

UNIVERSIDAD TECNICA PRIVADA COSMOS
UNITEPC
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SONIDO



ANÁLISIS SI LA FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL
CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE COCHABAMBA
BOLIVIA, CUMPLE LAS EXIGENCIAS ESTABLECIDAS
POR LA NORMA ISO 3382-2001

Tesis de grado presentada para optar al título
de Licenciatura en Ingeniería de Sonido

Postulante: ELIAS CERON CORTEZ

Tutor: ELVIS TAQUICHIRI S.

Cochabamba – Bolivia

2017

UNIVERSIDAD TECNICA PRIVADA COSMOS
UNITEPC
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SONIDO



**ANÁLISIS SI LA FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL
CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE COCHABAMBA
BOLIVIA, CUMPLE LAS EXIGENCIAS ESTABLECIDAS
POR LA NORMA ISO 3382-2001**

Tesis de grado presentada para optar al título
de Licenciatura en Ingeniería de Sonido

Postulante: ELIAS CERON CORTEZ

Tutor: ELVIS TAQUICHIRI S.

Cochabamba – Bolivia

2017

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios, el creador, por darme la sabiduría y la capacidad en aprender y aplicar todas las cosas, a mi Madre y Padre ejemplos de vida, mis hermanos de toda la vida, a las personas que colaboraron y dieron su apoyo en la realización de este proyecto de investigación, para aquellas personas que pese a las adversidades de la vida no deponen la lucha persiguiendo sus metas y objetivos.

Agradecimientos

A Dios, que a pesar de todo, me dio la fuerza, inteligencia y capacidad de concluir la carrera y este trabajo de investigación a pesar de las adversidades de la vida.

A mi Madre y Padre, por su amor incondicional, por creer en mí todos estos años de estudio, gracias por soportar el ruido en las noches de mediciones acústicas...los adoro!!

A mis hermanos, por la paciencia que me tuvieron estos años y no dudar de mis capacidades, seguiremos adelante!!

A mi tutor, Ing. Elvis Taquichiri, gracias por las enseñanzas compartidas todos estos años, agradecerle por guiarme en este trabajo de investigación, por su amistad y compañerismo, por la confianza puesta en mí; aún queda muchas cosas en proyecto Ing.

A los docentes de la carrera de Ing. Sonido UNITEPC, Rafael Alarcón, Sergio Terán, Elvis Taquichiri, Teófilo Huancani, Jhony Gómez.

Los compañeros de la carrera por su apoyo incondicional, Roberto Cortez, Luis Ariel Mancilla, gracias por el apoyo en equipos, Erwin Pinto gracias por el apoyo en todo!

Abby Mérida, Verónica Baldelomar, Analie Escobar, gracias por las bellas palabras de aliento y ánimos de “no deponer la lucha”.

A los amigos y colegas que se encuentran a distancia (que son muchos y no alcanzaría las páginas para nombrarlos), gracias por el apoyo con sus comentarios y felicitaciones, me dieron energías para llegar al final de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------|
| RESUMEN | XVIII |
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| CAPÍTULO 1 | 21 |
| 1.1 PRESENTACIÓN DE LA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 21 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 22 |
| 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 22 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL..... | 22 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 23 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN..... | 23 |
| 1.5 HIPÓTESIS..... | 26 |
| 1.6 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES | 26 |
| 1.6.1 Variable independiente..... | 26 |
| 1.6.2 Variable dependiente..... | 26 |
| 1.7 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES..... | 26 |
| 1.8 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES | 27 |
| 1.9 DELIMITACIÓN..... | 28 |
| 1.9.1 Delimitación espacial..... | 28 |
| CAPITULO 2 | 29 |
| MARCO REFERENCIAL | 29 |
| 2.1 LOCALIZACIÓN Y BREVE HISTORIA DE LA INSTITUCIÓN ESTUDIADA | 29 |
| 2.2 SUS DIFERENCIAS CON RELACIÓN A OTRAS SIMILARES..... | 31 |
| 2.3 SUS PROYECCIONES..... | 31 |
| CAPÍTULO 3 | 32 |

| | |
|---|----|
| MARCO TEÓRICO..... | 32 |
| 3.1. SONIDO..... | 33 |
| 3.2 RUIDO | 36 |
| 3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SONIDOS | 36 |
| 3.4 SONIDOS DETERMINISTAS..... | 36 |
| 3.4.1 Sonido periódico simple (tono puro) | 36 |
| 3.4.2 Sonido periódico complejo..... | 37 |
| 3.4.3 Sonido transitorio..... | 38 |
| 3.5 SONIDOS ALEATORIOS..... | 38 |
| 3.6 DIRECTIVIDAD | 39 |
| 3.7 FILTROS..... | 40 |
| 3.7.1 Filtros de octava y de tercios de octava | 41 |
| 3.8 TIEMPO DE REVERBERACIÓN | 44 |
| 3.9 ALTAVOCES..... | 45 |
| 3.9.1 El altavoz electrodinámico | 45 |
| 3.9.2 Parámetros del altavoz electrodinámico..... | 46 |
| 3.9.3 Características técnicas de un altavoz..... | 47 |
| 3.9.4 Parámetros Thiele-Small | 54 |
| 3.9.5 Estimación de los parámetros Thiele – Small del altavoz | 57 |
| 3.9.6 Estimación de los parámetros físicos del altavoz..... | 60 |
| 3.9.7 Método de la masa añadida..... | 60 |
| 3.9.8 Método de la caja cerrada..... | 61 |
| 3.10 CAJAS ACÚSTICAS | 62 |
| 3.11 TIPOS DE CAJAS ACÚSTICAS | 62 |
| 3.11.1 Cajas Acústicas Bass Réflex | 63 |

| | |
|--|----|
| 3.11.2 Cajas Acústicas Cerradas | 63 |
| 3.12 DISEÑO DE CAJAS ACÚSTICAS CERRADAS | 64 |
| 3.13 FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL | 66 |
| 3.14 CREACIÓN DE PATRONES DE DIRECTIVIDAD MEDIANTE EL SOFTWARE ARTA | 67 |
| 3.15 TRANSFORMADORES..... | 69 |
| 3.15.1 Transformador monofásico..... | 70 |
| 3.15.2 Transformador Toroidal | 70 |
| 3.15.3 Sistema de voltaje constante | 71 |
| 3.16 NORMA UNE-EN ISO 3382-2001 | 72 |
| 3.17 ANTECEDENTES DE LA NORMA ISO 3382-2001 | 72 |
| CAPITULO 4 | 75 |
| DISEÑO METODOLÓGICO..... | 75 |
| 4.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN..... | 75 |
| 4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN | 75 |
| 4.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN | 76 |
| 4.4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN | 76 |
| 4.5 INSTRUMENTOS | 76 |
| 4.6 FUENTES DE INFORMACIÓN (QUE PUEDEN SER PRIMARIAS/SECUNDARIAS) | 77 |
| 4.7 DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO | 77 |
| 4.9 PROCEDIMIENTO. DESCRIPCIÓN DE CADA PASO EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN | 78 |
| CAPITULO 5 | 80 |
| DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA F.S.O..... | 80 |
| 5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA F.S.O..... | 81 |
| 5.1.1 Elección del altavoz y diseño de la caja acústica..... | 81 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.2 Cálculo de la caja acústica cerrada | 90 |
| 5.1.3 Diseño del distribuidor de señal de potencia pasivo | 94 |
| 5.1.4 Construcción de la caja acústica cerrada en forma de dodecaedro | 107 |
| 5.2 ANÁLISIS DE LA F.S.O | 114 |
| 5.2.1 Nivel de Presión Sonora entregado por la F.S.O | 114 |
| 5.2.2 Patrón polar..... | 116 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 125 |
| CONCLUSIONES | 125 |
| RECOMENDACIONES | 129 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 131 |
| Anexos..... | 134 |
| Anexo 1..... | 135 |
| Anexo 2..... | 137 |
| Anexo 3..... | 161 |
| Anexo 4..... | 162 |
| Anexo 5..... | 164 |
| Anexo 6..... | 168 |
| Anexo 7..... | 175 |
| Anexo 8..... | 183 |
| Anexo 9..... | 184 |
| Anexo 10..... | 192 |
| Anexo 11..... | 195 |
| Anexo 12..... | 198 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Grafico 1. El mapa muestra la localización (localizador rojo) del centro de operaciones donde se desarrolló el proyecto | 30 |
| Grafico 2. Presión y desplazamiento en una onda sonora plana producida por un plano que vibra sinusoidalmente | 34 |
| Grafico 3. Tono puro y su espectro frecuencial | 37 |
| Gráfico 4. Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial..... | 37 |
| Gráfico 5. Pulso rectangular y su espectro frecuencial..... | 38 |
| Gráfico 6. Sonido aleatorio y correspondiente densidad espectral de potencia..... | 39 |
| Grafico 7. Curva de respuesta de frecuencia de un filtro (pasa banda)..... | 42 |
| Gráfico 8. a) Circuito eléctrico de un altavoz electrodinámico de banda ancha montado en un baffle infinito, y b) circuito para el cálculo de la impedancia de entrada de baja frecuencia | 47 |
| Gráfico 9. Curvas características de la impedancia del altavoz, donde también se puede ver las curvas características de la frecuencia de resonancia del altavoz..... | 48 |
| Gráfico 10. Respuesta en frecuencia de un altavoz | 49 |
| Gráfico 11. Ejemplo de distorsión: a) Señal sinusoidal a la entrada de un amplificador. b) Señal de salida. c) Onda fundamental y el segundo y tercer armónico de ella, que son la causa de la distorsión..... | 51 |
| Gráfico 12. Curva típica de impedancia de un altavoz montado en aire libre | 58 |
| Gráfico 13. Respuestas en frecuencia típicas normalizadas para distintos valores de Q_{TC} | 65 |
| Grafico 14. Definición de datos de directividad..... | 68 |
| Grafico 15. Patrón de directividad | 69 |
| Grafico 16. Respuesta en frecuencia del altavoz Novik, que tiende a ser en un rango bien amplio | 82 |
| Grafico 17. Respuesta en frecuencia del altavoz American California, que tiende a ser en un rango bien amplio | 83 |

| | |
|--|-----|
| Grafico 18. Respuesta en frecuencia del altavoz Professional High Power, que tiende a ser en un rango bien amplio | 83 |
| Gráfico 19. Respuesta en frecuencia del altavoz BlastKing, que tiende a ser en un rango bien amplio | 84 |
| Gráfico 20. Curva de impedancia del altavoz Novik..... | 85 |
| Gráfico 21. Donde se puede ver la curva de impedancia del altavoz American California | 85 |
| Gráfico 22. Curva de impedancia del altavoz Professional High Power..... | 86 |
| Gráfico 23. Curva de impedancia (en línea amarilla) del altavoz BlastKing..... | 86 |
| Grafico 24. Forma del dodecaedro, donde el valor “a” vendría a ser $a = 12.8 \text{ cm}$ | 93 |
| Gráfico 25. Se puede ver el diagrama del transformador toroidal con su respectiva entrada de la fuente de voltaje (amplificador) y las 12 salidas a los altavoces | 96 |
| Grafico 26. Diagrama con la conexión configurada para la medición del voltaje de salida | 102 |
| Gráfico 27. Curva de respuesta en fase en función a la frecuencia a 1/1 octava del amplificador utilizado..... | 104 |
| Gráfico 28. Nos muestra la curva de respuesta en magnitud en dB en función a la frecuencia a 1/1 octava del amplificador utilizado | 105 |
| Gráfico 29. Respuesta en fase en función a la frecuencia a 1/1 octava de una de las salida del transformador toroidal | 106 |
| Gráfico 30. Curva de respuesta en magnitud en dB en función a la frecuencia a 1/1 octava de una de las salida del transformador toroidal..... | 107 |
| Gráfico 31. Patrón polar en la frecuencia de 125 Hz, las desviaciones direccionales cada 30° , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360° | 118 |
| Gráfico 32. Patrón polar en la frecuencia de 250 Hz, las desviaciones direccionales cada 30° , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360° | 119 |
| Gráfico 33. Patrón polar en la frecuencia de 500 Hz, las desviaciones direccionales cada 30° , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360° | 120 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 34. Patrón polar en la frecuencia de 1000 Hz, las desviaciones direccionales cada 30 ⁰ , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360 ⁰ | 121 |
| Gráfico 35. Patrón polar en la frecuencia de 2000 Hz, las desviaciones direccionales cada 30 ⁰ , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360 ⁰ | 122 |
| Gráfico 36. Patrón polar en la frecuencia de 4000 Hz, las desviaciones direccionales cada 30 ⁰ , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360 ⁰ | 123 |
| Gráfico 37. Patrón polar en forma de cascada a 1/3 de octava | 124 |
| Gráfico 38. Respuesta en función a la frecuencia de la salida del amplificador Behringer iNuke DSP6000 | 135 |
| Gráfico 39. Respuesta en función a la fase de la salida del amplificador Behringer iNuke DSP6000 | 136 |
| Gráfico 40. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 1 del transformador toroidal utilizado | 137 |
| Gráfico 41. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 2 del transformador toroidal utilizado | 138 |
| Gráfico 42. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 3 del transformador toroidal utilizado | 139 |
| Gráfico 43. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 4 del transformador toroidal utilizado | 140 |
| Gráfico 44. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 5 del transformador toroidal utilizado | 141 |
| Gráfico 45. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 6 del transformador toroidal utilizado | 142 |
| Gráfico 46. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 7 del transformador toroidal utilizado | 143 |
| Gráfico 47. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 8 del transformador toroidal utilizado | 144 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 48. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 9 del transformador toroidal utilizado | 145 |
| Gráfico 49. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 10 del transformador toroidal utilizado..... | 146 |
| Gráfico 50. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 11 del transformador toroidal utilizado..... | 147 |
| Gráfico 51. Respuesta en función a la frecuencia de la salida 12 del transformador toroidal utilizado..... | 148 |
| Gráfico 52. Respuesta en función a la fase de la salida 1 del transformador toroidal utilizado..... | 149 |
| Gráfico 53. Respuesta en función a la fase de la salida 2 del transformador toroidal utilizado..... | 150 |
| Gráfico 54. Respuesta en función a la fase de la salida 3 del transformador toroidal utilizado..... | 151 |
| Gráfico 55. Respuesta en función a la fase de la salida 4 del transformador toroidal utilizado..... | 152 |
| Gráfico 56. Respuesta en función a la fase de la salida 5 del transformador toroidal utilizado..... | 153 |
| Gráfico 57. Respuesta en función a la fase de la salida 6 del transformador toroidal utilizado..... | 154 |
| Gráfico 58. Respuesta en función a la fase de la salida 7 del transformador toroidal utilizado..... | 155 |
| Gráfico 59. Respuesta en función a la fase de la salida 8 del transformador toroidal utilizado..... | 156 |
| Gráfico 60. Respuesta en función a la fase de la salida 9 del transformador toroidal utilizado..... | 157 |
| Gráfico 61. Respuesta en función a la fase de la salida 10 del transformador toroidal utilizado... | 158 |
| Gráfico 62. Respuesta en función a la fase de la salida 11 del transformador toroidal utilizado... | 159 |
| Gráfico 63. Respuesta en función a la fase de la salida 12 del transformador toroidal utilizado... | 160 |
| Gráfico 64. Respuesta en función a la frecuencia de los 72 impulsos de la F.S.O. | 161 |
| Grafico 65. Dimensiones del recinto donde se midió el tiempo de reverberación | 164 |
| Gráfico 66. Valores STI | 166 |
| Grafico 67. Ubicación del recinto medido..... | 168 |
| Grafico 68. Planos esquemáticos tomando en cuenta las dimensiones..... | 169 |

| | |
|--|-----|
| Grafico 69. Decaimiento de la energía Acústica del recinto, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala | 172 |
| Grafico 70. Decaimiento de la energía Acústica del recinto, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala | 173 |
| Gráfico 71. Donde se muestra el plano del recinto y las posiciones enumeradas de la fuente omnidireccional y el micrófono | 175 |
| Grafico 72. Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 1, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala | 180 |
| Grafico 73. Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 2, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala | 180 |
| Grafico 74. Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 3, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala | 181 |
| Grafico 75. Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 4, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala | 181 |
| Gráfico 76. Respuestas transitorias típicas para distintos valores Q_{TC} | 183 |
| Gráfico 77. Presentación de la encuesta realizada. | 184 |
| Gráfico 78. Presentación de la encuesta realizada | 185 |
| Gráfico 79. Presentación de la encuesta realizada | 186 |
| Gráfico 80. Presentación de la encuesta realizada | 187 |
| Gráfico 81. Presentación de la encuesta realizada | 188 |
| Gráfico 82. Presentación de la encuesta realizada | 189 |
| Gráfico 83. Presentación de la encuesta realizada | 190 |
| Gráfico 84. Presentación de la encuesta realizada | 191 |
| Gráfico 85. Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001, pág. 8..... | 195 |
| Gráfico 86. Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001, pág. 11..... | 196 |
| Gráfico 87. Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001, pág. 20..... | 197 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Esquema de un transformador monofásico del tipo de núcleo..... | 70 |
| Figura 2. Donde se muestra la forma de un transformador toroidal..... | 71 |
| Figura 3. Donde se puede ver el núcleo de hierro en forma de toroide, recubierto de papel prespán en su interior y a su vez envuelto en cinta adhesiva de papel para su posterior devanado | 95 |
| Figura 4. Donde se puede observar el comienzo del devanado primario del transformador toroidal. | 98 |
| Figura 5. Se pueden ver los primeros devanados secundarios de las salidas del transformador, conectados para su posterior medición de voltaje..... | 99 |
| Figura 6. La imagen nos muestra el transformador terminado con todos los devanados correspondientes | 100 |
| Figura 7. En las conexiones de entrada y salida se puede ver las terminales puestas del transformador toroidal dándole un mejor aspecto y conexiones más seguras y aisladas, como también el voltímetro a su izquierda para su posterior medición de voltaje. Además de una consola mezcladora para regular el voltaje del amplificador | 101 |
| Figura 8. La imagen nos muestra el acabado final del transformador toroidal con el cubrimiento de cinta adhesiva transparente y las terminales enumeradas para el posterior conectado..... | 103 |
| Figura 9. Se muestra el armado de la maqueta en goma eva..... | 108 |
| Figura 10. Maqueta totalmente armada en goma eva | 108 |
| Figura 11. La imagen muestra la maqueta de goma eva junto a los pentágonos cortados, con las trabas marcadas y el agujero respectivo para el colocado del altavoz..... | 109 |
| Figura 12. La imagen muestra los pentágonos con las trabas cortadas y como se empezó el armado del dodecaedro | 110 |
| Figura 13. Se muestra el armado y pegado del dodecaedro con el transformador ya puesto en su interior, envuelto en goma eva y cinta adhesiva de papel para su protección libre de aserrín y pegamento | 110 |

| | |
|---|-----|
| Figura 14. Donde se puede ver el momento del pintado de la caja acustica, con el transformador puesto y sujetado en el interior del mismo, envuelto en papel para su proteccion respectiva | 111 |
| Figura 15. La imagen nos muestra la caja acustica en forma de dodecaedro con el acabado final de pintura, con el transformador al descubierto totalmente sujetado en el mismo | 112 |
| Figura 16. Donde se muestra el montado de los altavoces, con sus respectivas rejillas protectoras, y el relleno con fibra de poliester | 113 |
| Figura 17. Se muestra el armado final del la Fuente Sonora Omnidireccional | 113 |
| Figura 18. Se aprecia el momento de la medicion con el uso de un sonómetro | 115 |
| Figura 19. Medición realizada sin ninguna F.S.O. | 167 |
| Figura 20. Medición realizada con una F.S.O en el mismo recinto | 174 |
| Figura 21. Plano de ubicación de la Universidad Técnica Privada Cosmos, lugar donde se encuentra el recinto medido | 176 |
| Figura 22. Momento de la medición realizada con el uso de la Fuente Sonora Omnidireccional, en la sala de grabación de la Carrera de Ing. Sonido de la UNITEPC | 182 |
| Figura 23. Se muestra el altavoz de marca BlastKing (utilizado en la F.S.O.) montado sobre una pared o pantalla infinita, para su posterior medición (en horas de la noche) de la respuesta en frecuencia | 192 |
| Figura 24. Se muestra el altavoz de marca BlastKing (utilizado en la F.S.O.) montado sobre una pared o pantalla infinita, para hallar la frecuencia de resonancia del altavoz | 193 |
| Figura 25. Se muestra el altavoz de marca BlastKing (utilizado en la F.S.O.) montado sobre una pared o pantalla infinita, utilizando el método de la masa añadida (en este caso haciendo uso de masa plastilina) para estimar los parámetros Thiele-Small. | 193 |
| Figura 26. Se muestra la F.S.O. elevado a más de 3 metros de altura del suelo, por encima de los techos y alejado lo más posiblemente de superficies reflectantes (campo abierto), y el micrófono de medición a una distancia de 1.5 metros de las F.S.O. según la norma ISO 3382-2001, para la respectiva medición del patrón polar en horas de la noche | 194 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Parámetros dinámicos de los altavoces de Thiele – Small | 56 |
| Tabla 2. Valores (Q_{MC}) | 64 |
| Tabla 3. Parámetros Thiele Small a considerar para una caja acústica cerrada | 87 |
| Tabla 4. Voltajes medidos de las doce salidas del transformador. | 102 |
| Tabla 5. Desviaciones direccionales máximas permitidas de la fuente en decibelios para una excitación por bandas de octava de ruido rosa y medidas en campo libre | 117 |
| Tabla 6. Parámetros Acústicos en escala de 1 octava en la posición 1 de la medición realizada... .. | 172 |
| Tabla 7. Parámetros Acústicos en escala de 1 octava en la posición 2 de la medición realizada... .. | 173 |
| Tabla 8. Valores y características acústicas en la posición 1..... | 178 |
| Tabla 9. Valores y características acústicas en la posición 2..... | 178 |
| Tabla 10. Valores y características acústicas en la posición 3..... | 179 |
| Tabla 11. Valores y características acústicas en la posición 4..... | 179 |
| Tabla 12. Presentación de la encuesta realizada | 184 |
| Tabla 13. Presentación de la encuesta realizada | 185 |
| Tabla 14. Presentación de la encuesta realizada | 186 |
| Tabla 15. Presentación de la encuesta realizada | 187 |
| Tabla 16. Presentación de la encuesta realizada | 188 |
| Tabla 17. Presentación de la encuesta realizada | 189 |
| Tabla 18. Presentación de la encuesta realizada | 190 |
| Tabla 19. Presentación de la encuesta realizada | 191 |

RESUMEN

La Fuente Sonora Omnidireccional, es una herramienta indispensable para el Ingeniero de Sonido dedicado al área de mediciones acústicas; este tipo de fuentes acústicas tienen por característica el irradiar energía acústica en todas direcciones, debido al diseño especializado para este fin. Existen normas que exigen su uso para el cumplimiento de las mismas, por lo tanto su uso es amplio en la Ingeniería de Sonido y la Ingeniería Acústica, tanto en laboratorio como in-situ.

La presente investigación describe el proceso de diseño, construcción y caracterización de una Fuente Sonora Omnidireccional (que se construyó con materiales e insumos del medio) incluyendo la etapa de distribución de potencia necesaria para su funcionamiento. Se realizaron numerosas pruebas a la hora de elegir los componentes eléctricos e insumos utilizados, altavoces (parámetros Thiele-Small, respuesta en frecuencia), transformador toroidal (potencia del transformador, voltaje de entrada y salida) y los parámetros calculados en función al volumen de la caja acústica. Para tal efecto, en la caracterización se tomaron en cuenta el requerimiento de la norma ISO 3382-2001; inciso 4.2.1.

INTRODUCCIÓN

Los avances e investigaciones en acústica, han establecido que la evaluación de los materiales acústicos son más confiables si se realizan en condiciones óptimas, con la intención de que las mediciones acústicas se asemejen a las aplicaciones definitivas que tienen como objetivo principal, en comparación a otros métodos alternativos e inciertos. Por esta razón las mediciones y evaluaciones acústicas en recintos especializados (cámara reverberante, salas anecoicas), investigaciones en pruebas psico-acústicas de la percepción del espacio sonoro (calidez, brillo, etc.), acompañado de índices físicos (EDT, tiempo de reverberación, etc.) los cuales son *obtenidos a partir de la respuesta de impulso del recinto*. Entonces, para el desarrollo de estas tareas de evaluación es de suma importancia la exigencia de instrumentos y equipos de medición especializados como ser: sistemas de adquisición y procesamiento de señales digitales, maniqués antropométricos o cabezas humanas artificiales y *fuentes sonoras omnidireccionales (F.S.O)*.

Una Fuente Sonora Omnidireccional, es un dispositivo que irradia energía acústica en todas direcciones en un amplio rango de frecuencias. Este tipo de fuentes acústicas son muy escasos en el medio nacional y local. Debido a la escases de la F.S.O, se vio la necesidad de diseñar e implementar una F.S.O para el desarrollo y evaluación de recintos acústicos en el medio local.

El contenido de la presente investigación está dividida en cinco capítulos.

El primer capítulo concierne a la descripción y formulación del problema, la justificación, los objetivos de la investigación, además de proponer la hipótesis, la descripción de las variables e indicadores y su respectiva operacionalización, para así terminar con la delimitación.

El segundo capítulo pertenece al campo de acción, ámbito donde se desarrolla el presente trabajo de investigación.

El tercer capítulo, se desarrolla el marco teórico-conceptual, donde se orientan y muestran las bases teóricas de la investigación, además de los conceptos definidos que nos servirán de sustento en el trayecto del trabajo.

El cuarto capítulo nos presenta el diseño metodológico, este contempla cómo será llevada a cabo la investigación para así favorecer el propósito de la misma.

El capítulo cinco desarrolla el diseño, construcción y determinación de la F.S.O, el cual se divide en dos: el primero en el diseño y construcción, donde se muestra el diseño electroacústico de la fuente en base a la base teórica mencionada con anterioridad; y el segundo en la determinación de la F.S.O. donde trata el tema relativo a las mediciones y presentaciones electroacústicas y acústicas que definen a la F.S.O.

CAPÍTULO 1

1.1 PRESENTACIÓN DE LA TEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

En la Ingeniería es de vital importancia manejar herramientas que hacen del ingeniero un mejor recurso a la hora de implementar sus conocimientos, debido al grado de desarrollo de la ciencia, en cuanto a la modelación y caracterización de recintos acústicos como también construcciones civiles; esto, con el objetivo de generar soluciones eficaces y prácticas a la problemáticas existentes.

En el medio local, encontrar soluciones efectivas y prácticas en el campo del acondicionamiento acústico no son del todo confiables; se debe tomar en cuenta el tiempo invertido, el personal y recursos financieros. El trabajar con herramientas no adecuadas en la acústica hace que el trabajo no llegue a ser del todo satisfactorio, teniendo como resultado trabajos finalizados de bajo rendimiento.

Una herramienta imprescindible para el Ingeniero de Sonido dedicado al área de mediciones acústicas es una Fuente Sonora Omnidireccional (utilizaremos la abreviatura F.S.O.). Las fuentes sonoras convencionales son unidireccionales, y esta característica lo convierte en una herramienta poco fiable a la hora de cumplir las exigencias por las normas establecidas. En muchas circunstancias los trabajos se realizan sin la implementación de una Fuente Sonora Omnidireccional, dando por resultado parámetros erróneos y posteriormente se toman decisiones equívocas.

Con la Fuente Sonora Omnidireccional, el Ingeniero tendrá a su disposición una herramienta que entregará resultados más confiables, con esta herramienta se cumplen una de las exigencias establecidas en las normas internacionales para el diseño de recintos y mediciones acústicas, “la fuente sonora debe ser lo más omnidireccional posible”.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las fuentes sonoras convencionales se caracterizan principalmente por su directividad de patrón polar con tendencia unidireccional, por consiguiente estas características no son las más óptimas a la hora de realizar una medición acústica en un recinto, en consecuencia el ingeniero de Sonido y Acústica contrarresta una problemática en efectuar trabajos ineficientes, de poca confiabilidad, haciendo vanos el tiempo y dinero invertido en proyectos de acondicionamientos acústico.

Por consiguiente la situación problemática se presenta en una medición acústica, donde al momento de poner el ruido rosa, el altavoz convencional no alcanza a cubrir de manera eficiente la energía acústica en todas direcciones, no logrando abarcar energía acústica a todo el recinto. Con la construcción de la Fuente Sonora Omnidireccional se logrará resolver el problema de irradiar energía acústica en todas direcciones. A esto se suscita otro problema, no se sabe con certeza si el altavoz que será construido y utilizado será de fiabilidad y/o cumplirá las normas que exige una medición acústica. Al respecto se formula la siguiente pregunta:

¿Cómo cumplirá con la Norma Internacional ISO 3382, la fuente sonora omnidireccional construida?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Formalizar si la fuente sonora omnidireccional, cumple las exigencias establecidas por la norma **ISO 3382-2001**.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el altavoz omnidireccional en forma de dodecaedro, con materiales e insumos del medio local, para el análisis acorde a la norma ISO 3382-2001.
- Implementar el altavoz en forma de dodecaedro una vez construido acorde a la norma ISO 3382-2001.
- Realizar mediciones acústicas con la Fuente Sonora Omnidireccional en forma de dodecaedro (acorde a la norma ISO 3382-2001) y sin la Fuente Sonora Omnidireccional, con la finalidad de proponer posibles soluciones y usos de la F.S.O.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Una medición acústica es la expresión numérica del ruido, aislamiento, vibración, tiempo de reverberación de un recinto, donde las condiciones acústicas pueden o no ser favorables. Para una correcta medición acústica se deben emplear instrumentos de medición (sonómetro, micrófono de medición, *fuentes sonora omnidireccional...*) debidamente calibrados y verificados.

Mediante una correcta evaluación de las diversas mediciones realizables en un recinto, es posible obtener una completa descripción del desempeño acústico de este, a partir de la norma ISO 3382.

Tal descripción se realizará para:

- Caracterizar el desempeño acústico de un recinto.
- Acondicionar un recinto con el fin de mejorar su desempeño acústico mediante la utilización de elementos optimizados en costo y eficiencia. Esto permite instalaciones de menor costo global y un mejor aprovechamiento de espacios.

En las mediciones acústicas normadas, y tomando el caso específico de la evaluación acústica de un recinto, no existe un único parámetro que determine o caracterice completamente la calidad acústica de una sala o ambiente cerrado, las mediciones más frecuentes en recintos son:

- Tiempos de reverberación global y espectral.
- Respuesta impulsiva del recinto.
- Inteligibilidad de la palabra, difusión y coloración sonora.
- Ruido de Fondo Característico.

Generalmente una medición acústica se lleva a cabo cuando existe un problema con el ruido, por la excesiva reverberación de un recinto, la falta de transmisión de la inteligibilidad de la palabra; con el fin de determinar qué valores se está soportando y sobre todo el de poder darle una solución adecuada. Así pues, se efectúa previamente al diseño de una instalación el cual nos permitirá saber que aislamientos acústicos dispone un recinto o qué niveles de ruido está transmitiendo un recinto a otro, para así conocer la situación acústica de la misma y en función de ello aplicar o no una serie de medidas correctoras.

En la actualidad nacional, en la ciudad de La Paz, la empresa de soluciones acústicas Acoustic.srl dispone de fuentes sonoras omnidireccionales para sus respectivas evaluaciones acústicas, así mismo el avance en desarrollo acústico viene desarrollándose a beneficio de la misma ciudad en cuanto a construcciones civiles, control de ruido, acondicionamiento acústico en salas de conferencia, auditorios, etc. Contrariamente, en la ciudad de Cochabamba no se cuenta con una fuente sonora omnidireccional, por consiguiente el desarrollo acústico, construcciones civiles, optimización de auditorios, salas de conferencia queda en una especie de estancamiento, sin beneficios en calidad de vida en la ciudad de Cochabamba.

En la ciudad de Cochabamba, muchas de las mediciones acústicas que se realizan, no se rigen a las condiciones que las normas establecen, si bien se realizan mediciones acústicas, la gran mayoría son realizadas con fuentes acústicas

convencionales, tendiendo a un patrón polar unidireccional que no logran proyectar energía acústica en todas direcciones.

En ocasiones, la fuente convencional es ubicada en una de las esquinas del recinto, esto con el propósito de abarcar con energía acústica en su totalidad. Para tal efecto la energía acústica no es totalmente reflejada en todas direcciones, debido al método mal empleado en el momento de realizar la medición (la no utilización de una F.S.O.) conocer las características acústicas de un recinto es incierto o bien, se conocen resultados erróneos.

Los problemas mencionados anteriormente se deben a la falta de una fuente sonora que irradie energía en todas direcciones, una Fuente Sonora Omnidireccional es la solución a la problemática descrita, debido a sus características y funciones en diseño y construcción, estas fuentes sonoras son capaces de proyectar energía acústica en todas direcciones, en sí, su patrón omnidireccional de emisión de energía acústica los hace ideales para abarcar un recinto.

Para construir una F.S.O. previamente se debe finalizar un diseño electroacústico, donde los altavoces seleccionados serán evaluados mediante el software Arta (función de transferencia) y el software Limp para la estimación de los parámetros físicos, denominados Thiele-Small, de los altavoces.

Con la implementación del software Arta de ArtaLabs, se logrará la obtención del patrón polar de la F.S.O. construida, en el cual:

- Se analizan los resultados obtenidos, mediante el software Arta, posteriormente a las mediciones realizadas.
- Las características de la F.S.O. construida, serán evaluadas acorde a la norma ISO 3382-2001, en patrón polar y nivel de presión sonora.

Con la fuente sonora omnidireccional construida, se podrá mejorar el control de ruidos en el medio ambiente, en las construcciones civiles privado o público, así mejorando la calidad de vida.

Implementando también en el diseño de estudios y salas de grabación, estudios de post producción (estudios de mezcla y masterización de audio, estudios de radio y televisión) donde las condiciones acústicas son de vital importancia; todo con el propósito de mejorar las condiciones acústicas de los recintos ya mencionados.

1.5 HIPÓTESIS

La fuente sonora omnidireccional, construida con materiales del medio local en la ciudad de Cochabamba Bolivia, cumple con las características y exigencias establecidas por la norma ISO 3382-2001.

1.6 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

A continuación se describen las variables.

1.6.1 Variable independiente

La Fuente Sonora Omnidireccional, construida con materiales del medio local en la ciudad de Cochabamba Bolivia.

1.6.2 Variable dependiente

Cumple con las características y exigencias establecidas por la norma ISO 3382-2001.

1.7 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

La *variable independiente* o explicativa, es el factor a ser manipulado y controlado por el investigador, incidiendo así variaciones en la variable dependiente, por tanto *La Fuente Sonora Omnidireccional* es considerada como *variable independiente*.

La *variable dependiente* o explicada, se presenta como consecuencia de la variable independiente, vendría a ser el efecto producido por las manipulaciones realizadas y cambios previstos por el investigador, por tanto *el cumplimiento de las características y exigencias según la norma ISO 3382-2001* se considera como *variable dependiente*.

1.8 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

| Variables | | Indicador | Índices |
|----------------------|---|---|--|
| Independiente | Fuente Sonora Omnidireccional, construida con materiales del medio local en la ciudad de Cochabamba Bolivia. | <ul style="list-style-type: none"> • Respuesta en frecuencia de la F.S.O. • Evaluaciones acústicas de la F.S.O. | <p>Con el uso de un micrófono de medición conectado a una interface y conversor AD/DA. Elevado a más de 3 metros del piso a campo libre, ya que en el medio no se cuenta con una sala anecoica. Las características de respuesta en frecuencia de la F.S.O. serán elaboradas mediante el software Arta de ArtaLabs.</p> <p>A través de un sonómetro se podrá medir el máximo nivel de presión sonora del altavoz. A través del software Arta, se podrá elaborar y verificar el patrón polar omnidireccional de la F.S.O.</p> |
| Dependiente | Cumple con las características y exigencias establecidas por la norma ISO 3382-2001. | <ul style="list-style-type: none"> • Omnidireccionalidad de la F.S.O • Nivel de presión sonora producido por la F.S.O | <p>Debe ser tan omnidireccional posible, en un amplio rango de frecuencias.</p> <p>Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para proporcionar curvas de caída con el intervalo dinámico requerido para que no haya contaminación debida al ruido de fondo.</p> |

Fuente: Elaboración propia.

1.9 DELIMITACIÓN

1.9.1 Delimitación espacial

El presente proyecto se realizó en la ciudad de Cercado, capital del departamento de Cochabamba – Bolivia. Ciudad privilegiada por contar con la carrera de Ing. de Sonido, en la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Técnica Privada Cosmos. El centro de operaciones, y tomando en cuenta como laboratorio principal, se encuentra en la zona noroeste de la ciudad, barrio Vidrio Lux Norte, zona de Condebamba.

Las correctas evaluaciones acústicas (mediciones) realizadas en recintos, construcciones civiles, diseño de estudios y salas de grabación, además de estudios de radio y televisión, serán las proyecciones principales fomentando así el uso de esta clase de herramientas (F.S.O.) que son de mucha importancia para el Ing. de Sonido y Acústica a la hora de trabajar en el campo de las mediciones Acústicas.

1.9.2 Delimitación temporal

La presente investigación se llevó a cabo del mes de agosto del 2013 al mes de junio del 2017.

CAPITULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1 LOCALIZACIÓN Y BREVE HISTORIA DE LA INSTITUCIÓN ESTUDIADA

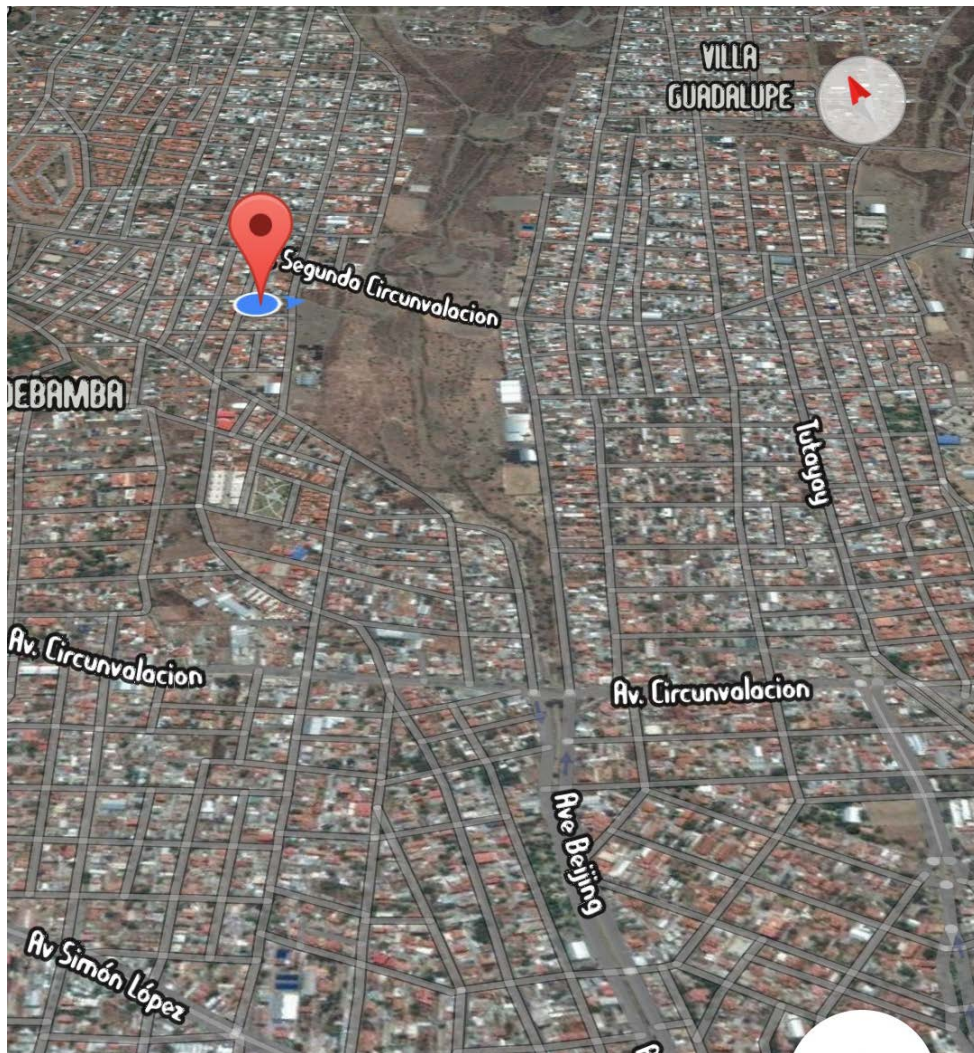
El presente proyecto de investigación se desarrolló en la ciudad de Cercado, capital del departamento de Cochabamba-Bolivia; junto a las ciudades de La Paz y Santa Cruz forma parte del eje troncal de Bolivia, colindando también al norte con el departamento de Beni, al sur con el departamento de Chuquisaca y Potosí, y al oeste los departamentos de Oruro y La Paz. Es ahí donde la carrera de Ingeniería de Sonido en la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Técnica Privada Cosmos es fundada hace aproximadamente 24 años atrás por primera vez en el país, siendo así el bastión de muchos profesionales formados a lo largo de los años.

Una vez egresado y formando parte de la carrera de Ingeniería de Sonido, nace el interés de presentar el perfil de Tesis de la presente investigación “Análisis si la fuente sonora omnidireccional construida en la ciudad de Cochabamba, cumple las exigencias establecidas por la norma ISO 3382-2001” como un aporte a las futuras investigaciones a realizarse, considerando además que en el país se pueden desarrollar este tipo de investigaciones a nivel del extranjero.

El centro de investigación y operaciones del proyecto, se encuentra al noroeste de la ciudad de Cochabamba, Barrio Vidrio Lux Norte, Zona de Condebamba, a una altitud de 2744 metros sobre el nivel del mar, cerca al límite del cantón de Tiquipaya, prácticamente alejado de la ciudad; es ahí donde se realizó el diseño, construcción, implementación y las diferentes pruebas a las que fue sometido la F.S.O. (cap. 5).

Grafico 1.

El mapa muestra la localización (localizador rojo) del centro de operaciones donde se desarrolló el proyecto



Fuente: Google Maps

En el diseño e implementación de la F.S.O. se han hecho uso de equipos e instrumentos profesionales para la parte del soporte técnico. En instrumentos físicos un convertor AD/DA TcElectronic ImpacTwin, micrófono de medición dbx M2, un sonómetro RadioShack y un amplificador de potencia Berhinger iNuke 6000DSP.

2.2 SUS DIFERENCIAS CON RELACIÓN A OTRAS SIMILARES

A diferencia de otros proyectos similares, en el desarrollo de la elaboración del patrón polar, registro de los impulsos obtenidos a los que fue sometido la F.S.O., elaboraciones de la respuesta en frecuencia y fase (función de transferencia de la F.S.O.) tanto en el inicio de la investigación como así también en la etapa de implementación y mediciones respectivas, se desarrollaron a través del software Arta de ArtaLabs, asimismo en la elaboración de los parámetros Thiele-Small de los altavoces se desarrollaron con el software Limp de ArtaLabs.

2.3 SUS PROYECCIONES

Como proyección principal será fomentar el uso de este tipo de herramientas (F.S.O.), sujeto a normas internacionales, mediante las correctas evaluaciones de las mediciones acústicas realizadas en recintos, para así mejorar el control de ruido en el medio ambiente, construcciones civiles privadas o públicas, implementando también en el diseño de estudios y salas de grabación, estudios de post producción, además de estudios de radio y televisión; todo con el propósito de mejorar la calidad de vida con el correcto acondicionamiento acústico de los lugares ya mencionados.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

El diseño y la construcción de la F.S.O., conforman un conjunto de aspectos, propiedades y relaciones, que se abstraen en la actividad práctica de la Ingeniería de Sonido. Las ramas que conforman (en este caso), Acústica y Electroacústica, son las que determinan el resultado final poniendo ciertas condiciones en determinadas situaciones.

La Ingeniería Acústica (ley fundamental para la presente investigación) será el que nos disponga las reglas para el primer paso, de esta rama depende las situaciones y condiciones a cumplir, dar los primeros pasos de la investigación, así también al momento de realizar los objetivos del proyecto.

Las fuentes sonoras emisoras, nos entregan energía acústica, y este a su vez viaja en el medio transmisor (aire) con ciertas propiedades físicas, hasta llegar al receptor (oyente); debido a las leyes de la física, ocurren ciertos fenómenos en el entorno, debido a las condiciones que nos determina la Acústica se generan ciertas situaciones.

La Electroacústica, se ocupa del análisis y diseño de los dispositivos que transforman energía eléctrica en energía acústica y viceversa, las fuentes emisoras de energía acústica utilizadas en el proyecto son por lo tanto transductores electroacústicos. Mediante la Electroacústica se realizará un análisis de las fuentes emisoras para el diseño y construcción de la F.S.O.

Las F.S.O. requieren de un análisis Acústico y Electroacústico para su fabricación, posteriormente la misma F.S.O. hará que mediante él, se realicen estudios y análisis Acústicos (mediciones Acústicas) como también Electroacústicos (función de transferencia), ya sean en control de ruido, análisis y control de parámetros acústicos de recintos, T_{60} , EDT, BR, Respuesta en Frecuencia, en salas o entornos cerrados.

En el campo de las mediciones Acústicas, la F.S.O. se empleará en control de ruido de construcciones civiles, optimización de recintos y salas (estudios de grabación, auditorios).

El objetivo de este capítulo es describir los conceptos que integran una fuente sonora omnidireccional, recordando así los conceptos básicos referidos a la teoría del fenómeno físico y comportamiento del sonido, algunos conceptos sobre los altavoces y cajas acústicas, así también fundamentos sobre los transformadores.

3.1. SONIDO

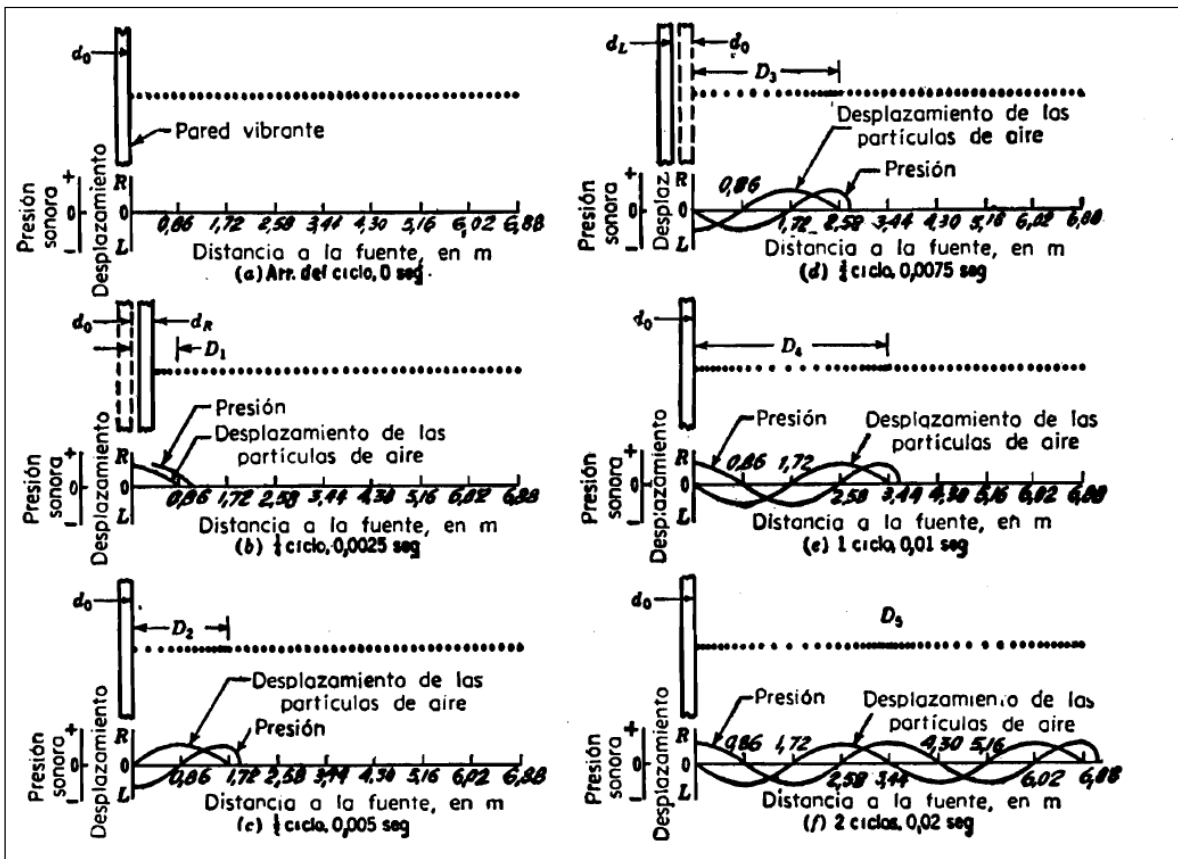
Según Leo L. Beranek:

“Dícese que hay sonido cuando un disturbio que se propaga por un material elástico causa una alteración de la presión o un desplazamiento de las partículas del material que puedan ser reconocidos por una persona o por un instrumento.”

Leo L. Beranek hace una analogía interesante con los gases:

“Si introducimos en el gas un plano que vibra sinusoidalmente (Ver gráfico 2, inciso (a)), éste acelerará las partículas de gas adyacentes y comprimirá la parte del gas que está más cerca al moverse hacia adelante a partir de la posición de reposo. Esta compresión inicial se muestra en el gráfico 2 (b) como un adensamiento de puntos frente al plano. Los puntos representan moléculas de aire. Estas partículas de aire adensadas tienen, además de sus velocidades fortuitas, una cantidad de movimiento hacia adelante que les ha sido impartido por la pared vibrante. Ellas chocan con sus vecinas de la derecha y, en la colisión, transfieren a estas últimas, que estaban en reposo, cierta cantidad de movimientos. Estas partículas, a su vez, se aproximan a sus vecinas, con las que chocan, y así sucesivamente. Progresivamente, más y más partículas remotas del medio son puestas en movimiento. De esta manera, por sucesivas colisiones, las fuerzas creadas por la compresión original puede ser transferida a partes distantes del gas.

Grafico 2.
Presión y desplazamiento en una onda sonora plana producida por un plano que vibra sinusoidalmente



Fuente: Beranek, 1969.

Cuando el plano vibrante invierte su movimiento, ocurre una rarefacción del gas inmediatamente en frente de él (ver gráfico 2 (e) y (d)).

Esta rarefacción hace que las partículas sean aceleradas hacia atrás y el proceso anterior repítase ahora en sentido contrario, y así sucesivamente, en los ciclos sucesivos de la fuente.

