

NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE RE  
FUERZO SONORO LINE ARRAY PARA EL  
ESTADIO JOSÉ DIAZ**

AUTOR

**LUIS FRANCO BERROCAL FLORES**

RECUENTO DE PALABRAS

**16778 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**89725 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**120 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 26, 2024 3:34 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 26, 2024 3:36 PM GMT-5****● 14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref



**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS ( )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (X)

**DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres: Berrocal Flores Luis Franco
D.N.I.: 70025849
Otro Documento:
Nacionalidad: peruana
Teléfono: 987099863
e-mail: luis.fbf12@gmail.com

**DATOS ACADÉMICOS**

**Pregrado**

Facultad: ingeniería y gestión
Programa Académico: trabajo de suficiencia profesional
Título Profesional otorgado: ingeniero electrónico y telecomunicaciones

**Postgrado**

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

**Datos de trabajo de investigación**

Título: %ÙVWÖWÄÄÖE÷UÄÖEÄÜVET ÖÄÖEÄÜEÖMEÜZUÁ ÜÜPÜÜUÄÖEÄÜEÖYÄÜÖEÄSÄÜVÖÖWÄRUÜEÄÖZÄ
Fecha de Sustentación: 11 de Marzo 2018
Calificación: aprobado por unanimidad
Año de Publicación: 2024

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo  No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	<input checked="" type="checkbox"/>

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	<input type="checkbox"/>
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	<input type="checkbox"/>
	<b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	<input type="checkbox"/>

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

---

---

**Berrocal Flores Luis Franco**

APELLIDOS Y NOMBRES

**70025849**

DNI

Firma y huella:



Lima, 06 de Febrero del 20 24



**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**“ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMA DE REFUERZO SONORO LINE  
ARRAY PARA EL ESTADIO JOSE DIAZ”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**  
Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**BERROCAL FLORES, LUIS FRANCO**  
ORCID: 0009-0006-6277-1603

**ASESOR**  
**LA ROSA LONGOBARDI, CARLOS JACINTO**  
ORCID: 0000-0002-5439-1452

**Villa El Salvador**  
**2018**



Facultad de Ingeniería y Gestión – V Programa de Actualización Profesional  
Conducente a Titulación por la Modalidad de Examen de Suficiencia

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y  
TELECOMUNICACIONES**

En Villa El Salvador siendo las 12:00 horas del día Domingo, 11 de Marzo del 2018, se reunieron en el Salón de Grados los Miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional integrado por

Presidente : Dr. Carlos Andres Mugruza Vassallo  
Secretario : Mg. Ing. Ricardo Palomares Orihuela  
Vocal : Mg. Jose Ambrosio Machuca Mines

CIP. N° 102334  
CIP. N° 105002  
CIP. N° 158894

Nombrados según RESOLUCIÓN DE FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN N°051-2018-UNTELS-CO-VPAP-FIG, de fecha 08 de Marzo de 2018.

Se da inicio al Acto Pública de Sustentación y Evaluación del Trabajo de Suficiencia Profesional, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, bajo la modalidad de Examen de Suficiencia Profesional. (Resolución de Comisión de Organizadora N° 023-2012-UNTECS de fecha 20 de setiembre 2012, se APROBÓ la ratificación del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Tecnológica del Cono Sur de Lima y el Reglamento del Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención de Título Profesional, siendo que el Art. 6° del precitado Reglamento del Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención de Título Profesional, que establece: "El Examen de Suficiencia Profesional comprende dos etapas: a) Examen de Conocimientos Profesionales y b) Sustentación de un Trabajo de Suficiencia Profesional"), en la que

El bachiller: **BERROCAL FLORES, LUIS FRANCO**

Sustentó su Trabajo titulado: "ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMA DE REFUERZO SONORO LINE ARRAY PARA EL ESTADIO JOSE DIAZ"

Concluida la Sustentación del Trabajo, se procedió a la calificación correspondiente según el siguiente detalle:

Condición Aprobado por unanimidad con nota 15  
Equivalente Buena De acuerdo al Art. 74° del Reglamento General para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional de la UNTELS.

Siendo las 13:00 horas del día Domingo, 11 de Marzo del 2018, se dio por concluido el acto de sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, firmando la presente Acta los miembros del Jurado.

SECRETARIO

**CARLOS ANDRÉS MUGRUZA VASCALLO**  
INGENIERO ELECTRÓNICO  
Reg. CIP N° 102334  
PRESIDENTE

**JOSE AMBROSIO  
MACHUCA MINES**  
INGENIERO ELECTRONICO  
Reg. CIP N° 158894

Nota: Art. 40°.- Para el inicio y desarrollo de la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, se requiere la presencia física y permanente de los integrantes del jurado. De faltar algunos miembros de jurado, la sustentación procederá con los dos integrantes presente. En caso de ausencia del presidente del jurado, asumirá la presidencia, el docente de mayor categoría. En caso de ausencia de dos o más integrantes del jurado, la Comisión de Legalidad y Supervisión, conducirá.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su incansable labor en tratar de formarme como una persona de bien y por su apoyo constante en cada etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis amigos y compañeros de trabajo. A los que jamás se negaron en compartir su conocimiento, siempre me tuvieron paciencia y colaboraron con el desarrollo de este trabajo aun sin saberlo. A los más cercanos, con quienes comparto más tiempo y aportaron grandes cantidades de horas perdidas por charlas amenas y no siempre tan productivas.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO .....	6
1.3.1 Delimitación Teórica .....	6
1.3.2 Delimitación Espacial.....	6
1.3.3 Delimitación Temporal .....	6
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.4.1 Problema General.....	6
1.4.2 Problemas Específicos .....	7
1.5 OBJETIVOS .....	7
1.5.1 Objetivo General .....	7
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	9
2.2 BASES TEÓRICAS .....	10
2.2.1 Fundamentos del sonido.....	10

CAPITULO III: .....	38
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	38
3.1 <i>REQUERIMIENTOS</i> .....	38
3.1.1 <i>Leo-MT</i> .....	38
3.1.2 <i>Mapp XT</i> .....	45
3.1.3 <i>Galileo</i> .....	47
3.1.4 <i>Compass</i> .....	49
3.2 <i>DISEÑO</i> .....	50
3.2.1 <i>Determinación de la posición y ángulo de torre principal</i> .....	55
3.2.2 <i>Torre de delay</i> .....	62
3.2.3 <i>Vista de planta</i> .....	65
3.2.4 <i>Mediciones y retardos</i> .....	68
3.2.5 <i>Ecuación</i> .....	75
3.2.6 <i>Simulación alternativa</i> .....	84
3.3 <i>COMPARACIONES TÉCNICAS</i> .....	97
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES .....	100
BIBLIOGRAFÍA .....	101

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Porcentaje de la población mayor de catorce años que ha asistido a un 4
<b>Figura 2</b>	Conciertos 2016 en el estadio nacional. .... 5
<b>Figura 3</b>	Ecuación de la velocidad del sonido ..... 10
<b>Figura 4</b>	Espectro audible ..... 11
<b>Figura 5</b>	Fases de una señal senoidal. .... 13
<b>Figura 6</b>	Suma de señales con diferencia de fase ..... 15
<b>Figura 7</b>	Equivalencia de decibelios en valor lineal ..... 16
<b>Figura 8</b>	Propagación de una onda sonora de 17.81 kHz. .... 17
<b>Figura 9</b>	Propagación de una onda sonora de 306 Hz. .... 17
<b>Figura 10</b>	Caída de la presión sonora según la distancia de alejamiento. .... 18
<b>Figura 11</b>	Emisión de audio de un altavoz ..... 20
<b>Figura 12</b>	Medición de audio de un altavoz ..... 20
<b>Figura 13</b>	Emisión de audio de dos altavoces. .... 21
<b>Figura 14</b>	Medición de audio de dos altavoces. .... 21
<b>Figura 15</b>	Cancelación de frecuencias por desfase. .... 23
<b>Figura 16</b>	Partes esenciales de un micrófono ..... 24
<b>Figura 17</b>	Diagramas de directividad. .... 25
<b>Figura 18</b>	Partes de una consola Mackie Onyx 1220i ..... 27
<b>Figura 19</b>	Cajas acústicas, pasiva y activa. .... 28
<b>Figura 20</b>	Interacción de dos fuentes a 100Hz. .... 30
<b>Figura 21</b>	Interacción de dos fuentes a 200Hz ..... 31
<b>Figura 22</b>	Característica direccional del arreglo lineal. .... 32
<b>Figura 23</b>	Interacción de tres fuentes sonoras a 100 Hz ..... 32

