

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO ACÚSTICO Y EQUIPAMIENTO
DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO AFV RECORDS
PARA PRODUCCIONES FOLCLÓRICAS COLOMBIANAS

ANDREA CAROLINA LÓPEZ PACHÓN

CAROLINA CARRILLO CASTRO

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ

2007

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO ACÚSTICO Y EQUIPAMIENTO
DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO AFV RECORDS
PARA PRODUCCIONES FOLCLÓRICAS COLOMBIANAS

ANDREA CAROLINA LÓPEZ PACHÓN
CAROLINA CARRILLO CASTRO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO DE SONIDO

ASESOR, TEMÁTICO
Ing. ABELARDO ALVAREZ MONCADA
ASESOR METODOLOGICO
MANUEL JOVES

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ

2007

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

BOGOTÁ, OCTUBRE DE 2007

DEDICATORIA

A 'Dios' nuestro señor por iluminar mi camino todos los días de mi vida, a mis padres y hermanos que han sido mi apoyo en todos estos años de estudio, al Ing. Uriel Montano que ha sido como mi segundo padre en todo momento, a mis abuelitas Mery y Dominga, a Jairo una de las personas más especial de mi vida por acompañarme y apoyarme en todo momento, a mi padrino y su angelito que está en el cielo.

Carolina López

A mi hermanita que ha sido la persona que me ha apoyado en todo momento, a mis papitos que siempre están conmigo, a mi hermanito que es la fuerza de mi vida, a mis amigas que son el motor de mi vida, a mis amigos de la u: Guz, Jhonsito, Carito que han estado hasta el final conmigo, a mi familia que me apoya incondicionalmente siempre y a Dios.

Carolina Carrillo

AGRADECIMIENTOS

*A nuestros Tutores de tesis Abelardo Álvarez, Manuel Joves y Olga Lucía.
A nuestros compañeros de Universidad John Álvarez, Antonio Sandoval, Alejandro Schroeder y Gustavo Lozano.*

CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.1	ANTECEDENTES.....	21
1.2	DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3	JUSTIFICACIÓN	24
1.4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	25
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
1.5	ALCANCES Y LIMITACIONES	26
1.5.1	ALCANCES.....	26
1.5.2	LIMITACIONES	26
2	MARCO DE REFERENCIA	27
2.1	MARCO CONCEPTUAL.....	27
2.1.1	Estudio de Grabación	27
2.1.1.1	Características de un Control Room	28
2.1.1.2	Características de la Sala de Grabación	29
2.1.2	Acústica	30
2.1.3	Acústica Arquitectónica.....	30
2.1.4	Acondicionamiento Acústico.....	31
2.1.5	Aislamiento.....	31
2.1.6	Simulación.....	33
2.1.6.1	Simulación por Software	34
2.1.6.2	Simulación física (Modelo a escala).....	35
2.1.7	Equipamiento de Grabación	36
2.2	MARCO LEGAL O NORMATIVO	38
2.2.1	ISO 3382 (The International Organization for Standardization).....	38
2.2.2	ITU EBU (The International Telecommunication Union (ITU) and the European Broadcasting Union (EBU)).....	38
2.2.3	Recomendaciones ITU EBU.....	40
2.2.4	DE NORMA IRAM 4063-4 (ISO 140-4: 1998). Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.....	41
2.3	MARCO TEÓRICO	42
2.3.1	Parámetros de Diseño.....	42
2.3.1.1	Acústica de un Estudio de grabación.....	42
2.3.1.1.1	Geometría de un Cuarto.....	42
2.3.1.1.1.1	Modos Propios de un Cuarto.....	42
2.3.1.1.1.2	Distribución de Modos	44
2.3.1.1.1.3	Radios Óptimos	46
2.3.1.2	Criterios de diseño	51
2.3.1.2.1	Criterio de Putman (1960).....	51
2.3.1.2.2	Criterio de Edgar J. Véale (1973).....	51
2.3.1.2.3	Criterio de Rettinger (1977).....	52

2.3.1.2.4	Criterio LEDE (Davis 1981).....	53
2.3.1.2.5	Criterio RFZ D'Antonio (1984).....	55
2.3.1.3	Altavoces.....	56
2.3.1.3.1	Posición Estéreo.....	56
2.3.1.3.2	Altura e Inclinación de los altavoces.....	58
2.3.1.4	Finalización del Diseñó.....	59
2.3.1.4.1	Absorción.....	59
2.3.1.4.1.1	Materiales.....	59
2.3.1.4.1.2	Resonadores.....	63
2.3.1.4.1.3	Difusión.....	69
2.3.1.5	Parámetros de Diseñó.....	71
2.3.1.5.1	Variables Acústicas.....	71
2.3.1.5.1.2	Respuesta al Impulso.....	71
2.3.1.5.1.3	Nivel de Presión Sonora.....	72
2.3.1.5.1.4	Tiempo de Reverberación.....	72
2.3.1.5.1.5	EDT (Early Delay Time).....	74
2.3.1.5.1.6	ITDG (Initial Time Delay Gap).....	75
2.3.1.5.1.7	Claridad (C80) dB.....	75
2.3.1.5.1.8	Definición (D50).....	75
2.3.2	Mediciones.....	76
2.3.2.1	Medición de variables acústicas.....	76
2.3.2.1.1	Condiciones de Medición.....	76
2.3.2.1.2	Posición de Medición.....	77
2.3.2.1.3	Procedimiento de Medición.....	78
2.3.2.2	Medición para aislamiento del ruido aéreo entre recintos “in situ”.....	80
2.3.3	Aislamiento del Sonido Transmitido por Aire.....	81
2.3.3.1	Aislamiento de paredes simples.....	82
2.3.3.2	Ley de Masa y de frecuencia (Ley de Berger).....	83
2.3.3.3	Aislamiento real de paredes simples.....	83
2.3.3.4	Aislamiento Paredes múltiples.....	85
2.3.4	Criterios de Ruido.....	89
2.3.4.1	Criterio NC (Noise criteria).....	90
2.3.4.2	Curvas PNC (Preferred Noise Criteria – Bolt; Beranek y Newman).	91
2.3.4.3	Curvas NR (Noise Rating).	92
2.3.4.4	Curvas RC (Room criteria).....	93
2.3.5	Equipos para un Sistema de Grabación de un Control Room.....	94
2.3.5.1	Transductores de entrada.....	94
2.3.5.1.1	Micrófono.....	95
2.3.5.2	Transductores de Salida.....	99
2.3.5.2.1	Amplificador.....	99
2.3.5.2.2	Monitores y Audífonos.....	101
2.3.5.3	Ecualizadores.....	101
2.3.5.4	Procesadores Dinámicos.....	102
2.3.5.4.1	Compresores y Limitadores.....	102
2.3.5.5	Consola.....	102
2.3.5.6	Patch-Bay.....	103

2.3.5.6.1	Paralelo	103
2.3.5.6.2	Normalizado Parcial	104
2.3.5.6.3	Normalizado.....	104
2.3.5.6.4	Abierto	105
3	METODOLOGÍA.....	106
3.1	Enfoque de la Investigación	106
3.2	Línea de Investigación de USB / SUB – Línea de Facultad/ Campo Temático del Programa. 106	
3.3	Técnicas de recolección de información.....	107
3.4	HIPÓTESIS.....	110
3.5	VARIABLES.....	110
3.5.1	VARIABLES INDEPENDIENTES	110
3.5.2	VARIABLES DEPENDIENTES	110
4	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	111
4.1	Presentación de resultados de Medición conforme a la norma ISO 3382:1997 ..	111
4.1.1	Presentación de las variables acústicas de las mediciones.....	117
4.1.1.1	Control room	117
4.1.1.2	Sala 1 de grabación	119
4.1.1.3	Sala de Percusión	121
4.2	Medición Aislamiento.	123
4.2.1	Aislamiento Control Room y Aislamiento requerido según criterio NC 20 establecido para salas de grabación.....	127
4.2.2	Aislamiento sala de Grabación y Aislamiento requerido según criterio NC 20 establecido para salas de grabación.....	134
4.2.3	Aislamiento sala de grabación para percusión y Aislamiento requerido según criterio NC 20 establecido para salas de grabación.....	138
4.3	Diseño y Simulación del Estudio de Grabación AFV Records.....	143
4.3.1	Control room	143
4.3.1.1	Geometría.....	143
4.3.1.2	Ubicación de los Monitores y Receptor	145
4.3.1.3	Ángulo de Inclinación de las paredes	146
4.3.1.4	Resultados de las Predicciones de las Características Acústicas del Control Room.....	147
4.3.2	Sala de Grabación.....	152
4.3.2.1	Geometría Sala de grabación.....	152
4.3.2.2	Ángulo de Inclinación Paredes.....	153
4.3.2.3	Resultados de las Predicciones de las características Acústicas de la Sala de grabación.	154
4.3.3	Sala de Percusión	157
4.3.3.1	Geometría Sala de percusión.....	157
4.3.3.2	Ángulo de Inclinación Paredes.....	158
4.3.3.3	Resultados de las Predicciones de las características Acústicas de la Sala de percusión.....	158
4.4	Distribución de materiales Acústicos.....	161
4.5	AISLAMIENTO PROPUESTO MIXTO	164
4.5.1	Propuesta de aislamiento requerido para cada pared	164

4.5.1.1	Aislamiento Control Room	165
4.5.1.2	Aislamiento Sala de Grabación	169
4.5.1.3	Sala de grabación Percusión.....	172
4.6	Equipamiento de grabación	177
4.7	Presupuestos.....	182
5	DESARROLLO INGENIERIL.....	184
5.1	Comportamiento acústico del recinto actual	184
5.1.1	Procedimiento de Medición del Estudio.....	188
5.1.2	Medición Aislamiento	188
5.2	Diseño del Estudio de Grabación	193
5.2.1	Diseño Control room.....	194
5.2.1.1	Geometría del control room	194
5.2.1.1.1	Modos Normales de Resonancia	194
5.2.1.1.2	Volumen del Control room.....	194
5.2.1.1.3	Dimensiones del Control room	195
5.2.1.1.4	Forma geométrica del control del Control room.....	197
5.2.1.1.5	Ubicación y distancia de los Monitores y del Ingeniero	199
5.2.1.1.6	Inclinación Paredes	201
5.2.2	Diseño Sala de Grabación y Cabina	204
5.2.2.1	Geometría Sala de Grabación y Cabina.....	204
5.2.2.1.1	Volumen y forma sala de Grabación y Cabina.....	204
5.2.3	Acondicionamiento Acústico.....	206
5.2.3.1	Acondicionamiento Control Room	206
5.2.3.1.1	Tiempo de Reverberación para el control room.....	206
5.2.3.1.2	Aplicación de materiales dentro del Control room.....	207
5.2.3.1.3	Resonador.....	209
5.2.3.1.4	Montaje de la Lana Mineral	210
5.2.3.1.5	Diseño del Difusor	210
5.2.3.2	Acondicionamiento acústico de las Salas de Grabación	212
5.2.3.2.1	Tiempo de Reverberación Salas de Grabación	213
5.2.3.2.2	Aplicación de Materiales Salas de Grabación.....	214
5.3	Propuesta de aislamiento requerido para cada pared	215
5.3.1	Aislamiento Acústico mixto	216
5.3.2	Cálculo del aislamiento de muros dobles.....	217
5.3.3	Aislamiento Propuesto Control Room	219
5.3.4	Aislamiento Sala de Grabación.....	223
5.3.5	Sala de grabación Percusión.....	227
5.3.4	Ventanas.....	231
5.3.5	Puertas.....	232
5.3.6	Pared Doble	235
5.4	Simulación del diseño	235
5.4.1	Parámetros de Configuración de la Simulación.	235
	CONCLUSIONES.....	240
	RECOMENDACIONES	241
	BIBLIOGRAFÍA.....	242

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aislamiento	32
Figura 2. Tabiques con diferente espesor	32
Figura 3. Limites de tolerancia para los tiempos de reverberación relativos al valor del promedio T_m	40
Figura 4. Gráfico de Bolt	47
Figura 5. Diseño del techo, Rettinger	52
Figura 6. Zonas Criterio LEDE	55
Figura 7. Distancia entre monitores y posición del Ingeniero	57
Figura 8. Ubicación de los oyentes según Franssen	58
Figura 9. Diagrama de materiales acústicos	61
Figura 10. Amortiguador de raja	65
Figura 11. Principio de un amortiguador de raja con cuello cilíndrico	65
Figura 12. Ángulo de incidencia	67
Figura 13. Resonador de $\frac{1}{4} \lambda$	69
Figura 14. Curva de Koch	70
Figura 15. Transmisión vía aérea y estructural	82
Figura 16. Aislamiento de paredes simples	85
Figura 17. Tipos de Paredes (Simple, Doble con cavidad de aire, doble rellena de lana de vidrio)	89
Figura 18. Curva criterio NC	91
Figura 19. Curvas de criterio PNC	92
Figura 20. Curvas RC (Room Criteria - 1957)	94
Figura 21. a) Cardioide, b) Supercardioide, c) Hipercardioide. www.lexon.net	95
Figura 22. Omnidireccional. www.lexon.net	96
Figura 23. Bidireccional o figura de 8. www.videocomputer.com	96
Figura 24. Micrófono dinámico	97
Figura 25. Micrófono condensador	97
Figura 26. Micrófono de carbón	98
Figura 27. Curva de respuesta en frecuencia del micrófono de carbón	99
Figura 28. Transductor de Salida	99
Figura 29. Modo paralelo	104
Figura 30. Modo parcialmente Normalizado	104
Figura 31. Modo Normalizado	105
Figura 32. Modo Abierto	105
Figura 33. Patrón Polar Omnidireccional	115
Figura 34. Respuesta en frecuencia ECM800	116
Figura 35. Patrón Polar ECM8000	116
Figura 36. EDT y RT Control room	117
Figura 37. C80 Control room Actual	118
Figura 38. D50 Control room Actual	118
Figura 39. EDT y RT Sala 1	119
Figura 40. C80 Sala 1 actual	120
Figura 41. D50 Sala 1 actual	120
Figura 42. EDT y RT actual Sala 2 de percusión	121
Figura 43. C80 actual Sala Percusión	121
Figura 44. D50 Sala de percusión	122

Figura 45. Posición de la fuente y micrófonos para Control Room	125
Figura 46. Posición de la fuente y micrófonos para sala de grabación.....	126
Figura 47. Posición de la fuente y micrófonos para sala de grabación para percusión ..	126
Figura 48. NC 20 Estudio de grabación	128
Figura 49. Aislamiento del control Room medido de la pared trasera y valor de aislamiento requerido	130
Figura 50. Figura Aislamiento del control Room medido de la pared frontal y valor de aislamiento requerido	131
Figura 51. Aislamiento del control Room medido de la pared derecha y valor de aislamiento requerido	132
Figura 52. Aislamiento del control Room medido de la pared izquierda y valor de aislamiento requerido	133
Figura 53. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared trasera y valor de aislamiento requerido	134
Figura 54. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared frontal y valor de aislamiento requerido	135
Figura 55. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared derecha y valor de aislamiento requerido	136
Figura 56. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared Izquierda y valor de aislamiento requerido	137
Figura 57. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared trasera y valor de aislamiento requerido	138
Figura 58. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared frontal y valor de aislamiento requerido	139
Figura 59. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared derecha y valor de aislamiento requerido	140
Figura 60. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared Izquierda y valor de aislamiento requerido.....	141
Figura 61. Ángulo de Inclinación plano profundo, alto (L, H).....	147
Figura 62. Respuesta al impulso simulación Control room.....	147
Figura 63. ITDG Simulación Control Room.....	148
Figura 64. Tiempo de Reverberación Simulados	149
Figura 65. Comparación entre tiempo de Reverberación Calculado, Recomendado y Simulado.	150
Figura 66. Tiempo de reverberación simulados Sala 1 de grabación.....	155
Figura 67. Comparación tiempo de reverberación Calculado y Simulado de la Sala de grabación.....	155
Figura 68. Respuesta al Impulso Sala de grabación de percusión.....	158
Figura 69. Comparación tiempo de reverberación Calculado y Simulado de la Sala de percusión.....	159
Figura 70. Propuesta de Aislamiento	164
Figura 71. Aislamiento Control Room – Pared Trasera.....	165
Figura 72. Aislamiento Control- pared frontal.....	166
Figura 73. Aislamiento Control Room – pared derecha.....	167
Figura 74. Aislamiento Control room - Pared Izquierda.....	168
Figura 75. Aislamiento Sala de grabación – pared trasera.....	169
Figura 76. Aislamiento Sala de grabación – Pared frontal.....	170
Figura 77. Aislamiento Sala de Grabación - Pared Derecha.....	171
Figura 78. Aislamiento Sala de Grabación - Pared Izquierda.....	172

Figura 79. Aislamiento de Grabación Percusión - Pared trasera.....	173
Figura 80. Aislamiento Sala de Grabación percusión – Pared Frente	174
Figura 81. Aislamiento Sala de Grabación percusión – Pared Derecha	175
Figura 82. Aislamiento Sala de Grabación Percusión - Pared Izquierda	176
Figura 83. Modos normales de resonancia	194
Figura 84. Difusor	212
Figura 85. Comparativa de R, para tabiques dobles	218
Figura 86. Aislamiento Control room pared trasera	219
Figura 87. Aislamiento Control Room pared frontal.....	220
Figura 88. Aislamiento Control room pared derecha	221
Figura 89. Aislamiento Control room pared izquierda	222
Figura 90. Aislamiento sala de grabación pared trasera	223
Figura 91. Aislamiento sala de grabación pared frontal.....	224
Figura 92. Aislamiento sala de grabación pared derecha.....	225
Figura 93. Aislamiento sala de grabación izquierda	226
figura 94. Aislamiento sala de grabacion pared trasera.....	227
Figura 95. Aislamiento sala de grabación percusión pared frente	228
Figura 96. Aislamiento sala de grabación percusión pared derecha	229
Figura 97. Aislamiento sala de percusión pared izquierda	230
Figura 98. Nivel de aislamiento puerta doble	234

LISTA IMÁGENES

Imagen 1. Control room	28
Imagen 2. Sala de grabación.	29
Imagen 3. Simulación Software Catt Acoustics	35
Imagen 4. Simulación física 'Modelo a escala'	36
Imagen 5. Estudio de Grabación Actual	111
Imagen 6. Estudio de Grabación actual.	112
Imagen 7. Puntos de medición Control room.	114
Imagen 8. Puntos de medición Sala 1 actual.	114
Imagen 9. Puntos de medición Sala 2 actual	115
Imagen 10. Planta del Estudio de grabación actual	123
Imagen 11. Diseñó del Control room.....	143
Imagen 12. Diseño 3D control room Vista posterior	144
Imagen 13. Perspectiva Interior 3D del Control room.....	144
Imagen 14. Vista lateral 2D control room	145
Imagen 15. Planta ángulo de direccionalidad de la fuente y distancia entre monitores. .	145
Imagen 16. Vista 2D posterior Control Room.....	146
Imagen 17. Ángulo de Inclinación paredes plano ancho, profundo (W,L).....	146
Imagen 18. Predicción de la Claridad musical C80, Control room.....	151
Imagen 19. SPL Predicción Control Room.....	151
Imagen 20. Sala de Grabación 3D	152
Imagen 21. Inclinación paredes Sala de grabación.....	153
Imagen 22. Respuesta al Impulso Sala de Grabación	154
Imagen 23. Claridad musical C80 de la Sala de Grabación	156
Imagen 24. SPL en la Sala de Grabación	156
Imagen 25. Sala de Percusión 3D	157
Imagen 26. Inclinación pared Sala de Percusión 'cabina'.....	158
Imagen 27. Claridad musical C80 de la Sala de percusión 'cabina'.	160
Imagen 28. SPL en la Sala de grabación.....	160
Imagen 29. Disposición de materiales en el Control room	161
Imagen 30. Distribución de materiales Sala de Grabación.....	162
Imagen 31. Materiales Sala 'Cabina'.....	163
Imagen 32. Esquema de monitoreo	177
Imagen 33. Diagrama Interfaz A/D y Periféricos	178
Imagen 34. Estudio de Grabación Actual.....	184
Imagen 35. Puntos de medición Control room.	186
Imagen 36. Puntos de medición Sala 1 actual.	187
Imagen 37. Puntos de medición Sala 2 actual.	187
Imagen 38. Posición de la fuente y micrófonos para Control Room.	190
Imagen 39. Posición de la fuente y micrófonos para Sala de Grabación.....	191
Imagen 40. Posición de la fuente y micrófonos para sala de grabación para percusión.	192

Imagen 41. Curva NC 20 para Salas de Grabación	193
Imagen 42. Dimensiones criterio Walker, para el diseño del control room del estudio de grabación AFV Records, donde W es el ancho, H la altura y L la profundidad.....	197
Imagen 43. Forma geométrica del control room. Donde L es la profundidad y W el ancho.	198
Imagen 44. Inclinación Techo	199
Imagen 45. Relación distancia monitores e ingeniero	200
Imagen 46. Distancia de los monitores con respecto al receptor	201
Imagen 47. RFZ Control room AFV Records	202
Imagen 48. Inclinación paredes frontales control room.	202
Imagen 49. Inclinación paredes posteriores Control room.	203
Imagen 50. Inclinación Paredes Laterales Control room.....	203
Imagen 51. Volumen sala1 y sala de grabación.....	205
Imagen 52. Resonador de Panel	209
Imagen 53. Diseñó de Ventanas.....	231
Imagen 54. Dimensiones puerta	233
Imagen 55. Detalle Puerta	233
Imagen 56. Pared doble.....	235
Imagen 57. Ruido de fondo Simulación	236
Imagen 58. Condiciones entorno acústico simulación.....	236
Imagen 59. Ubicación del receptor para el análisis de la predicción acústica	237
Imagen 60. Ubicación de fuente y receptores Sala de Grabación.....	237
Imagen 61. Ubicación de fuente y receptores Sala de percusión.....	238

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Radios óptimos de Sepmeyer	48
Tabla 2. Radios óptimos de Louden (1971)	48
Tabla 3. Niveles de presión acústica, correspondiente a la curva NC20	90
Tabla 4. Curva del grado de Ruido.	93
Tabla 5. Ruido de Fondo Estudio de Grabación	127
Tabla 6. Niveles de Presión Acústica correspondiente a la curva NC 20	128
Tabla 7. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared trasera y aislamiento medido.	129
Tabla 8. Aislamiento Requerido para la pared trasera del control room	129
Tabla 9. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared frontal y aislamiento medido.	131
Tabla 10. Aislamiento control Room pared frontal medida y la requerida.....	131
Tabla 11. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared derecha y aislamiento medido.	132
Tabla 12. Aislamiento control Room pared derecha medida y la requerida.....	132
Tabla 13. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared izquierda y aislamiento medido.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14. Aislamiento control Room pared Izquierda medida y la requerida.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared trasera y aislamiento medido.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16. Aislamiento Sala de Grabación pared trasera medida y la requerida	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared Frontal y aislamiento medido.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18. Aislamiento Sala de Grabación pared frontal medida y la requerida	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared derecha y aislamiento medido.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 20. Aislamiento Sala de Grabación pared derecha medida y la requerida	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared Izquierda y aislamiento medido.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22. Aislamiento Sala de Grabación pared Izquierda medida y la requerida.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 23. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared trasera y aislamiento medido.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24. Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared trasera medida y la requerida	138

Tabla 25. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared frontal y aislamiento medido.	139
Tabla 26. Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared frontal medida y la requerida	139
Tabla 27. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared derecha y aislamiento medido.	140
Tabla 28. Aislamiento Requerido para la pared derecha de la Sala de Grabación para percusión	140
Tabla 29. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared izquierda y aislamiento medido	141
Tabla 30. Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared Izquierda medida y la requerida	141
Tabla 31. Tiempos de reverberación Simulados Control room.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 32. Diferencia Rt Calculado y medido	150
Tabla 33. Monitores de Audio	179
Tabla 34. Marcas de Interfaces de audio	180
Tabla 35. Marcas de micrófonos	181
Tabla 36. Marca de consolas	181
Tabla 37. Presupuesto 1	182
Tabla 38. Presupuesto 2	182
Tabla 39. Presupuesto 3	183
Tabla 40. Volumen del Control Room	195
Tabla 41. Dimensiones control room Walker	196
Tabla 42. Límites del criterio Walker	196
Tabla 43. Criterio Walker, Radios óptimos para el diseño del control room del estudio AFV Records.	197
Tabla 44. Volumen de la Sala y Cabina de percusión	204
Tabla 45. Tiempo de reverberación ITU EBU	206
Tabla 46. Tiempo de Reverberación según la ITU EBU	206
Tabla 47. Tiempo de Reverberación sin tratamiento Acústico	207
Tabla 48. Absorción de Materiales para el acondicionamiento y tiempo de reverberación para el Control Room	208
Tabla 49. Absorción y Rt de la Sala de grabación sin Tratamiento	213
Tabla 50. Absorción y Rt de la sala de percusión 'Cabina' sin tratamiento	214
Tabla 51. Tiempo de Reverberación obtenido en la Sala 1 de grabación	214
Tabla 52. Tiempo de reverberación obtenido en la Cabina de grabación con materiales acústicos.	215
Tabla 53. Cálculo de Aislamiento compuesto control room pared trasera	219
Tabla 54. Cálculo de aislamiento compuesto control room pared frontal	220
Tabla 55. Cálculo de aislamiento compuesto control room pared derecha	221
Tabla 56. Cálculo de Aislamiento compuesto control room pared izquierda	222

Tabla 57. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared trasera	223
Tabla 58. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared frontal	224
Tabla 59. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared derecha	225
Tabla 60. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared Izquierda.....	226
Tabla 61. Cálculo de aislamiento mixto sala de percusión pared trasera	227
Tabla 62. Cálculo de aislamiento mixto sala de grabación percusión pared frente.....	228
Tabla 63. Cálculo de aislamiento mixto sala de grabación percusión pared derecha.....	229
Tabla 64. Cálculo de aislamiento mixto sala de grabación percusión pared derecha.....	230
Tabla 65. Parámetros de Configuración de la Simulación.....	235

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A 1. Planta Estudio de Grabación AFV Records.....	245
ANEXO A 2. Corte del diseño del Control room.....	246
ANEXO A 3. Corte cabina de percusión	247
ANEXO A 4. Corte Sala de grabación.....	248
ANEXO B 1. Cotización PROASSECO	250
ANEXO B 2. Cotización 2 Audio Centro.....	251
ANEXO B 3. Cotización 3 AMG	253
ANEXO B 4. Cotización 4 AMG	254
ANEXO B 5. Cotización 5	255

INTRODUCCIÓN

AFV RECORDS es una casa discográfica independiente que presta el servicio de producción y grabación a grupos folclóricos colombianos, los cuales utilizan instrumentos acústicos. Para atender las necesidades de grabación musical de estos grupos, se cuenta con un pequeño estudio semiprofesional, el cual no posee los mejores equipos, ni los parámetros acústicos adecuados; además, empieza a resultar insuficiente para ofrecer calidad competitiva en sus grabaciones. Por otro lado, el estudio, como marca de la empresa, ofrece otros servicios, como formación y asesoría musical, dirección de agrupaciones, asesoría de imagen, elaboración y mantenimiento de acordeones.

Este proyecto de investigación está orientado hacia el análisis del estudio actual, diseño acústico del mismo y propuesta de mejora de los equipos de grabación; por lo tanto, es necesario realizar una verificación del diseño a través de un modelo de simulación.

Inicialmente, se desarrollará el análisis acústico, teniendo en cuenta los datos obtenidos en las mediciones, con el fin de contrastar con los resultados teóricos y avanzar en el desarrollo de la propuesta. Luego se procederá a calcular los parámetros de diseño ideales, tales como el aislamiento y acondicionamiento del recinto, establecidos a partir de los criterios de diseño para estudios de grabación, entendidos estos como control room y sala de grabación. Finalmente, se realizará una simulación en el software CATT Acoustics del diseño planteado.

Una vez finalizado el diseño acústico para el estudio, se elaborará una propuesta de equipamiento y conexionado, mediante diagramas que permitan esclarecer su correcto funcionamiento.

Con el diseño acústico y la propuesta de conexión de equipos de audio para el estudio, se busca tener condiciones óptimas para el desarrollo de producciones musicales, lo cual se verá reflejado en un producto competente y en clientes satisfechos, filosofía que siempre ha manejado la empresa.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Varios de los estudios de grabación internacionales utilizados por reconocidos artistas, como Fito Páez, Alicia Keys, Luny tunes, entre otros, han sido diseñados y construidos por la empresa Walter Storyk Design Group (WSDG), dedicada exclusivamente a esta labor, gracias a que cuenta con los mejores estudios a nivel mundial, los cuales están hechos bajo criterios de alta calidad. Cada uno se diseñó con características individuales, pero con un solo fin: lograr excelentes salas acústicas con una muy buena escucha.

El estudio de Fito Páez, Circo Beat Studios, localizado en Buenos Aires (Argentina), tiene en su Control Room de grabación tres techos colgantes, las cuales completan las condiciones acústicas ideales; además, cuenta con unos paneles ajustables en el techo y otros motorizados, que pueden reconfigurar el radio para obtener una acústica variable con un RT60, que se modifica de 0,4 a 0,8seg.

El estudio de Alicia Keys, Over studios (Nueva York), tiene un control room con características LEDE, mitad vivo y mitad muerto, para lograr un campo uniforme, empotraron los altavoces en las paredes y ubicaron un difusor de banda ancha en la parte posterior del control.

En Colombia, más exactamente en la Universidad de San Buenaventura, hay varias investigaciones realizadas para diseños de estudios de grabación.

- Año 2004: Diseñó de un Estudio de Grabación para la Universidad de San Buenaventura, sede norte. Realizado por los Ingenieros Carlos Javier Bernal Salamanca y Fernando Andrés Peña. Esta investigación se basa en el diseño de un estudio de grabación para la universidad de San Buenaventura bajo criterio de diseño Bonello y LEDE.
- Año 2005: Diseñó de un estudio Profesional para edición de audio 5.1. Realizado por Juan Carlos Pardo. El criterio usado para esta investigación fue el RFZ.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta que cada día hay más grupos musicales en Bogotá, los cuales buscan lugares con características óptimas para la grabación de sus canciones y así poder competir a nivel internacional con muchos artistas, es necesario adecuar acústicamente el estudio AFV RECORDS y contar con mejores equipos de grabación, para ofrecer un mejor servicio y ser competitivo en el mercado.

Actualmente, el recinto donde está ubicado el estudio presenta problemas. El primero de ellos es la geometría del sitio, ya que su construcción fue realizada sin fundamentos arquitectónicos e ingenieriles. Los parámetros acústicos no fueron tenidos en cuenta en su elaboración, debido al poco conocimiento en el tema. Otro problema es la falta de equipos para grabación, ya que el estudio necesita mejorar la calidad en términos de confort acústico siendo este aplicado en el campo de la producción.

Por tanto la pregunta clave, que describe el proyecto es:

¿Qué parámetros acústicos deben considerarse en el diseño del control room y sala de grabación, para que AFV Records ofrezca condiciones acústicas óptimas en los procesos de producción de trabajos discográficos?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La calidad de los estudios de grabación debe ser evaluada en función del grado en que logren articularse en la acústica, la estética y la electrónica, es decir, si se logra una buena relación entre esas características, el estudio proporcionará las condiciones para lograr la excelencia en sus funciones.

La elaboración de este proyecto de investigación, traerá consigo el desarrollo de una herramienta de trabajo para diseñar un control room y salas de grabación bajo criterios y recomendaciones sugeridas, para que la calidad de los parámetros acústicos de estudios de grabación sean óptimos, brindando así competitividad del estudio en sus producciones musicales, además porque presenta una nueva alternativa de desarrollo profesional, teniendo en cuenta los distintos criterios de diseño para estudios de grabación pequeños.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer el diseño acústico y equipamiento de grabación del estudio AFV RECORDS.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el comportamiento acústico de las instalaciones actuales del estudio de grabación AFV RECORDS.
- Establecer los parámetros de diseño para Control Room y Sala de Grabación a partir de criterios establecidos.
- Simular el comportamiento acústico del diseño propuesto.
- Especificar un sistema de equipamiento de grabación, para las necesidades del estudio.
- Realizar tres propuestas económicas del equipamiento de grabación.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

Con la construcción del diseño, el estudio de grabación AFV Records, puede ofrecer calidad sonora en sus producciones musicales y entrar a competir en el mercado.

Esta investigación, es una herramienta para diseñar cualquier control room pequeño bajo criterios establecidos con características óptimas.

Esta propuesta puede ser de interés para personas que quieran diseñar un estudio de grabación pequeño.

1.5.2 LIMITACIONES

Obtener la licencia del software de simulación Catt Acoustics, el cual presenta limitaciones como máximo de tres órdenes de reflexiones especulares para “early part detailed ISM”, 1000 rayos por octava para “Full detailed calculation” y 3000 rayos por octava para “Audience area mapping”. Estos valores son confiables para una predicción¹.

El tiempo requerido para realizar las mediciones es corto, pese a la disponibilidad del estudio.

¹ Manual de usuario CATT- Acoustic DEMO V8.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Estudio de Grabación

Un estudio de grabación, es un sitio o recinto adecuado para la grabación de sonidos y diseñado acústicamente para controlar reflexiones, modos y tiempos de reverberación.

Instrumentos musicales, música para películas, cuentos para niños, anuncios publicitarios, agrupaciones, entre otros, son el tipo de sonidos que se graban en un estudio. Consiste en dos salas, el control room o cuarto de control, que contiene equipos de audio para la grabación encaminado a la manipulación del sonido y la sala de grabación, donde se ubican los instrumentos, locutores o músicos que vayan a grabar.

Los estudios de grabación se diseñan cuidadosamente basados en los principios acústicos, para obtener una excelente acústica, debe considerarse las dimensiones físicas del cuarto, tratamiento acústico con el uso de materiales absorbentes, resonadores y difusores, así el cuarto responde al sonido de una manera deseada. La insonorización o aislamiento del ruido aéreo es de vital importancia para optimizar el sonido de nuestras grabaciones.

2.1.1.1 Características de un Control Room



Imagen 1. Control room²

En un cuarto de control, encontramos dos factores importantes la acústica del sitio, que debe tener características óptimas de escucha para el ingeniero y los equipos de audio con los que se trabaja grabación y mezcla que son:

- Consola.
- Monitores.
- Cables.
- Audífonos.
- Rack de efectos (compresores, ecualizadores).
- Computador.

Últimamente los computadores, han asumido un papel grande en el proceso de grabación, sustituyendo equipos como sintetizadores, hasta el mismo rack de

² www.wsdg.com

efectos por plug ins. A una computadora bien equipada se le llama hoy en día sitio de trabajo de audio digital.

Programas o software tales como Pro-tools, Cubase, Nuendo, Cakewalk, junto con plug ins como los wave's, sustituyen y mejoran muchos de los defectos que tiene un equipo análogo, uno de ellos el ruido eléctrico.

2.1.1.2 Características de la Sala de Grabación



Imagen 2. Sala de grabación³.

Una sala de grabación es óptima siempre y cuando cumpla con los parámetros y tiempo de reverberación recomendados para este tipo de cuarto. Así se podrá grabar cualquier tipo de sonido, con la tranquilidad de obtener una excelente captura. En las salas de grabación se puede capturar:

- Instrumentos.
- Vocalistas
- Locutores
- Ruidos

³ www.wsdg.com

2.1.2 Acústica

La acústica se encarga de estudiar el fenómeno del sonido. Es de gran importancia en el campo musical y arquitectónico. La acústica musical consta del estudio de instrumentos y escalas con todos sus derivados y la acústica arquitectónica estudia el comportamiento acústico de los diversos recintos y su influencia sobre la música. Para optimizar la calidad sonora en recintos de grabación los parámetros acústicos de acondicionamiento y aislamiento deben ser tratados.

2.1.3 Acústica Arquitectónica

La acústica arquitectónica es una rama de la acústica, se encarga del acondicionamiento acústico para una excelente respuesta de audición del sonido en salas de concierto, salas de grabación, salas de conferencia, teatros, edificios, entre otras, mediante la geometría de recintos, materiales acústicos, difusores y su aplicación basados en criterios de diseño.

En espacios cerrados, el fenómeno más importante que se debe tener en cuenta es la reflexión. Cuando el sonido es transmitido desde el monitor, llegara al oído el sonido directo y el reflejado, que pueden producir refuerzos o pérdidas en ciertas frecuencias, también llamado comb filter o filtro de peine, lo que ayudará a que el receptor, pierda calidad de la imagen sonora. Para disminuir este problema, jugar con la geometría del cuarto puede ser de gran utilidad⁴.

⁴ www.cv.uoc.edu

2.1.4 Acondicionamiento Acústico

El acondicionamiento acústico, es uno de los parámetros de la acústica de un recinto. La acústica de cada sala es única y se adecúa según el uso que se le va a dar. Para el control room o cuarto de control, es importante que el campo sonoro de la sala sea difuso, con este fin, se pondrán difusores, absorbentes (material y elementos) y aislantes, que permitan distribuir uniformemente el sonido para así poder aproximarse al campo difuso ideal.

Existen varias recomendaciones, normas y criterios que se aplican a los diseños de estudios de grabación hoy en día, dos ejemplos criterio LEDE (Vivo- Muerto) y RFZ (Zona Libre de reflexiones).

Los materiales y sus coeficientes de absorción son de gran importancia a la hora de diseñar, porque gracias a sus diversas características, se puede ajustar el tiempo de reverberación óptimo para cada frecuencia que debe tener tanto el control room, como la sala de grabación.

2.1.5 Aislamiento

El aislamiento acústico, impide que los sonidos generados en un recinto se propaguen al exterior del mismo y que el ruido del exterior, no se difunda en el estudio de grabación.

En una sala de grabación cualquier ruido proveniente del exterior afecta la calidad de la grabación.

Una partícula de aire infinitamente próxima a la superficie de una pared se verá forzada a desplazarse al llegar la onda sonora. Esta energía que llega hace vibrar a la superficie sólida y comprime el aire próximo a ella, en la dirección opuesta a

dicha pared, es decir, que una parte de la energía incidente sobre la pared será reflejada mientras que otra se transmite.

Los sonidos más difíciles de tratar son los graves (50 a 1Khz), ya que su longitud de onda será grande y a medida que la frecuencia disminuye, la longitud de onda aumenta y la presión acústica ejercida para estas frecuencias sobre las superficies será mucho mayor, por lo que será más fácil la transmisión de estas frecuencias por las paredes⁵.

Para solucionar este tipo de problema se puede interponer una pared entre la fuente sonora y el receptor. Cuanto mayor sea la densidad del tabique, mayor aislamiento se obtendrá en el recinto. Ver figura 1.

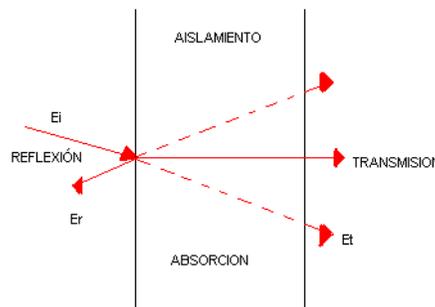


Figura 1. Aislamiento

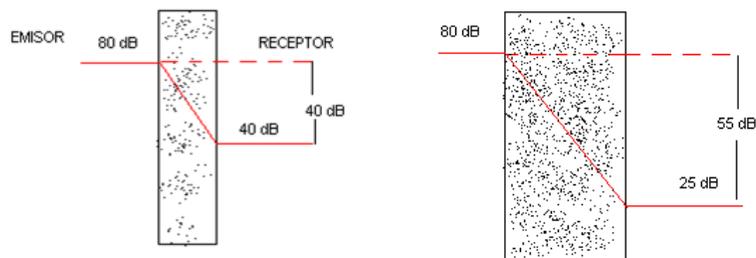


Figura 2. Tabiques con diferente espesor

⁵Ingeniería Acústica Pág. 543.

Otra solución es utilizar múltiples tabiques con una cavidad de aire, o también relleno de material acústico (fibra de vidrio), para obtener mayor aislamiento. Ver figura 2.

2.1.6 Simulación

Hoy en día se ha llegado al anteriormente inconcebible medio de desarrollar animaciones en computador, donde se puede simular inclusive el paseo de una persona dentro de una edificación virtual.

Los modelos por simulación son herramientas para el diseño que de mucho tiempo atrás se utilizan en arquitectura. Se han utilizado para analizar, ilustrar y explicar de una manera más objetiva el diseño de un recinto o edificación establecida.

“El uso de modelos de simulación, matemáticos, físicos o computarizados, son para tratar de anticipar los efectos que puedan tener las diferentes decisiones o propuestas de diseño en la realidad”⁶.

Los modelos de simulación corresponden en términos generales de situaciones pasadas ya estudiadas y probadas para describir y simular estados presentes o actuales con objeto de descubrir, pronosticar y prever comportamientos o estados futuros.

Un esquema de este proceso puede ser el siguiente:

- El estado actual del sistema mediante un modelo seleccionado, congruente con el objetivo de investigación.
- Se establece un pronóstico sobre el comportamiento del modelo, mediante la aplicación de diversas técnicas y herramientas convenientes.

⁶ RODRIGUEZ Manzo Fausto; Modelos de Simulación en Arquitectura. P.4.

- Finalmente se evalúan y prueban los resultados que permiten establecer principios, consideraciones o recomendaciones, que en conjunto forman un sistema de planeación que puede predecir el comportamiento futuro de problemas de investigación similares, de esta manera se construye un modelo específico de predicción para ese tipo de problemas.

Una propiedad de los modelos de simulación es que los resultados que se obtienen son impredecibles, lo que los vuelve procesos eminentemente creativos.

En el transcurso del diseño, pueden llevarse a cabo una infinidad de cálculos, consideraciones y simulaciones.

Las simulaciones pueden arrojar muchos conocimientos en las etapas tempranas de planeación, lo que en vista del alcance y la importancia de las decisiones que se toman, pueden tener grandes consecuencias.

2.1.6.1 Simulación por Software

Con la combinación de programas como el Catt Acoustics, y con las contribuciones de otros sistemas computarizados es posible relativamente temprano, en el proceso de diseño, obtener de forma preliminar las cifras exactas correspondientes a los costos de construcción y las terminaciones para la construcción de una edificación o en este caso de un control room. Es una forma práctica y económica de predecir el comportamiento de un recinto. Ver figura 3

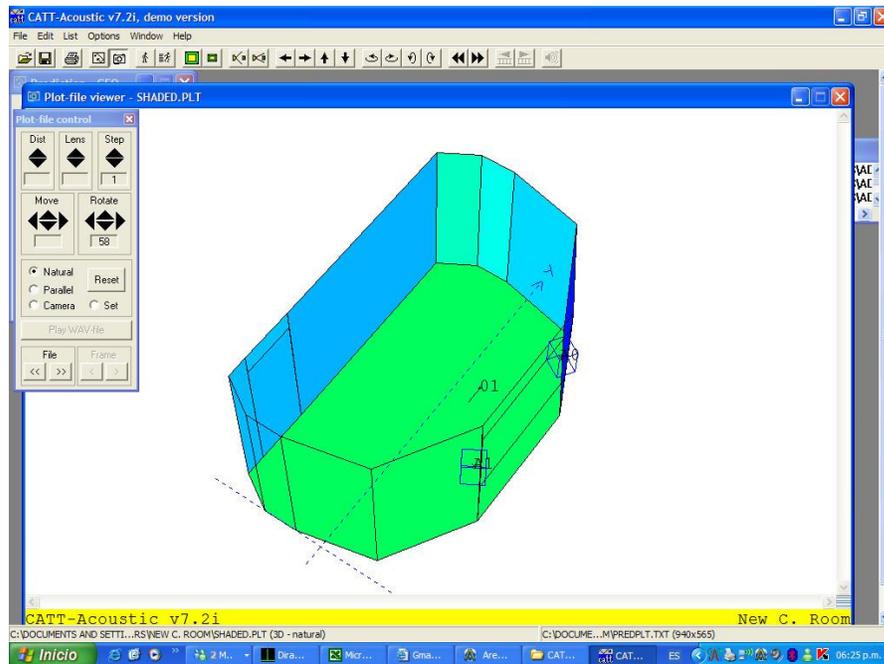


Imagen 3. Simulación Software Catt Acoustics

2.1.6.2 Simulación física (Modelo a escala)

Los modelos en un sentido amplio, son abstracciones de la realidad. El concepto modelo no está necesariamente relacionado a conceptos como el de ecuaciones matemáticas o al cálculo computarizado, sino que puede ser definido genéricamente como reproducción física o abstracta de estructuras y funciones de sistemas reales. Ver figura 4. En este sentido, el plano de un edificio, es un modelo de esa edificación, así como el dibujo constructivo de un motor es un modelo de ese motor. Este tipo de modelos puede salir un poco más costoso que una simulación por software, ya que con una sola pequeña equivocación se debe volver a construir de nuevo hasta conseguir una simulación perfecta.



Imagen 4. Simulación física 'Modelo a escala'

2.1.7 Equipamiento de Grabación

Los primeros estudios modernos se crearon a final de los ochenta con la llegada de sintetizadores, y micrófonos de alta calidad. Hoy en día con el formato MIDI y los productos digitales es más económico obtener equipos para grabación.

Instrumentos de percusión, de cuerda, entre otros, han sido remplazados por teclados que proporcionan hoy en día muestreos altamente reales. A la hora de mezclar los plug ins remplazan a equipos como racks de efectos, así se ahorra espacio y se minimiza ruido eléctrico en el lugar de trabajo.

El equipamiento de audio en un estudio es tan importante como la acústica en el mismo. Los micrófonos y altavoces son denominados genéricamente transductores, dispositivos que transforman sonido en electricidad y electricidad en sonido. Los procesadores también hacen parte de esta rama.

Los elementos de procesamiento de audio son dispositivos que alteran o modifican de alguna forma características del sonido, cuando está representado por una variable eléctrica. Las características que modifican son de índole variada como: amplitud, rango dinámico, respuesta en frecuencia, respuesta en el tiempo,

timbre, etc. El procesamiento se lleva a cabo de manera electrónica, utilizando la tecnología de semiconductores y la tecnología digital.

Los dispositivos e implementos tecnológicos, hoy en día hacen parte de la calidad musical de una producción.

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

2.2.1 ISO 3382 (The International Organization for Standardization)

La norma ISO 3382:1997, (Acoustics- Measurements of the reverberation time of rooms with regards to other acoustical parameters), es la norma de medición de tiempo de reverberación de salas con referencia a otros parámetros acústicos. Con la cual se llevan a cabo las mediciones de los parámetros acústicos para el desarrollo de esta propuesta.

Esta norma, describe las técnicas de medición que pueden ser usadas a fin de determinar los parámetros de la respuesta al impulso, podemos decir que las mismas pueden ser realizadas mediante el uso del analizador de tiempo real (RTA).

La ISO 3382: 1997, describe el procedimiento de medición, equipamiento y cobertura requerida, el método para evaluar cada uno de los datos y el formato de presentación de resultados, encaminados a la aplicación de técnicas de medición digitales y la obtención de parámetros acústicos derivados de la respuesta al impulso [1].

2.2.2 ITU EBU (The International Telecommunication Union (ITU) and the European Broadcasting Union (EBU))

Las recomendaciones ITU EBU dan los límites de tolerancia para los tiempos de reverberación en un ambiente de escucha crítico.

Expresan las bandas de tolerancia en diferencia de segundos, relativa al promedio de tiempo de reverberación. Esto puede ser discutido ya que esto no está expresado en una escala relativa; por ejemplo, para el rango de frecuencias medias la desviación recomendada con respecto al tiempo de reverberación es 0.05s. Considerando un control room pequeño, implica que permite diferencias entre el tiempo de reverberación promedio y los límites de tolerancia por banda,

los cuales son relativamente largos comparado a un control room grande. Detrás de los límites de tolerancia también el hecho de medir el tiempo de reverberación en un control room puede ser discutido.

Uno de los parámetros más usados en la acústica de recintos es el tiempo de reverberación T_{60} expresado en segundos.

“El tiempo de reverberación T_{60} , se define como el tiempo en el cual el nivel de presión sonora decrece 60 dB después de apagada la fuente sonora, los tiempo de reverberación calculados de la respuesta al impulso se obtienen de la extrapolación de la pendiente de la curva de medición entre un nivel 5 dB por debajo del nivel inicial, hasta -35 dB, por esto de aquí en adelante el tiempo de reverberación será denominado T_{30} .

Las recomendaciones de la ITU EBU dan los límites de tolerancia para los tiempos de reverberación en ambientes de escucha crítica, en la siguiente figura se presenta las bandas recomendadas con sus límites.”⁷

El promedio de tiempo de reverberación se da como

$$Tm = 0,25 * \left(\frac{V}{Vo} \right)^{1/3} \quad (1)$$

Donde:

V: Volumen del recinto [m³]

Vo: Volumen de referencia 100 m³.

⁷Munster Van; ITU EBU, limites de tolerancia para los tiempo de reverberación relativos al valor promedio Tm; ITU 1116-1; 1997.

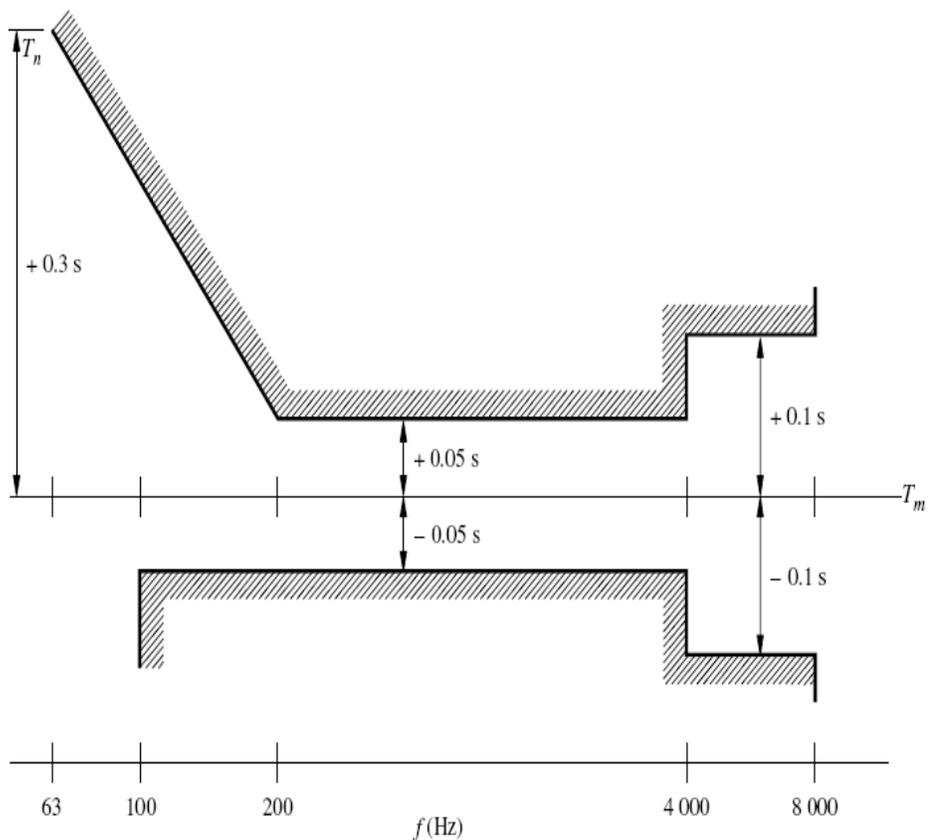


Figure 68 : Tolerance limits for the reverberation time, relative to the average value, T_m [s] [ITU 1116.1, 1997]

Figura 3. Límites de tolerancia para los tiempos de reverberación relativos al valor del promedio T_m .

2.2.3 Recomendaciones ITU EBU

Para cuartos pequeños no existe una norma estandarizada. Para control room hay dos recomendaciones de la ITU:

- ✓ ITU – R BS 1116-1:
 - Condiciones de escucha.
 - Diseño acústico: forma, tiempo de reverberación y condiciones del campo sonoro.

✓ ITU – R BS 775-1

- Posición de los parlantes.

Recomendaciones con respecto a las recomendaciones de escucha EBU:

✓ EBU documento técnico 3276-1999: método para medir reflexiones tempranas para el uso de parlantes de bajas frecuencias.

✓ EBU tec 3286: Describe un método para lograr la calidad de música clásica.

Hay que tener en cuenta que la ITU EBU es una recomendación no una norma estándar.

2.2.4 (ISO 140-4: 1998). Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición “in situ” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.

Esta norma es equivalente a la norma internacional de la Organización Internacional de normalización ISO 140-4:1998.

Esta parte de la norma IRAM 4063 especifica los métodos aplicables in situ para medir las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de las paredes interiores, de los techos y de las puertas entre dos recintos en condiciones de campo sonoro difuso, para determinar la protección aportada a los ocupantes del edificio.

Estos métodos proporcionan los valores del aislamiento acústico al ruido aéreo en función de la frecuencia. Estos valores pueden transformarse en un número único, que caracteriza sus cualidades acústicas, al aplicar la norma IRAM 4063-1.

Los resultados obtenidos pueden utilizarse para comparar el aislamiento acústico entre recintos y para comparar aislamientos acústicos reales medidos, con los valores requeridos.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 Parámetros de Diseño

2.3.1.1 Acústica de un Estudio de grabación

Para el diseño de un control room, se deben seguir una serie de pasos. Primero los criterios y recomendaciones para el diseño, luego la geometría del cuarto y por último los materiales que van a ser utilizados en cada superficie.

2.3.1.1.1 Geometría de un Cuarto

2.3.1.1.1.1 Modos Propios de un Cuarto

Un recinto puede observarse como un espacio tridimensional cerrado por sus superficies con impedancia compleja, al solucionar la ecuación de onda se dan soluciones en formas de: modos con características en función del tiempo, factores de amortiguamiento y distribución espacial.

Cuando la onda sonora choca con una superficie, esta es reflejada por la misma. La onda incidente y reflejada coordinarán pero viajando en direcciones inversas, subsecuentemente la onda reflejada será reflejada al lado opuesto y así periódicamente. Cuando la longitud de onda es un múltiplo integro de la distancia total de recorrido la onda sonora y la reflejada, estarán sincronizadas en fase, por esta razón la presión sonora de ambas ondas va a ser aditiva.

Si tenemos dos ondas como las mencionadas, que viajen en dirección inversa, crearán un patrón de onda estacionaria, con niveles de presión sonora que van en posición encontrada de su posición en el cuarto. Las frecuencias de resonancia en las cuales estas ondas estacionarias se generan son llamados modos propios de un cuarto.

Los modos se comportan como sistemas resonantes por las funciones de transferencias y mecanismos de almacenamiento, tienen frecuencias naturales de

resonancia, exclusivos anchos de banda, factores Q o de amplificación, que dependen de sus factores individuales de amortiguamiento. La amplitud del modo depende de la distribución de frecuencia de la fuente, la impedancia de la onda sonora con respecto al modo, de la posición en el cuarto donde se mide la amplitud, posiciones de fuente y dimensiones del cuarto.

Existen tres tipos de modos.

- ✓ **Modo Axial:** Relaciona dos superficies, es decir, cuando el volumen de aire en un cuarto se divide en dos partes, la parte media que actúa como una masa que oscila entre los extremos y es resistido por la rigidez de las partes extremas que actúan como un resorte, en las paredes no existen componentes de velocidad, por eso la energía es totalmente potencial, la energía se intercambia ahora cíclicamente entre los dos componentes de aire⁸.
- ✓ **Modo Tangencial:** Relaciona cuatro superficies, la presión sonora es de -3dB en relación con el modo axial⁹.
- ✓ **Modo Oblicuo:** Incluyen reflexiones secuenciales entre tres o más superficies, la presión sonora en relación con el modo axial es -6dB¹⁰.

La frecuencia de resonancia en cuartos rectangulares con superficies infinitamente rígidas es:

$$fn = (Co / 2) \sqrt{\left(\frac{nx}{lx}\right)^2 + \left(\frac{ny}{ly}\right)^2 + \left(\frac{nz}{lz}\right)^2} \quad (2)$$

⁸ GIL González Constancio. Acondicionamiento acústico; 1989. P. 96.

⁹ Ibíp., p.97.

¹⁰ Ibíp., p.97.

Donde:

F_n : frecuencia de resonancia [Hz]

C_o : velocidad del sonido [m/s]

l_x, l_y, l_z : dimensiones del cuarto [m]

n_x, n_y, n_z : modos

2.3.1.1.1.2 Distribución de Modos

El rango de frecuencias bajas, en cuartos pequeños, se caracteriza por tener pocas frecuencias de resonancia, cerca o en la frecuencia de resonancia el SPL va hacer alto. Entre los modos este realce no ocurrirá por esta razón habrá una atenuación relativa, esta diferencia de bajas frecuencias en la presión sonora es percibida como una coloración del campo sonoro. Si la densidad modal es lo suficientemente alta, la amplificación afectará todo el campo sonoro y por esta razón la atenuación espectral no se percibirá mas¹¹.

Ecuación densidad modal N.

$$N = \left(\frac{4\pi V}{3C_o^3} \right) * f^3 + \left(\frac{\pi S}{4C_o^2} \right) * f^2 + \left(\frac{L}{8C_o} * f \right) \quad (3)$$

Donde:

F : frecuencia de resonancia [Hz]

C_o : Velocidad del sonido [ms]

¹¹ Ibí., p.98.

V: Volumen del cuarto [m³]: lx*ly*lz

S: Superficie total del área [m²]: 2(lxly+lxlz+lylz)

L: Suma de longitudes de borde [m]: 4(lx+ly+lz)

Los números de modos en una banda de frecuencia con una frecuencia central f_n y un ancho de banda Δf pueden obtenerse diferenciando la ecuación anterior (densidad modal N) [2].

$$\Delta N = \left[\left(\frac{4\pi V}{Co^3} \right) * f^2 + \left(\frac{\pi S}{2Co^2} \right) * f + \left(\frac{L}{8Co} \right) \right] * \Delta f \quad (4)$$

Δf : diferencia de frecuencia entre las frecuencias a las que la presión Sonora ha caído 3dB.

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{Kn}{\pi} \quad (5)$$

Donde, Kn es la constante de amortiguamiento, representando la absorción del cuarto [S⁻¹].

La siguiente ecuación muestra el ancho de banda de los modos de resonancia, es constante si el tiempo de reverberación es independiente de la frecuencia.

$$\Delta f = \frac{6,91}{\pi T60} \approx \frac{2,2}{T60} \quad (6)$$

Se busca que los tiempos de reverberación sean constantes con la frecuencia, en el control room. Por esta razón el ancho de banda a la frecuencia de resonancia será constante, asumiendo que en general el Rt del control room varía entre 0,15s hasta 0,4s, esto implica que el ancho de banda de los modos de resonancia varía entre 5,5 a 14,6Hz.

- ✓ **Frecuencia critica fc.** Cuando una frecuencia marca el límite inferior del rango de frecuencias donde la densidad modal promedio del campo sonoro

es lo suficientemente alta para generar un campo sonoro estadístico. La densidad modal promedio en un campo sonoro difuso estadístico ocurre cuando la superposición modal entre las frecuencias de resonancia es significativa.

Criterios Usados para la frecuencia critica:

- **Walker:** La f_c es la primera con cinco modos, en este ancho de banda la ecuación es:

$$f_c = \sqrt{\frac{T60 * C^3}{2\pi V}} - \frac{Sc}{16V} \quad (7)$$

- **Schroeder:** En 1954 definió la f_c basada en 10 modos por tercio de octava, aunque al comienzo uso la constante de 4000 mediciones de varios autores que mostraron que la teoría es válida para frecuencias:

$$f_c = 2000 * \sqrt{\frac{T60}{V}} \quad (8)$$

La diferencia entre las frecuencias de Walker y Schroeder es para los tiempos de reverberación bajos y altos hasta 10 Hz, entre 100 y 120 Hz la diferencia de cálculo son muy pocas casi 2Hz.

Los modos en un cuarto pueden estar dañando la calidad del recinto por eso se deben tratar de controlar y se puede comenzar con las dimensiones del cuarto.

2.3.1.1.1.3 Radios Óptimos

Para mejorar los problemas de modos que contribuyen al desequilibrio de la imagen sonora en un cuarto es importante encontrar el radio óptimo que debe tener.

- ✓ **Sabine:** En 1900 fue el primero que realizó el primer radio ideal 2:3:5.
- ✓ **Bolt:** Examinó el promedio de espaciamiento modal para lograr modos espaciados constantemente. Por esta razón asumió que si las frecuencias modales estaban espaciadas constantemente los problemas con los picos y valles en la respuesta modal se verían muy reducidos. Propone un radio óptimo de 1, $2^{1/3}$, $4^{1/3}$ (1:1.25:1.6). Bolt dice que hay un área muy amplia donde el criterio de espaciamiento promedio se puede aplicar, lo representó en una gráfica llamada 'La Gráfica de Bolt'. El mismo radio de Sabine fue propuesto por Bolt¹².

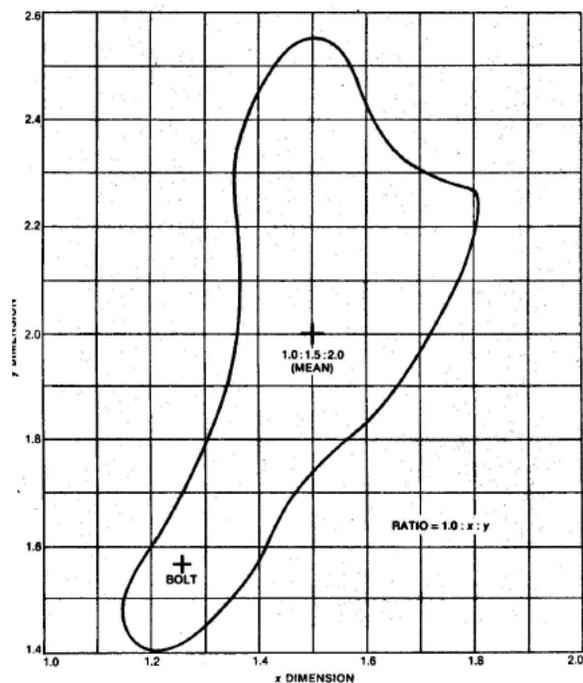


Figura 4. Gráfico de Bolt

¹²HIGINI Arau, ABC de la Acústica Arquitectónica. Criterio radios óptimos de Bolt. P.147.

- ✓ **Sepmeyer:** Su investigación en 1965, se basó en la frecuencia y distribución angular de modos normales en cuartos rectangulares. Llegó a la conclusión que en tres radios óptimos solamente uno no aplica a la grafica de Bolt (1.14:1.39:1).

Tabla 1. Radios óptimos de Sepmeyer

X	1.14	1.28	1.60
Y	1.39	1.54	2.33
Z	1	1	1

- ✓ **Louden:** En 1971, examinó 125 radios diferentes para lograr una distribución pareja, ya que para él un cuarto ideal tendría intervalos entre los modos adyacentes de acuerdo a la curva df/dn . La acústica del cuarto se empeorará, mientras más grande sea la desviación entre los espacios y espaciamiento modal (df/dn). Cálculo los diferentes radios para un volumen estándar de $201,6m^3$.