Obsérvese que, en todo momento, el máximo desplazamiento y la máxima presión no ocurren en el mismo lugar de la onda. Para comprenderlo mejor, consideremos el gráfico 2 (e). La máxima presión ocurre donde las partículas están más amontonadas, es decir, en $D_2 = 1,72m$. Pero en D_2 las partículas todavía no han alcanzado a moverse, como puede verse por comparación con el gráfico 2 (a). En D_2 , por lo tanto, la presión es máxima pero el desplazamiento de las partículas es

cero. En este instante, las partículas vecinas al plano vibrante están también en su posición del desplazamiento cero, porque el plano ha vuelto justamente a su posición de reposo. Aunque las partículas en D_2 y en d_0 tienen desplazamiento cero, las circunstancias son muy diferentes. Hemos visto que la presión es máxima en D_2 , pero en d_0 las partículas están muy separadas, de modo que la presión tiene que ser mínima. A medio camino entre d_0 y D_2 , se encuentra que la presión tiene el valor ambiente (presión incremental cero), mientras que el desplazamiento de las partículas es máximo. En los puntos de la onda en que la presión incremental es máxima, el desplazamiento de las partículas es cero. Donde el desplazamiento de las partículas es máximo, la presión incremental es cero. La presión y el desplazamiento de las partículas están, pues, 90° fuera de fase” (Beranek, 1969: 6).

Según Michael Möser-José Luis Barros:

“El hecho de que un evento sonoro pueda ser percibido, presupone la existencia de una cadena sencilla de efectos. Una fuente sonora genera vibraciones de pequeña amplitud en el aire que la rodea y, debido a la compresibilidad y a la masa de aire, estas se propagan y llegan al oído del auditor.

Físicamente en este proceso ocurren pequeñas variaciones de la presión en el aire (u otro gas fluido). A estas variaciones de presión, que se combinan con la presión estática p_0 , se les denomina presión sonora p . Esta magnitud, dependiente del tiempo y del espacio, es la magnitud acústica más importante. La radiación de la fuente produce un campo sonoro con una determinada distribución espacial, al que en cada instante de tiempo le corresponde una nueva presión instantánea.

El evento sonoro captado en un punto del espacio posee esencialmente dos características: Volumen y Tono. El Volumen se relaciona con la magnitud física presión sonora p , y el tono con la frecuencia f . Esta última corresponde al número de periodos por unidad de tiempo y su unidad de medida es el Hertz (Hz)” (Michael Möser · José Luis Barros, 2009: 1).

3.2 RUIDO

Según Harris, Cyril:

“Una melodía a todo volumen en la radio puede resultar muy agradable para una familia en su casa, pero es una molestia para los vecinos que están intentando dormir; no es deseada; es ruido. Por definición es sonido no deseado”. (Cyril Harris, 1995: 1).

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SONIDOS

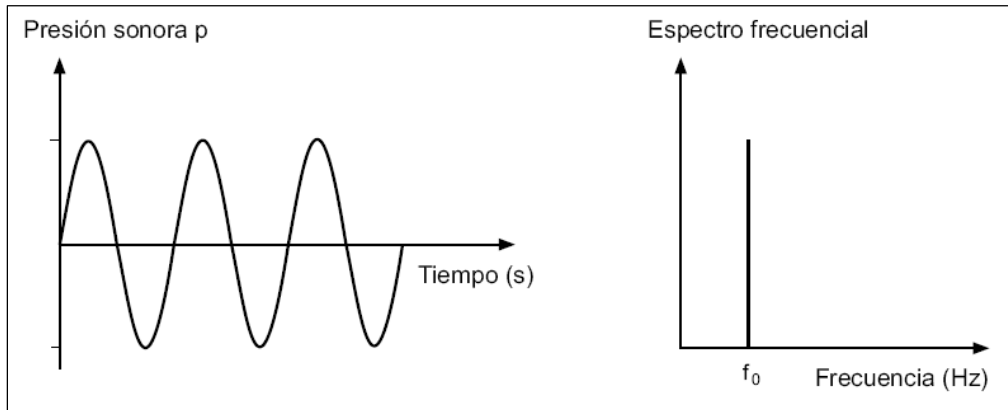
“Los sonidos se dividen en *deterministas* y *aleatorios*. Los primeros se pueden representar siempre mediante una expresión matemática que indica la forma en que varía la correspondiente presión sonora en función del tiempo. Los segundos, en cambio, van asociados a vibraciones irregulares que nunca se repiten exactamente y que, por tanto, solamente se pueden describir mediante parámetros estadísticos” (Antoni Carrión Isbert, 1998: 29).

3.4 SONIDOS DETERMINISTAS

3.4.1 Sonido periódico simple (tono puro)

“Es el tipo más simple de sonido existente en la naturaleza. Se compone de una única frecuencia (f_0) constante, por lo que su espectro está constituido por una sola raya (gráfico 3). El sonido producido por un diapasón es de este tipo” (Antoni Carrión Isbert, 1998: 29).

Gráfico 3.
Tono puro y su espectro frecuencial



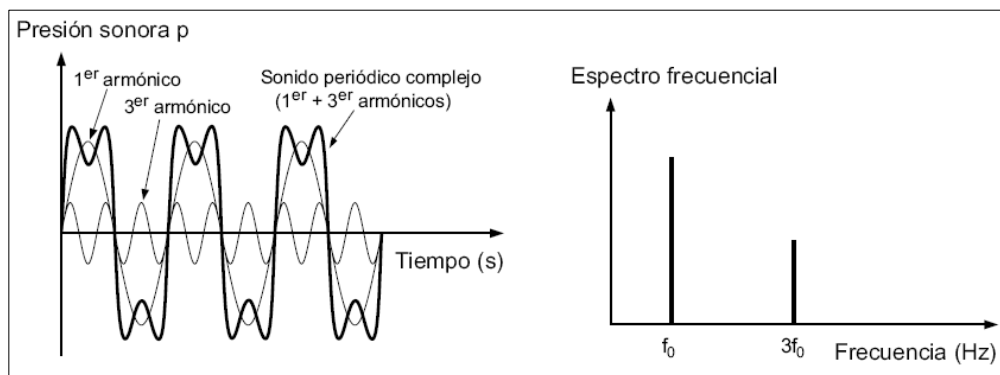
Fuente: Antoni Carrión Isbert, 1998

3.4.2 Sonido periódico complejo

“Sonido caracterizado por una frecuencia origen, denominada fundamental o primer armónico, y un conjunto finito (y a veces infinito) de frecuencias múltiplos de ésta, denominados armónicos. Por regla general, la frecuencia fundamental es la que lleva asociada más potencia sonora. La mayoría de instrumentos musicales producen este tipo de sonidos.

En el gráfico 4 se representa un sonido de este tipo formado por una frecuencia fundamental o primer armónico (f_0) y su tercer armónico ($3f_0$)” (Antoni Carrión Isbert, 1998: 30)

Gráfico 4.
Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial



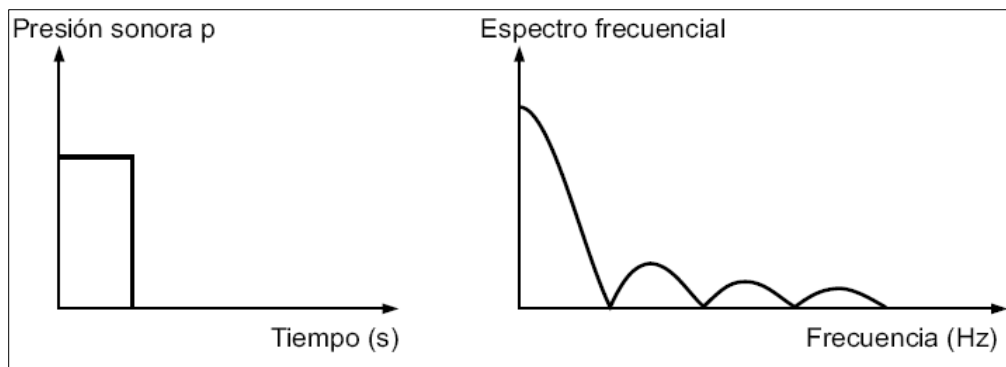
Fuente: Antoni Carrión Isbert, 1998

3.4.3 Sonido transitorio

“Sonido resultante de la brusca liberación de energía bajo la forma, por ejemplo, de explosiones o impactos. Es de aparición repentina y tiene una duración breve. A diferencia de los sonidos periódicos comentados anteriormente, contiene un gran número de componentes frecuenciales que no guardan una relación armónica entre sí, sino que forman un espectro continuo. Una palmada constituye un ejemplo de este tipo de sonidos.

En el gráfico 5 se representa un sonido transitorio denominado pulso rectangular, así como su espectro frecuencial” (Antoni Carrión Isbert, 1998: 30-31).

Gráfico 5.
Pulso rectangular y su espectro frecuencial



Fuente: Antoni Carrión Isbert, 1998

3.5 SONIDOS ALEATORIOS

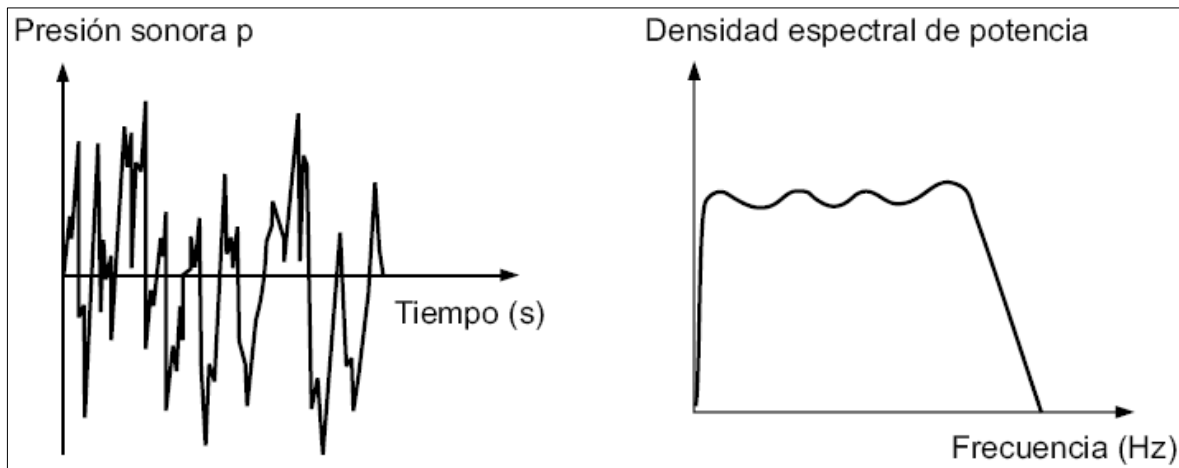
“Los sonidos aleatorios están formados por muchas frecuencias de valor impredecible. Habitualmente reciben el nombre de ruidos (ruido = sonido no deseado).

En este caso, en lugar de utilizar el espectro frecuencial, se hace uso de la llamada densidad espectral de potencia, es decir, de la potencia sonora por unidad de frecuencia.

Un sonido aleatorio característico es el ruido blanco. Se define como aquel ruido que presenta una densidad espectral de potencia constante. Un ejemplo de este tipo de ruido es el generado por una cascada de agua.

En el gráfico 6 se aprecia la evolución temporal de un sonido aleatorio y su correspondiente densidad espectral de potencia” (Antoni Carrión Isbert, 1998: 31).

Gráfico 6.
Sonido aleatorio y correspondiente densidad espectral de potencia



Fuente: Antoni Carrión Isbert, 1998

3.6 DIRECTIVIDAD

“El factor de directividad es la relación de la intensidad sobre un eje determinado de un radiador a una distancia dada r a la intensidad que se produciría en el mismo punto con una fuente puntual que radiara la *misma* potencia acústica que el radiador. En las mediciones se supone que se está en el espacio libre. Por lo general, el eje considerado es el eje de máxima radiación, caso en que $Q(f)$ excede siempre la unidad. En algunos casos se desea también el factor de directividad para otras direcciones, en las cuales $Q(f)$ puede adoptar un valor igualo mayor que cero” (Beranek, 1969: 113).

“El índice de direccionalidad D_i es una expresión en decibelios de la direccionalidad de un dispositivo. Los sistemas de cobertura estrecha tendrán un alto índice de directividad, y los de cobertura ancha un índice bajo:

Ecuación 1.
Índice de direccionalidad.

$$D_i = 10 * \log(Q)$$

Fuente: <http://www.dasaudio.com>

El D_i es la forma en decibelios del factor Q direccional” (<http://www.dasaudio.com>).

3.7 FILTROS

“Un filtro es un elemento que tiene como función separar componentes que se encuentran mezclados, ser capaz de rechazar los indeseables y así darnos como resultado únicamente los deseados.

Un filtro electrónico es un sistema que tiene como función manipular y modificar el espectro de frecuencia de la señal de entrada para obtener en la salida la función que se requiera aplicar a los diferentes sistemas, entre sus diversas aplicaciones podemos mencionar:

- Demodular señales.
- Ecuilizar y así obtener una calidad de audio con mejor fidelidad.
- Eliminar ruidos en los diferentes sistemas de comunicación.
- Convertir señales muestreadas en las señales continuas.
- Detectar señales, como de la televisión o la radio.

En resumen, los filtros son sistemas de dos puertos, uno de entrada y otro de salida, que funcionan en el dominio de la frecuencia. El espectro de frecuencia de la señal de salida tiene relación directa con respecto a la señal de entrada” (<http://catarina.udlap.mx>).

3.7.1 Filtros de octava y de tercios de octava

“En algunos casos es deseable un procedimiento de alta resolución en frecuencia para determinar el contenido espectral de alguna señal. Por ejemplo al realizar mediciones a un resonador de banda estrecha, en el cual es precisamente el ancho de banda de resonancia la magnitud que interesa determinar.

Frecuentemente no se desea ni se necesita una alta resolución. Cuando se busca tener una visión general del contenido espectral (por ejemplo, al evaluar ruido de tráfico o de trenes) es razonable dividir el rango de frecuencia en pocos intervalos, resumiendo el contenido de todo el intervalo en un valor. Los detalles dentro de cada intervalo tienen poca importancia, estos son aleatorios y pueden variar considerablemente de medición a medición; las mediciones no variarán mucho si se consideran bandas de frecuencia más amplias (asumiendo que se mantienen las condiciones de tráfico).

La medición del contenido espectral en bandas de frecuencia se realiza por medio de filtros, compuestos por circuitos eléctricos que dejan pasar solo la parte de una señal de voltaje correspondiente a un rango de frecuencias determinado.

El filtro está caracterizado por su ancho de banda o banda de paso Δf (ver gráfico 7), las frecuencias de corte inferior y superior f_i y f_s respectivamente, y la frecuencia f_m .

El ancho de banda corresponde a la diferencia entre f_s y f_i :

Ecuación 2.
Ecuación de ancho de banda.

$$\Delta f = f_s - f_i$$

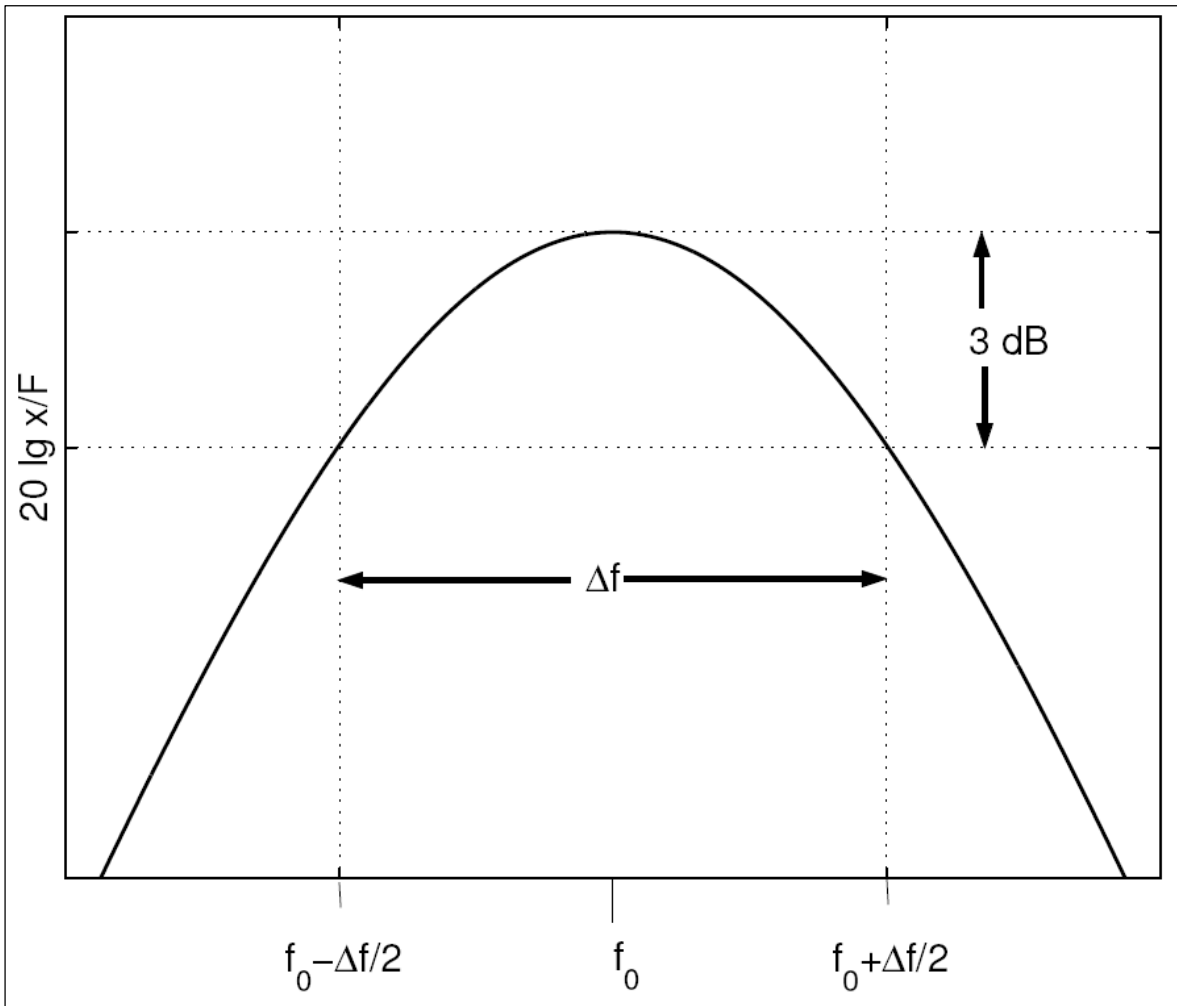
Fuente: Michael Möser · José Luis Barros, 2009

Donde:

f_s = frecuencia de corte superior.

f_i = frecuencia de corte inferior.

Grafico 7.
Curva de respuesta de frecuencia de un filtro (pasa banda)



Fuente: Michael Möser · José Luis Barros, 2009.

En acústica, prácticamente sólo se usan filtros con ancho de banda relativo constante, en los que dicho ancho de banda es proporcional a la frecuencia media del filtro y f_s es proporcional a f_i . A medida que aumenta la frecuencia media, aumenta también el ancho de banda del filtro. Los filtros de ancho de banda relativo constante más importantes, son los filtros de octava y los de tercio de octava.

Para todo filtro de ancho de banda relativo constante se cumple:

Ecuación 3.
Filtro de ancho de banda relativo.

$$f_m = \sqrt{f_i f_s}$$

Fuente: Michael Möser · José Luis Barros, 2009

Donde:

f_s = frecuencia de corte superior.

f_i = frecuencia de corte inferior.

Las frecuencias que determinan el filtro quedan claramente definidas si se establece además el cociente entre las frecuencias límites f_i y f_s :

Filtros de octava:

Ecuación 4.
Filtro de octava

$$f_s = 2f_i ,$$

Fuente: Michael Möser · José Luis Barros, 2009

Donde: f_i = frecuencia de corte inferior.

Consecuentemente $f_m = \sqrt{2}f_i$ y $\Delta f = f_s - f_i = f_y = f_m/\sqrt{2}$.

Filtro de tercio de octava:

Ecuación 5.
Filtro de tercio de octava

$$f_s = \sqrt[3]{2}f_i = 1.26f_i .$$

Fuente: Michael Möser · José Luis Barros; 2009

Donde: f_i = frecuencia de corte inferior.

Con esto se tiene:

$$f_m = \sqrt[6]{2}f_i = 1.12f_i \quad \text{y} \quad \Delta f = 0.26f_i .$$

Los filtros de tercio de octava se denominan así porque tres filtros consecutivos forman una octava ($\sqrt[3]{2} \cdot \sqrt[3]{2} \cdot \sqrt[3]{2} = 2$). Las frecuencias límite y la frecuencia media de los filtros de tercio de octava y de octava están estandarizadas internacionalmente (por ejemplo, Norma Din 45651 y 45652)” (Michael Möser · José Luis Barros, 2009: 8-9).

3.8 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Según Antoni Carrion Isbert, en su libro Diseño Acústico de espacios arquitectónicos; el tiempo de reverberación es:

“Con el fin de poder cuantificar la reverberación de un recinto, se define el tiempo de reverberación (de forma abreviada RT) a una frecuencia determinada como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora SPL cae 60 dB con respecto a su valor inicial.

Un recinto con un RT grande se denomina “vivo” (nave industrial, iglesia, etc.), mientras que si el RT es pequeño recibe el nombre de recinto “apagado” o “sordo” (locutorio, estudio de grabación, etc.). Ambas denominaciones coinciden con las del apartado anterior, lo cual es lógico habida cuenta de que el nivel de campo reverberante aumenta con el tiempo de reverberación.

Por lo general, el RT varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que ésta aumenta. Ello es debido, en parte, a las características de mayor absorción con la frecuencia de los materiales comúnmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en recintos grandes y a altas frecuencias” (Antoni Carrion Isbert, 1998: 63).

3.9 ALTAVOCES

“Un altavoz es un dispositivo capaz de convertir energía eléctrica en energía acústica que se radia en el aire. A este dispositivo se le llama transductor electroacústico. La transducción o transformación de energía, se hace en dos fases: el modelo teórico de un transductor electroacústico, se basa en un transductor electro-mecánico y un transductor mecánico-acústico. Esto significa, que se estudia por un lado la transformación de la energía eléctrica en mecánica, ya que se genera un movimiento, por otro lado se estudia la transformación de la energía mecánica en acústica, ya que el movimiento genera energía acústica.

El transductor electromecánico se llama motor, por el movimiento que genera. Este movimiento se traspa al segundo transductor, el mecánico-acústico, que se llama diafragma, aunque también puede ser una bocina” (<http://www.acpda.com>).

Según Leo L. Beranek, en su libro “Acústica”:

“El altavoz es un transductor electroacústico para convertir las señales eléctricas en sonido. Hay dos tipos principales de altavoz: aquellos en que la superficie vibrante (llamada diafragma) radia el sonido directamente en el aire, y aquellos en que se interpone una bocina entre el diafragma y el aire. El altavoz de radiación directa se utiliza en la mayoría de los radorreceptores domésticos, en los fonógrafos, y en las pequeñas instalaciones de refuerzo acústico. El tipo de bocina se utiliza en los sistemas reproductores de alta fidelidad, en los grandes sistemas sonoros de teatros y auditoriums, etc.” (Beranek, 1969; 202).

3.9.1 El altavoz electrodinámico

En su libro “Altavoces y cajas acústicas”, C.H. Delaleu describe el altavoz electrodinámico:

“El altavoz electrodinámico es un transductor cuya función es radiar energía acústica al espacio, a partir de ondas eléctricas, haciéndose esta transformación de energía por intermedio de energía mecánica” (Delaleu, 1994; 44).

3.9.2 Parámetros del altavoz electrodinámico

“Un altavoz electrodinámico montado en una caja infinita se caracteriza por los siguientes parámetros físicos:

Parámetros electromagnéticos:

- R_E – Resistencia *DC* de la bobina de voz (Ω)
- L_E – Auto-inductancia de la bobina de voz (H)
- L_2 - inductancia debida al acoplamiento inductivo de las corrientes de Eddy (H)
- R_H – resistencia debida a las corrientes de Eddy (Ω)
- B_l - factor de fuerza (T_m)

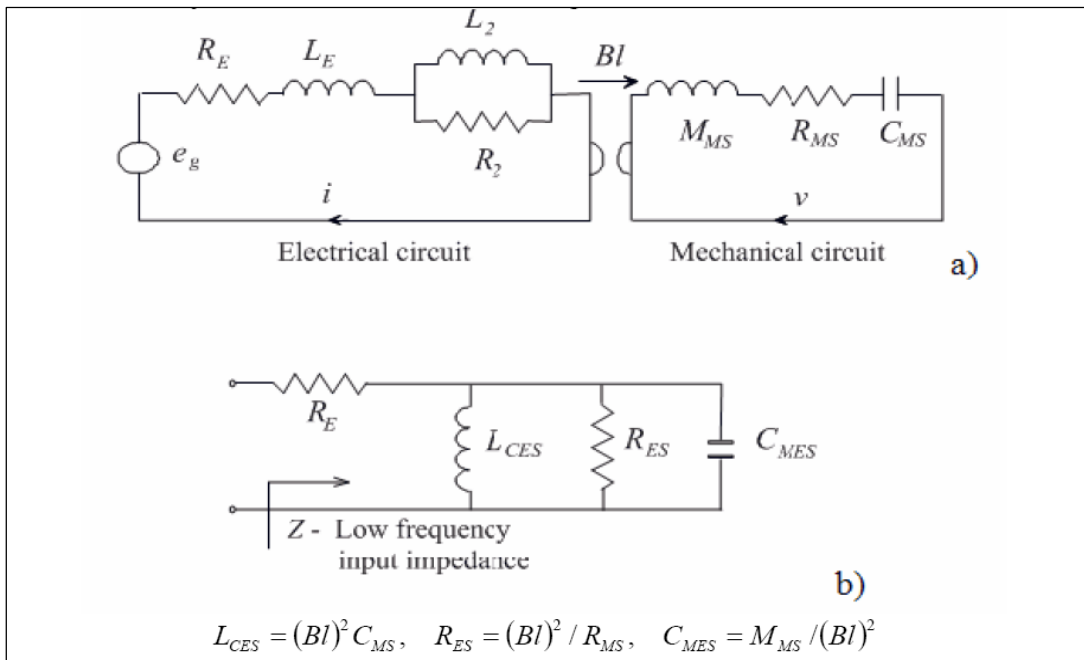
Parámetros mecánicos:

- S – Área efectiva de la membrana m^2
- C_{MS} – Elasticidad de la suspensión (m/N)
- M_{MS} – Masa mecánica de la membrana más masa de aire que carga la membrana (Kg.)
- R_{MS} – resistencia mecánica más resistencia a la radiación de la membrana (Kg/s)” (Manual Limp <http://www.artalabs.hr>).

En el gráfico 8 se muestra los circuitos equivalentes de baja frecuencia de un altavoz electrodinámico montado en una caja infinita. Los circuitos usan los siguientes elementos:

Gráfico 8.

a) Circuito eléctrico de un altavoz electrodinámico de banda ancha montado en un baffle infinito, y b) circuito para el cálculo de la impedancia de entrada de baja frecuencia



Fuente: www.artalabs.hr

3.9.3 Características técnicas de un altavoz

“Las características técnicas más importantes de un altavoz podemos resumirlas en las siguientes:

- Impedancia
- Frecuencia de resonancia
- Respuesta de frecuencia
- Directividad
- Distorsión
- Rendimiento
- Sensibilidad
- Resistencia de la bobina móvil
- Campo magnético del imán permanente
- Eficacia
- Potencia” (<http://tesis.ipn.mx>).

Impedancia

“La impedancia de un altavoz depende del tipo y de su forma constructiva.

La impedancia del altavoz no solo depende de su principio de funcionamiento, sino también de su forma constructiva y los materiales empleados.

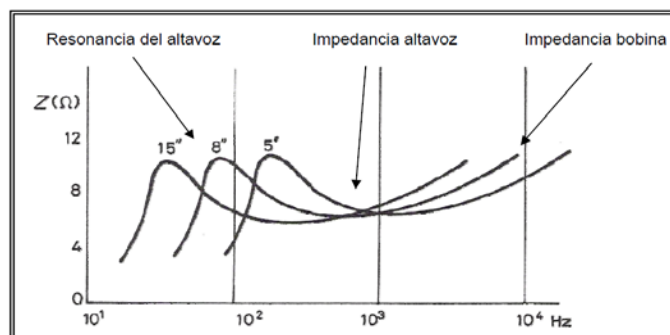
Se mide en ohmios y no es la resistencia pura que se pueda medir con un óhmetro, si no la combinación de una parte inductiva de la bobina y otra capacitiva, de ahí la denominación de impedancia.

Aunque el factor más importante para la impedancia es la bobina móvil, debido a la resistencia eléctrica del hilo, también influyen factores como la caja acústica o alojamiento del altavoz, por influir en la respuesta a la frecuencia del mismo.

La impedancia del altavoz se debe a que en la bobina se producen dos efectos: una acción electromagnética que hace que se mueva cuando es recorrida por corriente; este movimiento provocará un efecto secundario ya que al moverse dentro un campo magnético se inducirá en ella una tensión y circulará una corriente entendiéndose que este es un efecto resistivo. Este tercer componente es la más difícil de mantener constante ya que, en su movimiento, la bobina arrastra al cono, razón por la cual el movimiento dependerá de la forma constructiva de la bocina” (<http://tesis.ipn.mx>).

Gráfico 9.

Curvas características de la impedancia del altavoz, donde también se puede ver las curvas características de la frecuencia de resonancia del altavoz



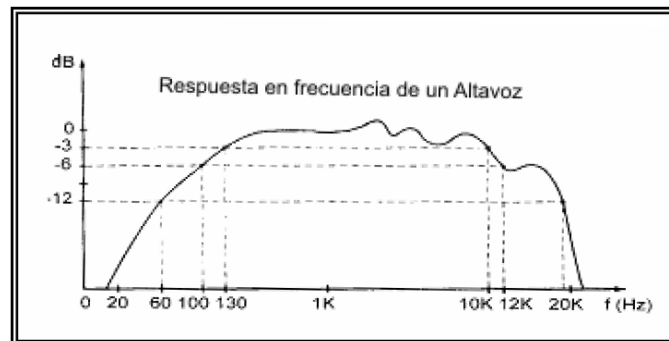
Fuente: (<http://tesis.ipn.mx>)

Respuesta en frecuencia

“La curva de respuesta en frecuencia es una de las características más importantes de los altavoces, pues mediante ella podemos conocer la intensidad sonora proporcionada por el altavoz para cada una de sus frecuencias de audio que debe reproducir, es decir, se trata de la curva característica intensidad sonora en función de la frecuencia.

Se denomina así, a la gama de frecuencias que un altavoz es capaz de reproducir con un nivel aceptable de eficacia y distorsión. Como ejemplo de esta característica, se ve en la figura en el grafico 10, como varia la respuesta de un altavoz a las caídas de señal, partiendo desde los 0 dB y en caídas de -3, -6 dB o mayores de la señal de audio.

Gráfico 10.
Respuesta en frecuencia de un altavoz



Fuente: (<http://tesis.ipn.mx>)

Dichas variaciones en señal representan el margen de frecuencia que el altavoz va a reproducir. Así podemos ver en el ejemplo, como una pérdida de -3 dB, el margen de frecuencias será entre 130 y 10000 Hz, mientras que si aumentamos las pérdidas la gama de frecuencias aumentará hasta reproducir una gama de entre 60 y 18000 Hz con una pérdida de amplitud del orden de -12 dB” (<http://tesis.ipn.mx>).

Frecuencia de resonancia

“La frecuencia de resonancia de un altavoz es la frecuencia material de vibración del diafragma y de la bobina móvil. Si a un altavoz se le aplica un impulso eléctrico que separe la bobina móvil y el diafragma de su posición de equilibrio, y dicho impulso se corta bruscamente, la bobina móvil y el diafragma oscilarán con una cierta frecuencia fija, de amplitud de onda creciente, hasta recuperar su posición de equilibrio. Dicha frecuencia es la frecuencia de resonancia del altavoz. Esta frecuencia es de suma importancia, pues marca el límite inferior de la curva de respuesta del altavoz, es decir, el altavoz es inoperante para frecuencias inferiores a la de resonancia.

Entre los factores que influyen sobre la frecuencia de resonancia cabe destacar el diámetro del diafragma, de tal forma que podemos decir que la frecuencia de resonancia es inversamente proporcional al diámetro del diafragma. Cuanto menor es el diámetro mayor será la frecuencia de resonancia.

Pero no solo el diámetro del diafragma afecta a la frecuencia de resonancia; también la rigidez influye sobre el valor de la frecuencia más elevada que un diafragma ligero (ver gráfico 9, pág. 48)” (<http://tesis.ipn.mx>).

Directividad

“La directividad de un altavoz se suministra a partir de sus diagramas polares. Su respuesta no es omnidireccional y posee características bien definidas.

La energía acústica proporcionada por un altavoz no es enviada omnidireccionalmente al espacio, sino que se envía en todas las direcciones según unas características de direccionalidad bien determinadas.

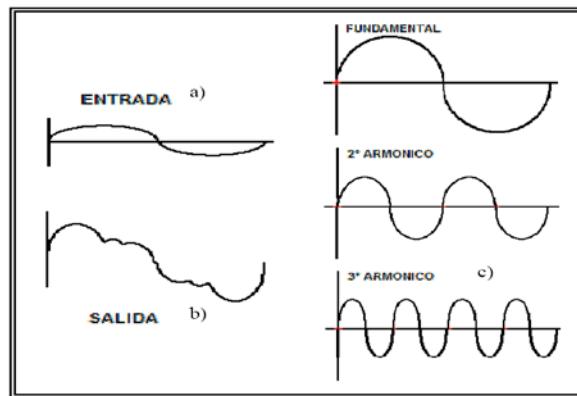
Para conocer la direccionalidad de un altavoz se recurre a los diagramas polares de directividad. Las curvas de directividad se trazan para diversas frecuencias, ya que a medida que *augmenta* la frecuencia, para un mismo diafragma, el altavoz se hace más directivo” (<http://tesis.ipn.mx>).

Distorsión armónica

“La distorsión armónica en los altavoces suele representarse por mediación de curvas separadas por armónicos, ya que es importante conocer de qué números de armónicos se trata. Así, la distorsión producida por los armónicos impares (3, 5, 7, etc.) es mucho más desagradable que la producida por los armónicos pares, pues estos están en armonía con la *frecuencia* fundamental” (<http://tesis.ipn.mx>).

Gráfico 11.

Ejemplo de distorsión: a) Señal sinoidal a la entrada de un amplificador. b) Señal de salida. c) Onda fundamental y el segundo y tercer armónico de ella, que son la causa de la distorsión



Fuente: (<http://tesis.ipn.mx>)

Rendimiento

“El rendimiento es la relación entre la potencia de salida del altavoz y la suministrada por el amplificador. Se expresa en tanto por ciento según la fórmula:

Ecuación 6.

Rendimiento del altavoz

$$\eta = \frac{P_{alt}}{P_{amp}} 100 = \%$$

Fuente: <http://tesis.ipn.mx>

Donde:

P_{alt} = Potencia del altavoz.

P_{amp} = Potencia del amplificador.

El rendimiento de un altavoz es muy reducido, dado que los altavoces son muy deficientes en la transformación de energía *eléctrica* en energía acústica, produciéndose grandes pérdidas en los mismos” (<http://tesis.ipn.mx>).

Sensibilidad

“La sensibilidad se define como el nivel de presión sonora producida por el altavoz a una determinada distancia (generalmente a un metro), cuando el altavoz es alimentado por una *señal de potencia* a 1 watt.

Con este dato el usuario puede conocer qué potencia de amplificador necesita para obtener un determinado nivel de audición” (<http://tesis.ipn.mx>).

Resistencia de la bobina móvil

“Este es otro de los datos importantes que debe conocerse de un altavoz y que suele encontrarse en los catálogos proporcionados por los fabricantes.

La resistencia de la bobina móvil es la resistencia, en corriente continua, del hilo que constituye el devanado de la bobina móvil. Esta resistencia determina la potencia disipada en calor por efecto Joule al paso de la corriente. Normalmente el valor de esta resistencia oscila entre 2 y 8Ω , aunque pueden encontrarse altavoces con resistencias de la bobina móvil mucho más elevada” (<http://tesis.ipn.mx>).

Campo magnético del imán permanente

“De las características del imán permanente, las más interesantes son el material constituyente del mismo, normalmente Ferroxdure (óxidos ferromagnéticos), su diámetro y la densidad de flujo magnético proporcionado por el imán.

La densidad de flujo, es decir el flujo por unidad de superficie, es dato que lo proporciona el fabricante, y se mide en Teslas” (<http://tesis.ipn.mx>).

Eficacia

“La eficacia de los altavoces: es la relación entre la potencia acústica que reproducen y la potencia eléctrica que se le suministra para esa reproducción acústica.

Esta eficacia suele ser muy baja, del orden de 1 a 5% en altavoces de cono y de un 10 a 30% en el tipo trompeta” (<http://tesis.ipn.mx>).

Potencia

“La potencia admisible de un altavoz es el valor máximo de potencia que puede aplicársele durante un corto intervalos de tiempo, sin que se deteriore.

La potencia admisible por un altavoz ha de ser sin que el amplificador recorte la señal, ya que entonces se generan armónicos de frecuencias elevadas que pueden dañar los altavoces de agudos. A este respecto cabe decir que es más fácil estropear un altavoz con un amplificador de poca potencia que con uno de mayor potencia, pues el primero puede fácilmente llegar a recortar la señal” (<http://tesis.ipn.mx>).

“La potencia *musical* o de *pico* sirve de guía para los picos que se puedan reproducir. La potencia nominal, eficaz o RMS se determina tras horas de reproducción continua” (<http://tsc.unex.es>).

“La *potencia RMS* es una expresión incorrecta que deriva de la forma habitual de calcular la potencia de un altavoz, que es dividiendo el voltaje RMS al cuadrado por la impedancia V^2/Z (donde V =voltaje; Z =impedancia). RMS son las siglas de root-mean-square, que hacen relación a la transformación matemática que obtiene la media del valor absoluto de una señal alterna (es decir, con ciclo negativo y positivo). La expresión adecuada para “potencia RMS” es potencia media. La relación entre el valor RMS y el valor de pico es diferente para cada señal” (<http://www.dasaudio.com>).

“El AES (Audio Engineering Society) publica una norma para la medida de parámetros de componentes de altavoz. Puede hablarse de potencia AES si se sigue esta norma, que especifica una prueba de 2 horas utilizando una señal de ruido rosa, con una dinámica definida, y procesada con un filtro pasa-banda para adecuar el rango de frecuencias al rango de utilización del componente. Aunque la norma está pensada para componentes, por extensión se puede aplicar también a las diferentes vías de un sistema activo. Esta medida siempre se basa en valores RMS de voltaje o corriente, por lo tanto es una medida de potencia media (“RMS”)” (<http://www.dasaudio.com>).

3.9.4 Parámetros Thiele-Small

“A través de los parámetros del altavoz (también conocidos como “parámetros Thiele-Small”) se puede predecir teóricamente su comportamiento:

f_s Frecuencia de resonancia (Hz): frecuencia en la cual la impedancia eléctrica alcanza un máximo y esto ocurre cuando la impedancia de la masa es igual a la de la compliancia.

R_e Resistencia eléctrica de la bobina (Ω).

P Potencia (W): La potencia eléctrica realmente importante es la máxima que puede manejar, sin sufrir daños, de una forma continuada (durante varias horas) en todo su ancho de banda útil, siendo conveniente conocer la clase de señal aplicada (V_{RMS} , ruido rosa...).

η Rendimiento o eficiencia (-): Relación entre la potencia acústica y potencia eléctrica. Como no es constante con la frecuencia se define la eficiencia de referencia (η_0) que es el rendimiento a frecuencias medias. Para expresarlo en % multiplicar el resultado de la expresión por 100.

L_p Sensibilidad (dB): Nivel de presión acústica a 1 m. de distancia trabajando con 1 W de potencia eléctrica. Se suele indicar a frecuencias intermedias.

Q_{ES} Factor de calidad eléctrico (-): Proporción entre la energía almacenada y la disipada en la resonancia, e indica las pérdidas por motivos electromagnéticos.

Q_{MS} Factor de calidad mecánico (-): Igual que el anterior, pero por motivos mecánicos.

Q_{TS} Factor de calidad total (-): Indica la amortiguación de la resonancia, mostrando la anchura relativa del pico de la resonancia. Se halla efectuando el “paralelo” entre Q_{ES} y Q_{MS} por lo que siempre estará muy cercano a Q_{ES} .

M_{MS} Masa mecánica (Kg): En dicha masa se incluyen la bobina, el diafragma y el aire desplazado en ambos lados. Proporciona una idea de la capacidad de la masa para almacenar energía en forma de inercia, por lo tanto, la mejor respuesta temporal se obtendrá con MMS bajos. Cuanto mayor sea la masa peor será el rendimiento y su respuesta en agudos será peor.

R_{MS} Resistencia mecánica de las suspensiones (periférica y araña), (Ns/m): Pérdidas de energía por rozamiento. Si no existiera dicha resistencia el diafragma oscilaría indefinidamente.

B Densidad de flujo magnético (T): Su valor depende únicamente de la calidad del imán, y su magnitud permanece invariable. Cuanto más grande sea se lograra un mayor rendimiento, mejor linealidad, menor distorsión, aumento de potencia acústica y mejor respuesta transitoria. Aquí la elección es fácil: escoger el altavoz con la mayor densidad de flujo magnético en el entrehierro.

Bl Factor de fuerza (N/A): Es el parámetro anterior multiplicado por la longitud del hilo de la bobina. A mayor magnitud, más bajo será Q_{ES} y se obtendrá un mejor gobierno del diafragma.

C_{MS} Compliancia o elasticidad mecánica (m/N): Capacidad de la suspensión para almacenar energía elástica. Un valor alto señala una suspensión blanda, y una C_{MS} baja una suspensión rígida.

V_{AS} Volumen de aire con la misma elasticidad que la suspensión (m^3)

Thiele y Small introdujeron los parámetros dinámicos de los altavoces que se definen en la Tabla 1.

Tabla 1.
Parámetros dinámicos de los altavoces de Thiele – Small

| | |
|---|--|
| Frecuencia de resonancia en aire libre (Hz) | $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}}$ $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{M_{MS}C_{MS}}}$ |
| Factor Q Mecánico | $Q_{MS} = \frac{\omega_s M_{MS}}{R_{MS}} = \frac{1}{\omega_s C_{MS} R_{MS}}$ |
| Factor Q Eléctrico | $Q_{ES} = \frac{\omega_s M_{MS} R_E}{(Bl)^2}$ |
| Factor Q Total | $Q_{TS} = \omega_s C_{MES} \frac{R_E R_{ES}}{R_E + R_{ES}} = \frac{Q_{MS} Q_{ES}}{Q_{MS} + Q_{ES}}$ |
| Eficiencia de Potencia Disponible (%) | $\eta_0 = \frac{\rho_0 S^2 (Bl)^2}{2\pi c R_E M_{MS}^2}$ |
| Sensibilidad (1W/1m) en dB | $L_p(1W/1m) = 10\log\left(\frac{\rho_0 c}{2\pi}\eta_0\right) - 20\log(P_{ref}) = 112.1 + 10\log(\eta_0)$ |
| Volumen acústico equivalente (m^3) | $V_{AS} = \rho_0 c^2 S^2 C_{MS}$ |

Fuente: <http://www.artalabs.hr>

Thiele y Small han demostrado que usando estos parámetros es sencillo expresar la respuesta de una caja cerrada como un filtro de paso alto de 2º orden y la respuesta de una caja bass reflex como un filtro de paso alto de 4º orden” (Thiele 1961).

3.9.5 Estimación de los parámetros Thiele – Small del altavoz

“En las frecuencias bajas la influencia de una inductancia de bobina móvil es pequeña y una expresión de la impedancia de entrada del altavoz tendrá la siguiente forma:

Ecuación 7.
La impedancia de entrada del altavoz

$$Z = R_E + \frac{(Bl)^2}{R_{MS}} \frac{\frac{s\omega_s}{Q_{MS}}}{\omega_s^2 + \frac{s\omega_s}{Q_{MS}} + s^2} = R_E \frac{1 + sT_s/Q_T + s^2T_s^2}{1 + sT_s/Q_{MS} + s^2T_s^2}$$

Fuente: <http://www.artalabs.hr>

Donde:

$$s = j\omega$$

$$T_s = \frac{1}{\omega_s}$$

R_E =resistencia eléctrica del altavoz.

B_l =Factor de fuerza.

R_{MS} =Resistencia mecánica de las suspensiones.

Q_{MS} =Factor de calidad mecánico.

Q_T =Factor de calidad total, resultan de todas las resistencias del sistema.

La Impedancia encuentra su máximo valor en la frecuencia de resonancia:

Ecuación 8.

La impedancia en función a la frecuencia de resonancia

$$Z_{max} = Z(\omega = \omega_s) = \frac{R_E Q_{ES}}{Q_T} = R_E + R_{ES}$$

Fuente: <http://www.artalabs.hr>

Ya que:

$$Q_{ES} > Q_T.$$

R_E =resistencia eléctrica del altavoz.

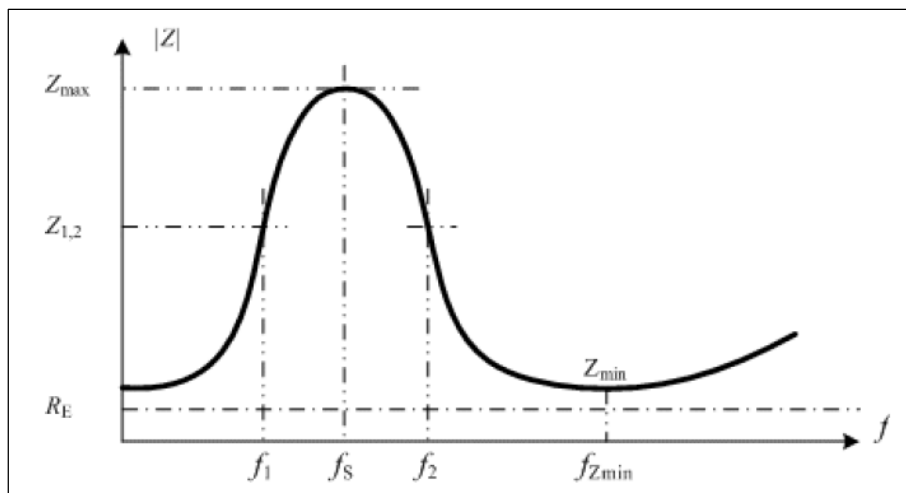
Q_T =Factor de calidad total, resultan de todas las resistencias del sistema.

R_E =resistencia eléctrica del altavoz.

R_{ES} =Resistencia eléctrica por perdidas de del sistema de suspensión del altavoz.

Gráfico 12.

Curva típica de impedancia de un altavoz montado en aire libre



Fuente: <http://www.artalabs.hr>

En las frecuencias f_1 y f_2 , (donde $f_1 < f_s < f_2, f_1 f_2 = f_s^2$) los valores de impedancia son de igual magnitud;

$$|Z(j\omega_1)| = |Z(j\omega_2)| = r_1 R_E, \quad \text{Si } \omega_1 \omega_2 = \omega_s^2$$

Si sustituimos esta expresión en la ecuación de impedancia, obtenemos:

Ecuación 9.
Ecuación de la Impedancia, reemplazando valores.

$$|Z(j\omega_{1,2})|^2 = r_1^2 R_E^2 = R_E^2 \frac{r_0^2 + (Q_{MS}(\omega_1 - \omega_2)/\omega_s)^2}{1 + (Q_{MS}(\omega_1 - \omega_2)/\omega_s)^2}$$

Fuente: <http://www.artalabs.hr>

Donde:

R_E =Resistencia eléctrica del altavoz.

Q_{MS} =Factor de calidad mecánico.

A partir de esta ecuación obtenemos el factor Q mecánico:

Ecuación 10.
Del factor mecánico Q

$$Q_{MS} = \frac{f_s}{f_s - f_1} \sqrt{\frac{r_0^2 - r_1^2}{r_1^2 - 1}}$$

Fuente: <http://www.artalabs.hr>

Donde:

f_s =Frecuencia de resonancia del altavoz

f_1 =Frecuencia natural variable.

Ahora podremos definir un procedimiento paso a paso para medir los factores Q:

1. Medir una resistencia de bobina móvil R_E con un ohmiómetro CC.
2. A partir de la curva de la impedancia, hallar f_s y Z_{max} . Definir $r_0 = Z_{max}/R_E$.
3. Elegir alguna magnitud de impedancia $R_E < |Z_1| < Z_{max}$ y hallar las dos frecuencias (f_1 y f_2) en las que $Z = Z_1$. Definir $r_1 = Z_1/R_E$.
4. Calcular Q_{MS} (con la ecuación anterior),
5. Calcular Q_{ES} con la ecuación $Q_{ES} = Q_{MS}/(r_0 - 1)$.
6. Calcular Q_T con la ecuación $Q_T = Q_{ES}Q_{ES}/(Q_{ES} + Q_{ES})$ (<http://www.artalabs.hr>).

3.9.6 Estimación de los parámetros físicos del altavoz

Se usan dos métodos para estimar los parámetros físicos de un altavoz:

1. Método de la masa añadida
2. Método de la caja cerrada.

3.9.7 Método de la masa añadida

“En este método, primero medimos la curva de la impedancia y estimamos los parámetros de Thiele-Small f_s , Q_{MS} y Q_{ES} , para el altavoz montado en el aire libre. A continuación colocamos una masa añadida (M_{added}) a la membrana, medimos la curva de la impedancia y estimamos la frecuencia de resonancia nueva f_M y el factor Q eléctrico Q_{EM} .

A partir de las ecuaciones para Q_{EM} y Q_{ES} obtenemos:

Ecuación 11.
Masa Mecánica

$$M_{MS} = \frac{M_{added}}{\frac{f_s Q_{EM}}{f_M Q_{ES}} - 1}$$

Fuente: A.N. Thiele

Donde:

M_{added} =Masa añadida en gramos.

f_s =Frecuencia de resonancia.

Q_{EM} =Factor eléctrico.

f_M =Frecuencia del mínimo de impedancia de la bobina móvil.

Q_{ES} =Factor de calidad eléctrico.

Una vez que conocemos M_{MS} y f_s , es sencillo obtener la elasticidad mecánica C_{MS} , la resistencia R_{MS} y el factor de fuerza Bl ” (A.N. Thiele 2004).