<b>Figura 24</b> Interacción de cuatro fuentes sonoras a 100 Hz. ....	33
Figura 25 Arreglo line array de longitud total de 3.4 m. ....	34
<b>Figura 26</b> Suma lateral a 300 Hz. ....	35
<b>Figura 27</b> Reducción de suma lateral a 200 Hz. ....	36
<b>Figura 28</b> Limites directivos en altas y bajas frecuencias. ....	36
<b>Figura 29</b> Captura del software de predicción MAPP ....	37
<b>Figura 30</b> Leo-MT. ....	39
<b>Figura 31</b> Principales características del equipo Leo. ....	39
<b>Figura 32</b> Entorno del software Mapp XT. ....	40
<b>Figura 33</b> Representación de equipo Leo. ....	41
<b>Figura 34</b> Predicción del equipo Leo. ....	42
<b>Figura 35</b> Respuesta en frecuencia de la predicción de Leo. ....	42
<b>Figura 36</b> Orificios de ángulo y seguridad de un Leo. ....	44
<b>Figura 37</b> Opciones para insertar en Mapp XT. ....	45
<b>Figura 38</b> Importación del plano del estadio nacional en vista lateral. ....	46
<b>Figura 39</b> Ventana de configuración del sistema. ....	47
<b>Figura 40</b> Galileo calisto 616 de Meyer Sound. ....	48
<b>Figura 41</b> Panel frontal y posterior de galileo calisto 616. ....	48
<b>Figura 42</b> Entorno de trabajo Compass ....	50
<b>Figura 43</b> Diagrama de Gantt del proyecto. ....	50
<b>Figura 44</b> Vista de planta del estadio nacional. ....	51
<b>Figura 45</b> Vista lateral del estadio nacional. ....	52
<b>Figura 46</b> Insertar line array en Mapp XT. ....	53
<b>Figura 47</b> Ventana de configuración de <i>line array</i> . ....	54
<b>Figura 48</b> Ubicación del primer equipo del <i>line array</i> . ....	56



<b>Figura 49</b> Configuración de los ángulos. ....	58
<b>Figura 50</b> Posición del <i>line array</i> . ....	58
<b>Figura 51</b> Líneas de direccionamiento de Leo. ....	59
<b>Figura 52</b> Tabla de configuración de ángulos. ....	60
<b>Figura 53</b> Marca de proyección del <i>line array configurado</i> . ....	61
<b>Figura 54</b> Predicción de <i>line array</i> . ....	61
<b>Figura 55</b> Respuesta en frecuencia de la predicción. ....	62
<b>Figura 56</b> Lado final del campo ....	63
<b>Figura 57</b> Configuración de ángulos de delay. ....	64
<b>Figura 58</b> Configuración de ángulos del resto de <b>delay</b> . ....	64
<b>Figura 59</b> Líneas de proyección de torre <i>line array</i> . ....	65
<b>Figura 60</b> Predicción del sistema de refuerzo sonoro. ....	65
<b>Figura 61</b> Predicción en vista de planta. ....	67
<b>Figura 62</b> Predicción en vista de planta con refuerzo central. ....	68
<b>Figura 63</b> Lista de micrófonos para medición. ....	69
<b>Figura 64</b> Respuesta en frecuencia en varios puntos del entorno de trabajo. ....	70
<b>Figura 65</b> Configuración de señal de la torre principal. ....	71
<b>Figura 66</b> Configuración de señal de torre de <i>delay</i> . ....	71
<b>Figura 67</b> Distribución de direccionamiento del sistema. ....	72
<b>Figura 68</b> Zona de interacción entre torre principal y <i>delay</i> . ....	72
<b>Figura 69</b> Configuración de retardo. ....	73
<b>Figura 70</b> Respuesta en frecuencia luego de la configuración de retardo. ....	74
<b>Figura 71</b> Medición de micrófono uno antes de ecualización. ....	75
<b>Figura 72</b> Ecualización a través del Mapp XT. ....	76
<b>Figura 73</b> Medición de micrófono uno antes y después de ecualización. ....	77

<b>Figura 74</b> Medición de micrófono dos antes y después de ecualización. ....	77
<b>Figura 75</b> Medición de micrófono tres antes y después de ecualización. ....	78
<b>Figura 76</b> Medición de micrófono cuatro antes y después de ecualización. ....	79
<b>Figura 77</b> Medición de micrófono cinco antes y después de ecualización. ....	80
<b>Figura 78</b> Medición de micrófono seis antes y después de ecualización. ....	81
<b>Figura 79</b> Medición de micrófono siete antes y después de ecualización. ....	82
<b>Figura 80</b> Medición de micrófono ocho antes y después de ecualización. ....	82
<b>Figura 81</b> Ecualización del sistema principal y <i>delay</i> . ....	83
<b>Figura 82</b> Distribución de ángulos en torre principal de simulación alternativa uno. ....	86
<b>Figura 83</b> Proyección de torre principal de simulación alternativa uno. ....	86
<b>Figura 84</b> Distribución de ángulos en torre <i>delay</i> de simulación alternativa uno. ....	87
<b>Figura 85</b> Proyección de torre <i>delay</i> de simulación alternativa uno. ....	87
<b>Figura 86</b> Configuración de tiempo de retardo en torre <i>delay</i> de simulación alternativa uno. ....	88
<b>Figura 87</b> Predicción total de simulación alternativa uno. ....	88
<b>Figura 88</b> Distribución de ángulos en torre principal de simulación alternativa dos. ....	89
<b>Figura 89</b> Proyección de torre principal de simulación alternativa dos.....	89
<b>Figura 90</b> Distribución de ángulos en torre <i>delay</i> de simulación alternativa dos. ....	90
<b>Figura 91</b> Proyección de torre <i>delay</i> de simulación alternativa dos. ....	90
<b>Figura 92</b> Configuración de tiempo de retardo en torre <i>delay</i> de simulación alternativa dos. ....	91
<b>Figura 93</b> Predicción total de simulación alternativa dos. ....	91
<b>Figura 94</b> Predicción total de las tres simulaciones. ....	92

<b>Figura 95</b> Comparación de medición de micrófono uno a 20 metros. ....	93
<b>Figura 96</b> Comparación de medición de micrófono dos a 50 metros. ....	93
<b>Figura 97</b> Comparación de medición de micrófono tres a 80 metros. ....	94
<b>Figura 98</b> Comparación de medición de micrófono cuatro a 110 metros. ....	94
<b>Figura 99</b> Comparación de medición de micrófono cinco a 140 metros. ....	95
<b>Figura 100</b> Comparación de medición de micrófono seis a 160 metros. ....	95
<b>Figura 101</b> Comparación de medición de micrófono siete a 170 metros. ....	96
<b>Figura 102</b> Comparación de medición de micrófono ocho a 180 metros. ....	96

## INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto “Estudio y diseño del sistema de refuerzo sonoro *line array* para el estadio José Díaz” consiste en la realización de todos los ajustes y mediciones necesarias para lograr cubrir adecuada y homogéneamente de sonido el campo y tribuna del estadio nacional.

El estudio y diseño del refuerzo sonoro es un ámbito que se ha ido desarrollando con forme las exigencias de los artistas y espectadores han aumentado. Gracias al avance de la tecnología hoy en día existen una gran variedad de sistemas que pueden dar solución a los distintos requerimientos que se puedan tener en cuanto a refuerzo sonoro.

Este proyecto está dividido en 3 capítulos. En el primero se plantea la problemática de la necesidad de contar con una buena cobertura y fidelidad de audio en los eventos musicales hoy en día. El capítulo dos habla acerca de las bases teóricas que debemos de tener para poder entender mejor el desarrollo de un refuerzo sonoro y en el capítulo 3 se desarrollan los procedimientos para poder realizar el diseño del sistema de audio.

El autor.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El actual crecimiento de la tecnología en la gran mayoría de aspectos de nuestra vida cotidiana nos empuja a la adquisición de nuevos conocimientos en cualquier ámbito que nos desarrollemos. En todo el mundo desde hace algunos años se vienen dando cambios constantes en cuanto al desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al refuerzo y mejoramiento de calidad de sonido debido a la exigencia en la fidelidad de audio de los espectadores y a la necesidad de una mejor presentación final en el trabajo de los artistas, estos nuevos sistemas de audio son llamados *line array*.

Como lo indica Kai Harada (2005), diseñador de sonido, “el refuerzo sonoro de una banda en vivo debe funcionar bajo el principio de que todo debe escucharse y todo debe combinarse bien”.