Los radios en la forma X: Y: 1, se realizan para el rango de:

X, 1.1 a 1.9 con pasos de 0.1

Y, 1.2 a 2.8 con pasos de 0.1

Louden presentó 125 radios de los cuales cinco fueron resultados óptimos.

Tabla 2. Radios óptimos de Louden (1971)

	1	2	3	4	5
X	1.9	1.9	1.5	1.5	1.2
Y	1.4	1.3	2.1	2.2	1.5
Z	1	1	1	1	1
	1.1445	1.1542	1.1677	1.2064	1.2158

✓ **Recomendación ITU EBU (Dimensiones Walker).**

Una de las recomendaciones de la ITU EBU, es definir un rango de radios óptimos en vez de un radio específico. Esto lo dedujo Walker llamado las "Dimensiones de Walker".

Se asume que un cuarto rectangular tiene cuatro grados de libertad, de acuerdo a la distribución de los modos (volumen, altura, largo y ancho), para definir el punto de partida del índice de calidad.

Los modos del cuarto, son el resultado de un croquis de cuatro dimensiones. Si se hablará que el volumen es fijo solo quedarían dos ejes independientes el radio largo y alto y el radio de ancho y alto, de esta manera el índice de calidad puede dibujarse como un plano bidimensional.

El índice de calidad se calcula elevando al cuadrado el espaciamiento de las frecuencias modales, por ello la diferencia de frecuencia entre cada par de modos es calculada y elevada al cuadrado, y así el resto de las diferencias elevadas al cuadrado se suman y se divide por el número de modos incluidos.

$$Q_i = \sum \frac{(\Delta f_{nms})^2}{NOM} \quad (9)$$

Donde:

Q: Índice de calidad.

Δf_{nms} : Diferencia de frecuencia entre dos modos adyacentes.

NOM: Numero de modos normales incluidos.

Mediante este método se le da más importancia a los modos espaciados en el rango de frecuencias bajas. Entre más pequeño el valor mejor calificación tiene el cuarto [2].

El límite superior del criterio para el radio longitud ancho (L/W), tiene un valor de 1.1, es:

$$\frac{L}{h} \geq 1,1 \text{ o } \frac{L}{h} \geq \frac{W}{h} * 1,1 \quad (10)$$

Donde:

L: Largo

W: Ancho

H: Alto

El límite superior para el radio longitud altura es:

$$\frac{L}{h} = 4,5 * \frac{W}{h} - 4 \quad (11)$$

El nuevo criterio que puede ser usado para las dimensiones de un cuarto acústico pequeño es:

$$1,1 * \frac{W}{h} \leq \frac{L}{h} \leq \left(4,5 * \frac{W}{h} \right) - 4 \quad (12)$$

2.3.1.2 Criterios de diseño

2.3.1.2.1 Criterio de Putman (1960)

Su concepto se basa en la integración de los altavoces con respecto a la disposición del cuarto de control. En 1981, para conseguir un área de escucha grande, decidió mover la consola hacia atrás de la posición tradicional contra la ventana. Este movimiento generó problemas en bajas frecuencias, así que para solucionar este inconveniente, decidió dar inclinación a los monitores, y así reducir las anomalías en bajas frecuencias y formar un área de escucha óptimo, comparada con cuartos convencionales [2].

2.3.1.2.2 Criterio de Edgar J. Véale (1973)

Presentó un artículo, donde muestra la importancia de tener una imagen sonora para el cerebro. Su acercamiento consiste en crear un cuarto inerte, de tal manera que la información irradiada por los altavoces, sea interpretada por el sistema sensorial del ingeniero, sin adiciones o sustracciones al cuadro de sonidos.

El sistema auditivo consiste en tener una imagen sonora completamente. Para esto el ingeniero u operador, debe recibir el sonido directo sumado a una o más reflexiones, de acuerdo a Veale, las reflexiones que llegan en los primeros 8 ms no responden a ningún propósito, mientras que las reflexiones que llegan de 10 a 70 ms junto con el sonido directo crean una imagen sonora. Las que llegan después de los 75 a 80 ms crean la coloración de la imagen. De 4 a 7 reflexiones son perfectas para crear una zona estable.

Los materiales también juegan un papel importante en el criterio de Veale. Indica que para alcanzar un ambiente acústico neutral, los materiales absorbentes usados deben ser neutros, para evitar reacciones a su función. Por eso

recomienda utilizar materiales pasivos y no reactivos como los resonadores de Helmholtz por que pueden introducir una modificación lineal indeseada, el único que puede ser usado para trampa de bajos es el resonador de $\frac{1}{4} \lambda$.

Este criterio:

Se enfoca en el acercamiento para proporcionar superficies reflexivas de baja frecuencia. Considera el número de oyentes en el cuarto. La forma de techo que debe ser optimizada con reflector, ayudando a que las reflexiones del techo no sean afectadas [2].

2.3.1.2.3 Criterio de Rettinger (1977)

Su aporte a la construcción de control room, además de la acústica del cuarto, son las características de los monitores.

La forma geométrica de un cuarto de control debe ser asimétrico o trapezoidal no rectangular. Las paredes frontales deben tener una inclinación igual a la de los monitores. Esta forma ayudará a evitar el refuerzo del fenómeno de los modos normales.

El techo según Rettinger, debe llevar una forma grada- gota – techo similar a la forma de las paredes frontales, de esta forma el sonido viajara hacia el ingeniero para mejorar la imagen sonora.

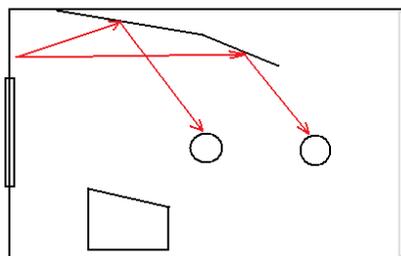


Figura 5. Diseño del techo, Rettinger.

Si el techo es paralelo a la consola, debe ser absorbente para evitar la ocurrencia de reflexiones entre consola y techo.

La pared posterior debe ser totalmente absorbente para evitar que reflexiones provenientes de allí perturben la calidad de la imagen sonora.

En conclusión para obtener el tiempo de reverberación apropiado en esta zona la pared posterior y el techo posterior debe ser absorbente.

Se basa más en el tiempo de reverberación. Él prefiere una curva plana. El tiempo de reverberación formulado por Rettinger es:

$$T = 0,15\text{LOG}(V) - 0,15 \quad (13)$$

Donde:

T: tiempo de reverberación en segundos

V: Volumen del cuarto en pies³.

$V [m^3] = 35 * \text{Volumen del cuarto en pies}^3$

2.3.1.2.4 Criterio LEDE (Davis 1981)

El criterio LEDE “Vivo - Muerto”, comienza con el desarrollo del analizador del TEF (tiempo- energía – frecuencia) de Heyser. Este sistema proporcionó una vista tridimensional del ambiente acústico.

- En el concepto LEDE, es importante tener la visualización del Time delay spectrometry (TDS) y de la curva de tiempo de la energía ETC. Con el TDS se observa el espectro de la frecuencia del sonido directo y de una o más reflexiones que se presentan en el cuarto durante cierto intervalo de tiempo.

Con el ETC, se observa la relación entre tiempo – intensidad entre el sonido directo, las primeras reflexiones y el sonido reverberante¹³.

Desde el TDS, Davis deduce que las diferencias de trayectoria entre el sonido directo y el reflejado, se produce el comb filter.

- ✓ Cuanto menor sea la diferencia de la trayectoria entre el sonido directo y reflejado mayor será el intervalo entre las frecuencias en las cuales ocurre cancelación.
- ✓ Cuanto mayor sea la diferencia de la trayectoria entre el sonido directo y reflejado menor será el intervalo entre las frecuencias canceladas.

Esta relación entre sonido directo y reflejado, conducen a Davis a poner absorbente en la pared delantera para interferir en las reflexiones tempranas y difusa la pared trasera para dar lugar a las reflexiones retrasadas, ayudando a no afectar la imagen sonora del ingeniero.

El ITD, Inicial time delay, es introducido por Beranek, es el tiempo entre el sonido directo y la primera reflexión significativa en los oídos. Como en un cuarto pequeño, no se tiene un campo reverberante de los sonidos, la primera reflexión es el interés es la que tiene el nivel más alto que está dentro de 6dB.

1. La frecuencia crítica, juega un papel importante, las etapas de la determinación de la frecuencia crítica es la zona de presión, la zona de los modos normales, la zona de difusión y la zona de absorción.

Seguido de la zona de presión, encontramos los modos normales que estarían entre $f_c/100$ y f_c , en este punto un movimiento de la cabeza del ingeniero puede introducir diferencias de niveles en la imagen sonora del oyente. En este caso se pueden usar trampas de graves para atenuar el problema en cuartos pequeños.

¹³ Davis D; Davis CH. The LEDE 1980; p 585-594.

Luego tenemos la zona de difusión, intervalo entre f_c y $4f_c$ donde las frecuencias son difícilmente de absorber y deben ser difundidas para que se genere una alta densidad de reflexiones espaciadas cerca a los oídos del ingeniero [4].

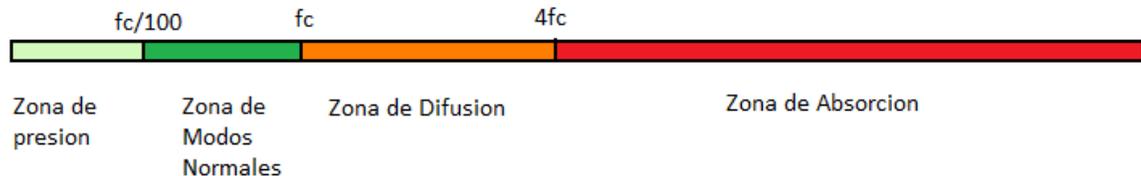


Figura 6. Zonas Criterio LEDE

El área absorbente al frente: Ayuda a eliminar las reflexiones tempranas, problemas de fase relacionados con estas reflexiones y controlar el ITD.

El área difusa atrás: Ayuda a que las reflexiones posteriores de alto nivel se cancelen mientras que proporcionan un ambiente natural.

2.3.1.2.5 Criterio RFZ D'Antonio (1984)

D'Antonio, presentó un método para obtener un cuarto LEDE. Su criterio se basa en la creación de una zona libre de reflejos (RFZ), para llegar a esto, propone ubicar los monitores en una esquina triangular, distribuir material absorbente en las paredes laterales y el techo para minimizar la interferencia de las reflexiones en la posición de mezcla, proporcionar difusores de Schroeder en la parte trasera para poder retornar espacial y temporalmente la energía difusa y así alcanzar el límite vivo [4].

En si el criterio es generar un RFZ, donde la energía predominante de los monitores reduzca la contribución de imágenes virtuales.

Para reducir estas imágenes, los monitores se empotran en la pared frontal. Los ángulos de los reflejos están calculados de tal forma que los rebotes no alcancen al operador y se escuche únicamente el sonido directo de los monitores esta área es llamada zona dulce o área de diamante, que está dispuesta para acomodar a tres personas.

Toda la energía es enviada hacia la parte trasera donde se absorbe por trampa de graves y es espaciada uniformemente por medio de difusores, así el operador recibirá un mínimo de reflejos traseros que regresan muy atenuados y con suficiente retardo que impiden el comb filter.

2.3.1.3 Altavoces

Anteriormente en salas pequeñas como control room, no se tomaba en cuenta la posición de los monitores o el monitor ya que en ese tiempo se realizaban grabaciones monofónicas. Luego llegó la grabación estereofónica y allí fue donde se comenzaron los problemas de las salas, ahora éstas se tenían que acomodar para una grabación estéreo. Se jugó con muchas posiciones de los monitores y el operante dentro del recinto.

La ITU EBU, ha hecho recomendaciones de la posición del altavoz con respecto al punto de escucha [3].

2.3.1.3.1 Posición Estéreo

Según la ITU EBU, los monitores se deben poner con respecto al oyente en un arco de 60 grados (ver figura 7), ya que investigaciones realizadas demuestran que un aumento del arco tuerce la creación de imagen sonora. Los monitores deben localizarse simétricamente para crear una imagen sonora estable, así para cada control room con un triangulo se deberá tomar en cuenta este tipo de triangulo de 60 grados [2].

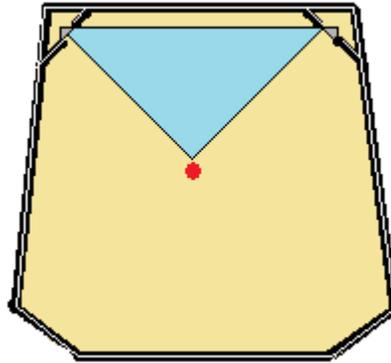


Figura 7. Distancia entre monitores y posición del Ingeniero

La tercera esquina del triángulo indicada por el círculo, está detrás de la posición diseñada para el operante.

Varios diseñadores insisten en tener el triángulo detrás del ingeniero y por otra parte hay diseñadores que prefieren que la tercer esquina quede en la posición del ingeniero. La optimización del tiempo y el plano, entre los monitores es importante en la opción de los altavoces, la optimización del tiempo y de las diferencias planas en la posición dada del altavoz trabaja solamente para la parte mediana entre los altavoces, es decir, en caso de que hayan más oyentes en el cuarto, estos deben ser ubicados detrás del ingeniero en una línea de modo que todos obtengan un buen sonido.

El diseñador Franssen sugiere que los demás oyentes sean ubicados detrás de las líneas del eje de la dirección de los altavoces.

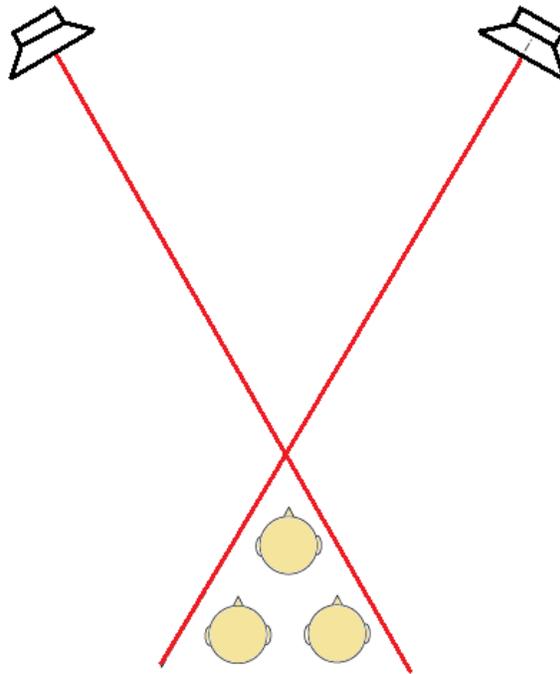


Figura 8. Ubicación de los oyentes según Franssen

A parte del ángulo entre monitores e ingeniero, debe existir un ángulo entre monitores oyente. La EBU, recomienda una distancia entre los altavoces de 2 a 4 metros, por lo tanto el eje entre los monitores debe ser 90% de la distancia entre los altavoces.

2.3.1.3.2 Altura e Inclinación de los altavoces

La altura de los monitores es muy importante, por esto se deben saber completamente las diferentes reflexiones que actúan en el cuarto. La primera reflexión que aparece en un control es la de la consola, que suele ser muy molesta [2].

La ITU, recomienda, localizar el centro acústico de los monitores a la altura del oído, que casi siempre es de 1,2 metros. Los altavoces delanteros a la altura del oído y los posteriores se pueden poner sobre esta altura.

El máximo de inclinación de los monitores recomendados por ITU es de 15 grados.

El máximo de inclinación de los monitores recomendados por la EBU es de 10 grados.

2.3.1.4 Finalización del Diseño

Para diseñar un recinto con calidad acústica, a parte de los modos propios del recinto hay que utilizar técnicas de difusión o absorción.

2.3.1.4.1 Absorción

Uno de los mecanismos para controlar las reflexiones o atenuar aquellas que son demasiado molestas es utilizar absorción. La utilización de material absorbente depende de sus características propias y del rango de frecuencia específico que maneje.

2.3.1.4.1.1 Materiales

Los materiales acústicos son la principal característica para un buen diseño de un recinto de grabación musical. Sus propiedades (absorción, reflexión), son empleadas para acondicionar o aislar la sala.

Sirven como barreras, cerramientos, recubrimiento de superficies y reducción de transmisión sonora.

“El aislamiento acústico es utilizado para impedir la propagación de una onda de un recinto a otro, para ello se utilizan paredes gruesas y materiales reflectores. La pérdida de absorción es la capacidad que tiene una superficie para absorber las ondas sonoras, es representado por TL”¹⁴.

La propiedad de pérdida de energía que presentan los materiales acústicos se debe a su coeficiente de absorción α , que es la relación de la energía absorbida

¹⁴ CARRION Isbert Antoni,; Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Julio 1998. P.75.

del material y la energía acústica incidente sobre el mismo, por unidad de superficie.

Dependiendo de las características del material será su porcentaje de absorción que va del 1% al 100%. El coeficiente de absorción acústica de un material depende de sus propiedades físicas, de la frecuencia de onda sonora y del ángulo con el que la onda incide sobre la superficie.¹⁵

Materiales como tapetes y cortinas son de gran porosidad y por lo mismo de gran absorción, por sus características físicas la alfombra es un material que absorbe en frecuencias altas y la cortina también dependiendo de sus características absorbe en frecuencias bajas.

El yeso, hormigón, vidrio, terrazo y materiales que se le parezcan son reflectantes y con un coeficiente de absorción mínimo de 0,05, especialmente en frecuencias bajas.

El método de Sabine, o método de integración para obtener los coeficientes de absorción de los materiales, consiste en una cámara reverberante, donde el material a medir es chocado por distintas ondas sonoras desde diferentes direcciones, el coeficiente se calcula a partir del efecto medio de la muestra para todos los ángulos incidentes.

Los materiales acústicos presentan una curva de absorción en función de la frecuencia.

Los materiales para recubrir superficies, se clasifican según sus propiedades y su uso. Ver figura 9.

¹⁵ Ibid, Pág. 539.

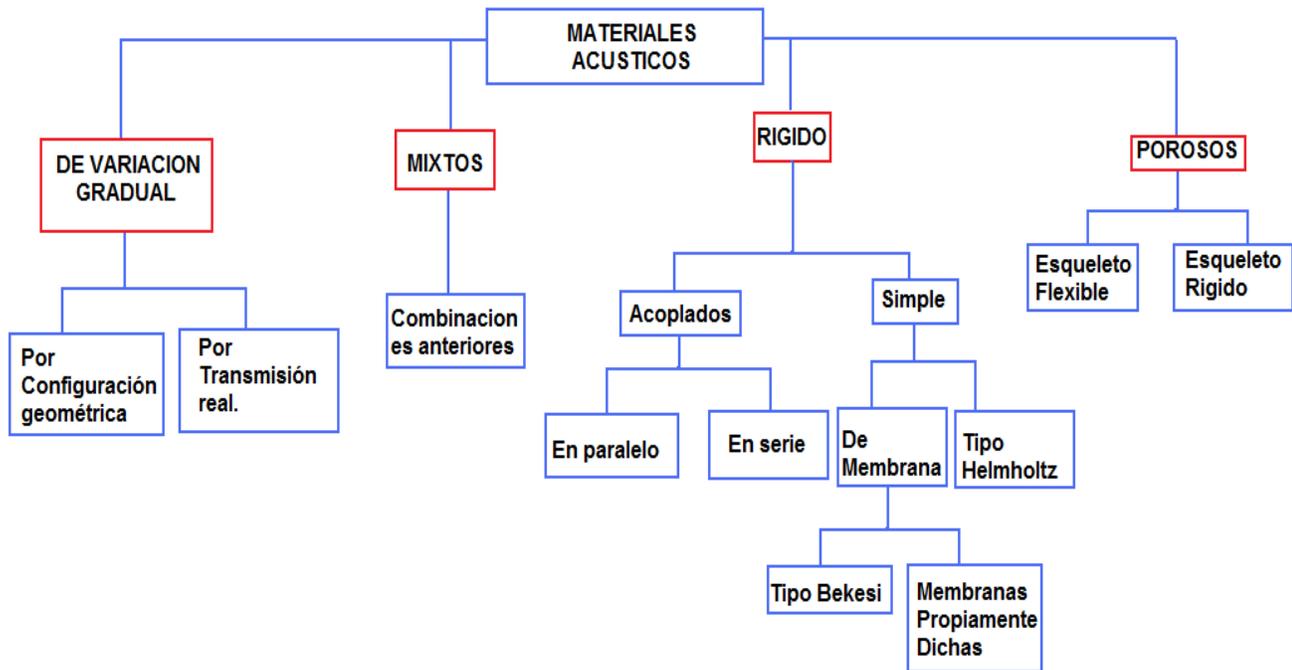


Figura 9. Diagrama de materiales acústicos

✓ **Materiales porosos.**

“Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia entre ésta y la pared. El espesor del material se elije de acuerdo con el valor del coeficiente de absorción deseado, ya que si es demasiado delgado, se reduce el coeficiente de absorción a las bajas frecuencias.”¹⁶

Un absorbente poroso es un material con estructura porosa abierta, la energía acústica entrante es convertida en calor o transferida a calor por la fricción que se genera con las moléculas del material.

La máxima velocidad de una onda estacionaria ocurre a un cuarto y tres cuartos de λ enfrente de una pared rígida, debido a esto el grosor del material es muy importante en cuanto a la efectividad del absorbente.

¹⁶ Ibid, P. 541.

La frecuencia en la cual el absorbente poroso es más efectivo es:

$$f_0 = \frac{C}{4 * d} \quad (14)$$

donde d es el grosor del material en metros.

Este tipo de material se utiliza más que todo solo para absorción de frecuencias altas, se deja un espacio entre el material y la pared y así obtenemos un aumento en la absorción de frecuencias bajas. Un absorbente poroso de baja frecuencia se conoce como trampa para bajos, este tipo de absorbente es muy común para suprimir los modos en un cuarto de control en baja frecuencia, se pone en las esquinas del cuarto para que sean más efectivos.

Para incidencia normal el coeficiente de absorción de una capa porosa puede obtenerse por:

$$\alpha = \frac{4\alpha}{(1 + \alpha)^2} \quad (15)$$

Donde α representa el factor de porosidad de un material.

- **Materiales para argamasa.**

“Son materiales acústicos que se aplican en estado húmedo con paleta o pistola para formar superficies continuas de un espesor deseado. Estos materiales están compuestos de una mezcla de ingredientes secos, a los cuales se les añade un aglutinante líquido.”¹⁷

¹⁷ Ibid, Pág. 543.

- **Sistema de paneles metálicos perforados.**

“Son de aluminio o acero perforado, con un relleno de fibra mineral, siendo este relleno el elemento absorbente del sonido, de unos 3cm de espesor.”¹⁸

- **Sistema de paneles rígidos.**

“Tiene ventajas artísticas y de construcción frente a los materiales porosos, como son resistencias a los golpes, duración, posibilidad de pintado, barnizado, etc.

La absorción de cada elemento del sistema se determina mediante los datos de construcción, tales como tipo de material, dimensiones del sistema, distancia a la que está colocada a la pared, y el resto de su ensamblaje.”¹⁹

- **Absorbentes suspendidos.**

“Se utilizan en algunos recintos, en los que existen pocas superficies susceptibles de colocar materiales absorbentes acústicos. En este caso se suelen emplear unidades de materiales suspendidos libremente en el recinto a cierta de sus superficies límites.

Normalmente toman la forma de láminas planas o pantallas de material absorbente colgadas verticalmente en hileras continuas. La absorción de estos sistemas se calcula normalmente en función de la absorción de cada uno, por el número de unidades. Este valor aumenta con la separación entre los absorbentes y se aproxima a un valor constante con grandes separaciones.”²⁰

2.3.1.4.1.2 Resonadores

Los resonadores son otro tipo de absorción, se presentan como un sistema masa resorte. Existen dos tipos de resonadores los de panel y el de Helmholtz. La

¹⁸ Ibid, Pág. 543.

¹⁹ Ibid, Pág. 543.

²⁰ Ibid, Pág. 543.

principal característica es que pueden ser afinados a una frecuencia específica f_0 en la cual son más efectivos.

- **Resonador de Helmholtz.**

También llamado resonador de raja. Consiste del aire en el cuello del resonador que representa la masa y el volumen de aire que representa el resorte del sistema (figura 10). La masa del cuello y la compliancia con el volumen detrás es el sistema resonador de un absorbente de Helmholtz. Este tipo de resonador se basa en la reducción de energía debido al decrecimiento en la velocidad de partícula de la energía sonora en el aire. Si la resistencia interna del resonador es baja, el ancho de banda efectivo del absorbente es muy pequeño, por eso el factor Q del absorbente es alto.

La frecuencia de resonancia de Helmholtz de un resonador con un cuello cilíndrico es:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} * \sqrt{\frac{A}{l' * V}} \quad (16)$$

$$l' = l + \frac{\pi r}{2} \quad (17)$$

Donde

c: velocidad del sonido [m/s]

A: cuello del área representativa [m²]

l': longitud útil del cuello [m]

l: longitud del cuello [m]

r: radio del cuello [m]

V: volumen detrás del cuello [m³]

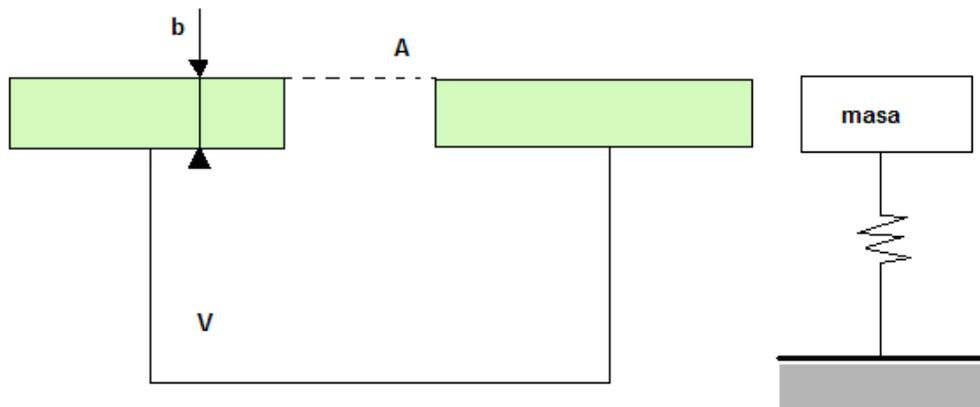


Figura 10. Amortiguador de raja

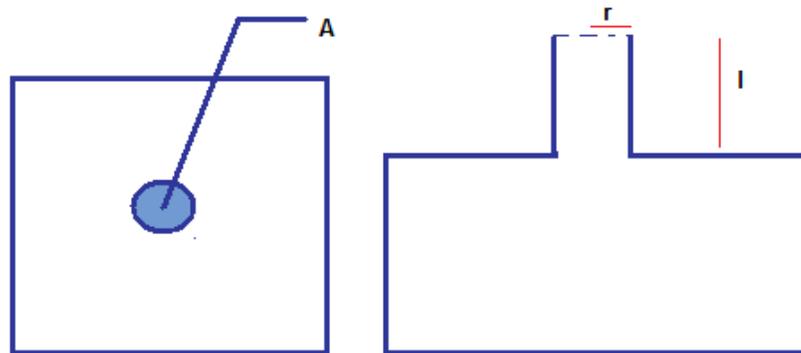


Figura 11. Principio de un amortiguador de raja con cuello cilíndrico

La fórmula general para absorbentes de raja es:

$$f_0 = \left(\frac{C}{2\pi}\right) * \sqrt{\frac{b}{\left(l + \left(2 * \frac{b}{\pi}\right) \left(1,12 + \ln\left(\frac{C}{\pi} * b * f_0\right)\right)\right)}} * A' \quad (18)$$

Donde:

b: anchura de la raja

l: longitud del cuello

A': Área representativa detrás del cuello

La fórmula general para el ancho de banda ΔfH de un resonador de raja es:

$$\Delta fH = \frac{8\pi^3 V f^4}{C^2} \quad (19)$$

Donde el nivel de presión con respecto a la frecuencia sonora es - 3 dB. Este tipo de absorbente, puede ser aplicado a un gran rango de frecuencias, puede llegar a ser un elemento grande dentro del recinto pero tiene la ventaja que puede ser afinado hasta conseguir la frecuencia de resonancia deseada. La forma de afinar el resonador es colocando un micrófono dentro del absorbente y ajustando el ancho de la abertura. Los resonadores deben ser afinados en el sitio específico.

- **Resonadores de Panel.**

Un amortiguador de panel es un amortiguador de baja frecuencia selectivo, en la práctica es el más usado. Un resonador de panel se puede tomar también como un sistema masa- resorte.

“La frecuencia en la cual un amortiguador de panel es más eficaz, es la frecuencia de resonancia f_0 , que depende de la masa del panel y de la distancia entre la

pared y el panel. El ángulo de incidencia, (figura 13), es importante con respecto a la frecuencia del sistema²¹.

Si un panel con una masa m , se coloca delante de una pared con una distancia d y el espacio entre la pared y el panel es aire, la frecuencia de la resonancia se define como:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{md}} \quad (20)$$

Para el ángulo de incidencia:

$$f_0(\zeta) = \frac{60}{\cos(\zeta)\sqrt{md}} \quad (21)$$

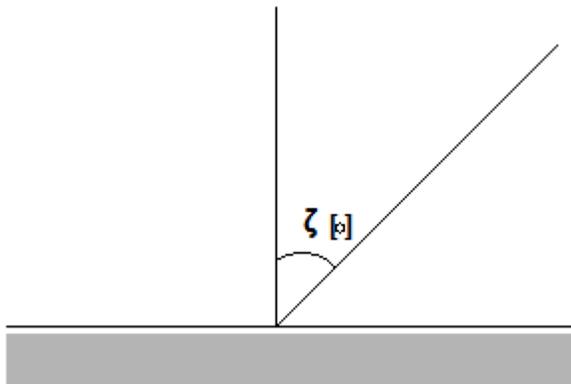


Figura 12. Ángulo de incidencia

Para aumentar la eficiencia del resonador de panel se puede reemplazar el aire por material poroso como la lana mineral, por ello debe ser corregido el factor σ de la

²¹ CARRION Isbert Antoni; Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Julio 1998. P.88.

porosidad. La fórmula para la frecuencia de resonancia en caso de un material poroso es:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\sigma md}} \quad (22)$$

Donde σ , es el factor de porosidad

La absorción de un resonador de panel es principalmente dependiente del ángulo de incidencia y la frecuencia. La ecuación general para la absorción de un resonador de panel es:

$$\alpha(f, \zeta) = \frac{\alpha_{\max}}{\left(1 + \left[2\left(\frac{f_0}{\Delta f H}\right)^2\right]\right)} * \frac{2\cos(\zeta)}{1 + \cos(\zeta)} \quad (23)$$

- **Resonador de 1/4λ.**

“Si tenemos una onda generada por un altavoz, esta se reflejará por la pared trasera y luego llegará al receptor. Esta reflexión no es buena para el ingeniero ya que habrá una interferencia entre el sonido directo y el sonido reflejado. Si ponemos un resonador de panel no ayudaría en nada ya que este ayuda en otros casos específicos. En este caso aplicaría un resonador 1/4λ, (figura 14) ya que ayudaría a mantener la energía y omitiría la reflexión destructiva”²².

Este tipo de resonador es ubicado en la pared trasera, así la energía es lanzada más adelante que cuando debe ser reflejada por la pared. La frecuencia en la que el resonador es eficaz depende de la longitud del pozo. Si el resonador está elaborado para 100 Hz la longitud es de 0,85 metros.

²² CARRION Isbert Antoni; Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Julio 1998. P.123.

La desventaja de este resonador es que es solamente eficaz en una posición específica porque la frecuencia específica de la resonancia en la cual se diseña se basa en la distancia entre cierta posición en el cuarto y la pared.

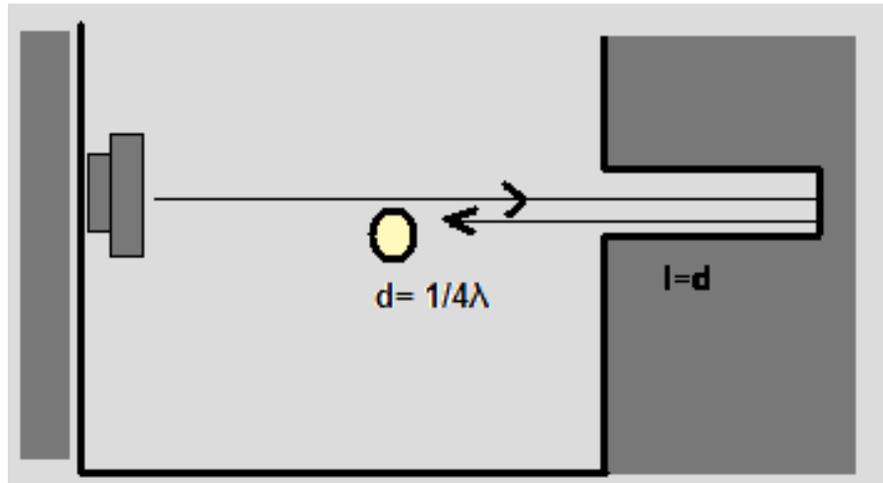


Figura 13. Resonador de $1/4 \lambda$

2.3.1.4.1.3 Difusión

Se han aplicado métodos para distribuir las ondas incidentes dispersándolas en muchos frentes de onda con igual energía sobre un rango angular amplio. Un ejemplo sería alternar paneles absorbentes y reflectantes, paneles curvos, figuras geométricas y rectangulares entre otros.

La difusión convencional es uno de los tipos de difusión que se han venido aplicando. Esta difusión se refiere a técnicas por las que relativamente poca difusión se obtienen solo con el uso de materiales constructivos. El método más práctico para re direccionar una onda es extendiendo la pared. Generalmente son usados grados como 7,5 y 15 grados que son fracciones de 30 grados, aunque no se ha encontrado ninguna base científica para el uso de estos [5].

La difusión se puede obtener alterando materiales con propiedades de superficies como materiales absorbentes o reflejantes, siendo el resultado una pared con acoplamiento o grilla.

Si se ajusta la forma de la superficie de un material se puede obtener algún tipo de difusión. Un ejemplo sería aplicar una capa de cemento yeso áspero a una pared suave de concreto, así se obtendrá difusión en altas frecuencias. Otra técnica llamada principio de 1:4, es la relación $1/4\lambda$, es bastante simple, el ancho del elemento debe ser cuatro veces mayor que la profundidad. Se puede aplicar en forma de zigzag o en superficies convexas. Para agrandar el ancho de banda de la difusión se aplica el mismo principio al elemento en sí, es comparable a la llamada curva de Koch, (Ver figura 15).

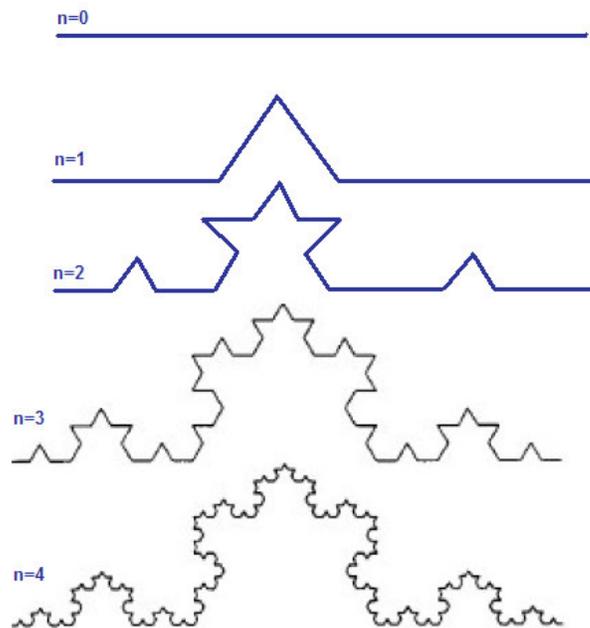


Figura 14. Curva de Koch²³

²³ B.J.P.M Van Muster; Abril de 2004, Acoustics of sound recording control rooms – past, present and future. P.33

Tipos de difusores

- **Difusor de Schroeder.**

Los difusores de Schroeder parten de una teoría numérica propia, esto le permitió construir difusores dimensionales y bidimensionales.

- ✓ **Difusor dimensional o de raíz primitiva (PR):** consiste de un agrupamiento periódico en un arreglo de ranuras o pozos de igual ancho pero diferente profundidad, separados por paredes rígidas y delgadas.
- ✓ **Difusor Bidimensional o de residuo cuadrado (QRD):** consiste en pozos de diferente profundidad y paredes rígidas que los dividen, forman un enrejado o patrón de grilla.

Las profundidades de los pozos son determinados por secuencias matemáticas. Estos difusores son utilizados con frecuencia en salas de concierto, teatros y cuartos de control. Además de la calidad de difusión puede absorber por debajo de la frecuencia de diseño del difusor.

2.3.1.5 Parámetros de Diseño

2.3.1.5.1 Variables Acústicas

2.3.1.5.1.2 Respuesta al Impulso

“Es el comportamiento de una sala frente a un estímulo sonoro en forma de señal impulsional delta o señal de duración muy breve y de amplitud elevada. Las mediciones acústicas se realizan en sala vacía, ya que, esta situación, es más desfavorable en la producción de reflexiones indeseables”²⁴. La respuesta al impulso contiene toda la información de la sala en una posición determinada, de ella se puede obtener la mayoría de las variables acústicas.

²⁴ HIGINI Arau, ABC de la Acústica Arquitectónica. Acondicionamiento acústico de Salas. P.260.

2.3.1.5.1.3 Nivel de Presión Sonora

La presión sonora constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro. Determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora instantánea, es decir, cuando el sonido alcanza a una persona en un momento dado, este varía de 0 dB umbral de audición a 120 dB umbral de dolor, llamado decibelio, que se utiliza para comparar la presión sonora, en el aire, con una presión de referencia. Este nivel de referencia tomado en Acústica, es una aproximación al nivel de presión mínimo que hace que nuestro oído sea capaz de percibirlo. El nivel de referencia varía lógicamente según el tipo de medida que estemos realizando, ya sea presión acústica, intensidad acústica o potencia acústica.

El nivel de presión sonora está determinado por:

$$NPS = 10 \text{ LOG} \left(\frac{P}{P_o} \right) \quad (24)$$

Donde:

P es el valor eficaz de la presión sonora medida y P_o es el valor eficaz de la presión sonora de referencia fijado en $2 \cdot 10^{-5}$ [N/m²].

2.3.1.5.1.4 Tiempo de Reverberación

Llamado RT, es el tiempo que pasa en un recinto desde la emisión de un sonido hasta que la intensidad del mismo disminuye, es decir, que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 dB por debajo del valor inicial del sonido. Medido bajo la norma ISO 3382.

El RT se mide en forma frecuencial, esto se debe a que el tiempo de reverberación está determinado por el volumen de la sala y por las superficies con sus

coeficientes de absorción. Si las superficies son muy reflectoras, es decir, poco absorbentes, se necesita que existan más reflexiones para que el sonido desaparezca y así se obtenga un RT mayor. Si son superficies absorbentes, con pocas reflexiones se obtiene un RT bajo.

La duración del tiempo de reverberación depende del tipo de material de la superficie, un ejemplo sería, si se tiene una superficie de hormigón el RT será alto, pero si es de cortina o alfombra su RT será bajo dado que su absorción es alta.

El tiempo de reverberación puede ser medido o hallado teóricamente, por medio de la fórmula de Clement Sabine.

$$T = 0,163 * \frac{V}{A} \quad (24)$$

V = Volumen de la sala en m³

A = Superficie de Absorción en m²

Como norma cuanto mayor es el volumen del recinto mayor es el RT. Si los materiales que lo componen internamente son poco absorbentes el RT también aumentará.

Cuando se emite un sonido, se descompone en sonidos directos y en sonidos reflejados. Los sonidos directos son percibidos antes, ya que se mueven en línea recta con poca intensidad. Los sonidos reflejados vienen después de los directos después de rebotar en los bordes de una sala. Finalmente hay una atenuación total del sonido, por absorción en el aire y en las superficies. Esta atenuación puede ser medida gracias a un sonómetro.

“El tiempo de reverberación depende además de la forma del recinto, de las posiciones de la fuente sonora y de los materiales absorbentes, no siendo

constante para todas las frecuencias, ya que la absorción sonora tanto en el aire como en las superficies interiores depende de la frecuencia.

Generalmente, con fines prácticos, los cálculos de tiempo de reverberación se hacen en octavas para frecuencias de 125, 250, 500, 1k, 2k y 4k Hz.²⁵

Las especificaciones de materiales absorbentes presentados por los fabricantes están dadas en el rango de 125 a 4khz.

2.3.1.5.1.5 EDT (Early Delay Time)

Es el valor del tiempo de reverberación extrapolado por la sección de decaimiento de la señal de 0dB a -10dB por debajo del nivel inicial. Es el tiempo que le toma al sonido en decaer 10dB después de apagada la fuente, según la pendiente el R_t es calculado como el tiempo que demora en llegar a los -60 dB.

En una sala con difusión homogénea del sonido, lo que implica la existencia de una distribución uniforme de reparto, de la absorción en esta, la caída del nivel de presión sonora es prácticamente lineal. Por tanto en esta situación no habrá ninguna diferencia entre los valores del R_t y EDT obtenidos. Cuando se tiene una distribución no uniforme de la absorción en el recinto, y este es el caso real de todas las salas, los valores de EDT son generalmente menores que los del R_t ²⁶.

Igual que en el caso del T , el EDT varía en función de la frecuencia y se mide siguiendo el método de Schroeder o cualquier otro procedimiento de medición alternativo [6].

El EDT, está más relacionado con la impresión subjetiva de la reverberación de un recinto que el R_t . Esto significa que una sala con unos EDT sustancialmente

²⁵ Acústica Arquitectónica tiempo de reverberación.

²⁶ HIGINI Arau, ABC de la Acústica Arquitectónica. Condicionamiento acústico de Salas. P.264.

menores que los R_t sonoro, desde un punto de vista subjetivo, más apagada para música, pero más inteligible para la voz.

2.3.1.5.1.6 ITDG (Initial Time Delay Gap)

Es el intervalo existente entre la llegada del sonido directo y la primera reflexión significativa en dicho punto, considerando las bandas de frecuencia entre 125Hz a 4KHz. El valor recomendado de este parámetro varía según distintos autores. Para estudios de grabación conviene que sea mínimo de 15ms [6].

2.3.1.5.1.7 Claridad (C80) dB

Es la proporción expresada en dB, entre la energía temprana que se recibe en los primeros 80ms, y la energía tardía que se recibe después de este periodo de tiempo. Mientras más alto sea este valor, la impresión sonora es más clara, debido a que es difícilmente perturbada por el sonido difuso tardío.

$$C80 = 10 \text{LOG} \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (25)$$

Un C80 alto, significa que la energía sonora inmediata es muy superior a la tardía, por lo que el sonido es muy claro. Esto quiere decir que entre los primeros 80ms se producen muchas más reflexiones que provienen de paredes o techos próximos al oyente, cuando esto sucede, generalmente obtendremos que el tiempo de reverberación inmediato, dentro de los primeros 10dB de caída, llamado EDT será mucho más pequeño que el tiempo de reverberación medio del recinto [6].

2.3.1.5.1.8 Definición (D50)

Es la relación entre la energía temprana; en los primeros 50 ms y la energía total. Los valores de D50 tiene un rango que va de 0 a 1, mientras más alto sea este valor más será sentida la señal.

Se requiere al grado en el cual los sonidos individuales en una presentación musical pueden ser diferenciados los unos con los otros.

$$D50 = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (26)$$

Donde $p(t)$, es el valor de la presión sonora instantánea en punto receptor, producido por un impulso emitido desde una fuente sonora. La integración se inicia con la llegada de la energía sonora directa en el punto receptor, un valor bajo de la definición implica que la energía sonora reflejada que se produce dentro de los 50 ms, después de la llegada del sonido directo, es pequeña en relación a la energía sonora reflejada total que alcanza al punto receptor [6].

Un recinto con un índice de definición pequeño se percibe como poco íntimo y normalmente esto se debe a un exceso de tiempo de reverberación, es decir que la sala sea muy viva.

2.3.2 Mediciones

2.3.2.1 Medición de variables acústicas

2.3.2.1.1 Condiciones de Medición

✓ Equipos

- Fuente Sonora
- Micrófonos y filtros. El equipamiento debe cumplir con las especificaciones de un Sonómetro tipo 1 (IEC 651). El micrófono debe ser omnidireccional y demasíadamente pequeño. Los Filtros de 1/1 oct o 1/3 oct, debe cumplir con la norma IEC 1260.

- Grabadora. Durante la grabación se excluirá cualquier tipo de control automático de ganancia para no alterar la verdadera pendiente de la curva de decaimiento.

La grabación debe ser lo suficientemente larga como para identificar el nivel de ruido de fondo que sigue al decaimiento. Esta debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Respuesta plana sobre el rango de medición, con tolerancia de +/- 3dB.
- Rango dinámico suficiente para la correspondiente banda de frecuencias. Para el método del ruido interrumpido debe proporcionar $S/N \geq 50\text{dB}$.

Para conformar la curva de decaimiento, debe usar un dispositivo que tenga cualquiera de las siguientes opciones. Promedio exponencial, que tenga como salida una curva continua o una secuencia de muestras discretas obtenidas de una media continua.

Otra opción puede ser una ponderación lineal, teniendo como salida una sucesión discreta de promedios lineales y en algunos casos con pequeñas pausas entre el proceso de promedio.

2.3.2.1.2 Posición de Medición

Los puntos de medición deben estar separados como mínimo a una distancia equivalente a media longitud de onda, para rangos de frecuencia de 125Hz – 4KHz la distancia debe ser de 2m.

La distancia de una posición de micrófono a cualquier superficie reflectante incluyendo el piso debe ser de 1m, no debe ubicarse cerca de la fuente sonora para evitar la influencia del sonido directo.

La distancia mínima está determinada por:

$$D_{\min} = 2 * \sqrt{\frac{V}{CT}} \quad (27)$$

Donde:

V= es el volumen del recinto [m^3].

C= es la velocidad del sonido [m/s].

T= es el tiempo de reverberación estimado [seg].

Para mediciones menos complicadas o rigurosas, si se quiere evaluar la absorción para efectos de control de ruido o para medir el tiempo de reverberación en proyectos de refuerzo sonoro, usar dos posiciones de fuente sonora y 3 ó 4 posiciones de micrófono representativas.

2.3.2.1.3 Procedimiento de Medición

La medición se realiza en bandas de octava. Se utiliza una señal aleatoria o pseudo aleatoria, la excitación de la sala debe ser larga para producir un campo sonoro estacionario.

De acuerdo a la cobertura requerida se elige el número de puntos de micrófono, la aleatoriedad de la señal obliga a promediar varias mediciones en cada posición del micrófono con el objetivo de alcanzar una repetitividad aceptable. El mínimo es de tres mediciones por posición, promediando los resultados.

Existen varios métodos para conseguir la respuesta al impulso de un recinto. Uno de ellos es la integración de la respuesta impulso, es obtenida para cada banda de octava, con las siguientes técnicas, se minimiza el efecto del ruido de fondo al final de la respuesta al impulso.

Cuando no se conoce el nivel de ruido de fondo se efectúa la integración reversa utilizando un tiempo de integración fijo deslizable, T_0 .

$$T_o = \frac{T}{5} \quad (26)$$

Donde T es un tiempo de reverberación estimado.

Si se compara con el T real y difiere por más de un 25%, se cambia el tiempo de integración y luego se repite el proceso. El tiempo de integración inicial no debe ser inferior al tiempo de reverberación y el nivel de ruido de fondo debe estar más allá de 10dB del rango inferior de evaluación.

Cuando se conoce el nivel de ruido de fondo, el punto de inicio de la integración t_1 , se encuentra interceptando entre una línea horizontal asociada al ruido de fondo y una línea recta de una parte representativa de la respuesta al impulso.

La curva de decaimiento se calcula por medio de:

$$E(t) = \int_{t_1}^t p^2(\tau) d(-\tau) + C \quad (29)$$

El tiempo de reverberación del recinto, debe ser el valor del promedio que se obtendrá por la media aritmética de los tiempos de reverberación o por el ensamble promediado de las curvas de decaimiento.

La presentación de resultados, se hará por medio de tablas y curvas. El RT se representa en un gráfico y en una tabla.

El certificado de ensayo, establece que las mediciones se han realizado en conformidad a esta normativa, debe incluir, el nombre y locación del recinto, un plano de la sala, el volumen, estado de ocupantes durante la medición, descripción del uso de equipos variable, el tipo de fuente sonora y las

posiciones utilizadas, una descripción del tipo de señal utilizada, cobertura utilizada (posición de los micrófonos con la altura que se utilizó), descripción de los equipos de medición (fuente sonora, micrófono), fecha de medición e identificación de la empresa encargada de las mediciones.

Este pequeño resumen de la norma ISO 3382, se basa en los parámetros de tiempo de reverberación de recintos cerrados que se requieren para el proyecto.

2.3.2.2 Medición para aislamiento del ruido aéreo entre recintos “in situ”

Según las normas IRAM 4063-4 y norma española UNE-EN 140-5, los pasos para la medición de ruido aéreo entre recintos, se lleva a cabo de la siguiente manera.

- Se debe utilizar mínimo cinco posiciones fijas que se deberán distribuir uniformemente a lo largo de todo el espacio útil de cada recinto.
- Mínimo se deben realizar 10 mediciones empleando posiciones fijas de micrófono
- Para obtener el nivel de presión sonora medio se sitúa un micrófono en cada posición.
- Los niveles de presión sonora en las diferentes posiciones del micrófono deben promediarse de forma energética para todas las posiciones del micrófono.
- Para cada posición individual de micrófono, el tiempo de integración debe ser al menos de 6 segundos.

- El nivel de presión sonora debe medirse utilizando filtros de tercio de octava teniendo las siguientes frecuencias centrales: 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000 y 5000 Hz.
- Es necesario hacer una corrección de ruido de fondo, midiendo los niveles para asegurar que las observaciones en el recinto receptor no estén afectadas por sonidos ajenos, como sonidos del exterior, ruido eléctrico en el sistema de captación o diafonías eléctricas entre el sistema de emisión y recepción. El nivel de ruido debe ser al menos de 6 dB (y preferiblemente 10 dB) menor que el nivel combinado de señal y ruido de fondo. Si la diferencia de niveles es menos que 10 dB pero mayor que 6 dB, se calculan las correcciones de acuerdo con la ecuación:

$$L = 10 \text{LOG}(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) [dB] \quad (30)$$

Donde:

L= nivel de la señal corregido, en decibeles.

L_{sb}= nivel combinado de señal y ruido de fondo, en decibeles.

L_b= nivel de ruido de fondo, en decibeles.

2.3.3 Aislamiento del Sonido Transmitido por Aire

El sonido transmitido por el aire es lo que normalmente se llama ruido aéreo, si se pone una barrera entre dos recintos para conseguir un aislamiento al ruido aéreo, la transmisión del ruido de un sitio a otro se puede realizar por distintos caminos, (figura 16).

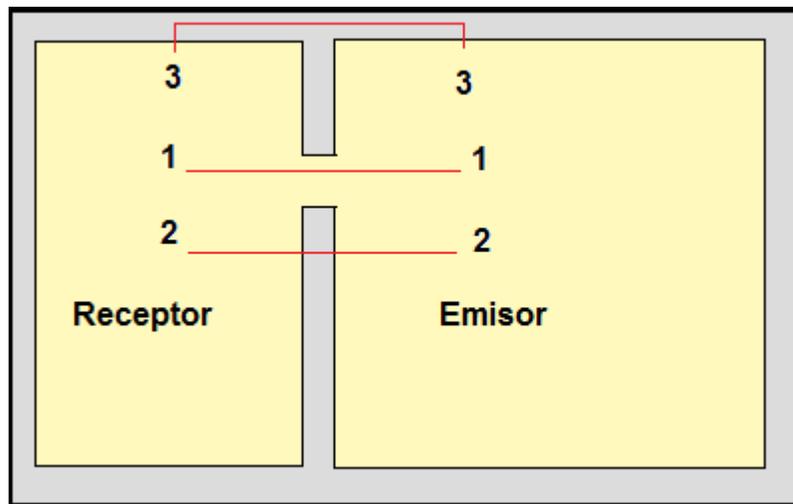


Figura 15. Transmisión vía aérea y estructural

- Por vía directa 2, que se puede descomponer en dos causas principales.
 - ✓ La porosidad a través de fisuras o grietas.
 - ✓ El efecto de diafragma, es decir, flexión bajo el efecto de la presión sonora, como en una membrana.
- Por vías indirectas, como conductos 1 y paredes adyacentes 3.

2.3.3.1 Aislamiento de paredes simples

Una pared simple es aquella que no está formada por varias paredes independientes, es decir, no es necesario que sea una pared homogénea o de un solo material, sino que debe cumplir que los puntos situados sobre una misma normal no modifiquen su distancia mutua cuando la pared realice vibraciones.

Para obtener un buen aislamiento acústico, estas paredes se deben construir de acuerdo con los siguientes puntos:

- a) Suficientemente pesadas.
- b) Débilmente rígidas.
- c) Estancas de aire.

2.3.3.2 Ley de Masa y de frecuencia (Ley de Berger)

En una pared simple, la ley de Berger, indica que el aislamiento acústico es mayor cuanto mayor sea su masa superficial, es decir, entre más pesada sea la pared, también se mejorara el aislamiento para altas frecuencias.

La expresión de esta ley es:

$$D = 20 \text{LOG} \left(\frac{\omega m}{2Z} \right) [\text{dB}] \quad (31)$$

Donde:

ω = Pulsación [$\omega = 2\pi f$] (Hz).

m = Masa superficial (kg/m²).

Z = Impedancia acústica del aire (Rayls).

Si se grafica el resultado de la expresión, nos da el aislamiento acústico en función de la masa superficial, para una serie de frecuencias dadas. Esta ley nos dice que duplicando la masa se consigue una mejora de 6 dB en el aislamiento teóricamente.

2.3.3.3 Aislamiento real de paredes simples

La ley de masas sólo se cumple en un intervalo de frecuencias que está determinado por dos frecuencias características de una pared real y en el entorno de los cuales no se cumple la ley de masas, con una reducción notable del aislamiento acústico.

- La frecuencia natural del sistema (f_0) como un todo, que depende de la masa de la pared y de las sujeciones perimetrales de la hoja.

- La frecuencia crítica o de coincidencia f_c , en la cual las ondas incidentes coinciden en frecuencia con las ondas longitudinales de flexión de la pared.
- Esta frecuencia depende exclusivamente del material de la pared y de su espesor, según la expresión:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi d} \sqrt{\frac{12\rho}{E}(1-\mu^2)} \quad (32)$$

Donde:

c = Velocidad del sonido en el aire (m/s).

d = Espesor de la pared (m).

ρ = Densidad del material de la pared (kg/m³).

μ = Coeficiente de Poisson.

E = Módulo de Young (N/m²).

Existen tres zonas donde el aislamiento acústico está gobernado por diferentes factores:

- La zona de 'dominio de la elasticidad' ($f < f_0$), que corresponde en general a muy bajas frecuencias y con un aislamiento descendente hasta f_0 , donde es casi nulo.
- La zona de 'dominio de la masa', que sí está gobernada por la ley de masas, caracterizada por $f_0 < f < f_c$ aproximadamente, donde:

$$R = 20\text{LOG}(mf) - 42[\text{dB}] \quad (33)$$

- La zona de 'dominio del amortiguamiento interno', que corresponde a $f > f_c$, en la cual el aislamiento baja de modo considerable hasta f_c y aumenta desde ese valor de un modo progresivo. En esta zona, el factor que gobierna las variaciones del aislamiento es el amortiguamiento interno (η)

del material, es decir, la capacidad del material para absorber energía de vibración a las ondas de flexión.

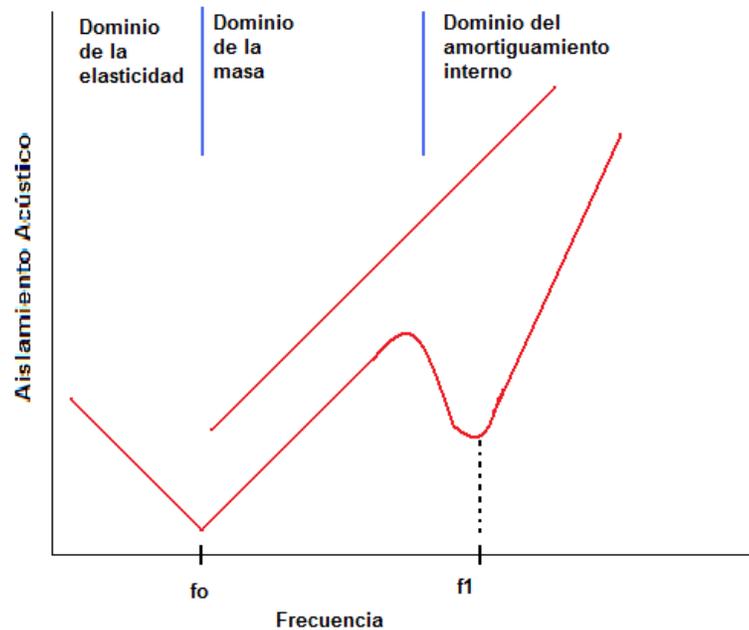


Figura 16. Aislamiento de paredes simples

2.3.3.4 Aislamiento Paredes múltiples

Si tenemos una pared de masa 'm', y la dividimos en dos tabiques de masas $m_1 + m_2 = m$ y las separamos determinada distancia 'd', la unión de estos ofrecerá un aislamiento acústico superior a la pared simple de masa equivalente.

Para este método se puede utilizar materiales ligeros y blandos, es decir, con f_0 elevada. En este caso, el análisis del aislamiento, nos lleva a la aparición de frecuencias en el entorno de las cuales existe una fuerte reducción del aislamiento. La 'frecuencia natural del sistema' y de las 'frecuencias de cavidad', dan lugar a zonas dominadas por diversos factores de influencia.

- La frecuencia natural del sistema (f_0), se refiere a un conjunto de masas m_1 y m_2 , unidas por un resorte de rigidez K .

- Este sistema de masa-muelle-masa, con la capacidad de vibrar, posee una frecuencia de resonancia propia que viene definida por la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K \frac{m_1 + m_2}{m_1 * m_2}} [Hz] \quad (34)$$

Donde:

K = Rigidez del medio separador (N/m³).

m₁ y m₂ = Masas de los elementos (kg/m²).

El medio separador puede estar constituido por aire, por un material determinado o un sistema mecánico. Si el medio lo constituye el aire, la frecuencia de resonancia viene dada por la expresión:

$$f_o = \frac{615}{\sqrt{d}} \sqrt{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} [Hz] \quad (35)$$

Donde:

d = Espesor de la capa de aire (cm).

m₁ y m₂ = Masas superficiales, en kg/m².

La frecuencia f_o será baja si las masas o la distancia entre ellas sea mayor. Para esta frecuencia, el aislamiento acústico es muy bajo, prácticamente nulo; por tanto, se debe conseguir que esta frecuencia sea lo más baja posible, ya que la sensibilidad del oído disminuye al disminuir la frecuencia.

Normalmente se busca que esta frecuencia esté por debajo del campo de medida (100 Hz).

Algunos estudios aconsejan que esta frecuencia sea menor de 75 Hz, y otros, más exigentes, recomiendan que sea menor de 60 Hz. Para estos dos casos, se obtienen las relaciones prácticas siguientes:

- La zona de dominio de la elasticidad ($f < f_0$), en que el comportamiento del sistema es idéntico al de una sola hoja de masa $m_t = m_1 + m_2$. Precisamente para $f = f_0$, el aislamiento es casi nulo.
- La zona de dominio de las masas ($f_0 < f < f_{\text{cavidad}}$). Para frecuencias superiores a la frecuencia de resonancia, es donde realmente se aprecia la ventaja de la doble pared, ya que para una masa equivalente a la pared simple la mejora del aislamiento teórica alcanza los 18 dB al duplicar la frecuencia, en vez de 6 dB.

El nivel de aislamiento obtenido en esta zona de frecuencias, teóricamente puede calcularse mediante:

$$R = 20 \text{LOG} \left(\frac{m_1 * m_2 * d}{2 \rho^2 C^3} \right) * \omega^3 \quad (36)$$

Donde:

m_1 y m_2 = Masas de elementos (kg/m²).

d = Espesor de la capa de aire (m).

ω = Frecuencia angular $\omega = 2\pi f$ (Hz).

ρ = Densidad de aire (kg/m³).

c = Velocidad del sonido en el aire (m/seg).

Este valor queda reducido en torno a las zonas en que las masas m_1 y m_2 , tengan sus frecuencias críticas o de coincidencia, ya que en esas frecuencias cada una de las láminas será muy transmisora del sonido.

Con los siguientes procedimientos se puede obtener una mejora del aislamiento:

- Haciendo que ambas partes, si son del mismo material, no sean iguales de espesor, para evitar el efecto de acoplamiento en una misma frecuencia crítica.
- Planteando que los materiales de las partes sean diferentes, especialmente que uno de ellos sea blando a la flexión (cartón-yeso), para que al menos una de las partes tenga una frecuencia crítica elevada o mayor a 3KHz, donde el aislamiento sea tan importante que no presente dominios negativos estimables.
- El límite ideal es la disposición de ambas partes con materiales blandos a la flexión. Este es el caso de la tabiquería de montaje en seco, con placas de cartón - yeso.
- Los procedimientos anteriores se deben complementar con un elemento absorbente interno en el interior de la cámara de aire como la lana de vidrio. El efecto de este elemento absorbente es conseguir un desacople de ambas partes y una absorción de la energía acústica que se transmite de la parte excitada por la vibración sonora, hacia la segunda.
- La zona de dominio de las resonancias de cavidad, gobernada exclusivamente por la distancia (d). En esta zona el aislamiento baja fuertemente en el entorno de cada:

$$d = n * \frac{\lambda}{2} = n * \frac{C}{2f} \quad (37)$$

Donde:

c = Velocidad del sonido (m/s).

n = Número entero (1, 2, 3...).

d = Distancia en capas (m).

f = Frecuencia (Hz).

Para estas frecuencias, el sistema se comporta como una masa única $m_t = m_1 + m_2$, ya que ambas partes se acoplan acústicamente, desapareciendo así el efecto aislante de la pared doble. La solución a este problema es la presencia de elementos absorbentes en la cavidad como la lana de vidrio, que amortiguará la fuerte caída del aislamiento, por absorción de buena parte de la energía de resonancia en la cavidad, (figura 18).