Usando las ecuaciones definidas en la tabla 1 obtenemos:

Se muestran las ecuaciones de la Compliancia Mecánica C_{MS} , Volumen de Aire que mueve el altavoz V_{AS} , el Factor Fuerza del altavoz Bl , y Resistencia Mecánica del altavoz R_{MS} , todos en la condición del método de la masa añadida.

$$C_{MS} = \frac{1}{M_{MS}\omega_s^2} , V_{AS} = \rho_0 c^2 S^2 C_{MS} , Bl = \sqrt{\frac{\omega_s M_{MS} R_E}{Q_{ES}}} , R_{MS} = \frac{\omega_s M_{MS}}{Q_{MS}}$$

Fuente: <http://www.artalabs.hr>

3.9.8 Método de la caja cerrada

“En este método, primero medimos la curva de la impedancia y estimamos los parámetros de Thiele-Small f_s , Q_{MS} y Q_{ES} , para el altavoz montado en el aire libre. Se monta el altavoz en una caja cerrada, con un volumen V_B conocido, medimos la curva de impedancia y estimamos los parámetros de Thiele – Small f_c , Q_{MC} , Q_{EC} ” (A.N. Thiele 2004).

A partir de estos hallaremos:

Ecuación 12.
Volumen de aire que mueve el altavoz en la condición del método de la caja cerrada

$$V_{AS} = V_B \left(\frac{f_c Q_{EC}}{f_s Q_{ES}} - 1 \right)$$

Fuente: A.N. Thiele

Donde:

V_B =Volumen interno neto de la caja acústica.

f_c =Frecuencia de resonancia de la caja acústica cerrada.

Q_{EC} =Factor eléctrico del sistema.

f_s =Frecuencia de resonancia.

Q_{ES} =Factor de calidad eléctrico.

Entonces, usando las ecuaciones definidas en la tabla 1 obtenemos:

Se muestran las ecuaciones de la Compliancia Mecánica C_{MS} , Masa Mecánica M_{MS} , el Factor Fuerza del altavoz Bl , y Resistencia Mecánica del altavoz R_{MS} , todos en la condición del método de la caja cerrada.

$$C_{MS} = \frac{V_{AS}}{\rho_0 c^2 S^2} \quad , \quad M_{MS} = \frac{1}{C_{MS} \omega_S^2} \quad , \quad Bl = \sqrt{\frac{\omega_S M_{MS} R_E}{Q_{ES}}} \quad , \quad R_{MS} = \frac{\omega_S M_{MS}}{Q_{MS}}$$

Fuente: A.N. Thiele

3.10 CAJAS ACÚSTICAS

Según C.H. Delaleu:

“Los altavoces emiten una onda acústica en cada una de sus caras de su membrana. Ahora, bien, estas están en oposición de fase. En cuanto la longitud de onda acústica sea grande respecto a las dimensiones del transductor, habrá en él un cortocircuito acústico. Este fenómeno produce una caída muy importante del nivel en las bajas frecuencias. Es posible atenuar o suprimir el cortocircuito acústico aumentando las distancias que separan las dos caras de la membrana por un baffle plano o replegado, o bien aislando la onda de atrás por una caja” (DELALEU C.H, 1994; 115).

Michael Moeser y Jose Luis Barros indican “...Para evitar el corto circuito acústico en frecuencias bajas (y el correspondiente empeoramiento de la radiación) normalmente los altavoces se instalan en una caja (o en una gran pared)” (Michael Moeser y Jose Luis Barros, 2009: 358).

3.11 TIPOS DE CAJAS ACÚSTICAS

Existen dos tipos de cajas: Cajas acústicas Bass Réflex (parcialmente cerradas); y las Cajas acústicas Cerradas.

“Existe un parámetro denominado EBP, que viene definido como:

Ecuación 13.
Parámetro denominado EBP

$$EBP = \frac{F_s}{Q_{ES}}$$

Fuente: <http://www.che.es>

Donde:

F_s =Frecuencia de resonancia del altavoz.

Q_{ES} =Factor de calidad eléctrico.

Un valor de EBP menor o alrededor de 50 es aconsejable para recintos cerrados, mientras que una cantidad próxima o mayor a 100 sería adecuada para cajas bass réflex” (<http://www.che.es>).

3.11.1 Cajas Acústicas Bass Réflex

“El sistema de altavoces en caja Bass Réflex es un sistema de radiador directo que usa una caja acústica con dos aberturas. Una de estas aberturas aloja un altavoz. La otra, denominada abertura u orificio, permite que el aire entre y salga de la caja acústica en respuesta a las variaciones de presión dentro la caja acústica.

El rendimiento en bajas frecuencias de un sistema de altavoces en caja Bass Reflex está directamente relacionado con una pequeña cantidad de parámetros de sistema de fácil medición. Este sistema es un filtro de paso alto de cuarto orden (corte de 24 dB por octava) que se puede adaptar para que tenga una amplia variedad de características de respuesta” (Richard H. Small 1971).

3.11.2 Cajas Acústicas Cerradas

“El sistema de altavoces en caja cerrada es eficazmente un filtro de paso alto de segundo orden (12 dB por octava). Su respuesta en baja frecuencia es controlado por dos parámetros fundamentales del sistema: Frecuencia de Resonancia y el factor de amortiguamiento total

Los sistemas de altavoces en caja cerrada son los más simples de todo sistema de altavoces usando un recinto, ambos en construcción y análisis. En esencia, ello consiste de un recinto o caja que es completamente cerrada y hermético excepto por una apertura simple en que el dispositivo (altavoz) es montado” (Richard H. Small 1971).

3.12 DISEÑO DE CAJAS ACÚSTICAS CERRADAS

“Primeramente hay que estimar el factor de calidad mecánico del sistema (Q_{MC}), que dependerá de las dimensiones de la caja y de si su interior está lleno, o no, de absorbente. Se tiene que cumplir que: $Q_{MC} < Q_{MS}\sqrt{1 + \alpha}$. Sus valores son los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 2.
Valores (Q_{MC})

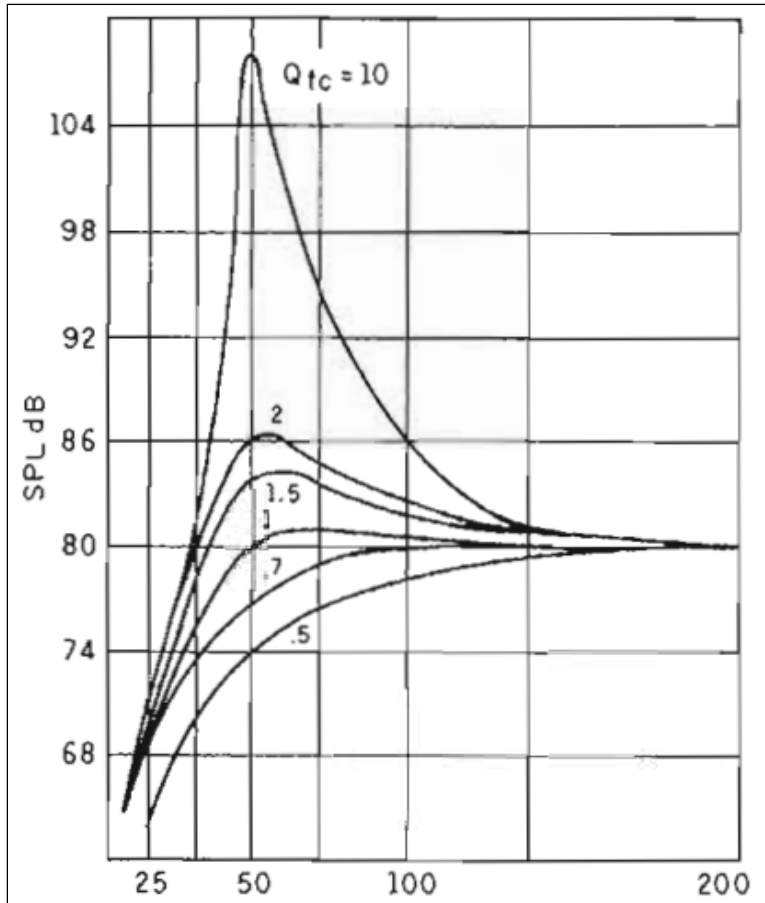
| | $V_B < 20$ l. | $20 < V_B < 200$ | $V_B > 200$ l. |
|-------------|---------------|------------------|----------------|
| Sin relleno | 10 | 7,5 | 5 |
| Con relleno | 5 | 3,5 | 2 |

Fuente: <http://www.che.es>

Elegir el factor de calidad total del recinto (Q_{TC}) deseado (aunque siempre se debe de cumplir que $Q_{TC} > Q_{TS}$, de no ser así el proyecto sería inviable). En función del Q_{TS} del altavoz igualmente se podría optar por trabajar en suspensión acústica o en baffle infinito” (<http://www.che.es>).

Gráfico 13.

Respuestas en frecuencia típicas normalizadas para distintos valores de Q_{TC}



Fuente: Vance Dickanson

Ecuaciones:

Factor de calidad eléctrico de la caja:

Ecuación 14.
Factor eléctrico de la caja

$$Q_{EC} = \frac{Q_{MC} * Q_{TC}}{Q_{MC} - Q_{TC}}$$

Fuente: Richard H. Small

Donde:

Q_{MC} =Factor de calidad mecánico del sistema.

Q_{TC} =Factor de calidad total del sistema.

Volumen neto de la caja sin absorbente (m^3):

Ecuación 15.
Volumen neto de la caja V_B y la relación de elasticidad α entre el altavoz y el recinto

$$V_B = \frac{V_{AS}}{\alpha} = (m^3)$$

$$\alpha = \left(\frac{Q_{EC}}{Q_{ES}} \right)^2 - 1$$

Fuente: Richard H. Small

Donde:

V_{AS} =Volumen de aire con la misma elasticidad que la suspensión del altavoz (m^3)

Q_{EC} =Factor de calidad eléctrico del sistema.

Q_{ES} =Factor eléctrico del altavoz.

Frecuencia de resonancia de la caja (Hz):

Ecuación 16.
Frecuencia de resonancia de la caja

$$f_c = f_s \sqrt{1 + \alpha}$$

Fuente: Richard H. Small

Donde:

f_s =Frecuencia de resonancia del altavoz.

α =Relación de elasticidad entre el altavoz y el recinto.

3.13 FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL

“En primer lugar, se considera una fuente sonora omnidireccional, es decir, una fuente que radia energía de manera uniforme en todas direcciones (factor de directividad $Q = 1$). El hecho de que la radiación sea uniforme implica que, a una distancia cualquiera de la fuente, el nivel de presión sonora SPL será siempre el mismo, con independencia de la dirección de propagación considerada. Es la llamada propagación esférica” (CARRIÓN, 1998:48).

3.14 CREACIÓN DE PATRONES DE DIRECTIVIDAD MEDIANTE EL SOFTWARE ARTA

“En ARTA, los datos del patrón de directividad se crean con archivos **PIR** que se miden a una distancia constante del radiador. Estos datos se pueden almacenar en los *archivos de patrones de directividad*. Esos archivos tienen la extensión “**.DPF**”.

El archivo **DPF** se genera automáticamente en ARTA a partir de un conjunto de archivos **PIR**, que han de guardarse todos en el mismo directorio con un nombre cuya forma predefinida es:

<name-prefix>_deg[+|-]<num>.pir

Donde:

<name-prefix> es el nombre común para todos los archivos .pir

_deg denota que los que le sigue es un valor numérico del ángulo de medición fuera de eje.

<num> es un valor del ángulo de medición fuera de eje, opcionalmente precedida por el signo positivo o negativo.

.pir es la extensión de nombre para el archivo PIR.

Por ejemplo:

Ls5_deg-30.pir

Ls5_deg-20.pir

Ls5_deg-10.pir

Ls5_deg0.pir

Ls5_deg10.pir

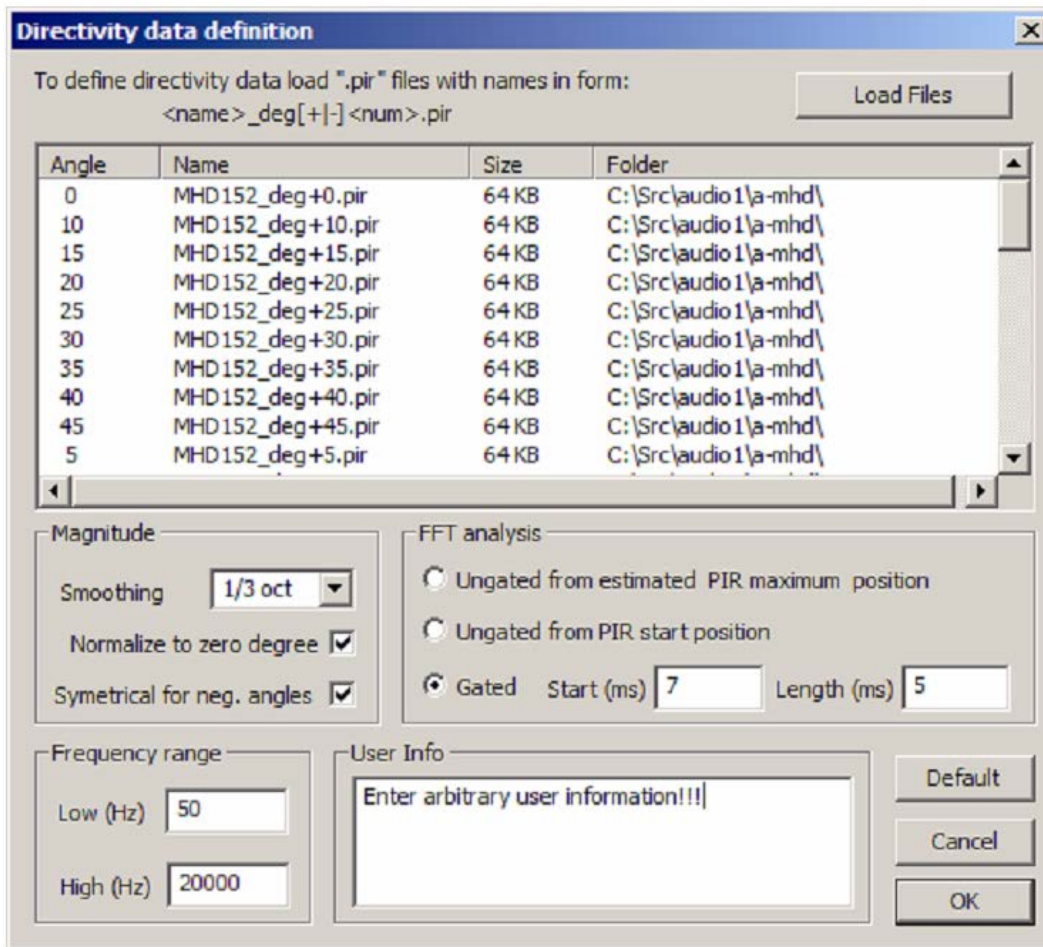
Ls5_deg20.pir

Ls5_deg30.pir

Es un grupo de archivos PIR que se miden con ángulos fuera de eje de -30 a +30 grados.

El procedimiento para crear un archivo DPF comienza haciendo clic en el menú **'File > Create directivity pattern file'** [Archivo > Crear un archivo de patrón de directividad]. Abre el cuadro de diálogo **'Directivity data definition'** [Definición de datos de directividad]. Primero, hemos de pulsar sobre el botón **'Load Files'** [Cargar archivos] para obtener el directorio y nombre principal de los archivos **PIR**. Después de seleccionar uno de los archivos, hemos de pulsar sobre el botón **'OK'**. A continuación se abrirá el cuadro de diálogo **'Directivity data definition'** [Definición de datos de directividad] tal como se indica en el gráfico 14.

Gráfico 14.
Definición de datos de directividad.

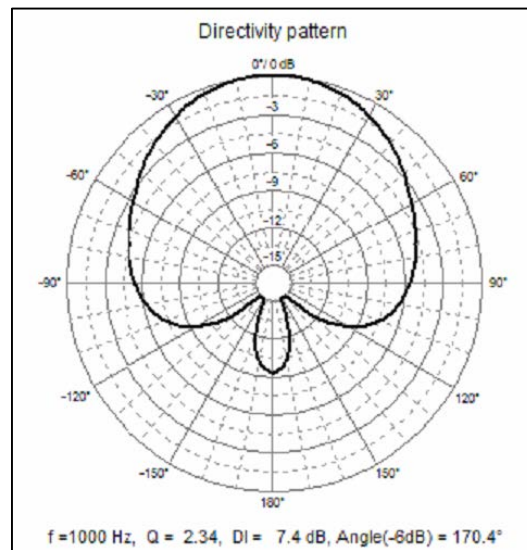


Fuente: www.artalabs.hr

Seguidamente muestra el patrón de directividad para una frecuencia sencilla (1000 Hz.) en el sistema coordinado polar (gráfico 15). El fondo del gráfico muestra

también el factor de directividad Q , el índice de directividad DI y el ángulo del ancho del haz para la frecuencia de corriente. Se asume que el altavoz radia a un espacio sin límites (condiciones de campo abierto). Se pueden mostrar varios patrones de directividad polar en el mismo gráfico, como curvas de superposición” (<http://www.artalabs.hr>).

Grafico 15.
Patrón de directividad



Fuente: <http://www.artalabs.hr>

3.15 TRANSFORMADORES

“El transformador es un dispositivo que permite modificar potencia eléctrica de corriente alterna con un determinado valor de tensión y corriente en otra potencia de casi el mismo valor pero, generalmente con distintos valores de tensión y corriente.

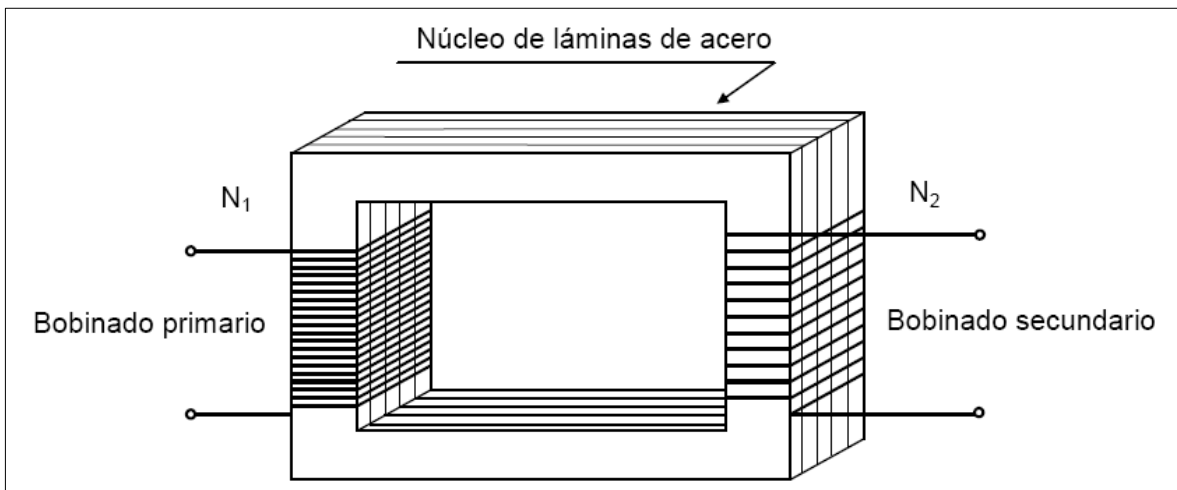
Es una máquina estática de bajas pérdidas y tiene un uso muy extendido en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución de energía eléctrica” (Julio Álvarez, 2009: 122).

3.15.1 Transformador monofásico

Básicamente está formado por un núcleo compuesto de láminas de hierro y dos bobinados, a los cuales denominaremos primario y secundario.

El bobinado primario con “ N_1 ” espiras es aquel por el cual ingresa la energía y el secundario con “ N_2 ” espiras es aquel por el cual se suministra dicha energía” (Julio Álvarez, 2009: 122).

Figura 1.
Esquema de un transformador monofásico del tipo de núcleo



Fuente: Julio Álvarez; 2009

3.15.2 Transformador Toroidal

“En este tipo de transformadores el núcleo magnético tiene forma de disco o toroide. Presenta numerosas ventajas frente a los acorazados, siendo algunas de ellas las siguientes: mejor rendimiento, bajo ruido, menor calentamiento...y tamaño mucho más reducido. Sin embargo su construcción es más compleja y costosa que los de columnas” (Juan Carlos Martin, 2012: 77).

Figura 2.
Donde se muestra la forma de un transformador toroidal



Fuente: <http://www.torivac.com>

3.15.3 Sistema de voltaje constante

“Las empresas de energía eléctrica desarrollaron una excelente idea para disminuir la pérdida de potencia en las líneas de energía, la cual ha sido aplicada al audio. Cuando trasladan energía de un lugar a otro, atravesando ciento de kilómetros de cable, minimizan la pérdida de potencia (producto de la resistencia del cable) elevando el voltaje y disminuyendo la corriente. Ellos resolvieron el mismo problema de distribución, pero entendiendo bien que lo que realmente querían distribuir era potencia y no voltaje. Como el valor de la potencia no cambia con las variaciones de los valores del voltaje y la corriente, siempre que se mantenga su razón, se pueden variar sus valores sin producir cambios en el valor de la potencia. Por ejemplo, 100 W son siempre 100 W, si uno recibe 10 V y 10 A, en términos de potencia va a ser lo mismo recibir 100 V y 1 A” (<http://cybertesis.uach.cl>).

“La misma solución fue aplicada al audio, con el nombre de Sistema de Voltaje Constante. En forma análoga a lo que hicieron las compañías eléctricas, en este sistema se le acopla un transformador elevador a la salida del amplificador (estación generadora) y un transformador reductor en la entrada de cada altavoz (estación reductora).

En audio los transformadores se usan generalmente para transferir energía de un circuito a otro. Debido a que la mayoría de las veces estos difieren su impedancia,

es necesario igualarla si se quiere obtener la máxima transferencia de energía. Por eso la relación de espiras del transformador debe ser tal que proporcione una adaptación de impedancia entre los circuitos (fuente y carga). Además la relación del número de espiras entre la bobina primaria y la secundaria permite determinar la relación de tensión y corriente” (<http://cybertesis.uach.cl>).

3.16 NORMA UNE-EN ISO 3382-2001

“Esta norma internacional define métodos para la medición del tiempo de reverberación en recintos. Su uso no se restringe a auditorios o salas de conciertos; también es aplicable a recintos destinados a discursos y música, o allí donde se deba considerar la protección contra el ruido. Se describe el procedimiento de medida, los aparatos necesarios, los complementos requeridos, y el método de evaluación de los datos y la presentación del informe de ensayo. Además, está enfocada a la aplicación de las modernas técnicas de medida digital y a la evaluación de parámetros de la acústica de recintos derivados de su respuesta impulsiva” (UNE-EN ISO 3382, 2001; 6).

3.17 ANTECEDENTES DE LA NORMA ISO 3382-2001

“La norma ISO 3382-2001 ha sido aprobada por **CEN** el 1999-12-10. Los miembros de **CEN** están sometidos al Reglamento Interior de **CEN/CENELEC** que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional” (UNE-EN ISO 3382, 2001; 3).

“El **Comité Europeo de Normalización (CEN)**... es una organización no lucrativa privada cuya misión es fomentar la economía europea en el negocio global, el bienestar de ciudadanos europeos y el medio ambiente proporcionando una infraestructura eficiente a las partes interesadas para el desarrollo, el mantenimiento y la distribución de sistemas estándares coherentes y de especificaciones.

Más de 60 000 expertos técnicos así como federaciones de negocios, consumidores y otras organizaciones sociales interesadas están implicadas en la red del **CEN** que alcanza sobre 460 millones de personas.

Los cuerpos de estandarización de los veintinueve miembros representan a veinticinco estados miembros de la Unión Europea (UE), tres países de la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC) y los países candidatos a la UE y a la AELC.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal ,Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza” (<http://www.Wikipedia.org>)

“La norma ISO 3382-2001 ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 74 Acústica cuya secretaria desempeña *AENOR*” (UNE-EN ISO 3382, 2001; 1).

“La **Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)** es una entidad dedicada al desarrollo de la normalización y la certificación (N+C) en todos los sectores industriales y de servicios.

Es una institución española, privada, independiente, sin ánimo de lucro, que contribuye, mediante la normalización y certificación (N+C) a mejorar el bienestar de la sociedad a través de la mejora de la tecnología que producen las empresas.

Fue creada por orden del Ministerio de Industria y Energía, de 26 de febrero de 1986, de acuerdo con el Real Decreto 1214/1985, y reconocida como organismo de normalización y para actuar como entidad de certificación por el Real Decreto 2200/1995, en desarrollo de la Ley 21/1992, de Industria.

Algunas de sus funciones:

Formación en distintas áreas:

- Gestión de calidad
- Calidad y seguridad alimentaria
- Gestión ambiental
- Responsabilidad Social y desarrollo sostenible

- Energía y cambio climático
- Seguridad y salud en el trabajo
- *Tecnologías de la información*
- Recursos humanos y formación

Servicios de información: proporcionan información general sobre las siguientes cuestiones:

- Normas UNE y otros documentos normativos nacionales, europeos e internacionales.
- Sistemas, procesos, normas aplicables y marcas de certificación de AENOR, para productos, servicios, sistemas de calidad, prevención de riesgos laborales, entre otros.
- Legislación nacional española comunitaria relacionada con las actividades de normalización.
- Información comercial sobre distintas publicaciones y servicios de AENOR.
- Información sobre certificaciones en vigor” (<http://www.Wikipedia.org>).

El comité técnico AEN/CTN 74 – Acústica, tiene en el campo de la actividad la normalización de:

El campo de la acústica, en sus aspectos de terminología, métodos de medida de los fenómenos acústicos, su generación, transmisión y recepción y todos los aspectos sobre en el hombre y su medio ambiente (<http://ca.aenor.es>)

CAPITULO 4

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

En el diseño de la F.S.O., intervienen procedimientos y desarrollos muy significativos en el procedimiento del estudio metodológico a ser investigado. La investigación *cuantitativa* nos da la posibilidad de generar resultados y nos otorga control, réplica y comparación del fenómeno de estudio con otros estudios similares al utilizar la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y al confiar en la medición numérica, el conteo y la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población (Ing. Sonido); la investigación *cualitativa* proporciona profundidad en la información, dispersión, contextualización, detalles, indagación fresca, natural holística, flexible y experiencias únicas por su cercanía con el entorno al utilizarse primero en descubrir y refinar preguntas de investigación y al basarse en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones y por su flexibilidad se mueve entre los eventos y su interpretación, entre las respuestas y el desarrollo de la teoría.

Para desarrollar el presente trabajo se utilizó el enfoque mixto, *cualicuantitativo*, en virtud de que ambos se entremezclan en la mayoría de sus etapas. La combinación de ambos enfoques significa la aplicación de la deducción en la elaboración de hipótesis, y la aplicación de la inducción en los hallazgos.

4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación de tipo *exploratorio*, se efectúan normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes, por lo tanto corresponde también a este tipo de investigación.

La investigación de tipo *descriptiva* mide y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar, se selecciona una serie de cuestiones y

se mide cada una de ellas independientemente, por lo tanto corresponde a este tipo de investigación.

4.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método *deductivo* considerado como movimiento del conocimiento que va de lo general a lo particular, se emplea el *método deductivo de investigación* en la formulación o enunciación de sistemas de axiomas o conjunto de tesis de partida en una determinada *teoría*. Ese conjunto de axiomas es utilizado para deducir conclusiones a través del empleo metódico de las reglas de la *lógica*.

4.4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Para el tipo de investigación *cualitativa*, nos basamos en la técnica de la *observación*, es un elemento fundamental de todo proceso investigativo, observar científicamente significa observar con un objetivo claro, definido y preciso. Para el tipo de investigación *cuantitativa*, nos basamos en la técnica de la *encuesta*, una técnica estructurada para recopilar datos de varias personas cuyas opiniones impersonales son de mucha importancia.

4.5 INSTRUMENTOS

Como instrumento de la *observación*, tenemos la *guía de la observación*:

- a. Determinar el objeto, situación, caso, etc.
- b. Determinar los objetivos de la observación
- c. Determinar la forma con que se van a registrar los datos
- d. Observar cuidadosamente y críticamente
- e. Registrar los datos observados
- f. Analizar e interpretar los datos
- g. Elaborar conclusiones

Como instrumento de la *encuesta* tenemos el *cuestionario*; es una técnica que se puede aplicar a sectores más amplios del universo, donde se debe traducir la información necesaria a un conjunto de preguntas específicas que los entrevistados puedan contestar.

Actualmente en el país, no existe una población de tamaño considerable de profesionales que se dedican al área de la Ing. Sonido, De una población de 14 profesionales (grupo focal que se dedican al trabajo dentro el área, incluyendo a titulados, egresados que trabajan en el área de la Acústica,) se encuestó a 10 profesionales (muestra) de las ciudades de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz.

4.6 FUENTES DE INFORMACIÓN (QUE PUEDEN SER PRIMARIAS/SECUNDARIAS)

Bibliografía primaria, es la que entrega información básica el cual nos induce a profundidad en el diseño de la F.S.O. Las primarias fueron: “Ingeniera Acústica; de Michael Möser · José Luis Barros”, “Acústica; de Leo L. Beranek”, libros relacionados con la acústica y electroacústica. “Altavoces y cajas acústicas; C.H. Delale”, “Diseño Acústico de espacios arquitectónicos; Antoni Carrión Isbert”; los “papers” investigaciones de “Direct-Radiator Loudspeakers System Analysis; de Richard H. Small”, “Loudspeaker Design Cookbook; de Vance Dickason”, libro e investigaciones relacionados completamente al diseño de cajas acústicas. “UNE-EN ISO 3382, norma internacional ISO, en dicha norma nos basamos el cumplimiento en los respectivos objetivos de la investigación.

Como información secundaria, se consultó el sitio web “Cajas Acústicas” de Jesús Lozada Prieto, los manuales técnicos del software “Limp” y “Arta” de ArtaLabs.

4.7 DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO

En el diseño experimental utilizado, pues se manipularon las variables en función a la hipótesis.

4.9 PROCEDIMIENTO. DESCRIPCIÓN DE CADA PASO EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso de investigación se desarrolló en etapas, cada etapa afectaba a la anterior, pero a la vez dio origen a la siguiente etapa.

Inicialmente consistió en la búsqueda del tema de investigación, sistematizando los procedimientos que se van a seguir en la elaboración del presente proyecto.

Seguidamente se plantea el problema de la investigación, para la previsión de todos los recursos técnicos que ofrece la herramienta o dispositivo en favor del Ingeniero en Sonido y Acústica. Para que un tema sea un objeto de investigación, debe convertirse en un problema de investigación, en nuestra investigación la herramienta F.S.O. nos da la incertidumbre, el problema en cumplir o no la norma ISO 3382-2001 en las variables electroacústicas y acústicas. Esta etapa es de suma importancia, conocer y formular el problema de investigación con su entorno y sus relaciones de la manera más concreta posible.

El objetivo general de la investigación, nos muestra la base investigativa mediante la norma ISO 3382-2001, en determinar si la F.S.O. una vez construida, en base a evaluaciones técnicas y normadas, cumpla o no dicha norma.

Los objetivos específicos nos enfoca en diseñar, evaluar y presentar los resultados obtenidos en nuestra investigación, son nuestra estructura táctica en la recolección de informaciones electroacústicas y acústicos.

Las variables independientes y dependientes, se definieron con sus conceptos respectivos. Se manipuló las variables en función a la hipótesis, variable independiente y variable dependiente. Cada variable presenta dos indicadores y cada indicador con sus respectivos índices.

En la variable *independiente* se tomó como indicadores:

Respuesta en frecuencia de la F.S.O y evaluación de la F.S.O; utilizando instrumentos de medición físicos y digitales (software) se pudo evidenciar las características de la misma.

En la variable *dependiente* como indicadores:

La omnidireccionalidad y el nivel de presión sonora de la F.S.O; donde los valores entregados anteriormente de la variable *independiente* debían regirse a cumplir la norma ISO 3382-2001.

El marco teórico conceptual se estableció entendiéndose como la fundamentación teórica dentro de la cual se enmarcó la presente investigación, relacionado así con enfoques y teorías existentes sobre el tema objeto de estudio, dando así coherencias al momento de su aplicación.

CAPITULO 5

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA F.S.O

La investigación de la construcción de la F.S.O en cumplimiento con la norma internacional ISO 3382-2001, nació por el interés de evidenciar el diseño y construcción de este tipo de dispositivos con materiales del medio local (el grado y dificultad en características) donde fueron seleccionados un conjunto de componentes electroacústicos, los cuales fueron sometidos a pruebas científicas (fundamentados en una norma internacional) comprobándose si los mismos cumplen y/o se adecuan a los parámetros exigidos y seleccionados por la norma mencionada.

Para el Ingeniero de Sonido y Acústica, el trabajar con una herramienta confiable es de vital importancia, los indicadores mostrados en la investigación nos muestran a detalles los pasos a seguir para contar con una herramienta muy confiable.

Conociendo lo que es un Fuente Sonora Omnidireccional, los usos y una de las normas que nos permiten calificarla y evaluarla, entonces se está en condiciones de diseñar y construir una fuente de estas características para finalmente evaluarla en lo que respecta.

Este capítulo está dividido en dos subtítulos: *el primero “diseño y construcción de la F.S.O”*, donde se relata el proceso comenzando desde el diseño, elección de los altavoces de acorde a sus características electroacústicas, el modelo y caracterización de la caja acústica, el tipo de material, el diseño del distribuidor de señal de potencia pasivo, hasta las pruebas suficientes al que fueron sometidos para tener un óptimo rendimiento de la F.S.O. *El segundo “análisis de la F.S.O”*, donde trata el tema relativo a las mediciones y presentaciones electroacústicas y acústicas que definen a la F.S.O., nivel de presión sonora, curvas de caída en cada intervalo y obtención de diagramas polares.

5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA F.S.O

5.1.1 Elección del altavoz y diseño de la caja acústica

Teniendo muy claro los conceptos en la teoría sobre los altavoces (cap. 3) tenemos a disposición una herramienta para realizar la correcta elección del altavoz. Es muy importante destacar el tamaño que tendrá nuestra fuente, por ellos el diámetro de los altavoces seleccionados serán muy primordiales, tomando en cuenta las dimensiones finales para el transporte y el peso del mismo, existen diferentes medidas en lo que respecta al diámetro del mismo; los hay de 4", 6", 8", 10", 12" en pulgadas. A menor diámetro los altavoces son mucho más ligeros, y la respuesta en frecuencia tiende a aumentar en altas frecuencias, contrariamente ocurre en bajas frecuencias, no llegan a entregar ese tipo de frecuencias en mayor rango. A medida que va en aumento el diámetro, el altavoz incrementa su peso, debido a las dimensiones del imán, la estructura del mismo a ser soportado aumenta; debido a las dimensiones del cono este va reduciendo la respuesta en altas frecuencias, contrariamente la respuesta en bajas frecuencias va aumentando su rango.

La norma indica: *"La fuente y el equipo asociado debería adecuarse para radiar un nivel de señal suficiente en todas las bandas de octava entre 125 Hz y 4 000 Hz, de forma que se tenga un intervalo de caída adecuado en cada banda de octava"* (Anexo 11, gráfico 87).

"La F.S.O debe ser lo más omnidireccional posible y generar un nivel de presión sonora lo suficiente para proporcionar curvas de caída con el intervalo dinámico requerido para que no haya contaminación debida al ruido de fondo" (Anexo 11, gráfico 85).

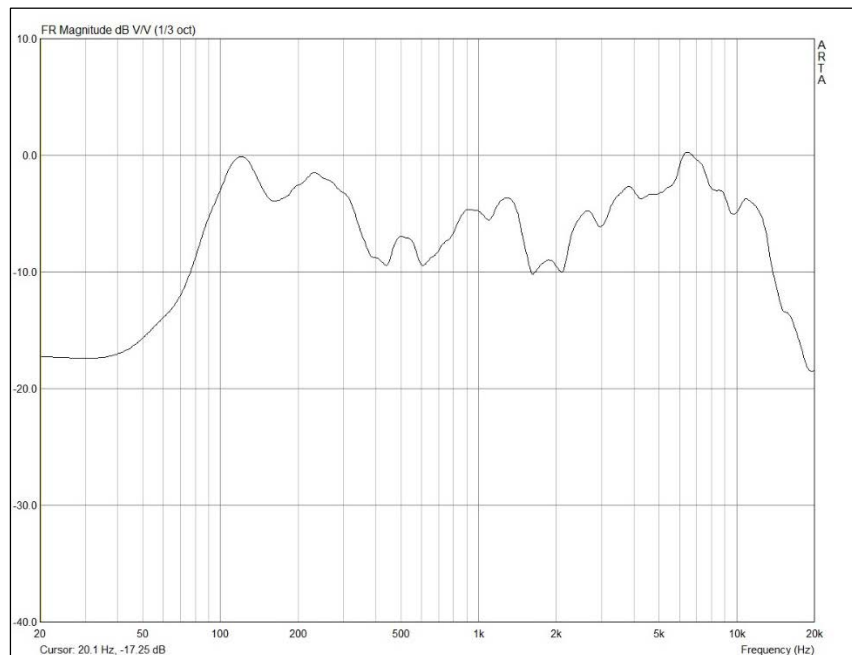
Por consiguiente, para el diseño de la F.S.O. se necesita de un altavoz con una respuesta en un rango amplio en frecuencias entre 125 Hz a 4000 Hz (en características) y, para entregarnos un nivel de presión sonora lo suficiente para enmascarar el ruido de fondo, un altavoz que tenga la mayor sensibilidad posible; a

mayor sensibilidad, mayor nivel de presión sonora entregado por el altavoz (capítulo 3.9.3 *Características técnicas de un altavoz, Sensibilidad*. Pág. 52).

Entonces, en la elección de un altavoz, debería entregarnos ese rango de frecuencias sin ningún tipo de problemas, por lo tanto se hizo la elección de un altavoz de 6 pulgadas de diámetro, debido a las dimensiones que posee la respuesta en frecuencia es mucho más amplia, por lo tanto logra cubrir la primera expectativa en la parte del diseño y construcción.

Seguidamente, en el mercado local, se hizo la adquisición de cuatro marcas diferentes de altavoces: Novik, Professional High Power, American California y BlastKing. Estas marcas mencionadas nos entregan una respuesta en frecuencia ideal a lo que indica la norma, en los siguientes gráficos se verán las curvas de respuesta en las frecuencias correspondientes, montados en una pared o pantalla infinita (*Anexo 10, Figura 23*).

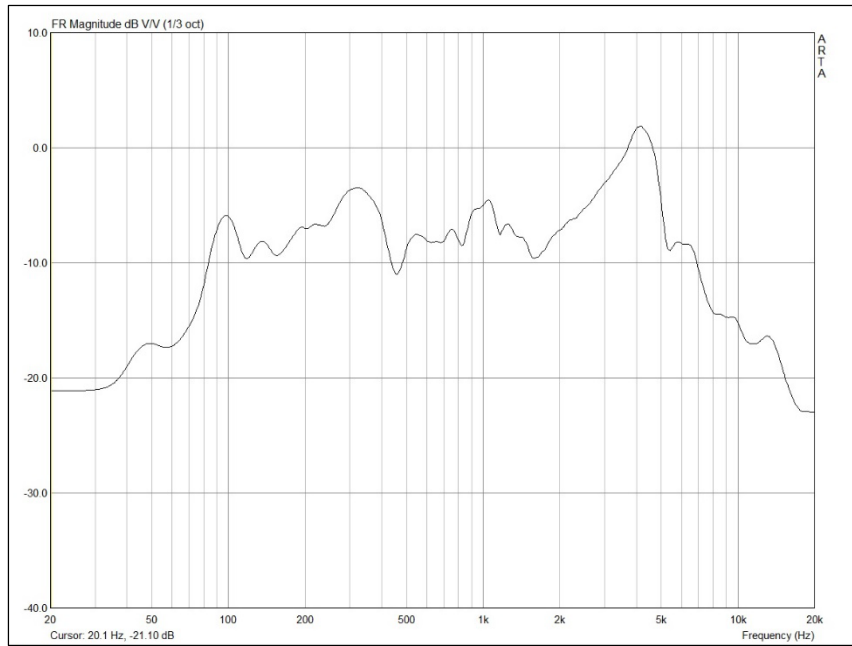
Gráfico 16.
Respuesta en frecuencia del altavoz Novik, que tiende a ser en un rango bien amplio



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Grafico 17.

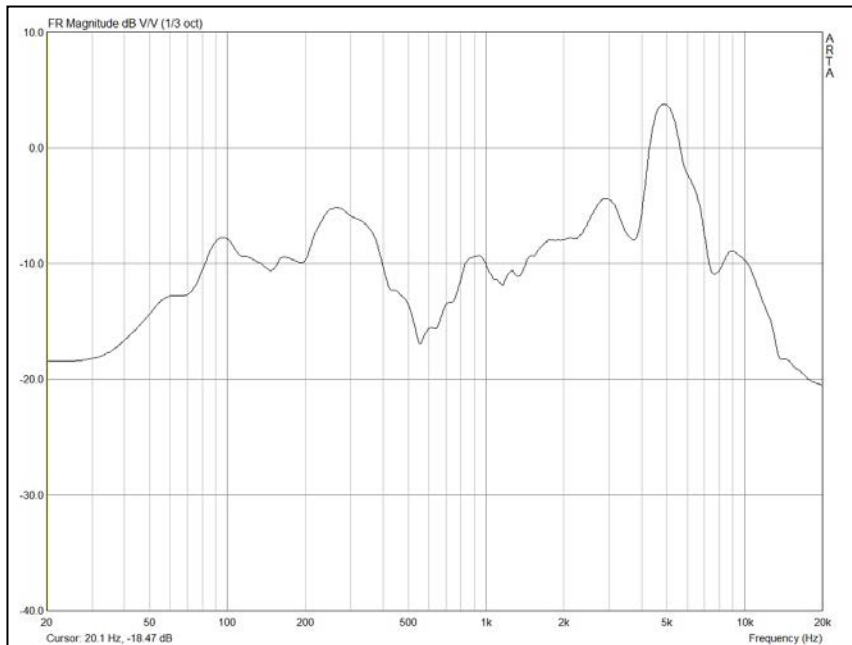
Respuesta en frecuencia del altavoz American California, que tiende a ser en un rango bien amplio



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Grafico 18.

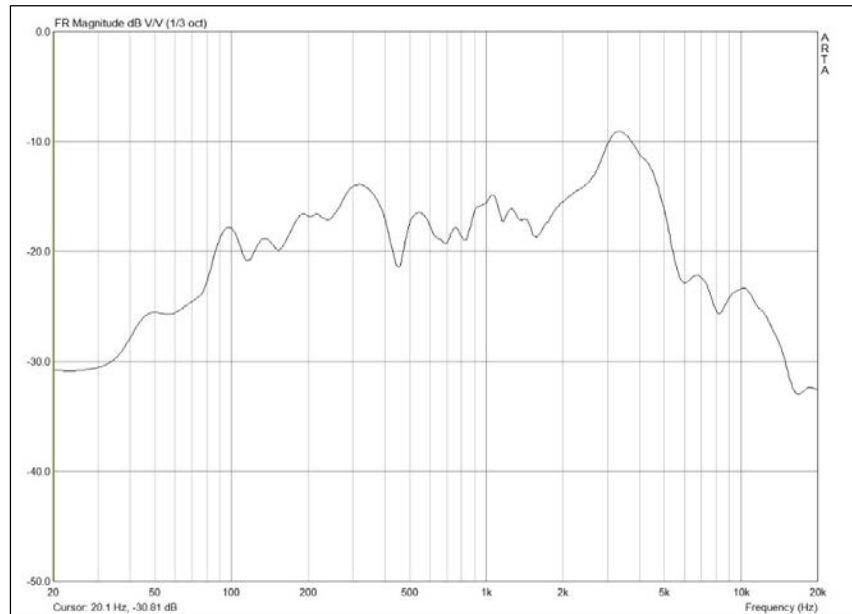
Respuesta en frecuencia del altavoz Professional High Power, que tiende a ser en un rango bien amplio



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta.

Gráfico 19.

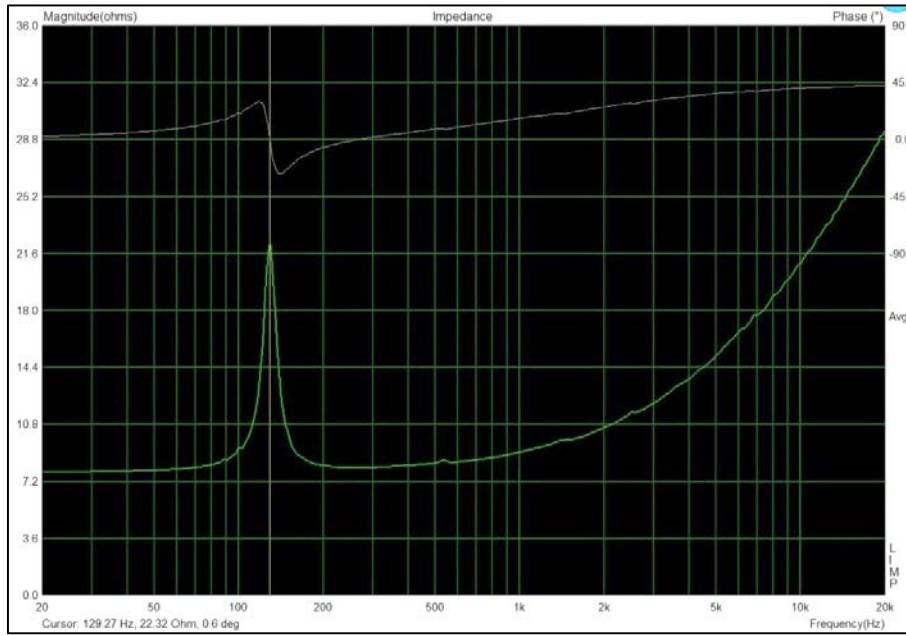
Respuesta en frecuencia del altavoz BlastKing, que tiende a ser en un rango bien amplio



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

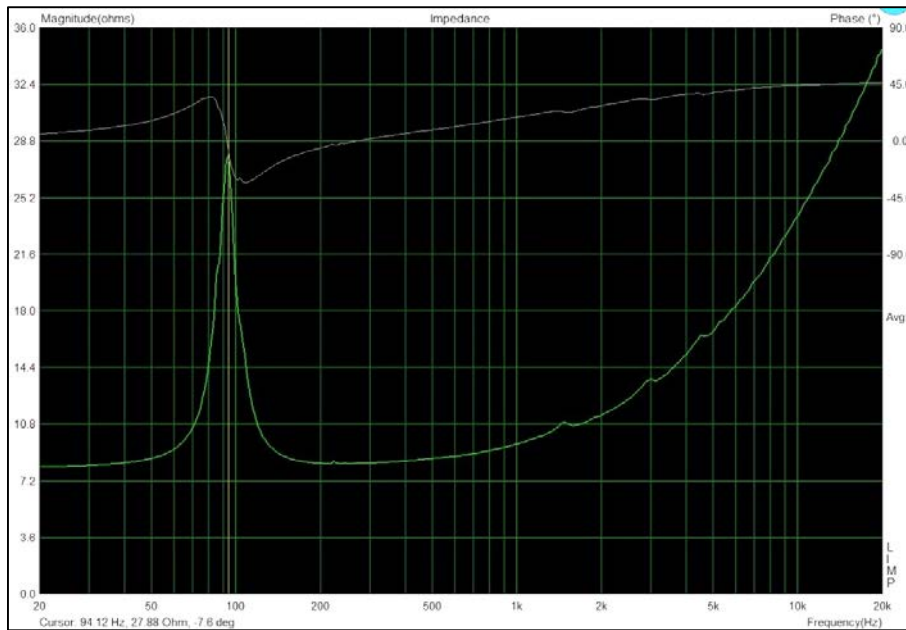
Seguidamente se procedió a la medición de la curva de respuesta en resonancia en cada altavoz, esto con el propósito de empezar con el diseño y cálculos matemáticos del recinto cerrado o caja acústica cerrada. En el capítulo 3 se hizo mención a este parámetro de los altavoces, por lo tanto es importante *estimar* dicho valor. Para el procedimiento se utilizó el software Limp de ArtaLabs, dedicado exclusivamente al trabajo de parámetros de los altavoces. Se utilizó el método de la masa añadida en campo libre, con los altavoces montados en una pared o pantalla infinita (*Anexo 10, Figuras 24 y 25*); mediciones realizadas prácticamente en horas de la noche debido al bajo ruido de fondo que existe a esas horas. En los siguientes gráficos se mostrarán las curvas de impedancia de los altavoces mencionados.

