *Autonomic failure. A textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system* (págs. 238-263). Oxford: Oxford Medical Publisher.
- Humphrey , T., & Lauer, E. W. (1962). *Correlative anatomy of the nervoussystem*. New York: MacMillan Co.
- Inerco Acústica. (s.f.). Catálogo de servicios Inerco Acústica. s.l: s.n.
- Langley, J. N. (1921). *The autonomic nervous system*. Cambridge: W Heffer & Sons.
- Llinás, R. (2003). *El Cerebro y el Mito del Yo: el papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos*. Bogotá: Norma.
- Manual de aislamiento acústico. (2015). Nociones básicas de acústica. Madrid: Editorial Composan.
- Manual con la colaboración . (Noviembre 2008). *Asociación nacional de transformadores de acero a.c. / comisión nacional de vivienda/colegio nacional de educación profesional técnica/secretaría de educación pública/instituto mexiquense de la vivienda social*. Mexico: s.n.
- Maté, M. D., González, S. L., & Trigueros , M. (22 de Noviembre de 2010). *La deseabilidad social*. OCW Universidad de Cantabria Web site. Recuperado el 4 de Julio de 2015, de La deseabilidad social. OCW Universidad de Cantabria Web site:

http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/ciencias-psicosociales- i/materiales/bloque-i/tema-4.-las-actitudes/4.6.3.6-la-deseabilidad-social/skinless_view

Mayer, J. D., Salovey, P., & Caruso, D. (2000). Models of emotional intelligence. En R. J. Sternberg, *Handbook of Human intelligence* (págs. 396-420). New York: Cambridge University Press.

Mercadolibre. (s.f.). *Behringer Ha 8000 V2 Amplificador De Audifonos* . Recuperado de https://articulo.mercadolibre.com.co /MCO-453510005-behringer- ha-8000-v2-amplificador-de-audifonos-_JM

Mercadolibre. (s.f.). *Kit De Shure Dmk Tambor Micrófono*. Recuperado de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452200553-kit-de-shure-dmk-tambor-microfono-_JM

Mercadolibre. (s.f.). *Microfono-de-condensador*. Recuperado de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-453459484-akg-pro-audio-c414-xlii-microfono-de-condensador-vocal-mul-_JM

Miyara, F. (2004). *Acústica y sistemas de sonido: acústica arquitectónica*. Argentina: UNR editora. Microphones. (s.f.). Recuperado de

https://www.ake.com/Microphones/Condenser%20Microphones/C414+XLII.html?dwvar_C414%20XLII_color=Black#start=1

Moya, M. (s.f.). *Efecto de la Musicoterapia sobre el proceso lector y la comprensión lectotra en un grupo de niños de segundo de primaria pertenecientes al IED Juan Evangelista Gómez, de la Ciudad de Bogotá*. Bogotá: s.n.

Navarro, X. (2002). Fisiología del sistema nervioso autónomo. *Revista de Neurología*, 35(6), 553-562.

Oficina asesora del Planeación – Grupo de análisis y estadística. (2013). *Censo C-600 año 2013*.

Recuperado el 12 de 06 de 2014, de Censo C-600 año 2013:

[http://www.educacionbogota.edu.co/archivos/SECTOR_EDUCATIVO/ESTADISTICAS
_EDUCATIVAS/2014/Loc10_Engativa_2013.pdf](http://www.educacionbogota.edu.co/archivos/SECTOR_EDUCATIVO/ESTADISTICAS_EDUCATIVAS/2014/Loc10_Engativa_2013.pdf)

Retana-Franco, B. E., & Sánchez Aragón, R. (2010). Rastreado en el pasado... formas de regular la felicidad, la tristeza, el amor, el enojo y el miedo. *Universitas Psychologica*, 9(1), 179-197.

Rettinger. (s.f.). *Acondicionamiento Acústico en la Sala de Control*.