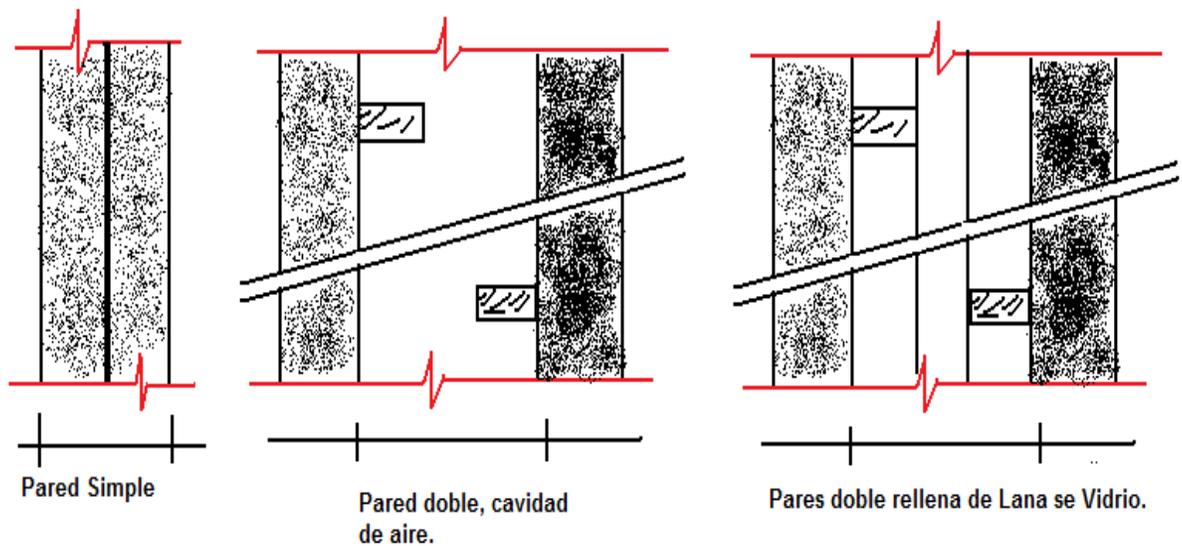


Figura 17. Tipos de Paredes (Simple, Doble con cavidad de aire, doble rellena de lana de vidrio).

2.3.4 Criterios de Ruido

Para describir el ruido en los edificios, es usado un conjunto de curvas en la banda de octavas, conocidas como curvas de Criterio de Ruido o Curvas NC, PNC ó NR. Estas clasificaciones son muy utilizadas para especificar los niveles de presión sonora máximos en los recintos. Estos criterios proveen un modo particularmente

específico de clasificación de los niveles de ruido e inclusive de un espectro del comportamiento de un recinto.

2.3.4.1 Criterio NC (Noise criteria)

Este criterio data de 1957, es fundamental en espacios cerrados para la buena inteligibilidad de la palabra, el placer de escuchar música o ambos.

Este criterio de ruido se utiliza por la necesidad de hallar y evaluar las condiciones de ruido existentes en espacios cerrados y para enunciar las especificaciones de control de ruido en los mismos²⁷.

También son usados para calificar salas de conferencias, teatros, cinematógrafos, estudios de grabación y sus controles, etc. Las curvas consideran la menor sensibilidad del oído en frecuencias bajas.

La forma de la curva muestra la gravedad del problema a resolver en un recinto, y permite comparar la medición realizada con una curva de criterio, (figura 19).

Las cifras estandarizadas de NC, para diferentes recintos son:

Tabla 3. Niveles de presión acústica, correspondiente a la curva NC20

<i>Niveles De Presión Acústica, correspondiente a la curva NC 20</i>						
	FRECUCENCIA (Hz)					
Nivel de Presión Acústica (dB)	125	250	500	1000	2000	4000
	40	33	26	22	19	17

²⁷ RUFFA Francisco. Ruido aéreo, Criterios de Ruido. P.47.

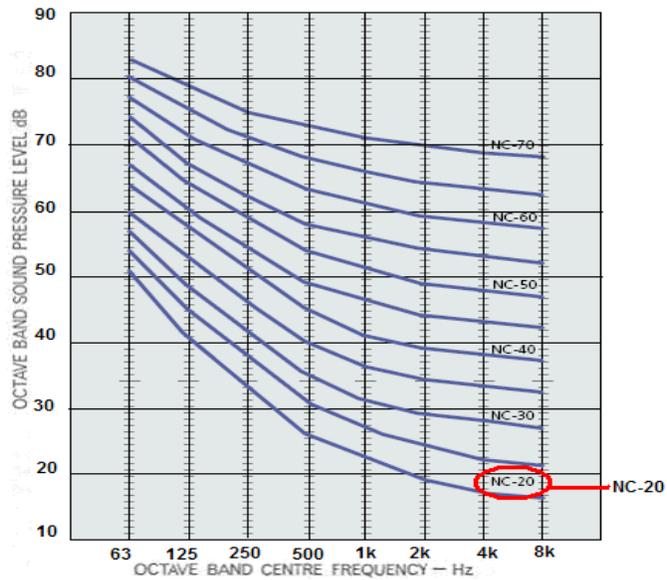


Figura 18. Curva criterio NC

2.3.4.2 Curvas PNC (Preferred Noise Criteria – Bolt; Beranek y Newman).

Estas curvas son una derivación de las curvas NC, con algunas correcciones:

- El cambio de niveles en la octava de 63 Hz.
- El remplazo de niveles para las octavas de 500, 1000 y 2000 Hz, a fin de corresponderlos con los criterios de interferencia de la palabra.
- El ajuste de los niveles en las octavas bajas, para correlacionarlos con la información actualizada del umbral de audición para ruido continuo.

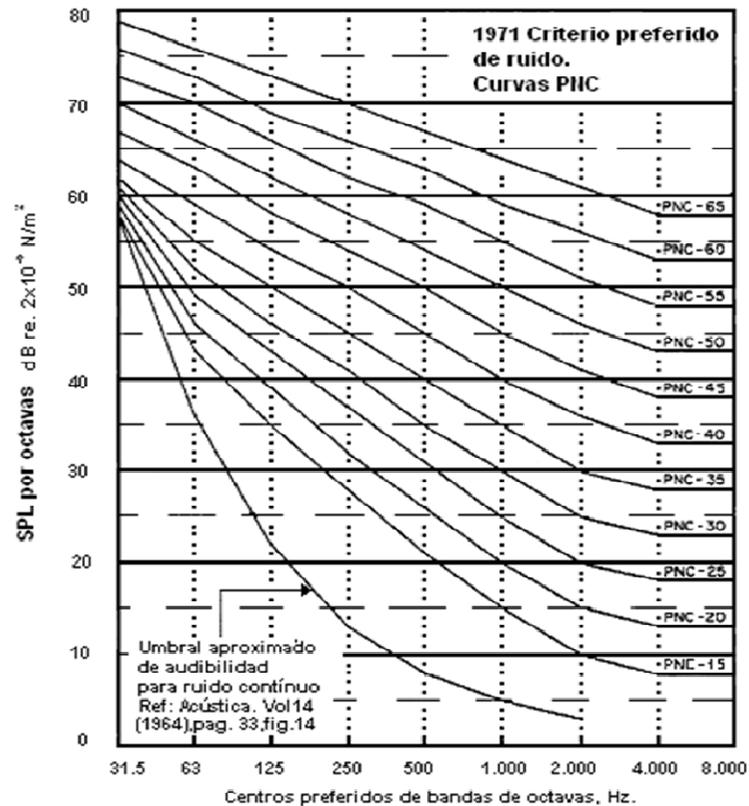


Figura 19. Curvas de criterio PNC

2.3.4.3 Curvas NR (Noise Rating).

Estas curvas (tabla 4), son de origen europeo (Costeen y Van Os) y están parcialmente adoptadas por ISO. Son muy similares en la forma a las curvas NC, pero se extienden hasta presiones sonoras superiores.

Estos perfiles de ruido promediado, se trazaron para mostrar como el nivel sonoro que se considere tolerable debería variar con la frecuencia. Dependiendo del uso, existen diferentes curvas que se expresan con un sólo número NR.

Tabla 4. Curva del grado de Ruido.

CURVA DEL GRADO DE RUIDO	APLICACIÓN
NR 25	Salas de Conciertos, estudios de Grabación e Iglesias.
NR 30	Viviendas privadas, hospitales, teatros, cines, Sala de conferencias.
NR 35	Bibliotecas, museos, escuelas, teatros, hoteles, oficinas.
NR 40	Restaurantes.
NR 45	Supermercados.
NR 50	Oficinas con Maquinarias.
NR 60	Trabajos de Ingeniería.
NR 70	Fundiciones, trabajos pesados de Ingeniería.

2.3.4.4 Curvas RC (Room criteria)

“La forma de estas curvas difiere de las curvas NC o NR tanto en las bajas como en las altas frecuencias. Un ruido cuyo espectro se ajuste a una de ellas resultará equilibrado, al contrario de lo que sucede con las curvas NC y NR. Si además, la intensidad no es alta, es decir es agradable al oído, interfiere en la comprensión de la voz humana menos que cualquier otra de la misma intensidad ponderada pero de espectro más separado de la curva”²⁸, (figura 21).

En 1981, debido a la proliferación de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC systems), Blazer realizó un estudio empírico del ruido, analizando diseños acústicos y funcionamiento de sistemas.

²⁸ RUFFA Francisco. Ruido aéreo, Criterios de Ruido. P.49.

Estas curvas están basadas en los valores de nivel de presión sonora obtenidos para las frecuencias centrales de las octavas que van de 31.5 Hz a 4000 Hz e integradas por dos descriptores:

Primer descriptor: Está determinado por un número que representa el nivel del espectro de interferencia de la palabra (SIL), obtenido como el promedio aritmético de los niveles de ruido en las octavas de 500, 1000 y 2000 Hz.

Segundo descriptor: Consiste en una letra que indica la calidad del sonido contada por un observador.

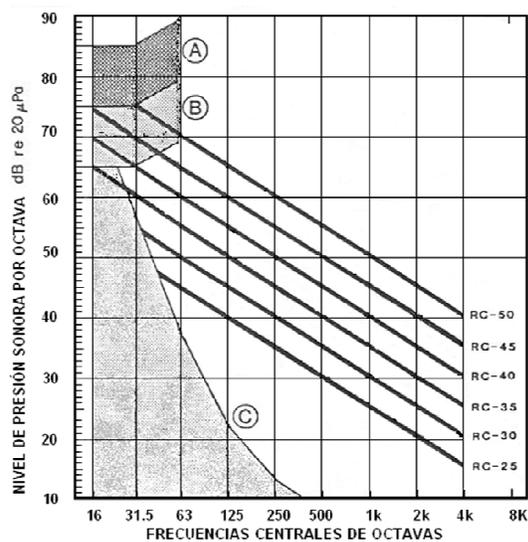


Figura 20. Curvas RC (Room Criteria - 1957)²⁹.

2.3.5 Equipos para un Sistema de Grabación de un Control Room

2.3.5.1 Transductores de entrada

En una cadena de seguimiento el primer elemento de grabación para conocer es el micrófono.

²⁹ RUFFA, Francisco. Ruido aéreo, Criterios de Ruido. P.49.

2.3.5.1.1 Micrófono

Es uno de los elementos más esenciales en el mundo de la grabación musical. Este transductor es un dispositivo que convierte energía acústica en eléctrica, o presión sonora en tensión.

Existen varios tipos de micrófonos que presentan diversas características en su respuesta en frecuencia y direccionalidad.

Los patrones direccionales (figura 22), están destinados a una aplicación específica, micrófono cardioide es bastante direccional, ver figura 22 se pierde sensibilidad en dirección opuesta a su estado principal, es utilizado para tomar la señal sonora de una fuente determinada que se encuentre estable.

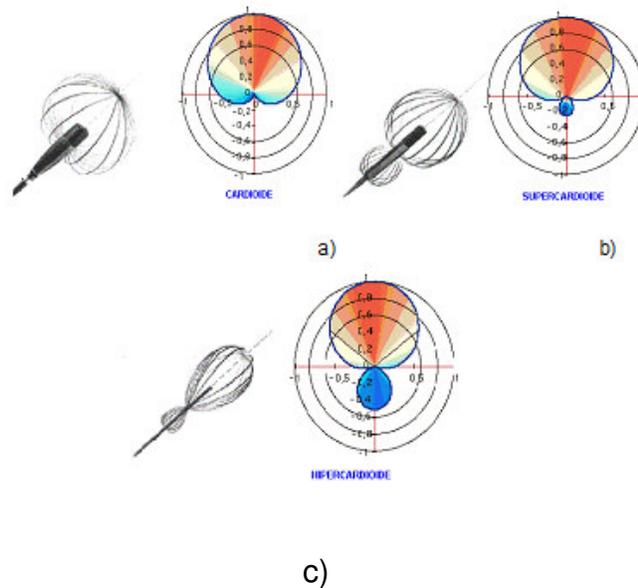


Figura 21. a) Cardioide, b) Supercardioide, c) Hipercardioide. www.lexon.net.

El patrón omnidireccional, tiene la misma sensibilidad en todas las direcciones y tiene menor variación polar con la frecuencia, es utilizado para capturar el sonido ambiente de un recinto.

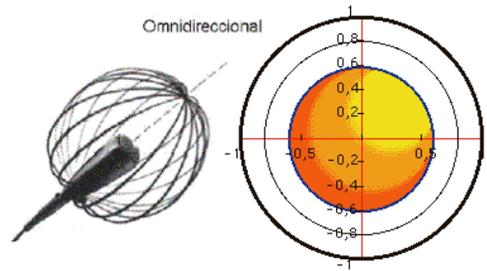


Figura 22. Omnidireccional. www.lexon.net

Otro patrón polar es el de figura de ocho, también llamado bidireccional. Tiene la misma direccionalidad en ambos lados paralelos. Se utiliza para tomar señales estereofónicas, colocando dos micrófonos a 90° entre si. Es esencial para captar coros.

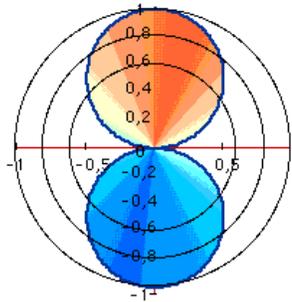


Figura 23. Bidireccional o figura de 8. www.videocomputer.com

Existen varios tipos de micrófonos, los más utilizados en las ciencias de la grabación son:

- Micrófonos Dinámicos:

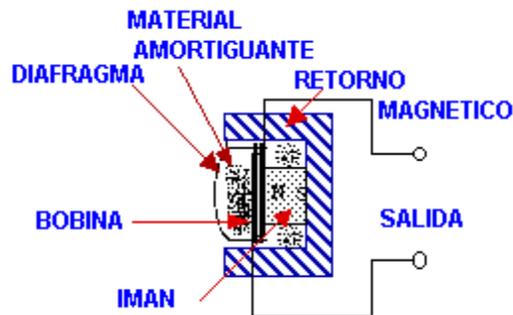


Figura 24. Micrófono dinámico.

Transductor conocido también como de bobina móvil. Se compone de una bobina con espiras de alambre de cobre a lo largo de un cilindro de imán. Su principal ventaja es su robustez y tolerancia en variaciones de temperatura, humedad, altos niveles de presión sonora, golpes y sacudidas. Es utilizado principalmente para sonido en vivo. Son micrófonos muy utilizados por su resistencia, fiabilidad y buena respuesta en frecuencia.

- Micrófonos de Condensador:

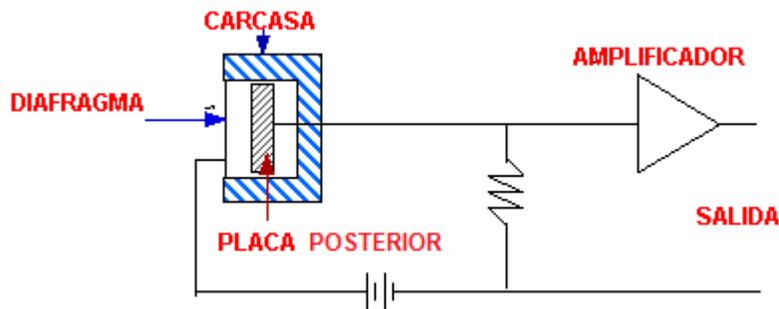


Figura 25. Micrófono condensador

También llamado micrófono capacitivo. Su funcionalidad es la utilización de un campo eléctrico en lugar de uno magnético. Está compuesto por un diafragma delgado, y una placa posterior metálica perforada. Vienen con un amplificador interno que requiere de un tipo de alimentación, esto para minimizar la capacitación de ruidos en los cables y más si este es muy largo.

Este tipo de micrófono produce la mejor respuesta en frecuencia por lo cual son los más utilizados en grabaciones profesionales. Se clasifican en los micrófonos de presión, y como consecuencia de ello tienen una respuesta omnidireccional.

- Micrófonos de Carbón:

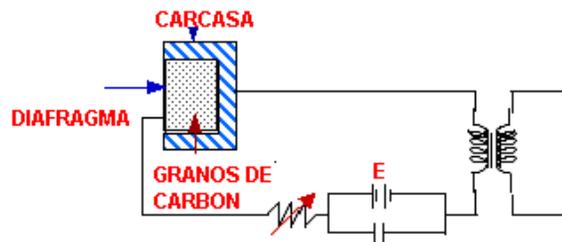


Figura 26. Micrófono de carbón

Su funcionamiento se basa en el cambio de resistencia en los granos de carbón al ser comprimidos por el diafragma al recibir éste las variaciones de presión sonora. Micrófonos utilizados durante mucho tiempo en los teléfonos.

La curva de respuesta en frecuencia del micrófono de carbón se deduce por sus pobres características que han hecho posible su casi desaparición del mercado, excepto en teléfonos económicos.

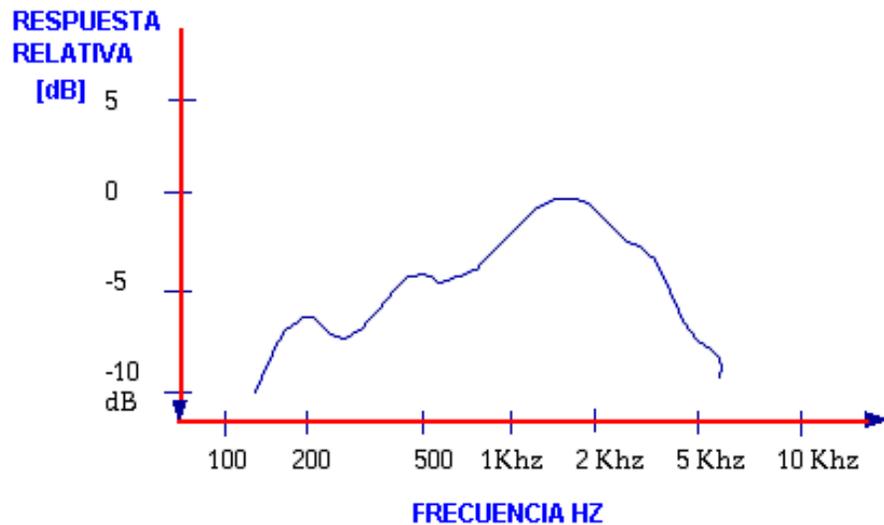


Figura 27. Curva de respuesta en frecuencia del micrófono de carbón.

2.3.5.2 Transductores de Salida

Se encarga de convertir energía eléctrica a energía acústica. Se divide según las necesidades requeridas, monitores, amplificadores o audífonos.

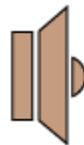


Figura 28. Transductor de Salida.

2.3.5.2.1 Amplificador

Un amplificador es un dispositivo que, mediante la utilización de energía externa, magnifica la amplitud o intensidad de un fenómeno físico. Existen varios tipos de amplificadores, pero en sonido utilizamos los amplificadores electrónicos.

El amplificador electrónico, es utilizado en casi todos los aparatos electrónicos, como emisores y receptores de radio y televisión, ordenadores, equipos de comunicación, e instrumentos musicales. Es un dispositivo para incrementar la corriente, el voltaje o la potencia de una señal. El amplificador realiza esta función tomando potencia de una fuente de alimentación y controlando la salida para hacer coincidir la forma de onda de la señal de entrada con la de salida, pero con una amplitud mayor.

En sentido figurado, un amplificador ideal sería un pequeño trozo de hilo conductor con ganancia, de forma que la salida es una réplica exacta de la entrada pero más grande.

La relación que existe entre la entrada y la salida del amplificador, normalmente expresada en función de la frecuencia de la señal de entrada, se le denomina función de transferencia del amplificador y a su magnitud ganancia. Como su amplificación depende de la frecuencia, se les suele hacer funcionar en un determinado rango de frecuencias, normalmente donde la amplificación es constante o lineal.

El componente clave de estos amplificadores es el elemento activo, que puede ser un tubo de vacío o un transistor.

Con transistores se pueden hacer dispositivos más complejos que cumplan la función de amplificar, como los amplificadores operacionales, y éstos a su vez otros como los amplificadores de instrumentación.

Otro tipo de amplificadores electrónicos son los diseñados específicamente para audio, en ellos se suelen preferir las válvulas de vacío a los transistores por sus mejores características sonoras. Estos amplificadores para audio son los preamplificadores y las etapas de potencia.

2.3.5.2.2 Monitores y Audífonos

Los parlantes y audífonos son transductores electroacústicos, que hacen un doble procedimiento: eléctrico-mecánico-acústico.

En la primera etapa convierte las ondas eléctricas en energía mecánica, y en la segunda convierte la energía mecánica en energía acústica, por lo tanto es la puerta por donde sale el sonido al exterior desde los aparatos que posibilitaron su amplificación.

El sonido se transmite mediante ondas sonoras a través del aire. El oído capta estas ondas y las transforma en impulsos nerviosos que llegan al cerebro. Si se dispone de una grabación de voz o de música en soporte magnético o digital, se dispondrá a la salida del aparato de unas señales eléctricas que deben ser convertidas en sonidos audibles; para ello se utiliza el altavoz o parlantes.

Los parlantes pueden ser de respuesta de baja, de media o de alta frecuencia.

Para estudios de grabación se utilizan monitores, preamplificador y audífonos con una respuesta plana en frecuencia de 20 a 20 Khz.

2.3.5.3 Ecualizadores

Es un dispositivo que permite aumentar o disminuir la ganancia en diferentes frecuencias.

El ecualizador es el elemento que permite modificar la curva de respuesta en frecuencia de un sistema de audio. Esta modificación se realiza con el empleo de filtros, alterando, mediante la actuación sobre sus controles, la señal recibida y modificando así la respuesta idónea para el local y tipo de música deseada. Nótese que aunque en principio con el uso de los ecualizadores lo que se persigue es obtener una curva de comportamiento lo más neutra posible, es decir, aquella

en la que los niveles de energía se reparten por igual en cada octava, también es posible su uso para la obtención de ciertos modos acústicos preponderantes. Los ecualizadores son sumamente útiles en sistemas de audio ubicados en salas de especial sonorización, salas reverberantes y salas mal acondicionadas.

Existen dos tipos de ecualizadores: gráficos o paramétricos. Un ecualizador gráfico se divide en varias bandas fijas o frecuencias y se especifican en octava y tercio de octava. Un ecualizador paramétrico posee frecuencias ajustables además de las fijas.

2.3.5.4 Procesadores Dinámicos

Los procesadores dinámicos se usan por lo general para corregir o controlar niveles de señal. Sin embargo, también pueden emplearse creativamente para darle forma a la envolvente de volumen de un sonido.

2.3.5.4.1 Compresores y Limitadores

El compresor es un dispositivo capaz de reducir el rango dinámico de cualquier señal. Se compone de un VCA amplificador controlado, que posee una entrada auxiliar por medio de la cual se le puede graduar la ganancia.

El limitador es un tipo de compresor, que delimita el crecimiento de la señal de tal modo que no supere el umbral. Este no deforma la onda sino que reduce la ganancia de manera que lleva el nivel de señal a un valor constante, igual al umbral.

2.3.5.5 Consola

Este equipo de grabación, suministra señales eléctricas que sumadas atenúan o amplifican, siendo así ajustables por el ejecutor.

Para modificar la señal, se utilizan varios parámetros encontrados en la consola:

- Entrada de micrófono
- Entrada de línea

- Conexiones de inserción
- Ajustes de Nivel
- Ecuallizadores
- Ajustes de envíos auxiliares
- Ajustes de Paneo
- Fader de entrada
- Canales de entrada
- Canales de Salida
- Fader de salida
- Ajuste de paneo de Grupos
- Ajuste de retornos auxiliares
- Vúmetros
- Envíos y retornos auxiliares
- Salidas de grupo y de master.

2.3.5.6 Patch-Bay

Es un panel, que tiene un conector al que corresponde la entrada y salida de cada componente o de cada equipo que está en el control room. La mayoría de estos, dispone de dos hileras, con 24 conectores cada una en un panel rack. En el respaldo del patch-bay se encuentra a misma cantidad de conectores hembra correspondientes a los ubicados en frente. La configuración de estos paneles de conectores, se puede cambiar mediante un giro de los módulos. Las configuraciones que se pueden lograr son las siguientes.

2.3.5.6.1 Paralelo

En este modo se interconectan todos los conectores de un módulo. El modo sirve para la distribución de una señal de audio en diferentes equipos como los de efectos.

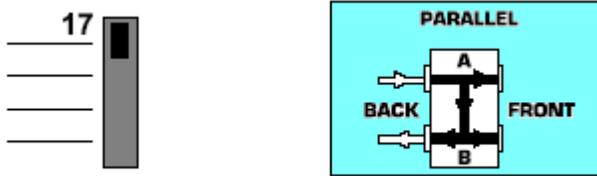


Figura 29. Modo paralelo

2.3.5.6.2 Normalizado Parcial

Aquí se encuentran interconectados los contactos de ambos conectores hembra ubicados en la parte trasera. De esta manera la señal circulante no se interrumpirá si un conector macho se introduce en el conector hembra ubicado arriba en la parte trasera, de manera tal que los dos conectores hembra superiores y los conectores hembra inferiores tengan contacto en forma correspondiente. Esta conexión se utiliza principalmente para senderos de derivación y se conoce normalmente como “Input Break”. Este tipo de sendero de derivación encontrado en el patch-bay permite la toma de la señal en el sendero del canal del mezclador sin interrumpir el flujo de señal en dicho canal.

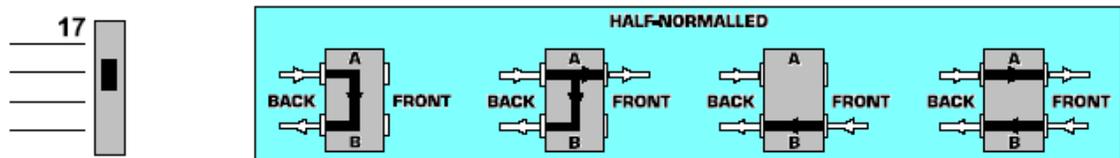


Figura 30. Modo parcialmente Normalizado

2.3.5.6.3 Normalizado

Contrariamente al normalizado parcial, se interrumpe aquí el sendero de señal de los conectores hembra traseros tanto al enchufar en los conectores hembras superiores e inferiores delanteros.

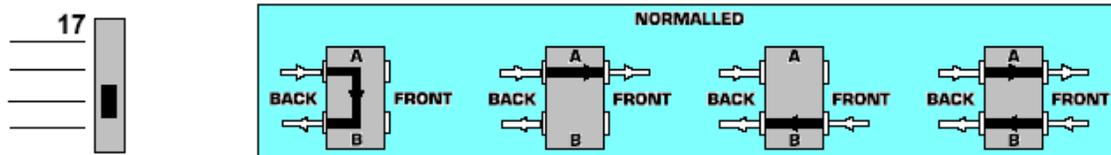


Figura 31. Modo Normalizado.

2.3.5.6.4 Abierto

Este modo, sirve para conectar reproductores o generadores de sonido que no tienen entrada alguna. De esta manera se puede ahorrar lugar y poner las salidas arriba y abajo en el módulo o bien ubicar un equipo uno encima de otro. Los equipos de efectos o de grabación de dos canales se pueden ubicar en esta configuración de tal manera que las salidas y las entradas estén una encima de la otra.



Figura 32. Modo Abierto

Un conector esta normalizado a otro, si la señal entre los dos conectores está conectada directamente del uno al otro cuando no hay plug en cualquiera de los dos conectores o jacks. Cuando se conecta un plug, en cualquiera de los dos conectores, se dice que la normalización entre los dos conectores está rota.

En los patch-bay, las entradas se conectan en los conectores inferiores traseros y las salidas a los conectores superiores traseros. Los micrófonos es mejor conectarlos directamente en el mezclador o en el Snake con conector XLR que van en la pared, que a su vez va conectado por medio de un cable multicore balanceado.

3 METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la Investigación

Esta investigación tiene un enfoque empírico – analítico, porque se pretende el mejoramiento acústico y equipamiento de grabación del estudio a través de pruebas realizadas con modelos matemáticos y simulaciones por software con los cuales se analizan las variables contenidas en los parámetros de diseño; permitiendo de esta manera diseñar un estudio de grabación óptimo para producciones folclóricas colombianas.

3.2 Línea de Investigación de USB / SUB – Línea de Facultad/ Campo Temático del Programa.

La línea de investigación USB, es tecnologías actuales y sociedad, porque se va a diseñar un estudio de grabación, bajo criterios y recomendaciones que aportan ideas a nuevos proyectos de diseño. Se presenta una simulación por software para predecir el comportamiento de las salas.

La sub línea de facultad, es la instrumentación y control de procesos, porque mejorando los parámetros acústicos se optimiza las condiciones acústicas del recinto.

El campo temático del programa de Ingeniería de sonido, es Acústica ya que se va diseñar bajo criterios que ayuden a optimizar los parámetros acústicos del estudio de grabación, con respecto a su utilidad.

3.3 Técnicas de recolección de información

Para la medición de los parámetros acústicos de un recinto, se utiliza un sonómetro tipo1 con micrófono tipo2, que mide el nivel de presión sonora, ruido de fondo y tiempo de reverberación. Estos equipos, se encuentran en las instalaciones de la institución universitaria.

El análisis del comportamiento de los parámetros acústicos en un recinto, puede ser realizado con un software de medición, el cual proporciona valores de ruido de fondo, respuesta al impulso, tiempos de reverberación, EDT, T30, T20, T10 etc. Uno de los instrumentos de recolección de datos es el software de simulación Catt Acoustic V8 demo, el cual utiliza la teoría geométrica como soporte, con este software es posible predecir las siguientes variables acústicas: C80, D50, EDT, RT, T30, LFT, RASTI, G, Delay, respuesta al impulso, información sobre cantidad y nivel de reflexiones.

La fiabilidad de los resultados depende de los valores asignados a los parámetros configurables de la simulación, como el número de rayos, la longitud de la respuesta al impulso, el orden de transición etc.

Los materiales acústicos, se seleccionan de acuerdo a la absorción necesaria, con el fin de obtener el tiempo de reverberación en cada recinto, por su coeficiente de absorción, características físicas y propiedades de seguridad. Las especificaciones de cada material son suministradas por el fabricante.

El tiempo de reverberación necesario para el control room (0,3s), se encuentra dentro del rango de la recomendación ITU EBU³⁰, para el volumen del recinto especificado (26,84 m³)

Por medio de los valores de coeficientes de absorción, obtenidos por medio de tabla³¹, aplicados a la formula de Sabine por banda de octava, se obtuvo el valor específico de tiempo de reverberación recomendado en la ITU EBU³².

El equipamiento correspondiente al estudio de grabación posee las siguientes características

Como elemento más importante se encuentra la monitoria ya que esta hace parte integral del diseño arquitectónico del recinto porque se diseña teniendo en cuenta su posición, ángulo de inclinación y ubicación geométrica. Es importante la linealidad y respuesta de los monitores ya que dependiendo de esta se garantiza la respuesta y relación con el diseño del recinto. Es también importante encontrar un modelo con atenuador de baja frecuencia ya que para efectos geométricos la proximidad a la pared de empotramiento genera una ganancia y coloración en baja frecuencia.

Como principal dispositivo de grabación y edición de audio se encuentra el computador equipado con el software específico para esta labor y una interfaz analógica digital que convertirá la señal analógica a digital para su posterior procesamiento en el software.

La administración de la señal sonora se realiza con un mezclador multicanal analógico, cuya principal función es la de pre amplificar y distribuir la señal de entrada para ser enviada a la interfaz y procesada en el computador.

³⁰ MUNSTER, Van; ITU EBU, limites de tolerancia para los tiempos de reverberación relativos al valor promedio Tm; ITU 1116-1997.

³¹ RECUERO, Manuel; Ingeniería Acústica, tabla 12,5.

<http://www.wsdg.com/dynamic.php5?id=resources/technology/absorbtion>

³² MUNSTER, Van; ITU EBU, limites de tolerancia para los tiempos de reverberación relativos al valor promedio Tm; ITU 1116-1997

Como sistemas periféricos, tenemos los procesadores análogos de señal, dinámicos y de tiempo con los que podemos modificar las señales según la necesidad.

Las conexiones de estos sistemas periféricos se realizan por medio de Patch Bay, este elemento nos permite conectar de manera más sencilla e interconectar diferentes equipos de forma simultánea al mezclador.

3.4 HIPÓTESIS

Los parámetros acústicos de un control room y sala de grabación pequeños, bajo criterios de diseño dan las características arquitectónicas y geométricas para proponer un estudio de grabación con características acústicas óptimas para la reproducción y grabación de la música dentro de los recintos.

3.5 VARIABLES

3.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Volumen del recinto
- Materiales
- Equipos de medición
- Equipos de grabación con los que cuenta el estudio

3.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- Tiempo de reverberación RT
- Pérdida por transmisión TL

4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados de Medición conforme a la norma ISO 3382:1997

- **Nombre y Localización del recinto**

El estudio de grabación AFV RECORDS, se encuentra ubicado en el barrio Santa Isabel en la Cll 5B # 28 A47 en la ciudad de Bogotá, Colombia.

- **Planta del estudio de grabación**

El estudio de grabación AFV Records consta de un control room y dos salas de grabación con distintos volúmenes que son utilizadas para realizar diferentes tipos de grabaciones (Imagen 5).

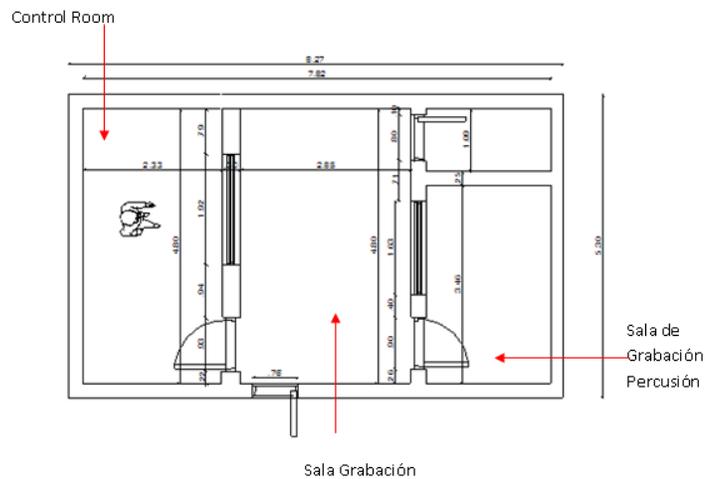


Imagen 5. Estudio de Grabación Actual

- **Volumen de los recintos**

Volumen Control room: 25,7m³

Volumen Sala de grabación: 28,1 m³

Volumen Sala de percusión: 18,3 m³

- **Forma y materiales en las superficies**

La forma de las salas de grabación y control room, es rectangular (Imagen 6), lo que genera excesiva presencia de modos normales en el recinto. La ubicación del ingeniero con respecto a los monitores, se encuentra en el ángulo recomendado por la ITU EBU de 60°. Debido al paralelismo de las paredes, los monitores no se encuentran empotrados y esto genera el efecto SBIR “Interferencia por reflejos cercanos”, ocurre cuando las frecuencias bajas provenientes del monitor, se reflejan en las paredes cercanas, estas reflexiones al mezclarse con el sonido directo generan cancelaciones en frecuencias por debajo de los 400 Hz.

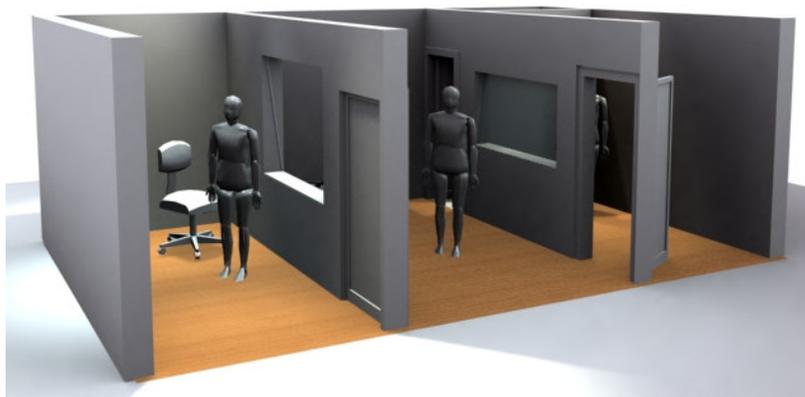


Imagen 6. Estudio de Grabación actual.

La totalidad de las paredes y el techo son de ladrillo macizo de 0,3m de espesor, 0,15m de altura y 0,10m de profundidad, con una cubierta de 0,01m de cemento por las dos caras del ladrillo y empañetadas. La superficie de las paredes internas del estudio de grabación, se encuentra cubierta por tableta de madera y alfombra, el techo por madera y el suelo por tapete.

- **Número de ocupantes durante la medición**

A la hora de la medición, dentro del recinto no se encontraba ninguna persona.

- **Temperatura y humedad**

Temperatura: 20°

Humedad: No se midió por falta de instrumentación, se estimó un aproximado del 40%, según el IDEAM, el día 13 de agosto de 2007, a las 4pm.

- **Tipo y posición de la fuente acústica empleada**

Tipo: Fuente omnidireccional (dodecaedro)

Posición de la fuente: a una distancia mínima de 1 m de superficies reflectivas para garantizar una distribución uniforme de la señal.

- **Señal acústica utilizada**

Maximum lenght sequence (MLS).

- **Posición del micrófono**

Se ubicó en diferentes posiciones distribuidas a lo largo de todo el espacio útil de cada sala, alejada a una distancia mínima de la fuente y de superficies reflectivas de 1m y a una altura del piso a 1,2m.

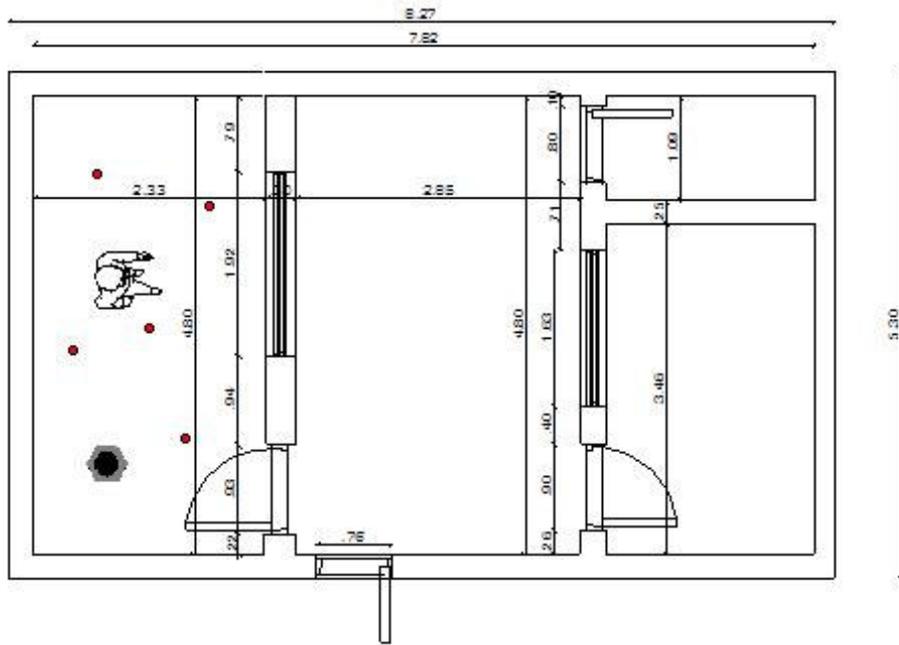


Imagen 7. Puntos de medición Control room.

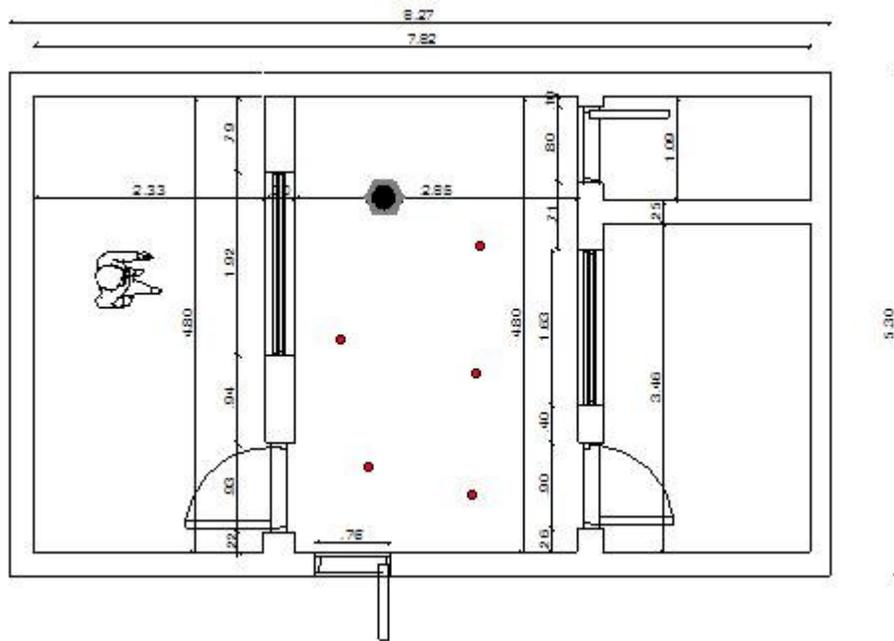


Imagen 8. Puntos de medición Sala 1 actual.

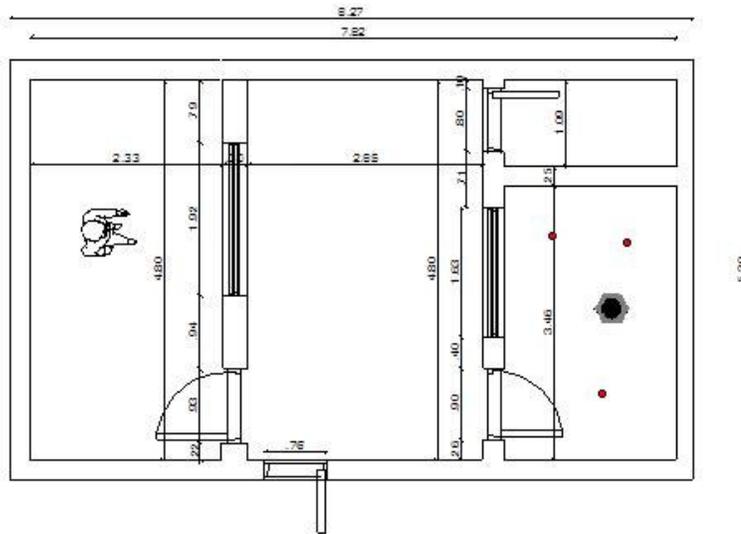


Imagen 9. Puntos de medición Sala 2 actual

- Descripción del aparato de medida, de la fuente y de los micrófonos

Fuente: Dodecaedro

PATRON POLAR DODECAEDRO

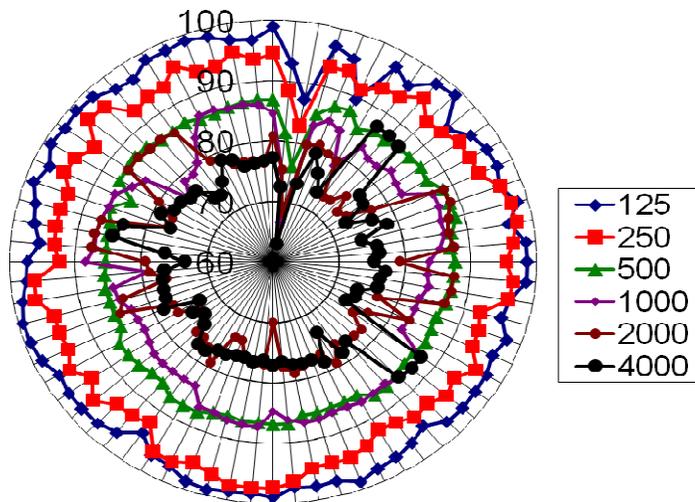


Figura 33. Patrón Polar Omnidireccional

En la figura 33, se muestran los patrones de radiación en cada banda de octava de 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz y 4 kHz. La medición se realizó cada 5°.

En el ángulo de 10° se observa una caída aproximadamente de 5 dB en todas las bandas de frecuencia, el decaimiento de dB en este punto, puede ser ocasionado por una falla en el radiador ubicado en el ángulo donde se presenta la pérdida, ya que existe un decaimiento puntual en 10° . Esta caída no afecta las mediciones realizadas, ya que el decaimiento de pro mediación no es muy relevante, o puede deberse a una falla en la toma de datos.

Micrófono: Berhinger ECM 8000, micrófono de condensador omnidireccional.

Impedancia 600 ohmios

Sensibilidad -60 dB

Respuesta de frecuencia de 15 Hz a 20 KHz

Conector XLR

Power Phantom +15 V a +48 V

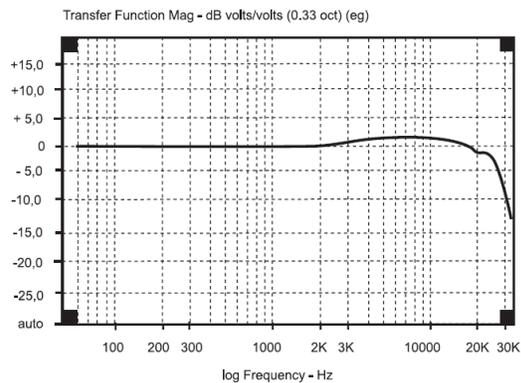


Figura 34. Respuesta en frecuencia ECM800

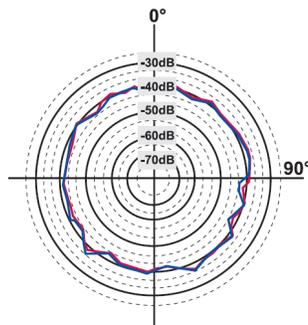


Figura 35. Patrón Polar ECM8000

Software Utilizado: Demo dirac v2.0.

4.1.1 Presentación de las variables acústicas de las mediciones

4.1.1.1 Control room

- EDT y Rt

En la figura 36, se observa que los valores de EDT, en las bandas de 250 y 4kHz son menores que el Rt, eso indica que la reverberación percibida es menor a la real, por lo tanto el grado de viveza de la sala del control room, será menor que el indicado por el tiempo de reverberación. Sin embargo al comparar el EDTmid (0,42s) con el Rtmid (0,39s), se encuentra una semejanza, indicando que el grado de difusión dentro del recinto es uniforme.

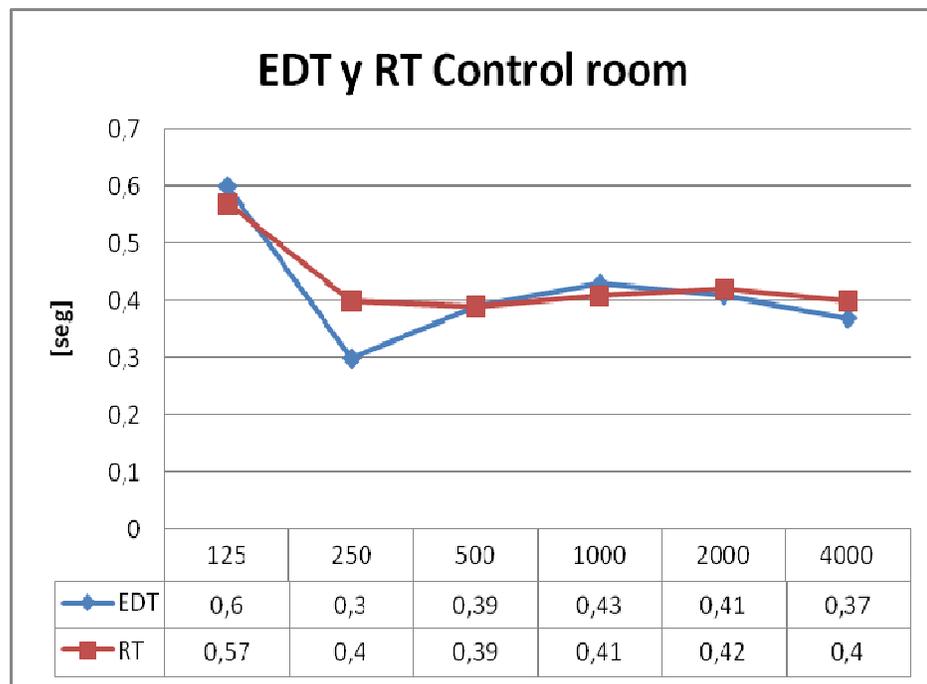


Figura 36. EDT y RT Control room

- **C80 Control room**

$$C80(\text{MusicAverage}) = \frac{C80(500\text{Hz}) + C80(1\text{kHz}) + C80(2\text{kHz})}{3} [\text{dB}]$$

$$C80 = 12,3\text{dB}$$

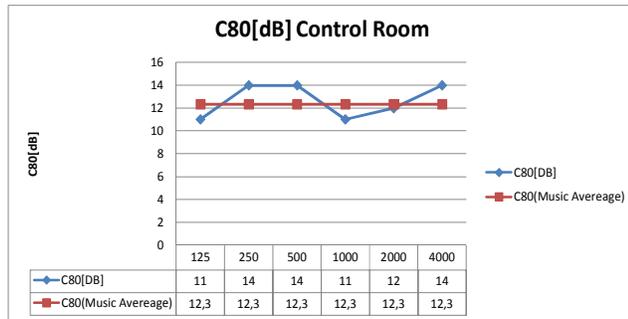


Figura 37. C80 Control room Actual

Se observa que en las bandas de 250, 500 y 4000 Hz, se presenta mayor cantidad de energía con respecto a la media, lo que dificulta la claridad en estas bandas, dado que supera el rango recomendado para esta variable de $-4 \leq 0$ dB.

- **D50 Control room**

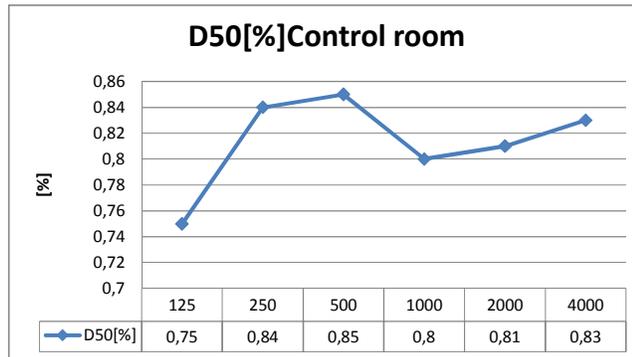


Figura 38. D50 Control room Actual

El control Room posee una alta definición de la palabra ya que presenta un D50 uniforme, mayor a 0,5.

El D50 es la relación entre la energía temprana; en los primeros 50 ms y la energía total. Los valores de D50 tienen un rango que va de 0 a 1, mientras más alto sea este valor la señal tendrá más presencia.

Se refiere al grado en el cual los sonidos individuales en una presentación musical pueden ser diferenciados los unos con los otros.

4.1.1.2 Sala 1 de grabación

- EDT – Rt

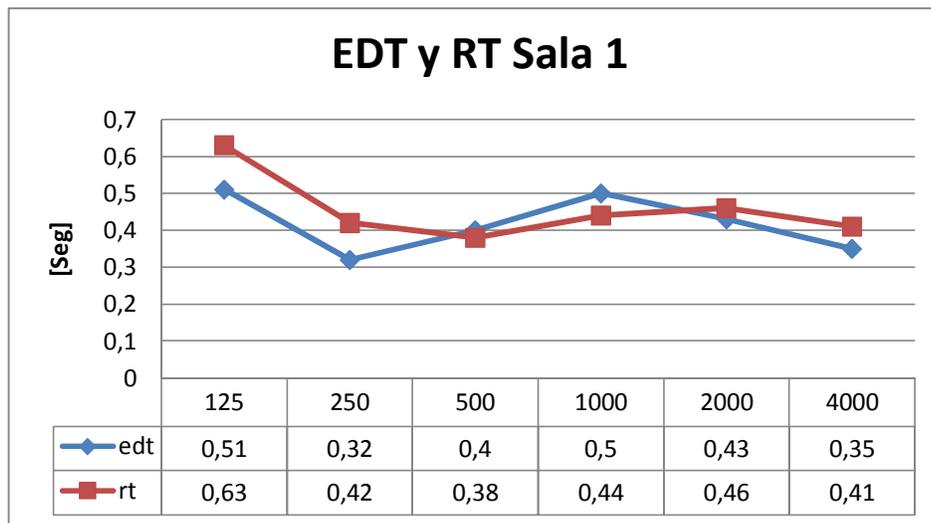


Figura 39. EDT y RT Sala 1

En la figura 38, se observa que el el EDT con respecto al Rt es menor en la mayoría de bandas de frecuencia, lo que nos indica que no hay una difusión uniforme en la sala.

- C80

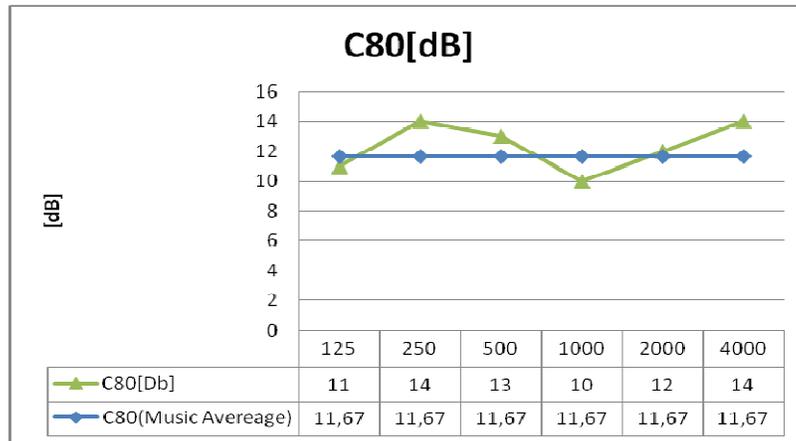


Figura 40. C80 Sala 1 actual

El Sala de grabación, no presenta un índice de claridad musical bueno, debido a que los valores para las bandas de 250, 500 y 4000 Hz sobre pasan el rango de claridad.

- D50

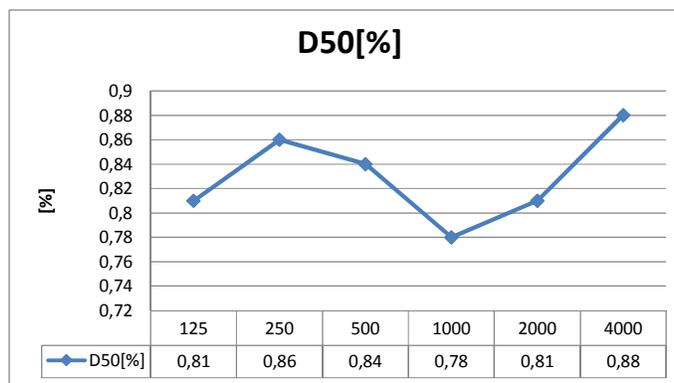


Figura 41. D50 Sala 1 actual

El control Room posee una alta definición de la palabra ya que presenta un D50 uniforme, mayor a 0,5.

4.1.1.3 Sala de Percusión

- EDT y Rt

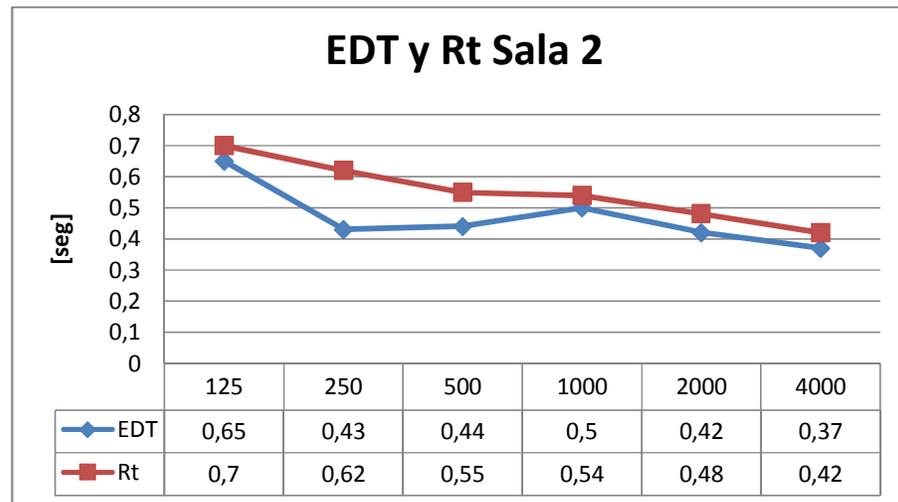


Figura 42. EDT y RT actual Sala 2 de percusión

En la figura 41, El EDT es menor que el tiempo de reverberación real (Rt), por lo tanto el grado de viveza de la sala será menor que la indicada por el tiempo de reverberación. Se deduce que la difusión del sonido de la sala no es uniforme, y puede tener problemas de reverberación en baja frecuencia.

- C80

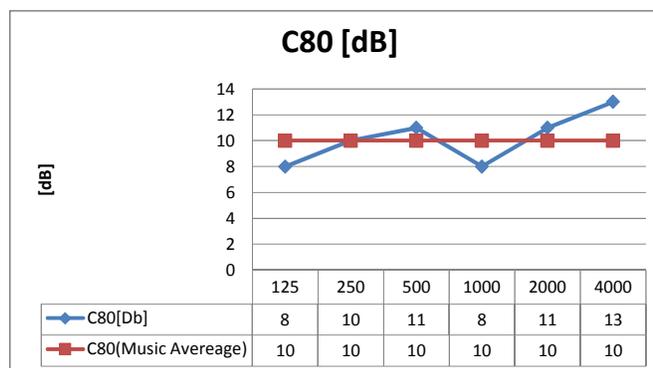


Figura 43. C80 actual Sala Percusión.

En la figura 42, se observa que los valores de claridad musical son bastantes altos en 500, 2000 y 4000 Hz, sobre pasando el valor del rango de claridad.

- **D50**

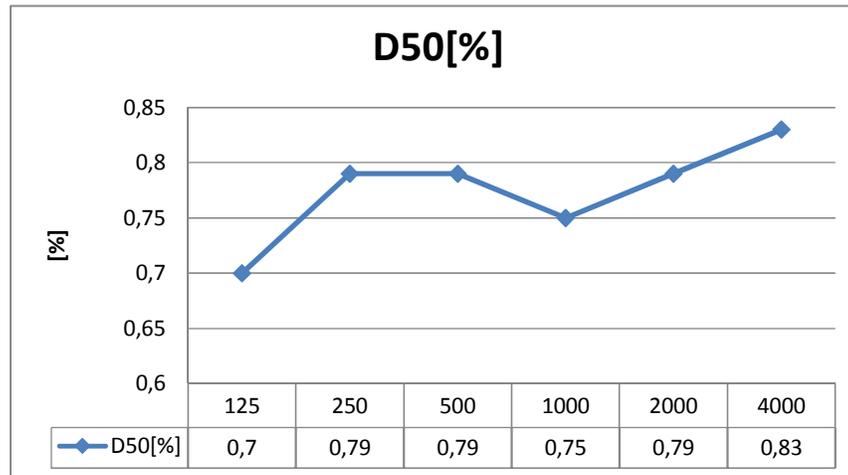


Figura 44. D50 Sala de percusión

El control Room posee una alta definición de la palabra ya que presenta un D50 uniforme, mayor a 0,5.

4.2 Medición Aislamiento.

El estudio de grabación AFV Records (Imagen 10), consta de un control room y dos salas de grabación con diferentes volúmenes que son utilizadas para realizar diferentes tipos de grabaciones.

Control Room

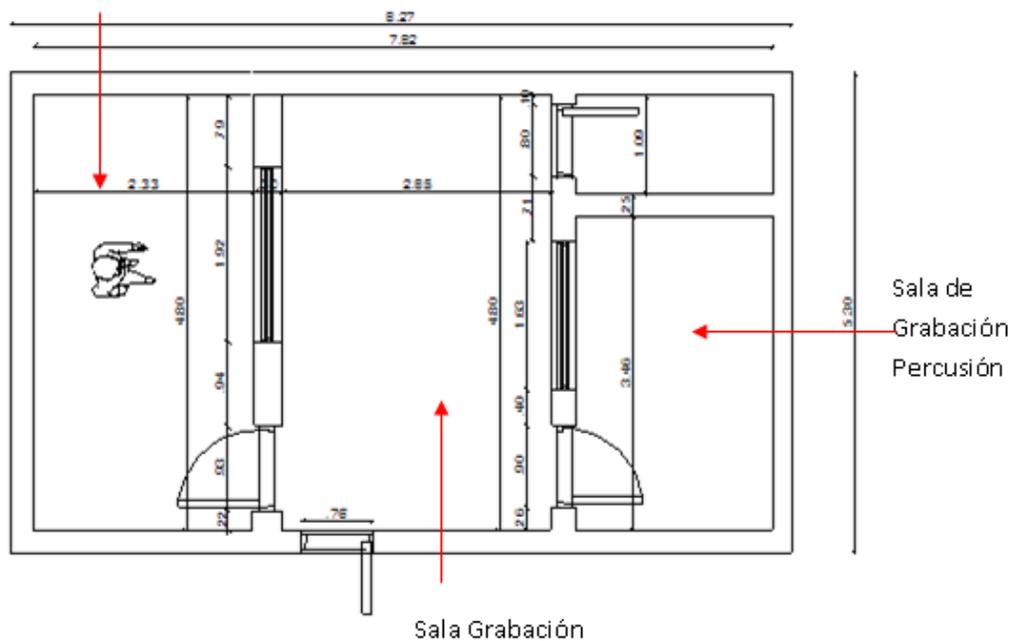


Imagen 10. Planta del Estudio de grabación actual

- **Localización del estudio de grabación**

La ubicación del estudio de grabación se encuentra alejada de fuentes de ruido importantes ya que se encuentra en una zona residencial alejada de grandes autopistas e industria, la fuente de ruido más importante es una avenida de tránsito mediano que se encuentra a 300m de la casa donde está el estudio.