Gráfico 20.
Curva de impedancia del altavoz Novik



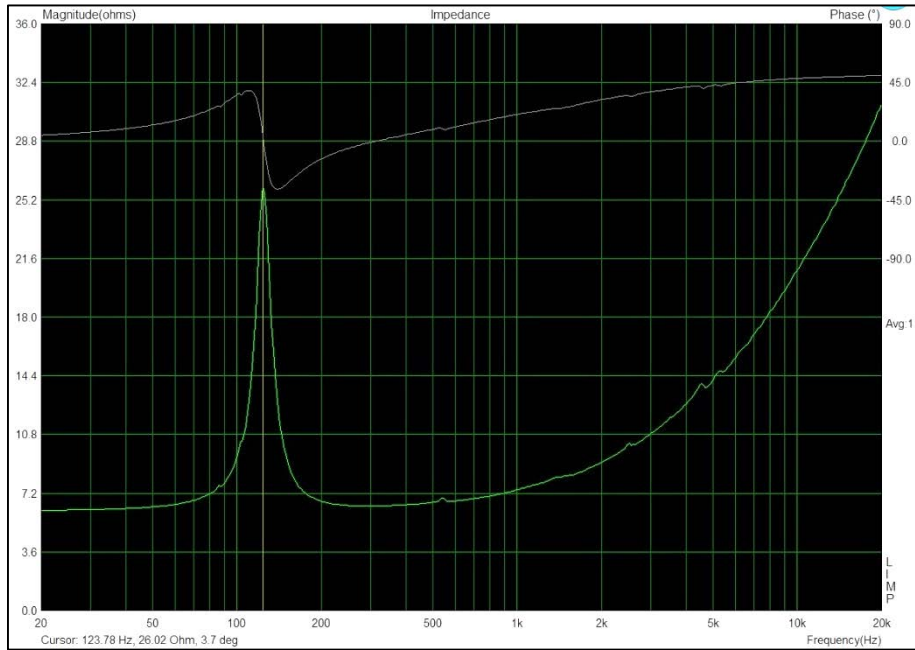
Fuente: Elaboración propia mediante software Limp

Gráfico 21.
Donde se puede ver la curva de impedancia del altavoz American California



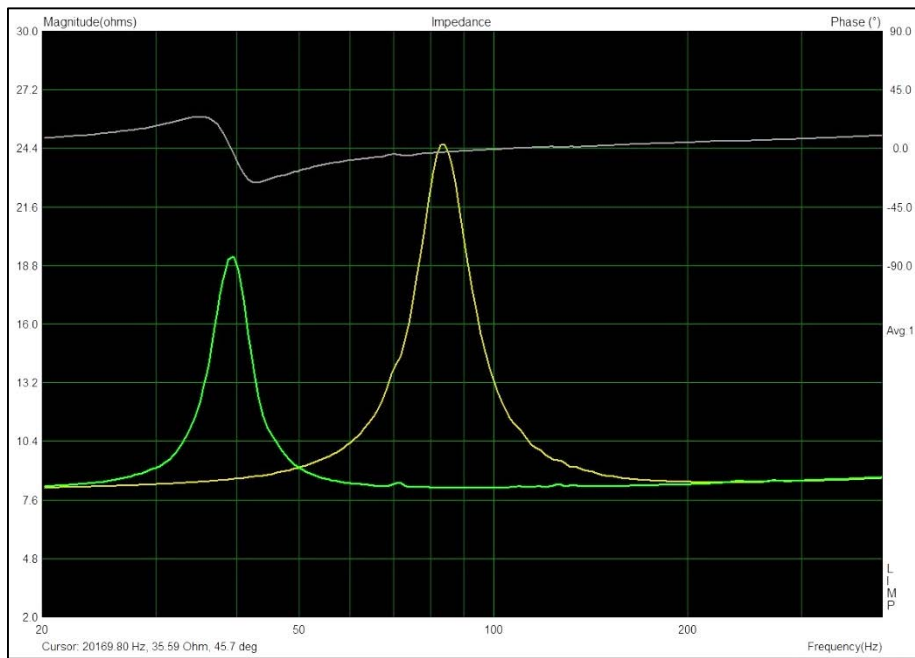
Fuente: Elaboración propia mediante software Limp

Gráfico 22.
Curva de impedancia del altavoz Professional High Power



Fuente: Elaboración propia mediante software Limp

Gráfico 23.
Curva de impedancia (en línea amarilla) del altavoz BlastKing



Fuente: Elaboración propia mediante software Limp

Una vez realizado dichas mediciones, el software Limp de ArtaLabs nos entrega los parámetros Thiele-Small de cada altavoz, 16 en total (ver Anexo 12) el cual nos sirve para elegir cuál de ellos será de utilidad, tomando en cuenta las características de cada uno.

En la sensibilidad de los altavoces; el software nos muestra la sensibilidad de cada uno de los altavoces, una vez obtenido este parámetro se debería elegir el de mayor sensibilidad, en nuestro caso los valores tienen poca diferencia si comparamos los mismos:

Lp (2.83V/1m) = 77.33 dB (altavoz American California)

Lp (2.83V/1m) = 78.10 dB (altavoz BlastKing)

Lp (2.83V/1m) = 76.59 dB (altavoz Novik)

Lp (2.83V/1m) = 78.74 dB (altavoz Professional)

De los 16 parámetros que el software nos indica (ver Anexo 12), cuatro de ellos son muy importantes al momento de tomarlos en cuenta. Una F.S.O posee una caja o recinto cerrado, o sea que no posee un puerto de ventilación; para diseñar un recinto cerrado o caja acústica cerrada, en un altavoz deben considerarse los cuatro parámetros Thiele-Small siguientes:

Tabla 3.
Parámetros Thiele Small a considerar para una caja acústica cerrada

| | |
|----------|--|
| Q_{ts} | valor alto superior a 0.3 |
| M_{MS} | relativamente alta |
| V_{AS} | valor alto |
| F_S | frecuencia de resonancia lo más baja posible |

Fuente: (<http://www.che.es>).

Los valores de Factor de Calidad Total (Q_{ts}), Masa Mecánica relativamente alto (M_{MS}), Volumen de aire con la misma elasticidad que la suspensión (m^3) y Frecuencia de Resonancia (F_S), de los altavoces medidos, fueron puestos a

consideración para ser evaluados y entre ellos elegir el que mejor se adecue con los parámetros y valores recomendados; tomando en cuenta lo antes mencionado se muestran los cuatro parámetros importantes de los altavoces medidos:

Altavoz American California

$$Q_{ts} = 1.96$$

$$M_{MS} = 66.73 \text{ gramos}$$

$$V_{AS} = 10.04 \text{ litros}$$

$$F_S = 92.95 \text{ Hz}$$

Altavoz Novik

$$Q_{ts} = 3.22$$

$$M_{MS} = 69.71 \text{ gramos}$$

$$V_{AS} = 5,5 \text{ litros}$$

$$F_S = 129.03 \text{ Hz}$$

Altavoz Professional High Power

$$Q_{ts} = 1.93$$

$$M_{MS} = 96.30 \text{ gramos}$$

$$V_{AS} = 4,5 \text{ litros}$$

$$F_S = 121.77 \text{ Hz}$$

Altavoz BlastKing

$$Q_{ts} = 1.71$$

$$M_{MS} = 76.84 \text{ gramos}$$

$$V_{AS} = 10,8 \text{ litros}$$

$$F_S = 87.26 \text{ Hz}$$

De los cuatro altavoces mencionados, *el altavoz BlastKing* es el que mejor se adecua a nuestros requerimientos, comparando el valor Q_{ts} entre los cuatro, es el más cercano a 0.3. Seguidamente, el valor M_{MS} más alto es del altavoz Professional High Power. El valor V_{AS} más alto es del altavoz BlastKing, y para finalizar el valor F_S más bajo de todos es del altavoz BlastKing; en este caso el altavoz BlastKing es el que más valores aporta para el diseño de la F.S.O y lo hace ideal para ser tomado en cuenta (ver tabla 3, pág. 85).

El valor de Q_{ES} , factor de calidad eléctrico del altavoz, (uno de los 16 parámetros que el software Limp nos entrega, ver Anexo 12) define el tipo de caja acústica a ser implementado (cerrada o bass réflex) junto a F_S (Frecuencia de resonancia del altavoz).

Estimamos el parámetro EBP , el valor de Q_{ES} que viene definido como:

$$EBP = \frac{F_S}{Q_{ES}} \quad (\text{Ver ecuación número 13, pág. 63})$$

Tomando en cuenta el valor EBP de nuestros altavoces, reemplazamos valores en la ecuación mostrada anteriormente y tenemos:

Altavoz American California

$$EBP = \frac{92,95}{2,71} = 34,3$$

Altavoz Novik

$$EBP = \frac{129,03}{5,17} = 24,96$$

Altavoz Professional High Power

$$EBP = \frac{121,77}{2,56} = 47,57$$

Altavoz BlastKing

$$EBP = \frac{87,26}{2,49} = 35,04$$

Todos los valores EBP están por debajo de 50, lo cual los hace ideal para una caja acústica cerrada, pero tomando en cuenta los valores mencionados Q_{ts} , M_{MS} , V_{AS} y F_S , nos produce variaciones en el volumen de la caja acústica cerrada, el que mejor dimensiones nos ofrece es el altavoz BlastKing. Una vez elegido el altavoz se procedió a realizar los cálculos para las dimensiones de la caja acústica cerrada.

5.1.2 Cálculo de la caja acústica cerrada

El altavoz BlastKing nos presenta los siguientes valores para el cálculo de la caja acústica cerrada:

$$F_S = 87.26 \text{ Hz}$$

$$Q_{ts} = 1.71$$

$$Q_{MS} = 5.47$$

$$V_{AS} = 10,8 \text{ litros} \rightarrow 0,0108 \text{ m}^3$$

A continuación estimamos el valor Q_{EC} que es representada por la siguiente ecuación:

$$Q_{EC} = \frac{Q_{MC} * Q_{TC}}{Q_{MC} - Q_{TC}} \quad (\text{Ver ecuación número 14, pág. 65})$$

Elegimos el valor de $Q_{TC} = 3$ (gráfico 13, pág. 65) para así obtener dimensiones más adecuadas en la caja en forma de dodecaedro, y el valor $Q_{MC} = 5$ (de la tabla 2, pág. 64) eligiendo una caja con relleno en su interior; reemplazando valores:

$$Q_{EC} = \frac{5 * 3}{5 - 3} = 7.5$$

Tenemos la relación de elasticidad entre el altavoz y el recinto:

$$\alpha = \left(\frac{Q_{EC}}{Q_{ES}}\right)^2 - 1 \quad (\text{Ver ecuaciones número 15, pág. 66})$$

Reemplazamos valores:

$$\alpha = \left(\frac{7.5}{2.49}\right)^2 - 1 = 8,1$$

Eligiendo el valor $Q_{MC} = 5$ (tabla 2, pág. 64) que resultará ser con relleno, verificando si cumple la condición (cap. 3.12, pág. 64) para ver si el proyecto es viable o no:

$$Q_{MC} < Q_{MS}\sqrt{1 + \alpha}$$

Reemplazando valores:

$$Q_{MC} < 5,47\sqrt{1 + 8,1}$$

$$5 < 16.5$$

El valor Q_{MC} es menor a la ecuación, por lo tanto se cumple la condición.

Otro valor para asegurarse (cap. 3.12, pág. 64) si el proyecto es viable es:

$$Q_{TC} > Q_{TS}$$

Reemplazando valores:

$$3 > 1,71$$

Por lo tanto el proyecto es totalmente viable.

Una vez obtenido el valor de α reemplazamos en la ecuación para hallar el volumen neto de la caja:

$$V_B = \frac{V_{AS}}{\alpha} = (m^3) \quad (\text{Ver ecuación número 15, pág. 66})$$

Reemplazando valores:

$$V_B = \frac{0,0108}{8.1} = 1,33 \text{ litros}$$

Hallamos el valor de la frecuencia de resonancia de la caja:

$$f_c = f_s \sqrt{1 + \alpha} = Hz \quad (\text{Ver ecuación número 16, pág. 66})$$

Reemplazando valores:

$$f_c = 87.26 \sqrt{1 + 8.1}$$

$$f_c = 262.45 Hz$$

Nuestra fuente sonora tiene 12 altavoces, entonces el volumen se multiplica por el número de altavoces:

$$1,33 \times 12 = 16 \text{ litros}$$

El valor de 16 litros vendría a ser el volumen total de nuestra caja acústica cerrada; nuestra caja tiene la forma de un dodecaedro, entonces mediante la ecuación del volumen del dodecaedro y despejando el valor de uno de los lados (a) del dodecaedro tenemos la siguiente ecuación:

Ecuación 17.
Lado del dodecaedro

$$a = \sqrt[3]{\frac{V}{7,663}} = cm$$

Donde:

V = Volumen del dodecaedro

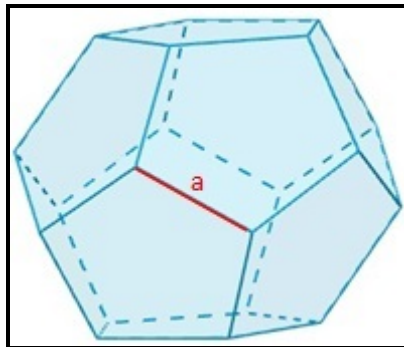
a = El lado del dodecaedro

Convertimos 16 litros a metros cúbicos y reemplazando valores en la anterior ecuación 17:

$$a = \sqrt[3]{\frac{0,016 m^3}{7,663}} = 12,8 cm$$

El valor obtenido de $12,8 cm$. vendría a ser uno de los lados que trazaremos al momento de dibujar uno de los pentágonos que formará nuestro dodecaedro.

Grafico 24.
Forma del dodecaedro, donde el valor “a” vendría a ser $a = 12.8 cm$



Fuente: <http://www.sangakoo.com>

Una vez finalizado el diseño de la caja acústica cerrada, se realizó el diseño del distribuidor de señal de potencia pasivo, tomando en cuenta un transformador toroidal.

5.1.3 Diseño del distribuidor de señal de potencia pasivo

Se hizo la elección de un transformador toroidal como distribuidor de señal de potencia pasivo para los doce altavoces utilizados en el presente proyecto. El dispositivo (Sistema de Voltaje Constante) tendrá una sola entrada de potencia y doce salidas de potencia (como se ve más adelante en el diagrama del gráfico 25 pág. 96), esta configuración es más versátil y a la vez nos facilita la instalación de una sola conexión de entrada a la F.S.O en lugar de tener 12 o 6 conexiones (configurados en paralelo) en la entrada para la alimentación de los 12 altavoces de la F.S.O. Otra gran ventaja de utilizar este dispositivo vendría a ser la protección de los doce altavoces instalados, tomando un caso extremo que uno o más altavoces llegarían a fundirse las bobinas (quemarse), el voltaje continúa siendo el mismo en las otras salidas del distribuidor de señal de potencia pasivo sin incrementarse de ninguna manera, así los demás altavoces seguirían trabajando sin ningún problema incluso sin modificar las cargas en impedancia de los mismos por que no existen ningún tipo de configuraciones en serie o paralelo.

El transformador toroidal (cap. 3.15.2, pág. 70) se caracteriza por trabajar de manera más eficiente, comparado con un transformador común de chapas que llega a ser menos eficiente generando pérdidas de señal en las separaciones de las mismas chapas; además nos facilita la ventaja de tener una sola conexión en la entrada de potencia de nuestra fuente (como se explicó anteriormente), así evitamos tener 12 entradas para los 12 altavoces, el cual nos generaría más complicaciones y enredos de cables a la hora de transportar e instalar nuestra fuente.

Se hizo la obtención del núcleo de un transformador toroidal de 600 W de potencia, el cual lo hace ideal para la potencia de los 12 altavoces, situados en la caja acústica en forma de dodecaedro, que llegan a ser de 60 W de potencia RMS a 8 Ω de

Impedancia nominal cada uno. Sumando los 12 altavoces tendríamos 720 W de potencia a 8 Ω de Impedancia nominal. En este caso la potencia máxima de los altavoces se reduce en 50 W en 8 Ω , debido a las limitaciones del transformador.

Figura 3.

Donde se puede ver el núcleo de hierro en forma de toroide, recubierto de papel prespán en su interior y a su vez envuelto en cinta adhesiva de papel para su posterior devanado

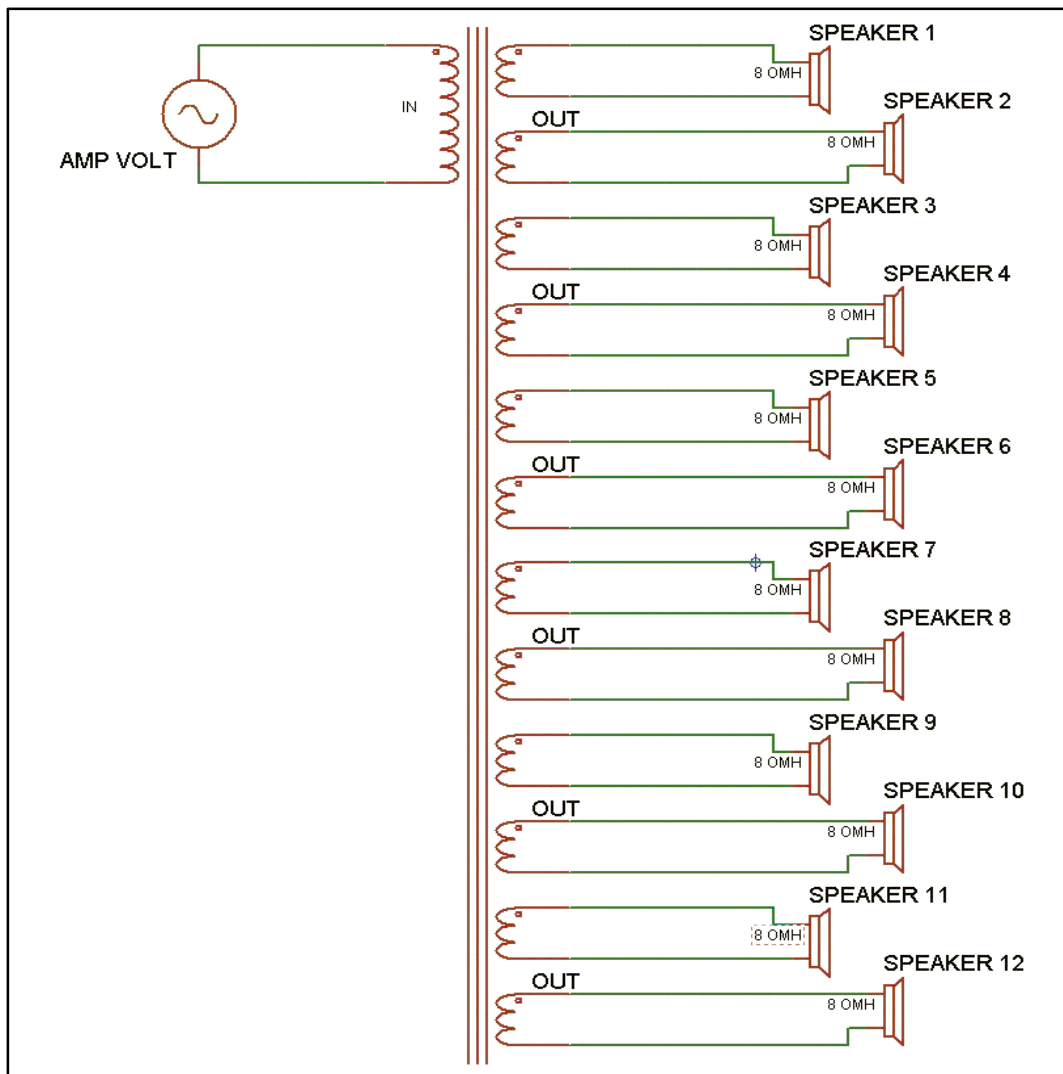


Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó antes, nuestro distribuidor de señal de potencia pasivo tendrá una entrada de potencia y 12 salidas simultáneas para la alimentación de los 12 altavoces de nuestro dodecaedro, en el diagrama del gráfico 25 se puede observar a detalle.

Gráfico 25.

Se puede ver el diagrama del transformador toroidal con su respectiva entrada de la fuente de voltaje (amplificador) y las 12 salidas a los altavoces



Fuente: Elaboración propia mediante software Proteus.

Seguidamente, se realizó el cálculo de voltaje máximo requerido en la entrada del transformador condicionándonos a 600 W máximo de potencia a 8 Ω de Impedancia, 50 W máximo de salida a 8 Ω para cada altavoz que en total serian doce.

En la ley de Ohm, una de las relaciones entre voltaje, corriente, resistencia y potencia se puede encontrar la siguiente expresión:

Ecuación 18.
Ecuación para hallar el voltaje.

$$V = \sqrt{W \times R}$$

Donde:

V =Voltaje

W =Potencia eléctrica

R =Resistencia eléctrica

Los altavoces al tener una bobina inductiva, agregando el imán que poseen, ofrecen un cierto tipo de impedancia, tratándose prácticamente de un circuito eléctrico, el cual posee un valor en ohmios, tomándolo prácticamente como resistencia eléctrica.

Entonces, en la ecuación 18 reemplazamos ese valor para hallar el voltaje necesario que requieren los doce altavoces:

Voltaje de entrada del transformador:

$W = 600$ Watts

$R = 8$ Ohm

Reemplazando valores en la *ecuación 18*:

$$V = \sqrt{600 \times 8} = 69,28 \text{ voltios}$$

Este valor de 69.28 voltios vendría a ser el voltaje máximo de entrada para el transformador.

Voltaje de salida del transformador tomando en cuenta un altavoz:

$$W = 50 \text{ Watts}$$

$$R = 8 \text{ Ohm}$$

Reemplazando valores en la ecuación 18:

$$V = \sqrt{50 \times 8} = 20 \text{ voltios}$$

El voltaje estimado para cada altavoz, que en total serian doce, en cada salida tendrá 20 voltios. Seguidamente se mandó a realizar el devanado del transformador toroidal con los voltajes calculados.

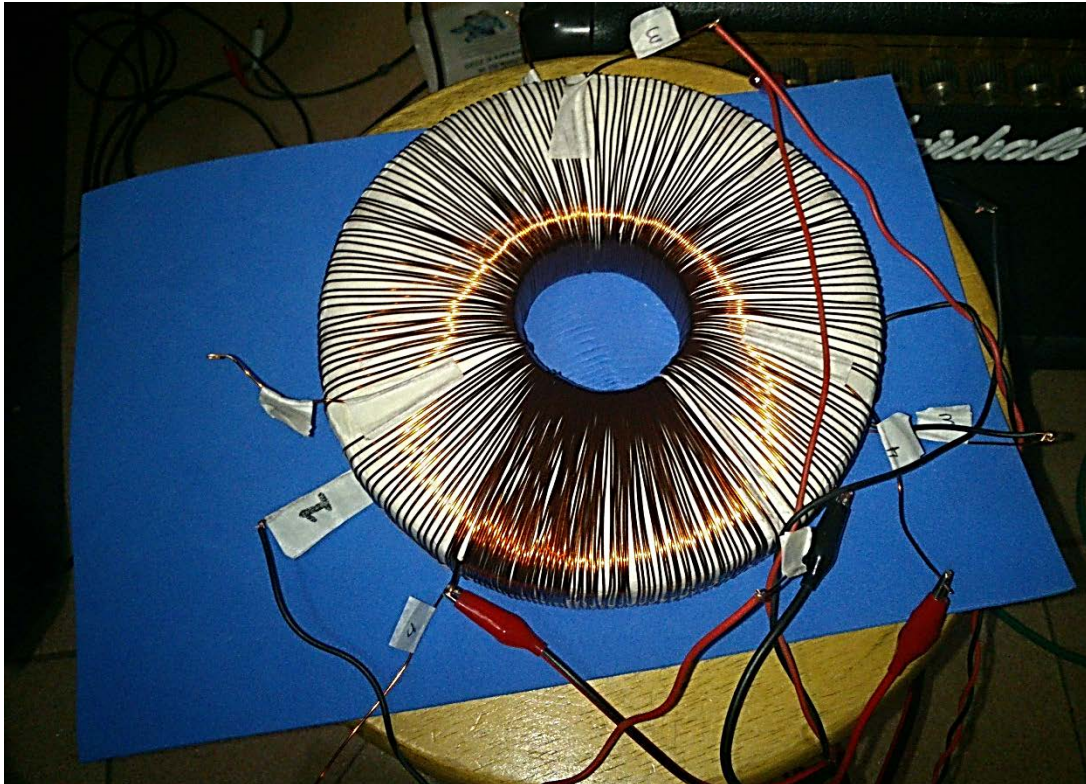
Figura 4.
Donde se puede observar el comienzo del devanado primario del transformador toroidal.



Fuente: Elaboración propia.

En el transcurso del procedimiento del devanado, haciendo hincapié en el devanado secundario, se tuvo la oportunidad de hacer las primeras pruebas de voltaje de salida, estimando valores aleatorios, y después midiendo el voltaje de salida estimado.

Figura 5.
Se puede ver los primeros devanados secundarios de las salidas del transformador, conectados para su posterior medición de voltaje



Fuente: Elaboración propia.

Una vez verificado los voltajes de salida calculados, se mandó a continuar con el devanado restante del transformador.

Figura 6.
La imagen nos muestra el transformador terminado con todos los devanados correspondientes



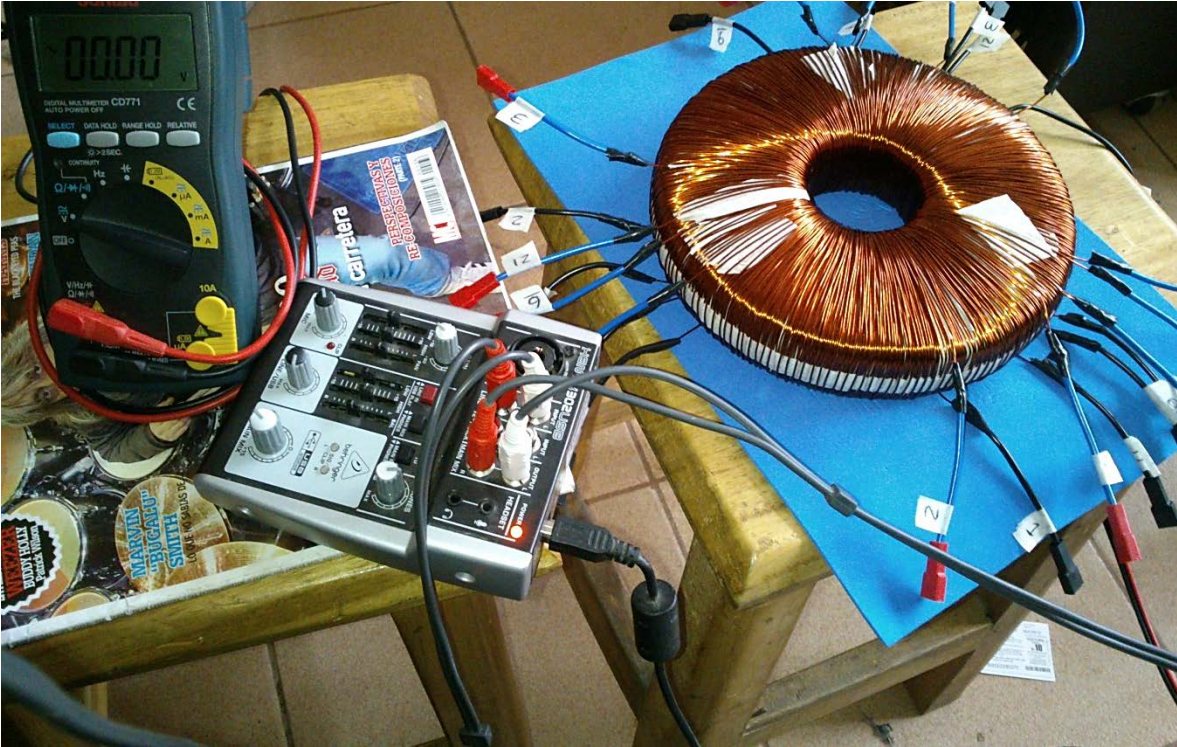
Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado con los devanados primario y secundario, se procedió a poner terminales a los cables sobresalidos con la numeración respectiva para una mejor y segura conexión eléctrica, además que le agregó un mejor aspecto a nuestro transformador (Figura 7).

Seguidamente se realizó la medición de voltaje de las doce salidas del transformador, midiendo primero el voltaje máximo de salida del amplificador que viene a ser 69,28 voltios.

Figura 7.

En las conexiones de entrada y salida se puede ver las terminales puestas del transformador toroidal dándole un mejor aspecto y conexiones más seguras y aisladas, como también el voltímetro a su izquierda para su posterior medición de voltaje. Además de una consola mezcladora para regular el voltaje del amplificador

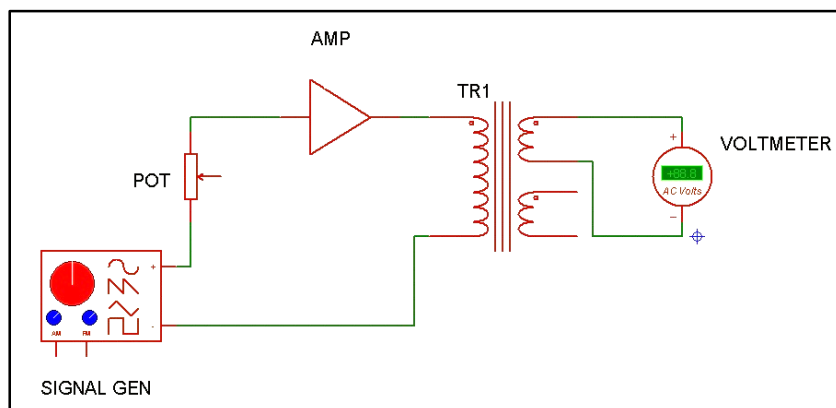


Fuente: Elaboración propia.

La medición se realizó conectando un generador de señal (un computador conectado a un convertidor D/A) a un amplificador de potencia de 6000 W, este a su vez a la entrada del transformador toroidal, y para finalizar el voltímetro conectado a una de las salidas del mismo.

Grafico 26.

Diagrama con la conexión configurada para la medición del voltaje de salida



Fuente: Elaboración propia mediante software Proteus.

En el diagrama del grafico 26, el generador de señal vendría a ser el computador, mediante software Wavelab se generó la señal de 1 Khz. La resistencia variable vendría a ser la consola que se aprecia en la figura 7. Finalizada la medición de voltaje de salida donde se puede observar en la tabla 4 que existen diferencias de 0,1 voltios en las doce salidas del transformador toroidal:

Tabla 4.

Voltajes medidos de las doce salidas del transformador.

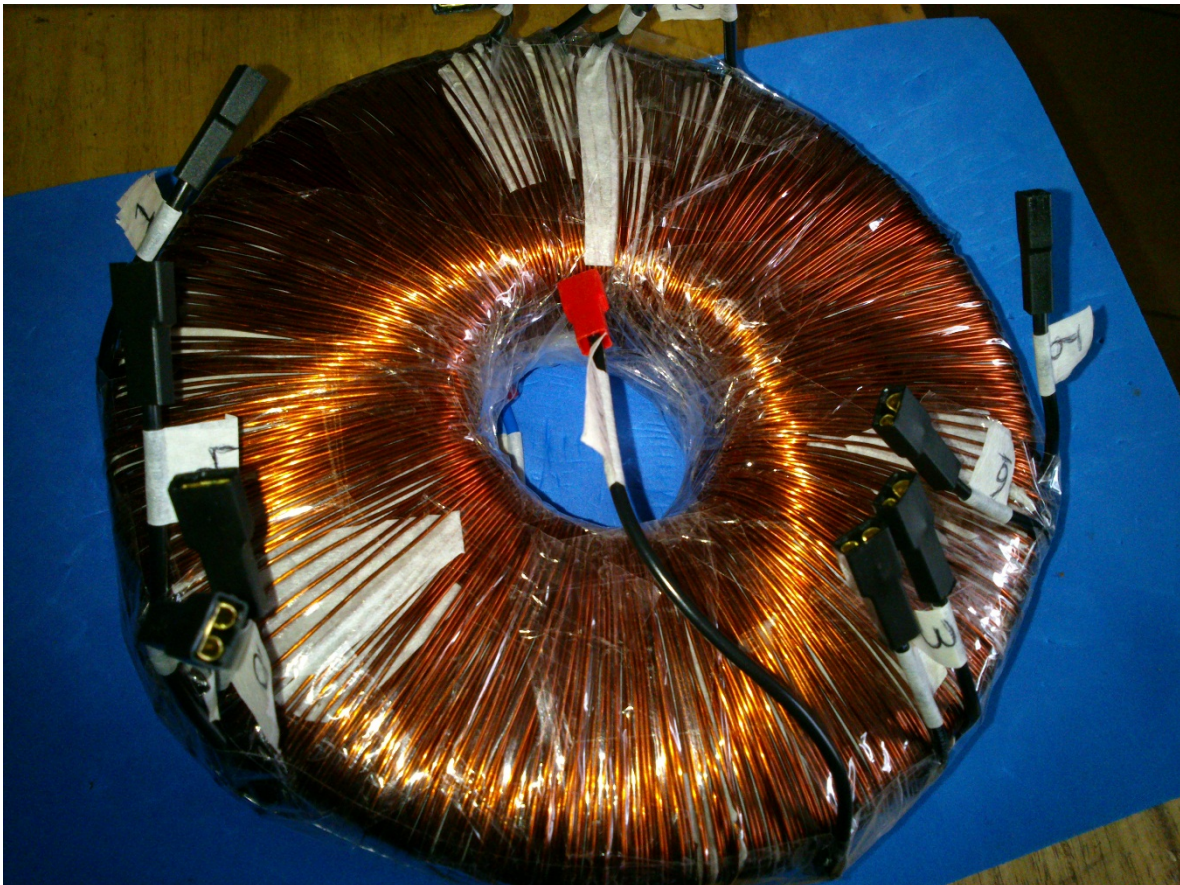
| Número de salida | Voltaje medido (voltios) |
|------------------|--------------------------|
| 1 | 20,2 |
| 2 | 20,2 |
| 3 | 20,2 |
| 4 | 20,2 |
| 5 | 20,3 |
| 6 | 20,3 |
| 7 | 20,2 |
| 8 | 20,2 |
| 9 | 20,3 |
| 10 | 20,2 |
| 11 | 20,2 |
| 12 | 20,3 |

Fuente: Elaboración propia.

Finalizada la medición de voltajes, se procedió al recubrimiento de cinta adhesiva transparente para evitar el desenredo de los cables y darle una mejor apariencia al transformador toroidal.

Figura 8.

La imagen nos muestra el acabado final del transformador toroidal con el cubrimiento de cinta adhesiva transparente y las terminales enumeradas para el posterior conectado

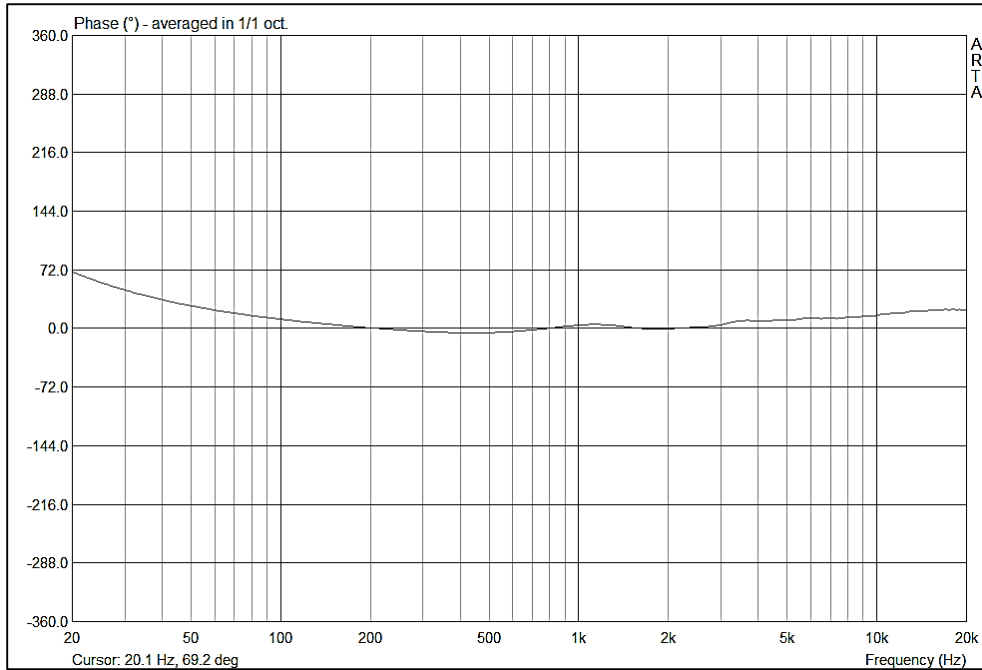


Fuente: Elaboración propia.

La función de transferencia del transformador; es importante conocer esta función, nos muestra las condiciones de fase y amplitud, con respecto a la frecuencia, para tener más confiabilidad en la eficiencia del mismo. Conociendo una óptima función de transferencia se espera una señal más estable en fase, con menos distorsiones, así también los altavoces trabajan con más eficiencia entregándonos un sonido con mínimas distorsiones.

Para ello se realizó una prueba de función de transferencia, tanto del amplificador usado (ver *Anexo 1* a mayor resolución), como en las doce salidas del transformador toroidal (ver *Anexo 2* a mayor resolución). Se utilizó el software Arta de ArtaLabs, dedicado a este tipo de trabajos.

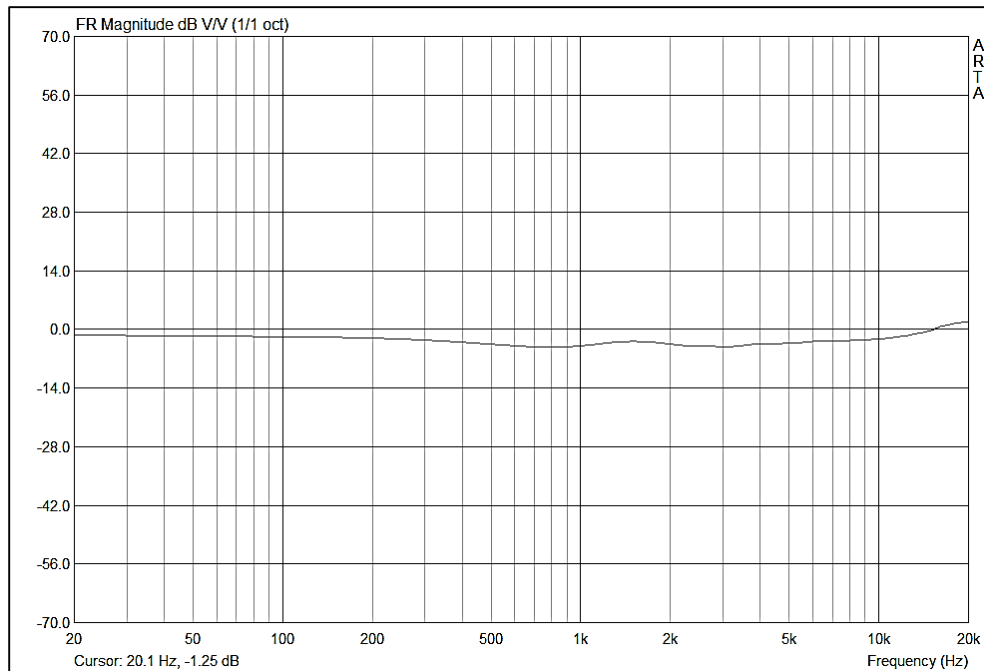
Gráfico 27.
Curva de respuesta en fase en función a la frecuencia a 1/1 octava del amplificador utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 28.

Nos muestra la curva de respuesta en magnitud en dB en función a la frecuencia a 1/1 octava del amplificador utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

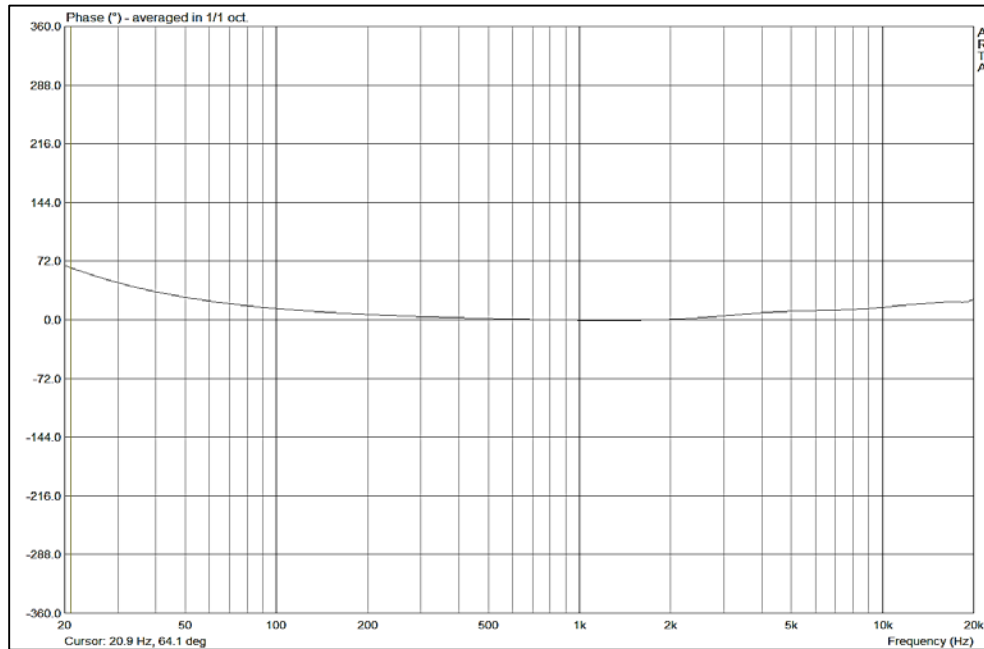
El gráfico 27 nos muestra que existen leves desviaciones en la curva de fase, en el rango que daremos más importancia que es entre 100 Hz a 5000Hz, la curva se encuentra más lineal, entonces es aceptable este tipo de señal para nuestro proyecto.

El gráfico 28 nos muestra que existen también leves desviaciones en la curva de la magnitud en frecuencia, al igual que el gráfico 27, daremos más importancia al rango mencionado anteriormente y tomando en cuenta las frecuencias en octava que indica la norma: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz. Tomando en cuenta este rango de frecuencias se ve que existen leves desviaciones en fase y magnitud, con alteraciones poco significativos, el cual no nos genera problemas para ser tomado en cuenta.

Las salidas de este dispositivo tendrían que estar estables en fase y frecuencia, al igual que el amplificador, generando la mínima distorsión en magnitud y fase en todas sus salidas. Al tratarse de una bobina inductiva existe el temor de generar

filtrados en altas frecuencias, para salir de esas dudas se realizó la función de transferencia en las salidas del transformador toroidal que se aprecian en los gráficos 29 y 30.

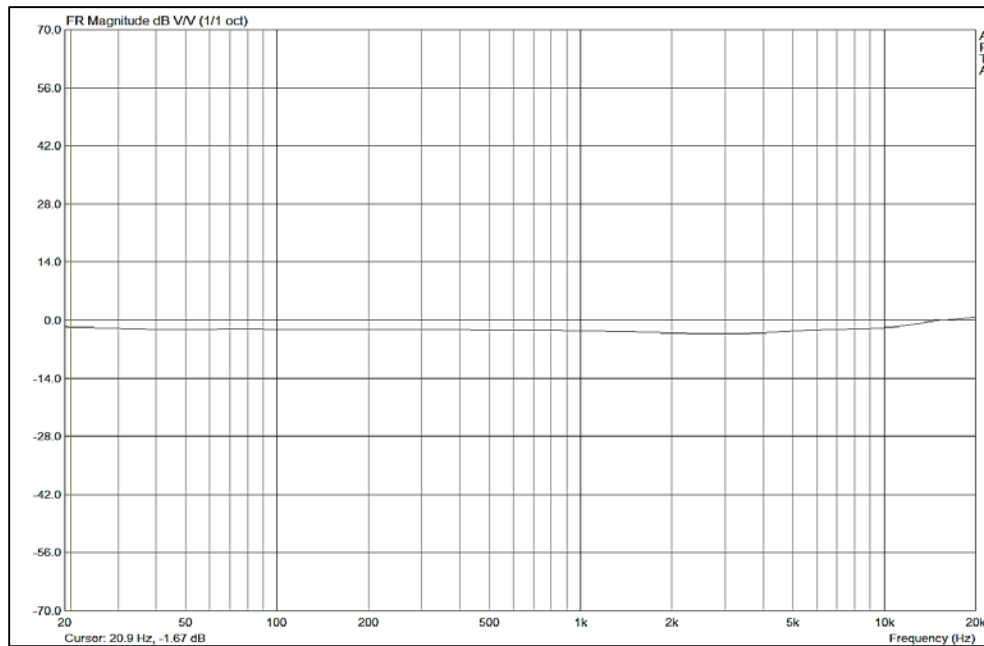
Gráfico 29.
Respuesta en fase en función a la frecuencia a 1/1 octava de una de las salida del transformador toroidal



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 30.

Curva de respuesta en magnitud en dB en función a la frecuencia a 1/1 octava de una de las salidas del transformador toroidal



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

En los gráficos 29 y 30, comparando con los gráficos 27 y 28, se puede notar una mejora considerable en las curvas de fase en función a la frecuencia como también en las curvas de magnitud en función a la frecuencia, tienden a ser más lineales y estables (para más detalle y mayor resolución de la salida del amplificador y las doce salidas del transformador toroidal ver *Anexo 1 y 2*) en sí podríamos decir que en las salidas existen mejoras en la función de transferencia en fase y magnitud, con estas mejoras ya mencionadas el transformador toroidal nos ofrece más confiabilidad para ser empleado en nuestro proyecto.

5.1.4 Construcción de la caja acústica cerrada en forma de dodecaedro

Una vez terminado los cálculos para el tamaño de la caja, se procedió a armar una maqueta en goma eva para así ver el tamaño aproximado de la caja, como también el sistema trabado de sujeción de los pentágonos y la secuencia de las trabas para el armado respectivo.

Figura 9.
Se muestra el armado de la maqueta en goma eva



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10.
Maqueta totalmente armada en goma eva



Fuente: Elaboración propia.

Finalizado el armado, se procedió al trazado de los pentágonos basados enteramente en la maqueta de goma eva, en la madera tipo aglomerado rústico recubierto con una capa acrílica para protegerlo de la humedad de 13 milímetros de espesor. Se hizo una plantilla de acero inoxidable para tener todos los pentágonos trazados en un tamaño uniforme, se tomó en cuenta los agujeros para los altavoces, y siguiendo las secuencias del sistema trabado para su posterior armado.

Seguidamente se realizó el corte de los pentágonos, las marcas de las trabas respectivas y el agujero para el colocado de los altavoces, que en total serian doce pentágonos del mismo tamaño. Se realizó el corte y desgaste de los bordes, creando ángulos respectivos para el pegado y armado posterior, con las secuencias de las trabas basandose enteramente con la maqueta de goma eva.

Figura 11.

La imagen muestra la maqueta de goma eva junto a los pentágonos cortados, con las trabas marcadas y el agujero respectivo para el colocado del altavoz



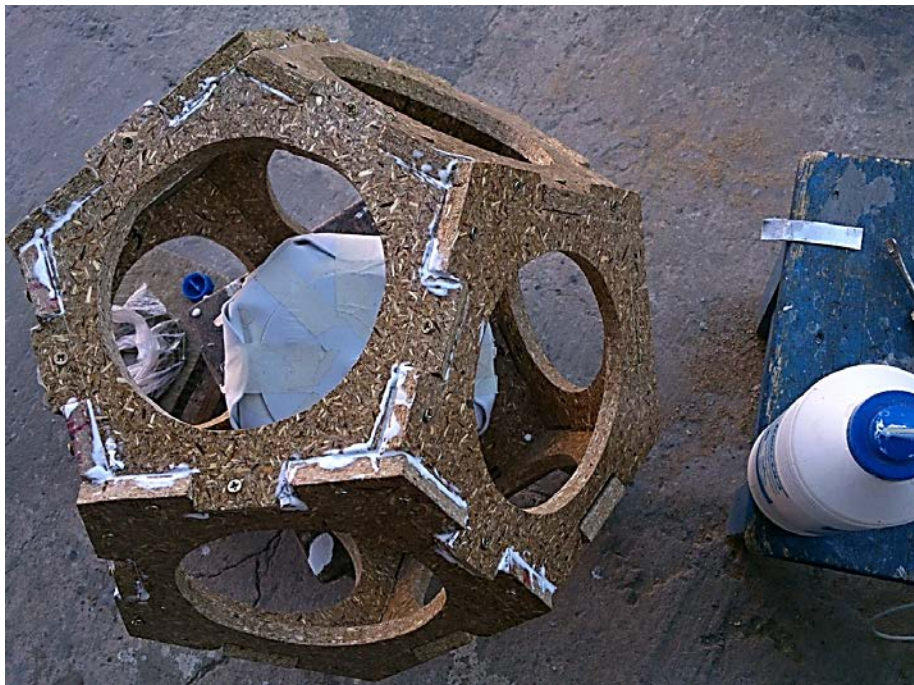
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12.
La imagen muestra los pentágonos con las trabas cortadas y como se empezó el armado del dodecaedro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13.
Se muestra el armado y pegado del dodecaedro con el transformador ya puesto en su interior, envuelto en goma eva y cinta adhesiva de papel para su protección libre de aserrín y pegamento



Fuente: Elaboración propia.

Para el armado se basó enteramente en la maqueta de goma eva (figura 10, pág. 108), siguiendo las secuencias de las trabas respectivas; antes del armado y pegado final el dodecaedro ya tenía la suficiente resistencia para soportar peso, por lo tanto el sistema trabado es muy resistente y recomendado para resistir vibraciones. En la figura 13, se puede notar que el transformador toroidal ya está puesto en el interior de la caja, envuelto y protegido en goma eva para que no reciba golpes, protegerlo del aserrín, el pegamento carpícola y todo tipo de inconvenientes.

Seguidamente se hizo el desgaste de lados expuestos y sobresalidos, se rellenó imperfecciones de la caja, el transformador se puso en una especie de chasis para que quede posicionado en el interior de la caja sin chocar con ninguno de los altavoces. El transformador toroidal una vez puesto y sujetado dentro de la caja, se volvió a envolver y cubrir para el pintado posterior.

Figura 14.

Donde se puede ver el momento del pintado de la caja acústica, con el transformador puesto y sujetado en el interior del mismo, envuelto en papel para su protección respectiva

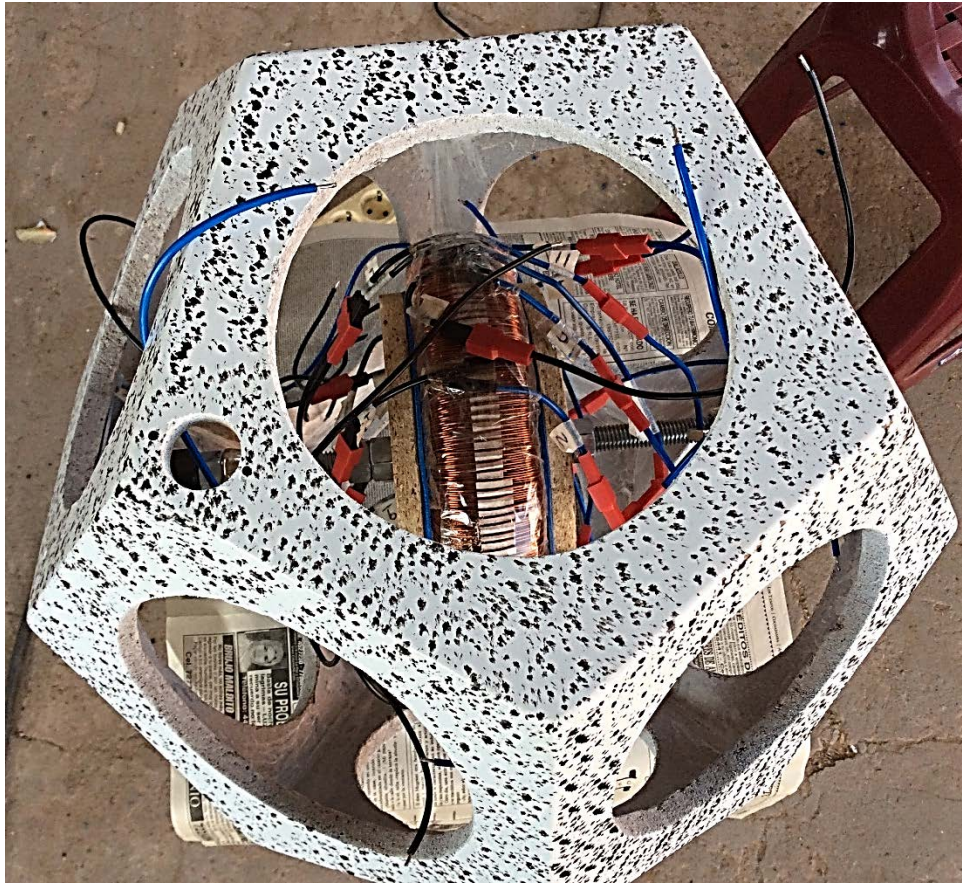


Fuente: Elaboración propia.