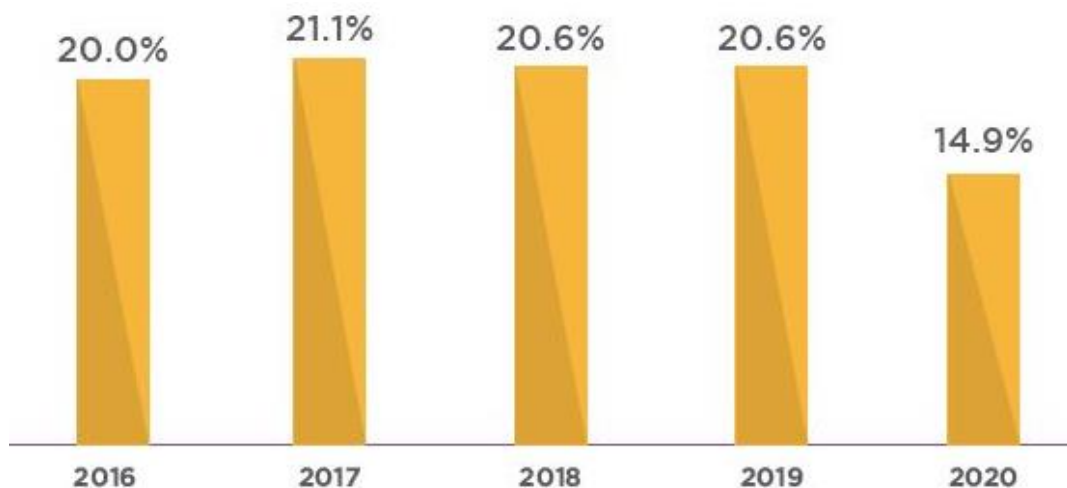
Como lo relata Stephen Bunt (2005), ingeniero de sonido en vivo, en el artículo publicado en su propia página, alrededor de los años 70 la manera de reforzar el sonido en algún tipo de evento era apilando cajas de altavoces generalmente de forma horizontal para aumentar el nivel de presión acústica, sin embargo, a menudo

la respuesta de frecuencia era irregular ocasionando por la excesiva cantidad de cajas apiladas, además de no tener largo alcance debido al acoplamiento de frecuencias.

En sus respectivos artículos, John Murray (2003) y Bob McCarthy (2013), hablan acerca de las ventajas de los sistemas *line array* respecto a los sistemas convencionales. Ambos coinciden que los beneficios de los sistemas *line array* son principalmente la mejor dispersión y eficiencia del sonido. Además, describen de manera general los componentes del mencionado sistema y la importancia de una buena configuración del equipo.

En el Perú, según informe de Apdayc, se ha realizado más de 50 megaconciertos en el 2016 (eventos que superan los 250 mil soles en taquilla) y un sin número de eventos de menor recaudación.

En el reporte “¿Cómo vamos de música en el Perú?” realizado por el ministerio de la cultura y basados en información de ENAPRES (La Encuesta Nacional de Programas Presupuestales) entre los años 2016-2020, se indica que la asistencia a espectáculos musicales se redujo considerablemente en el 2020 debido a la pandemia y factores relacionados a la poca oferta. Cayendo del 20.6% al 14.9% sin embargo, aclara que entre los años 2017 y 2019 el nivel de asistencia se mantuvo estable en un 20.6%.



**Figura 1** Porcentaje de la población mayor de catorce años que ha asistido a un espectáculo musical durante los últimos doce meses (2016-2020)  
Fuente: Reporte “¿Cómo vamos de música en el Perú?”

En un reciente artículo del diario el Comercio se indica que este 2022 se retomaron los grandes shows en distintas ciudades del país, entre algunos de los principales artistas tenemos a Marc Anthony, Guns and Rouses, Kiss, Daddy Yankee, Harry styles, Bad Bunny, entre otros.

Según un artículo del diario Peru21 del presente año la industria del entretenimiento se ha reactivado este 2022 y ya supera los resultados del 2019. Marina Marcovich Adrianzén, directora nacional de recaudación de Apdayc indica que el 2022 es un año inusual y esto ha llevado a revivir la fiebre de la música en vivo. Según indica el artículo en el 2019 se realizaron 62 mega eventos y este año 2022 se estiman 100 espectáculos de esa magnitud. En este mismo artículo el presidente del sector de espectáculos culturales y afines, Jorge Fernández Mazaira, indico que desde marzo del presente año las personas en todo Latinoamérica y el mundo aumentaron la compra de entradas para este tipo de espectáculos, luego de estar confinados por casi dos años en sus casas debido a la pandemia.

Debido a esta gran acogida de eventos en el país y al rápido desarrollo tecnológico, los empresarios peruanos dedicados al servicio de implementación de

refuerzo sonoro se ven en la exigencia de estar a la vanguardia en cuanto a equipamiento y personal calificado para realizar el adecuado diseño del proyecto requerido y que se pueda tener la calidad necesaria que tanto se exige en la actualidad.

Acontecimientos de la magnitud mencionada se desarrollan muchas veces en el estadio nacional José Díaz el cual, según datos oficiales, tiene una capacidad total entre sus tribunas y palcos de 45000 personas, considerando la ocupación de lugares en cuestión de los eventos mencionados la capacidad puede aumentar hasta cerca de las 50000 personas. A continuación, la figura 2 muestra los conciertos más importantes realizados en el estadio nacional durante el 2016.

CONCIERTO	FECHA	LUGAR	ASISTENCIA
COLDPLAY	05.04.16	ESTADIO NACIONAL	48,623
MANA	20.04.16	ESTADIO NACIONAL	44,02
ALEJANDRO SANZ	27.04.16	ESTADIO NACIONAL	20,414
VIVO POR EL ROCK 7	28.05.16	ESTADIO NACIONAL	44,855
UNA NOCHE DE SALSA VII	07.06.16	ESTADIO NACIONAL	22,674
SLIPKNOT	18.10.16	ESTADIO NACIONAL	9,131
FESTIVAL ALL ACCESS	22.10.16	ESTADIO NACIONAL	15,609
AEROSMITH	24.10.16	ESTADIO NACIONAL	31,463

**Figura 2** Conciertos 2016 en el estadio nacional.

Fuente: <https://elcomercio.pe>

Sin embargo, para un recinto de gran capacidad como el estadio mencionado se necesita implementar un adecuado sistema de refuerzo sonoro con las medidas, alineamientos y configuración que pueda cubrir de manera eficiente todas las frecuencias audibles en el espacio ocupado manteniendo la fidelidad del audio.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Ante el requerimiento de los artistas y la población limeña de tener la mejor cobertura, fidelidad de audio y con el objetivo de desarrollar la optimización de un



sistema sonoro debidamente sustentado en todos los aspectos necesarios para el refuerzo sonoro en el estadio nacional, es pertinente realizar todas las pruebas, medidas y simulaciones necesarias para conseguir una adecuada cobertura de sonido en el aérea solicitada.

### **1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

#### **1.3.1 Delimitación Teórica**

En el presente proyecto de investigación se necesitaron las bases teóricas del sonido en general, el refuerzo sonoro y el sistema *line array*.

#### **1.3.2 Delimitación Espacial**

El lugar donde se realizará el proyecto de refuerzo sonoro será el estadio nacional del Perú José Díaz.

#### **1.3.3 Delimitación Temporal**

El diseño e implementación del mencionado proyecto se llevará a cabo desde agosto del 2017 hasta fines de febrero del 2018.

### **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.4.1 Problema General**

¿Cómo diseñar el refuerzo sonoro para abarcar el área que cubre el campo del estadio nacional José Díaz?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

- ¿Cuál será el adecuado posicionamiento de las torres de refuerzo sonoro *line array* y *delay*?
- ¿Qué mediciones son necesarias para la implementación del refuerzo sonoro?
- ¿Cómo realizar las ecualizaciones, retardos y otras configuraciones del sistema?

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

- Diseñar el refuerzo sonoro para abarcar el área que cubre el campo y la tribuna popular del estadio nacional José Díaz.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Encontrar el posicionamiento adecuado de las torres *line array* y *delay* a través de análisis del entorno de trabajo y sus características.
- Definir las mediciones necesarias de la predicción de los sistemas por medio del software Mapp XT.
- Definir las ecualizaciones, retardos y otras configuraciones del sistema por medio del análisis de los gráficos de respuesta en frecuencia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el desarrollo de la investigación e implementación del proyecto se encontraron diversas fuentes que ayudaron a la realización de este trabajo.

##### **2.1.1 Antecedentes nacionales**

- Wilber Manuel Morán Carbajal (2009). *Diseño de un procesador de efectos de sonido en un FPGA*. El cual tiene como conclusión principal se obtiene que el sistema tiene una aprobación significativa y en especial el algoritmo de efecto *delay* cruzado que alcanza un 90% de aprobación por los involucrados en las pruebas, finalmente se puede concluir que el sistema si es realizable en base a la tecnología usada.