- **Equipos Utilizados para la Medición dentro del Estudio.**

- ✓ Computador portátil HP
- ✓ Dodecaedro
- ✓ Micrófono de medición Berhinger ECM 8000.
- ✓ Mixer Berhinger UB802.
- ✓ Entrada tarjeta de audio de computador HP.
- ✓ Sonómetro SVANTEC SVAN 943A.

- **Descripción de los materiales que Componen la edificación**

Básicamente la totalidad de las paredes están compuestas de ladrillo macizo de 0.3m de espesor, 0.15m de altura y 0.10m de profundidad, están cubiertas por 0.01m de cemento por ambas caras del ladrillo y estas están empañetadas.

- **Procedimiento de medición**

Para realizar la medición de las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos que conforman las superficies de los recintos del estudio grabación AFV Records, se utilizó la norma ISO 140-4, la cual establece que se debe realizar en bandas de tercio de octava y la generación del campo sonoro en el recinto emisor debe ser estable esto quiere decir, que la fuente que se debe utilizar no debe tener una diferencia entre niveles de potencia sonora en las bandas de tercio de octava adyacentes superior a 6dB.

Se utilizó ruido de banda ancha (ruido blanco), para asegurar una relación señal/ruido adecuada en altas frecuencias.

- **Ubicación de la fuente sonora**

Para lograr un campo sonoro difuso se utilizó como fuente sonora un dodecaedro que proporciona una aproximación adecuada de radiación omnidireccional

- **Medición del nivel de presión sonora medido en un recinto**

Se mide la presión sonora equivalente en posiciones diferentes dentro del recinto, para calcular la diferencia en decibeles del promedio espacio temporal de los niveles de presión sonora, producidos en los dos recintos por la fuente de ruido situada en uno de ellos.

- **Generación del campo sonoro en el recinto emisor**

El sonido generado dentro del recinto emisor debe ser estacionario, se debe asegurar una relación señal/ruido adecuada en altas frecuencias en el recinto receptor, en este caso se utilizó ruido Blanco. El nivel de presión sonora en el recinto receptor debe ser mayor a 10dB del nivel de ruido de fondo para cada banda.

- **Diferencia de niveles normalizada D_n**

La diferencia de niveles normalizada es la diferencia de niveles en decibeles, correspondiente a un área.

4.2.1 Aislamiento Control Room y Aislamiento requerido según criterio NC 20 establecido para salas de grabación

- **Ruido de fondo estudio de grabación**

Tabla 5. Ruido de Fondo Estudio de Grabación

Ruido de fondo estudio de Grabación						
Nivel de Presión Acústica (dB)	FRECUENCIA (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Control Room	34,6	36,5	34,3	39,3	37,7	36,9
Sala de Grabación 1	35,1	39	36,3	40,1	34	33,1
cabina para grabación de percusión	34,3	39,3	37,7	36,9	30,7	37,1

Por medio de los valores máximos de ruido recomendados se establece una curva NC 20 establecido para salas de grabación.

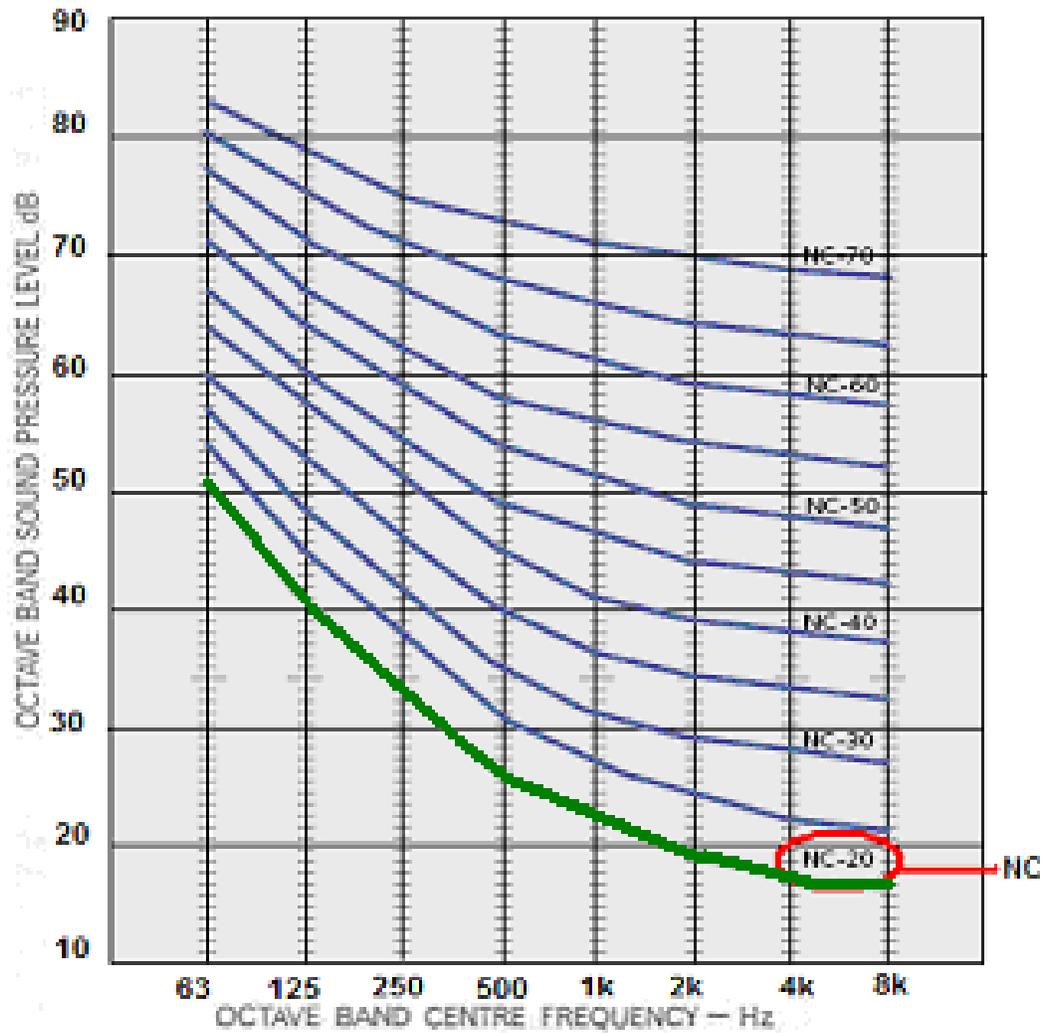


Figura 48. NC 20 Estudio de grabación

Tabla 6. Niveles de Presión Acústica correspondiente a la curva NC 20

<i>Niveles De Presión Acústica, correspondiente a la curva NC 20</i>						
	FRECUENCIA (Hz)					
Nivel de Presión Acústica (dB)	125	250	500	1000	2000	4000
	40	33	26	22	19	17

- **Aislamiento pared trasera Control Room**

Tabla 7. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared trasera y aislamiento medido.

FEQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	52,50	26,28	28,16	0,73	27,93
250	80,32	55,38	24,95	26,82	0,40	23,94
500	77,25	50,80	26,45	28,33	0,38	25,26
1000	82,77	55,31	27,46	29,33	0,51	27,55
2000	80,37	45,18	35,19	37,07	0,47	34,92
4000	79,65	46,35	33,30	35,17	0,42	32,54
5000	82,68	50,89	31,78	33,66	0,41	30,92

- L1** Nivel de presión sonora medido en el recinto emisor [dB]
L2 Nivel de presión sonora medido en el recinto receptor [dB]
D Diferencia de niveles en decibeles [dB]
Dn Diferencia de niveles normalizada [dB]
T Tiempo de reverberación de recinto receptor [s]
Dnt Diferencia de niveles estandarizada [dB]

- **Aislamiento control Room pared trasera medida y la requerida**

Tabla 8. Aislamiento Requerido para la pared trasera del control room

Aislamiento Requerido para la pared trasera del Control Room						
Frecuencia en [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel en la Pared trasera [dB]	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	37,75	43,25	51,00	61,79	61,08	63,55

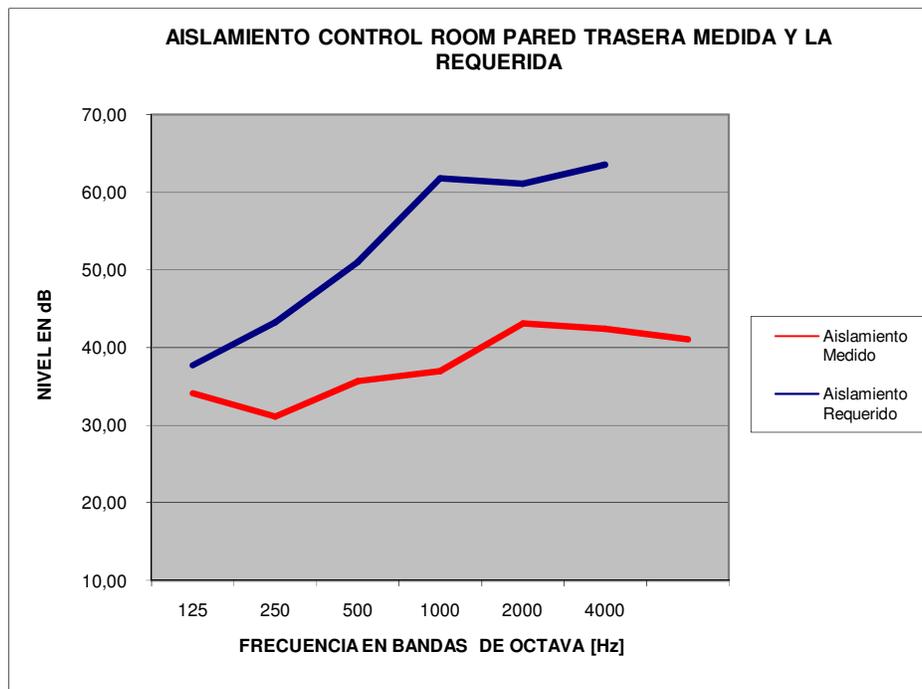


Figura 49. Aislamiento del control Room medido de la pared trasera y valor de aislamiento requerido

La pared trasera del control Room está compuesta por ladrillo macizo con un revestimiento de cemento y pañete, esta lindera con un cuarto que es utilizado como taller para la fabricación de acordeones, donde no existen fuentes de ruido considerable, el aislamiento requerido es mayor al medido por lo que se debe realizar un tratamiento de aislamiento.

- Aislamiento pared frontal Control Room

Tabla 9. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared frontal y aislamiento medido.

FEQ [dB]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	52,50	26,28	28,16	0,73	27,93
250	80,32	55,38	24,95	26,82	0,40	23,94
500	77,25	50,80	26,45	28,33	0,38	25,26
1000	82,77	55,31	27,46	29,33	0,51	27,55
2000	80,37	45,18	35,19	37,07	0,47	34,92
4000	79,65	46,35	33,30	35,17	0,42	32,54
5000	82,68	50,89	31,78	33,66	0,41	30,92

Tabla 10. Aislamiento control Room pared frontal medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared frontal del Control Room						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presión en la Pared Frontal [dB]	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	38,78	47,32	51,25	60,77	61,37	62,65

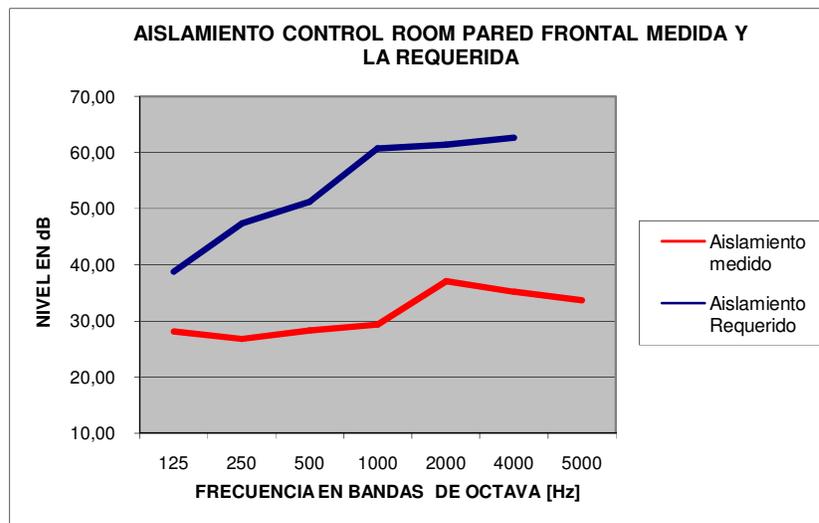


Figura 50. Figura Aislamiento del control Room medido de la pared frontal y valor de aislamiento requerido

Esta pared divide el control Room con el estudio de grabación, posee un vidrio que los comunica visualmente y la puerta de acceso, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete, se debe realizar un tratamiento de aislamiento acústico para todos los rangos de frecuencia.

- **Aislamiento pared derecha Control Room**

Tabla 11. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared derecha y aislamiento medido.

FRECUENCIA [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	56,81	21,97	21,57	0,73	23,61
250	80,32	55,23	25,09	24,70	0,40	24,08
500	77,25	48,93	28,33	27,93	0,38	27,13
1000	82,77	51,10	31,67	31,27	0,51	31,75
2000	80,37	43,62	36,75	36,35	0,47	36,48
4000	79,65	39,26	40,39	40,00	0,42	39,63
5000	82,68	40,18	42,50	42,11	0,41	41,64

Tabla 12. Aislamiento control Room pared derecha medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared derecha del Control Room							
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	5000
Nivel de presión en la Pared Derecha [dB]	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65	
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00	
Aislamiento Requerido [dB]	38,78	47,32	51,25	60,77	61,37	62,65	

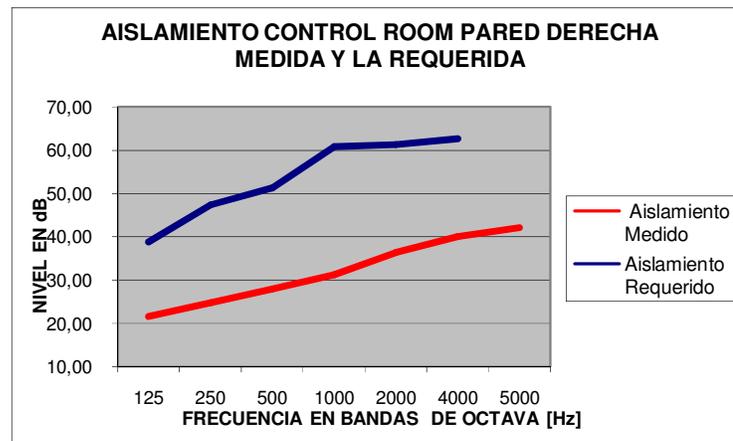


Figura 51. Aislamiento del control Room medido de la pared derecha y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera a 0.5m con la pared de la casa contigua, formando una cámara de aire entre esas dos paredes, también está conformada con ladrillo macizo con recubrimiento de cemento y pañete, la grafica muestra que se debe realizar un tratamiento de asilamiento acústico en todo el rango de frecuencia ya que el valor de aislamiento medido es muy pobre respecto al aislamiento acústico requerido.

- **Aislamiento pared derecha Control Room**

Tabla 13. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared izquierda y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	77,75	46,86	30,89	34,13	0,56	31,38
250	76,25	48,39	27,86	31,10	0,33	26,06
500	77,00	44,54	32,46	35,70	0,32	30,53
1000	83,79	50,05	33,74	36,98	0,39	32,66
2000	80,08	40,24	39,85	43,09	0,47	39,58
4000	80,55	41,36	39,18	42,42	0,39	38,11
5000	83,66	45,83	37,83	41,07	0,38	36,64

Tabla 14. Aislamiento control Room pared Izquierda medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared Izquierda del Control Room						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presión en la Pared Izquierda [dB]	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	37,75	43,25	51,00	61,79	61,08	63,55

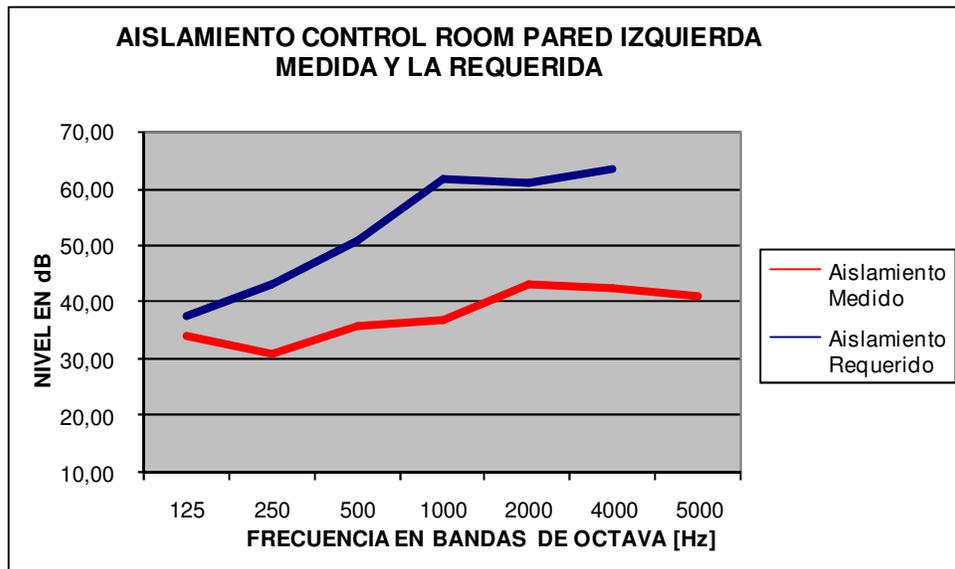


Figura 52. Aislamiento del control Room medido de la pared izquierda y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera con una Hall destinada al tránsito de personas hacia el estudio de grabación, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete. Se debe realizar un tratamiento de asilamiento acústico ya que no cumple los valores recomendados por la NC -20.

4.2.2 Aislamiento sala de Grabación y Aislamiento requerido según criterio NC 20 establecido para salas de grabación

Tabla 15. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared trasera y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	62,46	16,32	17,35	0,56	16,81
250	80,32	61,86	18,47	19,50	0,33	16,66
500	77,25	53,66	23,59	24,62	0,32	21,65
1000	82,77	63,02	19,75	20,78	0,39	18,67
2000	80,37	58,40	21,97	23,00	0,47	21,70
4000	79,65	54,60	25,05	26,09	0,39	23,97
5000	82,68	59,01	23,67	24,70	0,38	22,48

Tabla 16. Aislamiento Sala de Grabación pared trasera medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared trasera de la Sala de Grabacion						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presion en la Pared Trasera [dB]	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	38,78	47,32	51,25	60,77	61,37	62,65

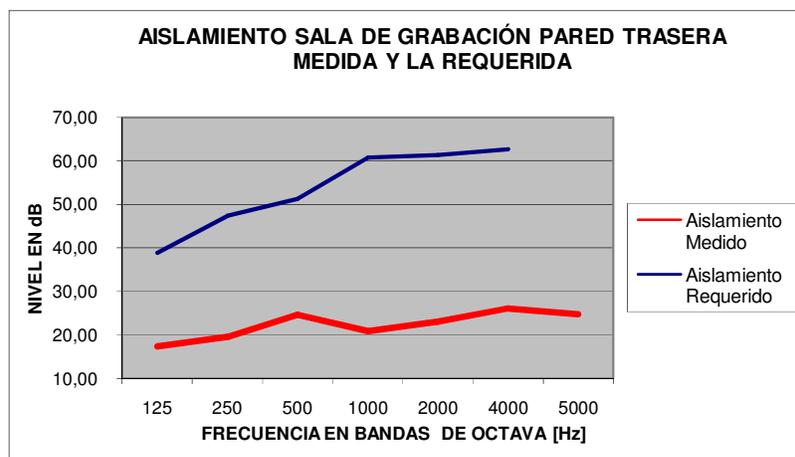


Figura 53. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared trasera y valor de aislamiento requerido

Esta pared divide la sala de grabación con la sala de percusión, posee un vidrio que los comunica visualmente, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete, la gráfica muestra que se debe realizar un tratamiento total de aislamiento acústico.

Tabla 17. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared Frontal y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	62,46	16,32	17,35	0,56	16,81
250	80,32	61,86	18,47	19,50	0,33	16,66
500	77,25	53,66	23,59	24,62	0,32	21,65
1000	82,77	63,02	19,75	20,78	0,39	18,67
2000	80,37	58,40	21,97	23,00	0,47	21,70
4000	79,65	54,60	25,05	26,09	0,39	23,97
5000	82,68	59,01	23,67	24,70	0,38	22,48

Tabla 18. Aislamiento Sala de Grabación pared frontal medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared frontal de la Sala de grabacion						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presion en la Pared frontal [dB]	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	38,78	47,32	51,25	60,77	61,37	62,65

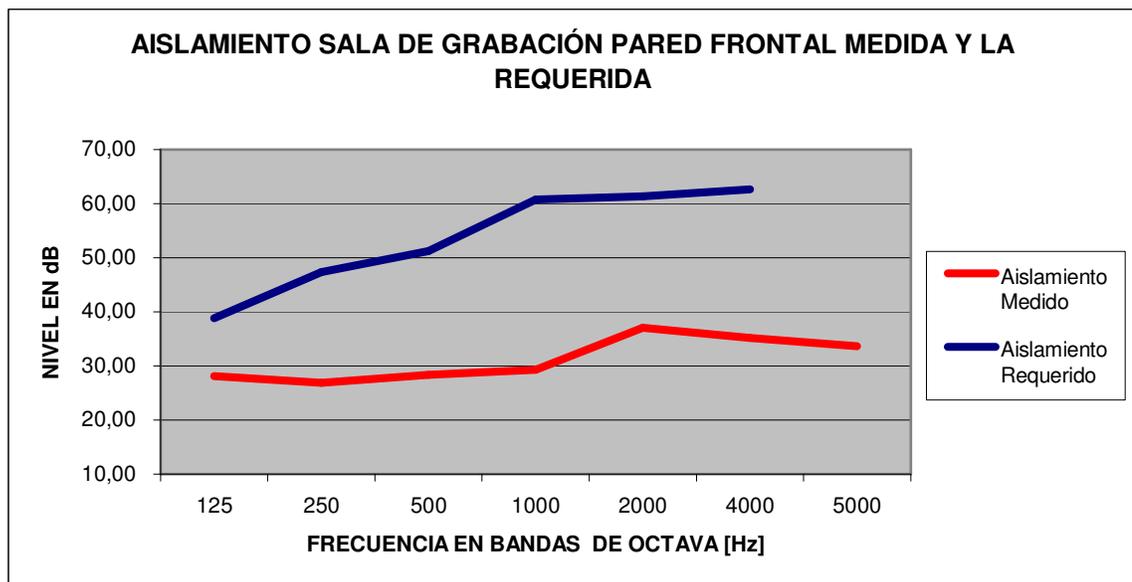


Figura 54. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared frontal y valor de aislamiento requerido

Esta pared divide la sala de grabación con el control Room y la puerta de acceso, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete, la gráfica muestra que se debe realizar un tratamiento de aislamiento acústico en todo el rango de frecuencias.

Tabla 19. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared derecha y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	77,75	46,86	30,89	34,13	0,56	31,38
250	76,25	48,39	27,86	31,10	0,33	26,06
500	77,00	44,54	32,46	35,70	0,32	30,53
1000	83,79	50,05	33,74	36,98	0,39	32,66
2000	80,08	40,24	39,85	43,09	0,47	39,58
4000	80,55	41,36	39,18	42,42	0,39	38,11
5000	83,66	45,83	37,83	41,07	0,38	36,64

Tabla 20. Aislamiento Sala de Grabación pared derecha medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared derecha del Sala de Grabacion						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presion en la Pared derecha [dB]	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	37,75	43,25	51,00	61,79	61,08	63,55

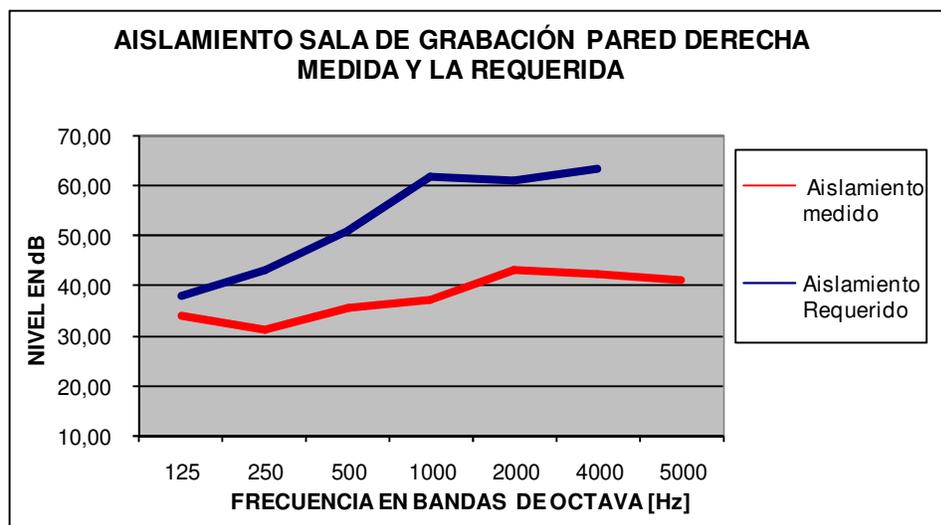


Figura 55. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared derecha y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera a 0.5m con la pared de la casa contigua, formando una cámara de aire entre esas dos paredes, también está conformada con ladrillo macizo con recubrimiento de cemento y pañete, la grafica muestra que se debe realizar un tratamiento de aislamiento acústico en todo el rango de frecuencias, para cumplir con los valores de aislamiento requeridos.

Tabla 21. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared Izquierda y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	77,75	46,86	30,89	34,13	0,56	31,38
250	76,25	48,39	27,86	31,10	0,33	26,06
500	77,00	44,54	32,46	35,70	0,32	30,53
1000	83,79	50,05	33,74	36,98	0,39	32,66
2000	80,08	40,24	39,85	43,09	0,47	39,58
4000	80,55	41,36	39,18	42,42	0,39	38,11
5000	83,66	45,83	37,83	41,07	0,38	36,64

Tabla 22. Aislamiento Sala de Grabación pared Izquierda medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared Izquierda de la Sala de Grabacion						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presion en la Pared Izquierda [dB]	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	37,75	43,25	51,00	61,79	61,08	63,55

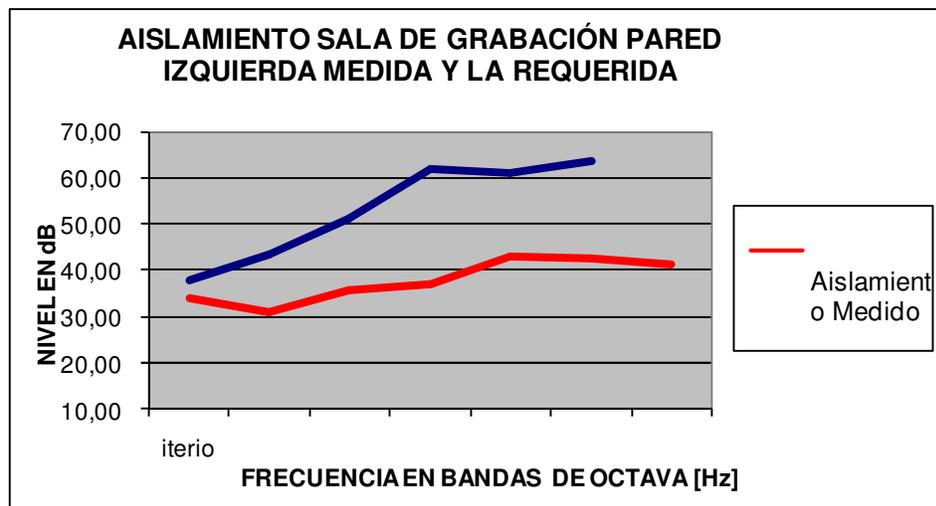


Figura 56. Aislamiento de la sala de grabación medido de la pared Izquierda y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera con una Hall destinada al tránsito de personas hacia el estudio de grabación, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete, se debe realizar un aislamiento acústico para todo el rango de frecuencias.

4.2.3 Aislamiento sala de grabación para percusión y Aislamiento requerido según criterio NC 20 establecido para salas de grabación

Tabla 23. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared trasera y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	77,75	47,08	30,67	31,70	0,56	31,16
250	76,25	48,37	27,88	28,91	0,33	26,07
500	77,00	44,49	32,51	33,54	0,32	30,57
1000	83,79	50,02	33,77	34,80	0,39	32,69
2000	80,08	40,20	39,88	40,92	0,47	39,62
4000	80,55	41,34	39,20	40,24	0,39	38,12
5000	83,66	45,81	37,84	38,88	0,38	36,65

Tabla 24. Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared trasera medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared trasera de la Sala de Grabación para percusión						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presión en la Pared Tracera [dB]	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	37,75	43,25	51,00	61,79	61,08	63,55

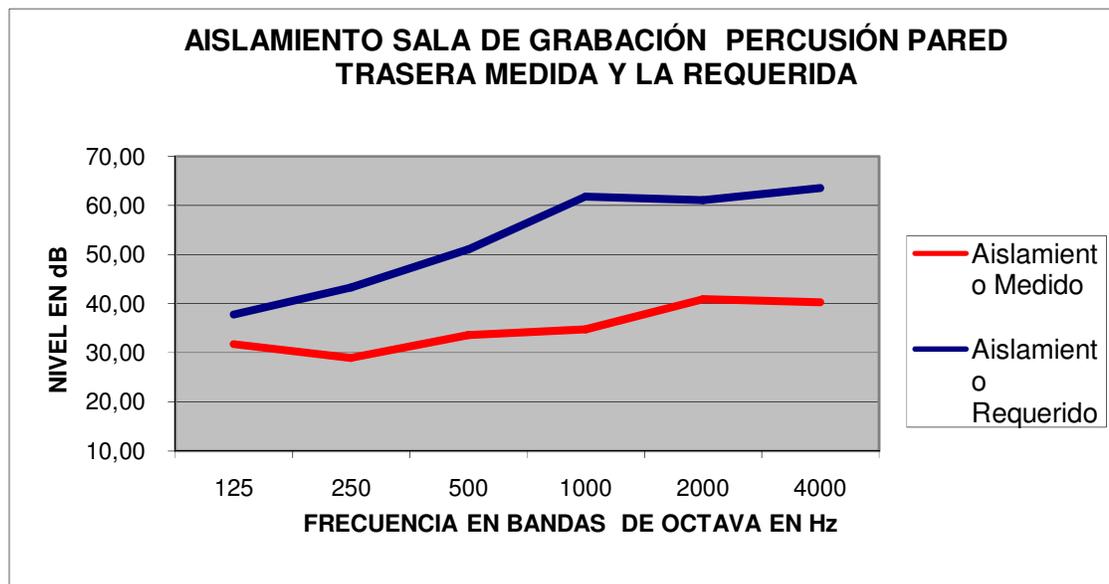


Figura 57. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared trasera y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera con una sala destinada a clases teóricas de música, también está conformada con ladrillo macizo con recubrimiento de cemento y pañete, en todo el rango de frecuencia se debe realizar un tratamiento acústico de aislamiento, el mayor problema se presenta en media y alta frecuencia.

Tabla 25. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared frontal y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	62,46	16,32	17,35	0,56	16,81
250	80,32	61,86	18,47	19,50	0,33	16,66
500	77,25	53,66	23,59	24,62	0,32	21,65
1000	82,77	63,02	19,75	20,78	0,39	18,67
2000	80,37	58,40	21,97	23,00	0,47	21,70
4000	79,65	54,60	25,05	26,09	0,39	23,97
5000	82,68	59,01	23,67	24,70	0,38	22,48

Tabla 26. Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared frontal medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared frontal de la Sala de grabación para percusión						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presión en la Pared frontal [dB]	78,78	80,32	77,25	9,00	80,37	79,65
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	38,78	47,32	51,25	-13,00	61,37	62,65

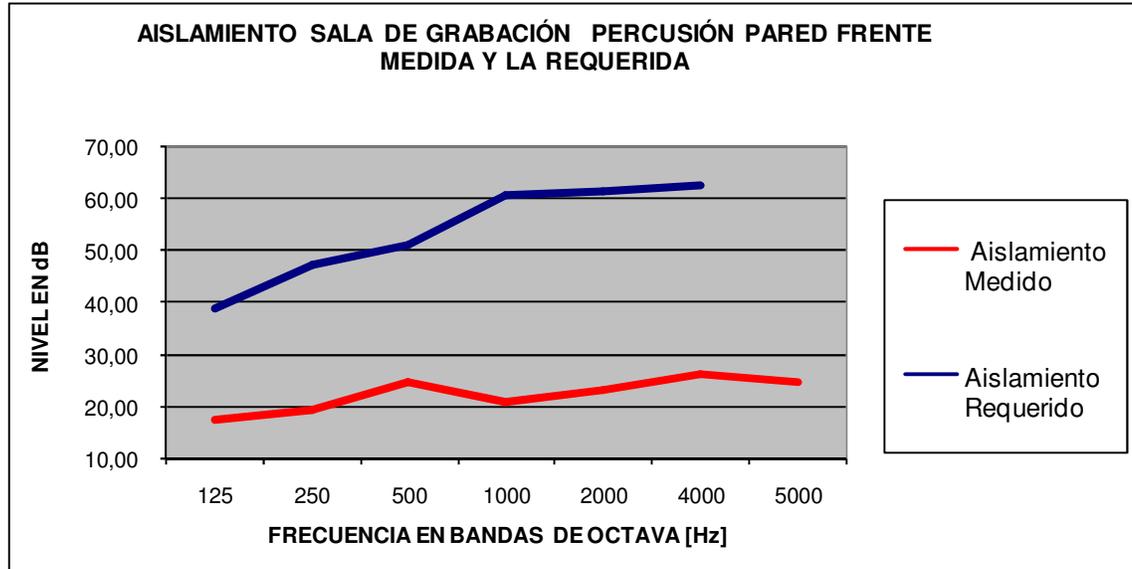


Figura 58. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared frontal y valor de aislamiento requerido

Esta pared divide la sala de percusión con la sala de grabación, esta posee un vidrio que los comunica visualmente con el control Room y la puerta de acceso, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete, la gráfica muestra que se debe realizar un tratamiento de aislamiento acústico en las bandas de 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000Hz.

Tabla 27. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared derecha y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	77,75	46,86	30,89	34,13	0,56	31,38
250	76,25	48,39	27,86	31,10	0,33	26,06
500	77,00	44,54	32,46	35,70	0,32	30,53
1000	83,79	50,05	33,74	36,98	0,39	32,66
2000	80,08	40,24	39,85	43,09	0,47	39,58
4000	80,55	41,36	39,18	42,42	0,39	38,11
5000	83,66	45,83	37,83	41,07	0,38	36,64

- **Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared derecha medida y la requerida**

Tabla 28. Aislamiento Requerido para la pared derecha de la Sala de Grabación para percusión

Aislamiento Requerido para la pared derecha del Sala de Grabación para percusión						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presión en la Pared Derecha [dB]	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	37,75	43,25	51,00	61,79	61,08	63,55

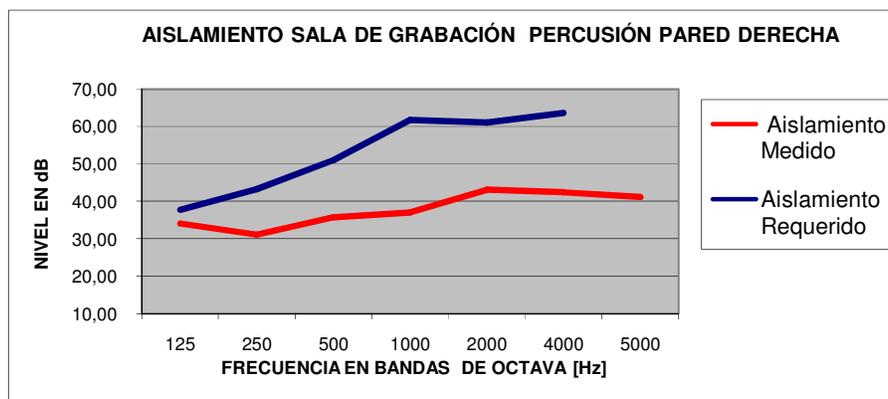


Figura 59. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared derecha y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera a 0.5m con la pared de la casa contigua, formando una cámara de aire entre esas dos paredes, también está conformada con ladrillo macizo con recubrimiento de cemento y pañete, la grafica muestra que se debe realizar un fuerte tratamiento de asilamiento acústico en media y alta frecuencia el asilamiento para baja frecuencia no es tan crítico.

Tabla 29. Niveles De Presión Acústica máxima de la pared izquierda y aislamiento medido.

FREQ [Hz]	L1	L2	D	Dn	T	Dnt
125	78,78	56,81	21,97	21,57	0,73	23,61
250	80,32	55,23	25,09	24,70	0,40	24,08
500	77,25	48,93	28,33	27,93	0,38	27,13
1000	82,77	51,10	31,67	31,27	0,51	31,75
2000	80,37	43,62	36,75	36,35	0,47	36,48
4000	79,65	39,26	40,39	40,00	0,42	39,63
5000	82,68	40,18	42,50	42,11	0,41	41,64

Tabla 30. Aislamiento Sala de Grabación para percusión pared Izquierda medida y la requerida

Aislamiento Requerido para la pared Izquierda de la Sala de Grabación para percusión						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Nivel de presion en la Pared Izquierda [dB]	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Nivel de Presión Acústica Curva NC-20 (dB)	40,00	33,00	26,00	22,00	19,00	17,00
Aislamiento Requerido [dB]	38,78	47,32	51,25	60,77	61,37	62,65

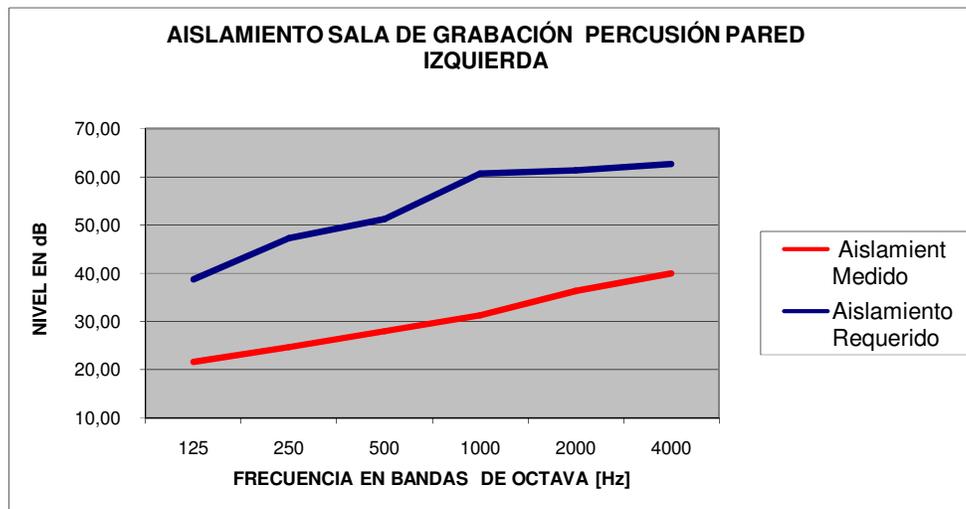


Figura 60. Aislamiento de la sala de grabación para percusión medido de la pared izquierda y valor de aislamiento requerido

Esta pared lindera con un Hall destinado al tránsito de personas hacia el estudio de grabación, está compuesta de ladrillo macizo con revestimiento de cemento y pañete, la gráfica muestra que se debe realizar un fuerte tratamiento de aislamiento acústico ya que el aislamiento que presenta la pared es muy pobre.

4.3 Diseño y Simulación del Estudio de Grabación AFV Records

4.3.1 Control room

4.3.1.1 Geometría

Para ver las dimensiones del control remítase al anexo A1 y A2

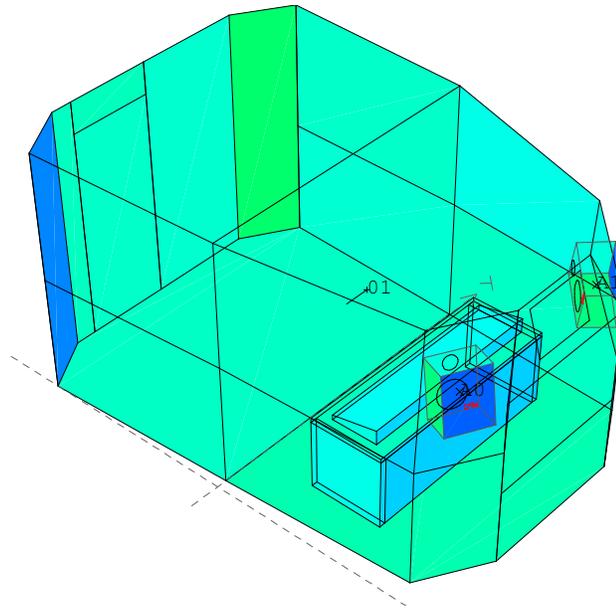


Imagen 11. Diseño del Control room.

- Volumen= 26,84 m³
- Dimensiones:
 - Ancho W= 3m
 - Profundidad L= 4,3m
 - Altura H=2,30m
- Forma: Trapezoidal

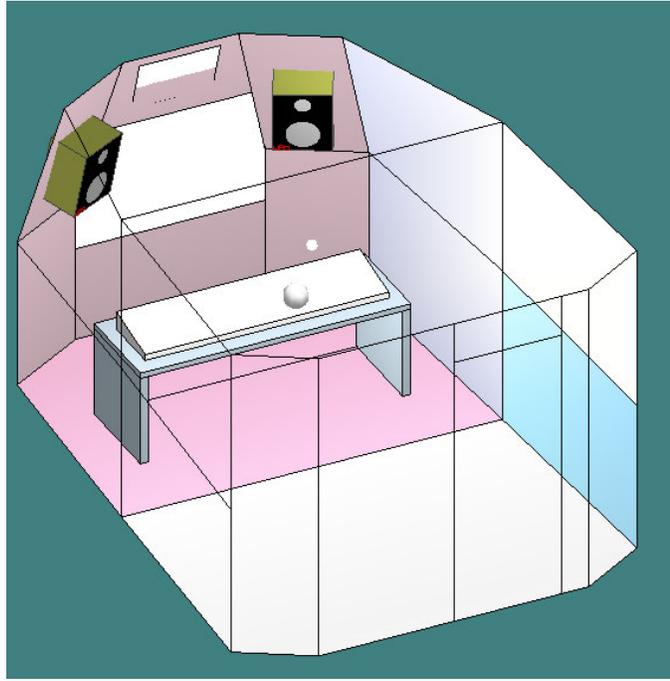


Imagen 12. Diseño 3D control room Vista posterior

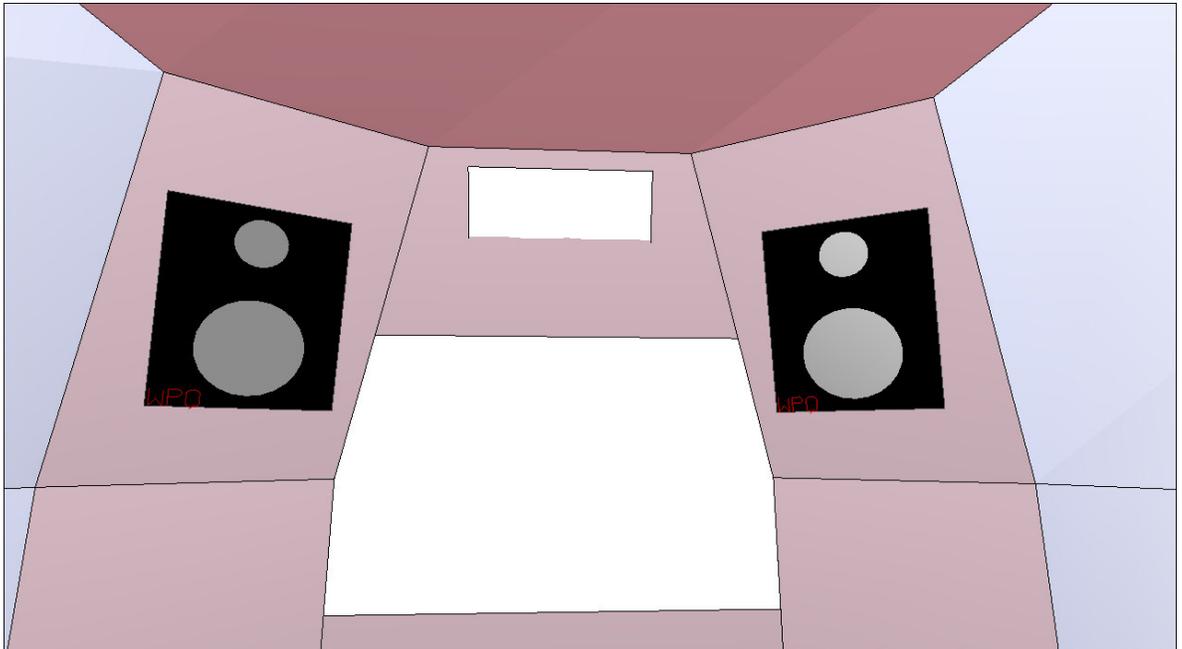


Imagen 13. Perspectiva Interior 3D del Control room

4.3.1.2 Ubicación de los Monitores y Receptor

- Distancia entre monitores = 2m
- Distancia perpendicular de los monitores hacia el receptor = 1,73m
- Altura de los Monitores = 1,62m
- Ángulo de Inclinación Incidente = 12°

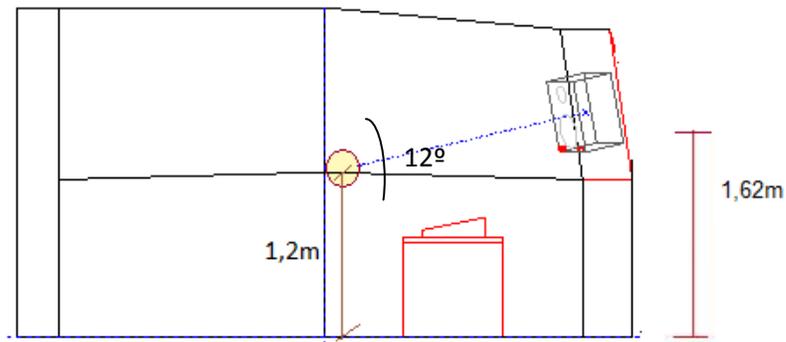


Imagen 14. Vista lateral 2D control room

Ángulo de direccionalidad de la fuente hacia el receptor = 30°

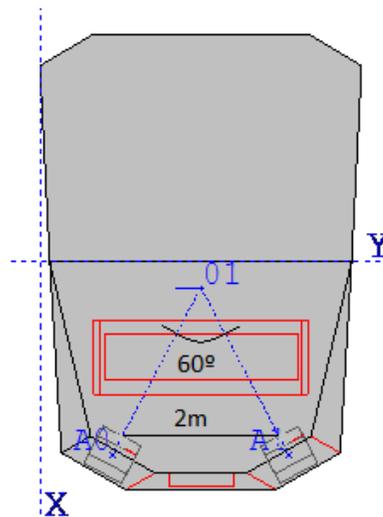


Imagen 15. Planta ángulo de direccionalidad de la fuente y distancia entre monitores.

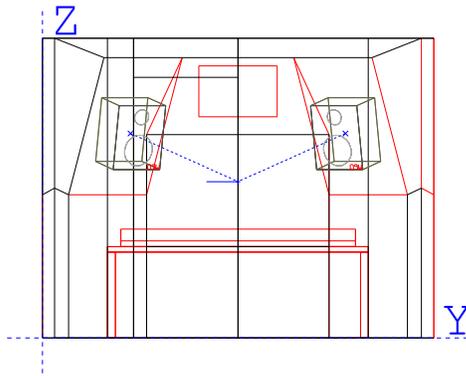


Imagen 16. Vista 2D posterior Control Room

4.3.1.3 Ángulo de Inclinación de las paredes

- Ángulo de Inclinación Paredes Frontales Laterales plano Ancho, profundo (W,L)= 30°
- Ángulo de Inclinación Paredes Laterales plano Ancho, profundo (W,L)= $3,3^\circ$
- Ángulo de Inclinación Paredes Posteriores plano Ancho, profundo (W,L)= 60°

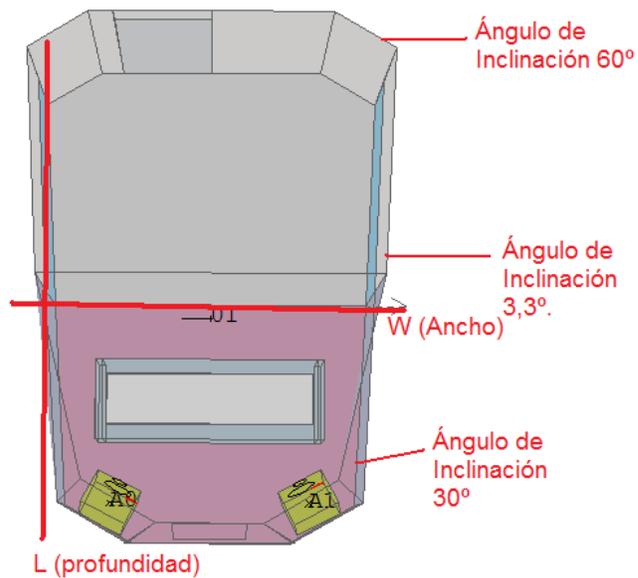


Imagen 17. Ángulo de Inclinación paredes plano ancho, profundo (W,L).

- Ángulo y altura Inclinación Paredes Frontales plano profundo, alto (L,H) 14,2° desde h= 1,56m
- Ángulo de Inclinación Techo Frontal plano Profundo- alto (L,H)= 4,28°

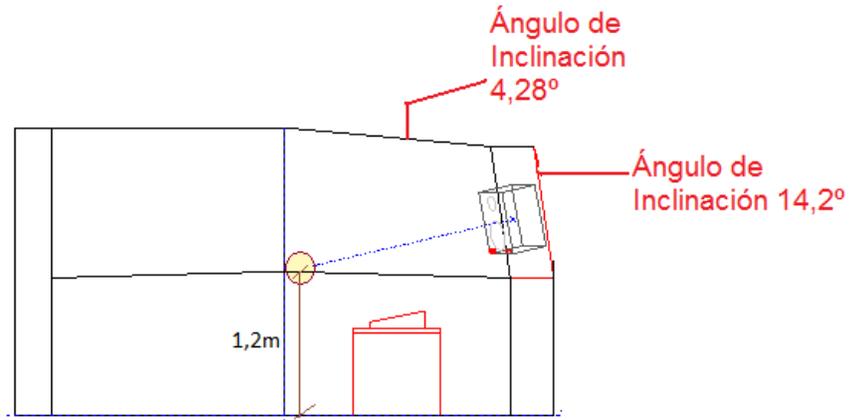


Figura 61. Ángulo de Inclinación plano profundo, alto (L, H)

4.3.1.4 Resultados de las Predicciones de las Características Acústicas del Control Room

- Respuesta al Impulso

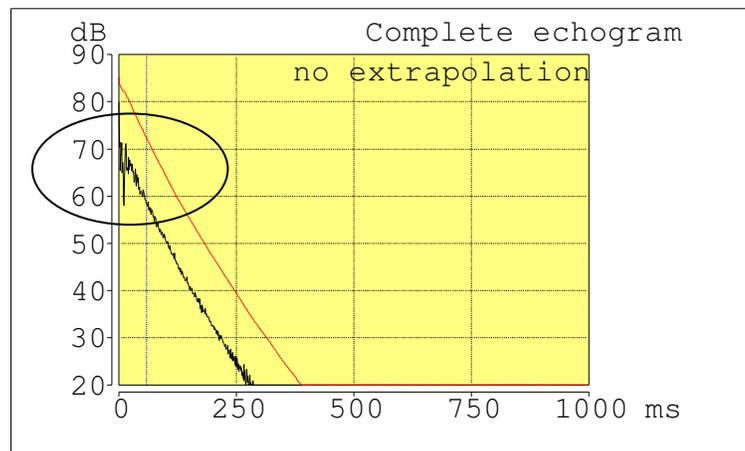


Figura 62. Respuesta al impulso simulación Control room

Respuesta al impulso del punto donde se sitúa el receptor. Se observa una distribución de reflexiones uniformes en el tiempo y la sucesión de amplitudes, tiene un decaimiento lineal en función del tiempo, por lo tanto no se necesita mejorar mediante tratamiento acústico.

- **ITDG**

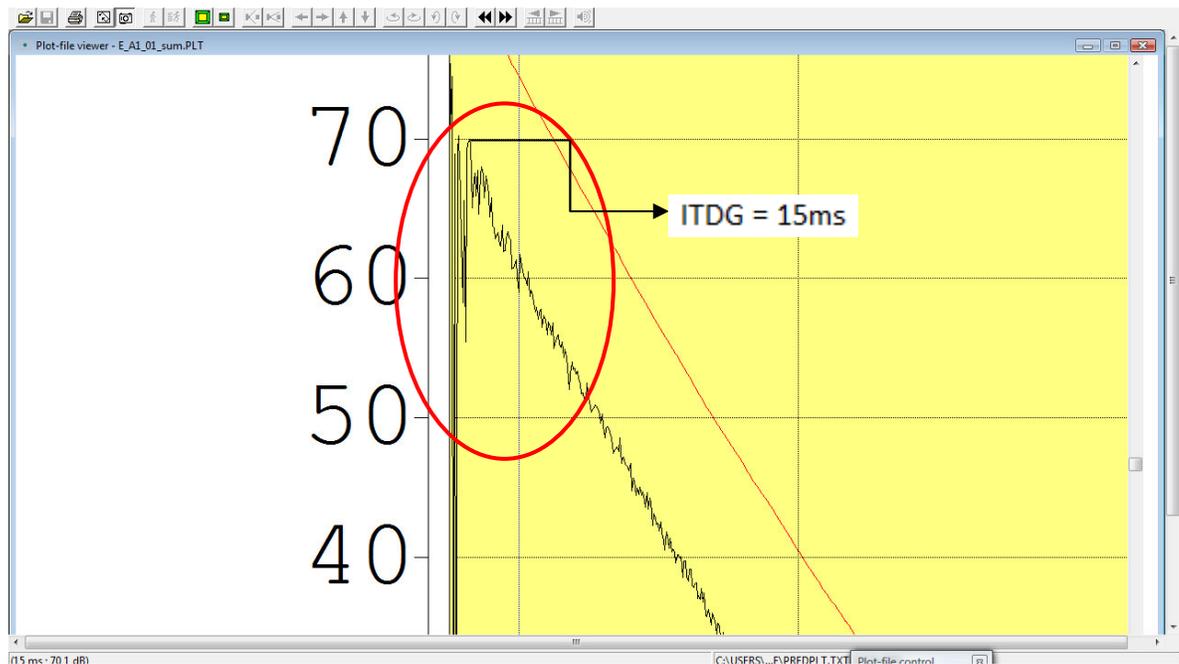


Figura 63. ITDG Simulación Control Room

La sala del Control room, presenta un tiempo de retardo inicial del sonido de 15ms, esto indica que la conexión entre el oyente y la fuente sonora, **está inmerso en la actividad musical.**

- **Predicción Tiempo de Reverberación Control Room**

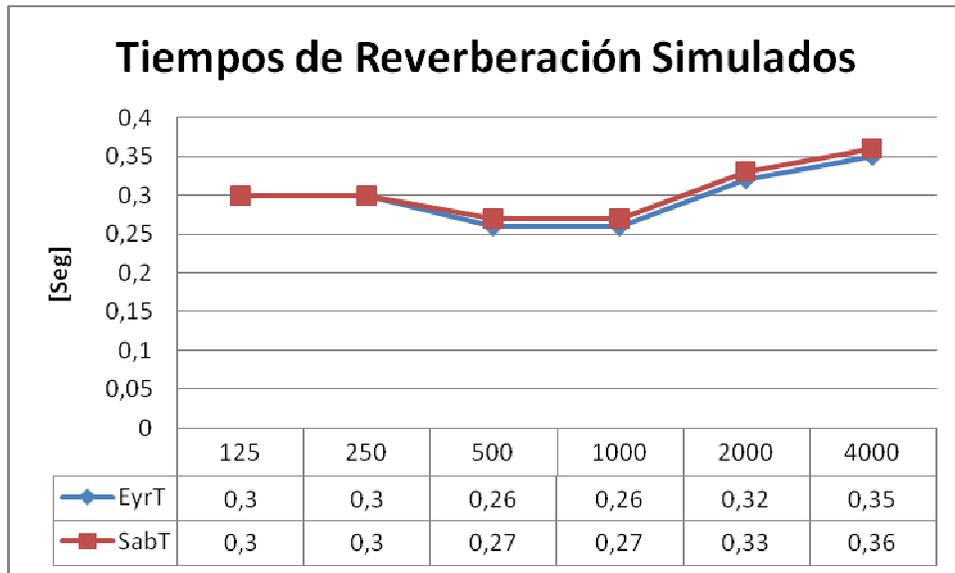


Figura 64. Tiempo de Reverberación Simulados

La ecuación más utilizada para calcular el tiempo de reverberación que depende solo de las dimensiones del local, de la absorción de sus superficies, y del contenido que tenga, es la ecuación de Norris-Eyring. Si el coeficiente de absorción $\alpha < 0,2$ el tiempo se aproxima a la ecuación de Sabine que proporciona un método para calcular de manera aproximada el tiempo de reverberación en una sala o recinto determinados. En la figura 64, se observa que el tiempo de reverberación Eyring y Sabine se encuentra aproximado.

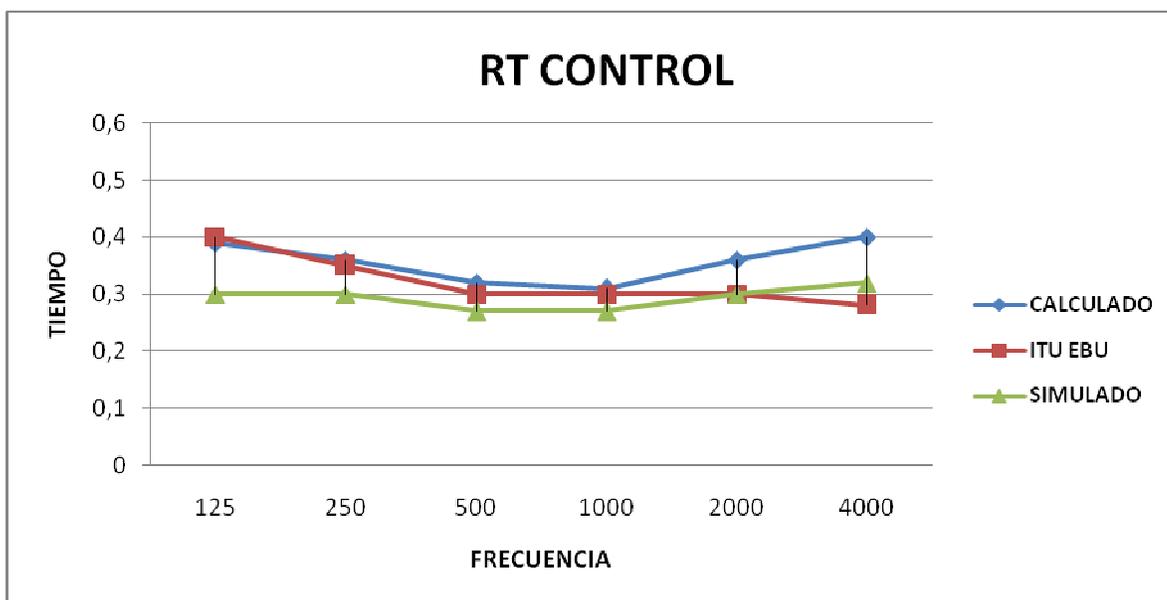


Figura 65. Comparación entre tiempo de Reverberación Calculado, Recomendado y Simulado.

Tabla 31. Diferencia Rt Calculado y medido

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
Calculado	0,39	0,36	0,32	0,31	0,36	0,4
Simulado	0,3	0,3	0,27	0,27	0,3	0,32
Diferencia Rt calculado y Medido	0,1	0,06	0,05	0,04	0,06	0,08

Los valores de tiempo de reverberación calculado y simulado tienen poca diferencia (tabla 32), lo que brinda un error mínimo, que se deben a los diferentes métodos para cálculo de tiempo de reverberación. Sin embargo se ajustan los valores recomendados por la ITU EBU para control room pequeños (figura 79).

- **Predicción C80.**

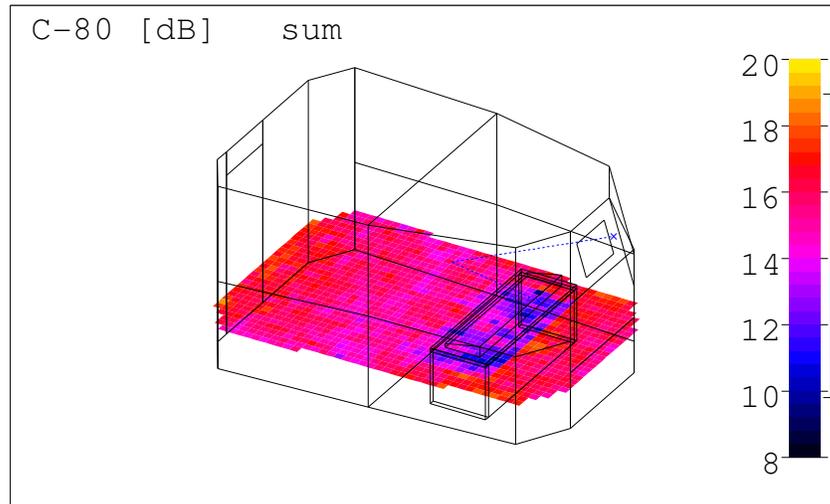


Imagen 18. Predicción de la Claridad musical C80, Control room.

En la imagen 18, se observa que el recinto presenta un valor de claridad alto dentro del rango de 10 a 19dB, es decir, el sonido en el cuarto es muy claro.