Una vez cubierto con una capa *primer* (*primera capa de pintura*), la caja acústica fue pintado de color blanco con puntos negros, para así darle una mejor apariencia a nuestro dodecaedro, se retiró el papel protector del mismo dejando al descubierto el transformador toroidal.

Figura 15.

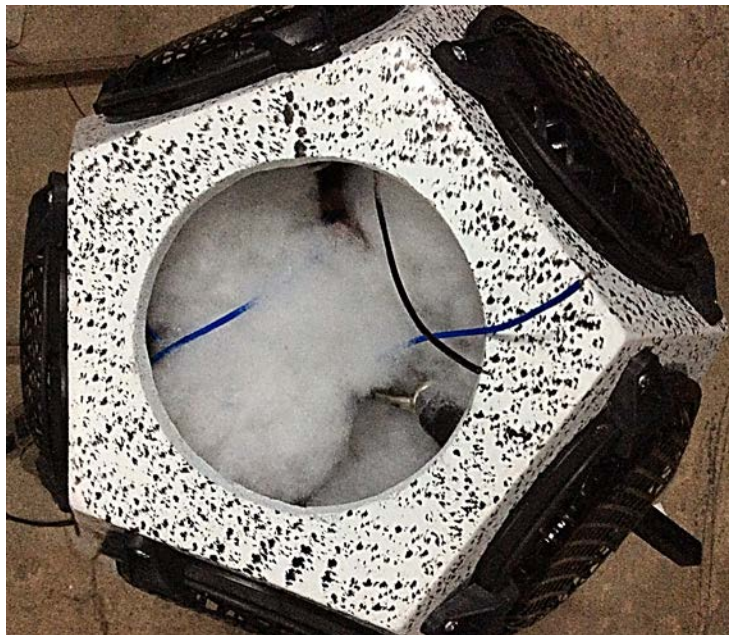
La imagen nos muestra la caja acústica en forma de dodecaedro con el acabado final de pintura, con el transformador al descubierto totalmente sujetado en el mismo



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se procedió al colocado de los altavoces y el relleno con la fibra de poliéster; para los altavoces se adicionó una malla metálica para su protección contra golpes, con el riesgo de que con algún accidente, se llegasen a romper los conos de los altavoces. También se instaló un conector speakon hembra, para la alimentación de voltaje de entrada, el respectivo cableado de las salidas del transformador a los 12 altavoces, además de un soporte para la colocación de un trípode pedestal donde quedará sujeto nuestra F.S.O.

Figura 16.
Donde se muestra el montaje de los altavoces, con sus respectivas rejillas protectoras, y el relleno con fibra de poliéster



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17.
Se muestra el armado final del la Fuente Sonora Omnidireccional



Fuente: Elaboración propia.

5.2 ANÁLISIS DE LA F.S.O

El *nivel de presión sonora entregado* y el *patrón polar* conforman los dos parámetros de importancia para la adecuada caracterización de la F.S.O.

El primero cuantifica la cantidad de ruido producido, considerando que este valor es independiente del ruido de fondo, del ambiente acústico en que se encuentra y de la distancia de medición. En una F.S.O, lo más adecuado es obtener este parámetro por bandas de octava (1/1, 1/3 octava), dado que muchas veces en mediciones acústicas se necesita saber si se podrá generar un ruido lo *suficientemente fuerte* en una determinada banda de frecuencias.

El segundo tiene como objetivo el conocer el patrón de radiación y la desviación direccional de la F.S.O, parámetro que darán cuenta si la fuente posee o no los requisitos y características para ser considerada según la norma ISO 3382-2001. En este caso, es también importante obtener este parámetro por bandas de octava (1/1 octava) dado también que la norma indica las desviaciones permitidas en determinadas bandas de frecuencia.

5.2.1 Nivel de Presión Sonora entregado por la F.S.O

La norma ISO 3382 indica en el apartado 4.2.1: “Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para proporcionar curvas de caída con el intervalo dinámico requerido para que no haya contaminación debida al ruido de fondo” (UNE-EN ISO 3382-2001; 8).

Entonces, nuestra fuente necesita enmascarar el ruido de fondo para así proporcionar las curvas de caída con el intervalo dinámico requerido, la norma indica algunas condiciones más: “En caso de ambigüedad la medida de T utilizando la caída entre 5 dB y 35 dB debería llamarse T_{30} . Si se utiliza 5 dB y 25 dB, el resultado debería llamarse como T_{20} , y se procederá de forma análoga para otros intervalos de evaluación” (UNE-EN ISO 3382-2001; 7).

Nuestra fuente necesita enmascarar 20 dB, 30 dB y 60 dB sobre el ruido de fondo en las condiciones que se presentarán a la hora de implementar. Debido a la falta de una cámara anecoica en la ciudad de Cochabamba, y en el país, se midió el máximo nivel de presión sonora entregada por la F.S.O en la noche y en campo semi abierto, llegando a generar 107 dB (en el sonómetro) a un metro de distancia con un ruido de fondo de 40 dB aproximados. Este SPL podría incrementarse en un lugar cerrado debido a las reflexiones que existen en el recinto cerrado

Figura 18.
Se aprecia el momento de la medición con el uso de un sonómetro



Fuente: elaboración propia

Tomando en cuenta las condiciones que exige la norma, para el T_{20} y T_{30} la fuente enmascara sin problemas; tomando en cuenta el T_{60} existiría un límite si el ruido de fondo fuese superior a 50 dB, por lo tanto estaríamos condicionados a un ruido de fondo no mayor a 50 dBs, tomando en cuenta la distancia entre la fuente y el microfono de medicion, para así obtener curvas de caida con el intervalo dinámico requerido sin contaminacion debido al ruido de fondo.

5.2.2 Patrón polar

La norma ISO 3382 en el apartado 4.2.1 indica: “La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible...No son aceptables altavoces comerciales de tipo doméstico como fuente omnidireccional” (Anexo 11, gráfico 85).

En el apartado 5.2 vuelve a reiterar: “La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible” (Anexo 11, gráfico 86).

En el apartado Anexo A.3.1 menciona: “La fuente debe ser tan omnidireccional como sea posible” (Anexo 11, gráfico 87).

Esto indica la importancia indiscutible e imprecindible de contar con una F.S.O para una medicion acústica del tiempo de reverberacion, por la tanto nuestra fuente fue sometida a la medicion del patrón polar y verificar la omnidireccionalidad de la misma. Así tambien como no se cuenta con una camara anecoica en la ciudad de Cochabamba ni menos en el pais, se procedió a la medición del patrón polar a campo abierto, elevado a mas de 3 metros del suelo para así evitar las reflexiones mas cercanas que afecten a nuestros resultados, y para tener un nivel de ruido bajo la medicion fue realizada en horas de la noche.

La norma nos indica con exactitud las desviaciones máximas permitias en la omnidireccionalidad (en cada ciertos grados de desviacion): “La *tabla 5*...enumera las desviaciones máximas de la omnidireccionalidad cuando se promedia sobre arcos deslizantes de 30^0 en campo libre. En caso de que no se pueda utilizar una mesa giratoria se deberían efectuar medidas cada 5^0 y se promediarán los valores

de los seis puntos más próximos...La distancia mínima entre la fuente y el micrófono debe ser 1,5 metros” (Anexo 11, gráfico 87).

Tabla 5.
Desviaciones direccionales máximas permitidas de la fuente en decibelios para una excitación por bandas de octava de ruido rosa y medidas en campo libre

| Frecuencia, Hz | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 | 4 000 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Desviación máxima, dB | ± 1 | ± 1 | ± 1 | ± 3 | ± 5 | ± 6 |

Fuente: UNE-EN ISO 3382-2001

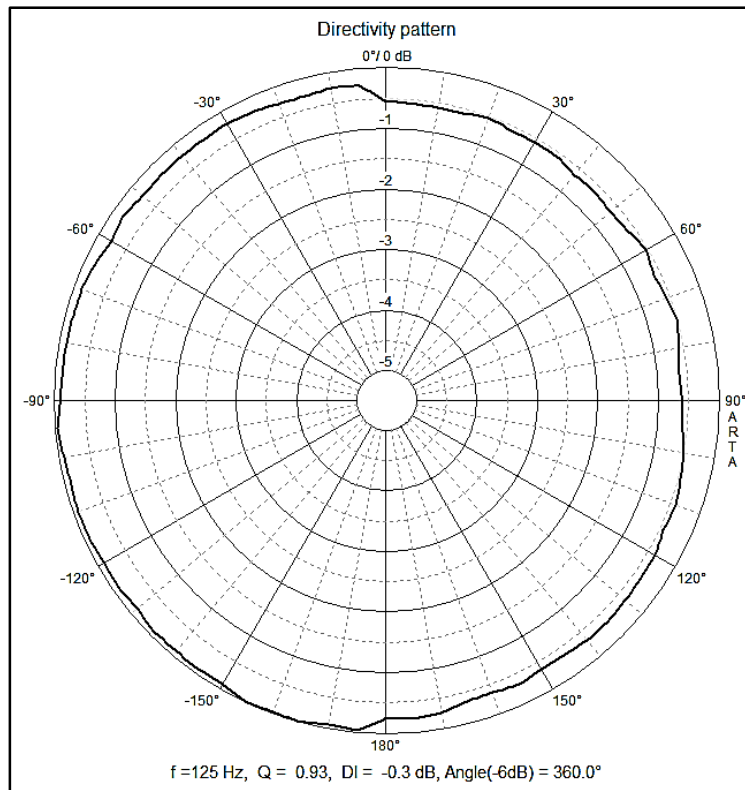
Nuestra fuente fue colocada en campo libre, elevado a mas de tres metros de altura, la distancia entre el micrófono y la fuente fue de un 1,5 metros como indica la norma (*Anexo 10, Figura 26*). Se registraron impulsos cada 5^o generando ruido rosa para despues procesarlos y promediarlos en el software (ver *Anexo 3* para apreciar los 72 impulsos registrados mas la respuesta en frecuencia de los mismos).

Para la obtención del patrón polar, se utilizó el software Arta de ArtaLabs, el cual nos ofrece la herramienta de patrones de directividad (CAPÍTULO 3.14 CREACIÓN DE PATRONES DE DIRECTIVIDAD MEDIANTE EL SOFTWARE ARTA; pág. 67). Se promediaron en las bandas de octava que indica la norma, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz, que resultan seis bandas en total.

En los gráficos de las siguientes páginas se muestran y detallan los patrones polares promediados de las seis bandas de octava mencionadas anteriormente.

Gráfico 31.

Patrón polar en la frecuencia de 125 Hz, las desviaciones direccionales cada 30°, el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360°

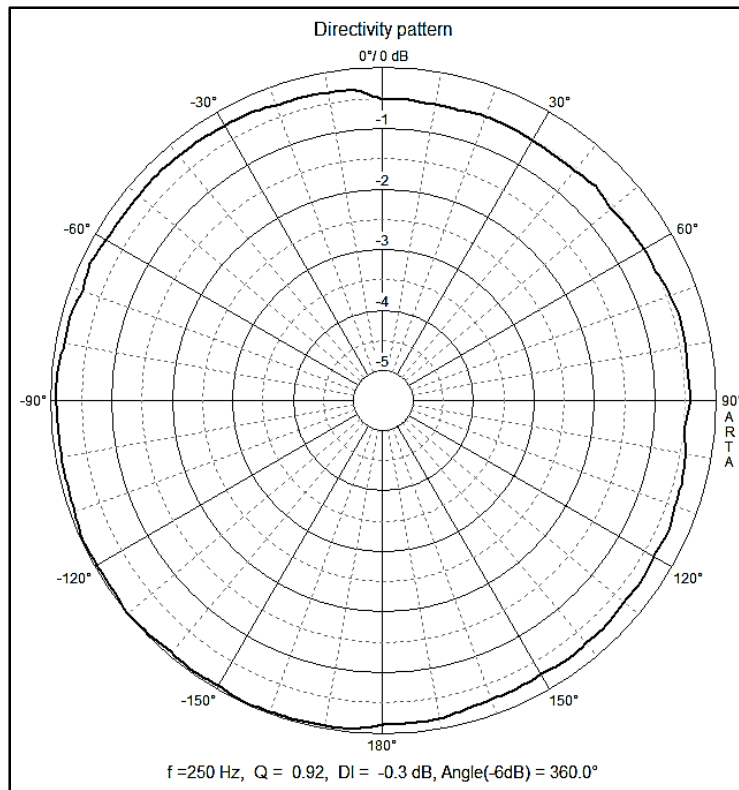


Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Como se podrá observar en el gráfico 31, la desviación direccional promedia cada 30° no sobrepasa los $\pm 1 \text{ dB}$ en el rango de 5 dB. Por lo tanto es permitido el tipo de desviación direccional en este rango de frecuencia de 125 Hz.

Gráfico 32.

Patrón polar en la frecuencia de 250 Hz, las desviaciones direccionales cada 30° , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360°

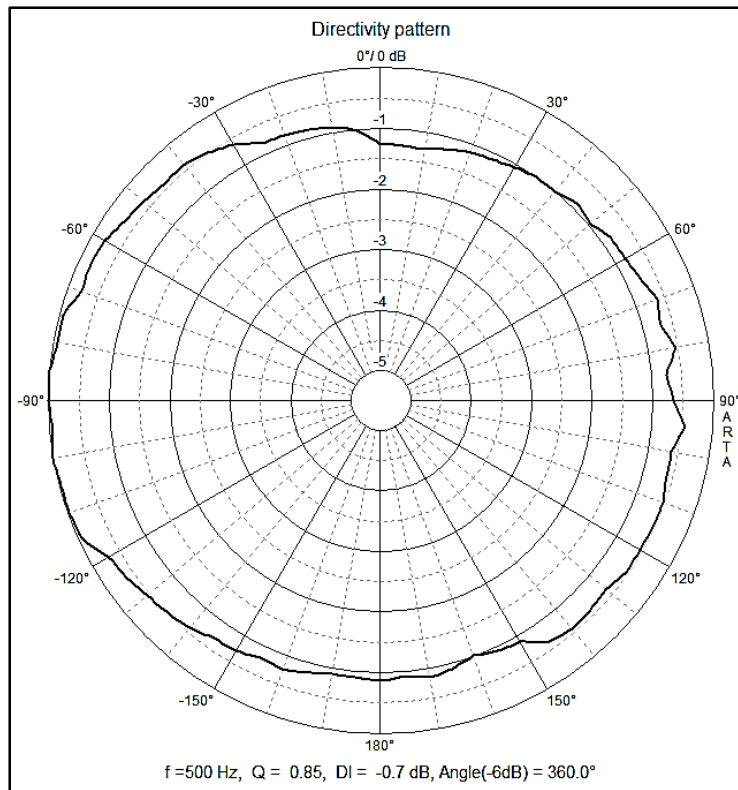


Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Como se podrá observar en el gráfico 32, la desviación direccional promedio cada 30° no sobrepasa los ± 1 dB en el rango de 5 dB. Por lo tanto es permitido el tipo de desviación direccional en este rango de frecuencia de 250 Hz.

Gráfico 33.

Patrón polar en la frecuencia de 500 Hz, las desviaciones direccionales cada 30° , el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360°

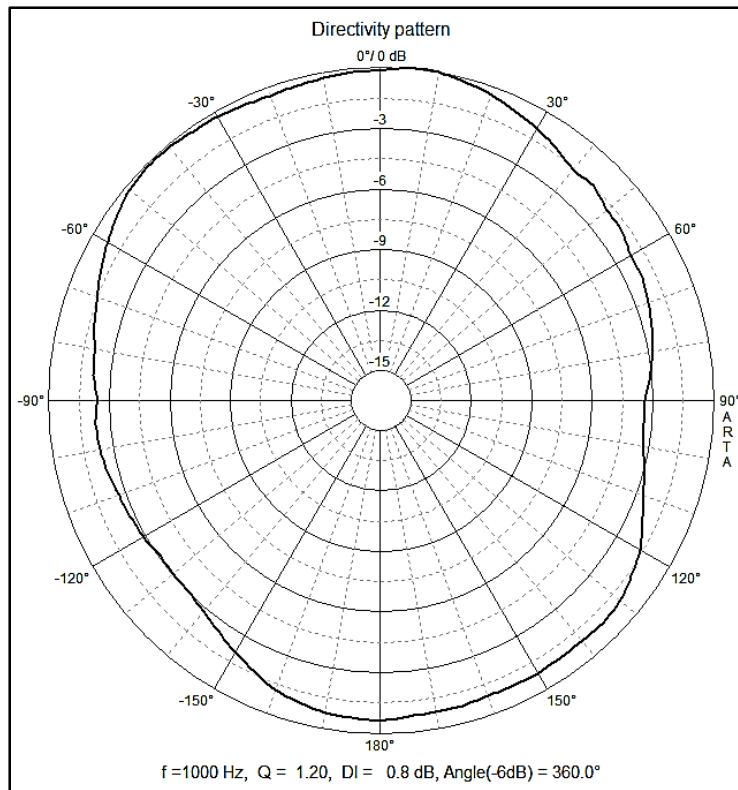


Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Como se podrá observar en el gráfico 33, la desviación direccional promedia cada 30° no sobrepasa los ± 1 dB en el rango de 5 dB. Por lo tanto es permitido el tipo de desviación direccional en este rango de frecuencia de 500 Hz.

Gráfico 34.

Patrón polar en la frecuencia de 1000 Hz, las desviaciones direccionales cada 30°, el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360°

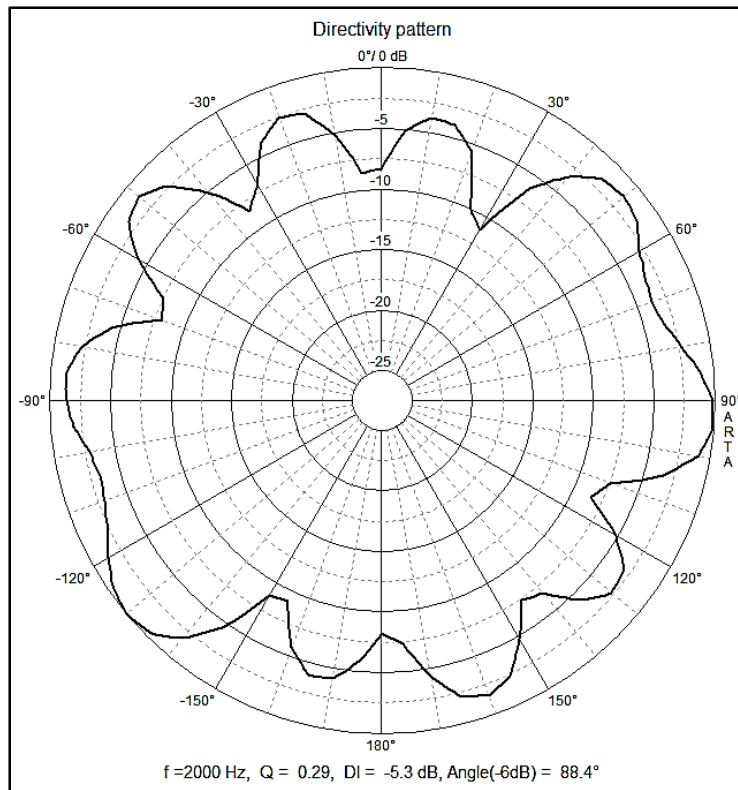


Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Como se podrá observar en el gráfico 34, la desviación direccional promedio cada 30° no sobrepasa los ± 3 dB en el rango de 15 dB. Si bien se observan curvas con mas desviaciones en la omnidireccionalidad, estos no sobrepasan los ± 3 dB, por lo tanto es permitido el tipo de desviación direccional en este rango de frecuencia de 1000 Hz.

Gráfico 35.

Patrón polar en la frecuencia de 2000 Hz, las desviaciones direccionales cada 30°, el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360°

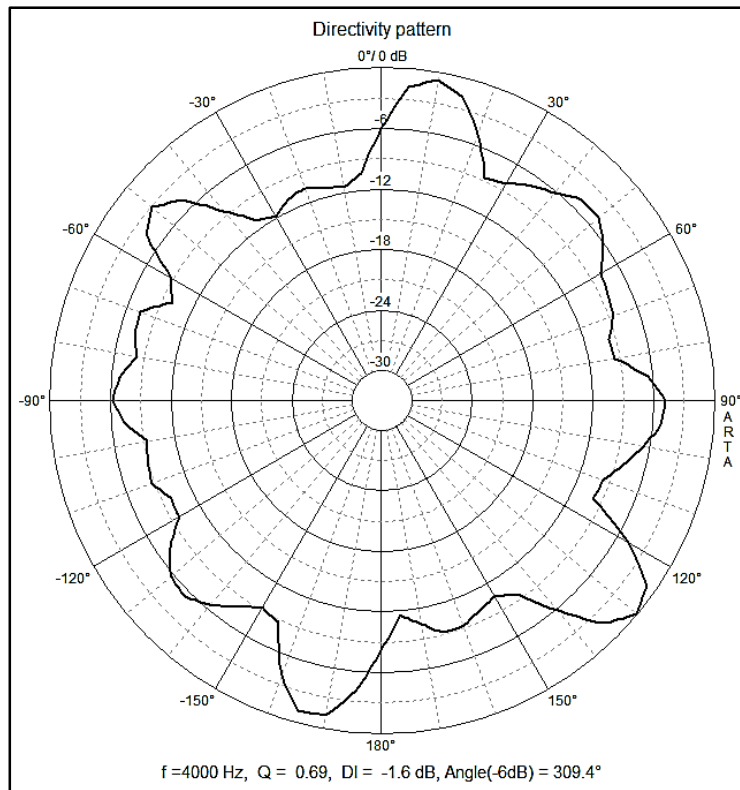


Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Como se podrá observar en el gráfico 35, la desviación direccional promedio cada 30° sobrepasa los ± 5 dB en el rango de 25 dB, entre los grados 30° y 60°; entre los grados -120° y -150°. Si bien se observan que estas curvas sobrepasan las desviaciones permitidas en la omnidireccionalidad, estos sobrepasan los ± 5 dB, por al menos 5 dB, por lo tanto no es permitido el tipo de desviación direccional en este rango de frecuencia de 2000 Hz.

Gráfico 36.

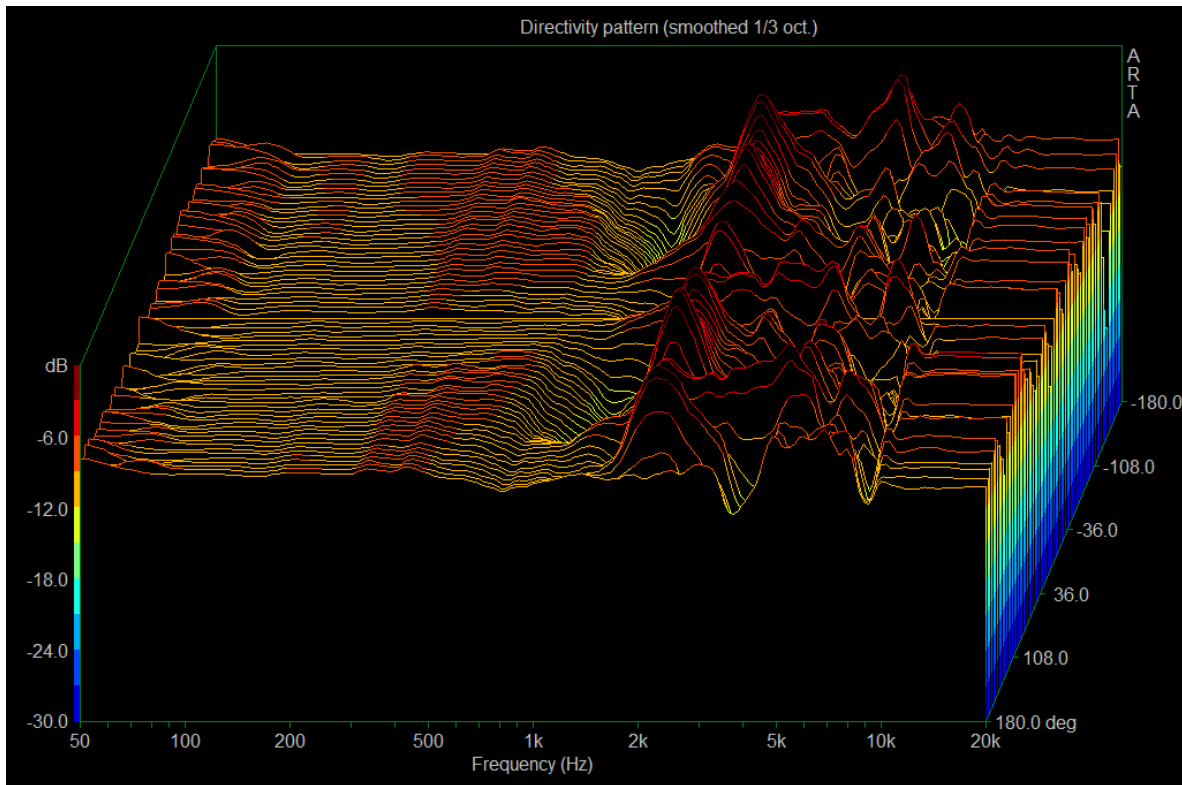
Patrón polar en la frecuencia de 4000 Hz, las desviaciones direccionales cada 30°, el factor Q, el parámetro de DI, y el ángulo promedio de desviación de la curva en 360°



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Como se podrá observar en el gráfico 36, la desviación direccional promedia cada 30° no sobrepasa los ± 6 dB en el rango de 30 dB. Si bien se observan curvas con mas desviaciones en la omnidireccionalidad, estos no sobrepasan los ± 6 dB, por lo tanto es permitido el tipo de desviación direccional en este rango de frecuencia de 4000 Hz.

Gráfico 37.
Patrón polar en forma de cascada a 1/3 de ocatava



Fuente: Elaboración propia mediante software ArtA

En el gráfico 37, se observan las variaciones en amplitud en distintas frecuencias y ángulos de la F.S.O.; los valles (lugares mas planos) muestran minimas variaciones, al contrario las partes mas montañosas (picos elevados) muestra la *no uniformidad* del patrón polar en frecuencias medias altas; esto indica que los altavoces no poseen una respuesta lineal en magnitud y frecuencia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Finalmente, en el análisis y situación de la Fuente Sonora Omnidireccional se mostró, mediante la evaluación acústica, el patrón polar respecto a las seis bandas de las frecuencia exigidas por la norma (mediante la elaboración del software Arta) del mismo modo haciendo uso de instrumentos y herramientas de medición de la manera más precisa posible, calibración exigida por el software Arta de las respectivas entradas y salidas del interfaz o tarjeta de sonido (convertor AD/DA) con la ayuda de un multímetro téster de una precisión de 0.001 voltios, un decibelímetro para medir el nivel de presión sonora y un micrófono de medición dedicado exclusivamente para este tipo de evaluaciones acústicas. Conocer con certeza la función de transferencia de los dispositivos eléctricos y electrónicos (con la ayuda de un circuito sonda atenuador) fue de mucha importancia al momento de analizar sus características, de tal modo que no afecte seriamente al comportamiento de los doce altavoces.

El proyecto de investigación “Análisis si la fuente sonora omnidireccional, construida en la ciudad de Cochabamba Bolivia, cumple las exigencias establecida por la norma ISO 3382-2001”, donde se presentó el desarrollo de una Fuente Sonora Omnidireccional, tipo dodecaedro, de dimensiones medianas (de 6 pulgadas cada altavoz) habiéndose concluido de manera satisfactoria con los objetivos planteados, en el diseño, construcción e implementación del mismo, poniendo a consideración la no totalidad del cumplimiento a la norma mencionada.

La *formalización* realizada al que fue sometida la Fuente, en nivel de presión sonora y patrón polar, nos mostró la posibilidad de conocer los resultados y evaluarlos conforme a la norma ISO 3382-2001.

Los resultados obtenidos durante la determinación de la Fuente Sonora Omnidireccional, muestran que si bien no posee una respuesta en frecuencia

uniforme, posee las condiciones mínimas en este parámetro para ser tomado en cuenta.

El nivel de presión sonora máximo entregado por la fuente, tomando en cuenta que alcanza los 107 dB, es suficiente para efectuar las mediciones de T_{60} , potencia y aislamiento, logrando cubrir el ruido de fondo que es por encima de los 60 dB. Considerando que este nivel de presión sonora nos limita y condiciona al uso de la Fuente en ambientes de grandes dimensiones y con ruido de fondo muy elevados.

El patrón polar, si bien las desviaciones máximas permitidas no sobrepasan en las frecuencias 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz y 4000 Hz, la frecuencia de 2000 Hz (ver gráfico 35 pág. 122) sobrepasa la desviación máxima permitida por la norma. Las condiciones en el momento de la medición no eran del todo favorables, si bien se elevó la fuente a más de tres metros, el lugar donde se realizó la medición no era del todo despejado de obstáculos (techos, paredes alejadas, arboles) a eso sumarle el ruido de fondo de motocicletas autos y ladridos de perros.

La función de transferencia del transformador toroidal (*Anexo 2*), nos muestra que en las doce salidas no existe ningún tipo de cancelaciones en el rango de frecuencia permitido, por lo tanto se descarta que tenga influencias en la respuesta en frecuencia de los doce altavoces.

En la respuesta en frecuencia de la F.S.O (*Anexo 3*) comparando con la respuesta en frecuencia del altavoz medido en pantalla infinita (ver gráfico 19, pág. 84) se puede ver un incremento considerable en más de 10 dB en bajas frecuencias. En el diseño de la caja acústica se eligió un factor de calidad total $Q_{tc} = 3$ (Gráfico 13, pág. 65); entonces eligiendo ese valor en el diseño hizo que se genere ese incremento considerable en la frecuencia de 262.45 Hz (*Anexo 3*) debido a la frecuencia de resonancia (f_c) de la caja, además que empeorando su respuesta transitoria (*Anexo 8*) generando así más distorsiones en el sistema del altavoz de caja cerrada en la F.S.O.

Los altavoces utilizados en este proyecto no son de uso profesional, de un grupo de cinco se eligió el que mejores condiciones nos entregaba en cuestión de parámetros técnicos (capítulo 5.1). Entonces la respuesta en frecuencia en magnitud, la directividad de los mismos, la posición misma de los altavoces montados en el recinto acústico en forma de dodecaedro (poniendo en consideración la directividad de cada altavoz en la frecuencia de 2 Khz y la posición de los mismos), la manera en que fueron fabricados y ensamblados afectaron seriamente en el funcionamiento óptimo de los doce altavoces; en alguno de ellos se encuentra pegamento excesivo en el tapa polvos haciendo que el peso del cono del altavoz aumente y afecte en ciertas frecuencias a un mejor rendimiento. La procedencia y marca de los mismos indican que no son altavoces profesionales procediendo de dudosas fábricas, comparando con afamadas marcas los materiales a utilizar no son los más adecuados para contar con un altavoz eficiente.

Mediciones del tiempo de Reverberación T_{60}

Cumpliendo con los objetivos específicos, se procedió con la medición del tiempo de reverberación de un recinto en dos oportunidades haciendo uso de la F.S.O. terminada, anteriormente se realizó una primera medición del T_{60} sin la F.S.O. en la sala de grabación de los estudios “Temple Records” (*Anexo 5*). Posteriormente se realizaron una segunda medición del T_{60} utilizando la F.S.O. en la misma sala de grabación del estudio “Temple Records” y tercera medición del T_{60} de la sala de grabación del estudio de la carrera de “Ingeniería en Sonido” de la Universidad Técnica Privada Cosmos (*Anexo 7*). Los resultados son bien notorios (comparando los resultados del *Anexo 5* y *Anexo 6*) en el tiempo de reverberación del estudio “Temple Records”, llegando a la conclusión de la necesidad e implementación de esta herramienta de trabajo (Fuente Sonora Omnidireccional) para el Ingeniero de Sonido en el área de Acústica.

Encuesta realizada a los profesionales de la carrera sobre el proyecto

En la etapa final del proyecto, se realizó una encuesta (*Anexo 4*) dirigido a un grupo focal de profesionales que trabajan en el área de la Ingeniería en Sonido, en las ciudades de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz. Así también se hizo conocer a los profesionales del eje troncal del país sobre este tipo de investigaciones que se espera den avances significativos a futuras investigaciones. El objetivo fue el conocer el grado de aceptación, por parte de los profesionales (*ver Anexo 9, en gráficos de estadísticas*) sobre el presente proyecto en: la construcción de fuentes sonoras omnidireccionales en forma de dodecaedro en el país de Bolivia; el grado de aceptación, los beneficios, la confianza puesta como herramienta de trabajo al momento de trabajar y los alcances en futuras investigaciones en el área de la carrera con el presente proyecto.

En la encuesta realizada a un grupo focal de personas en las tres ciudades del eje troncal del país, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, se determinó el grado de aceptación del presente proyecto por parte de los profesionales en el área de Ingeniería en Sonido.

El 40% de los profesionales encuestados trabajan en el área de acústica, el 20% en el área de Estudio de Grabación, el 30% en Acústica y Estudio de Grabación, y el 10% en el área de Refuerzo sonoro. Se puede ver que una mayoría trabaja en el área de Acústica, por lo tanto el presente proyecto tiene un gran número de porcentaje para ser utilizado como herramienta de trabajo en el área de Acústica.

De los encuestados el 80% tuvo la oportunidad de utilizar una Fuente Sonora Omnidireccional en forma de dodecaedro, 70% haciendo uso en el acondicionamiento y determinación de parámetros acústicos y el 10% en el área mencionada antes y control de ruido.

El 90% califica de “muy confiable” a la hora de trabajar con una fuente que cumpla la norma ISO 3382-2001, mientras tanto un 80% de aceptación de “muy confiable” si estas herramientas se construyesen con materiales del medio local.

Una gran mayoría (70%) considera que de la fuente construida se conozca más de las especificaciones técnicas y que cumpla la norma a cabalidad, para así tener un mayor grado de confianza a la hora de trabajar con la misma.

Con el prototipo de la Fuente Sonora Omnidireccional en forma de dodecaedro, se tiene las esperanzas en alcanzar las mejoras, de aquí para adelante, en las mediciones y evaluaciones acústicas en nuestro medio local de la ciudad de Cochabamba. El 50% de los profesionales encuestados atribuye al beneficio de facilitar los cálculos a la hora de las mediciones acústicas. El Ingeniero de Sonido y Acústica cuenta con una herramienta mucho más precisa, a comparación de una fuente convencional, al momento de trabajar en las evaluaciones y mediciones acústicas.

El presente proyecto de investigación es un aporte al conocimiento del desarrollo tecnológico dentro la Facultad de Tecnología en la carrera de Ingeniería de Sonido de la Universidad Técnica Privada Cosmos, el 100% de los profesionales encuestados respalda el diseño y construcción de este tipo de fuentes sonoras en el país para así tener avances significativos en futuras investigaciones en la Ingeniería de Sonido, Acústica y Electroacústica.

RECOMENDACIONES

Si bien los altavoces utilizados fueron seleccionados como los mejores entre un grupo de otros altavoces, se recomienda altavoces de mayor calidad con las siguientes características:

- Altavoces de mayor gama aumentando con ellos la sensibilidad (mayor a 90 dB) y eficiencia (con este parámetro obtenemos mayor nivel de presión sonora consumiendo menos potencia eléctrica, existen además altavoces de las mismas dimensiones de 6 pulgadas y de mayor potencia).
- Respuesta en frecuencia lo más uniforme o lineal posible.

- Que tengan un valor EBP alrededor o menos de los 50 para recintos o cajas acústicas cerradas, poseer un Q_{tc} lo más próximo a 0.8 para tener un sonido más detallado en cajas acústicas cerradas (recomendado en el libro de Vance Dickanson, Loudspeaker Design Cookbook 7° edición; pág. 30).
- A esto se sumaría el complementar un transformador toroidal de mayor potencia para el distribuidor de potencia pasivo y un amplificador de mayor potencia para el funcionamiento de la fuente.

Por recomendaciones del Ing. Marcelo Navia (uno de los encuestados) implementar en la etapa de entrada del altavoz una serie de circuitos donde se incluyen: filtros pasivos pasa bajos, un filtro Zobel (para aplanar la curva de Impedancia), filtros Notch y atenuadores para corregir la curva de respuesta en frecuencia. En la parte acústica el “redondear” los ángulos que posee la caja en forma de dodecaedro, para así minimizar los efectos de la difracción y obtener un patrón polar más uniforme en altas frecuencias.

Para futuras mediciones acústicas en laboratorio, función de transferencia de la Fuente, sería ideal contar con una sala anecoica (considerando que en el país no existe ninguna sala anecoica), debido a que las mediciones fueron realizadas en campo abierto y en horas de la noche para tratar de obtener un ruido de fondo lo más bajo posible.

Debido a la directividad en la banda de 2 KHz, que no cumple a cabalidad según la norma, se recomienda tener consideración en este aspecto, girar el altavoz de manera aleatoria para cambiar la posición del mismo y tomar muestras para posteriormente tener un promedio del valor entregado.

En el gráfico en cascada (gráfico 37, pág. 124) se pueden observar las variaciones de nivel de presión sonora en distintas frecuencias, esto indica que los altavoces no tienen una respuesta uniforme con tendencia plana o linear. Con la inserción de un equalizador gráfico en la cadena electroacústica se puede corregir el espectro de frecuencias de la F.S.O. para obtener una curva más plana o linear.

BIBLIOGRAFÍA

- BERANEK, Leo L; “*Acústica*”, Editorial Hispano Americana, Buenos Aires, 1969.
- CARRIÓN ISBERT, Antoni; “*Diseño Acústico de espacios arquitectónicos*”, UPC 1ra edición, Madrid, 1998.
- DELALEU, Charles Henry; “*Altavoces y cajas acústicas*”, Editorial Paraninfo segunda edición, Madrid, 1994.
- DICKASON, Vance, “*Loudspeakers Design Cookbook*”, Audio Amateurs Press, séptima edición, 2006.
- HARRIS, Cyril; “*Manual de medidas acústicas y control de ruido*”, McGraw-Hill 3ra edición, Madrid, 1995.
- MÖSER, Michael · BARROS, José Luis; “*Ingeniería Acústica teoría y aplicaciones*”; Springer-Verlag 2ª edición, Berlín Heidelberg, 2009.
- MARTIN, Juan Carlos; “*Maquinas Eléctricas*”, Editex Editorial, 2012.
- Norma Internacional “*UNE-EN ISO 3382*”, Madrid 2001.
- SMALL, Richard H., “*Sistemas de Altavoces Bass Reflex*”, N.S.W School of Electrical Engineering, Sydney Australia, 2006. (Papers publicados por primera vez en 1973)
- SMALL, Richard H., “*Sistemas de Altavoces de Caja Cerrada*”, N.S.W School of Electrical Engineering, Sydney Australia, 2006. (Papers publicados por primera vez en 1973)
- THIELE, A.N., “*The Thielle-Small Parameters for Measuring, Specifying and Designing Loudspeakers*”, Conferencia Internacional PALA, Singapur, publicado el 2004.

PAGINAS WEB:

ÁLVAREZ, Julio, “Transformadores”, 2009, publicación digital, en:

https://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica_y_maquinas_electricas/apuntes/7_transformador.pdf

AENOR, Asociación Española de Normalización, obtenido de:

http://www.wikipedia.org/wiki/Asociación_Española_de_Normalización_y_Certificación

“Altavoces”, publicación digital, pág. 2. Obtenido de la Asociación Cultural para la Promoción y el desarrollo del audiovisual en:

<http://www.acpda.com/marxadella.com/images/stories/documentos/Sonido/altavoces.pdf>

“Características técnicas de un altavoz”, artículo digital, pág. 4-15, obtenido de:

<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2666/88.pdf?sequence=1>

“Creación de patrones de directividad en el software Artá”, manual del software Artá de ArtáLabs, en:

<http://www.artalabs.hr/AppNotes/Limp-ManualDeUsuarioEspanol-1.2.0.pdf>

CEN, Comité Europeo de Normalización, obtenido de:

http://www.wikipedia.org/wiki/Comité_Europeo_de_Normalización

“Directividad”, artículo digital D.A.S. Audio, en:

<http://www.dasaudio.com/soporte7faq/acustica-y-vibracion/que-es-el-indice-de-directividad; 26/06/2015>

“Filtros”, artículo digital, pág. 9, en:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/rufino_a_j/capitulo2.pdf

LOZADA PRIETO, Jesús; “Cajas Acústicas”, publicación digital, citando a *Richard H. Small y Neville Thiele de los papers “The Thiele-Small Parameters for Measuring, Specifying and Designing Loudspeakers”*, en:
http://www.che.es/directorio/albums/userpics/10026/cajas_acusticas_libro_altavoces_parametros_medicion_calculo_diseño_bass_reflex_cerradas_materiales_sala_audion_colocacion_ejemplos_loudspakers.pdf

“Parámetros del altavoz electrodinámico”; manual del software Arta de ArtaLabs, pág. 23-27, citando a *Richard H. Small y Neville Thiele de los papers “The Thiele-Small Parameters for Measuring, Specifying and Designing Loudspeakers”*, en:
<http://www.artalabs.hr/AppNotes/Limp-ManualDeUsuarioEspanol-1.2.0.pdf>

Potencia de los altavoces, publicación digital obtenida de la web de los profesores del Área de Teoría de la señal y Comunicaciones en:
<http://tsc.unex.es/~pnuntru/2009..10/EA/Tema6/T6.%20Altavoces.pdf>

Potencia de los altavoces, obtenido de D.A.S Audio en:
<http://www.dasaudio.com/faq-2/aguante-de-potencia/que-es-la-potencia-rms/>
<http://www.dasaudio.com/faq-2/aguante-de-potencia/que-es-la-potencia-aes/>

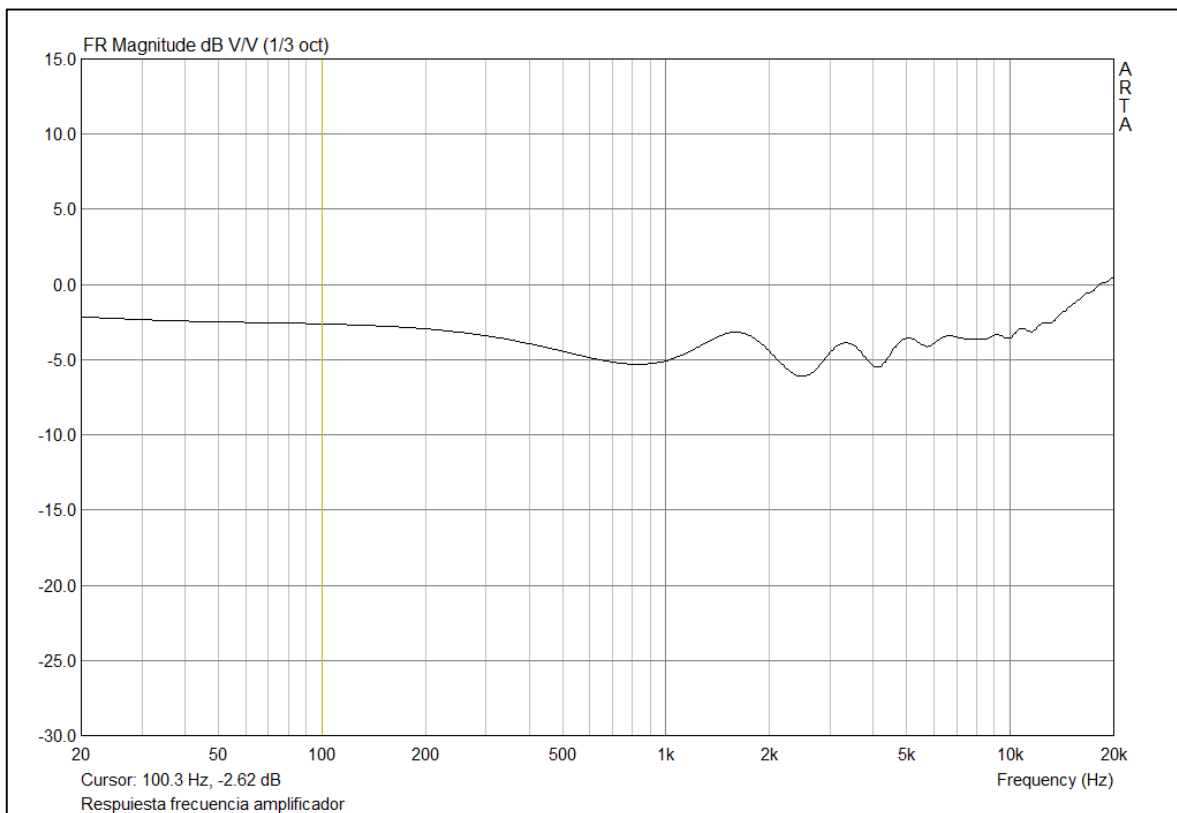
“Sistema de voltaje constante”, publicación digital pág. 17-18, citando a TREMAINE, Howard M.; “Audio-Cyclopedia”, Howard W. Sams Co., 1969, en:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfci649s/doc/bmfci649s.pdf>

Anexos

Anexo 1

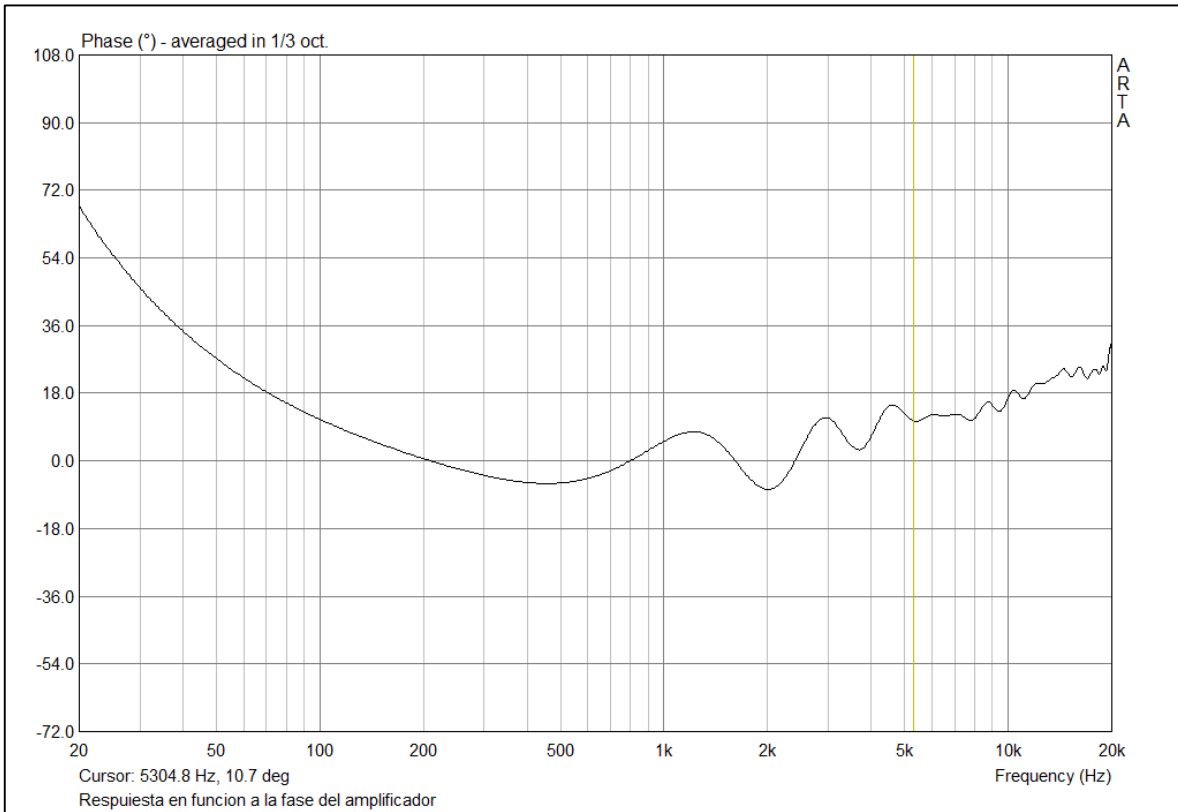
Graficas que nos muestran la función de transferencia del amplificador utilizado en escala de 1/3 octava (a mayor detalle y escala). Se utilizó un amplificador de potencia de la marca Behringer iNuke DSP6000

Gráfico 38.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida del amplificador Behringer iNuke DSP6000



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 39.
Respuesta en función a la fase de la salida del amplificador Behringer iNuke DSP6000



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

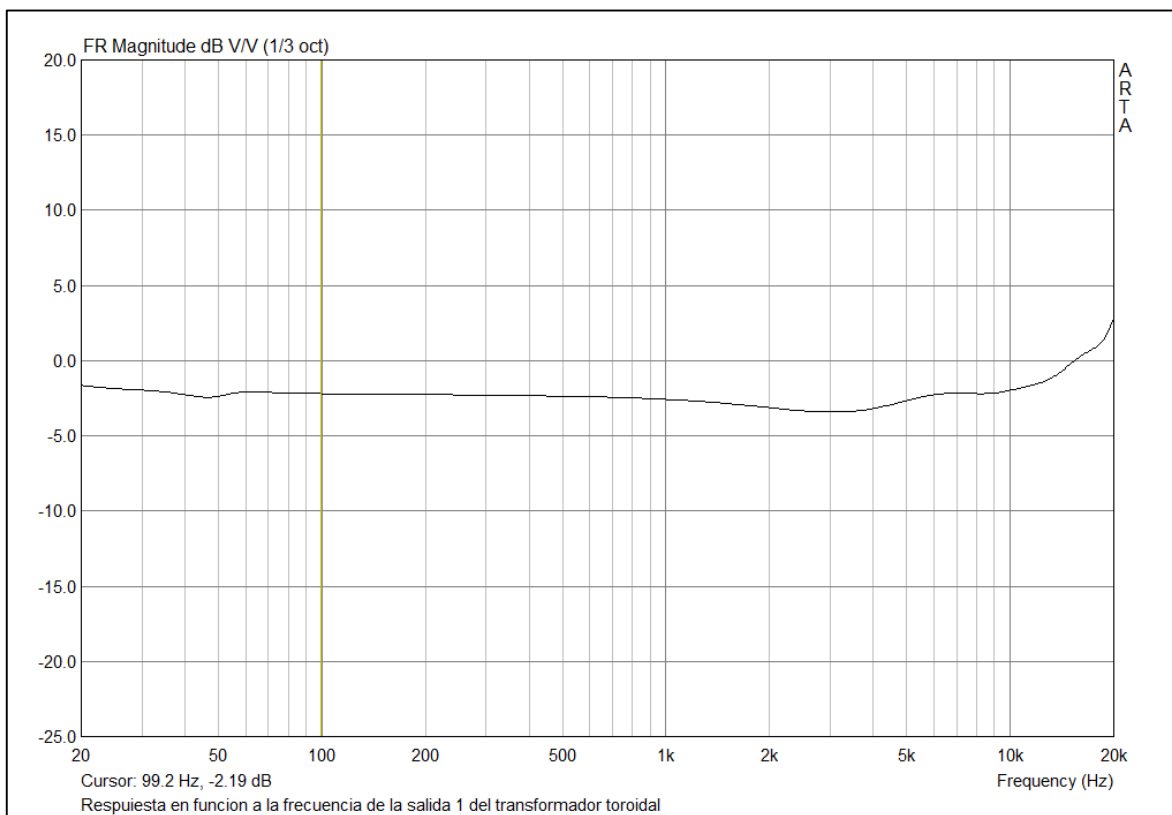
Anexo 2

Gráficas que nos muestran la función de transferencia de las doce salidas del transformador toroidal en escala de 1/3 de octava (en mayor detalle y escala)

Respuesta en Frecuencia de las 12 salidas del transformador Toroidal

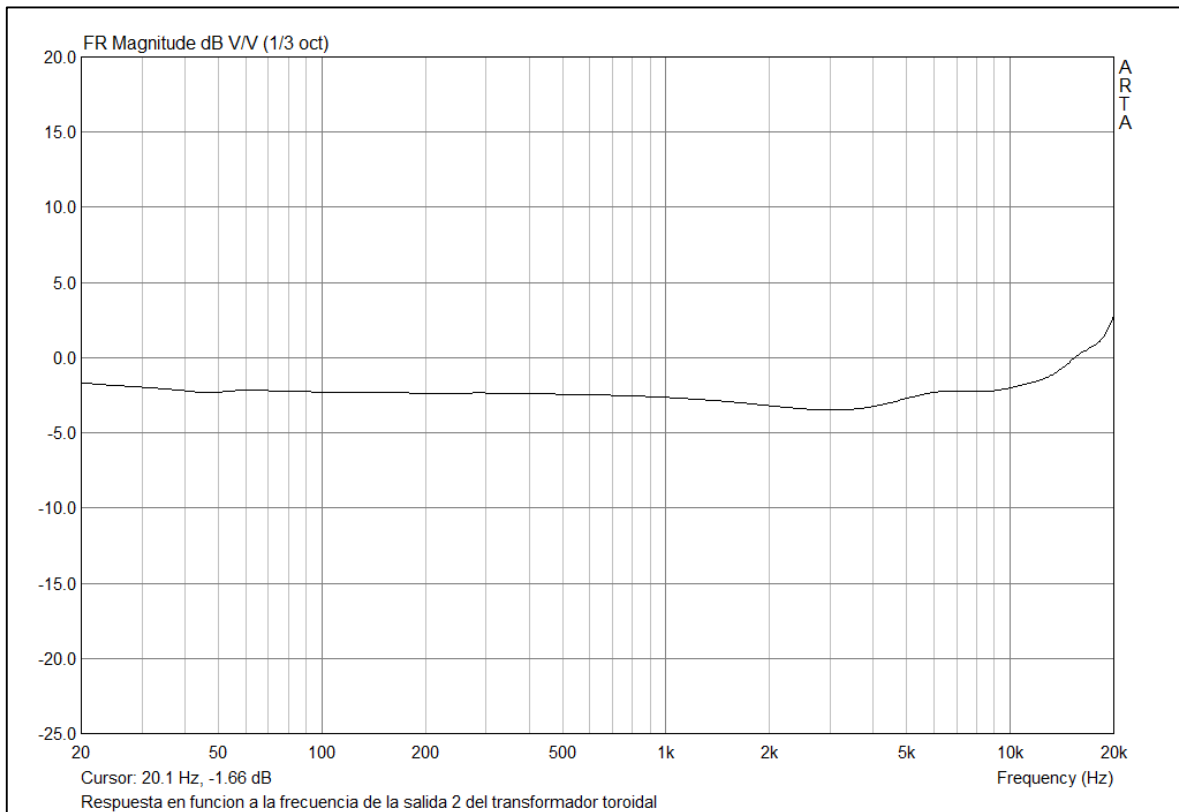
Gráfico 40.