REVEAL. (s.f.). *REVEAL 402*. Recuperado de [http://www.music-](http://www.music-group.com/Categories/Tannoy/Loudspeaker-Systems/Studio-Monitors/REVEAL-402/p/P0C46)

[group.com/Categories/Tannoy/Loudspeaker-Systems/Studio-Monitors/REVEAL-
402/p/P0C46](http://www.music-group.com/Categories/Tannoy/Loudspeaker-Systems/Studio-Monitors/REVEAL-402/p/P0C46)

Reveal-402. (s.f.). *Listado.mercadolibre.com.co*. Recuperado de

[https://listado.mercadolibre.com.co/reveal-402#D\[A:reveal-402](https://listado.mercadolibre.com.co/reveal-402#D[A:reveal-402)

Reyes, M. d., & Huerta, R. (2011). *Tesis Doctoral El rendimiento académico de los alumnos de primaria que cursan estudios artístico-musicales en la colmunidad valenciana*. Valencia: Universidad de Valencia.

Reynolds, C., & Richmond, B. (1997). *Escala de ansiedad manifiesta en niños (revisada)*.

México: Manual Moderno.

Rodríguez, L. M., Russian , G. C., & Moreno, J. E. (2011). II Reunión Nacional de

Investigadoras/es en Juventudes de Argentina, El conocimiento Situado y la

Investigación en el Area Jóvernes/Juventud. *Satisfacción de sí mismo, autorregulación emocional y prosocialidad en Adolescentes*. Paraná: Universidad Católica de Argentina.

Rufa, F. (2004). *Ing. Electromecánico*. Argentina: ing. Investigador de la acústica.

Rufa, F., & Bidondo, a. (s.f.). *Universidad de San Buebventura*. Bogotá: s.n.

- Schapira, D., Ferrari, K., & Sánchez, V. (2007). *Musicoterapia abordaje plurimodal*. Argentina: Adim Ediciones.
- Shure. (s.f.). *DMK57-52*. Recuperado de <https://es.shure.com/productos/microfonos/sm/juego-de-microfonos-para-bateria-dmk57-52>
- Subwoofer-builder. (27 de 2 de 2018). *QRDude*. Recuperado de <http://www.subwoofer-builder.com/qrdude.htm>
- Suplemento de la revista. (2009). Estudio de materiales absorbentes del sonido en cajas acústicas. *. latinoamericana de metalurgia y materiales*, S1 (3) 1135-1142.
- Universidad de Murcia. (27 de Julio de 2007). *Departamento de Anatomía Humana y Psicobiología*. Recuperado el 2014, de Departamento de Anatomía Humana y Psicobiología: <http://www.um.es/web/anatomia/contenido>
- Ursa. (22 de 2 de 2018). *Aislamiento para un mañana mejor*. Recuperado de www.ursa.es/es-es/descargas/programas-de-calculo/paginas/calculo-aislamiento-acustico.aspx
- Vázquez Rosado, M. (s.f.). *Metodología de diseño de estudios de grabación y aplicación a caso práctico*. Madrid: Universidad politécnica de Madrid.
- Velasco, J., Fernández de Molina, A., & Pérez, D. (1989). Suprarhinal cortex response to electrical stimulation of the lateral amígdala nucleus in the rat. *Experimental Brain Research*(74), 168-172.

ANEXOS

Anexo 1. Cotización 1 de materiales absorbentes por empresa ECUSTIC

Espumas fonoabsorbentes de poliuretano

Cuando hablamos de la acústica en recintos utilizados para el habla, normalmente nos referimos al control del tiempo de reverberación (eco) presente dentro de este y el índice de inteligibilidad de la palabra.

Con la aplicación de las espumas fonoabsorbentes se logra optimizar el tiempo de reverberación, reduciéndolo y aumentando el índice de inteligibilidad de la palabra.

VENTAJAS

- Acabado estético para situaciones en que sea necesario dejarlas a la vista.
- Presentación en diferentes colores (No pintadas) que no disminuyen su rendimiento acústico.
- Retardante a la propagación del fuego.
- Rendimiento acústico del 45 - 70 % (Varía con su espesor).

Coefficientes de absorción sonora en espesor de 35 mm.

Coefficientes de absorción sonora en espesor de 50 mm.