- **Predicción SPL.**

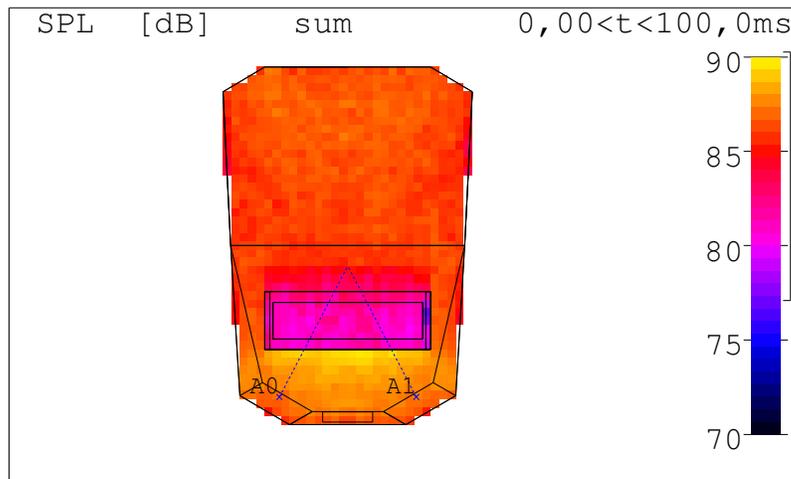


Imagen 19. SPL Predicción Control Room

En la imagen 19, se observa que la distribución de nivel de presión sonora en la sala es homogénea y sólo presenta un aumento de 2 a 3 dB en la parte frontal del control, donde se encuentran los monitores.

4.3.2 Sala de Grabación

4.3.2.1 Geometría Sala de grabación

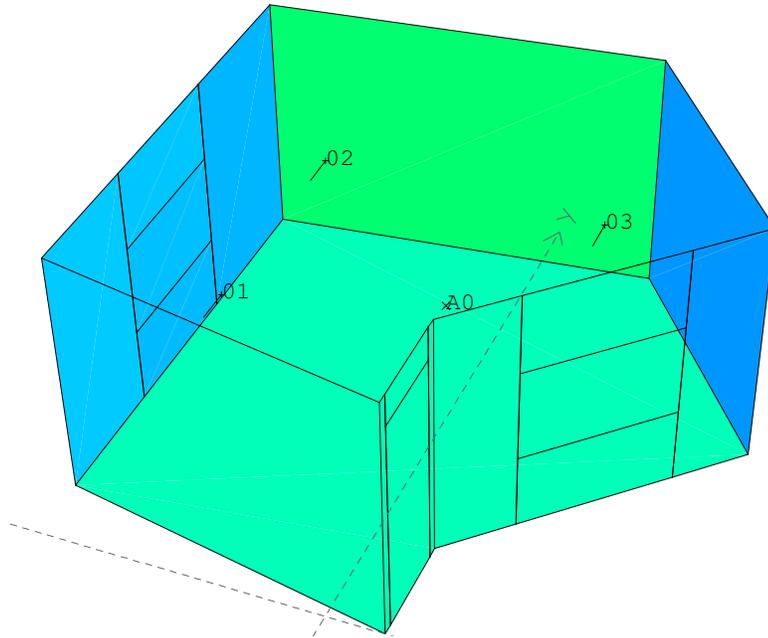


Imagen 20. Sala de Grabación 3D

- Volumen= $41,19\text{m}^3$
- Dimensiones
 - Ancho $W= 5\text{m}$
 - Profundo $L= 5\text{m}$
 - Alto $L=2,3\text{m}$
- Forma: Trapezoidal.

4.3.2.2 Ángulo de Inclinación Paredes

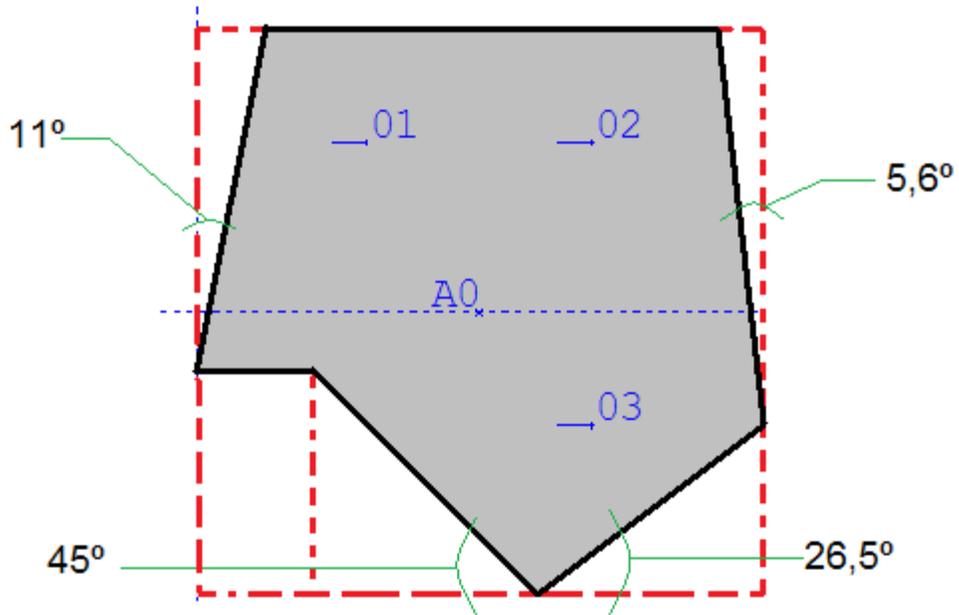


Imagen 21. Inclinación paredes Sala de grabación

- Ángulo de Inclinación Pared Lateral derecha = $5,6^\circ$
- Ángulo de Inclinación Pared posterior derecha = $26,5^\circ$
- Ángulo de Inclinación Pared posterior Izquierda = 45°
- Ángulo de Inclinación Pared Lateral Izquierda = 11°

4.3.2.3 Resultados de las Predicciones de las características Acústicas de la Sala de grabación.

- Respuesta al Impulso

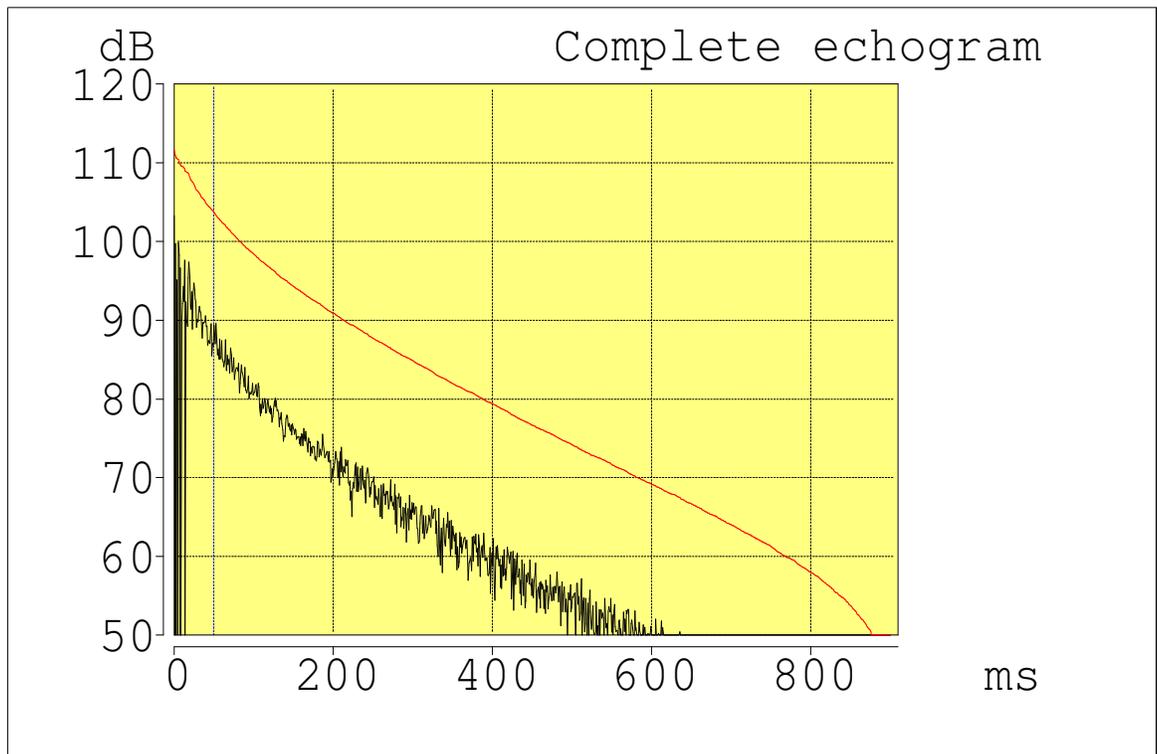


Imagen 22. Respuesta al Impulso Sala de Grabación

En el ecograma de la respuesta al impulso de la sala de grabación, se observa una distribución de reflexiones uniformes en el tiempo y la sucesión de amplitudes, tienen un decaimiento lineal en función del tiempo, por lo tanto no se requiere mejorar con tratamiento acústico.

- **Predicción tiempo de reverberación Sala 1 de grabación**

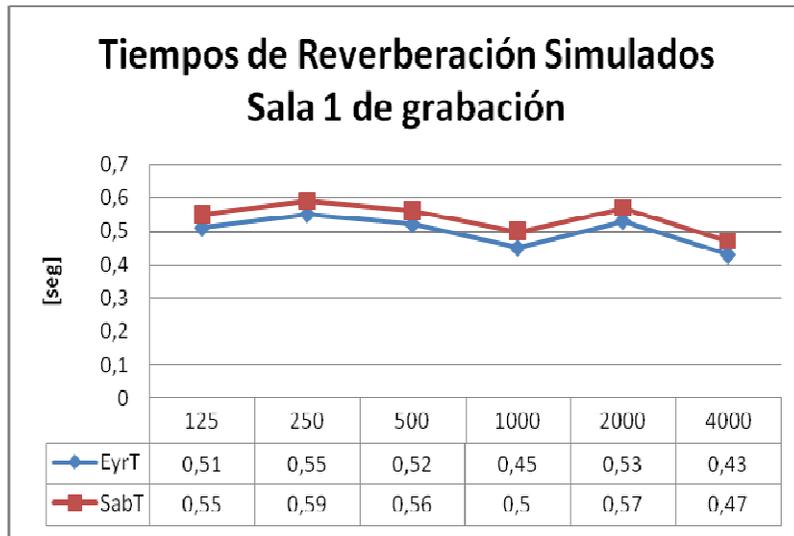


Figura 66. Tiempo de reverberación simulados Sala 1 de grabación

En la figura 80, se observa que el tiempo de reverberación entre Eyring y Sabine presenta valores aproximados.

- **Tiempo de Reverberación Simulado y calculado.**

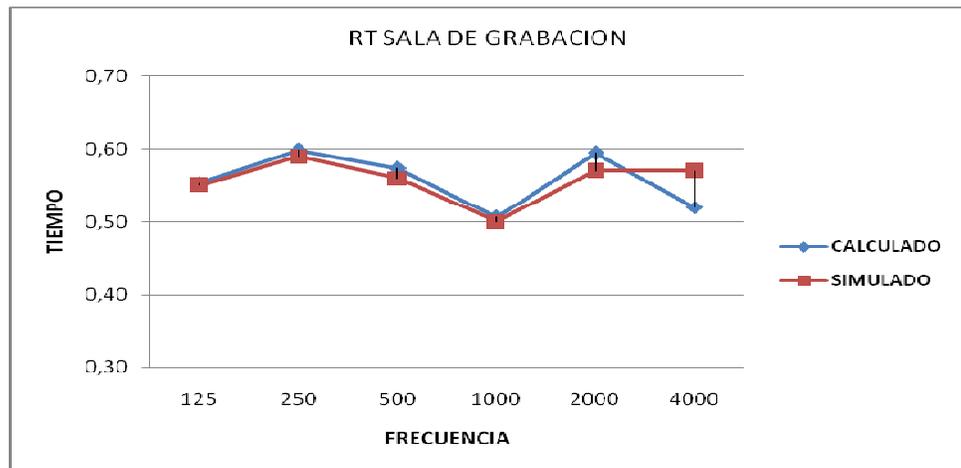


Figura 67. Comparación tiempo de reverberación Calculado y Simulado de la Sala de grabación

Los valores de tiempo de reverberacion calculados y simulados son similares en las bandas de 125, 250, 500, 1000, 2000 excepto en 4000 Hz(figura 67).

- **C80**

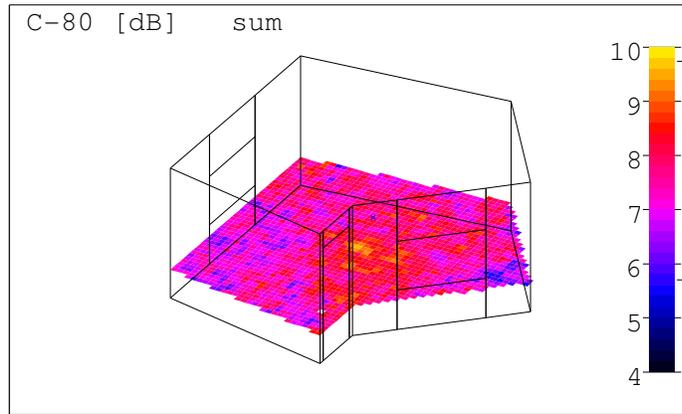


Imagen 23. Claridad musical C80 de la Sala de Grabación

En la imagen 25, se observa que el comportamiento de la claridad en la sala de grabación, es uniforme, permitiendo la ubicación del micrófono en cualquier punto de la sala.

- **SPL**

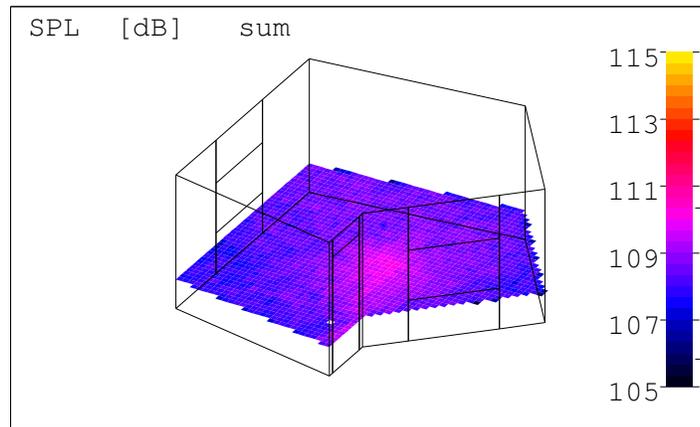


Imagen 24. SPL en la Sala de Grabación

La sala de grabación, presenta un comportamiento uniforme del nivel de presión sonora, esto permite que la captura de la fuente en cualquier punto de la sala sea constante.

4.3.3 Sala de Percusión

4.3.3.1 Geometría Sala de percusión

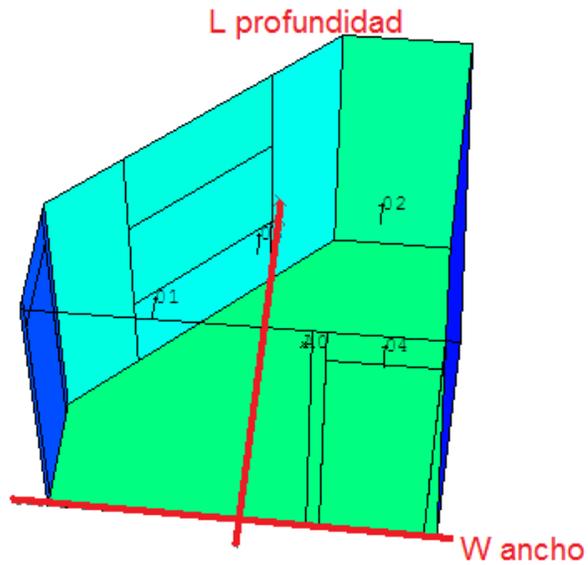


Imagen 25. Sala de Percusión 3D

- Volumen= $16,10\text{m}^3$
- Dimensiones
 - Ancho $W= 3\text{m}$
 - Profundo $L= 3\text{m}$
 - Alto $H=2,3\text{m}$
- Forma: Trapezoidal.

4.3.3.2 Ángulo de Inclinación Paredes

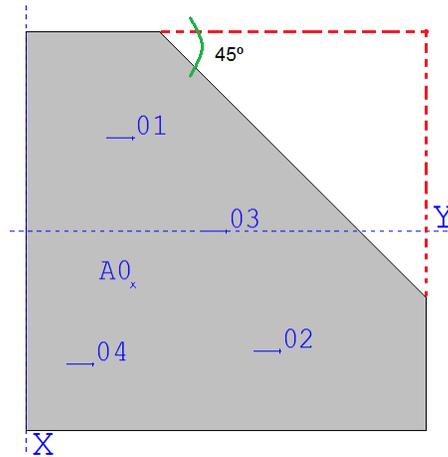


Imagen 26. Inclinación pared Sala de Percusión 'cabina'

- Ángulo de Inclinación Pared Lateral derecha = 45°

4.3.3.3 Resultados de las Predicciones de las características Acústicas de la Sala de percusión

- Respuesta al Impulso

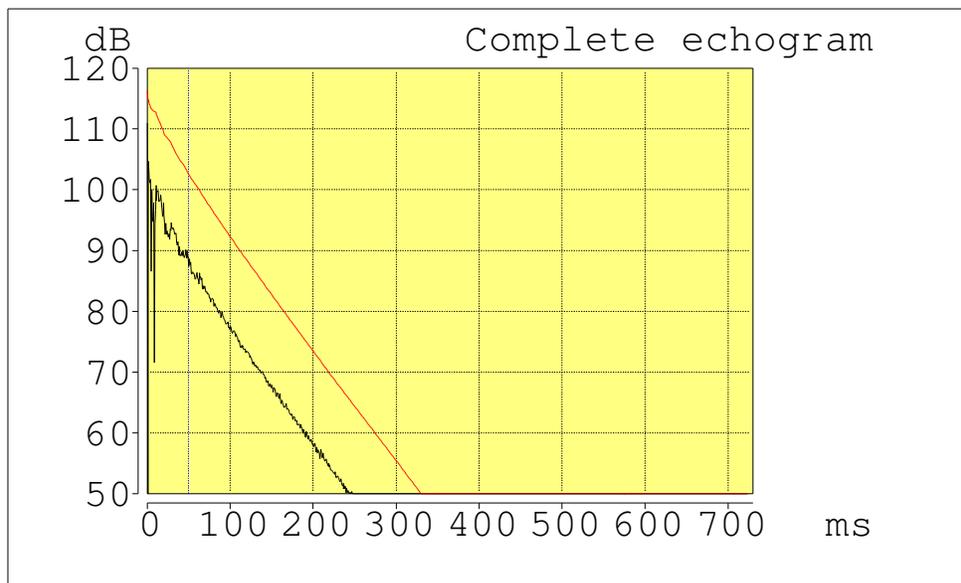


Figura 68. Respuesta al Impulso Sala de grabación de percusión.

En la respuesta al impulso de la sala de percusión, se observa que el decaimiento lineal en función del tiempo tiene una distribución de reflexiones uniformes en el tiempo y la sucesión de amplitudes.

- **Tiempo de Reverberación.**

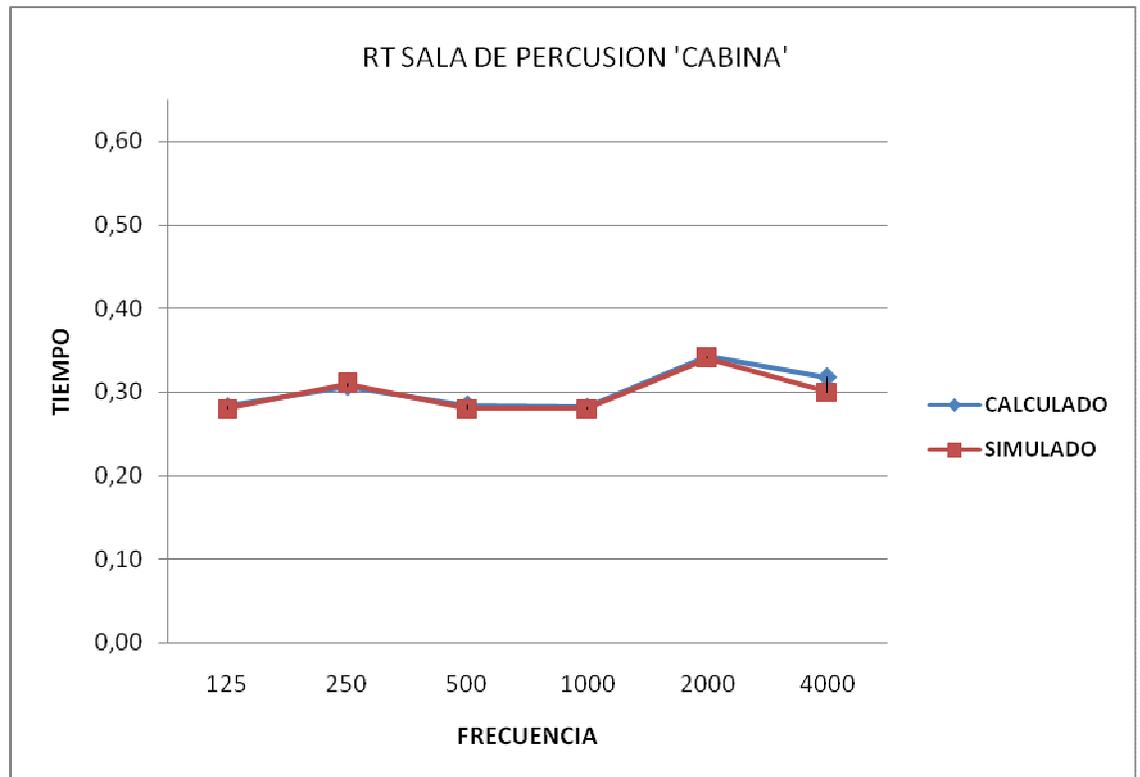


Figura 69. Comparación tiempo de reverberación Calculado y Simulado de la Sala de percusión

Los valores de tiempo de reverberacion calculados y simulados son parecidos para las frecuencias de 125 a 2kHz, en 4000 Hz tienen una diferencia de 0,01seg.

- **C80**

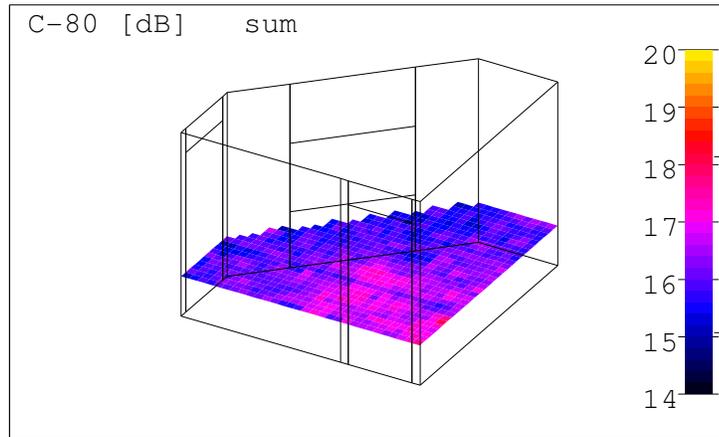


Imagen 27. Claridad musical C80 de la Sala de percusión ‘cabina’.

Se encuentra al margen de 4dB, su comportamiento es uniforme, permitiendo la ubicación del micrófono en cualquier punto de la sala.

- **SPL**

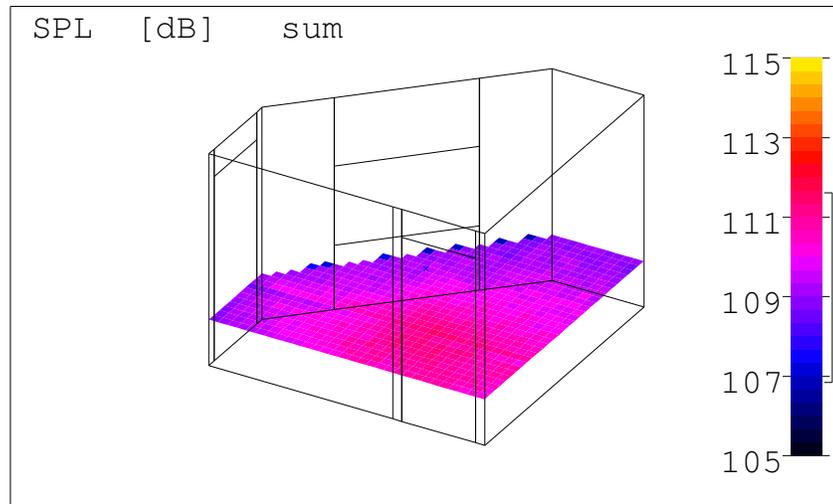


Imagen 28. SPL en la Sala de grabación

La sala de grabación, presenta un comportamiento uniforme del nivel de presión sonora y así obtener un

4.4 Distribución de materiales Acústicos

✓ Control Room

Los materiales serán dispuestos en la sala según se muestra en la Imagen 29 y serán puestos sobre las distintas superficies límites.

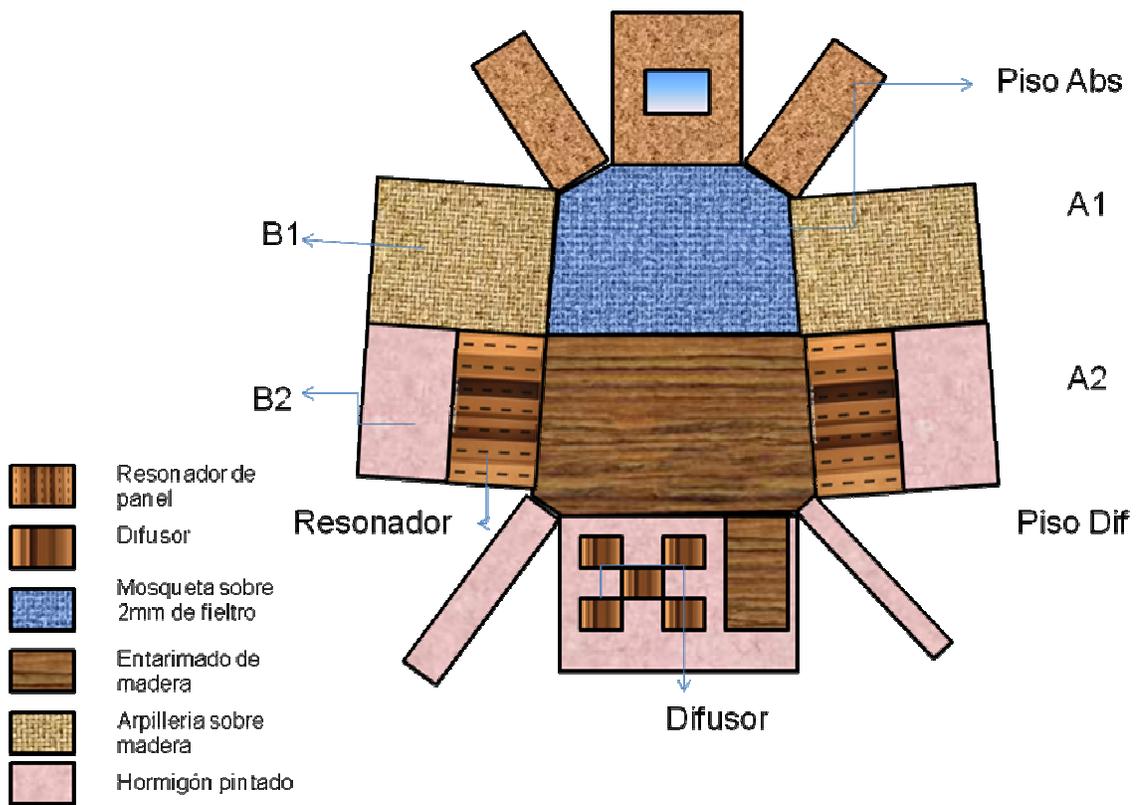


Imagen 29. Disposición de materiales en el Control room

✓ Sala de Grabación

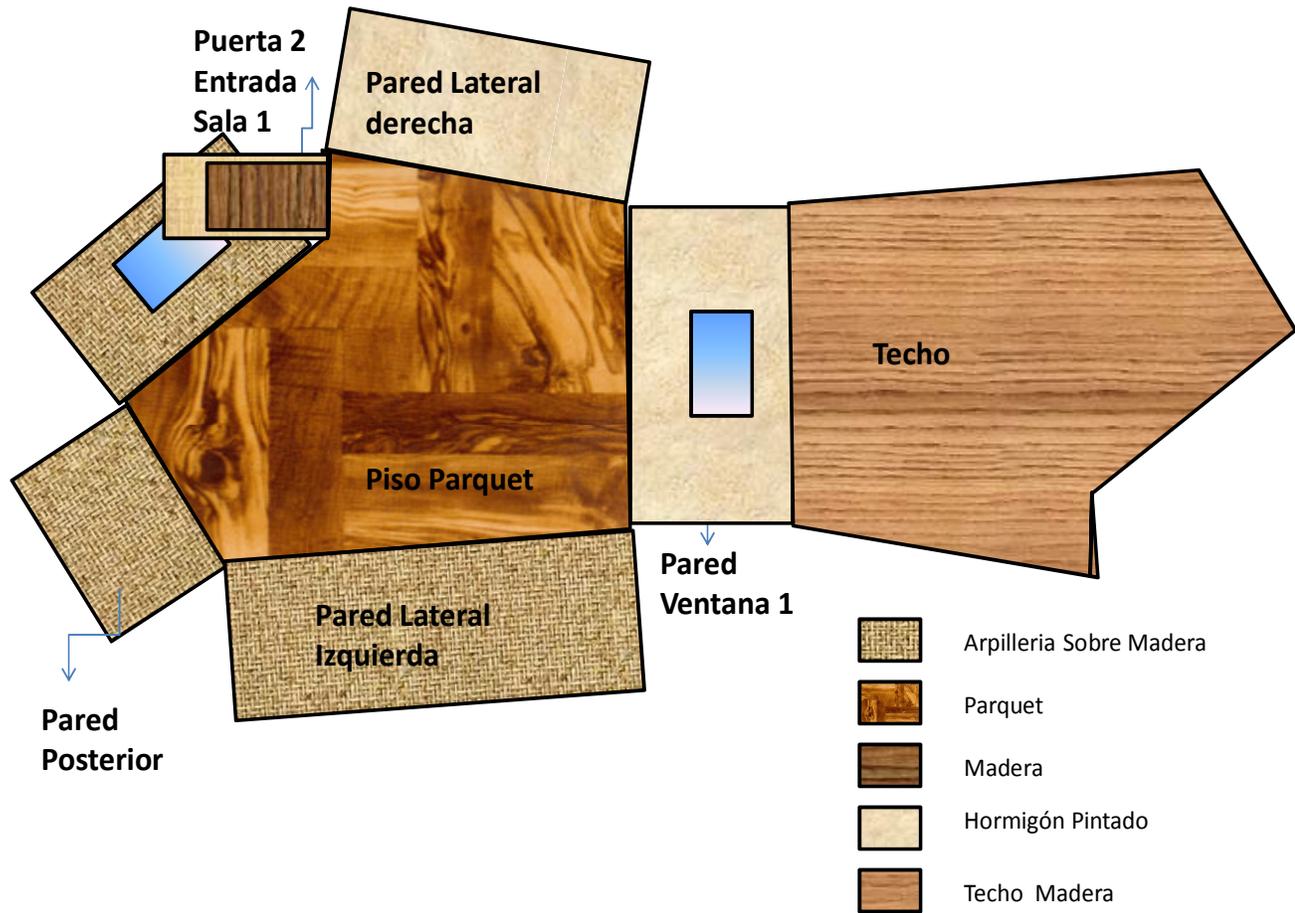


Imagen 30. Distribución de materiales Sala de Grabación

✓ Cabina

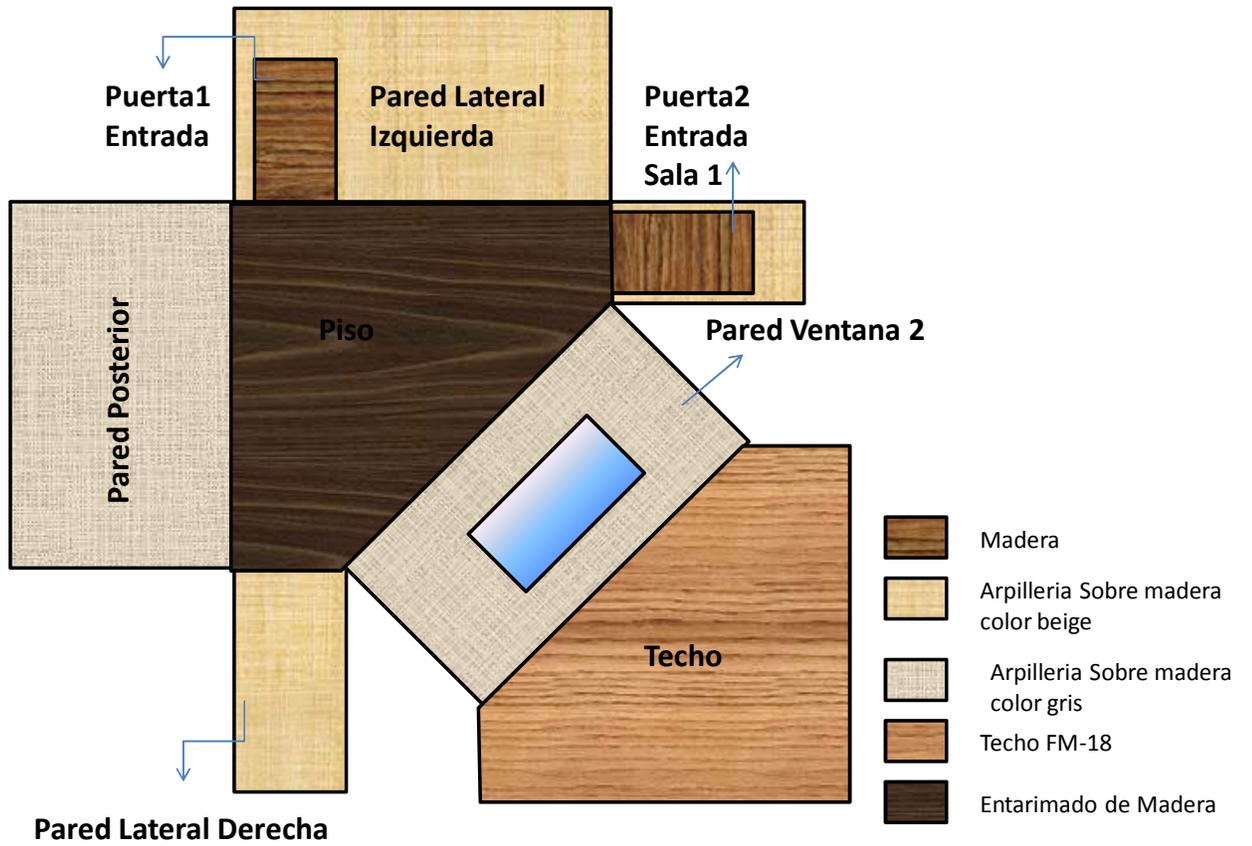


Imagen 31. Materiales Sala 'Cabina'

4.5 AISLAMIENTO PROPUESTO MIXTO

4.5.1 Propuesta de aislamiento requerido para cada pared

Para obtener el nivel deseado dentro del recinto bajo el criterio de curvas NC-20, se opta por buscar un tabique o material que tenga un nivel de aislamiento óptimo.

La pérdida por transmisión del estudio actual, no cumple con los niveles establecidos en el criterio de curvas NC-20 para el control Room y las salas de grabación en las bandas de 125 a 4000Hz. El tratamiento se plantea realizarlo exterior al recinto, de esta forma no se modifica ningún parámetro acústico ya medido ni el volumen de la sala.

En la figura 70, se muestran diferentes tabiques dobles con diferente cavidad de aire en función de su aislamiento por frecuencia, que se utilizaron como solución a los problemas de aislamiento en baja frecuencia.

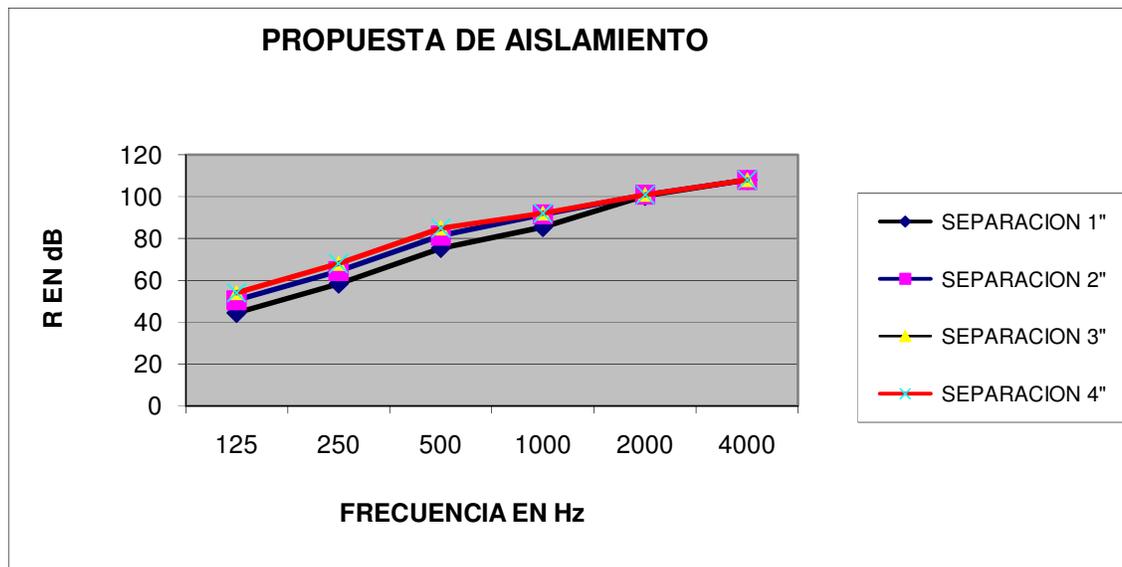


Figura 70. Propuesta de Aislamiento

4.5.1.1 Aislamiento Control Room

- Aislamiento Control – pared trasera

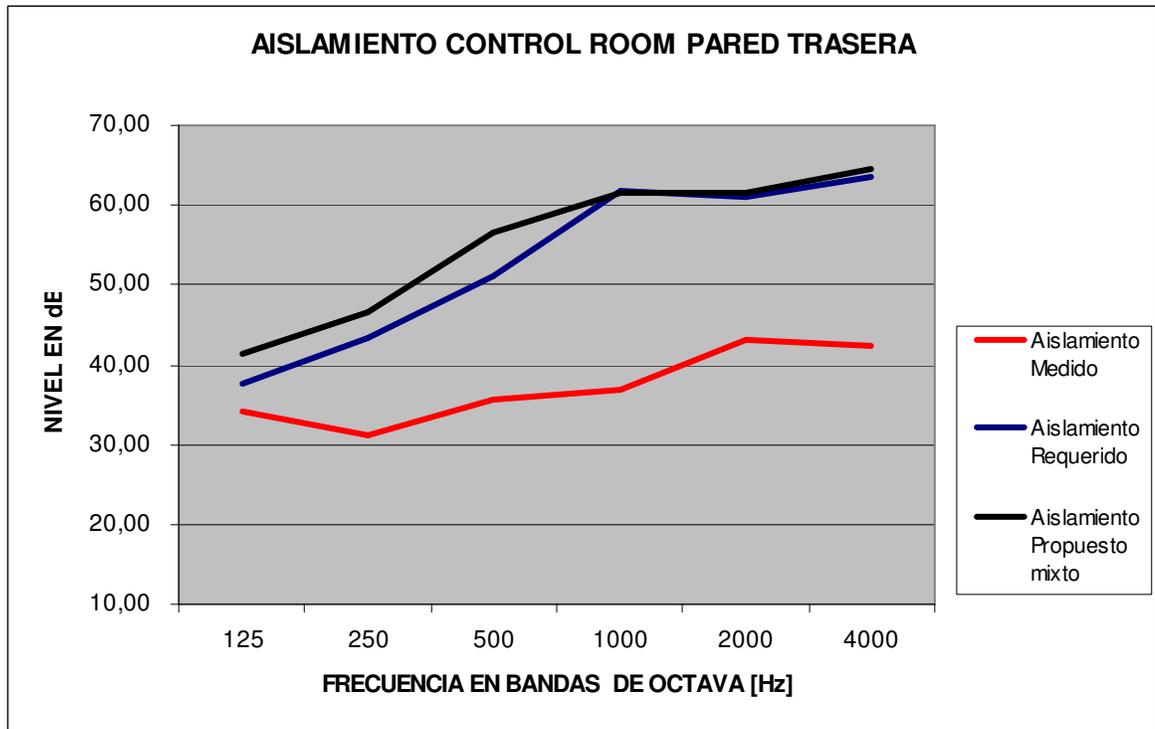


Figura 71. Aislamiento Control Room – Pared Trasera

La medición de aislamiento que se realizó a la superficie donde se localiza la pared trasera del control Room inicialmente no tiene puerta, por esta razón el aislamiento propuesto está ajustado al mínimo requerido, se utilizó una pared doble con una separación de 4" pulgadas, ya que esta configuración proporciona mayor aislamiento en baja frecuencia.

- **Aislamiento Control – Pared frente**

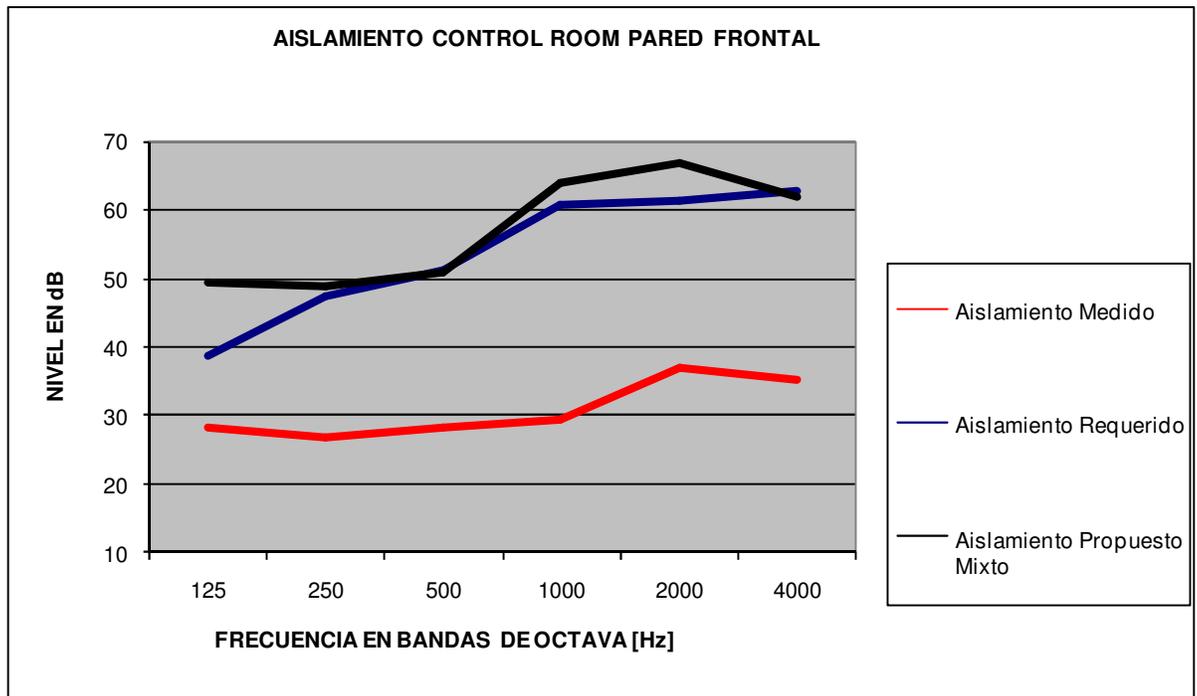


Figura 72. Aislamiento Control- pared frontal

La pared está conformada por una pared doble y una ventana de doble de vidrio de (10mm) + aire (100mm) +vidrio (15mm) con un buen aislamiento en baja frecuencia que permite cumplir el aislamiento requerido, el aislamiento para las bandas de 500 y 4000Hz cumplen con valores mínimos de aislamiento.

- **Aislamiento Control Room – pared derecha**

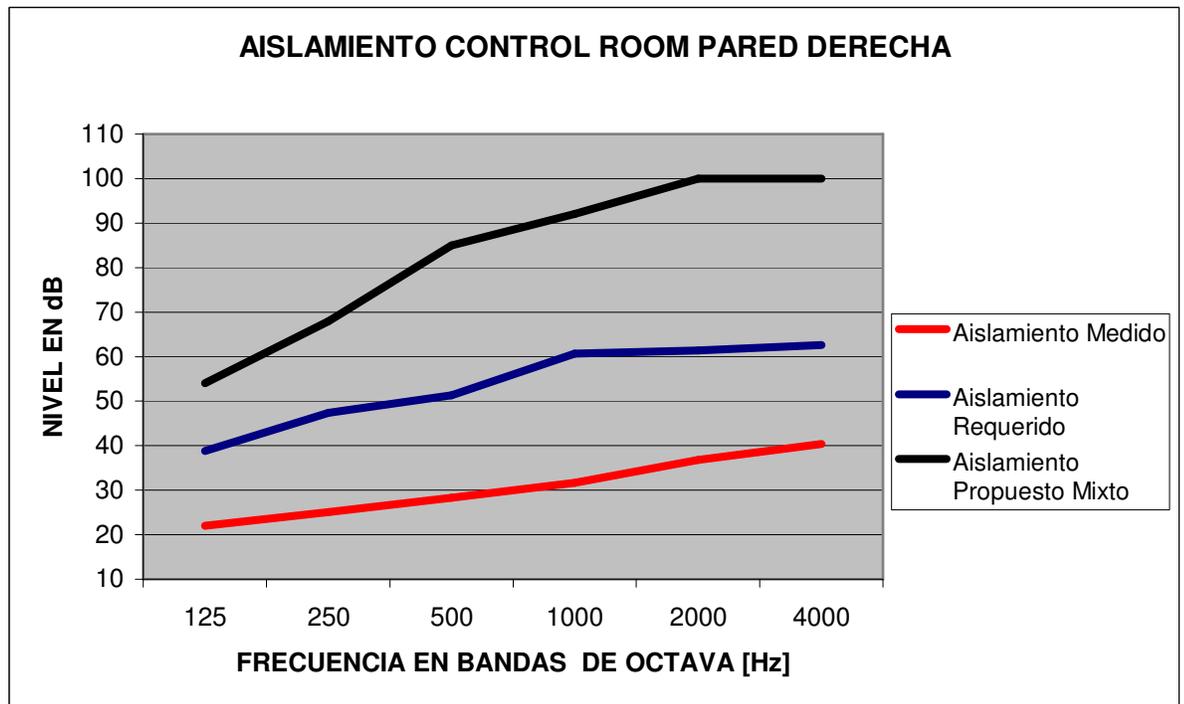


Figura 73. Aislamiento Control Room – pared derecha

El aislamiento propuesto está compuesto por solo una pared doble en concreto, la primera con un espesor de 0.2m y la segunda con un espesor de 0.04m espaciada a 3”Pulgadas, logrando aumentar el aislamiento sobrepasando el requerido.

- **Aislamiento Control Room – pared izquierda**

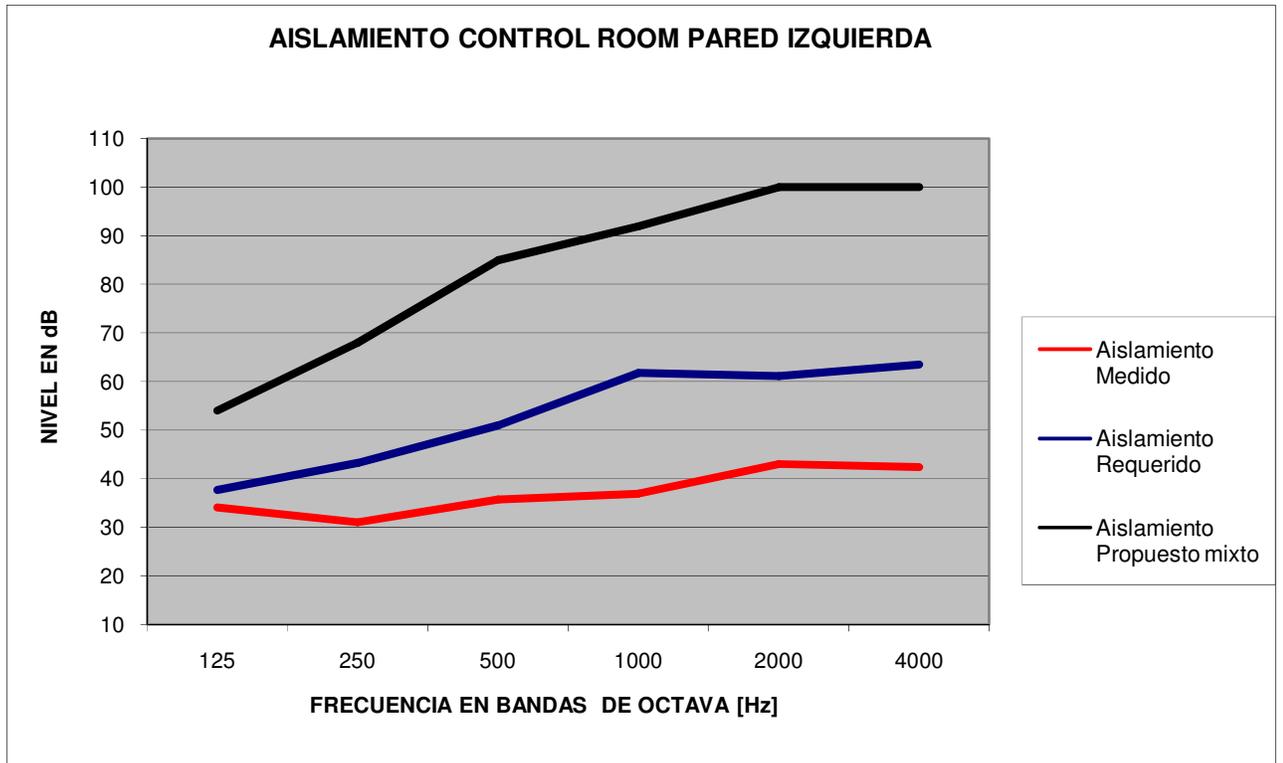


Figura 74. Aislamiento Control room - Pared Izquierda

Las dos paredes laterales que conforman el control Room son de una sola superficie homogénea garantizando un aislamiento alto aportado por la pared doble.

4.5.1.2 Aislamiento Sala de Grabación

- Sala de grabación pared trasera

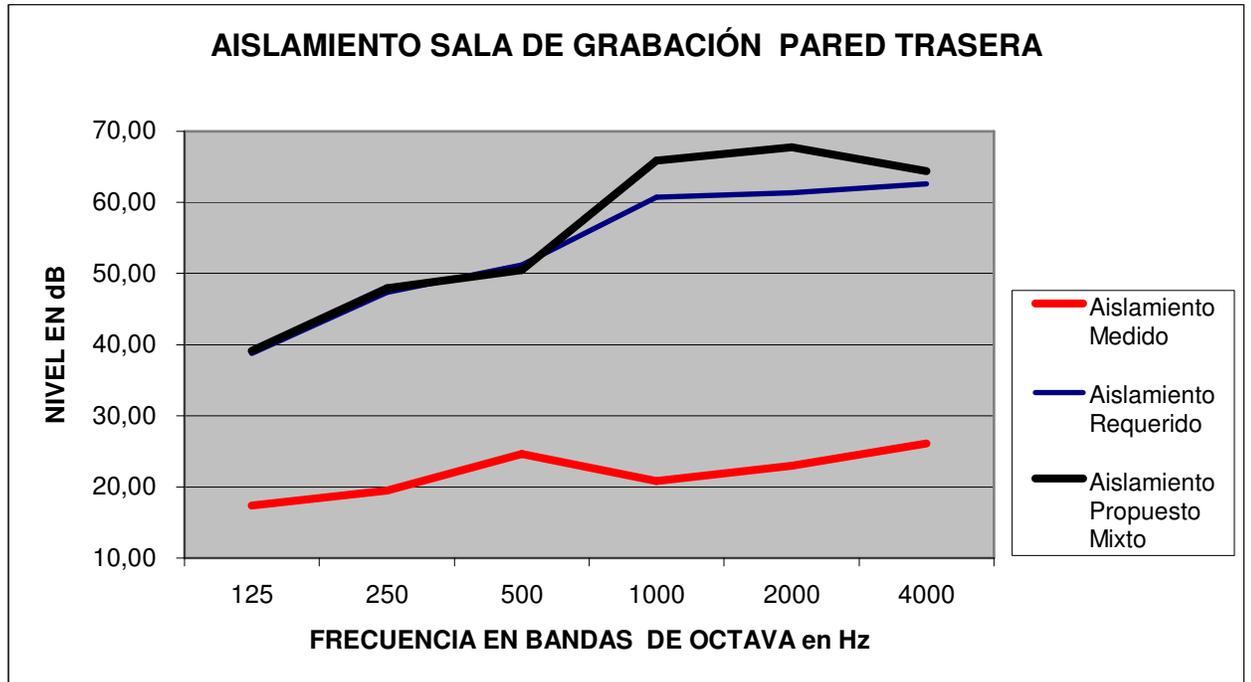


Figura 75. Aislamiento Sala de grabación – pared trasera

Esta pared está compuesta por una pared doble, un vidrio que lo comunica visualmente con la sala para grabaciones de percusión y una puerta de madera de absceso con diferentes valores de aislamiento, a pesar que tienen altos valores de aislamiento este apenas cumple con los mínimos requeridos para baja frecuencia.

- **Aislamiento Sala de grabación – Pared Frontal**

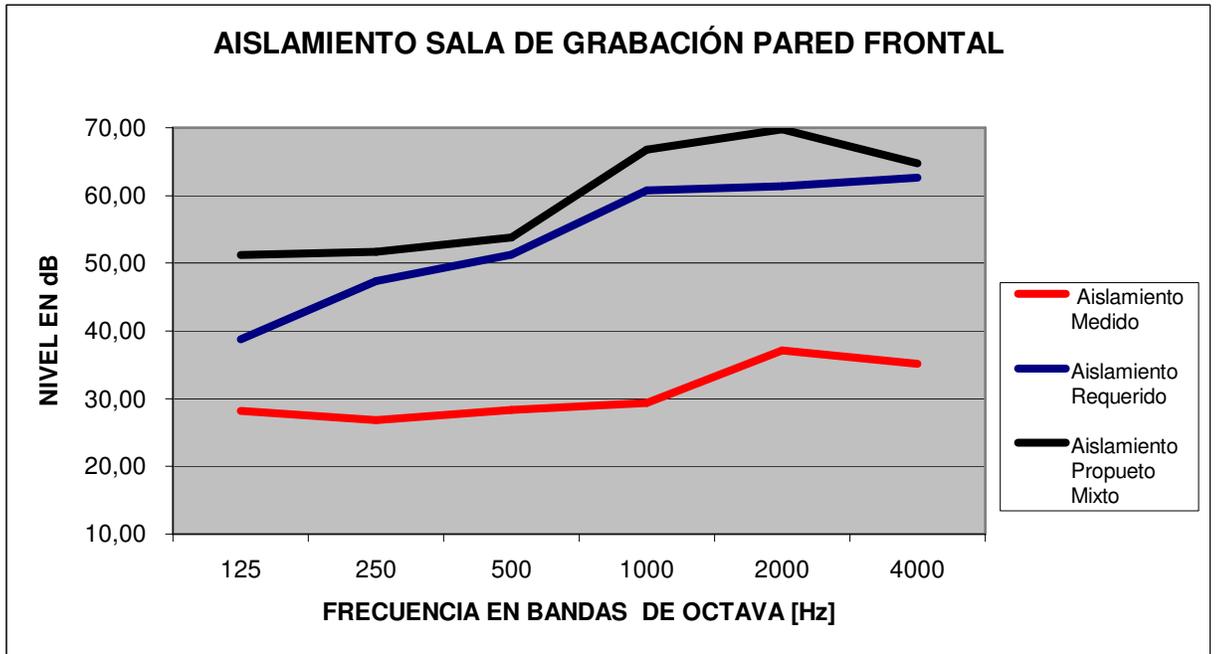


Figura 76. Aislamiento Sala de grabación – Pared frontal

Es una superficie compuesta por pared doble de concreto y un vidrio doble, presenta un aislamiento bueno.

- **Aislamiento Sala de Grabación – Pared derecha**

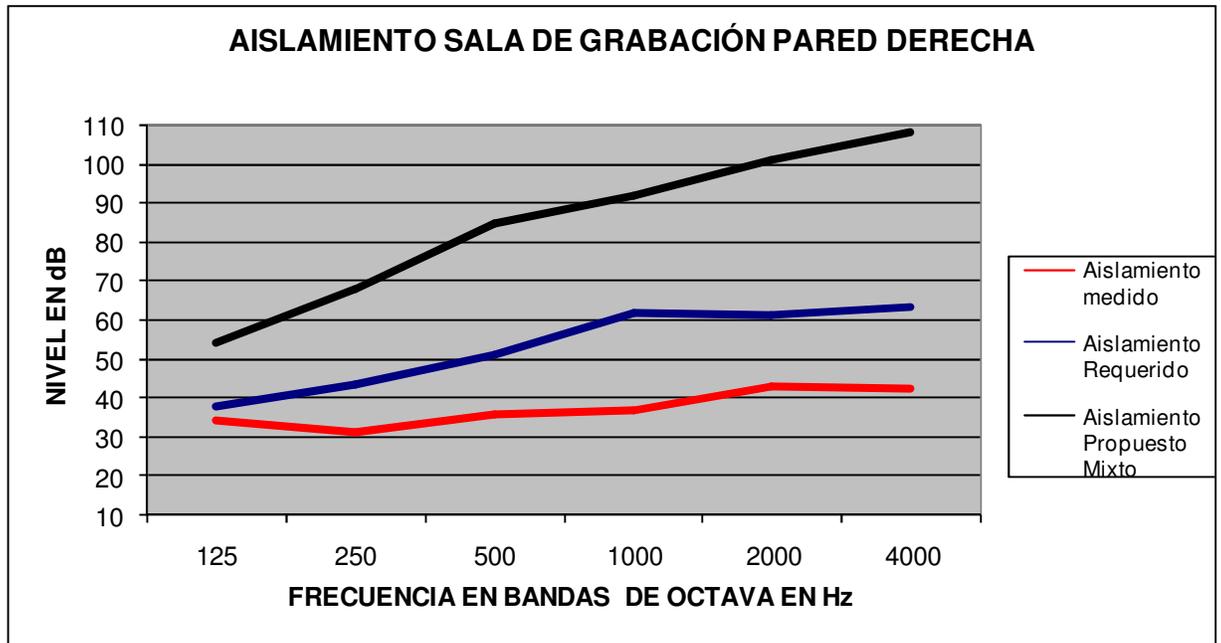


Figura 77. Aislamiento Sala de Grabación - Pared Derecha

Esta es una pared doble en concreto separada a una distancia de 3”pulgadas, que posee un buen aislamiento acústico para todo el rango de frecuencia.

- Aislamiento Sala de Grabación – Pared izquierda

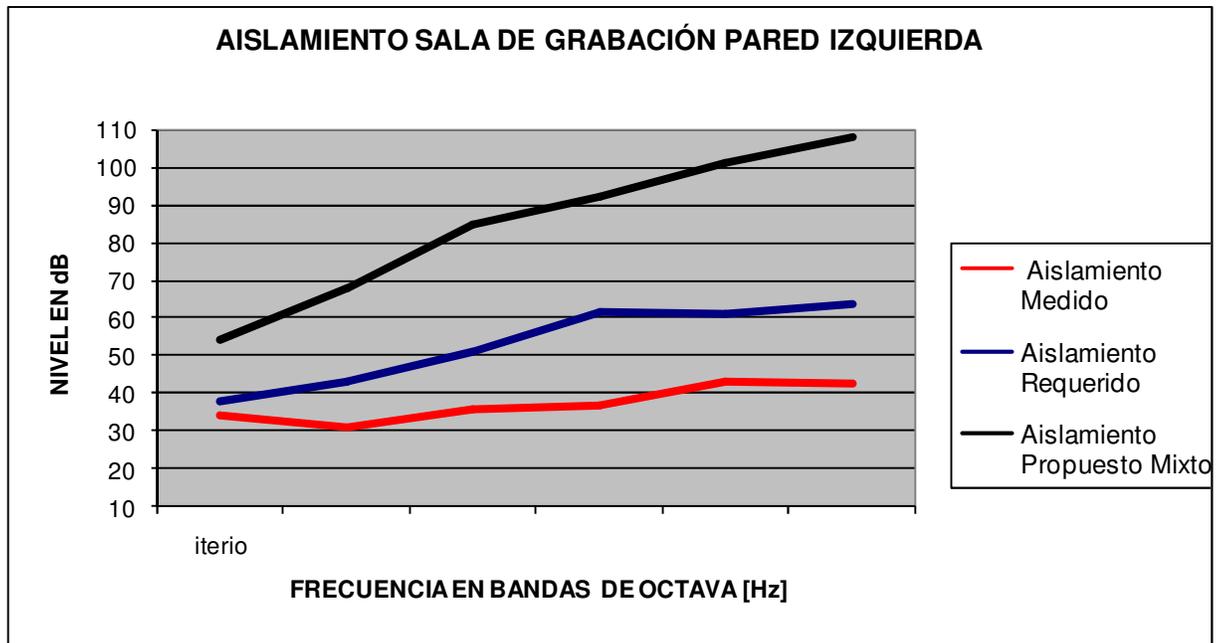


Figura 78. Aislamiento Sala de Grabación - Pared Izquierda

Las paredes laterales corresponden a una superficie de un solo material conformado por una pared doble espaciada a 3"pulgads haciéndola más aislantes a ruido aéreo para todo el rango de frecuencia.