### 2.1.2 Antecedentes internacionales

- Gutiérrez Velasco Juan Carlos (2015). *Proponer el refuerzo sonoro para un evento en vivo en el estadio Wilfrido Massieu del Instituto Politécnico Nacional.*

En el cual concluye que el desarrollo de su proyecto es correcto con una vista de corte que pueda comprobar la correcta posición del arreglo lineal, monitoreando las pérdidas que se puedan tener a lo largo del campo

- Urrego Núñez Alfredo (2007). *Parámetros de diseño del sistema de refuerzo sonoro para centros comerciales, aplicados al centro comercial Unicentro de Occidente.* En el cual concluye que con la relación adecuada de señal ruido se puede garantizar el funcionamiento del sistema de refuerzo sonoro
- Shmidt Raab Valdivia Juan Felipe (2015). *Predicción de las condiciones acústicas del proyecto de remodelación del salón de asamblea Trébol y recomendaciones para su mejoramiento.* Donde se concluyó que la relación señal/ruido y el tiempo de reverberación influyen en proporciones similares en el valor de STI (índice de transmisión del habla). Aún con los mejores valores de tiempo de reverberación, el STI puede ser malo si no se logra una suficiente relación señal/ruido. Por lo tanto, en todo proyecto se debe decidir por dónde conviene abordar las soluciones al problema en base a los recursos disponibles.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Fundamentos del sonido

Como menciona Zafra (2018): “Este vendría a ser como un fenómeno físico del movimiento del aire, el cual puede emitir una fuente emisora que genera una serie de ondas de presión sonora que, al llegar a nuestro oído, las percibimos como sonido”

Por ende, el sonido es un fenómeno físico, el cual estimula nuestro sentido auditivo a través de vibraciones propagadas por un medio elástico, del cual se determinan las siguientes características:

#### 2.1.1.1 Velocidad del sonido

German Portillo(s.f.) en su artículo “velocidad del sonido” indica que la velocidad de propagación del sonido va a depender directamente del medio en el que se vaya a transportar, la temperatura del medio y la presión atmosférica. Para este estudio tenemos al aire como medio de propagación, una temperatura ambiental 20°C y la presión atmosférica al nivel del mar. La ecuación de la velocidad del sonido para los gases viene descrita en la siguiente figura.

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

**Figura 3** Ecuación de la velocidad del sonido  
Fuente: Elaboración propia

En donde:

$\gamma$  = razón de calores específicos, capacidad calorífica. 1.4 para el aire

R = constante universal de los gases  $8.314 \frac{kg.m^2}{mol.K.s^2}$

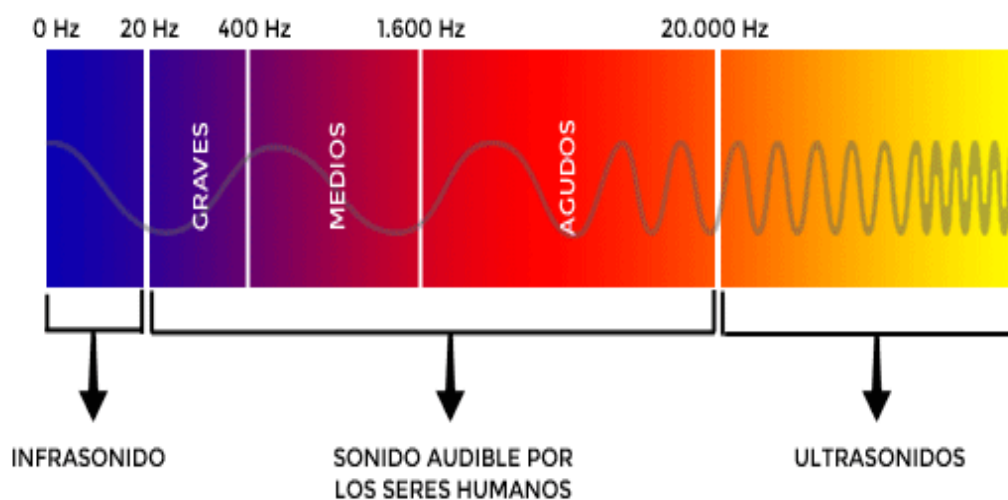
T = la temperatura expresada en kelvin 293.15 K (20°C)

M = peso molecular del aire  $0.029 \frac{kg}{mol}$

Realizando el reemplazo de los valores mostrados tenemos como resultado una velocidad de 343.01 m/s.

### 2.1.1.2 Frecuencia y Periodo

Gracias a las investigaciones de Jean-Baptiste Joseph Fourier (1822) que estableció la base matemática de la teoría de ondas, sabemos que la frecuencia está dada por la cantidad de vibraciones (oscilaciones) que se puede producir en un segundo y su unidad de medida es el Hertz, 1 oscilación = 1 Hz, cabe mencionar que el espectro de frecuencia percibida por el ser humano está entre los 20 Hz y 20 kHz.



**Figura 4** Espectro audible  
Fuente: <https://programarfacil.com>

Al tiempo que demora en darse una oscilación se le denomina periodo, el cual se le conoce como T y viene dada en segundos, es claro reconocer que la frecuencia es inversamente proporcional al periodo  $T = \frac{1}{f} s$ , esto indica que entre más sea la frecuencia de sonido que se tenga, menor será el tiempo que demore cada oscilación, por ejemplo, para la siguiente ecuación se puede apreciar el periodo de las frecuencias de 20 Hz y 20 kHz.

$$T_{20hz} = \frac{1}{20} s = 50ms \quad T_{20khz} = \frac{1}{20000} s = 50\mu s$$

### **2.1.1.3 Amplitud**

La amplitud del sonido, en términos estrictos, es el desplazamiento máximo de las moléculas de aire a partir de su punto de equilibrio, la cual es reflejada en la intensidad con la que se percibe. Mientras más amplio sea el movimiento de la molécula de aire mayor será el volumen que se perciba del sonido.

### **2.1.1.4 Longitud de onda**

La longitud de onda indica el espacio entre dos partículas de aire de ciclos consecutivos en un mismo instante de periodo, esta distancia es denominada como lambda " $\lambda$ ". Con esto se da relación a las características del sonido mencionada.

$$V = \lambda \cdot f$$

Donde:

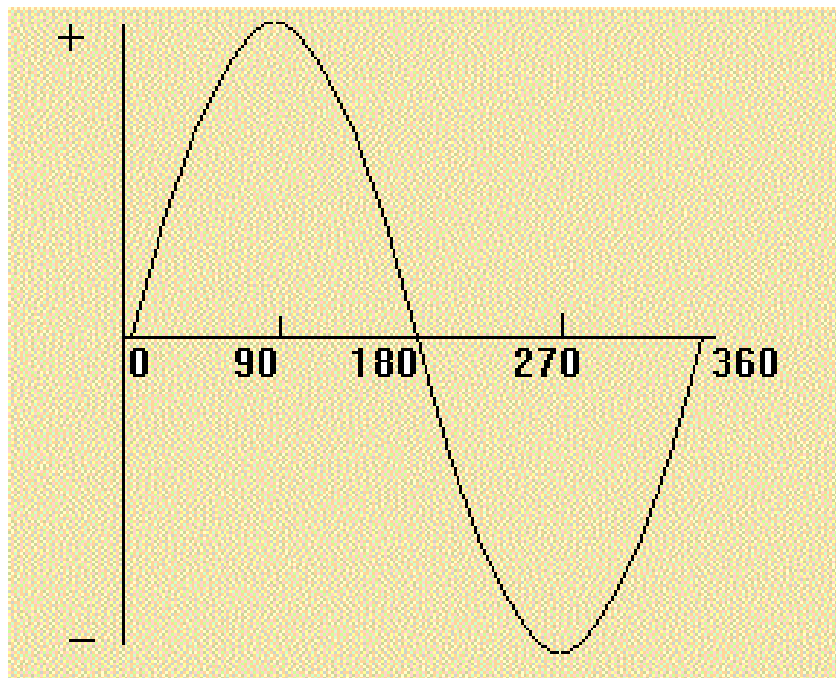
V = velocidad del sonido

$\lambda$  = longitud de onda de sonido

$f$  = frecuencia del sonido

### 2.1.1.5 Fase

La fase de una onda en términos generales es el momento en el que se encuentra desarrollándose el ciclo a partir del instante de referencia tomado, el cual varía de inicio a fin entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ .



**Figura 5** Fases de una señal senoidal.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.1.6 Presión sonora (SPL)

Jean Baptiste Biot (1816) en su trabajo "Tratado de física experimental y matemática" menciona que el nivel de presión sonora es la variación de compresión y expansión en un determinado medio. El nivel de presión sonora es el parámetro de medición de la intensidad con la que el sonido llega a ser percibido por nuestros oídos, la escala en la que se muestra es la logarítmica y viene dada por los decibelios(db). Esta



magnitud va depender de la intensidad de la fuente sonora, la posición en la que se encuentre dentro del lugar de medición y de las condiciones físicas del entorno. Los decibelios son la unidad que se utiliza para expresar la comparación de dos magnitudes en una escala logarítmica.