AK 15 #82-08 Of.404
Tel: (+57) 2380614 / 3006579086
Bogotá D.C.
www.ecustic.co

<p>Pirámides</p>	<p>Dimensiones: Espesor: 35 mm. Largo x Ancho: 0.95m x 0.95m \$76.113.00 0.60m x 0.60m \$30.468.00 0.50m x 0.50m \$22.568.00</p>	*Precios con Iva
<p>Domos</p>	<p>Dimensiones: Espesor: 45 mm. Largo x Ancho: 0.60m x 0.60m \$41.692.00</p>	*Precios con Iva
<p>Dados</p>	<p>Dimensiones: Espesor: 42 mm. Largo x Ancho: 1.00m x 1.00m \$74.613.00 0.60m x 0.60m \$25.918.00</p>	*Precios con Iva
<p>Ranuras</p>	<p>Dimensiones: Espesor: 35 mm. Largo x Ancho: 0.60m x 0.58m \$31.481.00</p>	*Precios con Iva
<p>Cabin</p>	<p>*Sin borde recedido</p> <p>Dimensiones: Espesor: 35 mm. Largo x Ancho: 1.00m x 1.00m \$49.472.00 0.60m x 0.60m \$17.017.00</p>	*Precios con Iva
<p>Waves</p>	<p>*Con borde recedido</p> <p>Dimensiones: Espesor: 35 mm. 1.00m x 1.00m \$56.287.00 0.60m x 0.60m \$19.365.00 0.50m x 0.50m \$17.148.00</p>	*Precios con Iva

Anexo 2. Cotización 2 de materiales absorbentes por empresa ECUSTIC

Proyectos de acondicionamiento con espumas acústicas



Ref: Dadas
Call center - Centro Diesel



Ref: Tablet
Call center - On Vacation



Ref: waves con borde recadido + Soundifier Q2
Home studio.



AK 15 #82-08 01.404
Tel: (+57) 2380614 / 3006579086
Bogotá D.C.
www.ecustic.co



Chess

Dimensiones:

Espesor: 65 mm.
Largo x Ancho:
0.58m x 0.58m..... \$76.113.00
Espesor: 45 mm.
0.58m x 0.58m..... \$48.106.00

*Precios con Iva



DST

Dimensiones:

Espesor: 45 mm.
Largo x Ancho:
0.50m x 0.50m..... \$41.692.00

*Precios con Iva



Tablet

Dimensiones:

Espesor: 45 mm.
Largo x Ancho:
1.00m x 1.00m..... \$78.540.00
0.60m x 0.60m..... \$36.325.00

*Precios con Iva



Slots

Dimensiones:

Espesor: 65 mm.
Largo x Ancho:
0.58m x 0.58m..... \$64.796.00
Espesor: 45 mm.
0.58m x 0.58m..... \$48.106.00

*Precios con Iva



Flat

Dimensiones:

Espesor: 50 mm.
Largo x Ancho:
1.00m x 1.00m..... \$78.540.00
0.60m x 0.60m..... \$34.034.00

*Precios con Iva



Blinds

Dimensiones:

Espesor: 45 mm.
Largo x Ancho:
1.00m x 1.00m..... \$78.540.00
0.60m x 0.60m..... \$36.325.00

*Precios con Iva

Anexo 3. Cotización 3 de materiales absorbentes por empresa ECUSTIC

Proyectos de acondicionamiento con espumas acústicas



Home Studio



Oficina Ecustic

Para cantidades mayores a 200 m² puedes encontrar nuestras referencias en color:

- Azul
- Verde
- Tabaco
- Rojo



AK 15 #82-08 Of.404
Tel: (+57) 2380614 / 3006579086
Bogotá D.C.
www.ecustic.co



Dimensiones:

Espesor: 45 mm.

Largo x Ancho:

1.00m x 1.00m..... \$78.540.00

0.60m x 0.60m..... \$36.325.00

*Precios con Iva



Marco en madera de 20mm de espesor en color negro semimate.

Dimensiones espuma:

Espesor: 42 mm.

Largo x Ancho:

0.50m x 0.50m..... \$76.113.00

*Precios con Iva



Dimensiones:

Altura: 0.60m.

Largo x Ancho:

0.15m x 0.15m..... \$22.908.00

*Precios con Iva



Dimensiones:

Altura: 0.60m.