4.5.1.3 Sala de grabación Percusión

- **Aislamiento Sala de Grabación Percusión – Pared trasera**

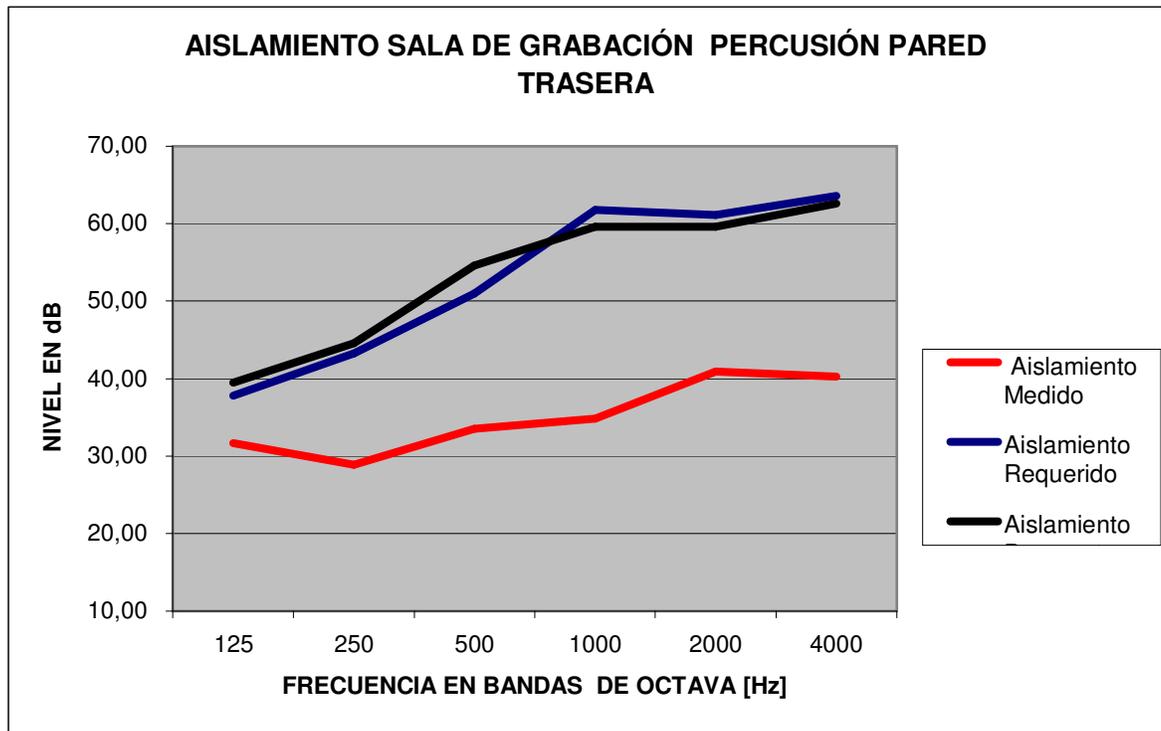


Figura 79. Aislamiento de Grabación Percusión - Pared trasera

Esta pared está compuesta por una pared doble y dos puertas que bajan el grado de aislamiento de la pared, sin embargo al compararla con el aislamiento medido el grado de Aislamiento propuesto es mayor pero para la banda de 1KHz, 2KHz y 4KHz este aislamiento es menor al requerido en pocos decibeles.

- **Aislamiento Sala de Grabación Percusión – Pared Frente**

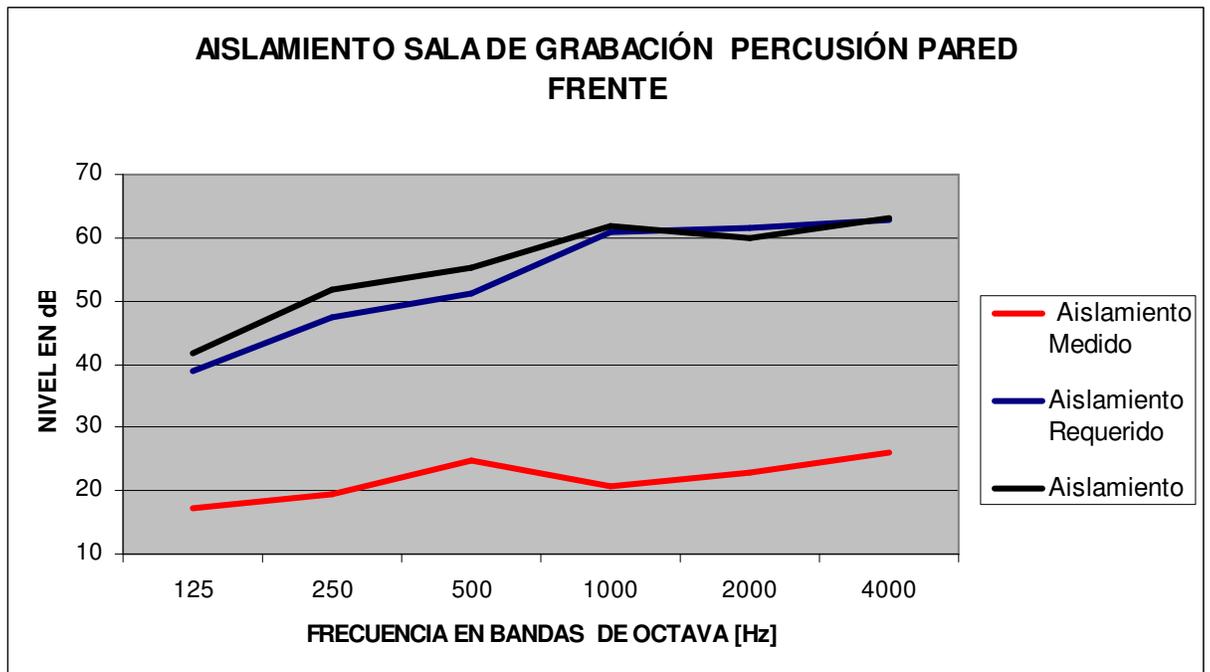


Figura 80. Aislamiento Sala de Grabación percusión – Pared Frente

Esta pared doble mejoro el asilamiento en las frecuencias de 125, 250, 500 y 1000Hz, pero para el asilamiento acústico para alta frecuencia esta apenas para cumplir el asilamiento requerido, esto se debe aquí existe una ventana que lo comunica visualmente con al control Room y el estudio de grabación

- **Aislamiento Sala de Grabación percusión-Pared Derecha**

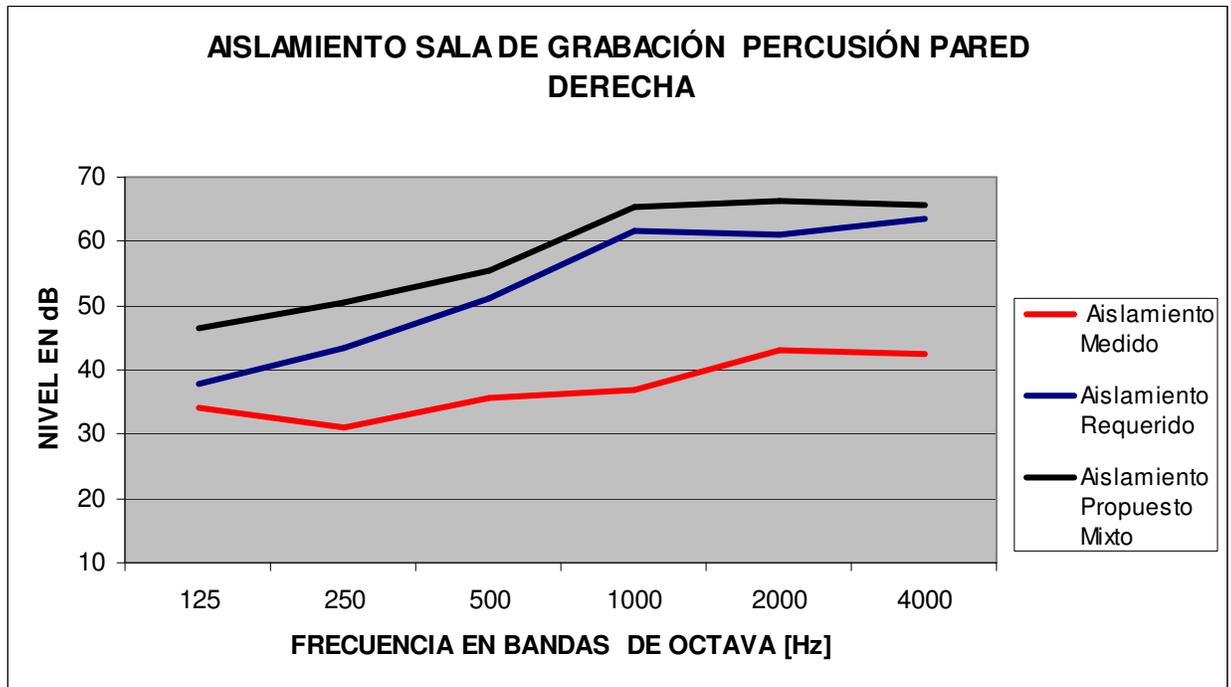


Figura 81. Aislamiento Sala de Grabación percusión – Pared Derecha

Esta pared está compuesta por una puerta y una pared doble en concreto espaciado a 4" Pulgadas, produciendo un alto grado de aislamiento acústico.

- **Aislamiento Sala de Grabación Percusión – Pared Izquierda**

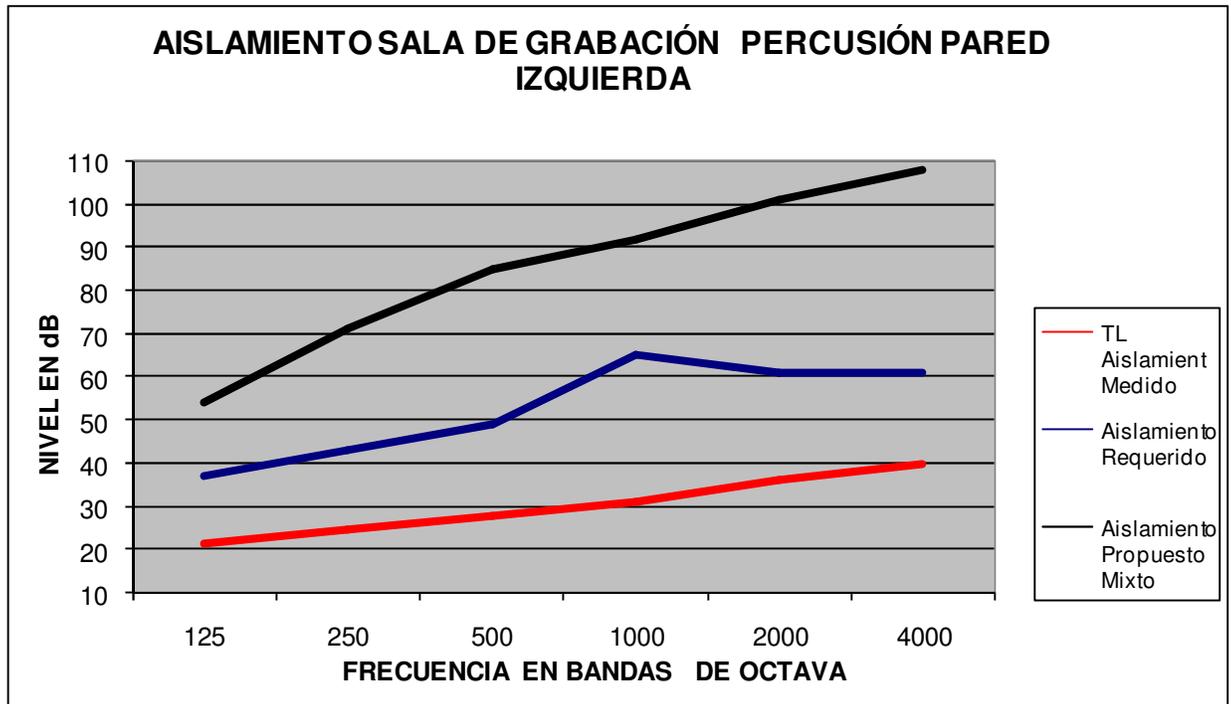


Figura 82. Aislamiento Sala de Grabación Percusión - Pared Izquierda

Como se trata de una sola superficie el aislamiento se realizó con una pared doble espaciada a 1" pulgada esta conserva un buen nivel de aislamiento acústico.

4.6 Equipamiento de grabación

- Propuesta de equipamiento

Esquema de Monitoreo

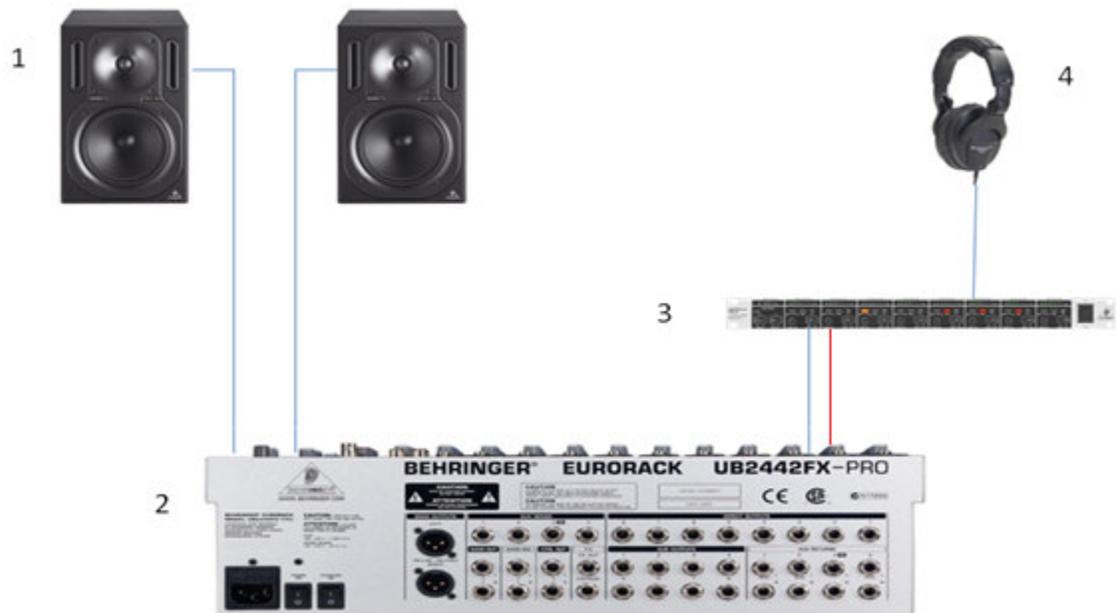


Imagen 32. Esquema de monitoreo

- 1- Monitores
- 2- Mezclador
- 3- Amplificador de Audífonos
- 4- Audífonos

La configuración (imagen 32), muestra el conexionado para el monitoreo de la señal de entrada al sistema y lograr comunicación con el estudio desde el control

Room. Estas conexiones de monitoria constan de dos conectores de plug 1/4" estéreo balanceados marca Neutrik, y cable Belden referencia 8451 y la conexión de monitoria de audífonos consta de dos conectores plug 1/4" no balanceado.

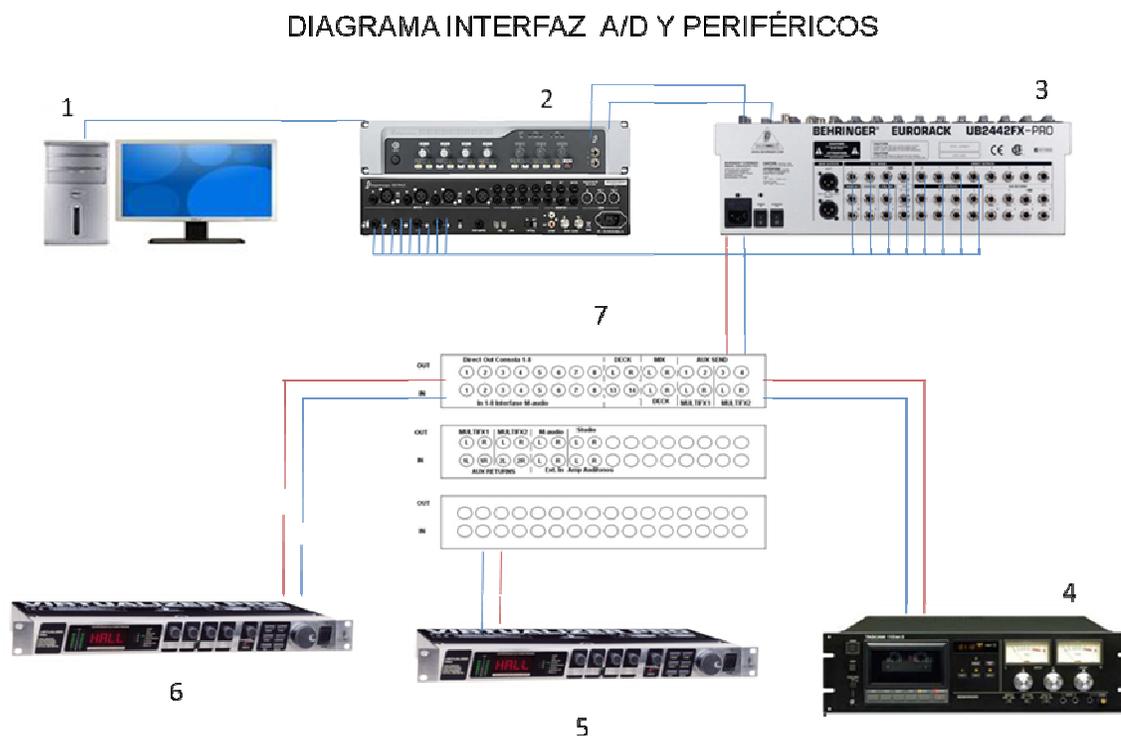


Imagen 33. Diagrama Interfaz A/D y Periféricos

- 1- Computador
- 2- Interfaz A/D
- 3- Mezclador
- 4- Deck
- 5- Multiefectos
- 6- Procesador dinámico
- 7- Patch Bay

Las salidas directas del mezclador, se conectan a las 8 entradas de la interfaz por medio de conectores plug 1/4" balanceados, luego se dirige por medio de conexión Fire Wire al computador que es la unidad de grabación y edición de audio.(imagen 33)

Por medio del Patch Bay se conectan las unidades periféricas (Deck, Multefectos), a la mesa de mezcla por medio de conectores tipo Patch Cords, según la necesidad o requerimiento del Estudio.

- **Monitores de audio**

Tabla 32. Monitores de Audio

2	Monitores	Behringer	B2030A
2	Monitores	Mackie	HR624
2	Monitores	Tannoy	reveal 6D

Son monitores de campo cercano, tienen 100 watts de potencia, tienen una respuesta lineal con amplia dispersión de sonido e imagen estereofónica. Su respuesta en frecuencia está entre (75 Hz a 21Khz) y (51Hz a 20KHz), esto los hace ideales no sólo para mezclas estéreo, sino también para sistemas surround multicanal con un subwoofer.

- **Interfaces de audio**

Tabla 33. Marcas de Interfaces de audio

1 Interfaz de audio	Digidesign	Digi 003 rack
1 Interfaz de audio + Consola	Digidesign	Digi 003 factory
1 Interfaz de audio	Digidesign	Digi003 Rack factory

Las interfaces de audio marca digidesign reconocidas mundialmente por su excelente desempeño en grabación profesional y mejor software para edición de audio. Maneja 8 canales independientes para grabación simultánea, y entradas midi para conectar dos controladores por cada interfaz, la interfaz digi 003 Factory posee una consola de mezcla con a cual se puede automatizar todos lo que se trabaje con el software simultáneamente, Conectividad Fire Wire, de alta velocidad, Resolución de 24 bits a 96 kHz, 4 preamplificadores profesionales para micrófono, 2 canales de entrada y salida digital S/PDIF, salidas duales para audífonos con controles individuales de nivel.

- **Micrófonos**

Tabla 34. Marcas de micrófonos

3	Micrófonos	Shure	SM57
1	Micrófonos	Sennheiser	e914
1	Micrófonos	akg	C-414

Estos micrófonos fueron escogidos para el estudio de AFV Records ya que tienen alta versatilidad, resisten presión sonora y tienen sensibilidad. Estos parámetros son muy importantes para las especificaciones de utilidad de los micrófonos que se les da con la música folklórica colombiana.

- **Consolas**

Tabla 35. Marca de consolas

1	Consola	Mackie	VLZ1442
1	consola	Behringer	SL2442FXPRO
1	Interfase de audio + Consola	Digidesign	Digi 003 factory

Estas consolas fueron escogidas bajo las necesidades del estudio, porque cuentan con 8 a 16 canales simultáneos de grabación, también por la versatilidad de conexión que tiene la consola, los preamplificadores de la consola que manejan son de buena calidad y tiene buena sensibilidad.

4.7 Presupuestos

Las cotizaciones se encuentran en el ANEXO B.

- **Presupuesto 1**

Tabla 36. Presupuesto 1

CANTIDAD	ARTICULO	MARCA	REFERENCIA	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Interface de audio	Digidesign	Digi 003 rack	2.554.911	2.554.911
2	Procesadores de efectos	Lexicon	MPX550	856.989	1.713.978
4	Audífonos	Sony	MDR-7506	323.127	1.292.508
1	Amplificador de Audífonos	Behringer	HA4700	315.099	315.099
1	Consola	Behringer	SL2442FXPRO	1.270.431	1.270.431
1	Portátil	Apple	PowerBook	4.596.030	4.596.030
1	Monitores	Behringer	B2030A	852.975	852.975
3	Micrófonos	Shure	SM57	232.812	698.436
1	Micrófonos	AKG	C-414	2.191.644	2.191.644
SUB TOTAL					15.486.012
IVA 16%					2.477.762
TOTAL					17.963.774

Precios en moneda colombiana.

- **Presupuesto 2**

Tabla 37. Presupuesto 2

CANTIDAD	ARTICULO	MARCA	REFERENCIA	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Interfase de audio	Digidesign	Digi003 Rack factory	3.572.460	3.572.460
4	Audífonos	Sony	MDR-7506	323.127	1.292.508
1	Amplificador de Audífonos	Behringer	HA4700	315.099	315.099
1	Consola	Mackie	VLZ1442	3.150.990	3.150.990
1	Portátil	Apple	PowerBook	4.596.030	4.596.030
1	Monitores	Mackie	HR624	1.362.753	2.725.506
3	Micrófonos	Shure	SM57	232.812	698.436
1	Micrófonos	Sennheiser	e914	786.744	786.744
SUB TOTAL					17.137.773
IVA 16%					2.742.044
TOTAL					19.879.817

Precios en moneda colombiana.

- **Presupuesto 3**

Tabla 38. Presupuesto 3

CANTIDAD	ARTICULO	MARCA	REFERENCIA	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Interfase de audio + Consola	Digidesign	Digi 003 factory	5.455.026	5.455.026
2	Procesadores de efectos	Alesis	Ineko	778.716	1.557.432
4	Audífonos	Sony	MDR-7506	323.127	1.292.508
1	Amplificador de Audífonos	Behringer	HA4700	315.099	315.099
1	Portátil	Apple	PowerBook	4.596.030	4.596.030
1	Monitores	Mackie	HR624	1.362.753	2.725.506
3	Micrófonos	Shure	SM57	232.812	698.436
SUB TOTAL					16.640.037
IVA 16%					2.662.406
TOTAL					19.302.443

Precios en moneda colombiana.

5 DESARROLLO INGENIERIL

5.1 Comportamiento acústico del recinto actual

Para el análisis acústico del recinto actual, se realizaron las mediciones correspondientes a los parámetros acústicos (acondicionamiento y aislamiento). Estas mediciones se efectuaron bajo las normas específicas para medición de parámetros acústicos ISO 3382 y norma ISO 140-4 Medición “*in situ*” del aislamiento al ruido aéreo entre locales.

- **Nombre y Localización del recinto**

El estudio de grabación AFV RECORDS, se encuentra ubicado en el barrio Santa Isabel en la Cll 5B # 28 A47 en la ciudad de Bogotá, Colombia.

- **Planta del estudio de grabación**

El estudio de grabación AFV Records consta de un control room y dos salas de grabación con diferentes volúmenes que son utilizadas para realizar diferentes tipos de grabaciones.

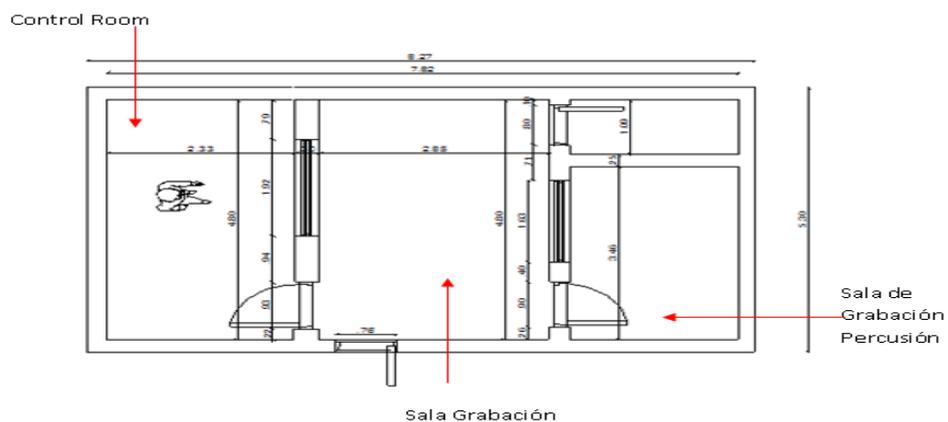


Imagen 34. Estudio de Grabación Actual

- **Localización del estudio de grabación.**

La ubicación del estudio de grabación se encuentra alejada de fuentes de ruido importantes ya que se encuentra en una zona residencial alejada de grandes autopistas e industria, la fuente de ruido mas importante en una avenida de transito mediano que se encuentra a 300m de la casa donde está el estudio.

“Como los motivos para la realización de las mediciones pueden ser muy distintos, el número de posiciones de medida se elige de forma que se alcance una cobertura apropiada del recinto. Las posiciones de micrófono deben estar al menos separadas por una distancia equivalente a la mitad de la longitud de onda, es decir, una distancia mínima de unos 2 m para el intervalo de frecuencias habitual. La distancia entre cualquier posición de micrófono y la superficie reflectante más cercana, incluyendo el suelo debe ser de al menos un cuarto de longitud de onda, es decir, normalmente 1 m.

Ninguna posición de micrófono debe estar demasiado cerca de cualquier posición de fuente para evitar una influencia demasiado grande del sonido directo. La distancia mínima d_{min} , en metros puede ser calculada a partir de:

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}}$$

en donde

V = es el volumen, en metros cúbicos;

c = es la velocidad del sonido, en metros por segundo;

T = es una estimación del tiempo de reverberación esperado, es segundos³³.

³³ Norma ISO 3382:1990

- Puntos de micrófono y ubicación de la fuente para la medición de las variables acústicas del recinto actual.

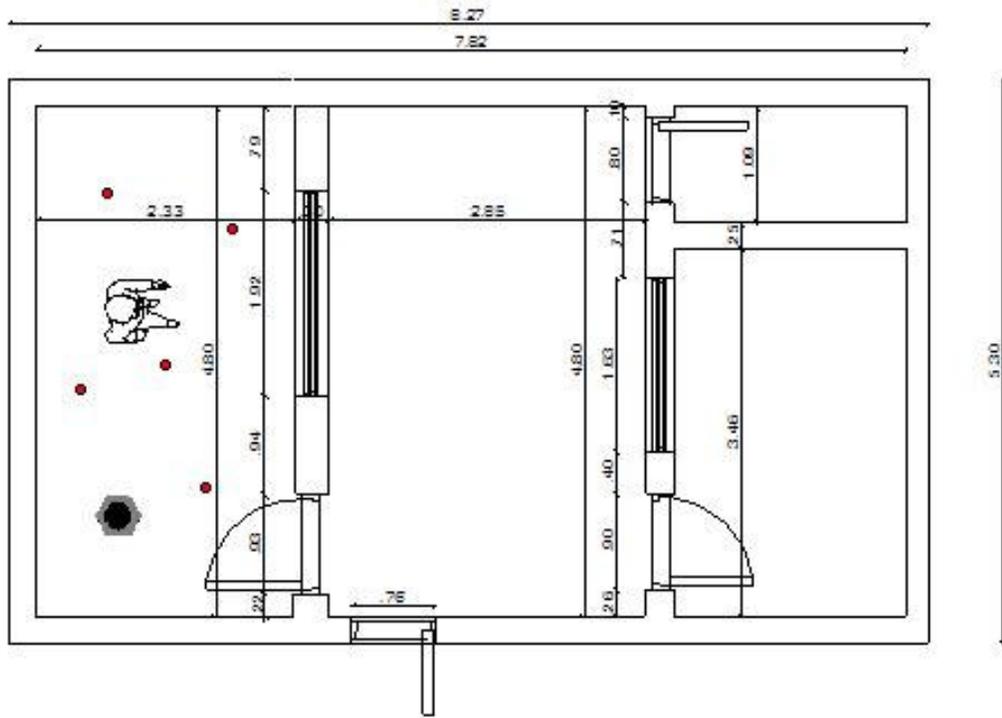


Imagen 35. Puntos de medición Control room.

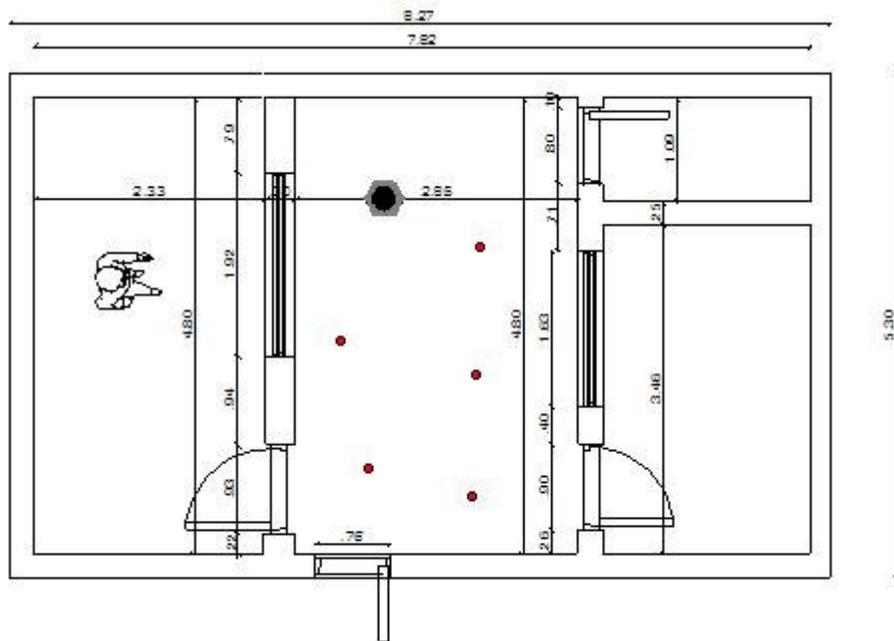


Imagen 36. Puntos de medición Sala 1 actual.

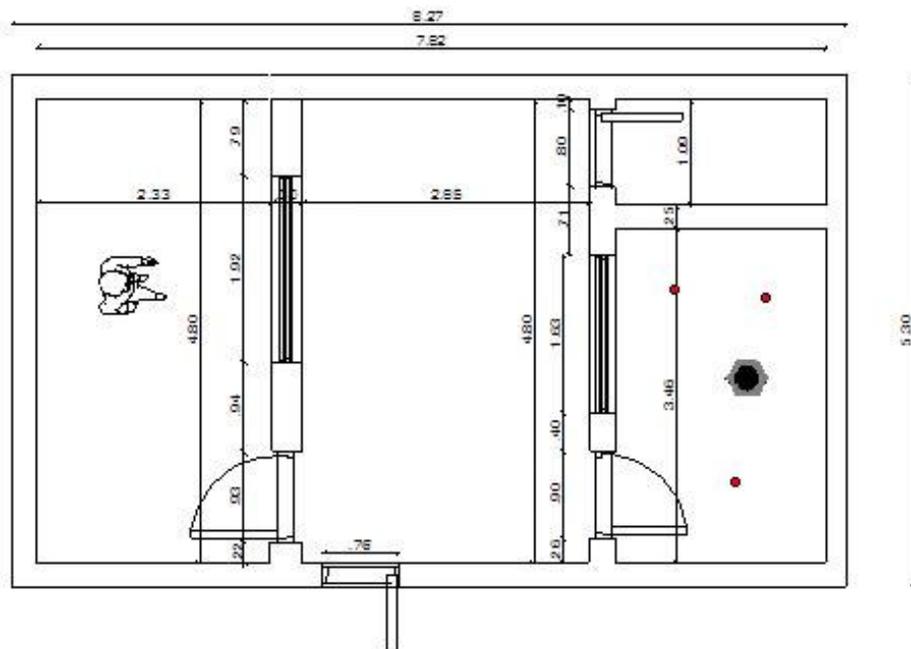


Imagen 37. Puntos de medición Sala 2 actual.

- **Instrumentación para la Medición de las variables acústicas del Estudio**

- Computador portátil Hp.
- Dodecaedro
- Micrófono de medición Behringer ECM 8000.
- Mixer
- Entrada tarjeta de audio de computador HP
- Sonómetro SVANTEK SVAN 943
- Dirac 2.0v demo, con Windows XP

5.1.1 Procedimiento de Medición del Estudio

La medición para el acondicionamiento del recinto, se realizó bajo la norma ISO 3382 – 1997, para obtener el parámetro más relevante del estudio (Rt).

Para realizar la medición, se delimitaron 5 puntos en cada una de las salas, para el receptor a una altura de 1.20m desde el piso y un punto específico de la fuente.

Se generó ruido MLS mediante la fuente, se capturó la señal con el micrófono de medición ECM 8000 y con el programa Dirac v2.0 demo se obtuvo la respuesta al impulso, para su respectivo análisis.

5.1.2 Medición Aislamiento

- **Equipos Utilizados**
- Computador portátil Hp.
- Fuente Dodecaedro.
- Micrófono de medición Behringer ECM 8000
- Mixer
- Entrada tarjeta de audio de computador HP

- Sonómetro SVANTEK SVAN 943

- **Descripción de los materiales que Componen la edificación**

Básicamente la totalidad de las paredes están compuestas de ladrillo macizo de 0.3m de espesor, 0.15m de altura y 0.10m de profundidad, están cubiertas por 0.01m de cemento por ambas caras del ladrillo y estas están empañetadas.

- **Procedimiento de medición de aislamiento**

Para realizar la medición de las propiedades de aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos que conforman las superficies de los recintos del estudio grabación AFV Records, Se utilizó la norma ISO 140-4, la cual establece que se deben realizar en bandas de tercio de octava y la generación del campo sonoro en el recinto emisor debe ser estable, esto quiere decir que la fuente que debe utilizar no debe tener una diferencia entre niveles de potencia sonora en las bandas de tercio de octava adyacentes superior a 6dB.

Se utilizó un ruido de banda ancha, ruido blanco, para asegurar una relación señal/ruido adecuada en altas frecuencias.

- **Ubicación de la fuente sonora**

Para lograr un campo sonoro difuso se utilizó como fuente sonora un dodecaedro que proporciona una aproximación adecuada de radiación omnidireccional uniforme, su ubicación está lejos de las superficies de las paredes para evitar que la radiación directa sea dominante entre estas superficies y que no interfiera con las posiciones de micrófono.

- **Medición del nivel de presión sonora y posición del micrófono**

Se obtienen el nivel de presión sonora medido mediante un micrófono BERHINGER ECM 8000 el cual posee una respuesta en frecuencia plana, este se situó a diferentes posiciones distribuidas a lo largo de todo el espacio útil de cada sala. Las siguientes distancias son las separaciones mínimas de la fuente y el micrófono para la medición:

- ✓ 0,7m entre posiciones de micrófonos
- ✓ 0,5m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto.
- ✓ 1m entre cualquier posición del micrófono y la fuente sonora.

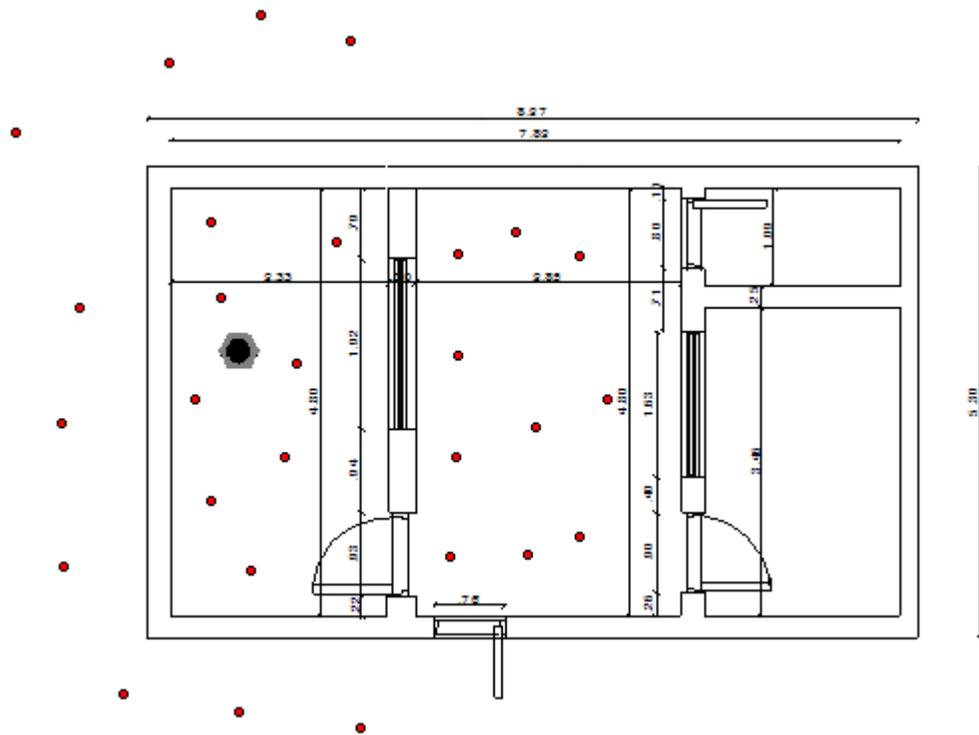


Imagen 38. Posición de la fuente y micrófonos para Control Room.

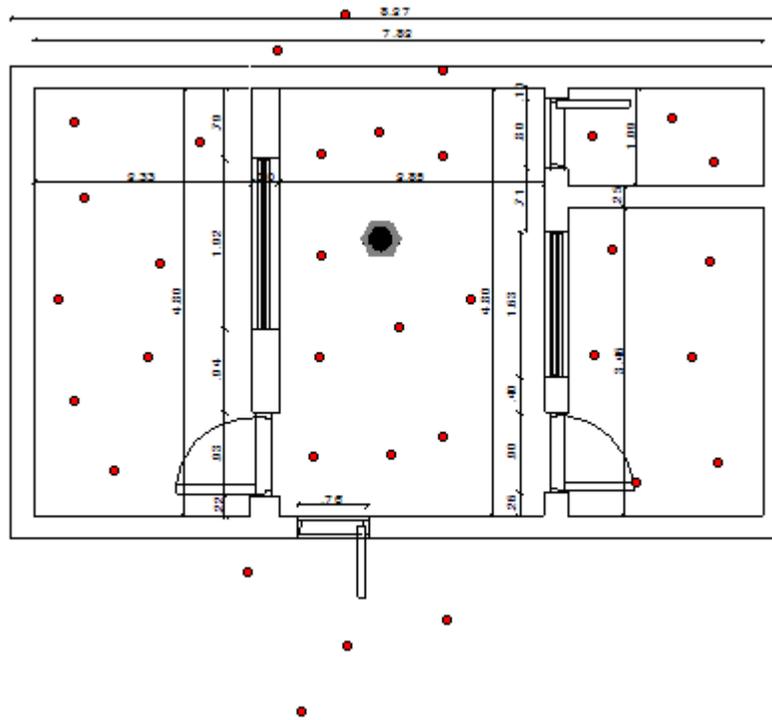


Imagen 39. Posición de la fuente y micrófonos para Sala de Grabación.

- **Curva NC 20 para salas de grabación.**

Este criterio establece el nivel de aislamiento mínimo ideal que debe tener un estudio de grabación. El aislamiento del recinto se ajusto a estos niveles.

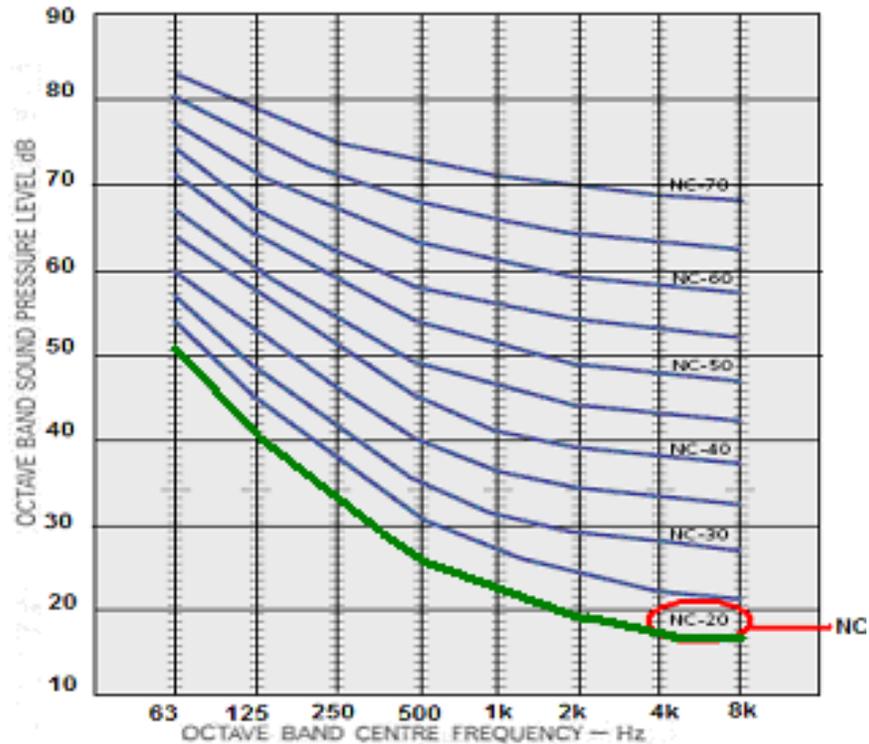


Imagen 41. Curva NC 20 para Salas de Grabación

5.2 Diseño del Estudio de Grabación

Existen distintos criterios que ayudan a definir el diseño de un estudio de grabación. No todos los recintos son iguales, por eso se debe diseñar bajo recomendaciones, cabe aclarar que estas son únicamente una guía.

5.2.1 Diseñó Control room

5.2.1.1 Geometría del control room

5.2.1.1.1 Modos Normales de Resonancia

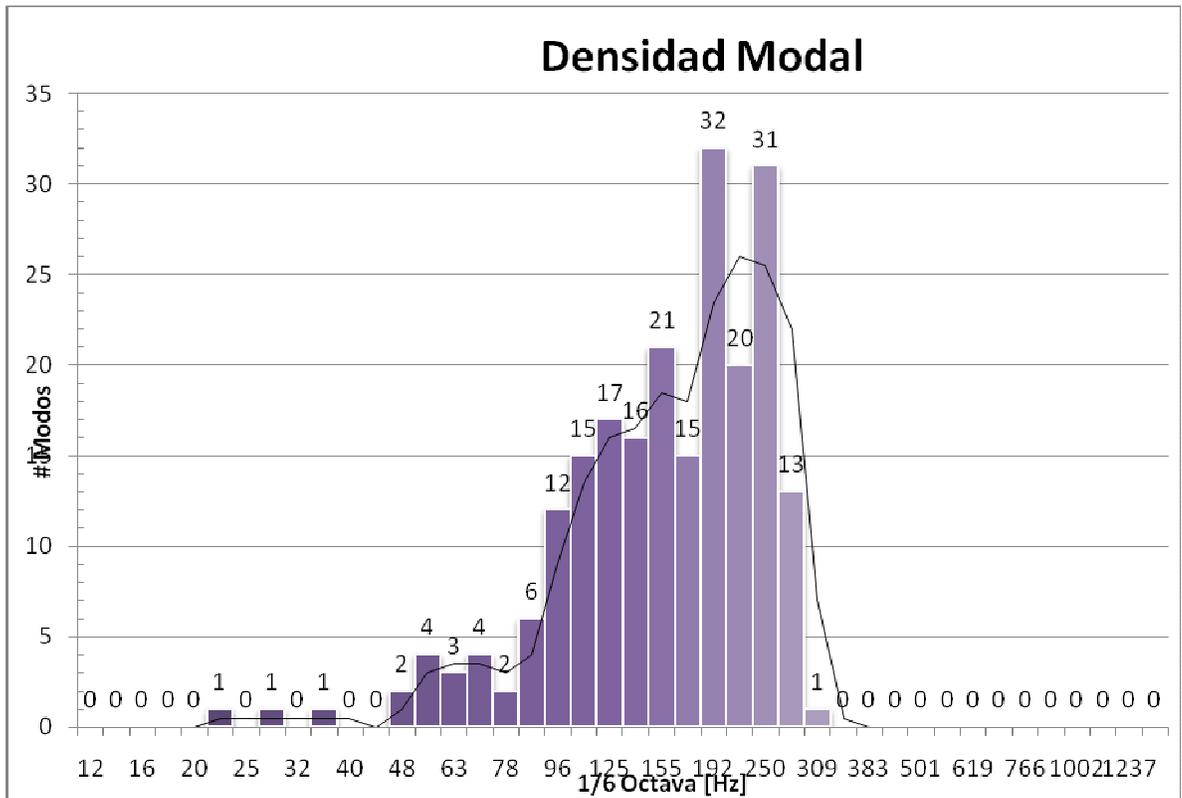


Figura 83. Modos normales de resonancia

En la figura 83, se observa que en las frecuencias bajas hay presencia de modos que se atenuaron con la geometría, y materiales propuestos.

5.2.1.1.2 Volumen del Control room

No existen ninguna norma que nos impongan un determinado volumen para una sala de control, pero se sabe que un gran porcentaje de estas varía entre 26 y 150 m³. En nuestro caso se ha tenido cuidado en diseñar un control en un espacio pequeño, de esta forma se ha llegado a un volumen total del control room de 26,84m³.

Tabla 39. Volumen del Control Room

DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE [m2]
Piso	11,67
Techo	10,68
Pared del ventana	6,01
Pared lateral A	7,96
Pared lateral B	7,96
Pared posterior	7,28
Ventana	0,24
Superficie total	51,56
Altura	2,30
Volumen[m3]	26,84

5.2.1.1.3 Dimensiones del Control room

Para el diseño del control room se tuvo en cuenta, la geometría del cuarto. Algunos cuartos suenan mejor que otros, esto es porque los radios óptimos de un cuarto llevan a una perfecta proporción en las medidas del recinto. Sepmeyer, Louden, Sabine, Volkmann, Boner, Bolt, Walker, entre otros, encontraron los métodos para lograr una proporción perfecta o proporciones “divinas”, para reducir los problemas de modos. Es importante aclarar que los cuartos cúbicos tienen las peores características acústicas.

Louden, Sepmeyer, Bolt, entre otros ofrecen radios óptimos para dimensiones determinadas. Por el contrario las dimensiones Walker, recomendadas por la ITU EBU, han brindado a los diseñadores e ingenieros, la capacidad de diseñar un control room con dimensiones muy pequeñas, es decir, no limita. Por esta razón en este diseño se utilizó este criterio.

Tabla 40. Dimensiones control room Walker

DIMENSIONES CONTROL ROOM	
W (ancho)	3
L (Profundidad)	4,3
H (Alto)	2,3
V (Volumen)	30

Para obtener una relación entre las dimensiones óptimas, fue necesario cumplir los siguientes límites del criterio. El límite inferior para el radio longitud ancho (L/W), puede tener un valor igual o mayor a 1,1. El límite superior para el radio longitud altura (L/H), es igual a $(4,5*W/H)-4$.

Tabla 41. Límites del criterio Walker

L/W	1,4	L/W >= 1,1
L/H	1,9	L/H >= (W/H)*1,1
W/H	1,3	L/H = (4,5*W/H)-4
3H	6,9	

Se puede observar que los límites del criterio se cumplen, así se obtienen las proporciones adecuadas.

Tabla 42. Criterio Walker, Radios óptimos para el diseño del control room del estudio AFV Records.

CRITERIO DE WALKER PARA LOS REDIOS ÓPTIMOS DE UN CONTROL ROOM PEQUEÑO		
$1,1*(W/H)$	L/H	$(4,5*W/H)-4$
1,4	1,9	1,9

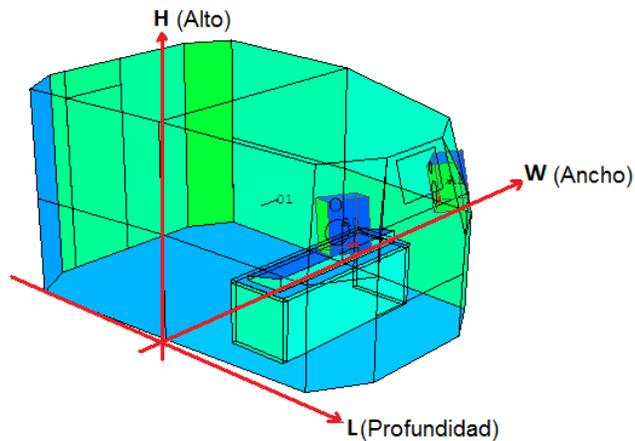


Imagen 42. Dimensiones criterio Walker, para el diseño del control room del estudio de grabación AFV Records, donde W es el ancho, H la altura y L la profundidad.

5.2.1.1.4 Forma geométrica del control del Control room

La forma del control se escogió trapezoidal, angosto en la parte delantera y ancha en la posterior, como se muestra en la Imagen 42. Como en el diseño del control, lo primordial era eliminar el paralelismo entre paredes, ya que el sonido directo que recibe el ingeniero de los monitores es sumado con las reflexiones de las paredes laterales que llegan ligeramente retardadas, obteniendo enfatización y cancelación de frecuencias y ocasionando el fenómeno llamado Comb Filter. Se inclinaron y ubicaron los monitores de acuerdo a las recomendaciones establecidas, se calcularon los ángulos de inclinación de las paredes laterales de tal forma que llegara al oído el sonido directo y que las reflexiones fueran dirigidas

hacia la pared trasera. Este criterio es llamado “LEDE y RFZ”, que se presenta en la Imagen 43.

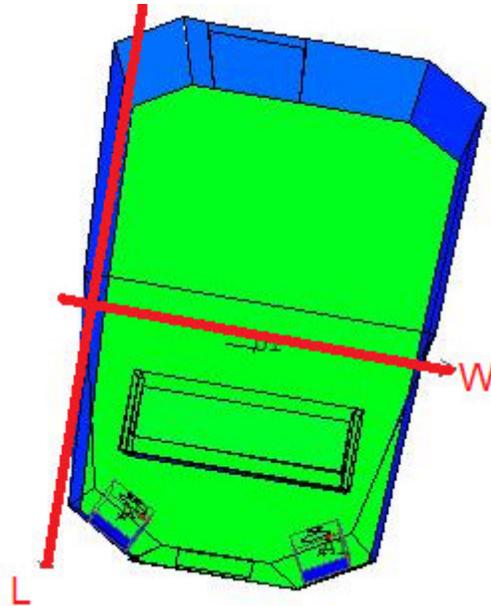


Imagen 43. Forma geométrica del control room. Donde L es la profundidad y W el ancho.

En este modelo, se atenúa el problema de modos que presenta un control room. Con la asimetría de los cuartos, se direccionan todas las reflexiones hacia atrás sin que estas toquen al ingeniero, haciendo que este se concentre sólo en el sonido directo.

El criterio, se aplicó en nuestro diseño, las paredes laterales se cubren con material acústico desde el suelo hasta el techo, rellenando el hueco con material absorbente. Este sistema sólo es efectivo en las zonas de medios a agudos.

Para evitar también reflexiones en el techo, se utilizó el principio de RFZ³⁴, inclinando el techo (Imagen 44), y evitando que los sonidos que lleguen al techo lleguen al operador, así se envía las reflexiones fuera del área de audición por arriba de la cabeza, este criterio también es llamado Techo de Expansión.

³⁴ EVEREST, F. Alton; Master Handbook of Acoustics, fourth edition.

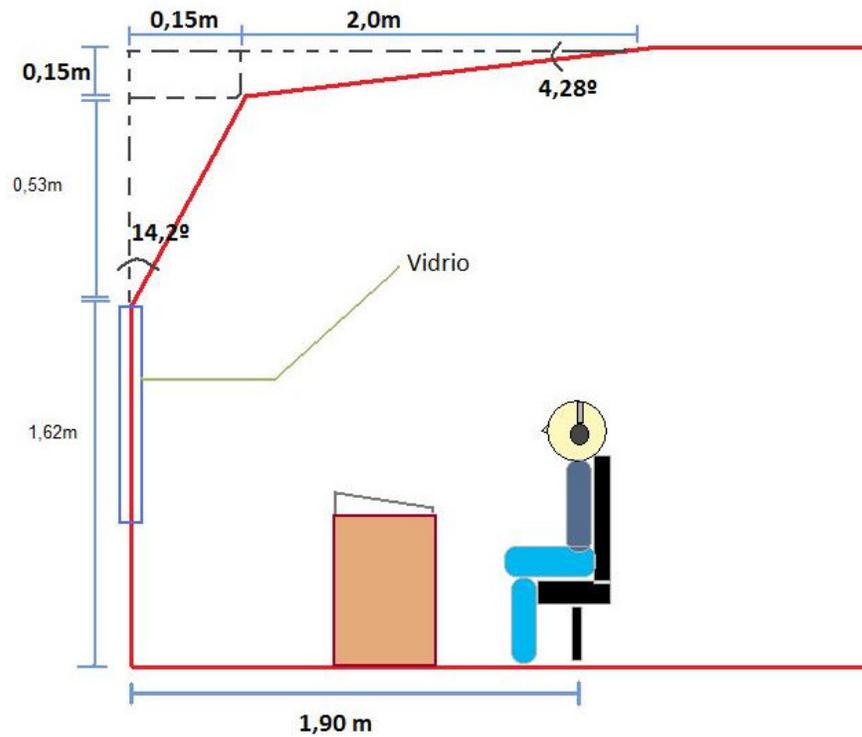


Imagen 44. Inclinación Techo

5.2.1.1.5 Ubicación y distancia de los Monitores y del Ingeniero

Se eligió una distancia entre monitores de 2 m según la recomendación ITU, la cual establece que esta distancia debe ser de 2 a 4 m, ya que nuestro recinto es pequeño se escogió la mínima distancia permitida.

Para la ubicación del ingeniero, se aplicó la recomendación hecha por la ITU EBU, que sugiere que los altavoces se ubiquen con respecto al oyente en un arco de 60° (imagen 45). Ya que muchas investigaciones han demostrado que un aumento o disminución de este ángulo daña la imagen sonora.

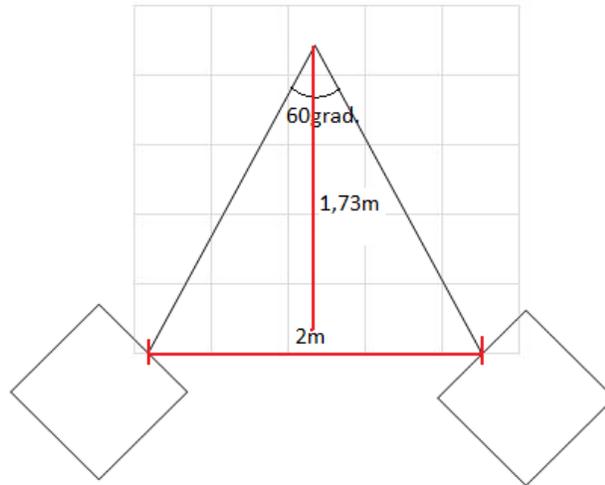


Imagen 45. Relación distancia monitores e ingeniero

$$\text{Tang}(30^\circ) = \frac{1m}{y} \qquad y = 1,73m \qquad (38)$$

Se localizó el centro acústico de los altavoces por encima de la altura del oído, con un ángulo de inclinación hacia el oyente de 12°, ya que geoméricamente, es el grado de inclinación correspondiente a la distancia de ubicación del receptor y en concordancia con la recomendación ITU EBU de no sobre pasar el rango mínimo de 10° y el máximo de 15° (Imagen 46). Lo cual dio la altura y la inclinación apropiada para la ubicación de los parlantes con respecto al ingeniero. El sistema para los altavoces es 'monitores empotrados', dado que así se puede minimizar el problema de interferencia por reflejos cercanos (SBIR).

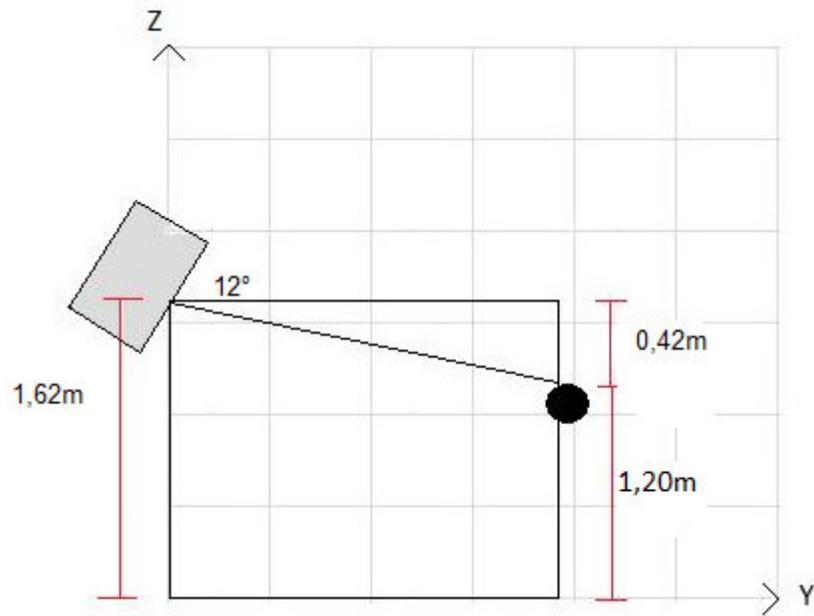


Imagen 46. Distancia de los monitores con respecto al receptor

La altura de los monitores se cálculo de la siguiente forma:

$$h = \sqrt{a^2 + b^2} \quad h = \sqrt{(1)^2 + (1.73)^2} = 1,99m \quad \text{Tang}(12^\circ) = \frac{y}{1,99m} \quad y = 0,42m$$

$$\text{Altura} = 0,42m + 1,20m = 1,62m \quad (39)$$

5.2.1.1.6 Inclinación Paredes

La inclinación de las paredes, se estableció de acuerdo a la dirección de los monitores hacia el receptor, ya que estos deben estar empotrados en las paredes frontales para evitar reflexiones en la pared cercana y radiando los graves hacia adelante, de manera hemisférica, esta solución aumenta la eficiencia del monitor y atenúa los problemas modales. El ángulo de inclinación de la pared es de 30° para garantizar que el sonido directo llegue al receptor con la menor influencia posible de las reflexiones del recinto, de esta manera se crea una zona libre de reflexiones

(RFZ)³⁵(Imagen 47), siguiendo las recomendaciones ITU EBU de crear una imagen sonora correcta ubicando las fuentes a 60° considerando tener la mayor cantidad de energía radiada por los monitores en la posición de escucha del receptor y evitar la influencia y contribución de las fuentes virtuales y retardando las reflexiones que llegan al receptor.

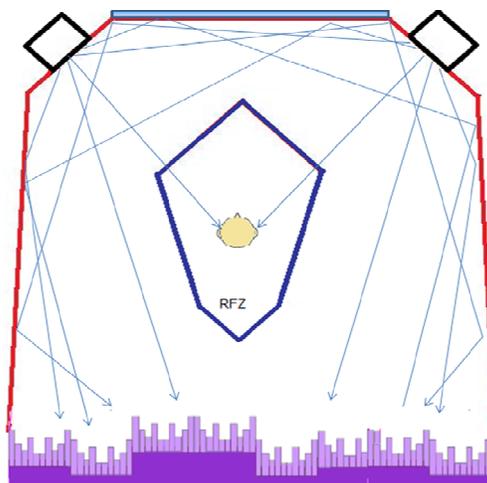


Imagen 47. RFZ Control room AFV Records

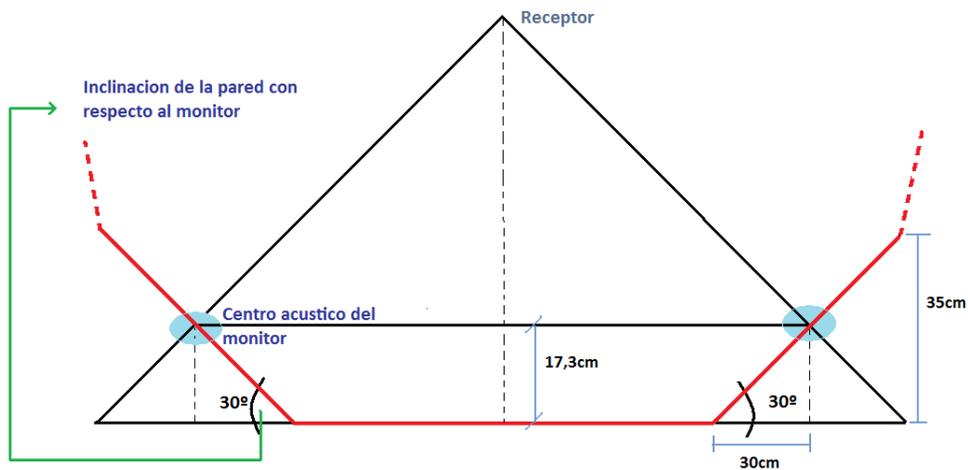


Imagen 48. Inclinación paredes frontales control room.

³⁵VAN Munster bjorn : *Acoustics of sound recording control rooms*

Se inclinan las esquinas de las paredes posteriores y laterales, para romper la forma paralelepípeda y así evitar problemas modales; además de prolongar la dispersión de las primeras reflexiones con la intención de que permanezcan alejadas de la zona de escucha o dirigirlas hacia la zona posterior difusa para así retardar su tiempo de llegada a la zona libre de reflexiones.



Imagen 49. Inclinação paredes posteriores Control room.

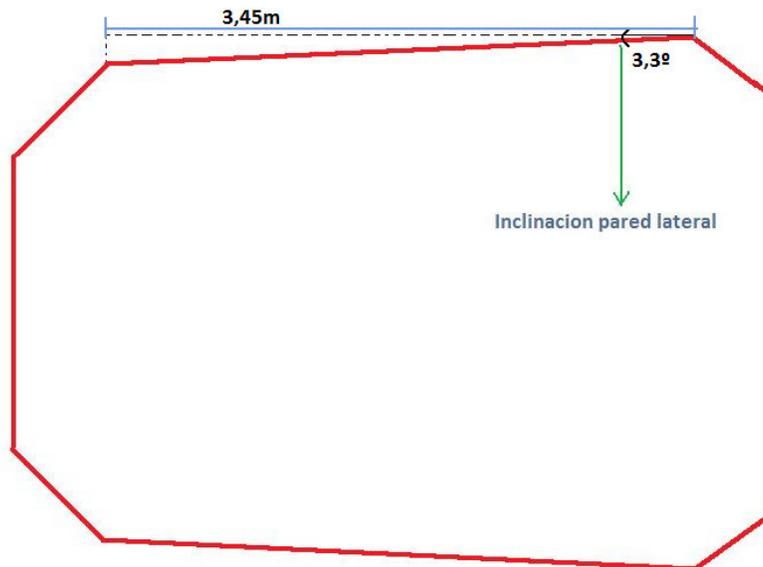


Imagen 50. Inclinação Paredes Laterales Control room.

5.2.2 Diseño Sala de Grabación y Cabina

5.2.2.1 Geometría Sala de Grabación y Cabina

5.2.2.1.1 Volumen y forma sala de Grabación y Cabina

El volumen de la sala de grabación y cabina, se escogió con el objetivo de crear condiciones acústicas adecuadas. Es importante que exista relación entre la sonoridad de la fuente y el tamaño de la sala. El volumen mínimo recomendado para salas de grabación es de 28, 2 m³, lo que nos da la base para saber que nuestro volumen, se encuentra dentro del rango óptimo.