Respuesta en función a la frecuencia de la salida 1 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

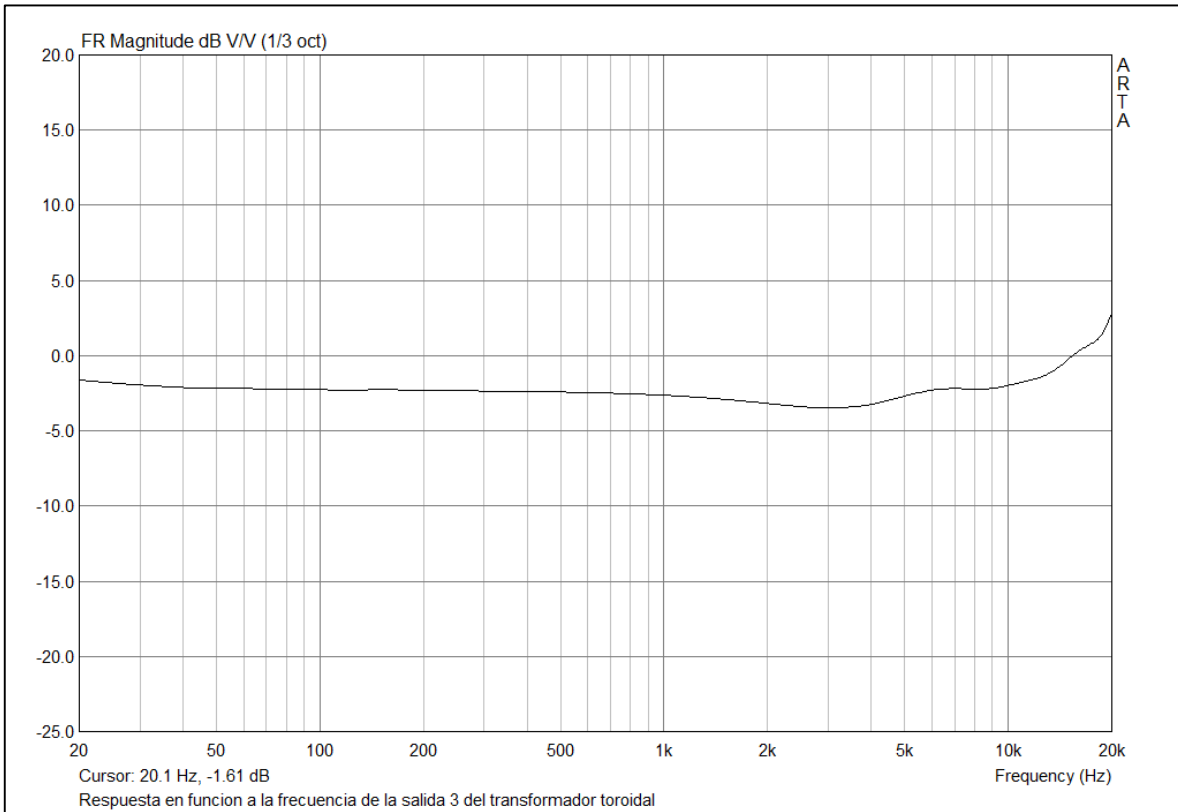
Gráfico 41.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 2 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 42.

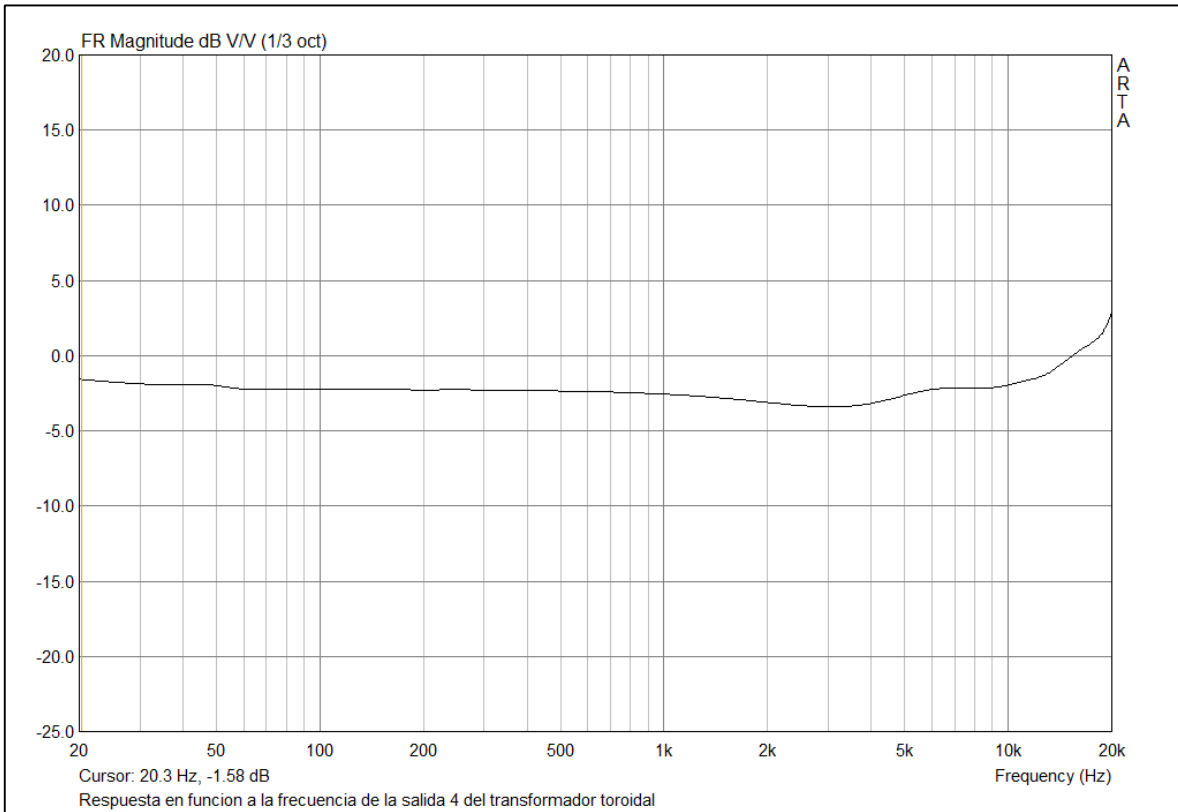
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 3 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

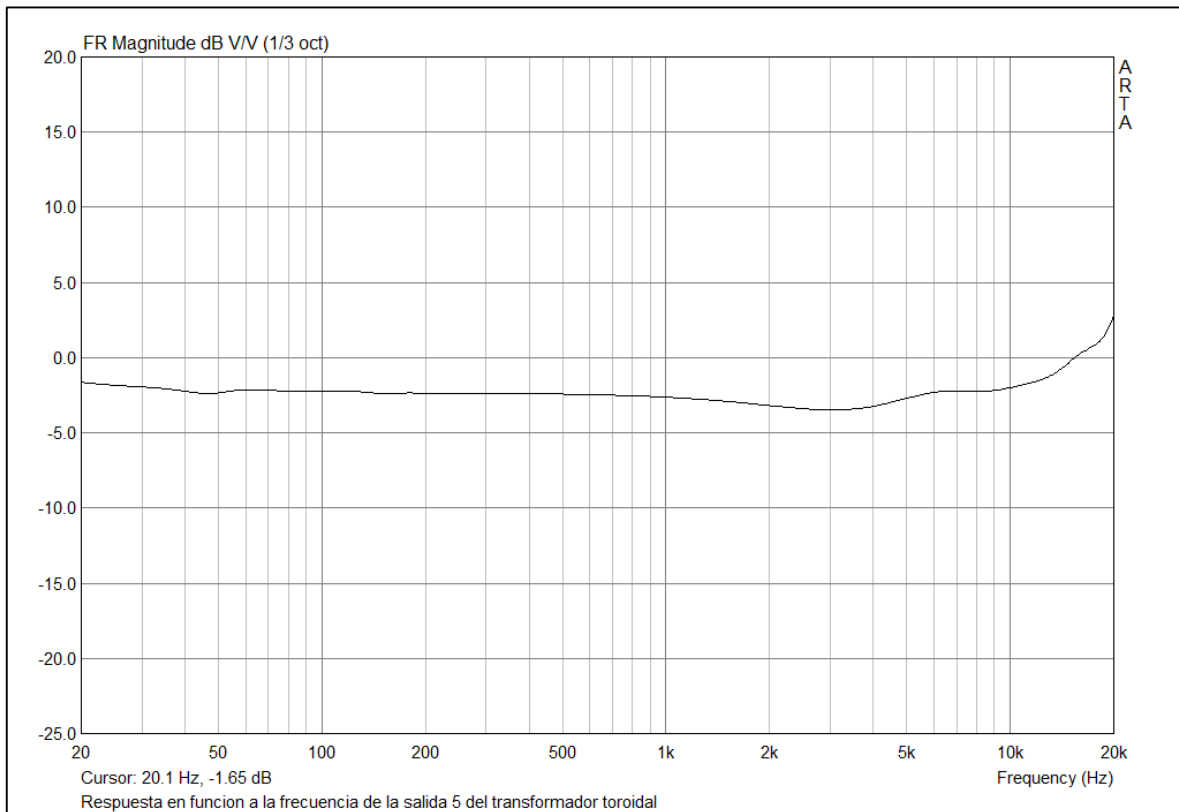
Gráfico 43.

Respuesta en función a la frecuencia de la salida 4 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

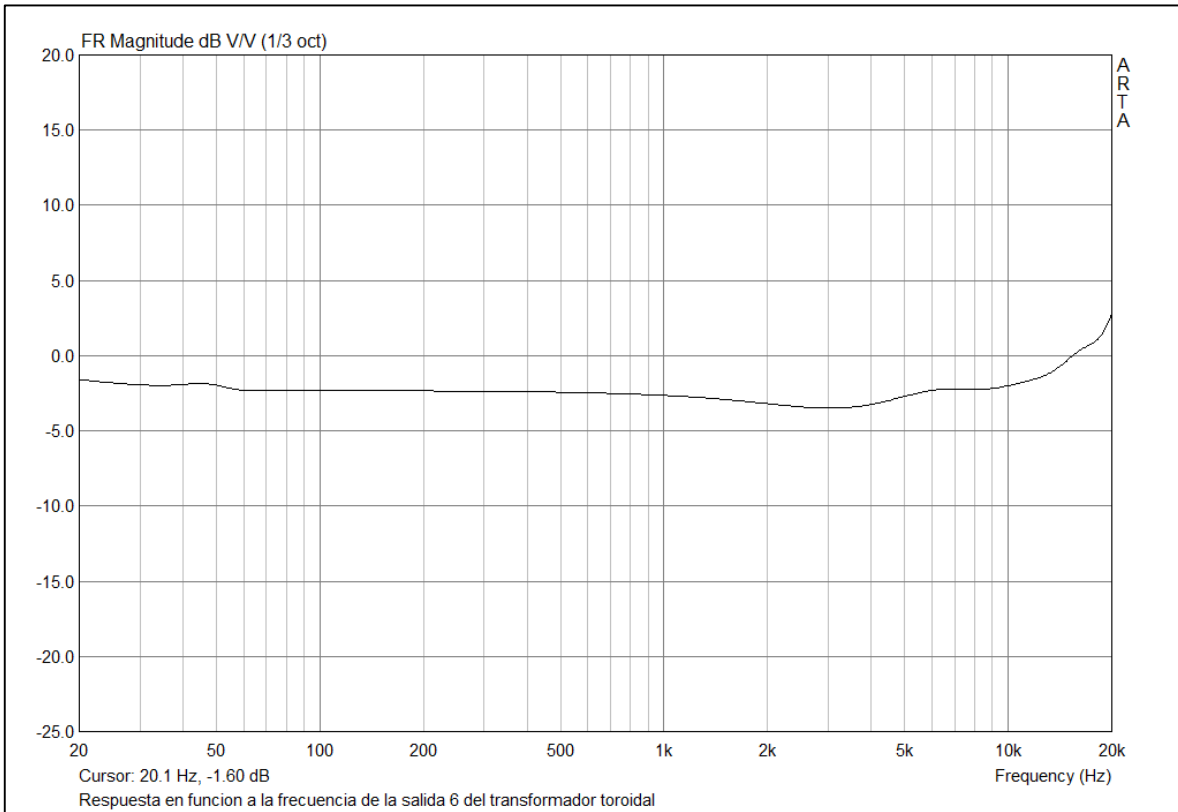
Gráfico 44.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 5 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

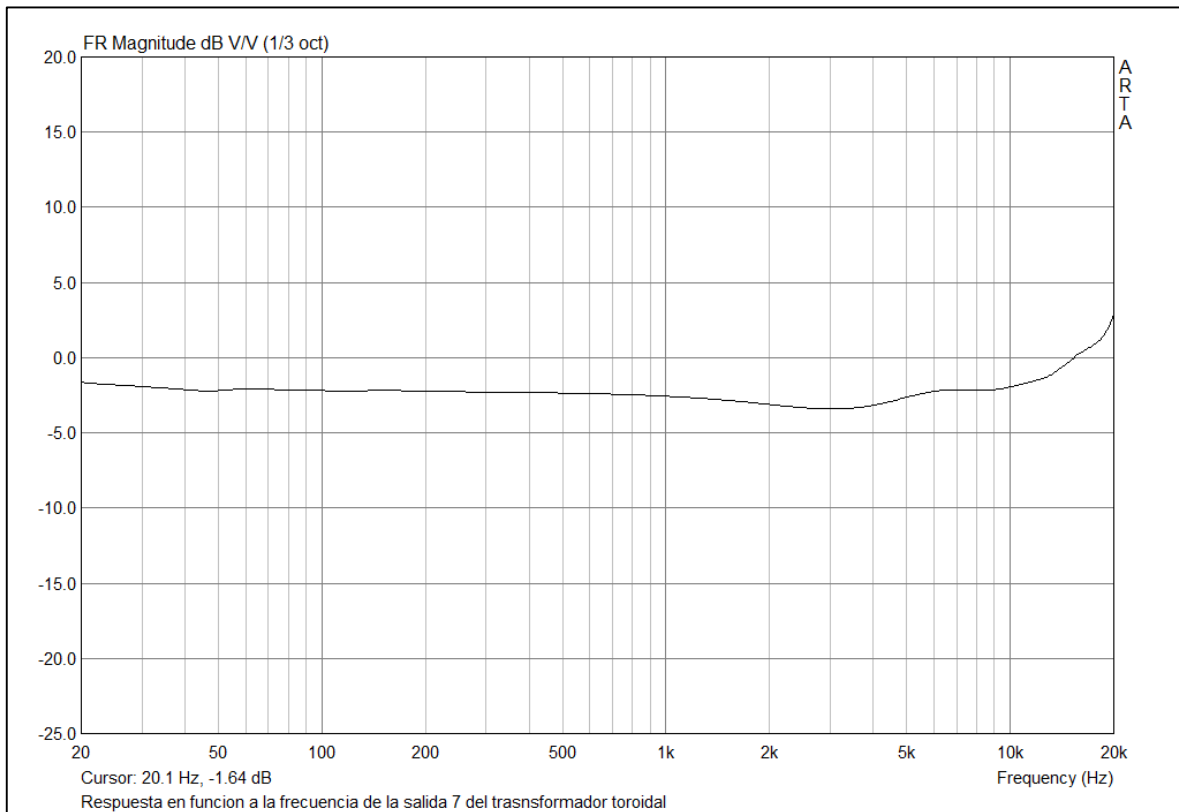
Gráfico 45.

Respuesta en función a la frecuencia de la salida 6 del transformador toroidal utilizado



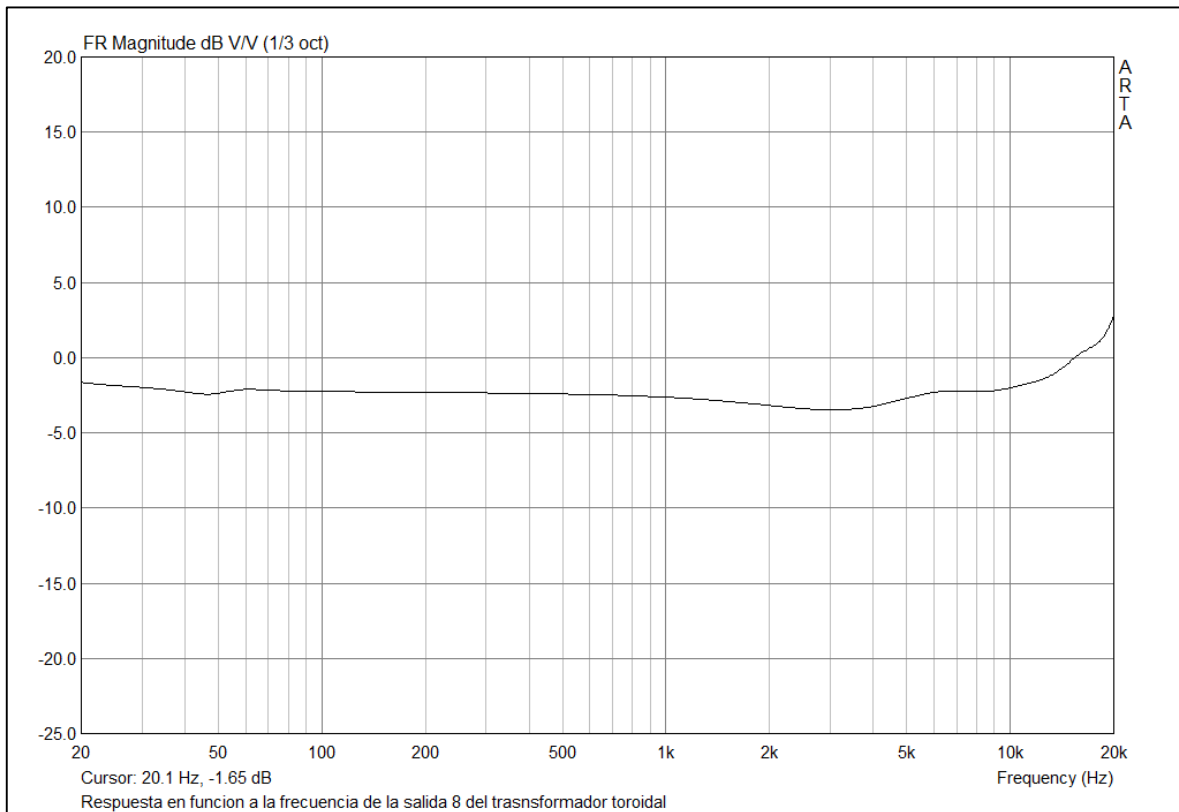
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 46.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 7 del transformador toroidal utilizado



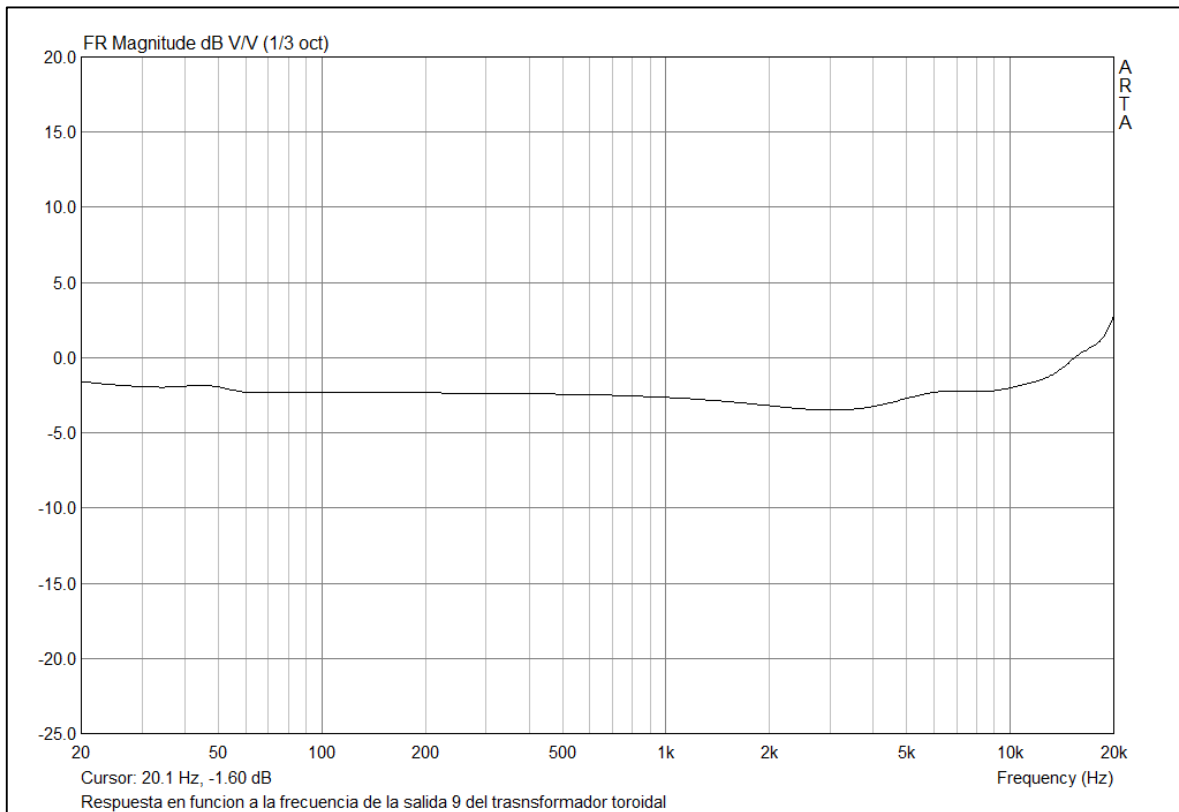
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 47.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 8 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

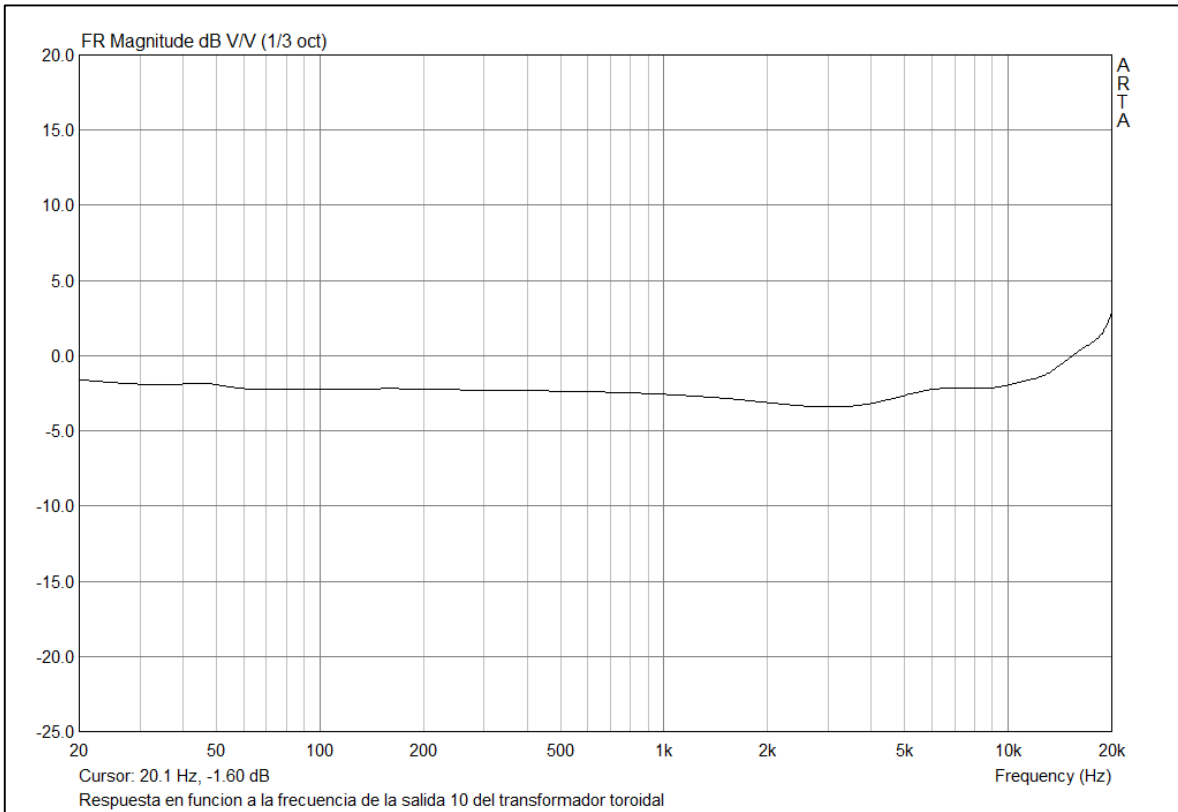
Gráfico 48.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 9 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

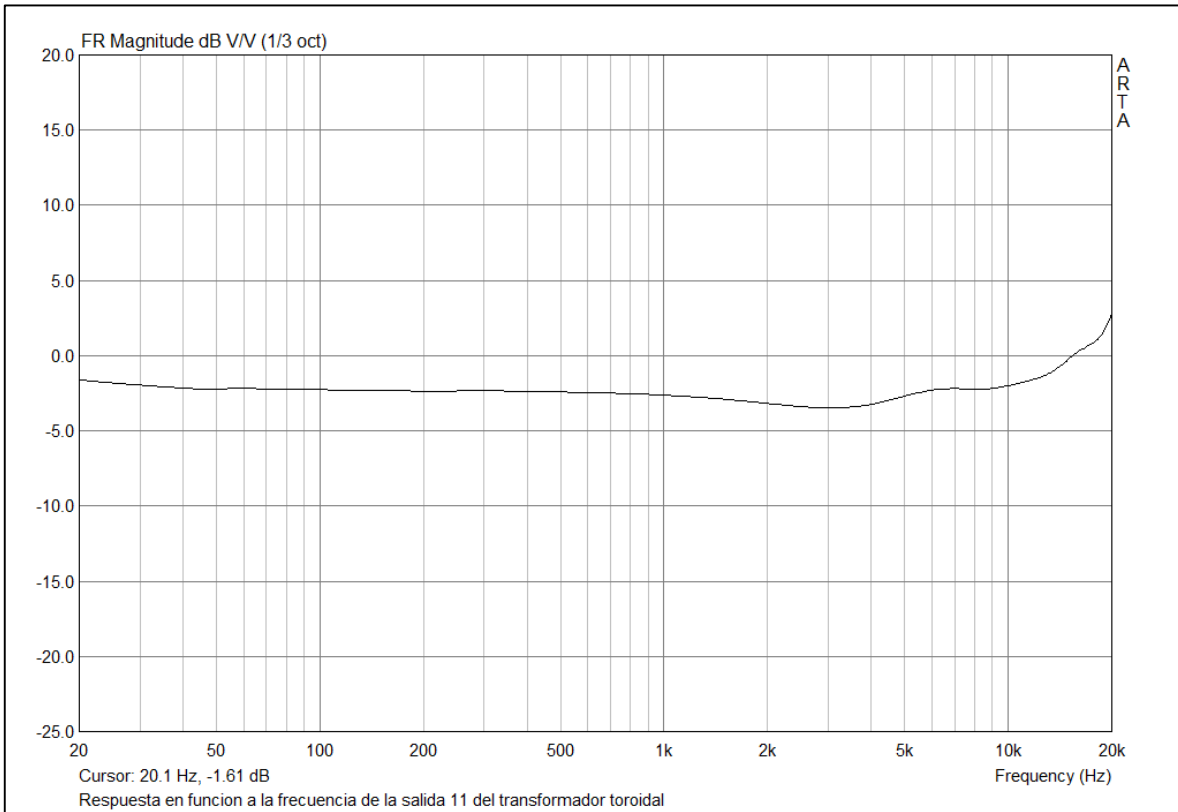
Gráfico 49.

Respuesta en función a la frecuencia de la salida 10 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

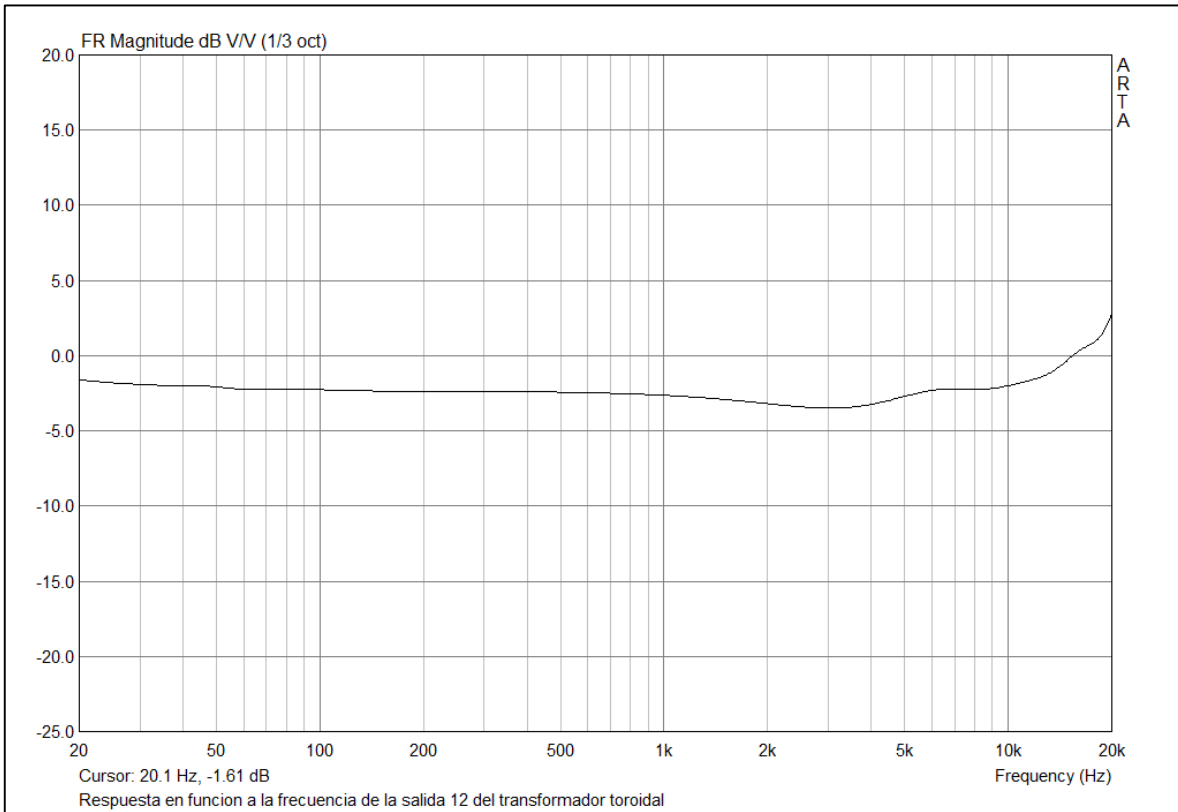
Gráfico 50.
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 11 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 51.

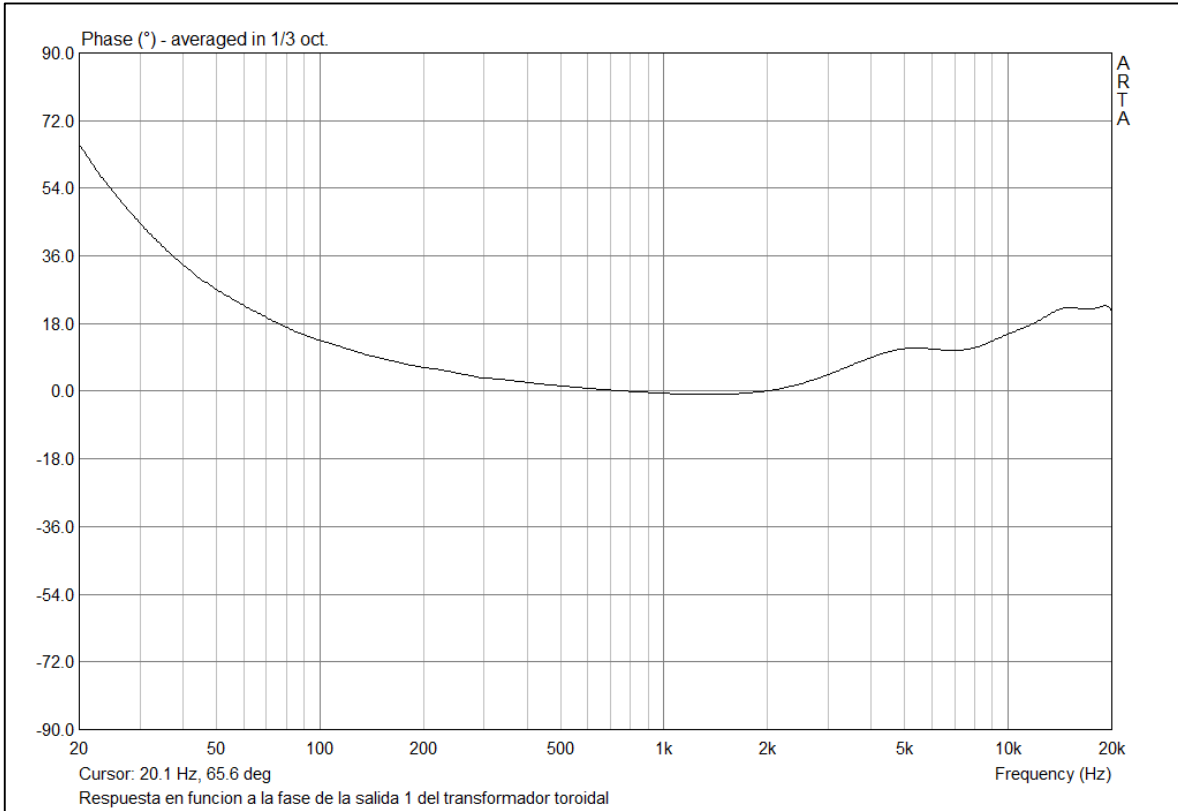
Respuesta en función a la frecuencia de la salida 12 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

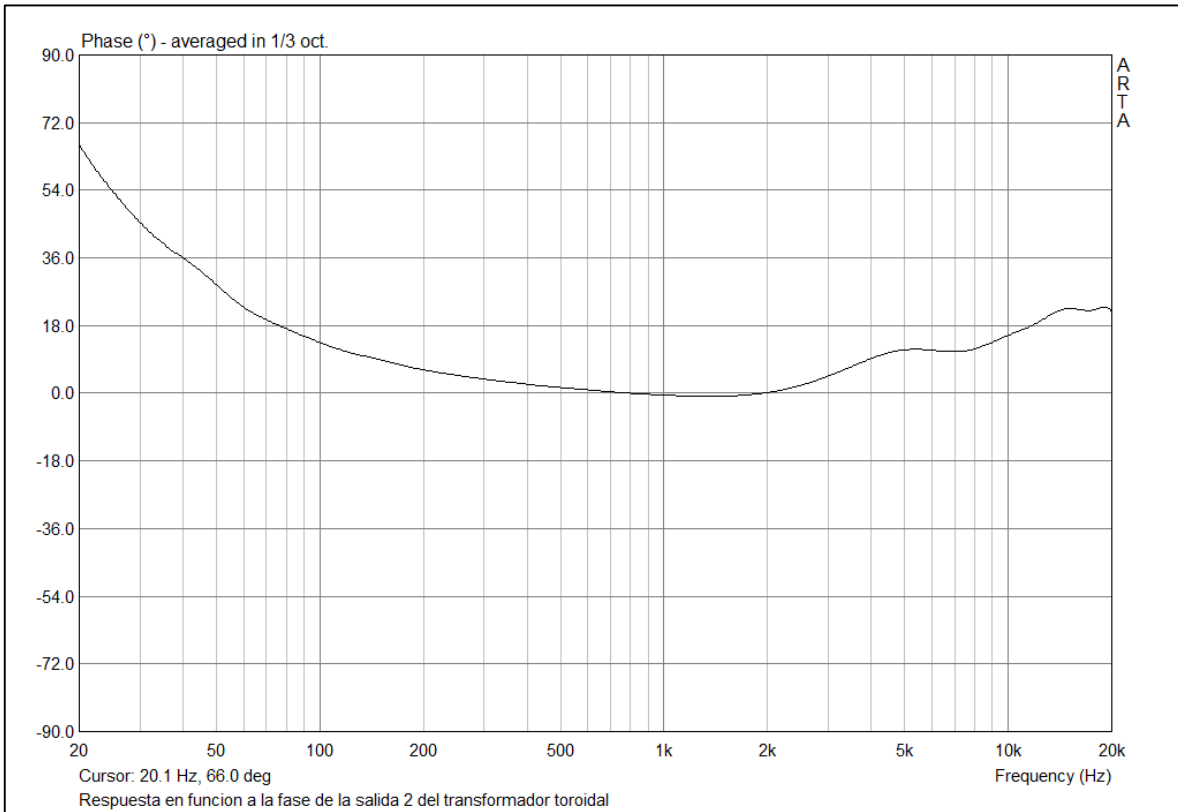
Respuesta en función a la fase de las 12 salidas del transformador Toroidal

Gráfico 52.
Respuesta en función a la fase de la salida 1 del transformador toroidal utilizado



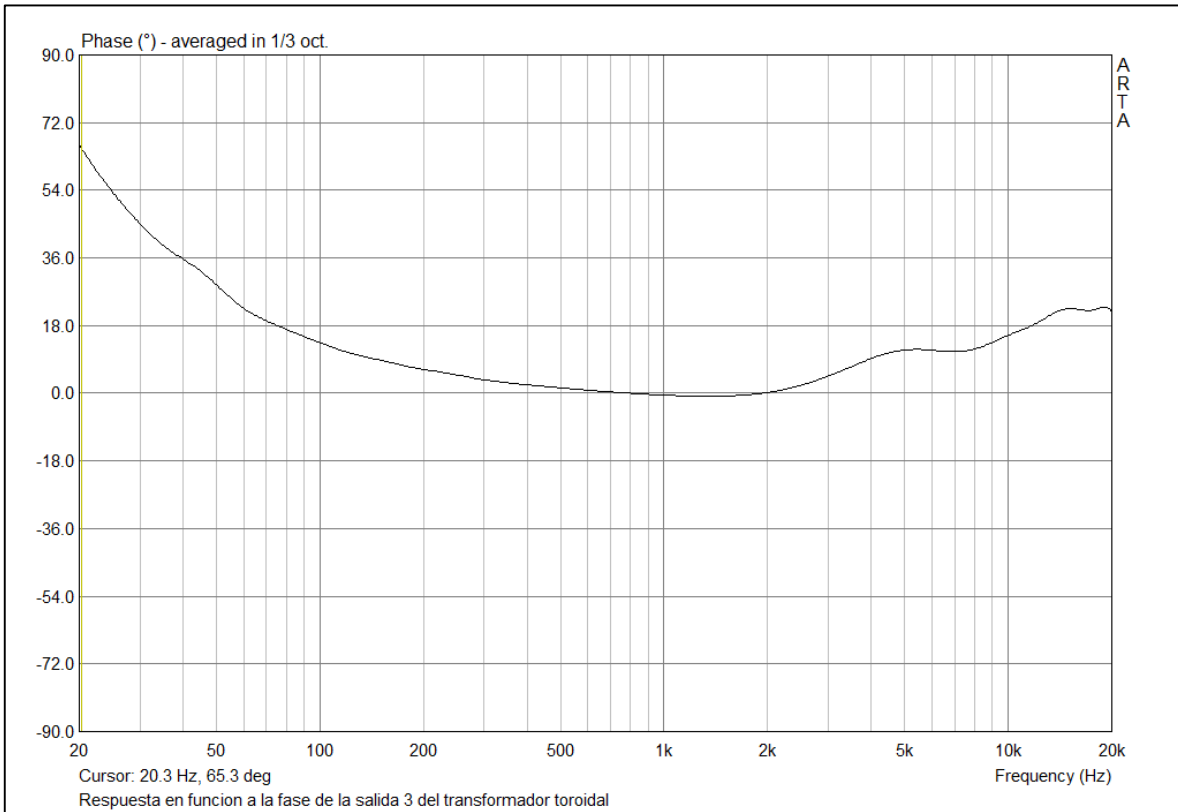
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 53.
Respuesta en función a la fase de la salida 2 del transformador toroidal utilizado



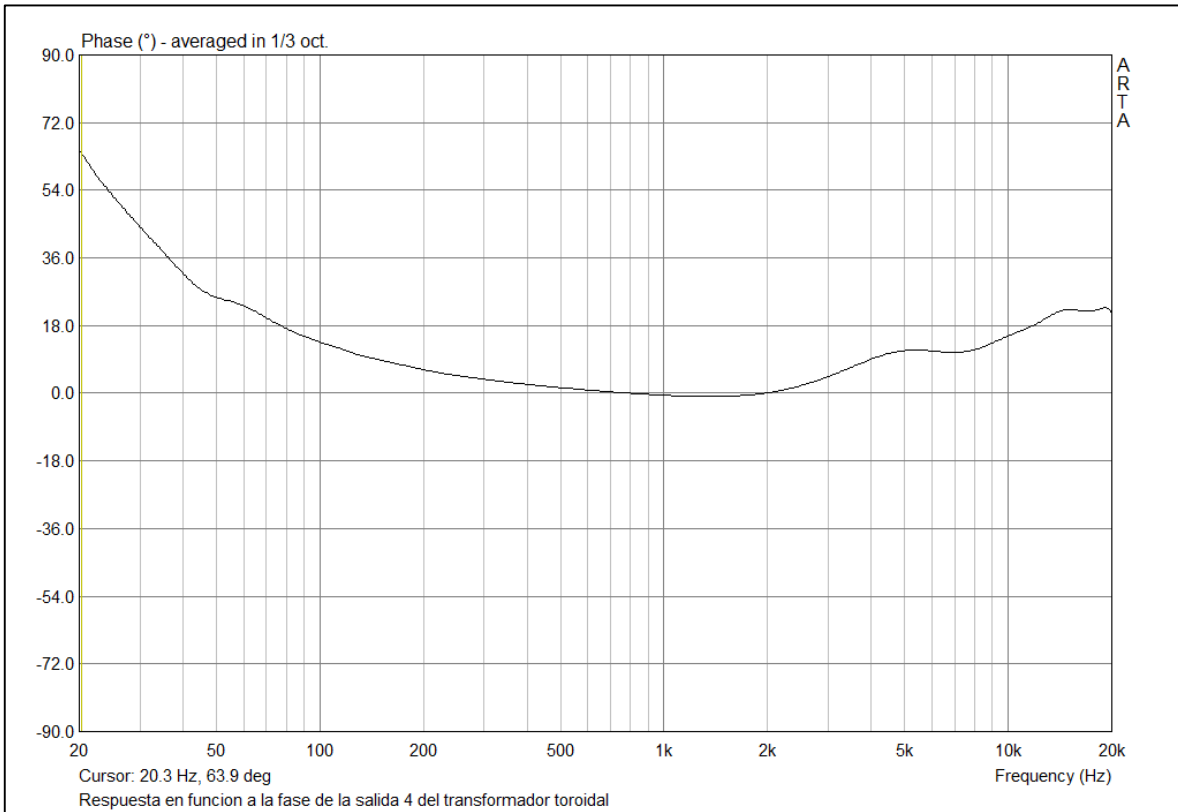
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 54.
Respuesta en función a la fase de la salida 3 del transformador toroidal utilizado



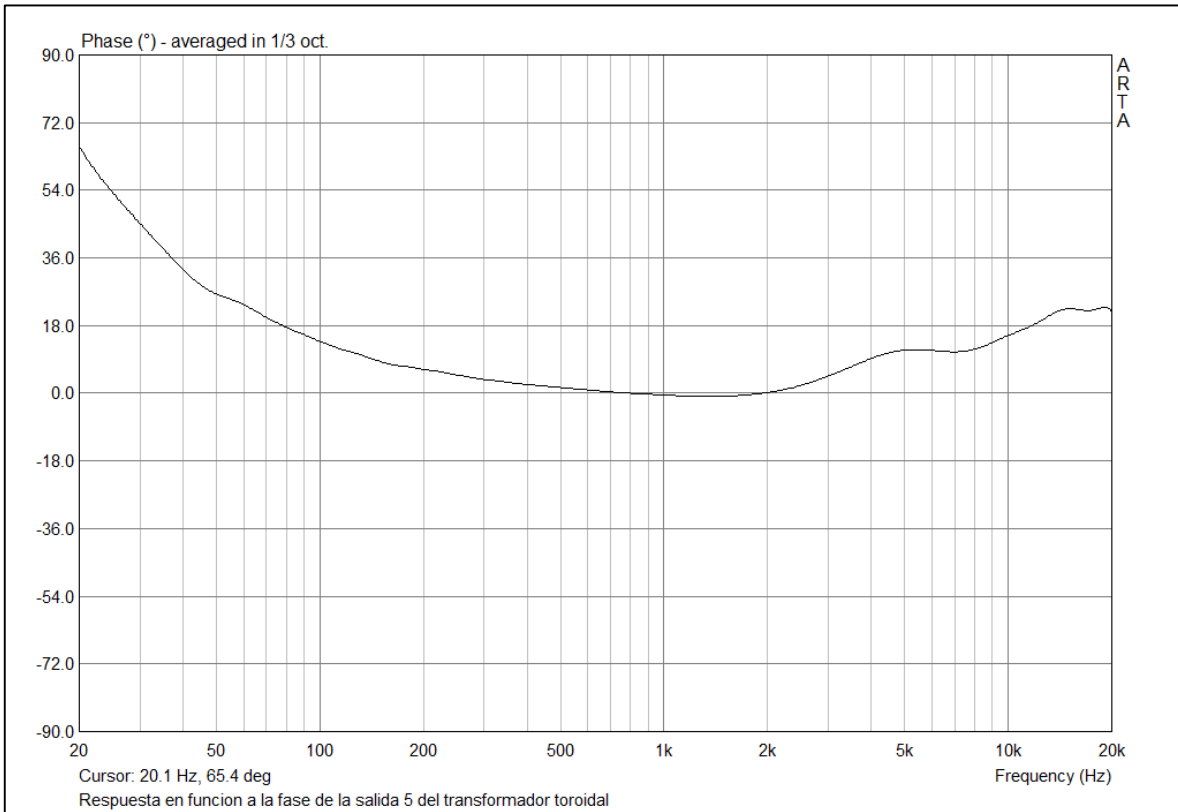
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 55.
Respuesta en función a la fase de la salida 4 del transformador toroidal utilizado