Largo x Ancho:

0.15m x 0.15m..... \$22.908.00

*Precios con Iva



Dimensiones:

Altura: 0.60m.

Largo x Ancho:

0.15m x 0.15m..... \$22.908.00

*Precios con Iva



Pegante a base de agua inoloro:

1 kg por cada 4m² de espumas .. \$48.493.00

*Precios con Iva

Anexo 4. Medición de ruido ambiental incidente en el estudio



Anexo 5. Medición de ruido procedente del estudio



Anexo 6. Medición del ruido en una casa vecina



Anexo. 7 Tiempo de reverberación con materiales considerados para el acondicionamiento acústico



a àurea
ingeniería acústica

Asesoría acústica - ingeniería acústica
Pg. 06 planta 02, 04, 05, 10007, 10018, 10147, 10157

Tiempo de reverberación según Sabine:

Información de entrada: Introducir las dimensiones de la sala y elegir el material con los correspondientes metros cuadrados.

L1 (anchura)	3,85	m
L2 (profundidad)	2,08	m
L3 (altura)	2,47	m
Volumen*	18,75224	m3

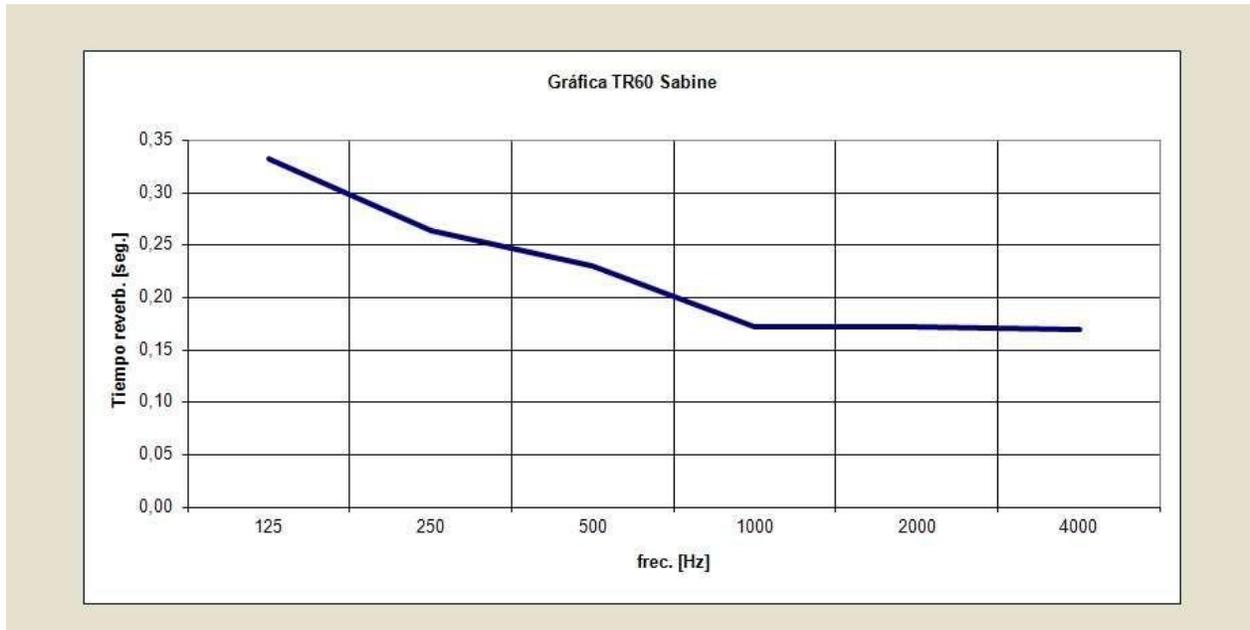
$$TR_{60} \text{ SABINE} = 0,161 \frac{V}{S \cdot \alpha}$$