La forma de la sala y de la cabina, se diseñó con paredes asimétricas - anguladas para evitar la mala distribución de modos. Con una distribución uniforme de los modos la respuesta de las salas puede ser más plana.

El estudio se diseñó con un volumen de 41m³, para grabar un grupo musical pequeño entre 4 o 5 músicos, la cabina se diseñó con un volumen de 16,10m³ para la grabación de instrumentos de percusión.

Tabla 43. Volumen de la Sala y Cabina de percusión

DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE [m2]
Piso	17,9
Techo	17,9
Pared del ventana 1	8
Pared lateral derecha	8,1
Pared posterior derecha	5,75
pared ventana 2	5,3
Ventana 1 y 2	2,24
Pared Puerta	0,7
Puerta	1,6
Pared Lateral Izquierda	7,04
Superficie total	74,53
Altura	2,30
Volumen[m3]	41,17

DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE [m2]
Piso	7
Techo	7
Pared Ventana 2	5,3
Pared lateral derecha	2,3
Pared Posterior	6,9
Pared Puerta 1	5,3
Ventana 2	1,22
Pared Puerta1	0,7
Puerta 1 y 2	3,2
Pared Puerta 2	0,7
Superficie total	39,62
Altura	2,30
Volumen[m3]	16,10

Los vidrios, paredes anguladas y techos reflectores, ayudan a tener una difusión del sonido generando una respuesta más uniforme en los medios y agudos del cuarto.

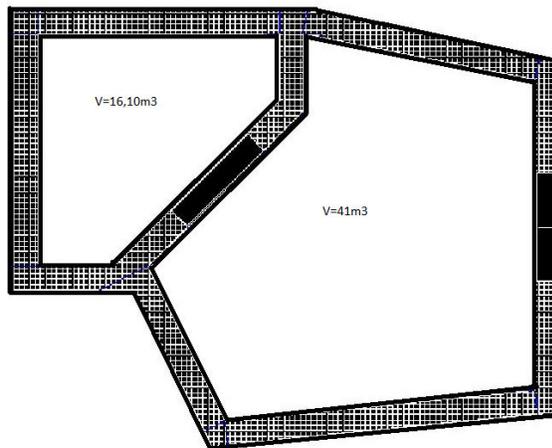


Imagen 51.Volumen sala1 y sala de grabación

5.2.3 Acondicionamiento Acústico

5.2.3.1 Acondicionamiento Control Room

Recordando lo expuesto sobre el criterio de diseño de una sala de control LEDE, es permitir que el ingeniero escuche las primeras reflexiones del estudio a través de los monitores, antes que cualquier reflexión del control room. En la práctica se pretende evitar cualquier reflexión temprana que ocurra en la mitad frontal del control, para luego integrar como un solo sonido el total de reflexiones de la mitad posterior de la sala.

5.2.3.1.1 Tiempo de Reverberación para el control room

Para identificar el tiempo de reverberación recomendado del control room, se utilizó la ITU EBU. Ecuación Tiempo de Reverberación ITU EBU.

$$T_m = 0,25 \sqrt{\frac{V}{V_o}} \quad (40)$$

Tabla 44. Tiempo de reverberación ITU EBU

Tm ITU EBU	0,3
-------------------	-----

El ajuste del tiempo de reverberación, se realizó según la tabla 46.

Tabla 45. Tiempo de Reverberación según la ITU EBU

VALORES ÓPTIMOS PARA TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN CONTROL ROOM						
	125	250	500	1K	2K	4K
Tm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
ITU EBU	+/-0,1	+/-0,05	+/-0,05	+/-0,05	+/-0,05	,+/-0,1
Rt	0,2 a 0,4	0,25 a 0,35	0,25 a 0,35	0,25 a 0,35	0,25 a 0,35	0,2 a 0,4

La tabla 47 muestra la absorción y el tiempo de reverberación del control sin acondicionamiento acústico. Se puede observar un alto tiempo de reverberación, por lo cual será necesario determinar los materiales y la cantidad de estos que puedan aportar la absorción necesaria.

Tabla 46. Tiempo de Reverberación sin tratamiento Acústico

FRECUENCIA			125		250		500		1000		2000		4000	
SUPERFICIE	MATERIAL	S[m ²]	α	A										
Piso	HORMIGÓN	11,67	0,01	0,12	0,01	0,12	0,02	0,23	0,02	0,23	0,02	0,23	0,03	0,35
Techo	HORMIGÓN	10,68	0,01	0,11	0,01	0,11	0,02	0,21	0,02	0,21	0,02	0,21	0,03	0,32
Pared del ventana	LADRILLO	6,01	0,02	0,12	0,02	0,12	0,03	0,18	0,04	0,24	0,05	0,30	0,05	0,30
Pared lateral A	LADRILLO	7,96	0,02	0,16	0,02	0,16	0,03	0,24	0,04	0,32	0,05	0,40	0,05	0,40
Pared lateral B	LADRILLO	7,96	0,02	0,16	0,02	0,16	0,03	0,24	0,04	0,32	0,05	0,40	0,05	0,40
Pared posterior	LADRILLO	7,28	0,02	0,15	0,02	0,29	0,03	0,22	0,04	0,29	0,05	0,36	0,05	0,36
Ventana	VIDRIO	0,24	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00
Absorción Total		[m ²]	0,82		0,96		1,33		1,62		1,91		2,14	
Tiempo de Reverberación		[s]	5,29		4,49		3,25		2,66		2,26		2,02	

A= Absorción

S= Superficie [m²]

α = Coeficiente de absorción [%]

5.2.3.1.2 Aplicación de materiales dentro del Control room

El tiempo de reverberación para el control room, fue ajustado a los valores de la tabla 47. Para esto, se utilizaron diversos materiales acústicos, en las diferentes superficies del control. Según el criterio de diseño de Edgar J. Veále, los materiales deben ser neutros, el recomienda usar materiales pasivos, resonadores de membrana y material reflectante en el techo.

La distribución de materiales en el recinto, se realizó bajo el criterio LEDE (mitad vivo, mitad muerto).

El tratamiento acústico que se utilizó para el cuarto, consta de dos partes, así que en varias de las superficies se hablará de superficie absorbente o difusa.

Para el piso absorbente, se utilizó moqueta y para el difuso entarimado de madera, para el techo absorbente acústico pesado y para el difuso escayola, la pared frontal se revistió de lana mineral de 15 mm de espesor, la pared lateral A1 y B1 arpillera sobre madera, las paredes laterales difusas A2 - B2 y pared posterior con hormigón pintado, puerta de madera, un resonador para frecuencias de 125 a 250 Hz y difusores para la fc hasta 4fc, en la pared posterior.

Para todas las superficies donde se dispuso poner material acústico (lana mineral y moqueta), se montó una estructura para que sostuviera el material. Los coeficientes de absorción de estos materiales, la absorción obtenida y el tiempo de reverberación se muestran en la tabla 48.

Tabla 47. Absorción de Materiales para el acondicionamiento y tiempo de reverberación para el Control Room

FRECUENCIA			125		250		500		1000		2000		4000	
SUPERFICIE	MATERIAL	AREA	α	A										
Piso ab	Mosqueta sobre 2mm de fieltro	5,58	0,11	0,61	0,14	0,78	0,37	2,06	0,43	2,40	0,27	1,51	0,25	1,40
Piso dif	Entarimado de Madera	6,13	0,09	0,55	0,09	0,55	0,08	0,49	0,09	0,55	0,10	0,61	0,07	0,43
Techo AB	acústico pesado	4,53	0,10	0,45	0,30	1,36	0,55	2,49	0,60	2,72	0,60	2,72	0,45	2,04
Techo dif	escayola	6,13	0,20	1,23	0,15	0,92	0,10	0,61	0,05	0,31	0,05	0,31	0,05	0,31
Pared del ventana	LANA MINERAL	6,01	0,47	2,82	0,53	3,19	0,60	3,61	0,62	3,73	0,58	3,49	0,56	3,37
Pared lateral A1 Ab	ARPILLERIA SOBRE MADERA	3,95	0,30	1,19	0,27	1,07	0,27	1,07	0,26	1,03	0,15	0,59	0,15	0,59
Pared lateral A2 Dif	Hormigón pintado	2,18	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04
Pared lateral B1 Ab	ARPILLERIA SOBRE MADERA	3,95	0,47	1,86	0,53	2,09	0,60	2,37	0,62	2,45	0,58	2,29	0,56	2,21
Pared lateral B2 Dif	Hormigón pintado	2,18	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04
Pared posterior	Hormigón pintado	5,68	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	0,06	0,02	0,11	0,02	0,11	0,02	0,11
Ventana	Vidrio	0,24	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00
Puerta	Madera	1,6	0,10	0,16	0,11	0,18	0,10	0,16	0,09	0,14	0,08	0,13	0,09	0,14
Esquinas pared lateral A2 B2	Resonador	4,16	0,50	2,08	0,40	1,66	0,21	0,87	0,11	0,46	0,05	0,21	0,00	0,00
Absorción Total		[m2]	11,06		11,91		13,84		13,99		12,06		10,69	
Tiempo de Reverberación		[s]	0,39		0,36		0,31		0,31		0,36		0,40	

5.2.3.1.3 Resonador³⁶

Según los cálculos teóricos del tiempo de reverberación que se realizaron del control, se presentó un R_t alto en las bandas de 125 a 250. Para solucionar este problema se utilizó un resonador de membrana³⁷, con las siguientes características.

Resonador de membrana formado con un panel de contrachapado de 3mm de espesor y una masa por unidad de superficie de 1,75 Kg/m². Se calculó para una distancia de separación de la pared de 0,42m y se calculó el coeficiente de absorción con y sin material absorbente dentro de la cavidad de aire.

Se ubicaron dos resonadores de panel para las frecuencias de 125 a 250 en las paredes laterales A2 – B2, de la mitad hacia abajo, sin material.

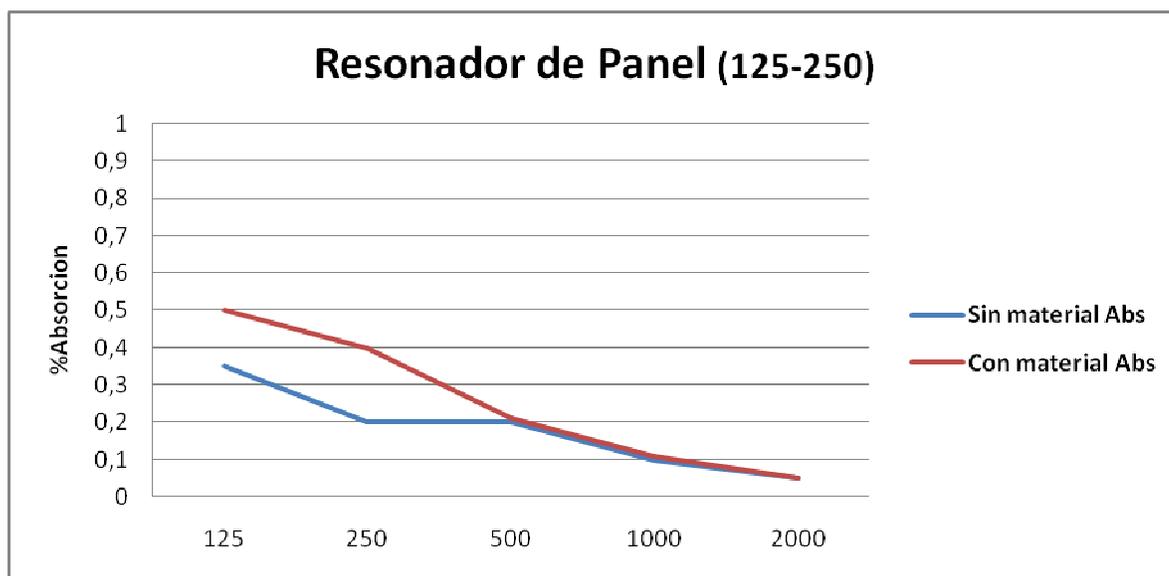


Imagen 52. Resonador de Panel

³⁶ Marco teórico Resonadores

³⁷ ISBERT, Carrion Antoni; Diseño Acustico de Espacios Arquitectónicos. Elementos absorbentes reflectivos, resonador de membrana. P.90

5.2.3.1.4 Montaje de Lana Mineral

Este sistema, consiste en una estructura de embarrotado horizontal de madera gruesa que sostiene el material, con una separación de 0,5m entre cada barrote y una distancia desde la pared de 0,14 m. Así se forman espacios donde se rellena con lana mineral y luego se cubre con una tela muy delgada. Para terminar se ponen maderas delgadas y finas verticalmente a una separación considerable, de manera que este no se comporte como un resonador, así se completa la estructura que soporta la lana mineral.

5.2.3.1.5 Diseño del Difusor

Para el diseño del difusor apropiado y coherente con las dimensiones del Control Room se especifico una profundidad máxima de ranura de 0,2m.

En el control se decidió ubicar un difusor QRD en la parte trasera del cuarto para retardar algunas reflexiones que afectan la imagen sonora del ingeniero. Basados en el criterio LEDE, que determina la zona de difusión, se halla desde la frecuencia critica (f_c) hasta $4f_c$. La frecuencia mínima del diseño del difusor es $f_{min}=491$ Hz y la máxima es $f_{max}= 812$ Hz con. Se utilizó madera tipo MDF de 3 mm de espesor para los divisores.

Ecuación para el ancho de banda de las ranuras:

$$W = \left(\frac{C}{2f_{max}} \right) - T \quad (41)$$

$$W = \left(\frac{C}{2(812)} \right) - 3mm = 0,2m$$

Donde:

c = velocidad del sonido (344 m/s a 20°C)

W = ancho de las ranuras [m]

T = espesor de los divisores (3 mm)

f_{\max} = máxima frecuencia hasta donde ocurre la difusión (812 Hz)

El ancho de cada ranura es de 0,20 m. La cantidad de ranuras por período corresponde al número primo P (en caso de que Q sea primo, entonces $P=Q$ donde P debe ser un número primo distinto a 1).

$$Q = 2M \left(\frac{f_{\max}}{f_{\min}} \right) = 7 \quad (42)$$

$$p = 7$$

Factor de proporción de la profundidad de cada ranura:

$$Sn = n^2 = \text{mod } p[0,1,4,2,2,4,1]$$

$$Sn_{\max} = 4 \quad (43)$$

Donde la secuencia de profundidades se determina por medio de:

$$dn = \frac{Sn \cdot C}{(2)(P)(Fo)} [m] \quad (44)$$

$$fo = \frac{Sn_{\max} \cdot C}{(2)(p)dn_{\max}} \quad (45)$$

$$fo = \frac{4 * 344}{2 * 7 * 0.2} = 491 \text{ Hz}$$

$$dn = \frac{1(344)}{(2)(7)(0.2)} = 0.04 \text{ m} \quad \text{para } sn = 1$$

$$dn = \frac{2(344)}{(2)(7)(0.2)} = 0.09m \quad \text{para } sn = 2$$

$$dn = \frac{(4)(344)}{(2)(7)(0.2)} = 0.19m \quad \text{para } sn = 4$$

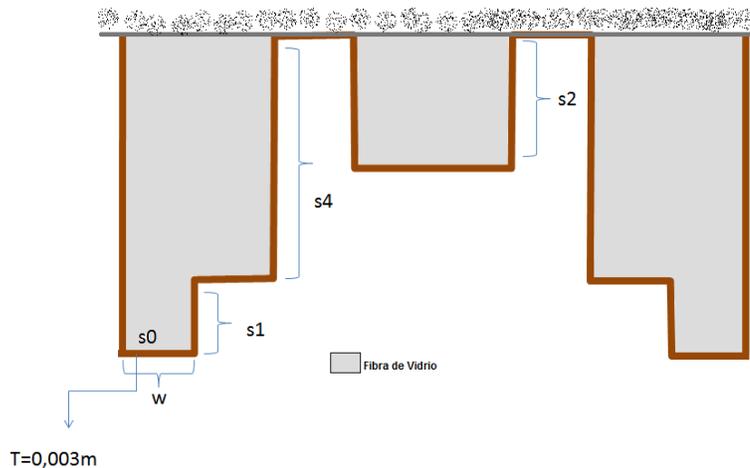


Figura 84. Difusor

5.2.3.2 Acondicionamiento acústico de las Salas de Grabación

El tratamiento acústico del estudio se realizó con el propósito de cumplir las siguientes características:

- Tiempo de Reverberación: Para la sala 1 se tomó un Rt de 0,5 - 0,6, para poder conservar los armónicos de los instrumentos que se quieran grabar, especialmente los instrumentos para música folclórica colombiana. En la sala 2 “cabina”, se tomó un Rt de 0,3 para grabar los instrumentos de percusión.
- Crear una sala uniforme.

5.2.3.2.1 Tiempo de Reverberación Salas de Grabación

El R_t en una sala de grabación depende de las características sonoras que se quieran obtener a la hora de captura de un sonido. Puede ir desde 0,3s hasta 0,7s.

Para la Sala 1 de grabación, se tomó un tiempo de reverberación aproximado a 0,6. En esta sala se quiere un R_t un poco alto dado que la principal fuente de grabación son instrumentos acústicos y se pretende que a la hora de captura no se pierdan los armónicos del instrumento.

Las tablas 49 y 50. Muestran la absorción y el tiempo de reverberación de la salas de grabación sin tratamiento acústico.

Tabla 48. Absorción y R_t de la Sala de grabación sin Tratamiento

FRECUENCIA			125		250		500		1000		2000		4000	
SUPERFICIE	MATERIAL	AREA[m ²]	α	A										
Piso	HORMIGÓN	17,9	0,01	0,18	0,01	0,18	0,02	0,36	0,02	0,36	0,02	0,36	0,03	0,54
Techo	HORMIGÓN	17,9	0,01	0,18	0,01	0,18	0,02	0,36	0,02	0,36	0,02	0,36	0,03	0,54
Pared del ventana 1	LADRILLO	8	0,02	0,16	0,02	0,16	0,03	0,24	0,04	0,32	0,05	0,40	0,05	0,40
Pared lateral derecha	LADRILLO	8,1	0,02	0,16	0,02	0,16	0,03	0,24	0,04	0,32	0,05	0,41	0,05	0,41
Pared posterior derecha	LADRILLO	5,75	0,02	0,12	0,02	0,12	0,03	0,17	0,04	0,23	0,05	0,29	0,05	0,29
pared ventana 2	LADRILLO	5,3	0,02	0,11	0,02	0,21	0,03	0,16	0,04	0,21	0,05	0,27	0,05	0,27
Pared Puerta	LADRILLO	0,7	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04
Puerta	MADERA	1,6	0,10	0,16	0,11	0,18	0,10	0,16	0,09	0,14	0,09	0,14	0,08	0,13
Pared Lateral Izquierda	LADRILLO	7,04	0,02	0,14	0,02	0,14	0,03	0,21	0,04	0,28	0,05	0,35	0,05	0,35
Ventana 1 y 2	VIDRIO	2,24	0,04	0,09	0,04	0,09	0,03	0,07	0,03	0,07	0,02	0,04	0,02	0,04
Absorción Total		[m ²]	1,31		1,43		1,99		2,32		2,65		2,99	
Tiempo de Reverberación		[s]	5,08		4,64		3,33		2,85		2,50		2,22	

Tabla 49. Absorción y Rt de la sala de percusión 'Cabina' sin tratamiento.

FRECUENCIA			125		250		500		1000		2000		4000	
SUPERFICIE	MATERIAL	ÁREA[m2]	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
Piso	HORMIGÓN	7	0,01	0,07	0,01	0,07	0,02	0,14	0,02	0,14	0,02	0,14	0,03	0,21
Techo	HORMIGÓN	7	0,01	0,07	0,01	0,07	0,02	0,14	0,02	0,14	0,02	0,14	0,03	0,21
Pared Ventana 2	LADRILLO	5,3	0,02	0,11	0,02	0,11	0,03	0,16	0,04	0,21	0,05	0,27	0,05	0,27
Pared lateral derecha	LADRILLO	2,3	0,02	0,05	0,02	0,05	0,03	0,07	0,04	0,09	0,05	0,12	0,05	0,12
Pared Posterior	LADRILLO	6,9	0,02	0,14	0,02	0,14	0,03	0,21	0,04	0,28	0,05	0,35	0,05	0,35
Pared Puerta 1	LADRILLO	5,3	0,02	0,11	0,02	0,11	0,03	0,16	0,04	0,21	0,05	0,27	0,05	0,27
Ventana 2	VIDRIO	1,22	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Pared Puerta1	LADRILLO	0,7	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04
Puerta 1 y 2	MADERA	3,2	0,10	0,32	0,11	0,35	0,10	0,32	0,09	0,29	0,09	0,29	0,08	0,26
Pared Puerta 2	LADRILLO	0,7	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04
Absorción Total		[m2]	0,93		0,96		1,27		1,45		1,65		1,76	
Tiempo de Reverberación		[s]	2,78		2,69		2,04		1,78		1,57		1,47	

5.2.3.2.2 Aplicación de Materiales Salas de Grabación.

Se buscaron materiales adecuados, que permitieran bajar el tiempo de reverberación de las salas.

En la Sala 1, se propuso piso tipo parquet, techo liso de madera, pared ventana de hormigón pintado, el resto de las paredes arpillera sobre madera, puertas de madera y vidrio de 10 mm de espesor.

Las tablas 51 y 52. Muestran los coeficientes de absorción de estos materiales, la absorción total obtenida y el tiempo de reverberación.

Tabla 50. Tiempo de Reverberación obtenido en la Sala 1 de grabación

FRECUENCIA			125		250		500		1000		2000		4000	
SUPERFICIE	MATERIAL	ÁREA[m2]	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
Piso	Parquet	17,9	0,09	1,61	0,08	1,43	0,21	3,76	0,26	4,65	0,27	4,83	0,37	6,62
Techo	Techo liso Madera	17,9	0,23	4,12	0,22	3,94	0,12	2,15	0,16	2,86	0,16	2,86	0,15	2,69
Pared del ventana 1	Hormigón pintado	8	0,01	0,08	0,01	0,08	0,01	0,08	0,02	0,16	0,02	0,16	0,02	0,16
Pared lateral derecha	Arpillera sobre madera	8,1	0,30	2,43	0,27	2,19	0,27	2,19	0,26	2,11	0,15	1,22	0,15	1,22
Pared posterior derecha	Arpillera sobre madera	5,75	0,30	1,73	0,27	1,55	0,27	1,55	0,26	1,50	0,15	0,86	0,15	0,86
pared ventana 2	Arpillera sobre madera	5,3	0,30	1,59	0,27	1,43	0,27	1,43	0,26	1,38	0,15	0,80	0,15	0,80
Pared Puerta	Hormigón pintado	0,7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Puerta	Madera	1,6	0,16	0,26	0,18	0,29	0,16	0,26	0,14	0,22	0,14	0,22	0,13	0,21
Pared Lateral Izquierda	Hormigón pintado	7,04	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	0,07	0,02	0,14	0,02	0,14	0,02	0,14
Ventana 1 y 2	vidrio	2,24	0,04	0,09	0,04	0,09	0,03	0,07	0,03	0,07	0,02	0,04	0,02	0,04
Absorción Total		[m2]	11,98		11,08		11,56		13,10		11,15		12,75	
Tiempo de Reverberación		[s]	0,55		0,60		0,57		0,51		0,59		0,52	

En la sala de percusión ‘cabina’, se muestran los materiales y absorción necesaria para tener un tiempo de reverberación de 0,3 segundos.

Tabla 51. Tiempo de reverberación obtenido en la Cabina de grabación con materiales acústicos.

FRECUENCIA			125		250		500		1000		2000		4000	
SUPERFICIE	MATERIAL	ÁREA	α	A										
Piso	Parquet	7	0,09	0,63	0,08	0,56	0,21	1,47	0,26	1,82	0,27	1,89	0,37	2,59
Techo	Techo liso	7	0,23	1,61	0,22	1,54	0,20	1,40	0,20	1,40	0,29	2,03	0,28	1,96
Pared Ventana 2	Arpillera sobre madera	5,3	0,30	1,59	0,27	1,43	0,27	1,43	0,26	1,38	0,15	0,80	0,15	0,80
Pared lateral derecha	Arpillera sobre madera	2,3	0,30	0,69	0,27	0,62	0,27	0,62	0,26	0,60	0,15	0,35	0,15	0,35
Pared Posterior	Arpillera sobre madera	6,9	0,30	2,07	0,27	1,86	0,27	1,86	0,26	1,79	0,15	1,04	0,15	1,04
Pared Puerta 1	Arpillera sobre madera	5,3	0,30	1,59	0,27	1,43	0,27	1,43	0,26	1,38	0,15	0,80	0,15	0,80
Ventana 2	Vidrio	1,22	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Pared Puerta1	Arpillera sobre madera	0,7	0,30	0,21	0,27	0,19	0,27	0,19	0,26	0,18	0,15	0,11	0,15	0,11
Puerta 1 y 2	Madera	3,2	0,16	0,51	0,18	0,58	0,16	0,51	0,14	0,45	0,14	0,45	0,13	0,42
Pared Puerta 2	Arpillera sobre madera	0,7	0,30	0,21	0,27	0,19	0,27	0,19	0,26	0,18	0,15	0,11	0,15	0,11
Absorción Total		[m ²]	9,16		8,45		9,14		9,22		7,57		8,17	
Tiempo de Reverberación		[s]	0,28		0,31		0,28		0,28		0,34		0,32	

5.3 Propuesta de aislamiento requerido para cada pared

Para obtener el nivel deseado dentro del recinto bajo el criterio de curvas NC -20, se opta por buscar un tabique o material que tenga un nivel de aislamiento óptimo.

La pérdida por transmisión del estudio actual, no cumple con los niveles establecidos en el criterio de curvas NC -20 para el control Room y las salas de grabación en la bandas de 125 a 4000Hz. El tratamiento se plantea realizarlo exterior al recinto, de esta forma no se modifica ningún parámetro acústico ya medido ni el volumen de la sala.

5.3.1 Aislamiento Acústico mixto

En la edificación es normal la presencia de elementos formados por conjuntos constructivos diferentes, que se caracterizan por aislamientos específicos muy distintos entre sí.

El aislamiento acústico global de un elemento mixto (por ejemplo paramento con puerta o ventana), dependerá tanto del área de cada uno de los elementos constructivos (paramento, puerta, ventana, etc.), así como del aislamiento específico de cada uno de los elementos constructivos.

$$R_g = 10 \text{Log} \left(\frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.1 R_i}}} \right)$$

Donde, S_i es el área del elemento constructivo en (m^2), y R_i es el aislamiento específico del elemento constructivo de área S_i [dB]. Si el cerramiento es con una ventana, con unas áreas (S_c , S_v), y unos aislamientos (R_c , R_v) de las partes ciegas y la ventana, la expresión anterior adopta la forma:

Diferencia de niveles entre el exterior y el recinto en cuestión

$$L_R = L_e + 10 \text{Log} \left(\frac{R_T}{0.5} \right) - R$$

L_R Nivel de presión sonora en el recinto receptor

L_e Nivel de presión sonora en el recinto exterior

R_T Tiempo de reverberación

R Aislamiento

5.3.2 Cálculo del aislamiento de muros dobles

Para poder predecir el aislamiento de una partición doble se emplea la siguiente ecuación, que proporciona el aislamiento por bandas de octava.

$$R = R_I + R_{II} + 20 \text{Log} \left(\frac{4\pi f \rho_o C_o}{s'} \right)$$

$$s' = \begin{cases} \frac{\rho_o C_o}{d} \text{ for } \dots \dots f < f_d = \frac{C_o}{2\pi d} \\ 2\pi f \rho_o C_o \dots \dots f > f_d \end{cases}$$

donde

R_I : Aislamiento material 1

R_{II} : Aislamiento material 2

f : Banda de frecuencia

ρ_o : densidad del aire 1.9Kg/m³

C_o : Velocidad del sonido

d : Distancia entre paredes

Tabla 52. Cálculo de Aislamiento pared doble

CALCULO AISLAMIENTO PARED DOBLE						
Frecuencia	Concreto de 0.04m	Concreto de 0.2m	TL			
			1"	2"	3"	4"
			0,025400	0,050799	0,076199	0,101598
125	30	33	44	50	54	54
250	30	41	58	64	68	68
500	37	45	75	81	85	85
1000	35	51	85	91	92	92
2000	38	57	100	101	101	101
4000	41	61	108	108	108	108

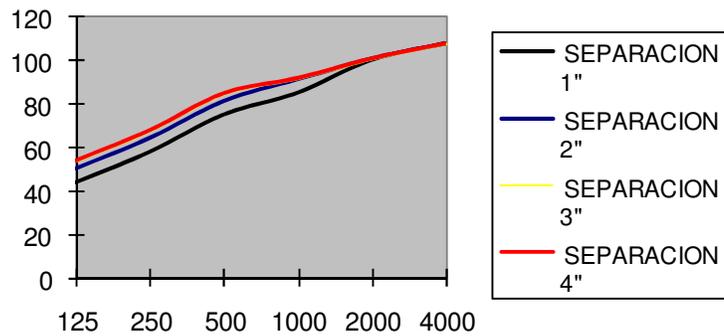


Figura 85. Comparativa de R, para tabiques dobles

5.3.3 Aislamiento Propuesto Control Room

- Aislamiento Control – pared trasera

Tabla 53. Cálculo de Aislamiento compuesto control room pared trasera

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO CONTROL ROOM PARE TRASERA														
FREQ [Hz]		125		250		500		1000		2000		4000		
MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	
1	concreto	5,68	54	2E-05	68	9E-07	85	1,8E-08	92	3,6E-09	101	4,5E-10	108	9E-11
2	Puerta maciza	1,6	35	5E-04	40	0,0002	50	1,6E-05	55	5,1E-06	55	5,1E-06	58	2,5E-06
Suma		7,28	5E-04	0,0002	1,6E-05	5,1E-06	2,5E-06							

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	41,39	46,556	56,5752	61,577	61,5797	64,58
Le	77,749	76,253	77,0005	83,7902	80,083	80,5451
Lr	34,14	27,479	17,7492	19,5371	16,2848	14,0269
RT	0,3	0,3	0,27	0,27	0,3	0,32
Fcrt	-2,2185	-2,218	-2,67606	-2,67606	-2,21849	-1,9382

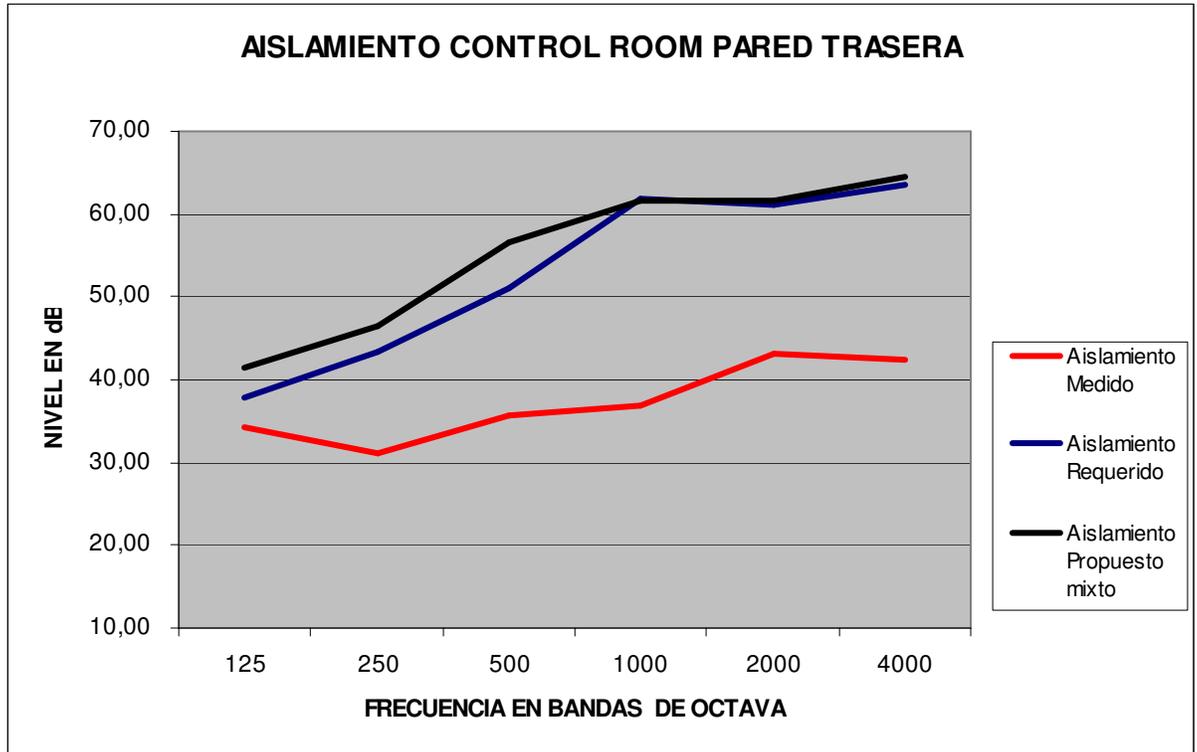


Figura 86. Aislamiento Control room pared trasera

- Aislamiento Control – Pared frente

Tabla 54. Cálculo de aislamiento compuesto control room pared frontal

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO CONTROL ROOM PARED FRONTAL														
			125		250		500		1000		2000		4000	
	MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	3,44	54	1E-05	68	5E-07	85	1E-08	92	2E-09	101	3E-10	108	5E-11
2	Vidrio	1,2	45	4E-05	43	6E-05	45	4E-05	58	2E-06	61	1E-06	56	3E-06

Suma	4,64	5E-05	6E-05	3,8E-05	1,9E-06	9,5E-07	3E-06
------	------	-------	-------	---------	---------	---------	-------

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	49,54	48,83	50,87	63,87	66,87	61,87
Le	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Lr	33,39	34,50	28,42	20,36	14,29	18,57
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

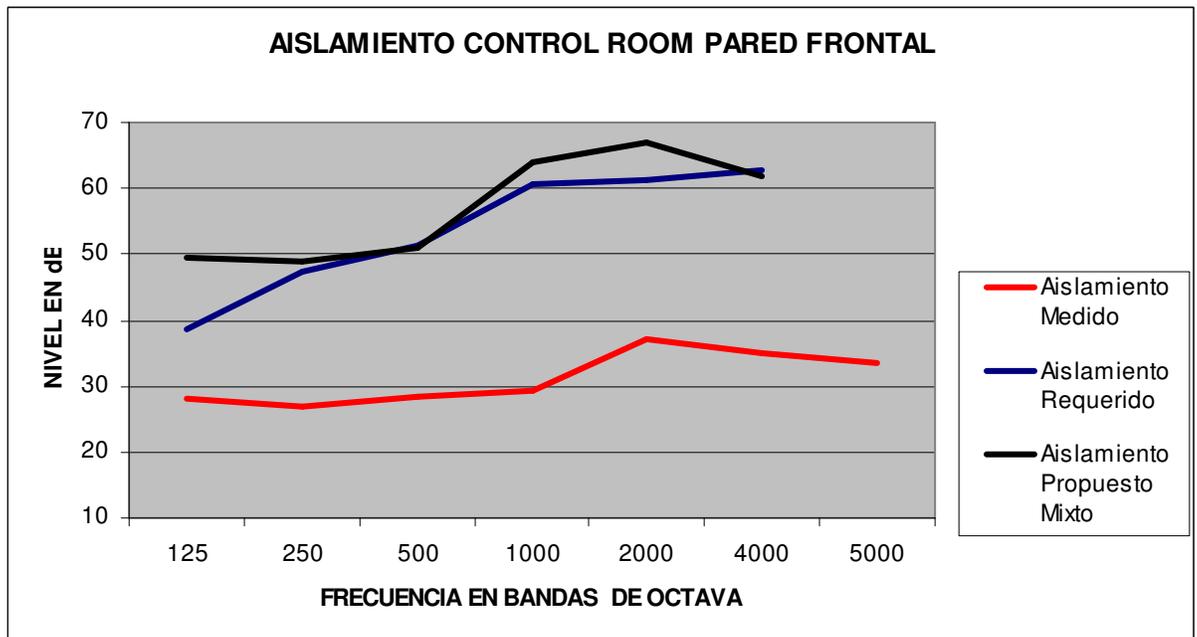


Figura 87. Aislamiento Control Room pared frontal

- Aislamiento Control Room – pared derecha

Tabla 55. Cálculo de aislamiento compuesto control room pared derecha

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO CONTROL ROOM PARED DERECHA														
	MATERIAL	Si	125		250		500		1000		2000		4000	
			RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	8,59	54	3E-05	68	1E-06	85	2,7E-08	92	5,4E-09	100	8,6E-10	100	8,6E-10
Suma		8,59	3E-05	1E-06	2,7E-08	5,4E-09	8,6E-10	8,6E-10						

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	54,00	68,00	85,00	92,00	100,00	100,00
Le	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Lr	28,93	15,34	-5,71	-7,77	-18,84	-19,55
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

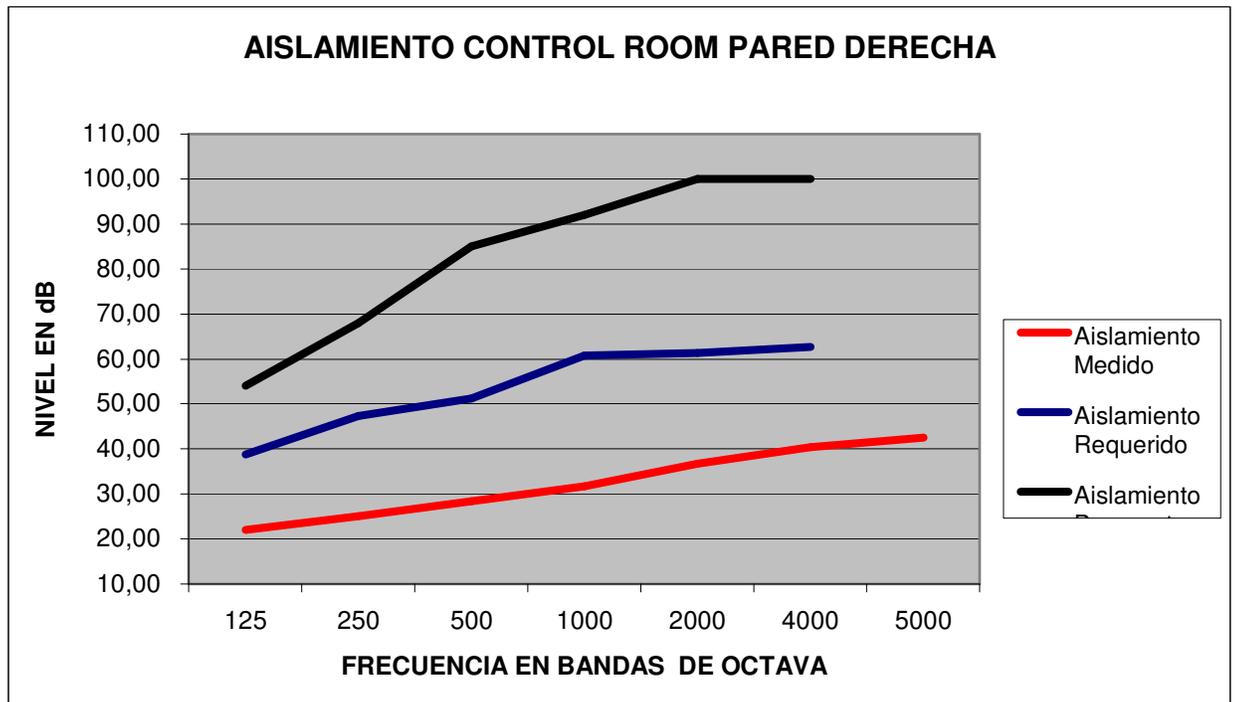


Figura 88. Aislamiento Control room pared derecha

- Aislamiento Control Room – pared izquierda

Tabla 56. Cálculo de Aislamiento compuesto control room pared izquierda

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO CONTROL ROOM PARED IZQUIERDA													
		125		250		500		1000		2000		4000	
MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	8,59	54	3E-05	68	1E-06	85	2,7E-08	92	5,4E-09	100	8,6E-10	8,6E-10
Suma		8,59	3E-05	1E-06	2,7E-08	5,4E-09	8,6E-10	8,6E-10					

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	54,00	68,00	85,00	92,00	80,083	100,00
Le	77,75	76,25	77,00	83,79	80,37	17,00
Lr	27,90	11,26	-5,96	-6,75	-18,84	-82,21
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

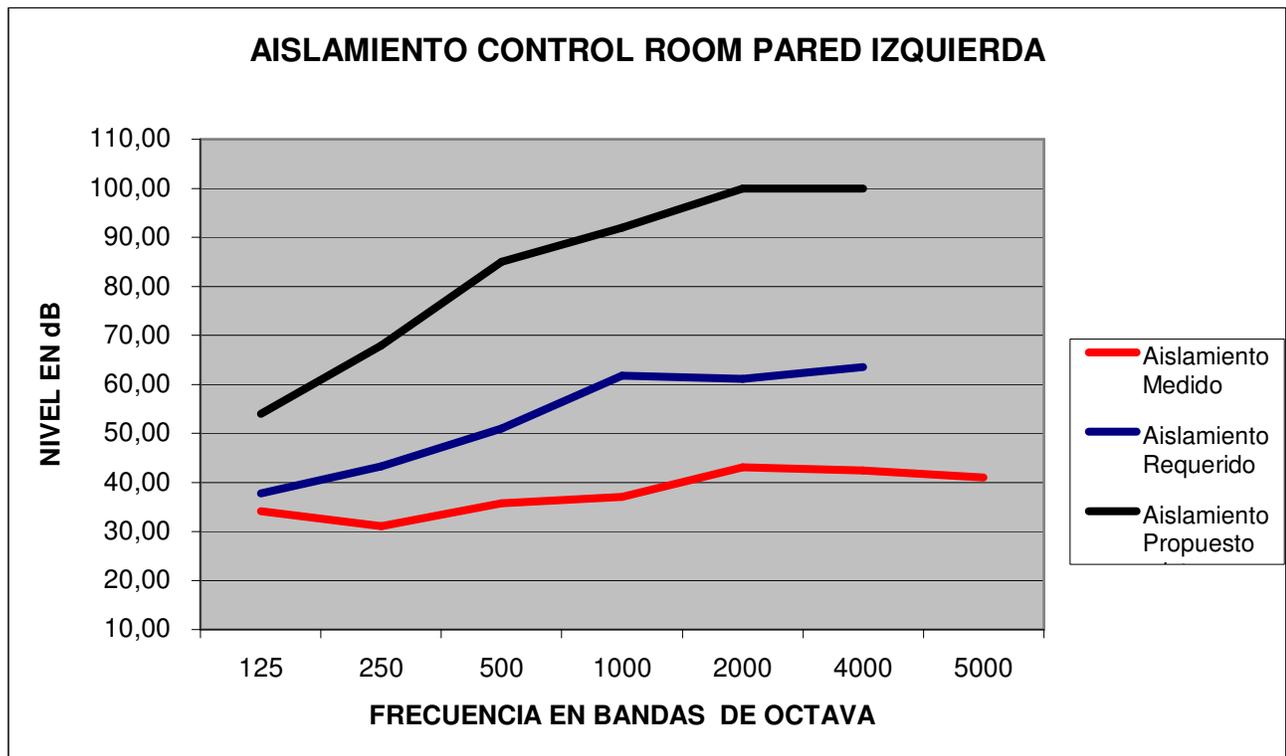


Figura 89. Aislamiento Control room pared izquierda

5.3.4 Aislamiento Sala de Grabación

- Sala de grabación pared trasera

Tabla 57. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared trasera

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO SALA DE GRABACION PARED TRASERA														
MATERIAL	Si	125		250		500		1000		2000		4000		
		RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	
1	concreto	6	54	2E-05	68	1E-06	85	2E-08	92	3,8E-09	101	5E-10	108	1E-10
2	Vidrio	1,22	45	4E-05	43	6E-05	45	4E-05	58	1,9E-06	61	1E-06	56	3E-06
3	Puerta	1,6	32	1E-03	43	8E-05	46	4E-05	67	3,2E-07	65	5E-07	71	1E-07
Suma		8,82		1E-03		1E-04		8E-05		2,3E-06		1E-06		3E-06

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	39,15	47,92	50,49	65,92	67,77	64,41
Le	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Lr	43,78	35,41	28,80	18,31	13,40	16,03
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

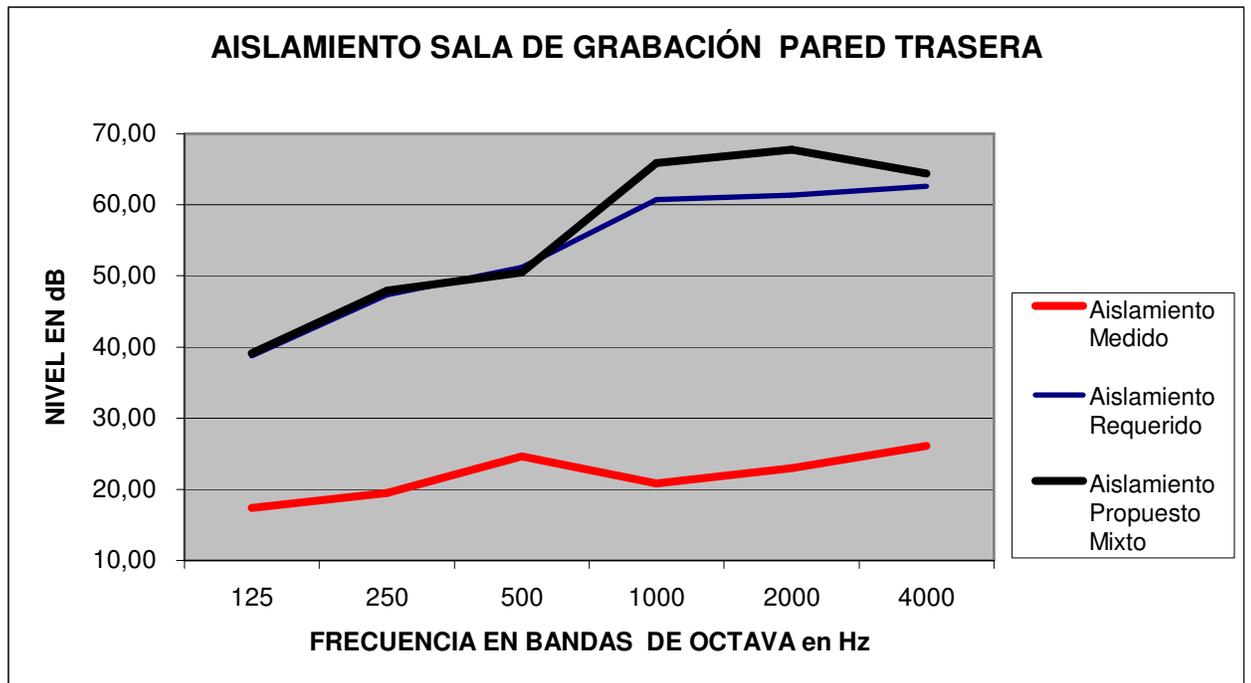


Figura 90. Aislamiento sala de grabación pared trasera

- **Aislamiento Sala de grabación – Pared Frontal**

Tabla 58. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared frontal

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO SALA DE GRABACION PARED FRONTAL														
			125		250		500		1000		2000		4000	
	MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	8	54	3,2E-05	68	1,3E-06	85	2,5E-08	92	5E-09	101	6,4E-10	108	1,3E-10
2	Vidrio	1,22	45	3,9E-05	43	6,1E-05	45	3,9E-05	58	2E-06	61	9,7E-07	56	3,1E-06

Suma	9,22	7E-05	6,2E-05	3,9E-05	2E-06	9,7E-07	3,1E-06
------	------	-------	---------	---------	-------	---------	---------

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	51,17	51,69	53,78	66,77	69,78	64,78
Le	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Lr	31,76	31,64	25,51	17,46	11,38	15,66
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

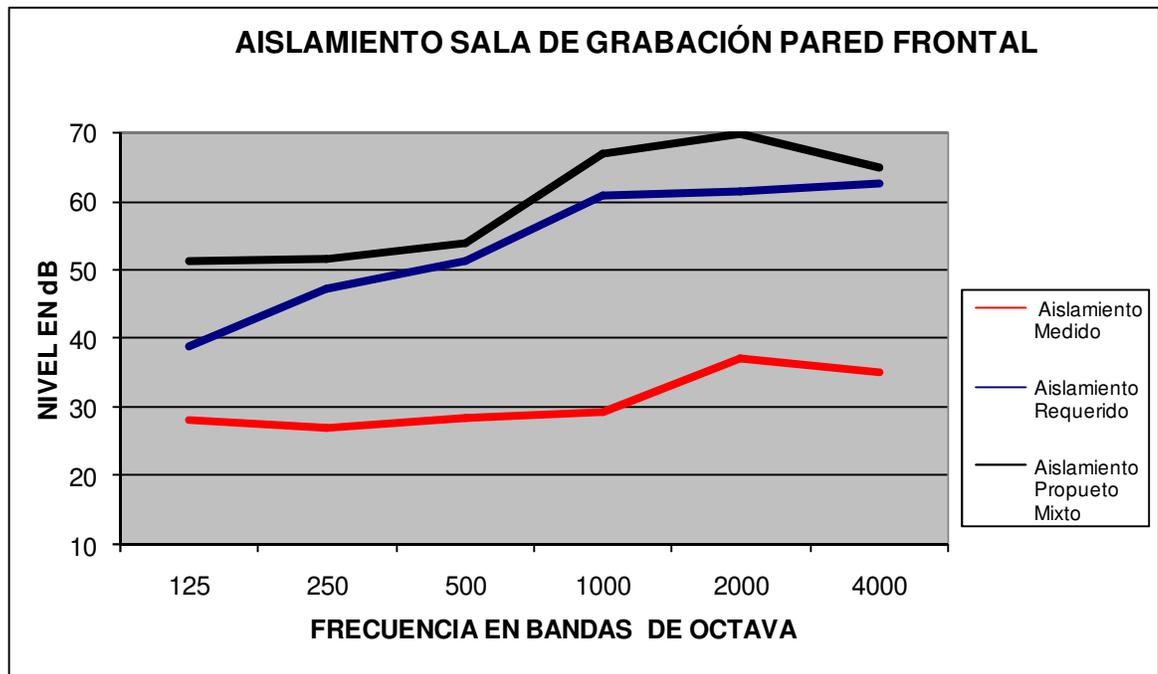


Figura 91. Aislamiento sala de grabación pared frontal

- Aislamiento Sala de Grabación – Pared derecha

Tabla 59. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared derecha

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO SALA DE GRABACION PARED DERECHA														
			125		250		500		1000		2000		4000	
	MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	8	54	3,2E-05	68	1,3E-06	85	2,5E-08	92	5E-09	100	8E-10	100	8E-10
2	Vidrio		45	0	29	0	35	0	44	0	46	0	47	0
Suma		8	3,2E-05		1,3E-06		2,5E-08		5E-09		6,4E-10		1,3E-10	

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	54,00	68,00	85,00	92,00	101,00	108,00
Le	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Lr	55,15	32,01	12,04	1,46	-10,21	-27,21
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

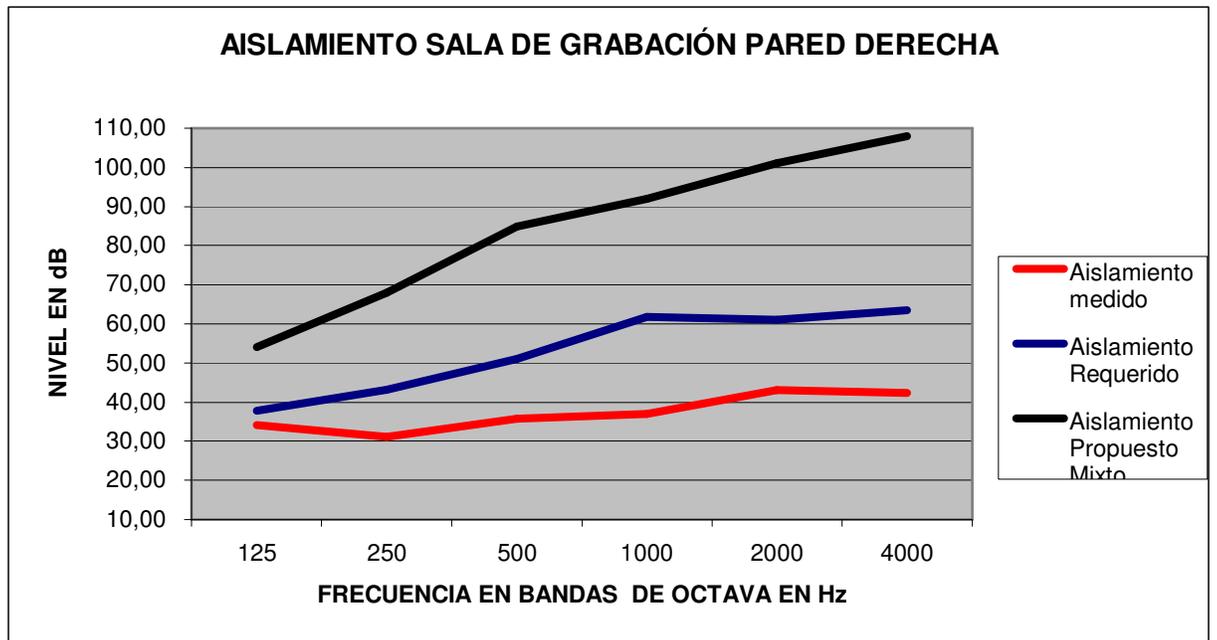


Figura 92. Aislamiento sala de grabación pared derecha

- Aislamiento Sala de Grabación – Pared izquierda

Tabla 60. Cálculo de aislamiento compuesto sala de grabación pared izquierda

CALCULO DE AISLAMIENTO COMPUESTO SALA DE GRABACION PARED IZQUIERDA														
			125		250		500		1000		2000		4000	
	MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	8	54	3,2E-05	68	1,3E-06	85	2,5E-08	92	5E-09	100	8E-10	100	8E-10
2	Vidrio		45	0	29	0	35	0	44	0	46	0	47	0
Suma		8		3,2E-05		1,3E-06		2,5E-08		5E-09		6,4E-10		1,3E-10

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	54,00	68,00	85,00	92,00	101,00	108,00
Le	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Lr	55,15	32,01	12,04	1,46	-10,21	-27,21
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

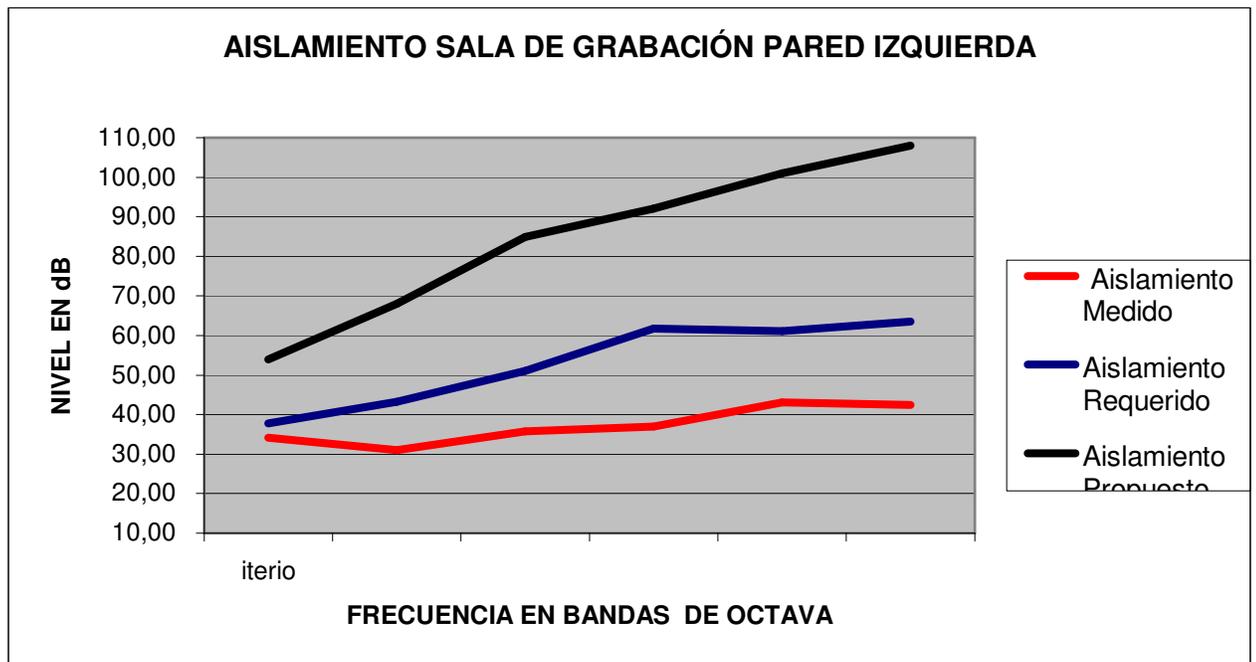


Figura 93. Aislamiento sala de grabación izquierda

5.3.5 Sala de grabación Percusión

- Aislamiento Sala de Grabación Percusión – Pared trasera

Tabla 61. Cálculo de aislamiento mixto sala de percusión pared trasera

CALCULO DE AISLAMIENTO MIXTO SALA DE GRABACIÓN PERCUSIÓN PARE TRASERA														
		125		250		500		1000		2000		4000		
MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	
1	concreto	6	54	2E-05	68	1E-06	85	2E-08	92	4E-09	101	5E-10	108	1E-10
3	Puerta	3,2	35	1E-03	40	3E-04	50	3E-05	55	1E-05	55	1E-05	58	5E-06
Suma		9,2	1E-03	0,0003	3,2E-05	1E-05	1,01E-05	5E-06						

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	39,49	44,57	54,58	59,58	59,59	62,59
Le	77,75	76,25	77,00	83,79	80,08	80,55
Lr	42,41	34,69	24,46	25,67	21,29	18,75
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

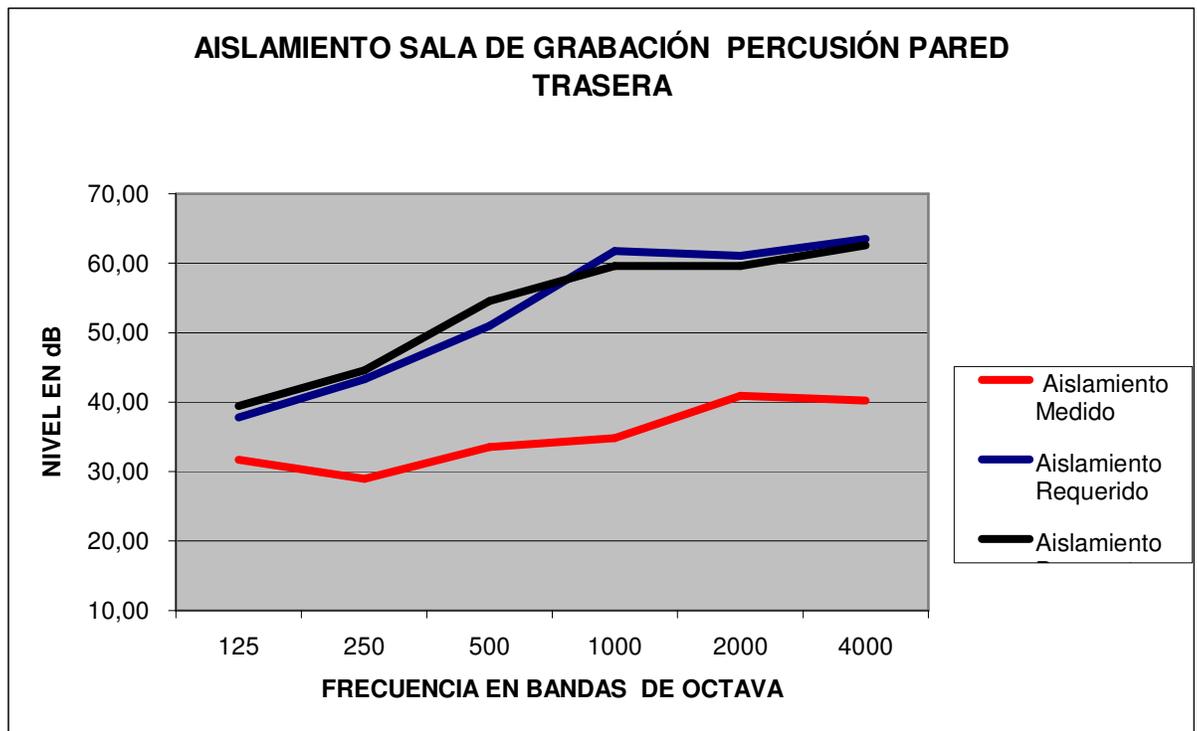


figura 94. Aislamiento sala de grabacion pared trasera

- Aislamiento Sala de Grabación Percusión – Pared Frente

Tabla 62. Cálculo de aislamiento mixto sala de grabación percusión pared frente

CALCULO DE AISLAMIENTO MIXTO SALA DE GRABACION PERCUSION PARED FRENTE														
	MATERIAL	Si	125		250		500		1000		2000		4000	
			RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	4,25	54	1,7E-05	68	6,7E-07	85	1E-08	92	3E-09	101	3E-10	108	7E-11
2	vidrio	1,6	45	5,1E-05	43	8E-05	45	5E-05	58	3E-06	61	1E-06	56	4E-06
3	Puerta Maciza	9,89	40	0,00099	40	0,00099	50	1E-04	55	3E-05	55	3E-05	58	2E-05
Suma		15,74	0,00106		0,00107		1E-04		3E-05		3E-05		2E-05	

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	41,7313	51,6768	55,22	61,679	59,845	63,027
Le	78,78	80,32	77,25	82,77	80,37	79,65
Lr	41,20	31,66	24,07	22,55	21,32	17,42
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

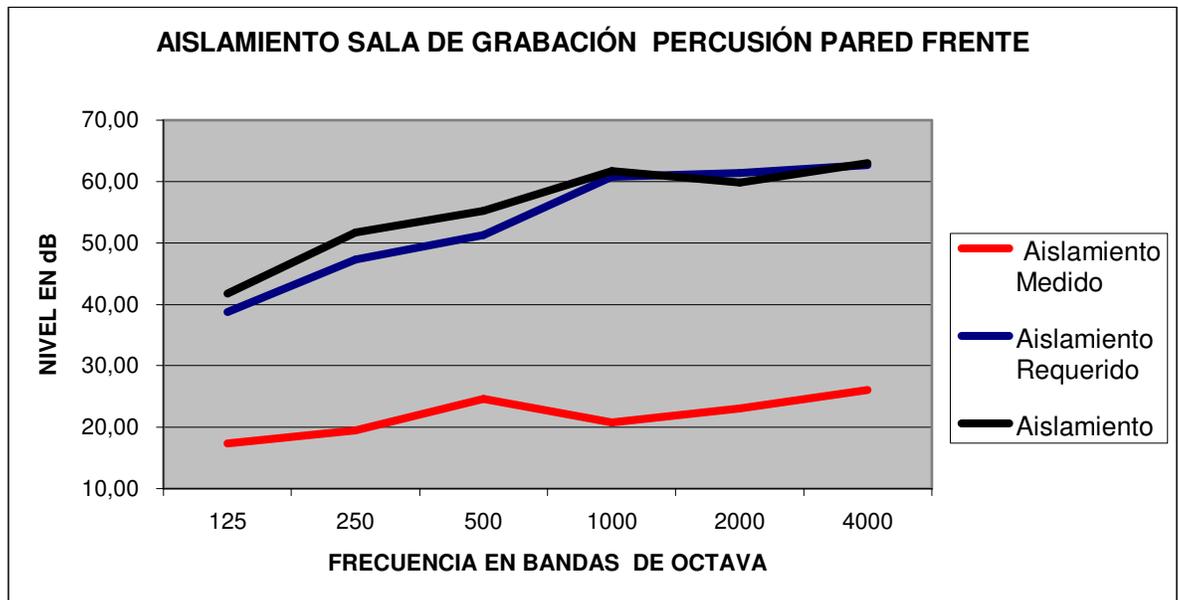


Figura 95. Aislamiento sala de grabación percusión pared frente

- **Aislamiento Sala de Grabación percusión-Pared Derecha**

Tabla 63. Cálculo de aislamiento mixto sala de grabación percusión pared derecha

CALCULO DE AISLAMIENTO MIXTO SALA DE GRABACION PERCUSION PARED DERECHA														
			125		250		500		1000		2000		4000	
	MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	19,3	54	7,7E-05	71	2E-06	85	6E-08	92	1,2E-08	101	1,5E-09	108	3,05884E-10
2	vidrio	1,6	45	5,1E-05	43	8E-05	45	5E-05	58	2,5E-06	61	1,3E-06	56	4,01902E-06
3	Puerta Maciza	1,2	35	0,00038	40	0,0001	50	1E-05	55	3,8E-06	55	3,8E-06	58	1,90187E-06
Suma		22,1		0,00051		0,0002		6E-05		6,3E-06		5,1E-06		5,9212E-06

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	46,39	50,40	55,47	65,42	66,40	65,72
Le	77,75	76,25	83,79	83,79	80,08	80,00
Lr	35,50	28,87	30,36	19,83	14,48	15,07
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

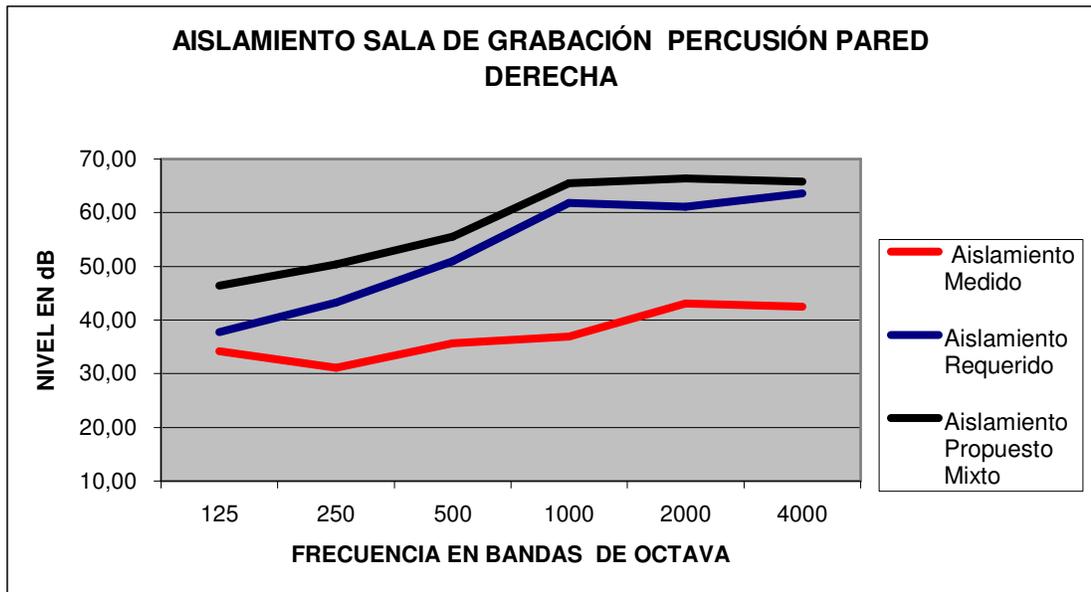


Figura 96. Aislamiento sala de grabación percusión pared derecha

- Aislamiento Sala de Grabación Percusión – Pared Izquierda

Tabla 64. Cálculo de aislamiento mixto sala de grabación percusión pared derecha

CALCULO DE AISLAMIENTO MIXTO SALA DE GRABACION PERCUSION PARED DERECHA														
			125		250		500		1000		2000		4000	
	MATERIAL	Si	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A	RI	A
1	concreto	19,3	54	7,7E-05	71	2E-06	85	6E-08	92	1,2E-08	101	1,5E-09	108	3,05884E-10
Suma		19,3	54	7,7E-05	71	2E-06	85	6E-08	92	1,2E-08	101	1,5E-09	108	3,05884E-10

	125	250	500	1000	2000	4000
Rg	54,00	71,00	85,00	92,00	101,00	108,00
Le	125,00	250,00	1.000,00	1.000,00	2.000,00	80,00
Lr	75,15	182,01	917,04	909,46	1.899,79	-27,21
RT	1,30	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60
Fcrt	4,15	3,01	2,04	1,46	0,79	0,79

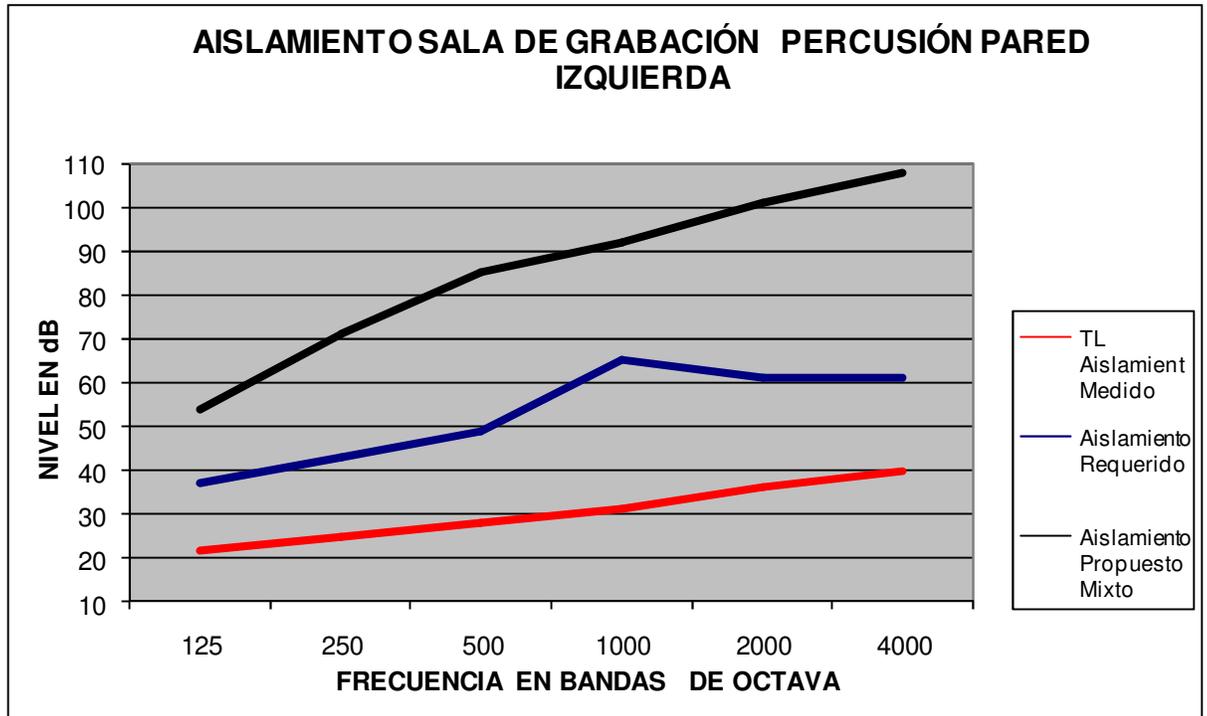


Figura 97. Aislamiento sala de percusión pared izquierda

5.3.4 Ventanas

Las dimensiones de las ventanas son de 1,4m*0,86m para el control Room y de 1m*0,86m para la sala de grabación de percusión. Los dos estarán constituidos por 2 vidrios de espesor diferente (15mm y 10mm), la inclinación de los vidrios ayuda a evitar el efecto de las ondas estacionarias perpendiculares a la superficie de los vidrios.