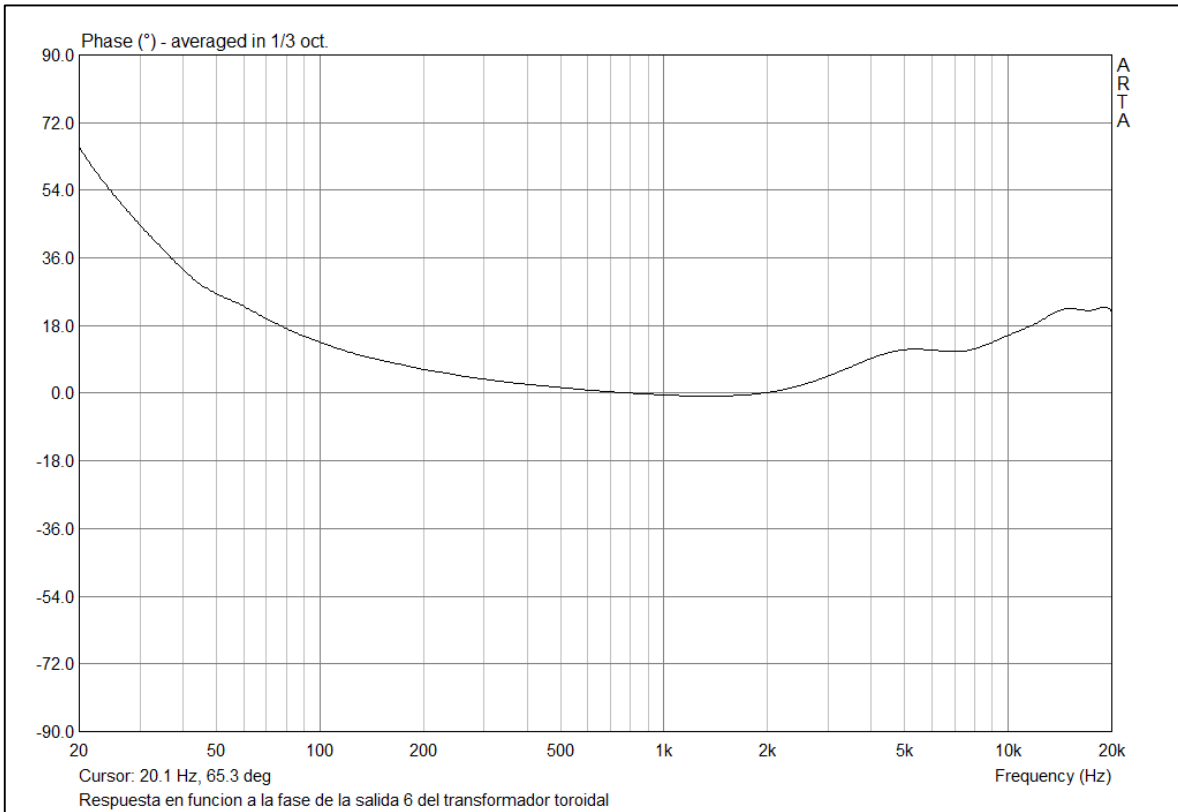
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 56.
Respuesta en función a la fase de la salida 5 del transformador toroidal utilizado



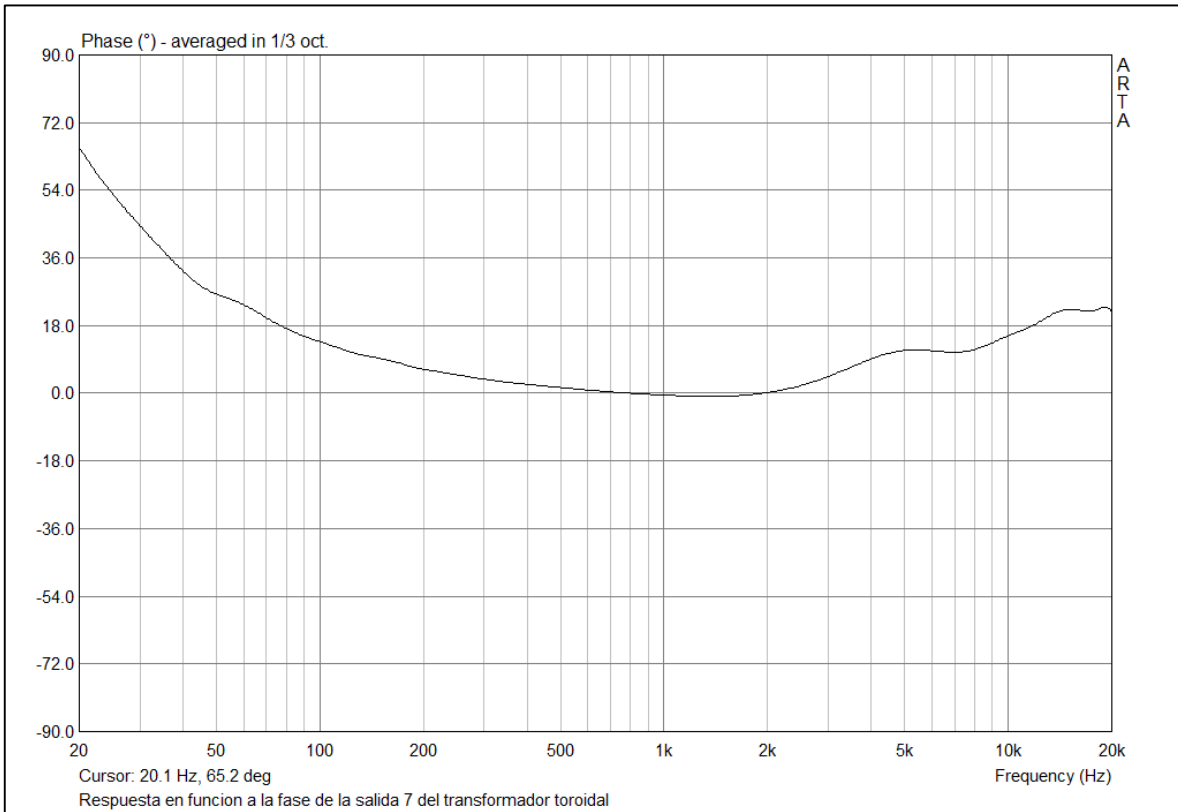
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 57.
Respuesta en función a la fase de la salida 6 del transformador toroidal utilizado



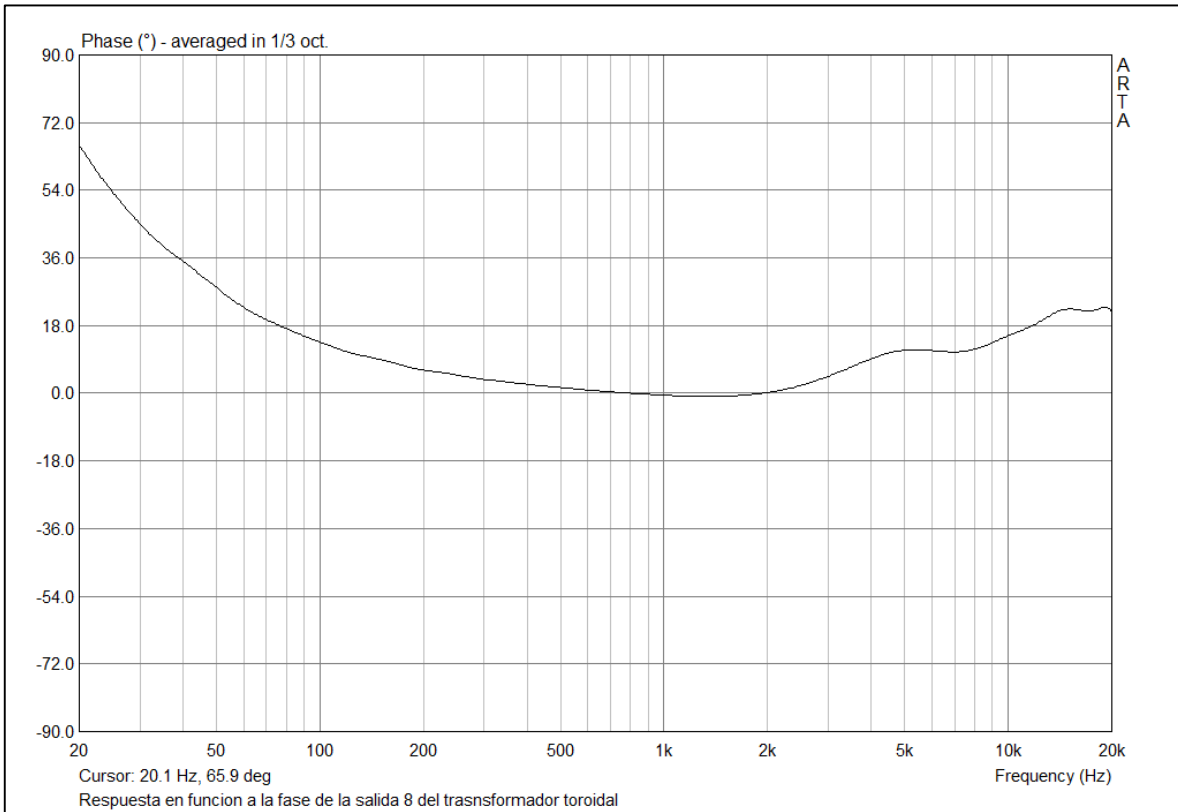
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 58.
Respuesta en función a la fase de la salida 7 del transformador toroidal utilizado



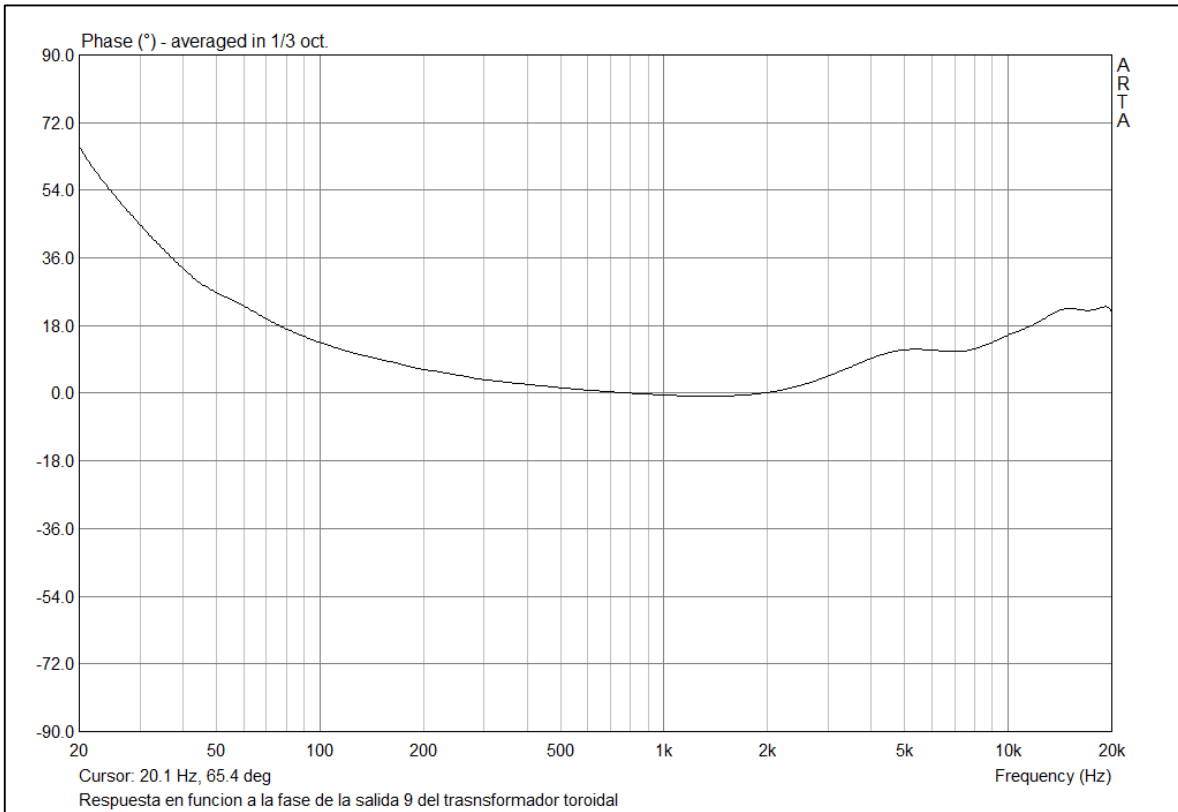
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 59.
Respuesta en función a la fase de la salida 8 del transformador toroidal utilizado



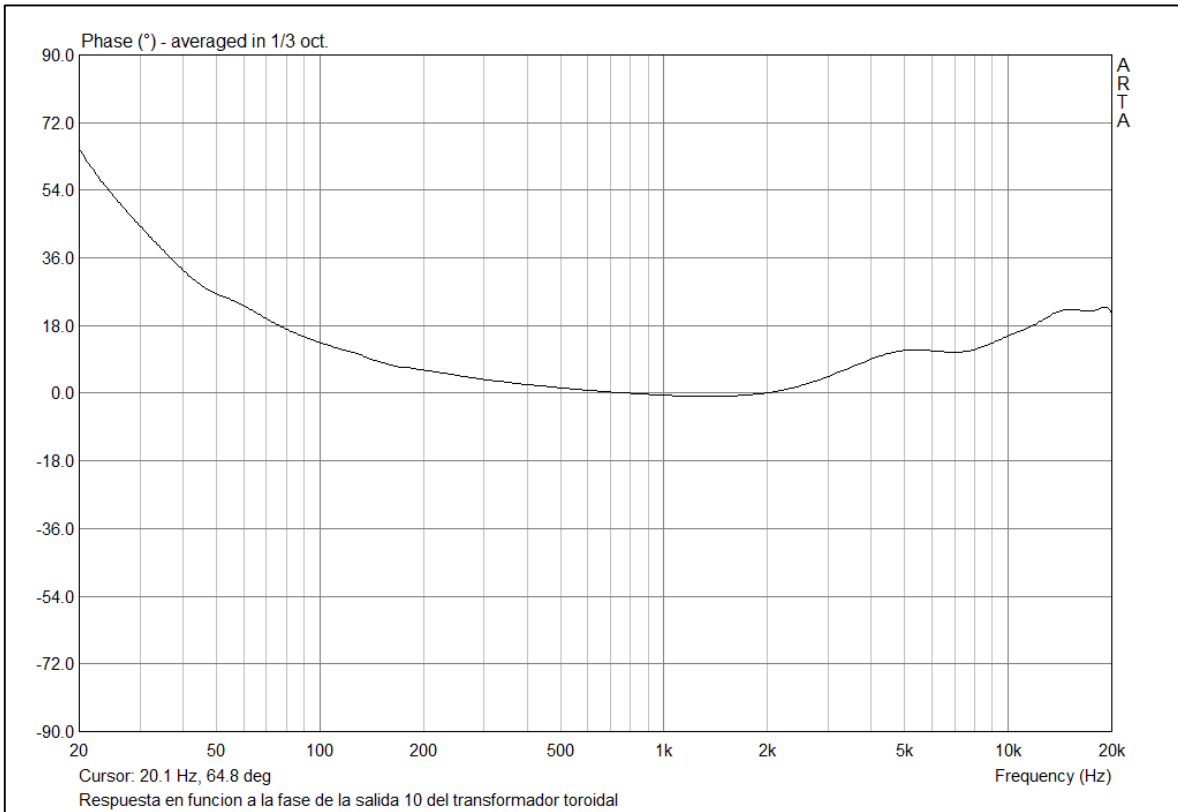
Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 60.
Respuesta en función a la fase de la salida 9 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

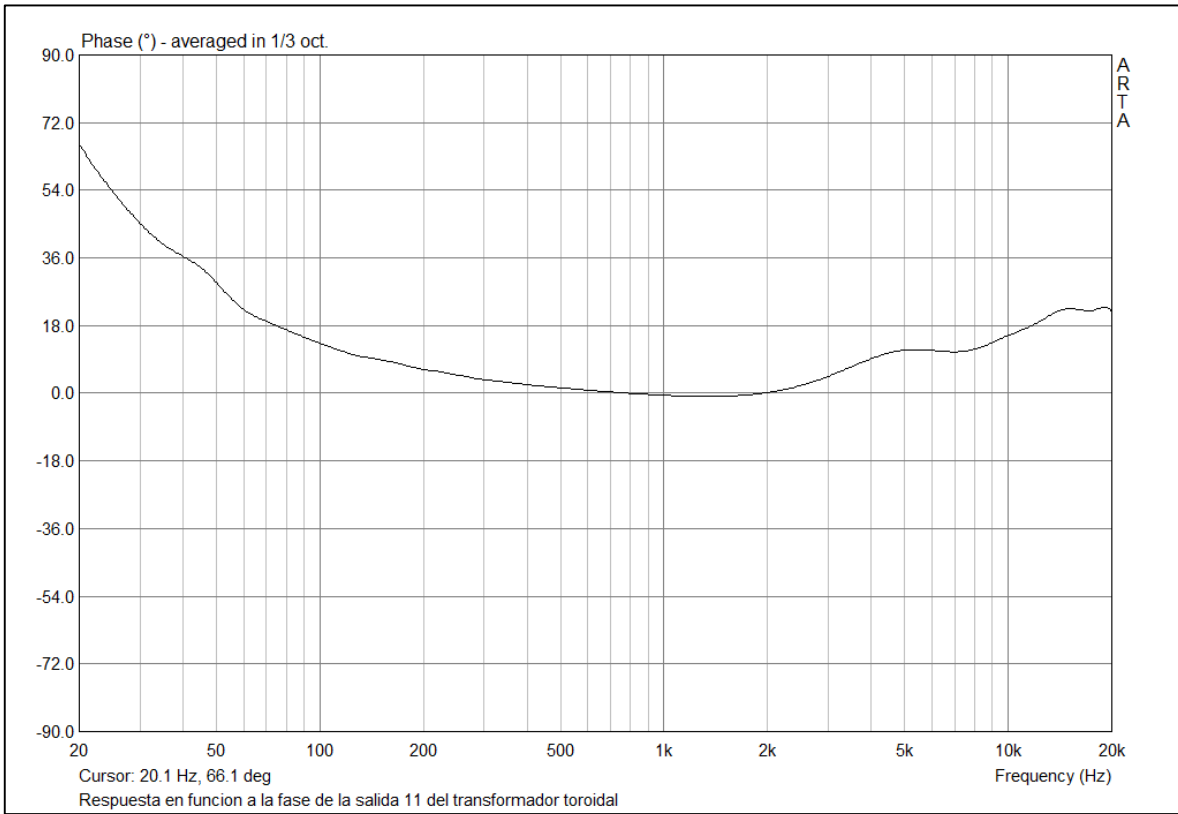
Gráfico 61.
Respuesta en función a la fase de la salida 10 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 62.

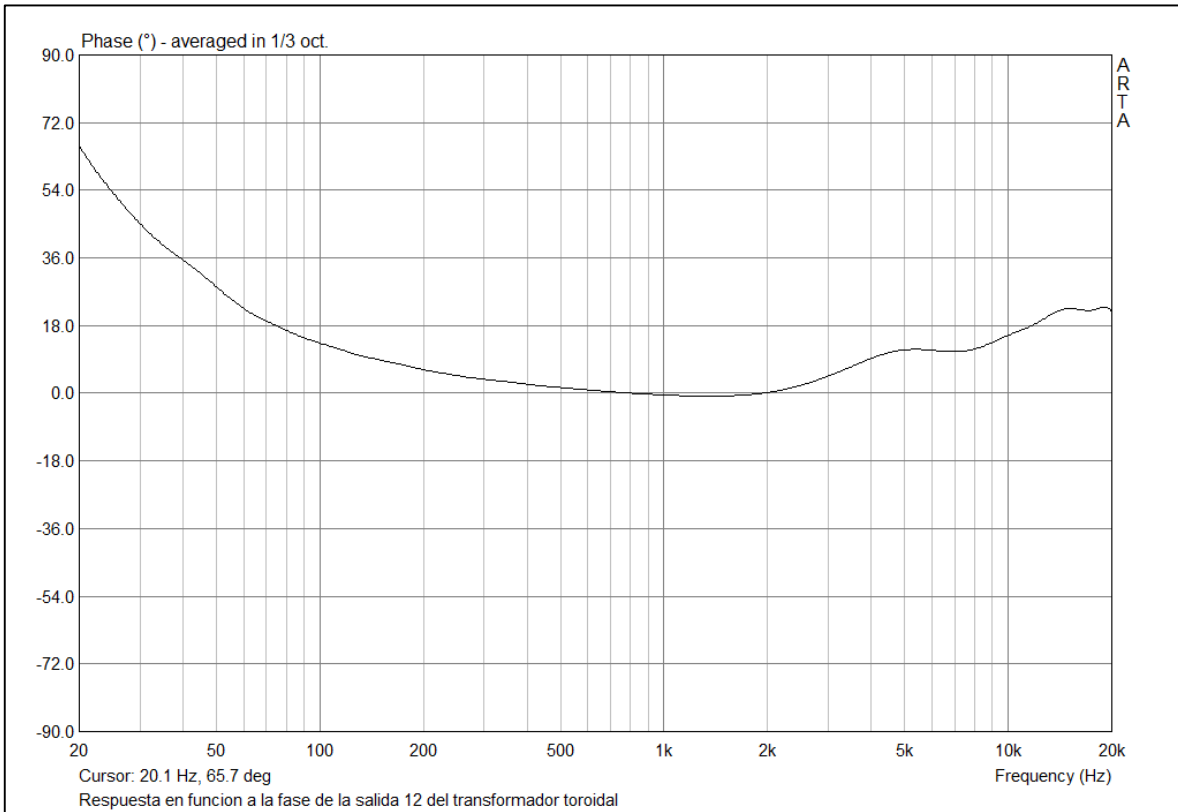
Respuesta en función a la fase de la salida 11 del transformador toroidal utilizado



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Gráfico 63.

Respuesta en función a la fase de la salida 12 del transformador toroidal utilizado

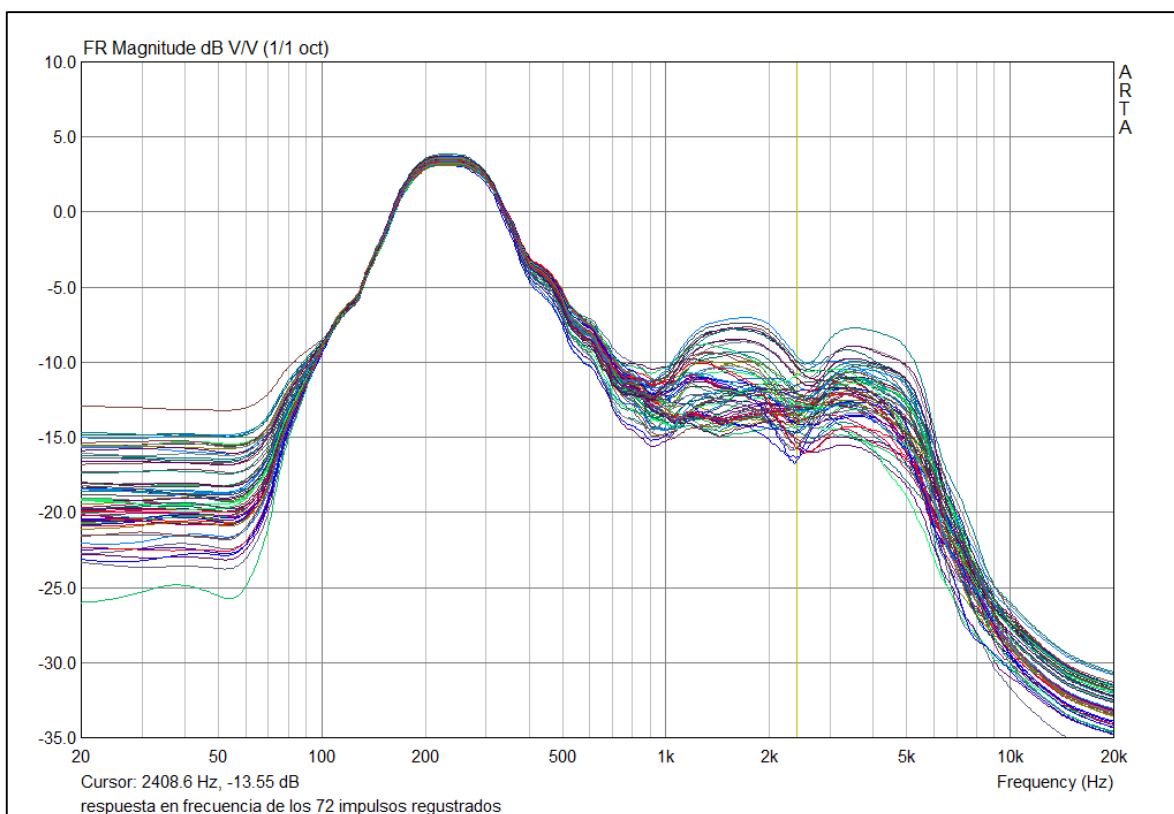


Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Anexo 3

Respuesta en Frecuencia de los 72 impulsos registrados de la F.S.O., lo cuales fueron tomados en cuenta para la elaboración del patrón polar de la F.S.O.

**Gráfico 64.
Respuesta en función a la frecuencia de los 72 impulsos de la F.S.O.**



Fuente: Elaboración propia mediante software Arta

Anexo 4

PRESENTACIÓN DE LA ENCUESTA SOBRE LA FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL CONSTRUIDA EN COCHABAMBA BOLIVIA

1. ¿En qué área del sonido se desarrolla mayoritariamente como profesional?
 - a. Acústica,
 - b. Refuerzo sonoro
 - c. Estudio
 - d. Otros

2. ¿Tuvo la oportunidad de utilizar alguna vez una fuente sonora omnidireccional?
 - a. Si
 - b. No

3. Si la respuesta fue Si, ¿en que área de trabajo fue?
 - a. Acondicionamiento acústico
 - b. Control de ruido
 - c. Determinación de parámetro acústicos
 - d. Otros

4. La norma internacional ISO 3382-2001 indica “La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible” (Norma ISO 3382-2001 Anexo A.3.1) Teniendo en cuenta que dichas fuentes sonoras cumplen normas internacionales ¿Qué grado de confianza pondría en la fuente sonora a la hora de trabajar con una de estas herramientas?
 - a. Muy confiable
 - b. Poco confiable
 - c. No confiable

5. La FSO construida en Bolivia con materiales “accesibles” o del medio local (marcas no muy reconocidas), que cumple en un 97,57% la norma ISO 3382-2001, ¿cuánta aceptación tendría como herramienta de su trabajo?
 - a. Muy Confiable
 - b. Poco confiable
 - c. No confiable
 - d. Otros

6. ¿Qué variables, consideraría al momento de adquirir o utilizar una herramienta diseñada y construida en Bolivia? (En este caso la F.S.O)
 - a. Especificaciones técnicas del producto
 - b. Que mucha gente esté utilizando y lo recomiende
 - c. Que cumpla la norma a cabalidad

7. ¿Está convencido de que con la construcción de una Fuente Sonora Omnidireccional en el país, a futuro se tenga avances significativos en futuras investigaciones en el área de la Ingeniería de Sonido, Acústica y Electroacústica?
 - a. Si
 - b. No

8. ¿Qué beneficios tendríamos con una herramienta como la F.S.O en Bolivia en el área de la Ing. Sonido y Acústica?
 - a. Mejor calidad de vida
 - b. Facilidades en cálculos, para los profesionales en sonido
 - c. Mejoras considerables de la acústica en recintos de transmisión del habla, salas de conferencia, estudios de grabación, estaciones de radio y televisión, etc.

Anexo 5

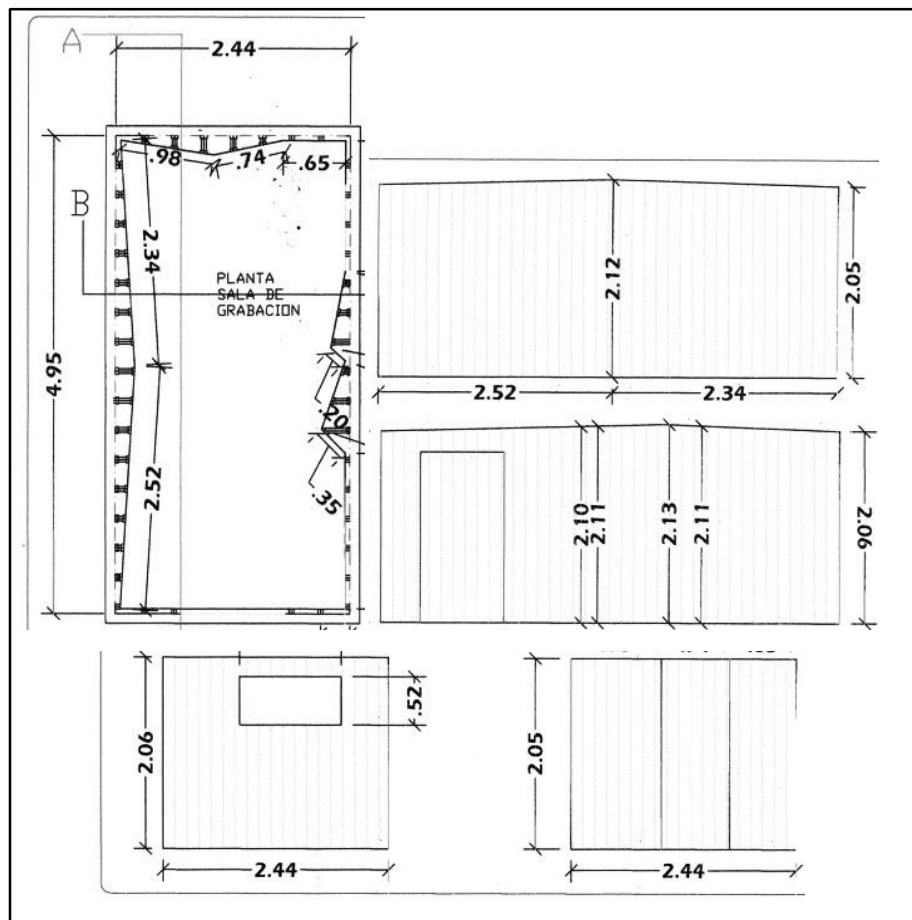
Informe de la medición del T_{60} sin la implementación de la F.S.O. en el estudio de grabación “Temple Records”

1. Nombre y localización del recinto:

Sala de grabación del estudio Temple Records, ubicado en la ciudad de Cochabamba, zona parque Riosinho.

2. Plano esquemático del recinto

Grafico 65.
Dimensiones del recinto donde se midió el tiempo de reverberación



Fuente: Temple Records.

3. Volumen del recinto

$$V = 24.88 \text{ m}^3$$

4. Materiales de las paredes y el techo

Las paredes están hechas de material MDF fino.

El techo es de cielo falso de lana de vidrio de 12 cm. de espesor con cubierta de PVC micro perforado.

5. Estado de ocupación durante la medición

Estado vacío, no se encontraba ninguna persona en la sala al momento de las mediciones.

6. Situación de cualquier equipamiento variable tal como cortinas, sistema de megafonía, sistemas electrónicos de reverberación.

El altavoz se encontraba acercado a una pared del estudio. No se encontraba ningún equipo variable de reverberación.

7. Temperatura y humedad relativa en las mediciones

T°= 30°

Humedad= 13%

8. Tipo de fuente y posición de la fuente

La fuente era un altavoz dinámico de bobina móvil, de patrón cardioide situado en un lado del recinto.

9. Fecha de la medición y nombre de la organización que realizó la medida

La medición se realizó el día miércoles 28 de Noviembre del año 2012, de horas 15:00-18:00 pm. Realizado por el estudiante de la carrera de Ingeniería de Sonido de la UNITEPC de 10° semestre.

Cálculos

$$\text{Volumen de la sala} = 24,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Velocidad del sonido} = 332 \sqrt{1 + \frac{30^\circ}{273}} = 349.8 \text{ m/s}$$

$$\text{Distancia minima} = 2 \sqrt{\frac{24,88 \text{ m}^3}{349.8 \text{ m/s}}} = 0.58 \text{ m}$$

$$\text{Ruido de fondo} = 39.8 \text{ dB}$$

Resultados de la medición

A continuación se muestran los resultados de la medición.

$$T_{60} = 0.6 \text{ s}$$

Gráfico 66.
Valores STI

| | | | |
|------------|------------------|-------|-----|
| STI female | 0,91 : Excellent | % ALC | 1,2 |
| STI male | 0,91 : Excellent | % ALC | 1,2 |

Fuente: Elaboración propia mediante software Dirac.

La gráfica 66 (anterior página) nos muestra los valores de STI para voces femeninas y masculinas, el cual son valores bastante aceptables.

Figura 19.
Medición realizada sin ninguna F.S.O.



Fuente: Elaboración propia.

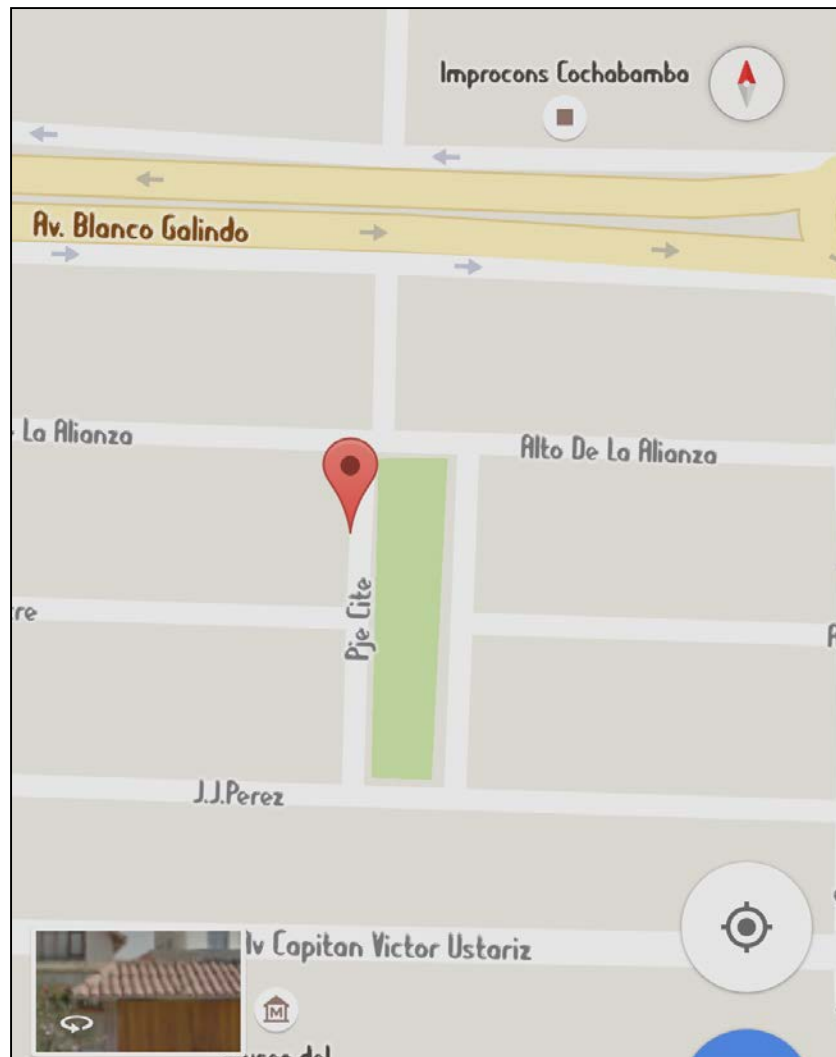
Anexo 6

Informe de la medición del T_{60} con la implementación de la F.S.O. en el estudio de grabación “Temple Records”

1. Nombre y localización del recinto:

Sala de grabación del estudio Temple Records, ubicado en la ciudad de Cochabamba, zona parque Riosinho.

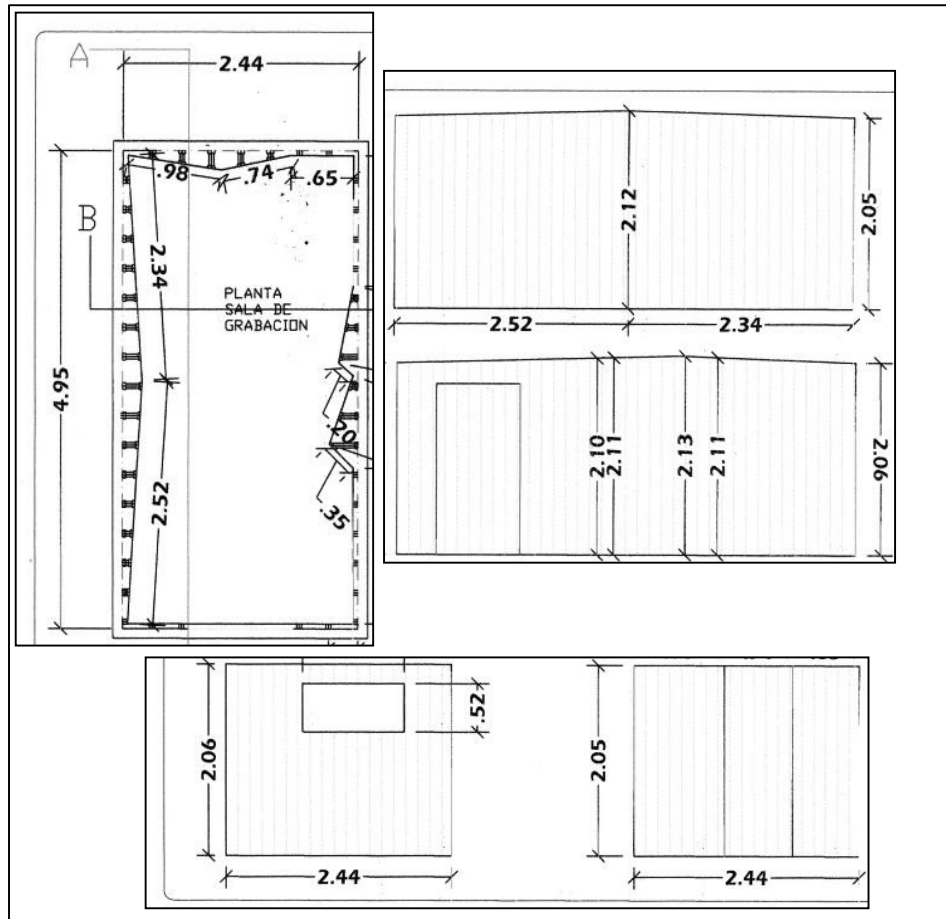
Grafico 67.
Ubicación del recinto medido



Fuente: Elaboración propia mediante la aplicación Google Maps.

2. Plano esquemático del recinto

Grafico 68.
Planos esquemáticos tomando en cuenta las dimensiones



Fuente: Temple Records

3. Volumen del recinto

$$V = 24.88 \text{ m}^3$$

4. Materiales de las paredes y el techo

Las paredes están hechas de material MDF fino.

El techo es de cielo falso de lana de vidrio de 12 cm. de espesor con cubierta de PVC micro perforado.

5. Estado de ocupación durante la medición

Se encontraba la persona que operaba los instrumentos de medición en plena sala al momento de las mediciones.

6. Situación de cualquier equipamiento variable tal como cortinas, sistema de megafonía, sistemas electrónicos de reverberación.

Para la medición se hizo uso de una fuente sonora de patrón polar omnidireccional, en cumplimiento a la norma ISO 3382-2001, un micrófono de medición de la marca dbx de patrón polar omnidireccional, un conversor de audio AD/DA de la marca Focus rite 2i4, una computadora portátil para el almacenamiento datos y el uso del software Arta de ArtaLabs para el análisis e interpretación de las muestras grabadas.

7. Temperatura y humedad relativa en las mediciones

T°= 30°

Humedad= 13%

8. Tipo de fuente y posición de la fuente

Para las mediciones, se utilizó una Fuente Sonora Omnidireccional en forma de dodecaedro, se midieron en dos posiciones, se utilizó la técnica de señal impulsiva con un sonido pseudoaleatorio (ruido rosa).

La fuente y el micrófono de medición se colocaron distanciados a un metro de las superficies reflectantes (piso y pared), al menos un cuarto de longitud de onda.

9. Fecha de la medición y nombre de la organización que realizó la medida

La medición se realizó el día miércoles 7 de Septiembre del año 2016, de horas 15:30-17:00 pm. Realizado por el estudiante egresado de la carrera de Ingeniería de Sonido de la UNITEPC.

Cálculos

$$\text{Volumen de la sala} = 24,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Velocidad del sonido} = 332 \sqrt{1 + \frac{30^{\circ}}{273}} = 349.8 \text{ m/s}$$

$$\text{Distancia mínima} = 2 \sqrt{\frac{24,88 \text{ m}^3}{349.8 \text{ m/s}}} = 0.58 \text{ m} \text{ (Distancia mínima entre la fuente y el micrófono)}$$

$$\text{Ruido de fondo} = 39.8 \text{ dB}$$

Resultados de la medición

En las siguientes páginas se muestran las tablas y gráficas de los valores correspondientes de la medición acústica, mediante el uso del software Arta se pudo obtener los valores del tiempo de reverberación (T_{60}, T_{30}, T_{20}), tiempo de deterioro temprano (EDT), tiempo central ($T_s(s)$), claridad ($C_{80} \text{ dB}$ y $C_{50} \text{ dB}$), definición ($D_{50} \%$), calidez acústica (BR), en bandas de octava.

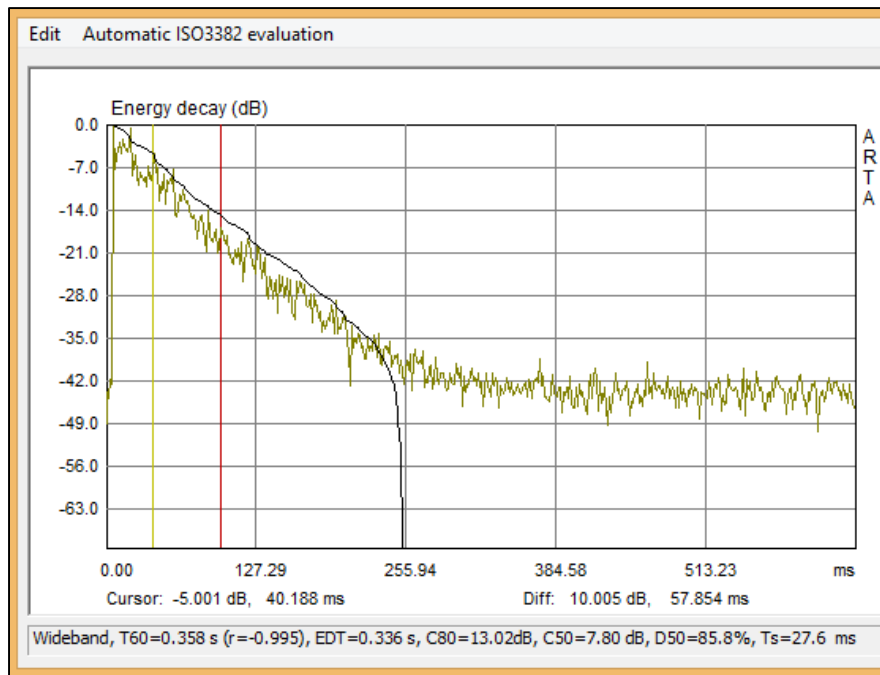
Posición 1

Tabla 6.
Parámetros Acústicos en escala de 1 octava en la posición 1 de la medición realizada

| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|------------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| T30 (s) | 0.389 | - | 0.294 | 0.421 | 0.252 | 0.497 | 0.382 | 0.363 | - |
| rT30 | -0.999 | - | -0.991 | -0.995 | -0.992 | -0.997 | -0.997 | -0.997 | - |
| T20 (s) | 0.398 | - | 0.337 | 0.426 | 0.273 | 0.494 | 0.372 | 0.353 | - |
| rT20 | -0.998 | - | -0.995 | -0.992 | -0.984 | -0.990 | -0.996 | -0.998 | - |
| T60user(s) | 0.358 | - | 0.294 | 0.485 | 0.282 | 0.528 | 0.320 | 0.331 | - |
| rT60user | -0.995 | - | -0.979 | -0.996 | -0.960 | -0.971 | -0.994 | -0.993 | - |
| EDT (s) | 0.336 | - | 0.359 | 0.444 | 0.189 | 0.357 | 0.286 | 0.411 | - |
| C80 (dB) | 13.02 | - | 12.57 | 11.25 | 20.91 | 11.71 | 14.15 | 13.34 | - |
| C50 (dB) | 7.80 | - | 5.06 | 7.35 | 16.14 | 8.38 | 7.75 | 7.03 | - |
| D50 (%) | 85.76 | - | 76.23 | 84.46 | 97.62 | 87.31 | 85.62 | 83.47 | - |
| Ts (ms) | 27.562 | - | 43.302 | 40.182 | 21.688 | 26.998 | 31.695 | 25.463 | - |
| BR | 0.995 | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia mediante Software Arta

Grafico 69.
Decaimiento de la energía Acústica del recinto, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala



Fuente: elaboración propia mediante Software Arta

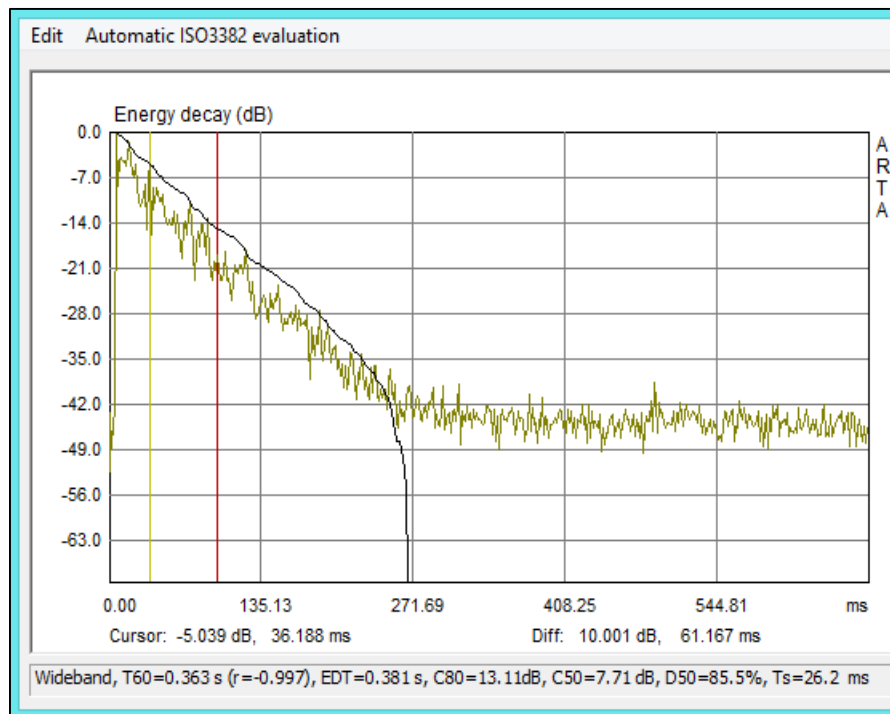
Posición 2

Tabla 7.
Parámetros Acústicos en escala de 1 octava en la posición 2 de la medición realizada.

| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|------------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| T30 (s) | 0.392 | - | 0.269 | 0.397 | 0.248 | 0.456 | 0.419 | 0.368 | - |
| rT30 | -0.999 | - | -0.994 | -0.992 | -0.985 | -0.995 | -0.998 | -0.997 | - |
| T20 (s) | 0.401 | - | 0.266 | 0.399 | 0.298 | 0.495 | 0.420 | 0.380 | - |
| rT20 | -0.998 | - | -0.994 | -0.983 | -0.995 | -0.992 | -0.997 | -0.998 | - |
| T60user(s) | 0.363 | - | 0.307 | 0.531 | 0.303 | 0.422 | 0.468 | 0.381 | - |
| rT60user | -0.997 | - | -0.974 | -0.967 | -0.986 | -0.988 | -0.977 | -0.992 | - |
| EDT (s) | 0.381 | - | 0.356 | 0.500 | 0.183 | 0.364 | 0.468 | 0.365 | - |
| C80 (dB) | 13.11 | - | 13.62 | 11.93 | 18.03 | 13.12 | 11.12 | 13.15 | - |
| C50 (dB) | 7.71 | - | 6.06 | 6.60 | 13.44 | 8.46 | 6.94 | 8.53 | - |
| D50 (%) | 85.51 | - | 80.15 | 82.05 | 95.67 | 87.52 | 83.17 | 87.70 | - |
| Ts (ms) | 26.155 | - | 42.823 | 38.508 | 23.895 | 24.416 | 27.912 | 25.624 | - |
| BR | 0.838 | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia mediante Software Arta

Grafico 70.
Decaimiento de la energía Acústica del recinto, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala



Fuente: elaboración propia mediante Software Arta

Figura 20.
Medición realizada con una F.S.O en el mismo recinto



Fuente: Elaboración propia.

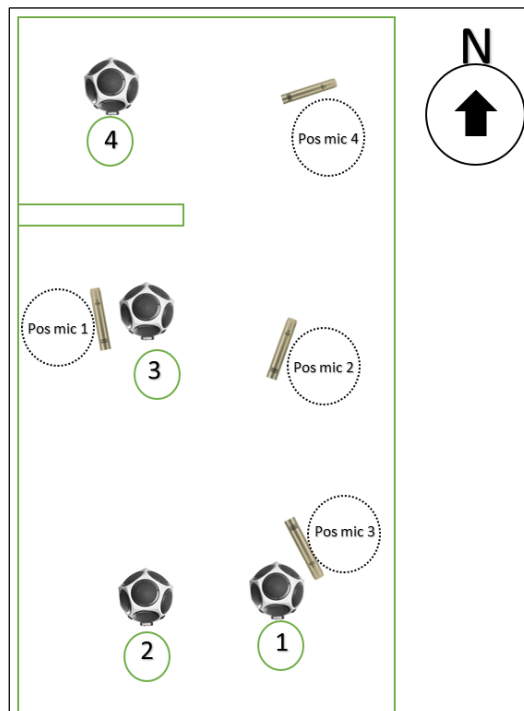
Anexo 7

Informe de la medición del T_{60} en el estudio de grabación de la carrera de Ing. de Sonido de la Unitepc, haciendo uso de la F.S.O.