Harvey Fletcher y Wilden A. Munson (1930) en su artículo "La sonoridad, su definición, medida y cálculo" establecieron las bases para la escala de medición de frecuencia A (dBA) y la ecuación de la presión sonora.

La ecuación del nivel de presión sonora o SPL es:

$$SPL = 20 * \log \frac{P}{P_0}$$

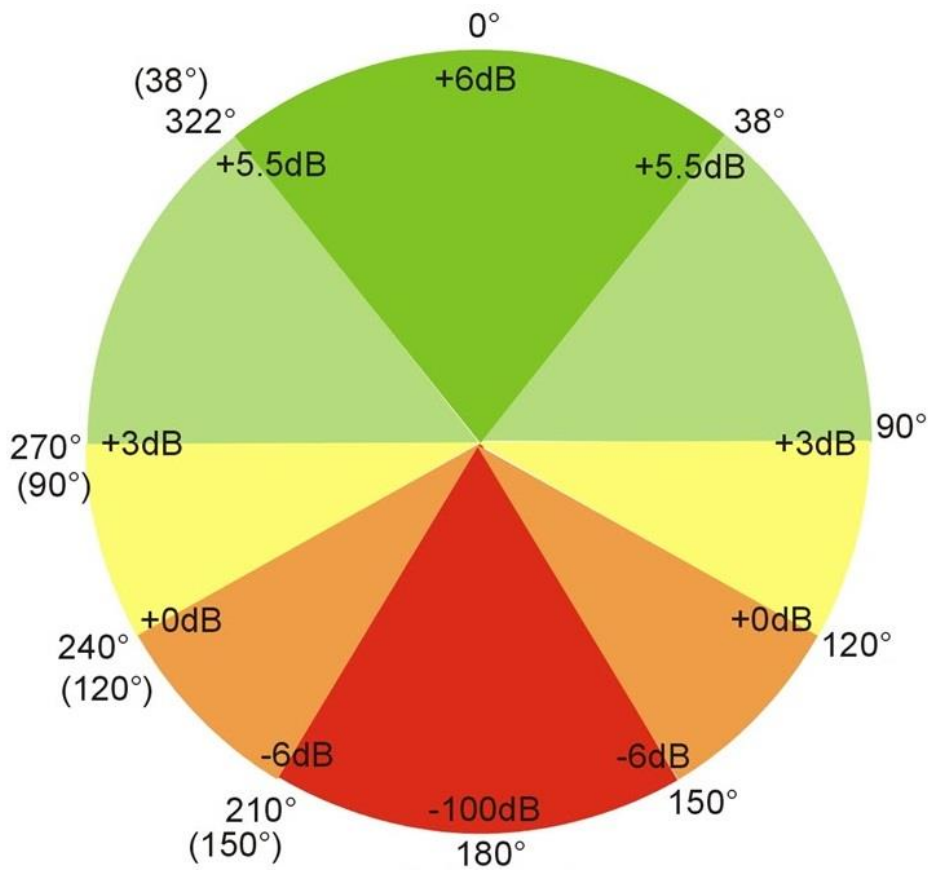
En donde:

P = valor eficaz de la presión sonora

$P_0$  = valor eficaz de la presión sonora de referencia,  $2 * 10^{-5} N/m^2$

Por ello si se duplica la presión sonora emitida, esta incrementara en +6db de la señal original. De igual manera al interactuar dos señales con la misma magnitud, fase y polaridad esta se incrementará en 6db. En caso exista un desfase entre ellas, dependiendo del desfase las señales se sumarán o restaran.

La interacción entre dos señales de audio viene determinada por las variables ya mencionadas. A continuación, se muestra la figura 6 de círculo de fases, en el cual interactúan señales con diferentes fases.



**Figura 6** Suma de señales con diferencia de fase  
Fuente: <http://www.equaphon-university.net/>

En la figura 6 se muestra el resultado de las sumas de señales de igual magnitud y polaridad, pero en varios posibles casos de desfase, siendo la cancelación total de la señal al encontrarse desfasadas 180°.

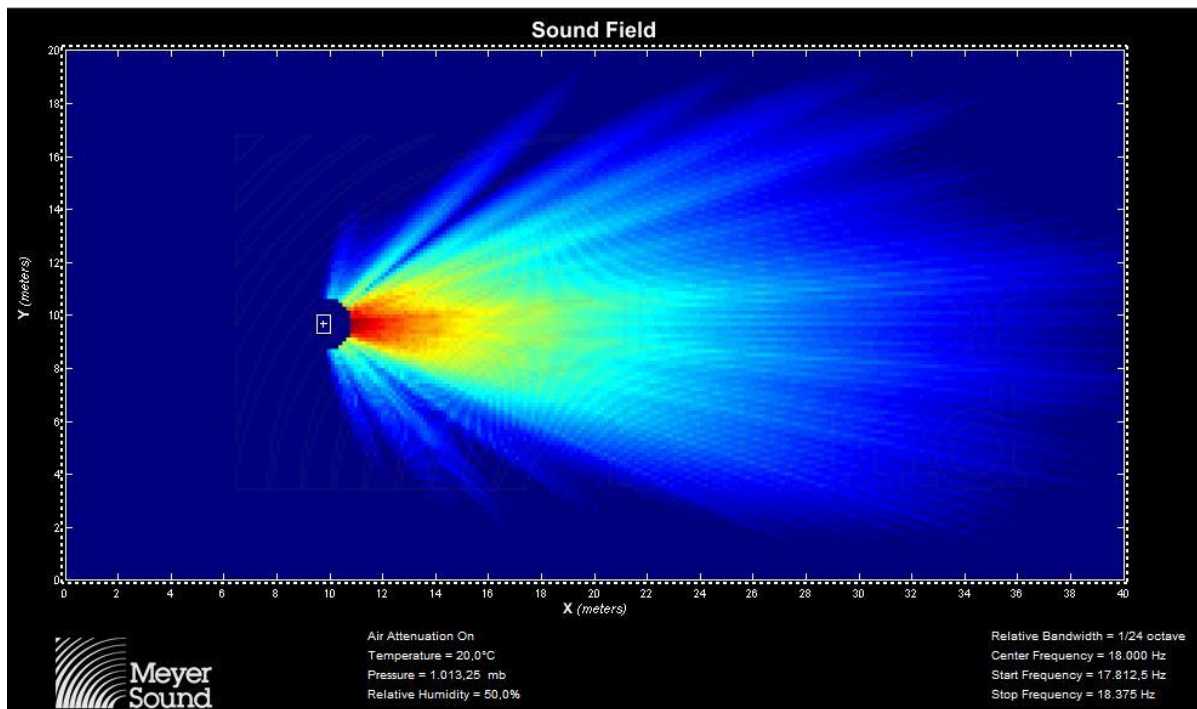
Para el caso de la suma de más de dos señales de igual magnitud y en fase tenemos la figura 7 que nos ayudara a comprender mejor el entorno de los decibelios.

log	lineal		log	lineal		log	lineal
6db	x2		12db	x4		18db	x8
5db	x1,8		11db	x3,6		17db	x7,2
4db	x1,6		10db	x3,2		16db	x6,4
3db	x1,4		9db	x2,8		15db	x5,6
2db	x1,25		8db	x2,5		14db	x5
1db	x1,1		7db	x2,2		13db	x4,4
0db	x1,0						
-1 d b	x0,9		-7 d b	x0,45		-13 d b	x0,225
-2 d b	x0,8		-8 d b	x0,4		-14 d b	x0,2
-3 d b	x0,7		-9 d b	x0,35		-15 d b	x0,175
-4 d b	x0,6		-10 d b	x0,3		-16 d b	x0,15
-5 d b	x0,55		-11 d b	x0,275		-17 d b	x0,1375
-6 d b	x0,5		-12 d b	x0,25		-18 d b	x0,125