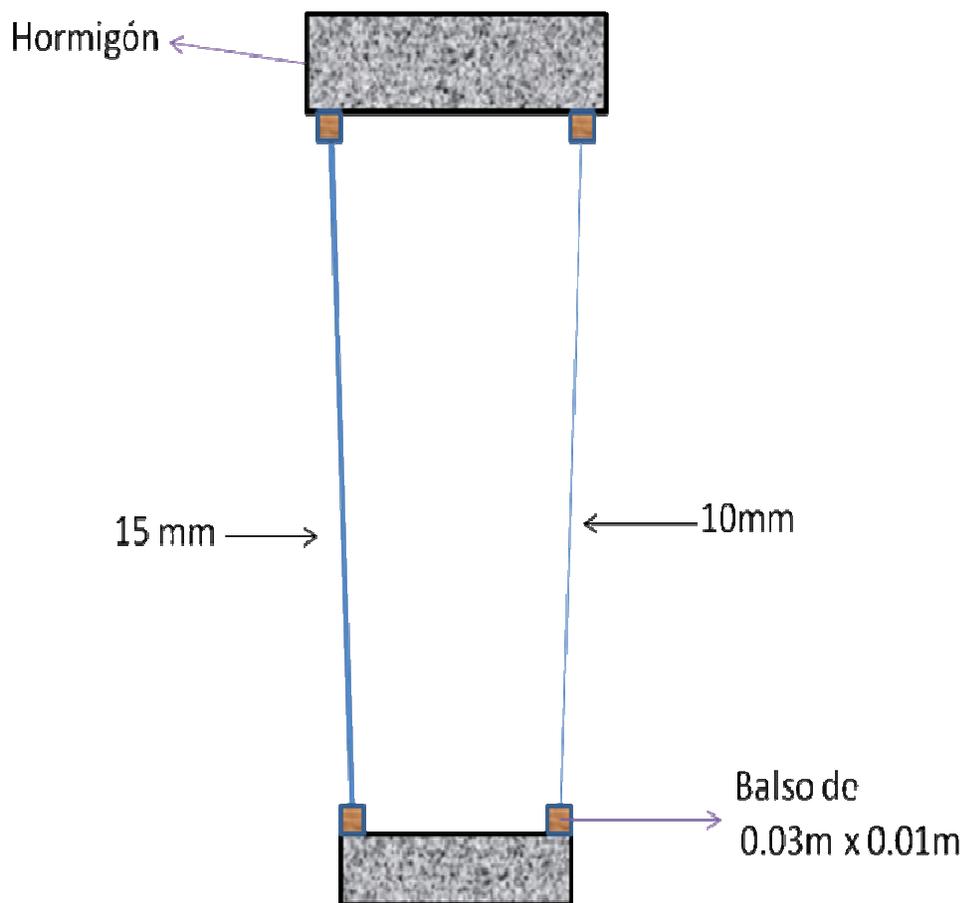


Imagen 53. Diseño de Ventanas

5.3.5 Puertas

Se diseñaron tres puertas de iguales características que se colocaran para el ingreso a las salas de grabación y sala de control.

- **Montaje Puerta**

CLASE STC	ESPESOR m	Peso Kg/m ²	125	250	500	1000	2000	4000
			Atenuación por transmisión en decibelios [dB]					
61	0,089	80	32	43	46	67	65	71

Los niveles de aislamiento para puertas y ventanas se establecen por medio de las curvas STC³⁸.

La puerta está construida de 2 placas de madera con un espesor de 0,01m cada una, rellena de fibra de vidrio de 0,025m y una cavidad de aire de 0,019m. Para el montaje de la puerta, se utiliza un marco fijado a la pared con un ancho de 0,03m. Se ancla otro marco de madera de 0,04 * 0,05m con un empaque de 0,005m de espesor, para un sellado hermético. Se fijan tres bisagras que van fijadas del marco a la puerta.

Altura: 2m

Ancho: 0,86m

³⁸ Sound Transmision Class (curvas de caracterización del aislamiento acústico a ruido aéreo)



Imagen 54. Dimensiones puerta

Detalle Puerta

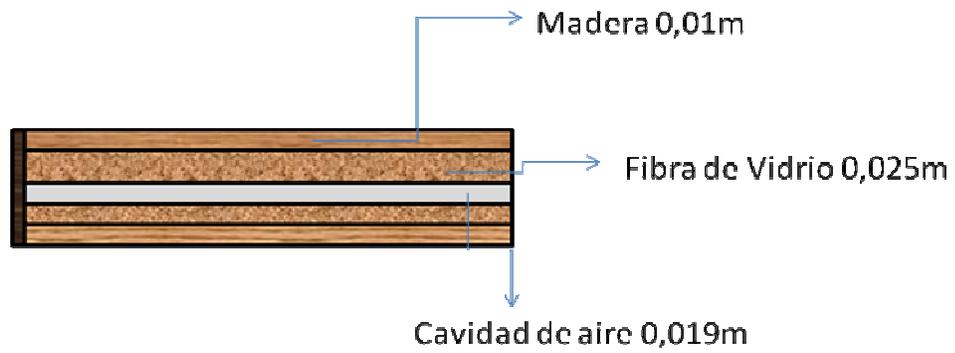


Imagen 55. Detalle Puerta

STC 54 y 61

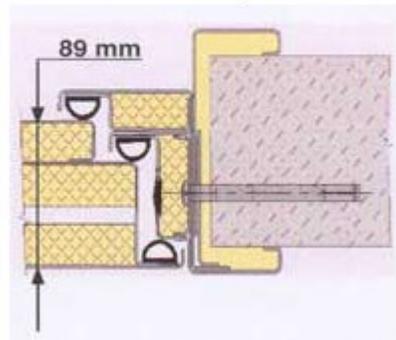


Imagen 56. Anclaje de una puerta STC 61³⁹

El sistema de anclaje, se realiza ajustando un marco a la pared con un chazo, y 3 bisagras en cada uno de los puntos a lo alto de la puerta.

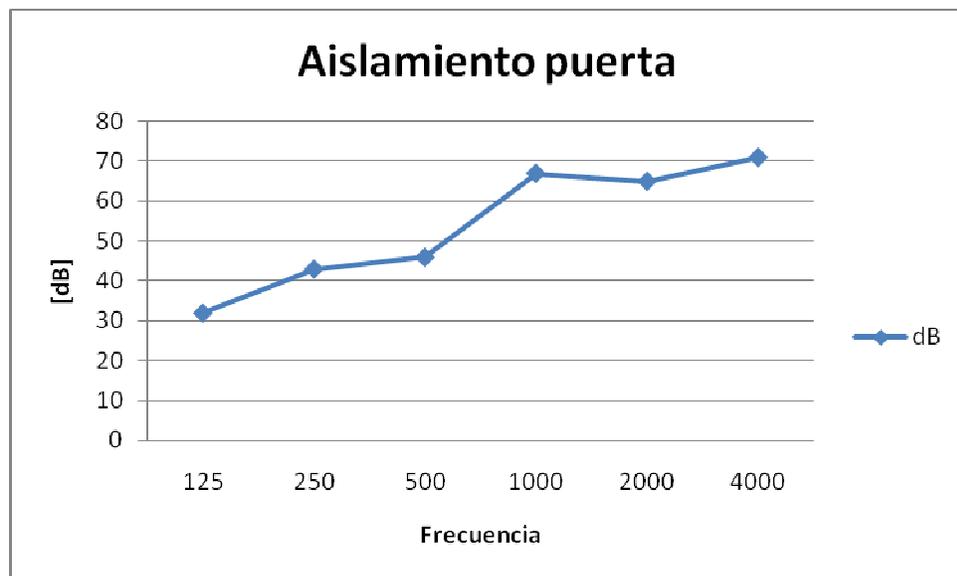


Figura 98. Nivel de aislamiento puerta doble

³⁹ <http://stopson.com/webs/Puertas.htm>

5.3.6 Pared Doble

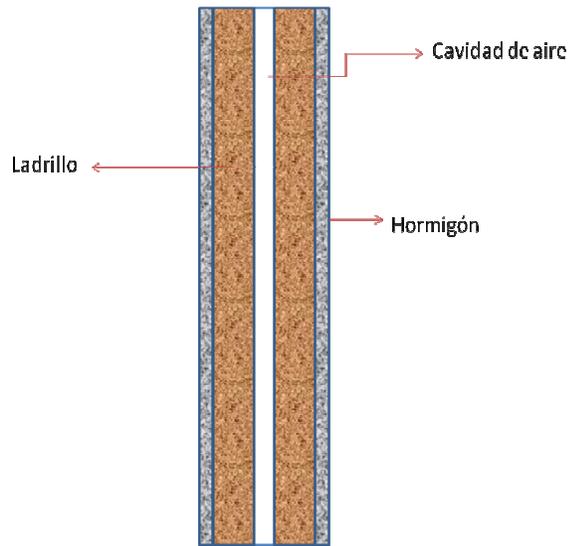


Imagen 57. Pared doble

En la imagen 55 se muestra un ejemplo de tabiques dobles que se utilizaron para el aislamiento.

5.4 Simulación del diseño

Para la simulación se utilizó el software CATT ACOUSTIC V8 demo. Para llegar al diseño final, se realizó y se simuló varios prototipos de las salas que conforman el estudio de grabación, que fueron optimizando las cualidades acústicas del recinto.

5.4.1 Parámetros de Configuración de la Simulación.

Los valores que se utilizaron para configurar el modelo geométrico de la simulación fueron:

Tabla 65. Parámetros de Configuración de la Simulación

Números de rayos por octava	100000	
Tiempo de recorte	10000	ms
Tiempo intervalo en los mapas	0 a 20	ms
Orden de reflexiones especulares	7	
Orden de reflexiones difusas	1	

Ruido de Fondo: Se estableció el ruido de fondo obtenido en las mediciones en todas las bandas de frecuencias.

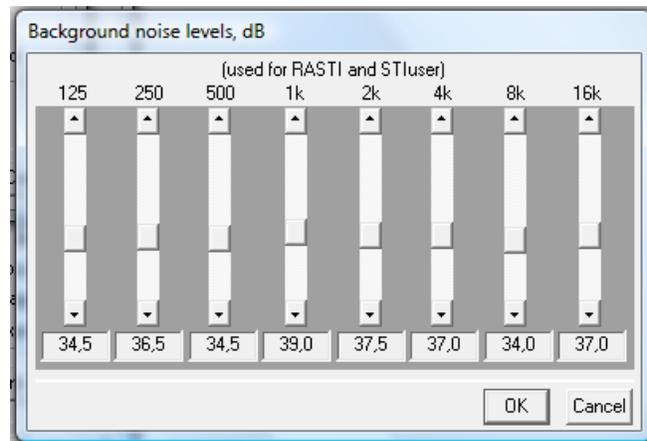


Imagen 58. Ruido de fondo Simulación

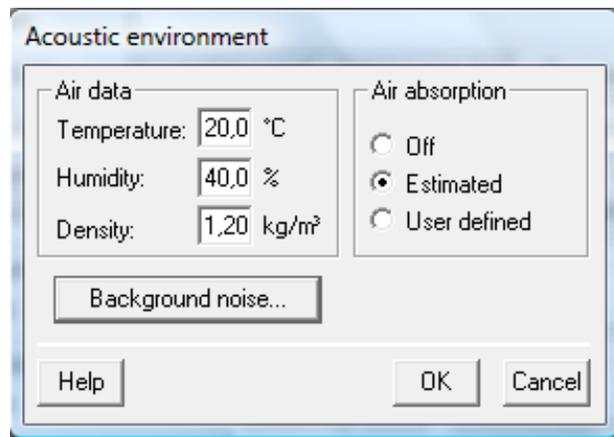


Imagen 59. Condiciones entorno acústico simulación

Se utilizaron dos fuentes omnidireccionales, con una Intensidad acústica máxima de 116dB. Para evaluar las propiedades acústicas del control room, se ubico el receptor en el punto diseñado para el ingeniero de sonido, ya que esta es la zona donde las cualidades acústicas son las de mayor importancia. En las salas de grabación se distribuyó posición de receptores en distintos puntos, para realizar un promedio de las cualidades acústicas, ya que se necesita conocer con detalle su comportamiento.

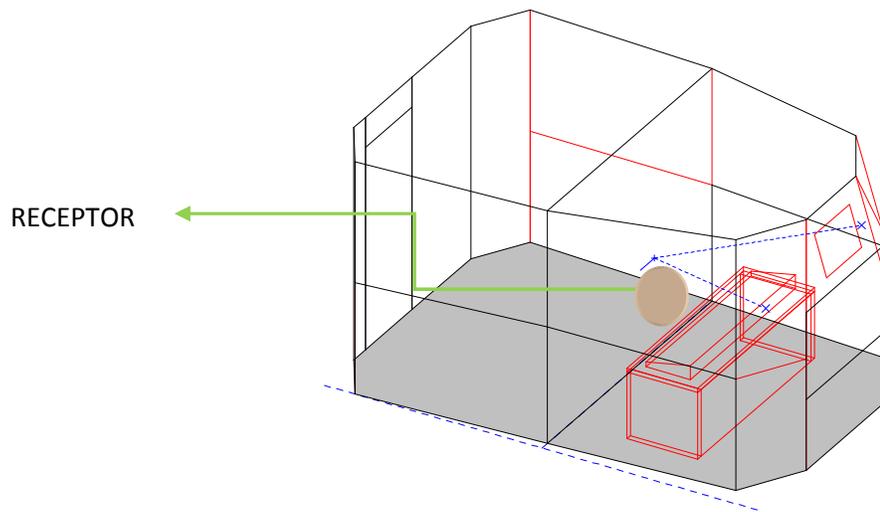


Imagen 60. Ubicación del receptor para el análisis de la predicción acústica

- A0: Posición Fuente
- 01: Posición Receptor 1
- 02: Posición Receptor 2
- 03: Posición Receptor 3

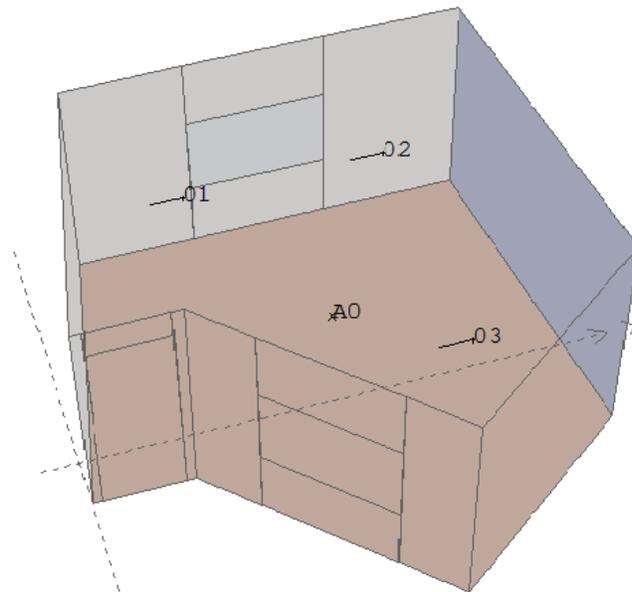


Imagen 61. Ubicación de fuente y receptores Sala de Grabación

- A0: Posición Fuente
- 01: Posición Receptor 1
- 02: Posición Receptor 2
- 03: Posición Receptor 3

Los parámetros que se simularon (Rt, D50, C80, EDT y SPL) fueron los de interés para el calificar el acondicionamiento acústico del recinto.

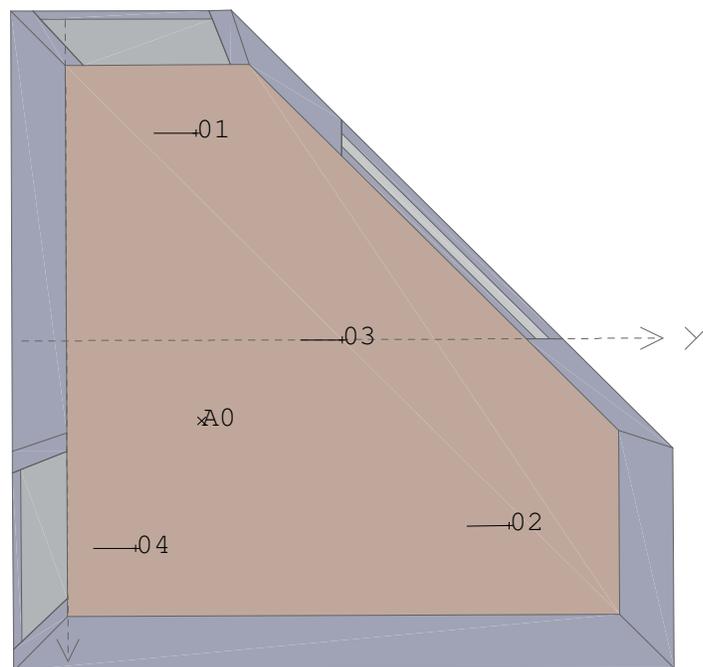


Imagen 62. Ubicación de fuente y receptores Sala de percusión

- A0: Posición Fuente
- 01: Posición Receptor 1
- 02: Posición Receptor 2
- 03: Posición Receptor 3

5.5 Parámetros de Equipamiento

Para un estudio de grabación con las características de AFV Records en donde, la principal actividad es la pre producción musical. El requerimiento de equipamiento se basa en elementos de captura, distribución, edición y almacenamiento de señal sonora. Cabe destacar la importancia de la monitoria ya que de esta depende la fiel captura y procesamiento de la señal recogida en el recinto especificado.

Los equipos del estudio se componen del sistema de monitoria (audífonos, campo cercano), captura (microfonería específica), sistema de distribución, pre amplificación (patch bay, mezclador), periféricos (procesadores dinámicos y de tiempo), sistema de grabación edición (computador) y convertidor análogo digital.

CONCLUSIONES

- Los parámetros acústicos, los materiales y la geometría de la sala actual no son apropiados para un estudio de grabación, debido a que la disposición geométrica presenta formas que producen mala distribución modal, ondas estacionarias que alteran la buena reproducción en la sala; los materiales en los cuales está construido no poseen características de absorción adecuadas, viéndose reflejado esto en tiempos de reverberación altos para la utilización del recinto; como consecuencia de esto los parámetros acústicos y las condiciones en general para este recinto no son las más favorables.
- Es posible construir un estudio de grabación que cumpla con las necesidades y requerimientos recomendados por los principales criterios de diseño para este tipo de recinto, escogiéndose estos entonces para estudios de grabación pequeños, permitiendo así una mejor distribución modal, un sweet spot de referencia en donde el comportamiento sonoro sea homogéneo y además con características que permitan la buena reproducción de audio.
- Se diseñó y simuló el estudio de grabación propuesto por medio de cálculos matemáticos y software especializado, obteniendo así una gráfica comparativa que permitió establecer una correlación de datos.
- Se especificó un sistema de equipamiento de grabación básico para cubrir las necesidades de producción musical, en donde se tuvieron en cuenta aspectos técnicos de utilización importantes en las etapas de producción musical. Además de establecer una tabla comparativa en la cual se describen los requerimientos y condiciones para su elección.
- Se realizaron tres propuestas de presupuesto de equipos con similares características que cumplen los requerimientos del equipamiento del estudio, contando con la colaboración de empresas que se encargan de la distribución de equipos de audio en el país.

RECOMENDACIONES

- Al diseñar un estudio de grabación se debe utilizar y aplicar criterios de diseño, ya que los autores emplean diferentes soluciones para adecuar las características arquitectónicas y geométricas para una optimización de los parámetros acústicos en los estudios.
- Se aconseja utilizar más de un software de simulación, y que estos trabajen diferentes teorías acústicas (geométrica, ondulatoria y estadística) para una predicción confiable, ya que por ser diferentes pueden ser comparados sus resultados.
- Para mayores resultados, se necesita conocer los coeficientes de absorción que se quieran utilizar para el acondicionamiento del recinto.

BIBLIOGRAFÍA

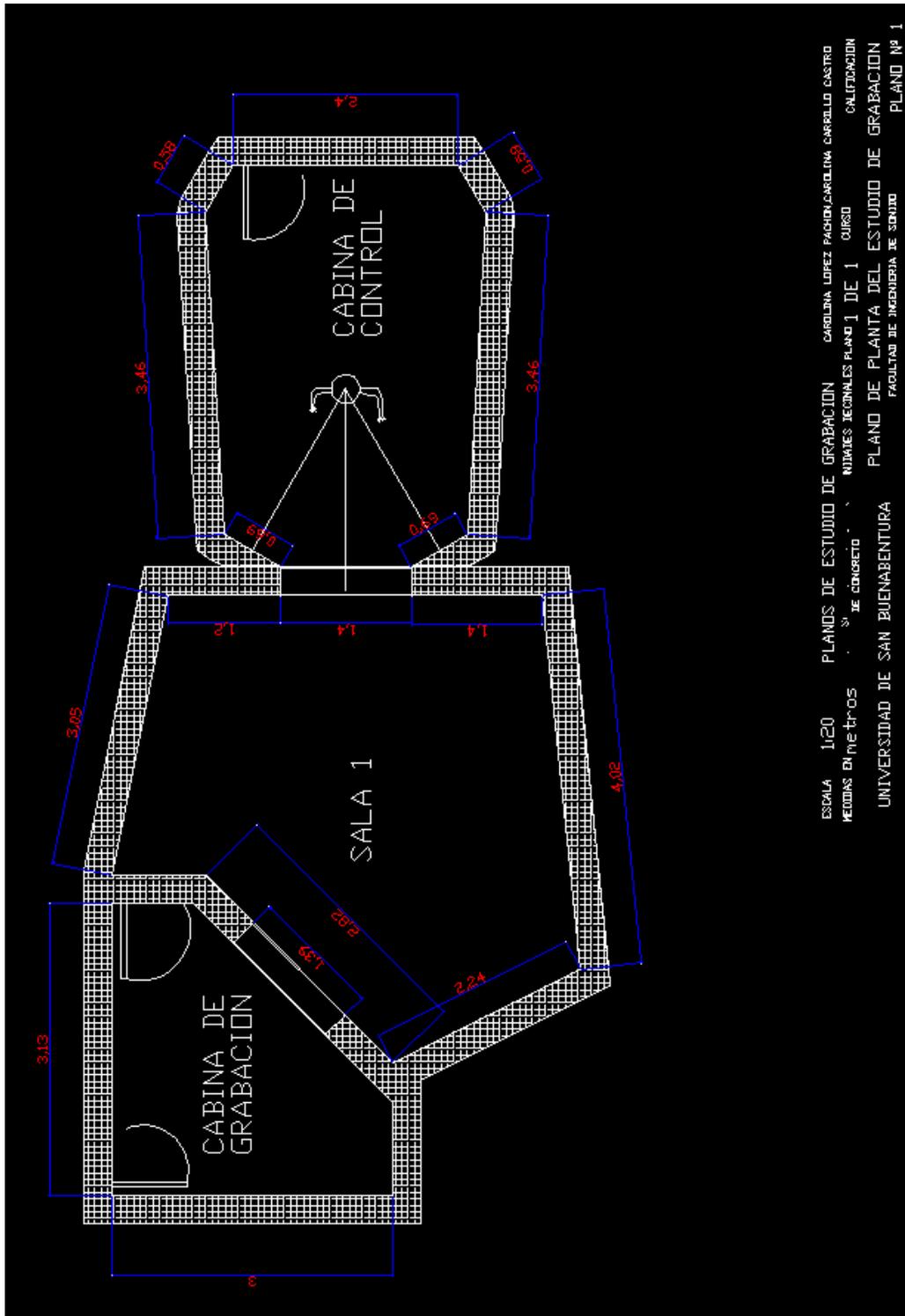
- [1] Norma ISO 3382: 1997, (Acoustics- Measurements of the reverberation time of rooms with regards to other acoustical parameters).
- [2] Munster, B. v. (2003). Acoustics of sound recording control rooms – past, present and future.
- [3] EBU/UER, Listening conditions for the assessment of sound program material: monophonic and two channel stereophonic, Technical document 3276-1999, second edition, <http://www.ebu.ch>
- [4] BIDONDO, Alejandro. Acústica de estudios de grabación y mastering; acústica geométrica.
- [5] CARRION, Isbert Antoni. (1998). Diseño acústico de espacios arquitectónicos.
- [6] HIGINI, Arau. ABC de la acústica arquitectónica. Acondicionamiento de Salas.
- [7] KLAUS, Hornig. (2001). Diseño de un estudio de grabación con sala control LEDE; Universidad Austral de Chile.
- [8] Norma IRAM 4063-4, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- [9] Norma española UNE-EN ISO 140-5, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- [10] Norma ISO 3382:1997, (Acoustics- Measurements of the reverberation time of rooms with referente to other acoustical parameters).
- [11] RECUERO López Manuel. (1991) Estudio y controles para grabación sonora; Editorial IPN 1991, México.
- [12] Recuero López Manuel. Ingeniería Acústica. [620.21 / R294i](#). Editorial Thomson Paraninfo S.A. 1962.
- [13] RUFFA, Francisco. Modos Cap. 4, 2005.
- [14] MANZO Fausto, Modelos de Simulación en arquitectura.
- [15] BERANEK, Leo Leroy. Acústica. (1961). [620.2/B482a](#). Editorial H.A.S.A.
- [16] LAWRENCE E, KINSLER, FREY Austin R, COPPENS Alan B, SANDERS James V. Fundamentos de acústica. Editorial Limusa 1988, México ISBN.

[17] D'Antonio Peter. www.rpginc.com

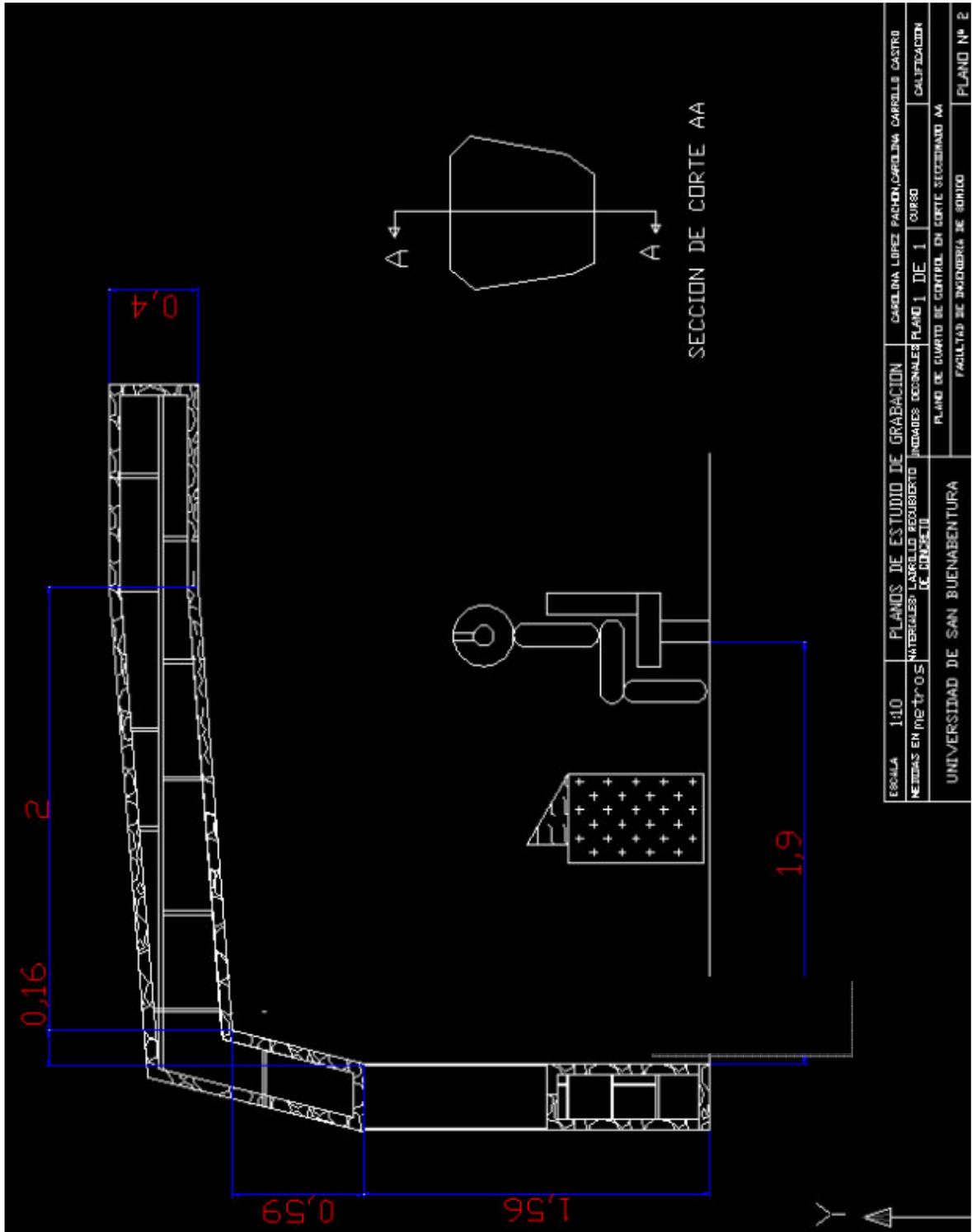
[18] Walker R., Room modes and low frequency responses in small enclosures, AES preprint 4194 (H-7), 100th convention, 1996, Copenhagen.

ANEXO A. PLANOS AUTO CAT ESTUDIO DE GRABACIÓN

ANEXO A 1. Planta Estudio de Grabación AFV Records

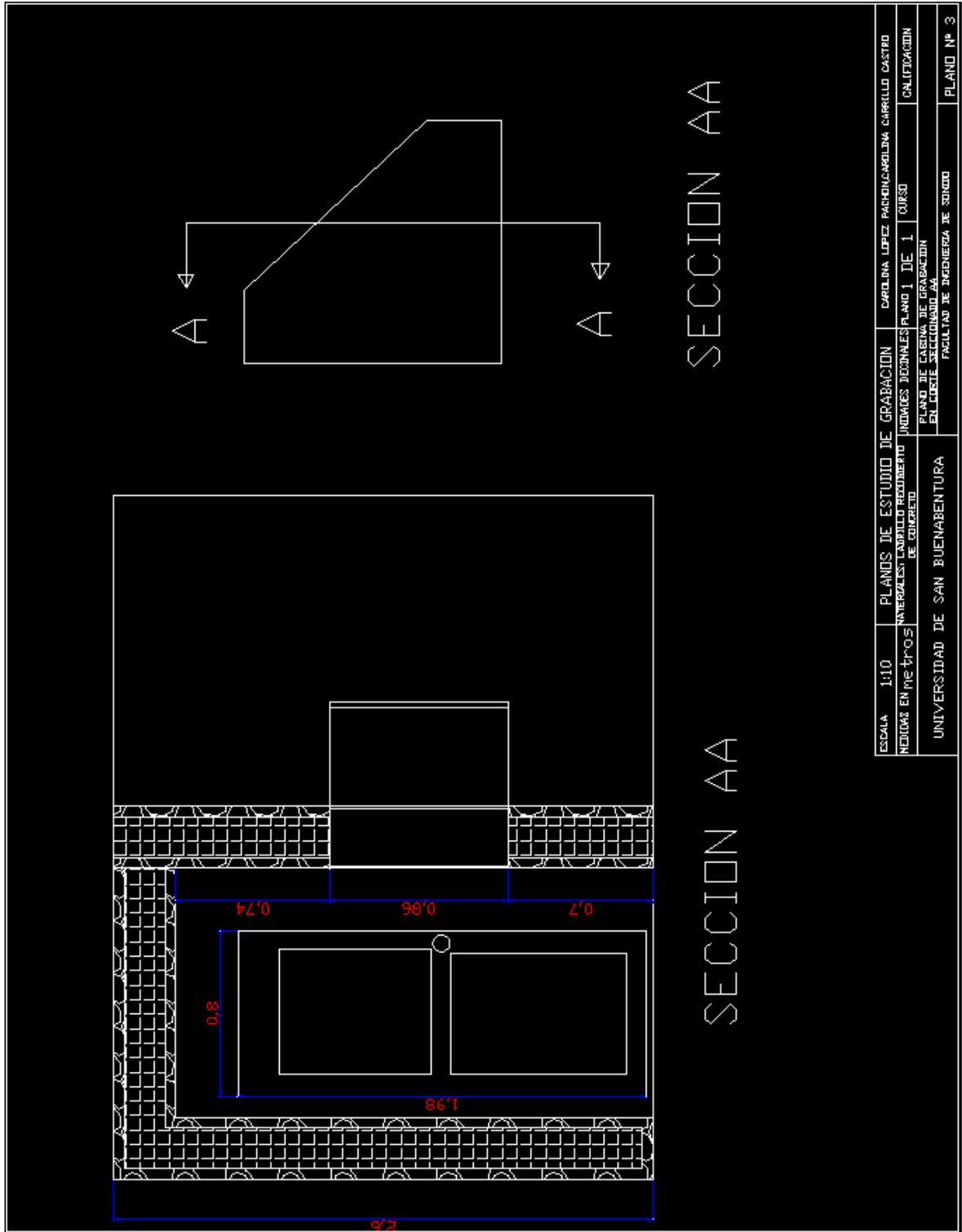


ANEXO A 2. Corte del diseño del Control room



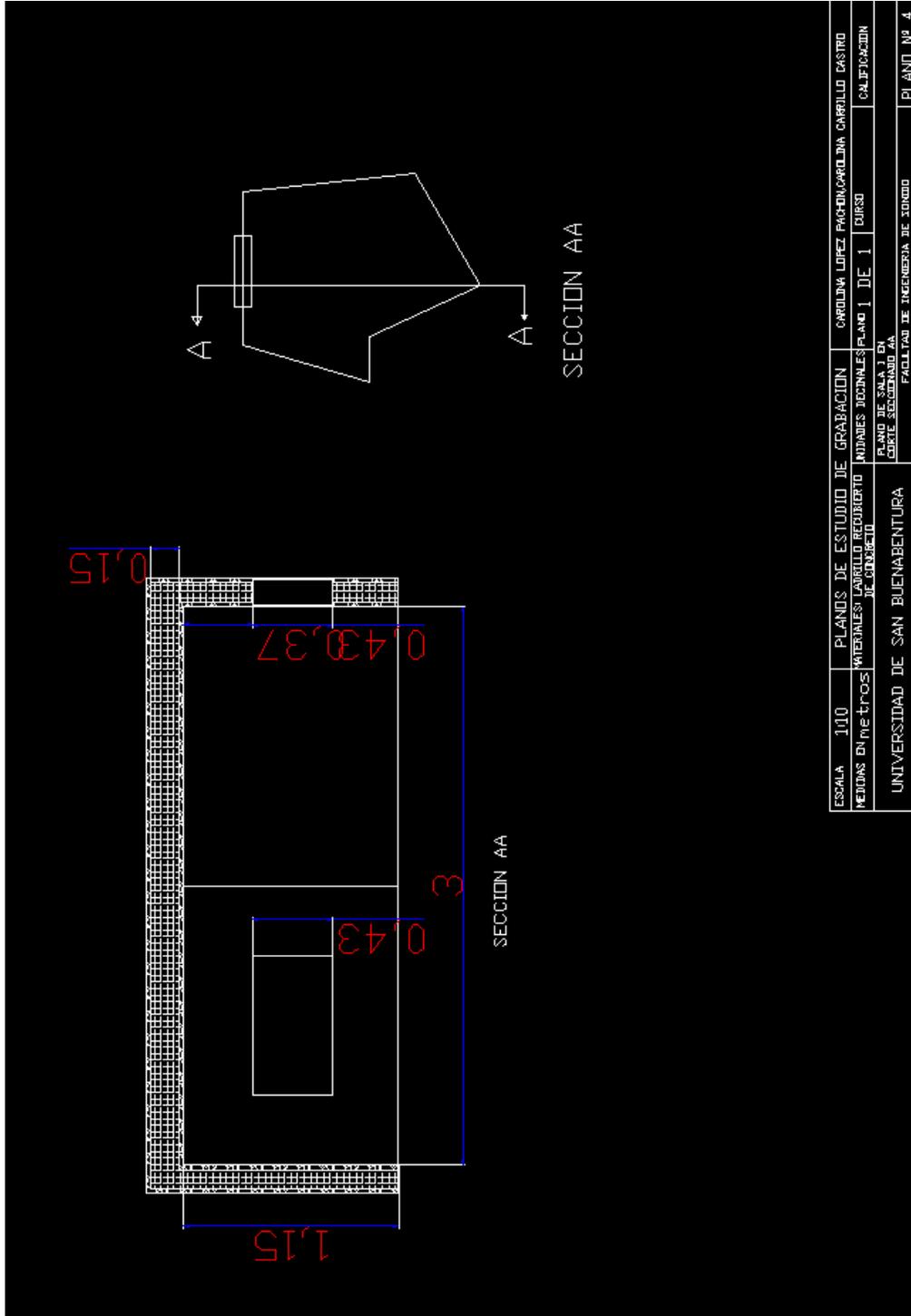
ESCALA	1:10	PLANOS DE ESTUDIO DE GRABACION	CAROLINA LOPEZ FACHON, CAROLINA CABRILLO CASTRO
METROS EN METROS		INGENIEROS ASISTENTES DE GRABACION	INGENIEROS DE GRABACION
		UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	PLANO DE PARTO DE CONTROL EN CORTE SECCION AA
			FACULTAD DE INGENIERIA DE SONIDO
			PLANO Nº 2

ANEXO A 3. Corte cabina de percusión



ESCALA	1:10	PLANDOS DE ESTUDIO DE GRABACION	CAROLINA LOPEZ PACHECA-MOLINA	CARRILLO CASTRO
MEMORIA EN METROS		UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	INDICES DECIMALES PLANO 1 DE 1	CURSO
		UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA	PLANO DE CABINA DE GRABACION	CALIFICACION
			EN CORTE SECCION AA	
			FACULTAD DE INGENIERIA DE SONIDO	PLANO Nº 3

ANEXO A 4. Corte Sala de grabación



ESCALA	1:100	PLANOS DE ESTUDIO DE GRABACION	CAROLINA LOPEZ PACHON	CAROLINA CARRILLO CASTRO
MEZAS DISEÑADOR	WATERLAIN LABRILLO RECUBIERTO DE CONCRETO	MODALES DECORACIONES	PLANO 1 DE 1	CURSO
UNIVERSIDAD DE SAN BUENABENTURA		PLANO DE SALA J EN CORTE SECCION AA		
FACULTAD DE INGENIERIA DE IONDO				PLANO Nº 4

ANEXO B. COTIZACIONES EQUIPOS DE AUDIO

ANEXO B 1. Cotización PROASSECO



proasseco
SOLUCIONES

Calle 94A 11A-39, Of. 302, Bogotá
Tel. 621-2318, 600-6907, 600-6908
Fax. 621-2250



Compañía:	_____
NIT.	_____
Ciudad:	Bogotá
Cliente:	Carolina Carrillo
Cargo:	_____

COTIZACION: **MAC2031rev1**

Fecha: **NOVIEMBRE 14, 2007**
Validez: **15 días**

Cotizado por: Alejandro Posada

Item	Cant.	P/N	Descripción	Vlr Unidad	Valor Total
1	1	9900-38730-02	Digidesign 003 Rack Factory , FireWire Audio Interface with Pro Tools LE 7.3 Software and Factory Bundled Plug-ins	USD 1,712.00	USD 1,712.00
2	1	ATH-M40fs	Audio-Technica ATH-M40fs , Extended-response closed-back dynamic monitor headphones, 60 ohms, 1/4" plug.	USD 107.00	USD 107.00
3	1	HP4	PreSonus HP4 , 4-channel Headphone Monitor with 150 mWatts at 51 Ohms	USD 181.00	USD 181.00
4	1	1642-VLZ3	Mackie 1642-VLZ3 , 16-channel Analog Mixer with 10 XDR Mic Preamps, 4 Aux Sends, and Multi-voltage Power Supply	USD 853.00	USD 853.00
6	1	MA895LL/A	MacBook Pro (Pantalla de 15.4" TFT/ Procesador de 2.2GHz/ Memoria de 2GB/ Disco duro de 120GB/ Tarjeta de video 128MB VRAM/ SuperDrive/ iSight/ AirPort/ Bluetooth/ Remote) English	USD 2,430.00	USD 2,430.00
7	2	8001 3331	Tannoy Reveal 6D , Two way active nearfield monitor - 6" bass driver and 1" Wideband™ tweeter - Freq. response 60Hz to 51kHz. Digital bi-amplification; 75W - LF, 35W - HF. Activ Assist enabled with digital input	USD 450.00	USD 900.00
8	1	PRO63	Audio-Technica PRO63 , Cardioid dynamic instrument microphone. For low-impedance inputs. Hi-ENERGY@neodymium magnet; gold-plated XLRM-type connector. Includes 15' (4.5 m) XLRF- to XLRM-type cable; AT8470 Quiet-Flex™ stand clamp; 5/8"-27 to 3/8"-16 threaded adapter; soft protective pouch.	USD 87.00	USD 87.00
9	1	AE5100	Audio-Technica AE5100 , Cardioid Condenser Instrument Microphone, respuesta en frecuencia 20 - 20,000 Hz, impedancia de 150 ohms.	USD 264.00	USD 264.00
SUBTOTAL					USD 6,534.00
IVA 16%					USD 1,045.44
TOTAL BOGOTA					USD 7,579.00

ANEXO B 2. Cotización 2 Audio Centro

ALMACEN Calle 20 N°6-97 Fax 3520343
Teléfonos: 2845453-2830224 Bogotá D.C
E-mail: audiocentro@tutopia.com
C O L O M B I A .



Bogotá D. C., Noviembre 16 de 2007

Señores:
AFV RECORDS

Agradeciendo él habernos tenido en cuenta, con gusto cotizamos los siguientes equipos profesionales. **Garantía de UN AÑO** por defectos de fabricación.

NIT 830073033-7
IVA REGIMEN COMUN
NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
ACTIVIDAD ICA CIU 5239
TARIFA ICA 11.04 X mil
VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 días
FECHA DE ENTREGA : ACORDAR
FORMA DE PAGO: CONTADO

JUAN PABLO ROMERO BERNATE
Asesor Comercial

I

PROPUESTA ECONOMICA

Cant.	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Interfaz de audio Digidesign, ref. Digi 003 rack.	\$ 3.387.931	\$ 3.387.931
4	Audifonos marca SONY ref.MDR-7506.	\$ 456.897	\$ 1.827.588
1	Pream. para audifonos marca ALTO ref.HPA-6	\$ 413.793	\$ 413.793
1	Consola marca MACKIE ref. CFX20-MKII. 16 canales para microfono, 2 canales stereo, camara de efectos.	\$ 2.068.966	\$ 2.068.966
1	Par de monitores activos marca M-AUDIO ref.Bx-8a. 120 Wtts. Cada uno.	\$ 1.293.103	\$ 1.293.103
3	Microfono marca SHURE ref. SM-57 Alambrioo.	\$ 301.724	\$ 905.172
1	Microfono marca AKG ref. AKGPER400.	\$ 1.068.966	\$ 1.068.966
	SUBTOTAL		\$ 10.965.519
	IVA 16%		\$ 1.754.483
	TOTAL		\$ 12.720.002
Cant.	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Interfaz de audio Digidesign, ref. Digi 003 rack.	\$ 3.387.931	\$ 3.387.931
4	Audifonos marca SONY ref.MDR-7506.	\$ 456.897	\$ 1.827.588
1	Pream. para audifonos marca ALTO ref.HPA-6	\$ 413.793	\$ 413.793
1	Par de monitores activos marca MACKIE ref.HR 624. 140 Wtts. Cada uno.	\$ 3.750.000	\$ 3.750.000
3	Microfono marca SHURE ref. SM-57 Alambrioo.	\$ 301.724	\$ 905.172
	SUBTOTAL		\$ 10.284.484
	IVA 16%		\$ 1.645.517
	TOTAL		\$ 11.930.001
Cant.	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Interfaz de audio Digidesign, ref. Digi 003 rack.	\$ 3.387.931	\$ 3.387.931
4	Audifonos marca SONY ref.MDR-7506.	\$ 456.897	\$ 1.827.588
1	Pream. para audifonos marca ALTO ref.HPA-6	\$ 413.793	\$ 413.793
1	Consola marca MACKIE ref. 1402VLZ3. 6 canales para microfono, 4 canales stereo.	\$ 1.206.897	\$ 1.206.897
1	Par de monitores activos marca MACKIE ref.HR 624 140 Wtts. Cada uno.	\$ 3.750.000	\$ 3.750.000
3	Microfono marca SHURE ref. SM-57 Alambrioo.	\$ 301.724	\$ 905.172
1	Microfono marca SHURE ref. KSM-109/SL. Espedal para studio. De condensador.	\$ 1.068.966	\$ 1.068.966
	SUBTOTAL		\$ 12.560.347
	IVA 16%		\$ 2.009.656
	TOTAL		\$ 14.570.003

ANEXO B 3. Cotización 3 AMG

AMG

Importadora Ltda.

Bogotá D.C, 18/10/2007

Cotización No 8146

Señores(as):
Jaime Lopez Florez
ATN:
BOGOTA D.C.

Cordial saludo:

Importadora AMG se permite presentar cotización según su solicitud:

Propuesta Comercial

CANT.	ARTICULO:	MARCA:	REFERENCIA:	DESCRIPCION:	COSTO UND.	COSTO TOT.
1	Casetera	TASCAM	130	3 Head Cassette Deck	\$ 577	\$ 577
1	Procesador de Efectos	LEXICON	MPX550		\$ 427	\$ 427
1	Procesador de Efectos	BEHRINGER	DSP1224P	Modulizer pro	\$ 137	\$ 137
1	Audifonos	SONY	MDR-7506	headphone designed for professional studio	\$ 162	\$ 162
1	Amplificador	BEHRINGER	HA4700	De audifonos 4 canales	\$ 157	\$ 157
1	Consola	BEHRINGER	SL2442FXPRO	Tba eurodesk	\$ 633	\$ 633
1	Computador Portatil	APPLE	PowerBook 12" 1.5GHz SuperDrive	Keyboard/Mac OS - U.S. English 6x SuperDrive (DVD±RW/CD-RW) 512MB DDR333 (256MB built-in + 256MB SO-DIMM) 80GB Ultra ATA drive @ 5400rpm AirPort Extreme Card	\$ 2.290	\$ 2.290
1	Monitor de Estudio	BEHRINGER	B2030A	Par, High-Resolution, Active 2-Way Reference Studio Monitor	\$ 425	\$ 425
1	Interfase de audio	DIGIDESIGN	Digi 003 rack (9900-38730-00)		\$ 1.273	\$ 1.273

Condiciones El dólar se liquida a la TRM del día del primer abono, cambio de precios sin previo aviso.

Subtotal \$ 6.081
IVA \$ 973
Total \$ 7.054

ANEXO B 4. Cotización 4 AMG



Bogota D.C, 18/10/2007

Cotización No 8148

Señores(as):
Jaime Lopez Florez
ATN:
BOGOTA D.C.

Cordial saludo:

Importadora AMG se permite presentar cotización según su solicitud:

Propuesta Comercial

CANT.	ARTICULO:	MARCA:	REFERENCIA:	DESCRIPCION:	COSTO UND.	COSTO TOT.
1	Microfono	SENNHEISER	e914		\$ 392	\$ 392
2	Microfono	SHURE	SM57-LC		\$ 116	\$ 232
1	Microfono	AKG	C-414 B-XLS		\$ 1.092	\$ 1.092
1	Casetera	TASCAM	202MK3	Dual y grabadora	\$ 608	\$ 608
1	Procesador de Efectos	ALESIS	INEKO		\$ 388	\$ 388
1	Audifonos	SONY	MDR-7506	headphone designed for professional studio	\$ 162	\$ 162
1	Interfase de audio	DIGIDESIGN	Digi 003 factory (9900-38030-00)		\$ 2.718	\$ 2.718
1	Procesador de Efectos	BEHRINGER	DSP1224P	Modulizer pro	\$ 137	\$ 137
2	Monitor de Estudio	MACKIE	HR624	6" high resolution studio monitor unidad	\$ 679	\$ 1.358
1	Amplificador	BEHRINGER	HA4700	De audifonos 4 canales	\$ 157	\$ 157
Condiciones El dólar se liquida a la TRM del día del primer abono, cambio de precios sin previo aviso.					Subtotal	\$ 7.244
					IVA	\$ 1.159
					Total	\$ 8.403

ANEXO B 5. Cotización 5



AMG

Importadora Ltda.

Bogota D.C, 22/10/2007

Cotización Nc 8166

Señores(as):
Jaime Lopez Florez
ATN:
BOGOTA D.C.

Cordial saludo:

Importadora AMG se permite presentar cotización según su solicitud:

Propuesta Comercial

CANT.	ARTICULO:	MARCA:	REFERENCIA:	DESCRIPCION:	COSTO UND.	COSTO TOT.
2	Microfono	SHURE	SM57-LC		\$ 116	\$ 232
1	Microfono	AKG	C-414 B-XLS		\$ 1.092	\$ 1.092
1	Casetera	TASCAM	130	3 Head Cassette Deck	\$ 577	\$ 577
1	Procesador de Efectos	LEXICON	MPX550		\$ 427	\$ 427
1	Interfase de audio	DIGIDESIGN	Digi 003 rack (9900-38730-00)		\$ 1.273	\$ 1.273
1	Audifonos	SONY	MDR-7506	headphone designed for professional studio	\$ 162	\$ 162
1	Consola	MACKIE	1202VLZ	12 channel live sound mixer w/ effects	\$ 480	\$ 480
1	Procesador de Efectos	BEHRINGER	DSP1224P	Modulizer pro	\$ 137	\$ 137
2	Monitor de Estudio	KRK	RP-6	100 Watt Dynamic Power Bi-amp, 6" Glass Aramid Composite Woofer, 1" Neodymium Soft Dome Tweeter with Ferro Fluid, 49Hz - 20kHz	\$ 274	\$ 548
1	Amplificador	FURMAN	HA- 6AB	AMPLIFICADOR DE AUDIFONOS	\$ 443	\$ 443

Condiciones El dólar se liquida a la TRM del día del primer abono, cambio de precios sin previo aviso.

Subtotal	\$ 5.371
IVA	\$ 859
Total	\$ 6.230

GLOSARIO

Absorción

Es un fenómeno que afecta a la propagación del sonido. Cuando una onda sonora alcanza una superficie, la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio.

Acústica

El estudio del sonido. Parte de la física, que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos, y también, por extensión, de los ultrasonidos.

Arpillera

Tejido por lo común de estopa muy basta, con que se cubren determinadas cosas para defenderlas del polvo y del agua.

Coefficiente de absorción sonora

La parte de la energía acústica incidente que queda absorbida por una superficie o un medio a una frecuencia determinada. El valor del coeficiente de absorción es función del ángulo con que incide la onda sonora

Decibel (dB)

Unidad adimensional usada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, el decibel es usado para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora.

Difracción

Es la distorsión de una onda frontal causada por la presencia de un obstáculo en un campo sonoro.

Enmascaramiento

Se define como el número de decibelios por el cual el umbral de audibilidad de un oyente, para un tono dado, se eleva por la presencia de algún otro sonido.

Frecuencia

Es el número de oscilaciones de una onda acústica senoidal ocurrida en el tiempo de un segundo. Es el equivalente a la inversa del período. Comúnmente se expresa en Hz (Hertz).

Frecuencia fundamental

Componente más baja de una cantidad periódica.

Longitud de onda

Distancia entre dos puntos correspondientes a una misma fase en dos ondas consecutivas, o bien, la distancia que recorre una onda sonora en un ciclo completo. La velocidad de una onda, c , es constante para unas condiciones de presión atmosférica y temperatura dadas, dependiendo únicamente del medio en que se propaga.

Moqueta

Tela fuerte de lana, cuya trama es de cáñamo, y de la cual se hacen alfombras y tapices.

Nivel de intensidad (LI)

El nivel de intensidad de un sonido, en decibelios, es igual a 10 veces el logaritmo decimal de la razón entre la intensidad de dicho sonido y la intensidad de referencia.

Nivel de Presión Sonora (NPS ó SPL)

Se expresa en decibeles (dB) y se define por la siguiente relación matemática: $NPS = 20 \text{ Log } (P1/P)$, en que $P1$ es el valor efectivo de la presión sonora medida, y P es el valor efectivo de la presión sonora de referencia, fijado en 2×10^{-5} [N/m²]

Ondas estacionarias

Sistema de ondas que resulta de la interferencia de ondas de igual naturaleza y de la misma frecuencia, caracterizado por la existencia de nodos, nodos imperfectos o seminodos (ondas semiestacionarias) y vientres. Para obtener ondas estacionarias las ondas interferidas deben tener componentes viajando en direcciones opuestas.

Reverberación

Persistencia de una onda acústica debido a reflexiones repetidas.

Ruido

Todo sonido que sea calificado por quien lo recibe como algo molesto, indeseado, inoportuno o desagradable.

Ruido de fondo

Es el ruido que se percibe en ausencia de la fuente de ruido específica que se evalúa.

Ruido rosa

Aquel en que el espectro en tercios de octava es un valor constante.

Sala viva

Es una sala que da la impresión subjetiva de tener una considerable reverberación.

SBIR

(Speaker Boundary Interference Reponse) Interferencia por reflejos cercanos, ocurre cuando las frecuencia graves que salen omnidireccionalmente del monitor rebotan en las paredes cercanas y sumadas con el sonido directo formas cancelaciones.

Sonido

Es una alteración en presión, carga, desplazamiento de partículas o velocidad de partículas, que se propaga en un medio elástico, o también superposición de estas alteraciones.

Sonómetro

Instrumento destinado a efectuar medidas acústicas. Debe cumplir con lo indicado en las normas IEC 651, y en le caso de ser sonómetro integrador, con la norma IEC 804.

Tiempo de reverberación

Tiempo necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB (es decir a su milésima parte) después de cese de la fuente. Se expresa en segundos y es un valor que depende de la frecuencia del sonido. El tiempo de reverberación se puede expresar, según Sabine, como: $T = 0,16 V/A$, en que V es el Volumen de la sala, en m³, y A es la absorción acústica media de la sala, en m².