Identificación superficie	Material	125	250	500	1000	2000	4000	α
S1	Pared de Ladrillo, pintada	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	10,64
S2	Persona adulta	0,23	0,33	0,29	0,42	0,47	0,47	1
S3	Madera de 0,3cm con 5cm de cámara rellena de fibra de vidrio	0,61	0,65	0,24	0,12	0,10	0,06	9,39
S4	Butaca de madera con asiento tapizado	0,06	0,06	0,10	0,12	0,12	0,12	1
S5	Hormigón enfucido con cemento	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	10,22
S6	Panel de fibra de madera	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63	1,8
S7	Parquet 2cm puesto sobre asfalto	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	10,64
S8	Vidrio de Láminas de 0,3 a 0,5 cm de espesor	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,64
S9	panel fonoabsorbente	0,10	0,22	0,52	0,96	0,89	0,96	18
S10	franja de baja unidad	0,11	0,24	0,64	1,06	1,03	1,00	5
Total	Absorción global por bandas de la sala	0,13	0,17	0,19	0,26	0,26	0,26	69

Suelo	7,592	m2
Techo	7,592	m2
lateral L	5,1376	m2
lateral R	5,1376	m2
anterior	9,0155	m2
posterior	9,0155	m2
Total	43,4902	m2

TR60 SABINE	125	250	500	1000	2000	4000
	0,33	0,26	0,21	0,17	0,17	0,17

Anexo 8. Gráfica del tiempo de reverberación con materiales acústicos



Anexo 12. Cálculo de ruido emitido por el recinto en la tarde posición 1,2 y 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	CALCULO DE RUIDO EMITIDO POR EL RECINTO											
2	NIVEL SONORO CONTINUO EQUIVALENTE											
3	Nos indica un periodo de energía ponderada en un periodo de medición de un dato cada 5 segundos durante 1.30 minutos por cada posición. Total de 20 datos por											
4	LEQ											
5	(TARDE)											
6												
7	posición No1				posición No2				posición No3			
8												
9	SPL			SPL			SPL					
10	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	61	6,1	1258925,41
11	61	6,1	1258925,412	60	6	1000000	60	6	1000000	61	6,1	1258925,41
12	62	6,2	1584893,192	60	6	1000000	60	6	1000000	62	6,2	1584893,19
13	60	6	1000000	61	6,1	1258925,41	60	6	1000000	60	6	1000000
14	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	61	6,1	1258925,41
15	60	6	1000000	59	5,9	794328,235	60	6	1000000	62	6,2	1584893,19
16	65	6,5	3162277,66	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000
17	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000
18	56	5,6	398107,1706	62	6,2	1584893,19	62	6,2	1584893,19	62	6,2	1584893,19
19	60	6	1000000	63	6,3	1995262,31	60	6	1000000	60	6	1000000
20	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	59	5,9	794328,235
21	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	59	5,9	794328,235
22	62	6,2	1584893,192	58	5,8	630957,344	58	5,8	630957,344	58	5,8	630957,344
23	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000
24	62	6,2	1584893,192	61	6,1	1258925,41	60	6	1000000	60	6	1000000
25	60	6	1000000	61	6,1	1258925,41	63	6,3	1995262,31	63	6,3	1995262,31
26	62	6,2	1584893,192	62	6,2	1584893,19	62	6,2	1584893,19	62	6,2	1584893,19
27	60	6	1000000	60	6	1000000	62	6,2	1584893,19	62	6,2	1584893,19
28	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000	60	6	1000000
29	63	6,3	1995262,315LEQ 1 (tarde)	59	5,9	794328,235LEQ 2 (tarde)	66	6,6	3981071,711	66	6,6	3981071,711
30	5,054106667		1257707,266	60,995796	5,025		92239,3281	49,653867	5,075		112071,625	
31	promedio lecturas											
32	MODA	60			MODA	60			MODA	60		
33	MEDIANA	60			MEDIANA	60			MEDIANA	60,5		
34	DES. ESTANDAR	1,755442664			DES. ESTANDAR	1,12857619			DES. ESTANDAR	1,744163199		
35												
36	muestras	20										
37												
38	PROMEDIO LEQ TARDE			Lden								
39	60,995796			52,9265938								
40	50											
41	50,494957											
42	53,818046											
43	55,11018											
44	51,08551											
45	45,780137											
46	49,930925											
47	52,10992725											
48												
49												
50	57,10992725 5 dB de incremento											