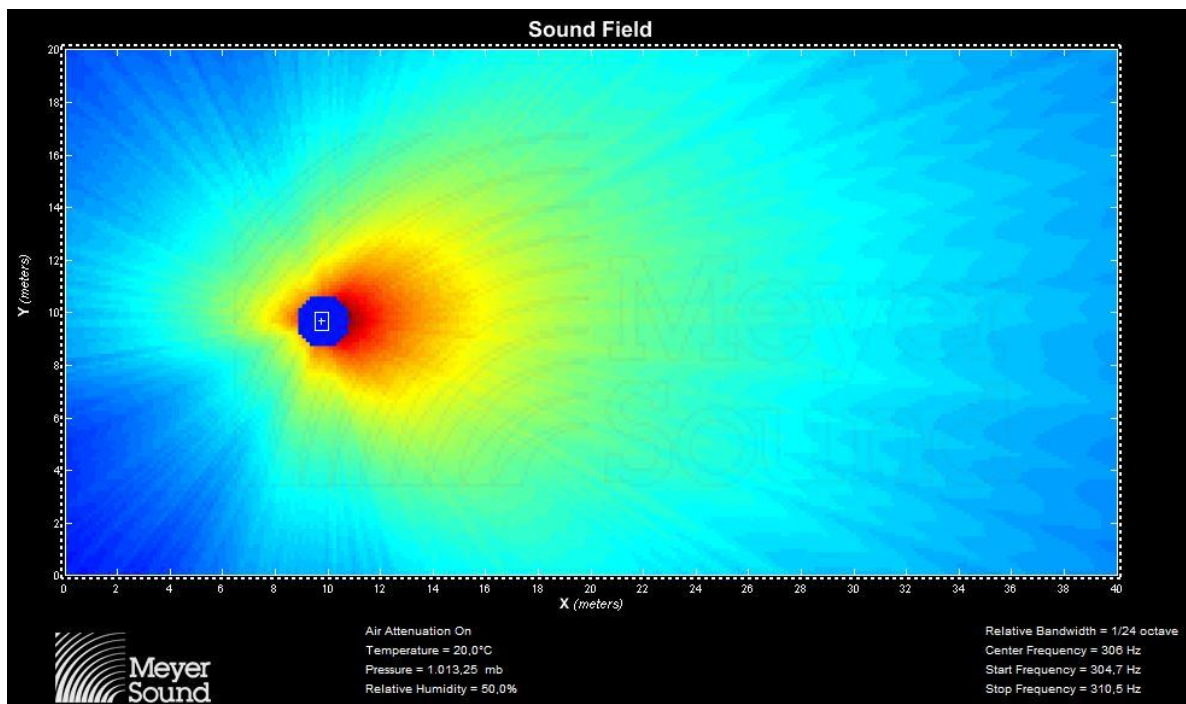
**Figura 7** Equivalencia de decibelios en valor lineal  
Fuente: Conferencia centro americano de audio

Como se puede apreciar en la figura 7 cada vez que se duplica la cantidad de señales de audio el valor de decibelios incrementa en 6 db, de igual manera si dividimos a la mitad el valor que tengamos la señal se reduce 6 db, para el resto de los casos la operación resulta un poco más compleja y no es aplicable en la práctica, pero es de gran ayuda tenerlo en cuenta.

Sin embargo, se debe reconocer un nuevo factor para las sumas de señales de audio, la directividad de señal. Para el caso de frecuencia bajas su forma de radiación es omnidireccional lo cual le permite entrar en fase con otras señales y poder sumarse con facilidad, para el caso de las frecuencias altas su forma de radiación es muy direccional, esto no le permite entrar en fase con otra señal si no están dirigidas con precisión al mismo punto.



**Figura 8** Propagación de una onda sonora de 17.81 kHz.  
 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 9** Propagación de una onda sonora de 306 Hz.  
 Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en las figuras 8 y 9 la forma de propagación de una onda de baja frecuencia es omnidireccional, mientras que al elevar la frecuencia la propagación tiende a ser direccional.

### 2.1.1.7 Ley cuadrática inversa

“Cuando un sonido es emitido desde una fuente de sonido (fuente de sonido puntual), el sonido se esparce sobre un espacio en forma de esfera (onda de superficie esférica), por lo que el nivel de presión sonora será inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En otras palabras, cada vez que se duplica la distancia, el nivel de presión sonora es atenuado en -6 dB”. (Zafra, 2018, p.63)

Por ello esta ley nos dice específicamente que el sonido decae según el inverso del cuadrado de la distancia. Cada vez que se duplique la distancia de medición del sonido su área de cobertura se cuadruplicará y la presión sonora disminuirá en 6db.



**Figura 10** Caída de la presión sonora según la distancia de alejamiento.  
Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

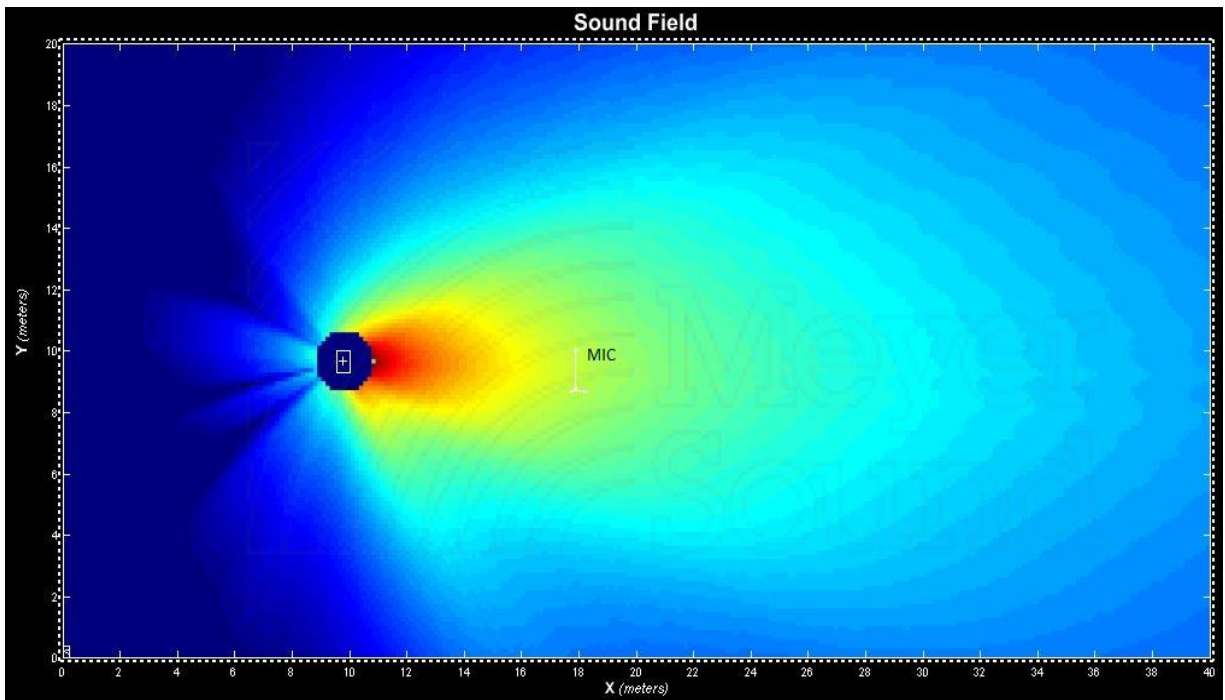
## Interacción

Acerca de esto Bob McCarthy (2007) menciona: “La suma ocurre cuando dos o más señales de audio se combinan para crear una nueva forma de onda. La suma podría ser solamente un evento momentáneo, en cuyo caso hay poco que podamos hacer para manejarla” (p. 55).

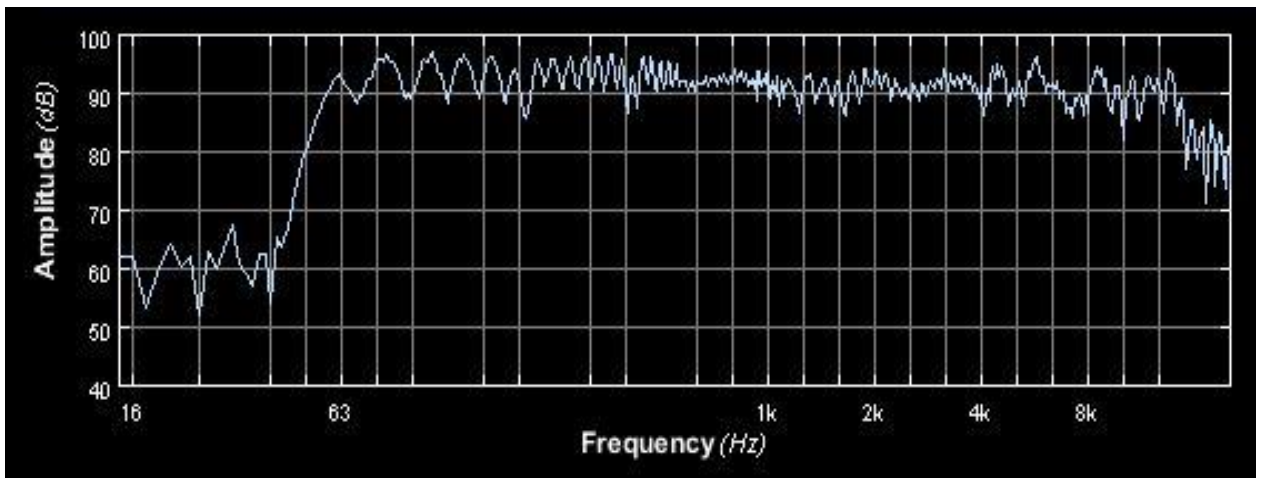
La interacción entre dos o más fuentes de sonido es un fenómeno natural que nos muestra que siempre habrá una suma o resta de frecuencias entre las fuentes dependiendo de las frecuencias emitidas, la distancia de ambas frecuencias al punto de medición, la presión sonora de las fuentes y algún posible desfase de la señal de audio.