En el presente informe se indica que las mediciones fueron realizadas en conformidad con la norma internacional UNE-EN ISO 3382=2001.

En la siguiente gráfica se muestra el plano y la forma del recinto medido, las posiciones de la fuente y el número de los mismos:

Gráfico 71.
Donde se muestra el plano del recinto y las posiciones enumeradas de la fuente omnidireccional y el micrófono



Fuente: Elaboración propia

Localización y descripción del recinto

El estudio de grabación de la Universidad Técnica Privada Cosmos, donde se realizó dicha medición, está ubicado en la Av. Blanco Galindo Km 4.5, situado en la acera sud, en la zona oeste de la ciudad de Cochabamba Bolivia.

Plano de ubicación

El recinto se encuentra ubicado en la Avenida Blanco Gallindo, Km 4.5, entre la Avenida Juan Pablo II y calle Carlos Aranibar Orozco, acera sud.

Figura 21.
Plano de ubicación de la Universidad Técnica Privada Cosmos, lugar donde se encuentra el recinto medido



Fuente: Google maps.

La sala de grabación del estudio, tiene forma rectangular, con el piso cubierto de alfombra, techo de cielo falso, una ventana con doble vidrio, un par de difusores bidimensionales colocados en las paredes, cubierto con tapiz.

Estado del recinto

El momento de la medición el recinto estaba ocupado por una sola persona, quien se encargó de realizar las mediciones, junto a los equipos de medición.

En el interior de la sala se encontraba una reverb plate de grandes dimensiones, explicándose que las grabaciones en la sala se realizan con la reverb plate puesta en ese lugar.

Condiciones meteorológicas:

Temperatura: 20° C

Humedad relativa: 36%

Sistemas de medición y equipamiento utilizado

Para las mediciones, se utilizó una Fuente Sonora Omnidireccional en forma de dodecaedro, se midieron en cuatro posiciones, colocando la fuente en cuatro esquinas del recinto, se utilizó la técnica de señal impulsiva con un sonido pseudoaleatorio (ruido rosa).

La fuente y el micrófono de medición se colocaron distanciados a un metro de las superficies reflectantes (piso y pared), al menos un cuarto de longitud de onda.

Para la medición se hizo uso de una fuente sonora de patrón polar omnidireccional, en cumplimiento a la norma ISO 3382-2001, un micrófono de medición de la **marca dbx** de patrón polar omnidireccional, un conversor de audio AD/DA de la marca **tc Electronic**, una computadora portátil para el almacenamiento de datos y el uso del software Arta de ArtaLabs para el análisis e interpretación de las muestras grabadas.

La medición acústica conforme a la norma internacional ISO 3382-2001, se realizó en fecha del día viernes once de marzo del año dos mil y dieciséis, por el estudiante Elías Ceron Cortez, egresado de la carrera de Ingeniería de Sonido de la UNITEPC.

RESULTADOS DE LA MEDICION

En las siguientes páginas se muestran las tablas y gráficas de los valores correspondientes de la medición acústica, mediante el uso del software Arta se pudo obtener los valores del tiempo de reverberación (T_{60}, T_{30}, T_{20}), tiempo de deterioro temprano (EDT), tiempo central ($T_s(s)$), claridad ($C_{80} dB$ y $C_{50} dB$), definición ($D_{50} \%$), calidez acústica (BR), en bandas de octava.

Tabla 8.
Valores y características acústicas en la posición 1

| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-----------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| T30 (s) | 0.470 | - | 0.734 | 0.482 | 0.368 | 0.318 | 0.339 | 0.329 | - |
| rT30 | -0.998 | - | -0.992 | -0.992 | -0.991 | -0.997 | -0.996 | -0.998 | - |
| T20 (s) | 0.457 | - | 0.770 | 0.477 | 0.416 | 0.321 | 0.354 | 0.334 | - |
| rT20 | -0.997 | - | -0.992 | -0.991 | -0.993 | -0.994 | -0.995 | -0.999 | - |
| T60use... | 0.427 | - | 0.436 | 0.519 | 0.380 | 0.349 | 0.326 | 0.350 | - |
| rT60user | -0.994 | - | -0.977 | -0.988 | -0.974 | -0.983 | -0.993 | -0.996 | - |
| EDT (s) | 0.383 | - | 0.455 | 0.563 | 0.278 | 0.258 | 0.245 | 0.276 | - |
| C80 (dB) | 11.21 | - | 7.03 | 6.80 | 13.65 | 14.17 | 15.55 | 15.37 | - |
| C50 (dB) | 7.78 | - | 0.65 | 3.67 | 9.86 | 10.66 | 10.63 | 11.40 | - |
| D50 (%) | 85.70 | - | 53.73 | 69.96 | 90.65 | 92.08 | 92.04 | 93.25 | - |
| Ts (ms) | 27.246 | - | 59.096 | 44.237 | 26.008 | 23.893 | 22.770 | 17.853 | - |
| BR | 1.692 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Tabla 9.
Valores y características acústicas en la posición 2

| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-----------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| T30 (s) | 0.482 | - | 0.881 | 0.473 | 0.373 | 0.318 | 0.345 | 0.344 | - |
| rT30 | -0.997 | - | -0.991 | -0.995 | -0.994 | -0.998 | -0.998 | -0.996 | - |
| T20 (s) | 0.464 | - | 0.884 | 0.461 | 0.416 | 0.335 | 0.352 | 0.372 | - |
| rT20 | -0.995 | - | -0.989 | -0.990 | -0.995 | -0.998 | -0.998 | -0.999 | - |
| T60use... | 0.498 | - | 0.771 | 0.639 | 0.449 | 0.344 | 0.327 | 0.370 | - |
| rT60user | -0.982 | - | -0.977 | -0.946 | -0.982 | -0.996 | -0.998 | -0.997 | - |
| EDT (s) | 0.478 | - | 0.661 | 0.676 | 0.441 | 0.300 | 0.347 | 0.321 | - |
| C80 (dB) | 10.07 | - | 5.14 | 8.15 | 11.08 | 14.56 | 14.51 | 14.05 | - |
| C50 (dB) | 7.17 | - | 1.60 | 6.04 | 7.27 | 9.76 | 9.17 | 9.42 | - |
| D50 (%) | 83.91 | - | 59.13 | 80.08 | 84.21 | 90.44 | 89.20 | 89.75 | - |
| Ts (ms) | 28.214 | - | 65.556 | 36.936 | 27.941 | 22.537 | 21.136 | 22.510 | - |
| BR | 1.790 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Tabla 10.
Valores y características acústicas en la posición 3

| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-----------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| T30 (s) | 0.490 | - | 0.914 | 0.606 | 0.339 | 0.326 | 0.398 | 0.384 | - |
| rT30 | -0.990 | - | -0.994 | -0.994 | -0.989 | -0.998 | -0.999 | -0.999 | - |
| T20 (s) | 0.548 | - | 0.876 | 0.557 | 0.390 | 0.324 | 0.390 | 0.378 | - |
| rT20 | -0.986 | - | -0.985 | -0.991 | -0.991 | -0.999 | -0.999 | -0.998 | - |
| T60use... | 0.345 | - | 0.386 | 0.338 | 0.313 | 0.342 | 0.390 | 0.376 | - |
| rT60user | -0.997 | - | -0.994 | -0.993 | -0.991 | -0.996 | -0.994 | -0.996 | - |
| EDT (s) | 0.449 | - | 0.446 | 0.491 | 0.426 | 0.346 | 0.339 | 0.305 | - |
| C80 (dB) | 10.49 | - | 7.08 | 8.17 | 13.33 | 12.57 | 13.49 | 13.80 | - |
| C50 (dB) | 4.10 | - | -0.48 | 0.51 | 6.98 | 7.19 | 8.37 | 9.22 | - |
| D50 (%) | 71.99 | - | 47.24 | 52.94 | 83.32 | 83.97 | 87.29 | 89.31 | - |
| Ts (ms) | 35.304 | - | 66.499 | 48.588 | 26.999 | 29.992 | 26.018 | 25.663 | - |
| BR | 2.004 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

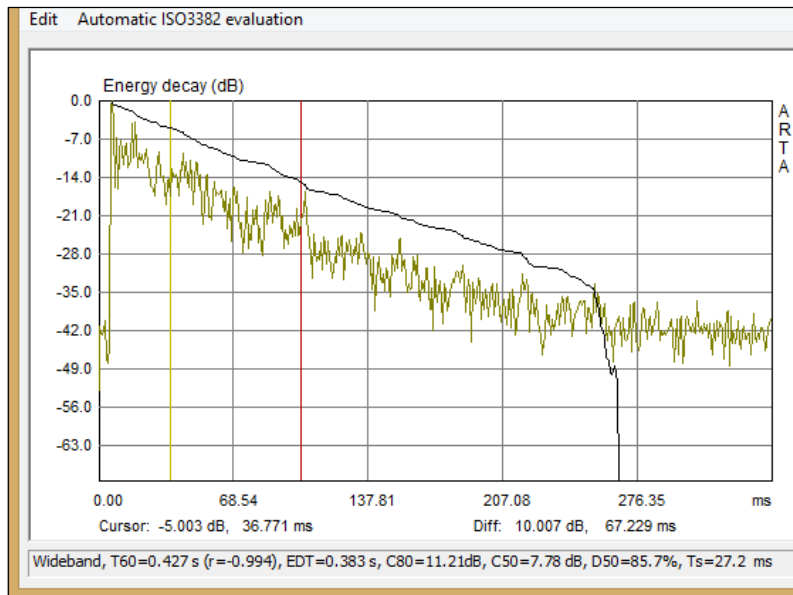
Tabla 11.
Valores y características acústicas en la posición 4

| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-----------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| T30 (s) | 0.376 | - | 0.425 | 0.396 | 0.306 | 0.284 | 0.362 | 0.352 | - |
| rT30 | -0.994 | - | -0.999 | -0.992 | -0.993 | -0.998 | -0.996 | -0.996 | - |
| T20 (s) | 0.398 | - | 0.418 | 0.448 | 0.329 | 0.308 | 0.368 | 0.379 | - |
| rT20 | -0.998 | - | -0.998 | -0.993 | -0.989 | -0.999 | -0.995 | -0.998 | - |
| T60use... | 0.372 | - | 0.499 | 0.455 | 0.263 | 0.306 | 0.318 | 0.351 | - |
| rT60user | -0.996 | - | -0.993 | -0.986 | -0.984 | -0.998 | -0.996 | -0.998 | - |
| EDT (s) | 0.370 | - | 0.514 | 0.433 | 0.336 | 0.292 | 0.300 | 0.324 | - |
| C80 (dB) | 12.52 | - | 7.82 | 10.75 | 14.88 | 14.31 | 14.51 | 13.74 | - |
| C50 (dB) | 7.27 | - | 2.30 | 6.04 | 8.03 | 8.50 | 9.10 | 9.22 | - |
| D50 (%) | 84.21 | - | 62.96 | 80.08 | 86.41 | 87.63 | 89.04 | 89.31 | - |
| Ts (ms) | 28.455 | - | 51.111 | 34.420 | 27.612 | 27.262 | 24.103 | 22.954 | - |
| BR | 1.361 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Grafico 72.

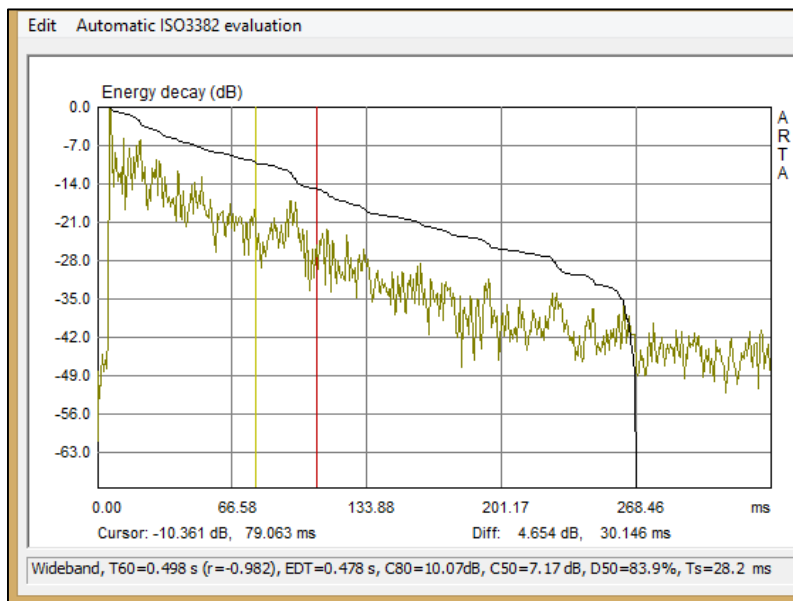
Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 1, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Grafico 73.

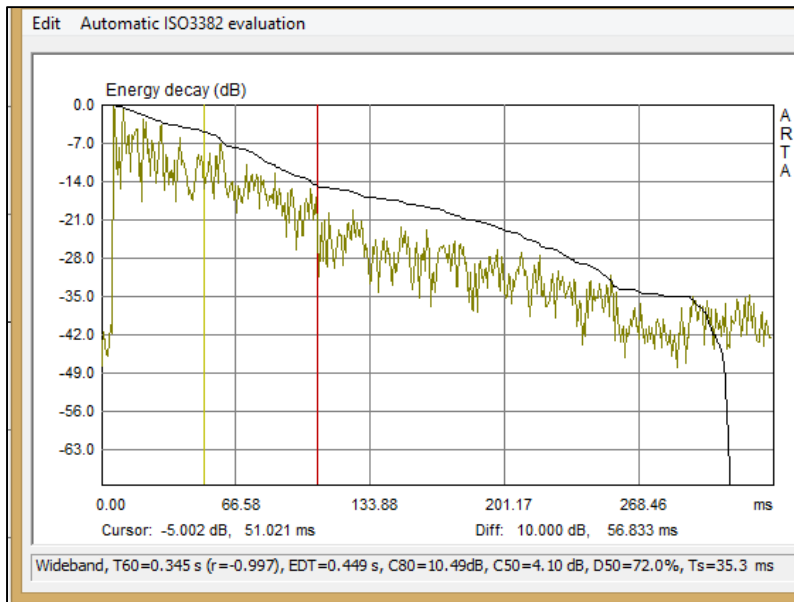
Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 2, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Grafico 74.

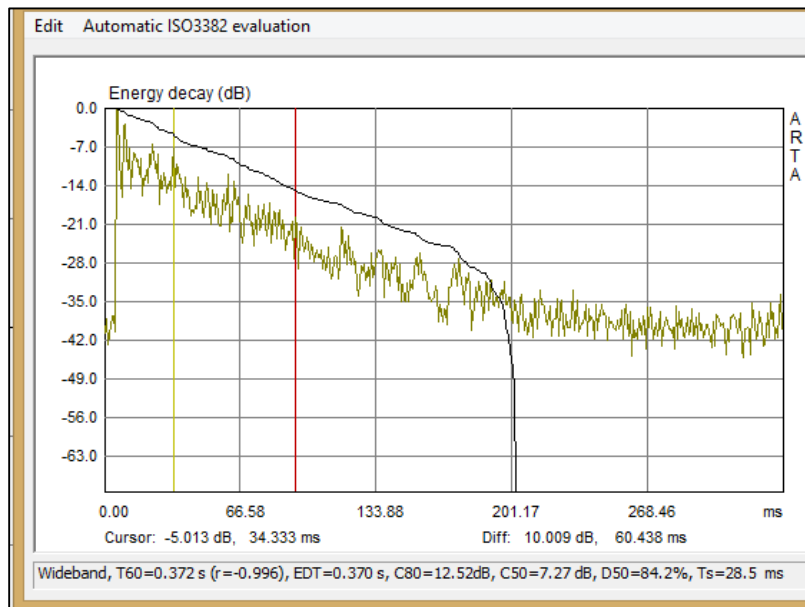
Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 3, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Grafico 75.

Decaimiento de la energía Acústica del recinto en la posición 4, en la parte inferior se muestra los parámetros acústicos de la sala



Fuente: Elaboración Propia mediante Software Arta.

Figura 22.
Momento de la medición realizada con el uso de la Fuente Sonora Omnidireccional, en la sala de grabación de la Carrera de Ing. Sonido de la UNITEPC

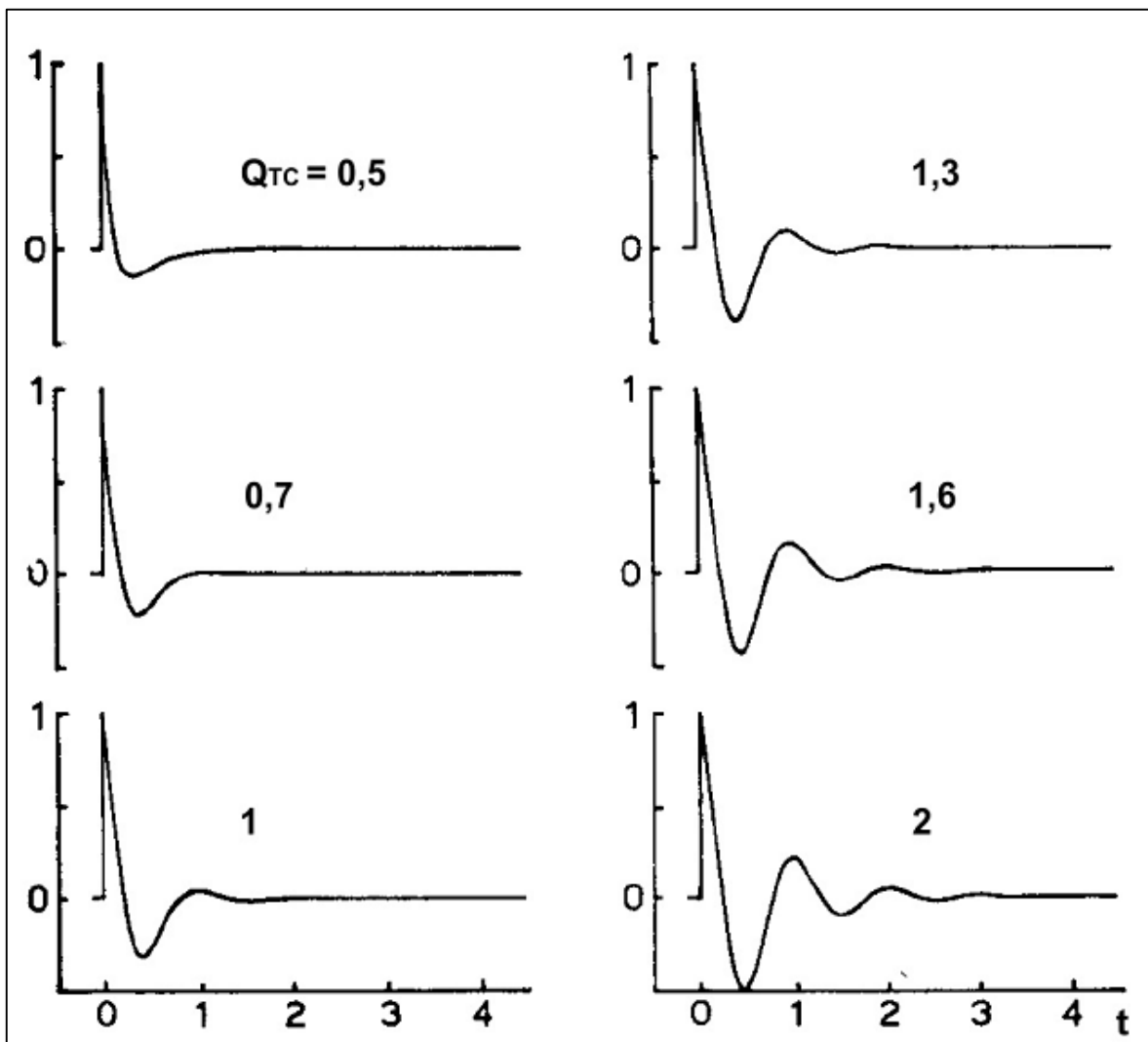


Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 8

Respuestas transitorias típicas, Mayor el valor de Q_{tc} , empeora la respuesta transitoria del altavoz, generando más distorsión.

Gráfico 76.
Respuestas transitorias típicas para distintos valores Q_{tc}



Fuente: Richard H. Small

Anexo 9

PRESENTACIÓN DE LA ENCUESTA REALIZADA SOBRE LA FUENTE SONORA OMNIDIRECCIONAL CONSTRUIDA EN COCHABAMBA BOLIVIA, REPRESENTADA ESTADISTICAMENTE

1. ¿En qué área del sonido se desarrolla mayoritariamente como profesional?

Tabla 12.

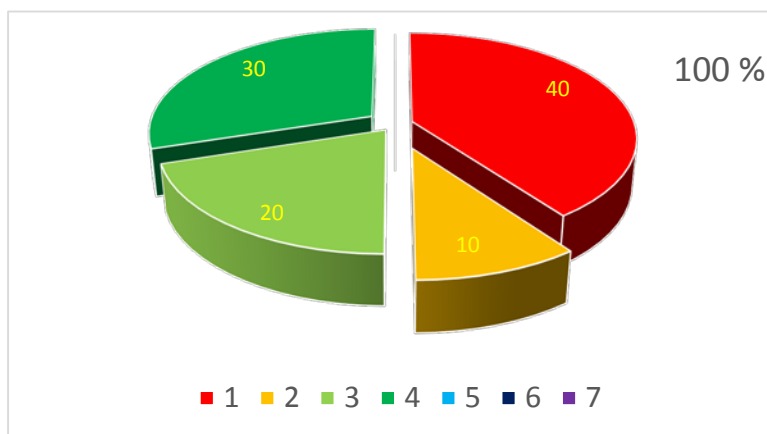
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|------------------------------|----|-----|
| Acústica | 4 | 40 |
| Refuerzo Sonoro | 1 | 10 |
| Estudio | 2 | 20 |
| Acústica y Estudio | 3 | 30 |
| Refuerzo Sonoro y Estudio | | 0 |
| Acústica y Refuerzo Sonoro | | 0 |
| Otros | | 0 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 77.

Presentación de la encuesta realizada.



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

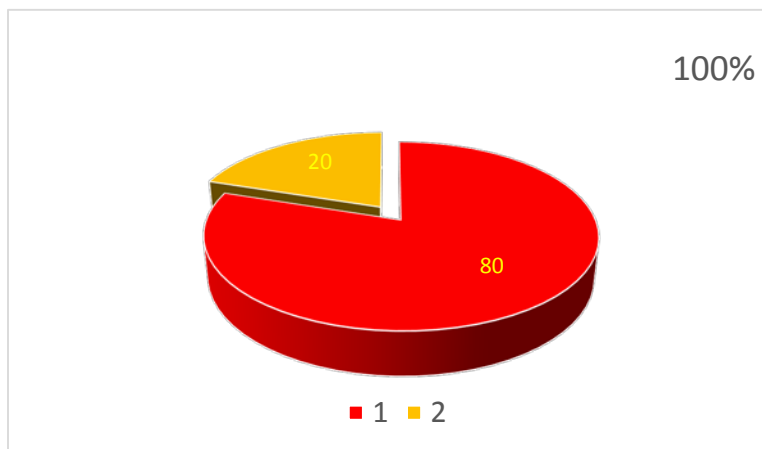
2. ¿Tuvo la oportunidad de utilizar alguna vez una fuente sonora omnidireccional?

Tabla 13.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|-----------------------|----|-----|
| Si | 8 | 80 |
| No | 2 | 20 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 78.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

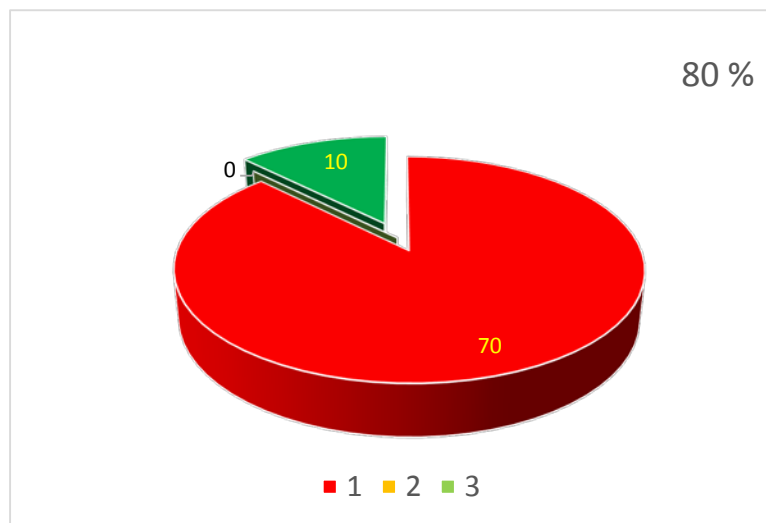
3. Si la respuesta fue Si, ¿en qué área de trabajo fue?

Tabla 14.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|---|---|-----|
| Determinación de parámetros acústicos y Acondicionamiento acústico | 7 | 70 |
| Control de ruido | | 0 |
| Determinación de parámetros acústicos y Acondicionamiento acústico y Control de ruido | 1 | 10 |
| N | 8 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 79.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

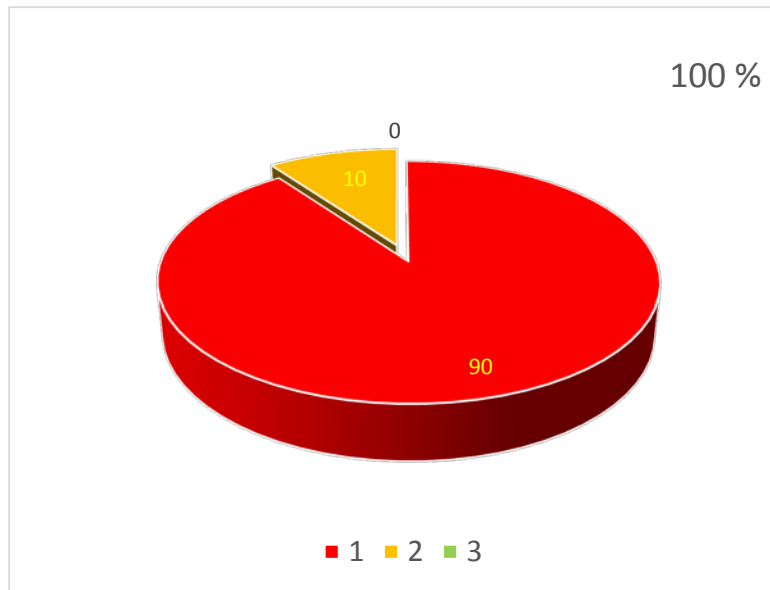
4. La norma internacional ISO 3382-2001 indica “La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible” (Norma ISO 3382-2001 Anexo A.3.1). Teniendo en cuenta que dichas fuentes sonoras cumplen normas internacionales ¿Qué grado de confianza pondría en la fuente sonora a la hora de trabajar con una de estas herramientas?

Tabla 15.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|------------------------------|----|-----|
| Muy confiable | 9 | 90 |
| Poco confiable | 1 | 10 |
| No confiable | | 0 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 80.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

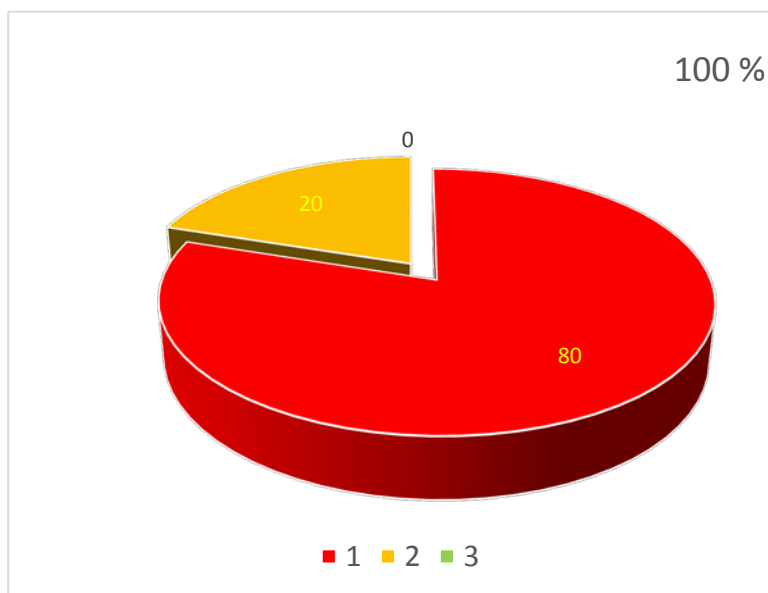
5. La F.S.O construida en Bolivia con materiales “accesibles” o del medio local (marcas no muy reconocidas), que cumple en un 97.57% la norma ISO 3382-2001, ¿Cuánta aceptación tendría como herramienta de su trabajo?

Tabla 16.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|------------------------------|----|-----|
| Muy confiable | 8 | 80 |
| Poco confiable | 2 | 20 |
| No confiable | | 0 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 81.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

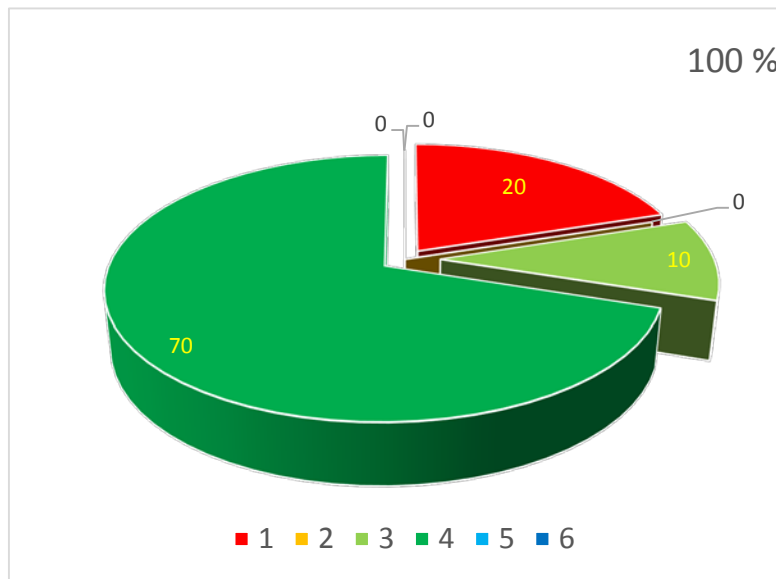
6. ¿Qué variables consideraría al momento de adquirir o utilizar una herramienta diseñada y construida en Bolivia? (En este caso la F.S.O)

Tabla 17.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|---|----|-----|
| Especificaciones técnicas del producto | 2 | 20 |
| Que mucha gente lo esté utilizando y lo recomiende | | 0 |
| Que cumpla la norma a cabalidad | 1 | 10 |
| Especificaciones técnicas del producto y que cumpla la norma a cabalidad | 7 | 70 |
| Que mucha gente lo esté utilizando y lo recomiende y, Que cumpla la norma a cabalidad. | | 0 |
| Especificaciones técnicas del producto y que mucha gente lo esté utilizando y lo recomiende | | 0 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 82.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

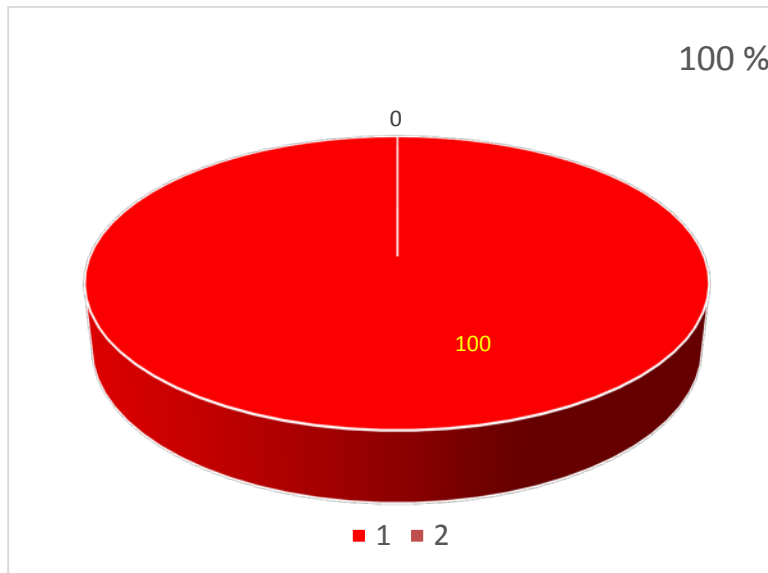
7. ¿Está convencido de que con la construcción de una Fuente Sonora Omnidireccional en el país, a futuro se tengan avances significativos en futuras investigaciones en el área de la Ingeniería de Sonido, Acústica y Electroacústica?

Tabla 18.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|-----------------------|----|-----|
| Si | 10 | 100 |
| No | | 0 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 83.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

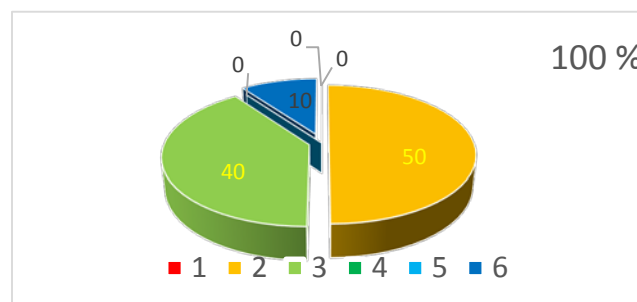
8. ¿Qué beneficios tendríamos con una herramienta como la F.S.O en Bolivia en el área de la Ing. de Sonido y Acústica?

Tabla 19.
Presentación de la encuesta realizada

| INDICADOR | f | % |
|--|----|-----|
| Mejor calidad de vida | | 0 |
| Facilidades en cálculos, para los profesionales en sonido | 5 | 50 |
| Mejoras considerables de la acústica en recintos de transmisión del habla, salas de conferencia, estudios de grabación, estaciones de radio y televisión, etc. | 4 | 40 |
| Mejor calidad de vida y facilidades en cálculos, para los profesionales en sonido | | 0 |
| Facilidades en cálculos, para los profesionales en sonido y mejor calidad de vida y facilidades en cálculos, para los profesionales en sonido | 1 | 10 |
| Mejor calidad de vida y mejoras considerables de la acústica en recintos de transmisión del habla, salas de conferencia, estudios de grabación, estaciones de radio y televisión, etc. | | 0 |
| N | 10 | 100 |
| Nivel de satisfacción | | |

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Gráfico 84.
Presentación de la encuesta realizada



Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta realizada.

Anexo 10

Se muestran en las siguientes figuras el altavoz seleccionado para la investigación, con las respectivas mediciones realizadas para estimar los parámetros Thiele-Small, respuesta en frecuencia y los momentos previos (haciendo los preparativos con las distancias permitidas) a la medición del patrón polar de nuestra F.S.O.

Figura 23.

Se muestra el altavoz de marca BlastKing (utilizado en la F.S.O.) montado sobre una pared o pantalla infinita, para su posterior medición (en horas de la noche) de la respuesta en frecuencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24.
Se muestra el altavoz de marca BlastKing (utilizado en la F.S.O.) montado sobre una pared o pantalla infinita, para hallar la frecuencia de resonancia del altavoz



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25.
Se muestra el altavoz de marca BlastKing (utilizado en la F.S.O.) montado sobre una pared o pantalla infinita, utilizando el método de la masa añadida (en este caso haciendo uso de masa plastilina) para estimar los parámetros Thiele-Small.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26.

Se muestra la F.S.O. elevado a más de 3 metros de altura del suelo, por encima de los techos y alejado lo más posible de superficies reflectantes (campo abierto), y el micrófono de medición a una distancia de 1.5 metros de las F.S.O. según la norma ISO 3382-2001, para la respectiva medición del patrón polar en horas de la noche



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11

Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001.

Gráfico 85. Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001, pág. 8

| | |
|---|-------|
| ISO 3382:1997 | - 8 - |
| <p>3.6.1 estado desocupado: Es la situación del recinto en que está preparado para su uso por locutores, o intérpretes y audiencia, pero en ausencia de todas estas personas. Para salas de conciertos y de ópera, debe tenerse en cuenta la presencia de sillas para los intérpretes, atriles e instrumentos de percusión, etc.</p> <p>3.6.2 estado de estudio (sólo en recintos para discursos y música): Es la situación en la que el recinto está ocupado únicamente por los intérpretes o locutores (sin público), por ejemplo durante los ensayos o durante las grabaciones; el número de intérpretes y otras personas, tales como técnicos, debe ser el habitual.</p> <p>3.6.3 estado ocupado: Es la situación de un auditorio o teatro en que están ocupados entre el 80% y el 100% de los asientos.</p> <p>NOTA 8 – Las ocupaciones extraordinarias (como la que crearía, en una sala de conciertos, una orquesta más grande de lo habitual, o la presencia adicional de un coro o personas que están de pie) debería señalarse en los resultados.</p> | |
| <h4>4 CONDICIONES DE MEDICIÓN</h4> | |
| <h5>4.1 General</h5> <p>La medida del tiempo de reverberación puede realizarse con el recinto en cualquier estado de ocupación, o en todos. Cuando el recinto tenga componentes ajustables para la obtención de condiciones acústicas variables, puede ser pertinente realizar mediciones separadas con estos componentes en cada una de sus situaciones habituales. Se debería medir la temperatura y la humedad relativa del aire en el recinto con una precisión de ± 1 °C y ± 5% respectivamente.</p> <p>NOTA 9 – Si los componentes variables incluyen técnicas activas (es decir, electrónicas), entonces, también deberían medirse sus efectos, pero como ciertos tipos de refuerzo electrónico de reverberación crean condiciones estacionarias independientes del tiempo en el recinto, no existirá una única respuesta impulsiva por lo que se debería tener cuidado de utilizar un promediado sincronizado durante el transcurso de la medición.</p> | |
| <h5>4.2 Equipo</h5> | |
| <p>4.2.1 Fuente acústica. La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible. Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para proporcionar curvas de caída con el intervalo dinámico mínimo requerido para que no haya contaminación debida al ruido de fondo (véase el apartado 3.5). No son aceptables altavoces comerciales de tipo doméstico como fuente omnidireccional. En el caso de medidas de respuestas impulsivas mediante secuencias pseudoaleatorias el nivel de presión acústica requerido puede ser realmente bajo debido a la posibilidad de conseguir una gran mejora de la relación señal ruido por medio de un promediado correlacionado. En el caso de mediciones que no utilicen la técnica de promedios sincronizados (u otra) para aumentar el rango de caída, será necesario un nivel de fuente al menos 45 dB superior al nivel de ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente. Si sólo se ha de medir T_{20} es suficiente generar un nivel que esté 35 dB por encima del nivel de fondo.</p> <p>4.2.2 Micrófonos y equipo de grabación y análisis. Para la captación de la presión acústica se utilizarán micrófonos omnidireccionales cuya salida se puede llevar</p> <ul style="list-style-type: none">– directamente a un amplificador, banco de filtros y a un sistema que muestre las curvas de caída o equipo de análisis para la deducción de la respuesta impulsiva, o– a un grabador de señal para un análisis posterior. <p>4.2.2.1 Micrófono y filtros. El equipo de medida debe cumplir con los requisitos de sonómetro de clase 1 según la Norma CEI 60651. Los filtros de bandas de octava y tercios de octava deben cumplir con la Norma CEI 61260. El micrófono debería ser tan pequeño como sea posible y preferiblemente tener un diámetro máximo de diafragma de 13 mm. Se permiten micrófonos con diámetros de hasta 26 mm, siempre que sean del tipo de respuesta en presión o del tipo de respuesta en campo libre, pero suplementados con un corrector de incidencia aleatoria que proporcione una respuesta plana para incidencia aleatoria.</p> | |

Fuente: Norma UNE-EN ISO 3382-2001

Gráfico 86.
Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001, pág. 11

- 11 -

ISO 3382:1997

Debe elegirse una distribución de posiciones de micrófono que prevea las influencias más probables que causen diferencias en el tiempo de reverberación a lo largo de toda la sala. Ejemplos obvios son las diferencias para las zonas de asientos cercanos a las paredes, bajo los palcos o en espacios que estén desconectados (por ejemplo las alas cruciformes y los presbiterios de las iglesias comparados con las naves). Esto requiere emitir un juicio sobre la uniformidad de la distribución acústica sobre las diferentes zonas de asientos, la igualdad de la unión de las distintas partes del volumen y de la proximidad de perturbaciones locales. Para la medición del tiempo de reverberación, puede ser útil evaluar el recinto contrastándolo con los siguientes criterios (lo que en muchos casos requerirá simplemente una evaluación visual), para determinar si un único promediado espacial describirá de forma adecuada el recinto:

- a) los materiales de las superficies del recinto y cualquier elemento suspendido son tales que juzgados en términos de sus propiedades de absorción y difusión, estén distribuidos de manera razonablemente uniforme sobre todas las superficies que conforman el recinto, y
- b) todas las partes del volumen del recinto se comunican de forma razonablemente uniforme entre sí, entonces serán adecuadas tres o cuatro posiciones de micrófono – eligiendo estas posiciones de tal forma que cubran la zona de asientos, de manera uniforme – y los resultados de las mediciones pueden promediarse. En recintos para discursos y música la altura de los micrófonos sobre el suelo debería ser de 1,2 m correspondiente a la altura del oído de un oyente medio sentado sobre una butaca típica.

NOTA 17 – Con respecto a a), si el techo, y paredes laterales, frontal y trasera, cuando se inspeccionan individualmente, no tienen regiones que cubran más del 50% de sus superficies respectivas, con propiedades diferentes de aquellas de resto de las superficies, entonces se puede considerar que la distribución es aceptablemente uniforme. (En algunos espacios y para este tipo de evaluación, puede ser útil aproximar la geometría del recinto por un paralelepípedo rectangular).

NOTA 18 – Con respecto a b), el volumen del recinto puede considerarse que funciona como un único espacio si no hay partes de la superficie del suelo que tengan sus líneas de mira bloqueada a cualquier otra parte del recinto en más de un 10 % del volumen total del recinto.

NOTA 19 – Si no se cumplen las condiciones de las notas 17 y 18, entonces el recinto muestra muy probablemente zonas con tiempos de reverberación diferentes y éstos deberían investigarse y medirse por separado.

5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

5.1 General

En esta norma se describen dos métodos de medida del tiempo de reverberación: el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. Ambos métodos tienen el mismo valor esperado pero el último requiere una instrumentación más sofisticada. Si se han de medir otros parámetros de la acústica de salas distintos del tiempo de reverberación, sólo es relevante este último método, ya que estas propiedades se basan en la respuesta impulsiva.

NOTA 20 – Es preferible realizar la medición de los tiempos de reverberación en bandas de octava desde 63 Hz hasta 4 kHz en salas de conciertos y recintos para discursos. Para mediciones en recintos dedicados a otros fines se pueden realizar mediciones en bandas de tercio de octava desde 100 Hz hasta 5 kHz.

5.2 Método del ruido interrumpido

5.2.1 Excitación del recinto. Se debe utilizar como fuente un altavoz, y la alimentación del altavoz debe provenir de una señal aleatoria de banda ancha o ruido eléctrico pseudoaleatorio. Cuando se emplea un ruido pseudoaleatorio, éste debe cortarse de forma aleatoria sin seguir ninguna secuencia de repetición.

La fuente acústica debería ser tan omnidireccional como sea posible.

Para las mediciones en bandas de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a una octava y para mediciones en bandas de tercio de octava el ancho de banda de la señal debe ser superior a un tercio de octava. El espectro debe ser razonablemente plano en la banda de octava que haya de medirse. De forma alternativa el espectro del ruido de banda ancha puede ser ecualizado para obtener un espectro de sonido reverberante aproximadamente rosa en el recinto entre 88 Hz y 5657 Hz (es decir un intervalo que cubra las bandas de tercio de octava con frecuencias centrales comprendidas entre 100 Hz y 5 kHz o bandas de octava desde 125 Hz hasta 4 kHz) midiéndose el tiempo de reverberación simultáneamente en las diferentes bandas de octava o de tercio de octava.

Fuente: Norma UNE-EN ISO 3382-2001

Gráfico 87.

Extractos de la Norma Internacional UNE-EN ISO 3382-2001, pág. 20

ISO 3382:1997

- 20 -

A.2.3.1 Parámetros relacionados con la energía lateral inicial. La fracción de energía, LF, que llega en los primeros 80 ms procedente de las direcciones laterales se puede medir a través de la respuesta impulsiva obtenida de un micrófono omnidireccional y otro con patrón en forma de ocho.

$$LF = \frac{\int_{0,005s}^{0,080s} p_L^2(t) dt}{\int_0^{0,080s} p^2(t) dt}$$

donde

$p_L^2(t)$ es la presión acústica instantánea de la respuesta impulsiva del auditorio medida con un micrófono con patrón en forma de ocho.

Se entiende que el cero del micrófono con patrón en forma de ocho apunta hacia el centro acústico de la posición de la fuente, o exactamente las posiciones de fuente individuales, de tal forma que el micrófono responda predominantemente a la energía que llegue desde las direcciones laterales y no esté influido de forma significativa por el sonido directo.

Debido a que la directividad de un micrófono con un patrón en forma de ocho es esencialmente un coseno y los valores de presión son cuadráticos, la contribución de la energía lateral para una reflexión individual varía con el cuadrado del coseno del ángulo de incidencia de la reflexión relativo al eje de máxima sensibilidad del micrófono. Como alternativa se puede utilizar una aproximación para la obtención de fracciones de la energía lateral, LFC, con contribuciones que varían con el coseno del ángulo, lo que se piensa que es subjetivamente más preciso (véase [3]).

$$LFC = \frac{\int_{0,005s}^{0,080s} |p_L(t) \cdot p(t)| dt}{\int_0^{0,080s} p^2(t) dt}$$

Las fracciones de energía lateral se relacionan con el ancho percibido de la fuente acústica.

También se cree que las medidas de la correlación cruzada interaural están relacionadas con la impresión espacial, envoltura y ancho de la fuente percibido. Están descritos en el anexo B.

A.3 Procedimiento de medida

A.3.1 Fuente

La fuente debe ser tan omnidireccional como sea posible. La tabla A.1 enumera las desviaciones máximas de la omnidireccionalidad cuando se promedia sobre arcos deslizantes de 30° en campo libre. En caso de que no se pueda utilizar una mesa giratoria se deberían efectuar medidas cada 5° y se promediarán los valores de los seis puntos más próximos. El valor de referencia debe determinarse a partir del promedio energético en el plano de medida. La distancia mínima entre la fuente y el micrófono debe ser de 1,5 m.

Tabla A.1
Desviaciones direccionales máximas permitidas de la fuente en decibelios para una excitación por bandas de octava de ruido rosa y medidas en campo libre

| Frecuencia, Hz | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 | 4 000 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Desviación máxima, dB | ± 1 | ± 1 | ± 1 | ± 3 | ± 5 | ± 6 |

NOTA 30 – Para ensayos que relacionen condiciones con un orador humano, se debería utilizar una fuente con una directividad aproximada a la de un orador humano. Se pueden utilizar cabezas inertes que cumplan con la recomendación de la ITU P. 58 sin una comprobación explícita del patrón de directividad.

La fuente y el equipo asociado debería adecuarse para radiar un nivel de señal suficiente en todas las bandas de octava entre 125 Hz y 4 000 Hz, de forma que se tenga un intervalo de caída adecuado en cada banda de octava.

Fuente: Norma UNE-EN ISO 3382-2001

Anexo 12

Se muestran los 16 parámetros Thiele-Small, entregados por el Software Limp, de los cuatro altavoces medidos.

Altavoz American California:

Loudspeaker parameters:

Fs = 92.95 Hz
Re = 7.91 ohms[dc]
Le = 174.57 uH
L2 = 427.21 uH
R2 = 13.50 ohms
Qt = 1.96
Qes = 2.71
Qms = 7.09
Mms = 66.73 grams
Rms = 6.133510 kg/s
Cms = 0.000044 m/N
Vas = 10.4 liters
Sd= 129.69 cm²
Bl = 11.257974 Tm
ETA = 0.03 %
Lp(2.83V/1m) = 77.33 dB

Added Mass Method:

Added mass = 30.900 grams
Diameter= 12.85 cm

Altavoz Novik

Loudspeaker parameters:

Fs = 129.03 Hz
Re = 7.87 ohms[dc]
Le = 135.25 uH
L2 = 359.19 uH
R2 = 11.95 ohms
Qt = 3.22
Qes = 5.17
Qms = 8.56
Mms = 69.71 grams
Rms = 8.166615 kg/s
Cms = 0.000022 m/N
Vas = 5.5 liters
Sd= 134.78 cm²
Bl = 10.343600 Tm
ETA = 0.03 %
Lp(2.83V/1m) = 76.59 dB

Added Mass Method:

Added mass = 30.900 grams
Diameter= 13.10 cm

Altavoz Professional High Power

Loudspeaker parameters:

Fs = 121.77 Hz
Re = 6.08 ohms[dc]
Le = 163.80 uH
L2 = 337.03 uH
R2 = 11.87 ohms
Qt = 1.93
Qes = 2.56
Qms = 7.83
Mms = 96.30 grams
Rms = 10.559999 kg/s
Cms = 0.000018 m/N
Vas = 4.5 liters
Sd = 134.78 cm²
Bl = 14.126341 Tm
ETA = 0.03 %
Lp(2.83V/1m) = 78.74 dB

Added Mass Method:

Added mass = 30.900 grams
Diameter = 13.10 cm

Altavoz BlastKing

Loudspeaker parameters:

Fs = 87.26 Hz
Re = 8.14 ohms[dc]
Le = 175.85 uH
L2 = 396.07 uH
R2 = 12.33 ohms
Qt = 1.71
Qes = 2.49
Qms = 5.22
Mms = 76.84 grams
Rms = 7.831311 kg/s
Cms = 0.000059 m/N
Vas = 10.8 liters
Sd = 132.73 cm²
Bl = 12.310054 Tm
ETA = 0.03 %
Lp(2.83V/1m) = 77.11 dB

Added Mass Method:

Added mass = 30.900 grams
Diameter = 13.00 cm