Si tenemos una frecuencia de 2 kHz que es emitida desde un punto de referencia (0;0), otra de igual presión sonora, pero emitida desde un punto (0;10) y un punto de medición en (10;0) es claro que ambas frecuencias van a llegar en tiempo distintos al punto de medición entonces, dependiendo el desfase con el que coincidan en el punto de medición se tendrá la suma o resta de señal emitida.

En las figuras 11 y 13 se muestra gráficamente como es la radiación con uno y dos equipos de audio, en las figuras se puede apreciar la medición de los dos casos mencionados, en las figuras 12 y 14 tenemos la gráfica de frecuencias normal del equipo en la que se tiene una buena respuesta de todas las frecuencias que este equipo en particular cubre, sin embargo en la medición de los dos equipos con la misma presión sonora, pero en posiciones distintas se observa claramente como varias frecuencias llegan a restarse hasta el punto de casi anularse, este fenómeno es llamado filtro tipo peine.

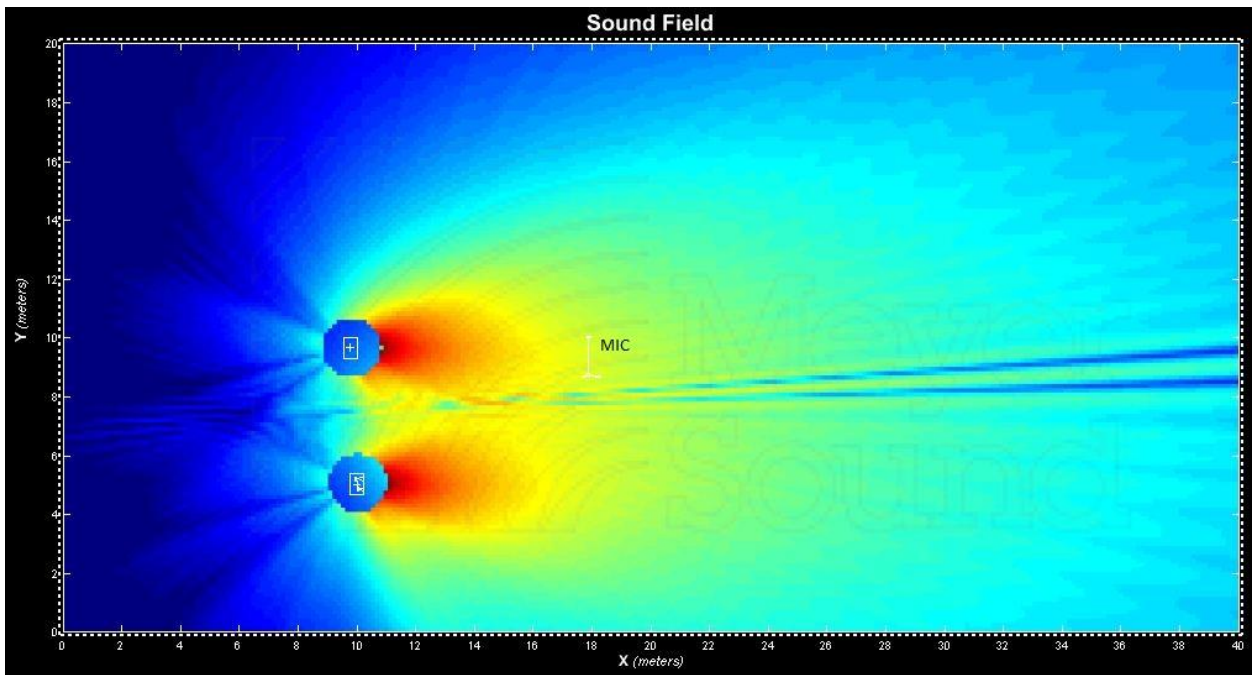


**Figura 11** Emisión de audio de un altavoz  
Fuente. Elaboración propia.

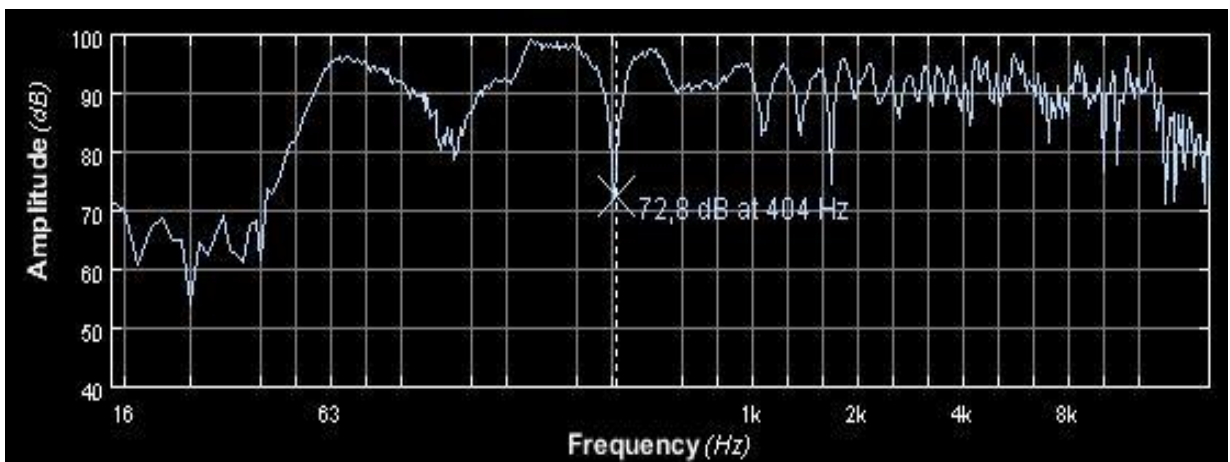


**Figura 12** Medición de audio de un altavoz  
Fuente. Elaboración propia.





**Figura 13** Emisión de audio de dos altavoces.  
Fuente. Elaboración propia.



**Figura 14** Medición de audio de dos altavoces.  
Fuente. Elaboración propia.

### 2.1.1.8 Cancelación de frecuencias

El tema de cancelaciones, por el contrario, se encuentra presente virtualmente en cualquier interacción que tengamos con un sistema de sonido. Es el método principal de coloración de respuesta de un sistema de sonido. Gastamos horas reposicionando cajas acústicas, ajustando ecualizadores y *delays*, tratando de controlar las

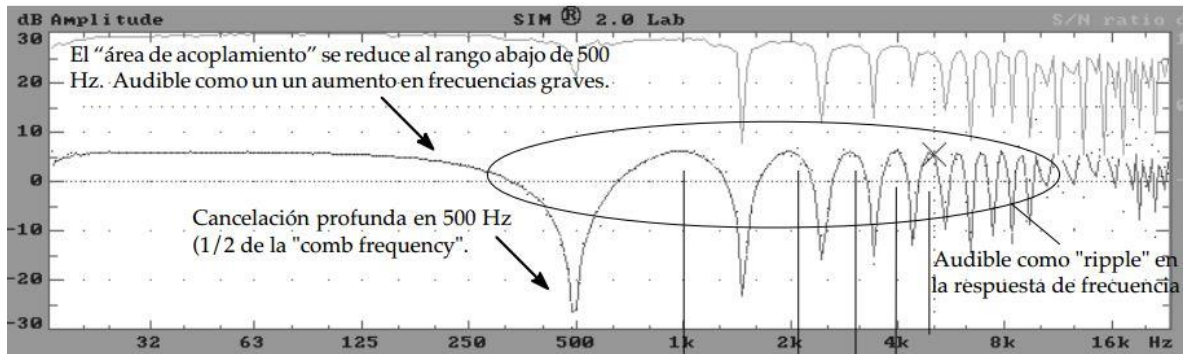


cancelaciones. Algunos profesionales en audio reconocidos, son expertos para desarmar intuitivamente las cancelaciones, a pesar de no haberlas visto en un analizador, y teniendo solo una vaga noción de lo que realmente las causa. (Bob McCarthy, 1997, p.85)

Como ya fue mostrado en el apartado anterior, la cancelación de frecuencias se da en la interacción de los altavoces el cual varía según el instante en que lleguen las distintas emisiones de onda al punto de medición.

Para un ejemplo práctico tendremos dos emisiones de onda retrasada una de la otra a 1 ms. Se sabe que 1 ms es también el periodo para la frecuencia de 1KHz, con esto se asegura que a pesar de que ambas señales están desfasadas coincidirán en la frecuencia de 1KHz, ya que hay un desfase total de  $360^\circ$  y se sumarán en +6db. Sin embargo, ¿qué es lo que sucede con las demás frecuencias?

Para el caso de los múltiplos enteros de 1 kHz (2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 5 kHz, etc) se obtendrá también la suma total de +6db debido a que al ser múltiplos enteros de un 1 kHz coincidirán con el desfase de  $360^\circ$ . La mayor cancelación se verá en los múltiplos enteros de la mitad de la frecuencia de 1 kHz o visto de otra manera en la mitad de las sumas, ya que siempre se encontrarán con un desfase de  $180^\circ$ . Esta descripción se puede ver claramente en la figura 15.



**Figura 15** Cancelación de frecuencias por desfase.  
Fuente: Referencias de diseño de Meyer Sound, 2000

### Refuerzo sonoro

John Eargle (2008) en su libro “El manual de diseño de sistemas de sonido” menciona la importancia del conocimiento de la acústica y la tecnología para conseguir un refuerzo sonoro adecuado. El sistema de refuerzo sonoro es todo el conjunto de elementos necesarios para poder amplificar, distribuir y mejorar la intensidad de sonido en un determinado ambiente de manera adecuada sin perder la fidelidad.

La complejidad del sistema vendrá siendo dada en la mayoría de los casos por la geografía del lugar, las condiciones climáticas extremas, el área de cobertura total y el material predominante en el recinto. Como elementos principales de un sistema de refuerzo sonoro tenemos los siguientes:

#### 2.1.1.9 Micrófono

Sea cual sea el origen del sonido ha sido captado por un micrófono para iniciar su proceso en el sistema de refuerzo sonoro, un micrófono es un transductor que convierte las ondas sonoras captadas a señales eléctricas. Básicamente un micrófono tiene como partes esenciales un diafragma y una bobina, siendo el diafragma la parte más importante y la encargada de captar las vibraciones de las ondas sonoras, además

tenemos a la bobina la cual dependiendo de la vibración del diafragma convierte las ondas sonoras en señales eléctricas.



**Figura 16** Partes esenciales de un micrófono  
Fuente: <http://www.analfatecnicos.net/>

Como partes secundarias, los micrófonos cuentan con una rejilla para proteger el diafragma, la carcasa que cubre todo el micrófono y la parte destinada a la conexión.

Dependiendo de las diferentes fuentes y tipos de ondas sonoras que se capte con un micrófono, existirán principalmente 2 tipos por su construcción y aplicación.

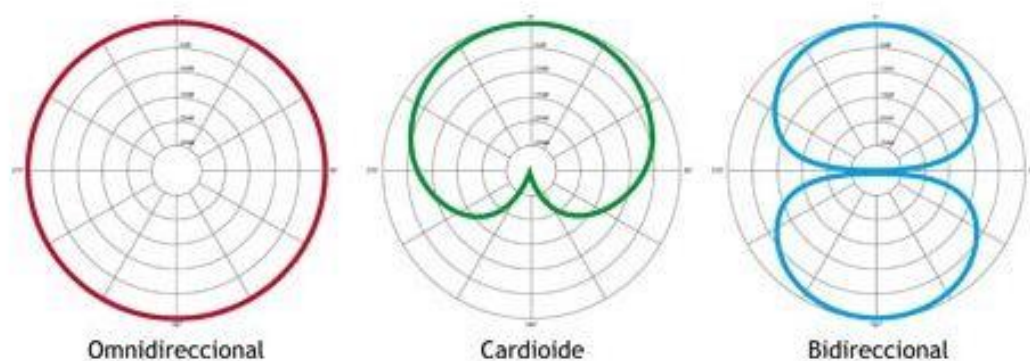
#### **2.1.1.9.1 Micrófono dinámico**

Es el micrófono más común el cual funciona con las partes básicas, un diafragma y una bobina, estos micrófonos son robustos y de un bajo costo, su uso común es para voces debido a que no es muy sensible y solo capta las ondas sonoras más cercanas.

### 2.1.1.9.2 Micrófono de condensación

Para captar las ondas sonoras de instrumentos delicados es necesario el uso de micrófonos de condensación, estos micrófonos tienen una estructura un tanto diferente a los dinámicos, también cuentan con un diafragma, pero mucho más delgado y en lugar de una bobina es la misma presión de aire la cual incide en un condensador el cual lo vuelve mucho más sensible que los micrófonos dinámicos, además de estas diferencias, los micrófonos de condensación necesitan una fuente de energía llamada “phantom” para poder funcionar, esta fuente proporciona al micrófono de condensación +48v dc.

También podemos dividir los tipos de micrófono según su directividad o área de captación, estos pueden ser: omnidireccionales, bidireccionales y cardiode.



**Figura 17** Diagramas de directividad.  
Fuente: <http://www.analfatecnicos.net>

Como se puede apreciar en la figura 17 los micrófonos omnidireccionales captan todo lo posible a su alrededor, mientras que los cardiodes y bidireccionales se limitan a la zona por la cual fueron configuradas.

La elección del tipo de micrófono se dará de acuerdo a las necesidades y al requerimiento presentado en las distintas situaciones posibles.

#### **2.1.1.10 Mezcladora o Mixer**

Es una de las partes más importantes del refuerzo sonoro, encargada de recibir todas las fuentes de sonido (voces, instrumentos, reproductores, etc), procesarlas, configurarlas y armar una mezcla coherente para poder ser emitida mediante una etapa de potencia hacia el público. Principalmente una mezcladora se compone por una sección para insertar las señales, controles individuales para el tratamiento de cada señal, controles para el tratamiento de la mezcla general de todas las señales y de una sección para extraer la señal mezclada del equipo

Dependiendo de la complejidad del evento o presentación una consola puede tener más utilidades que otras, si básicamente su función es mezclar los canales con un adecuado nivel de presión, las más complejas pueden procesar cada señal de manera independiente antes de ser enviadas en la mezcla general, a estas consolas se le conocen como consolas digitales, las cuales no necesitan de ningún equipo adicional para poder procesar y hacer cualquier configuración a la

señal recibida, además de tener mayor capacidad de entradas y salidas que una consola analógica



**Figura 18** Partes de una consola Mackie Onyx 1220i  
Fuente: <http://www.mackie.com/>

### 2.1.1.11 Amplificación y altavoces

La siguiente etapa en el refuerzo sonoro es la de amplificación, sin embargo, los sistemas de refuerzo sonoro han ido cambiando en base a los requerimientos y al avance de la tecnología. En sus inicios el sistema de amplificación y altavoces (también llamadas cajas pasivas) eran componentes separados y su instalación era más tediosa por el volumen que podían ocupar y la cantidad de cableado necesario para ese tipo de equipos, además para corregir frecuencias y hacer otro tipo de configuración eran necesarios muchos otros equipos, sin poder conseguir al final un monitoreo completo del sistema. Hoy en día

tenemos equipos que incorporan amplificadores y altavoces, llamadas cajas auto-amplificadas o cajas activas, además de procesadores que nos permiten ver en tiempo real el rendimiento del sistema, realizar configuraciones y controlar varias opciones del sistema.



**Figura 19** Cajas acústicas, pasiva y activa.  
Fuente: <http://www.audiomusica.com>

#### 2.1.1.12 Conector XLR

Es un tipo de conector que consta de 3 pines el cual es utilizado en el audio profesional y en la transmisión de señal digital de control para equipos de iluminación. la distribución de los pines va de la siguiente manera:

Pin 1: malla, blindaje del cable

Pin 2: terminal positivo

Pin 3: terminal negativo

## **Line array**

El sistema de *line array* es un arreglo de altavoces en el cual cada uno de los equipos se encuentran acoplados uno a uno formando una columna como única fuente de sonido, con este tipo de arreglo se consigue reducir la dispersión vertical del sonido para poder aprovechar mejor la cobertura del equipo, además de ello cada altavoz tiene características particulares que lo diferencian del resto de equipos convencionales, como la frecuencia de corte, el diseño de la vía de agudos y la forma de onda de campo cilíndrica.

Sin embargo a pesar que este tipo de configuración se aplica desde hace pocos años atrás, su estudio tiene mucho más tiempo de historia. Harry F. Olson menciona varias teorías sobre acústica como las líneas de subgraves, directividad y arreglos lineales en su libro "Acoustical Engineering" en 1947. Además, en 1992 Cristian Heil presento ante la "Audio Engineering Society" un estudio sobre fuentes sonoras irradiadas por múltiples fuentes de sonido con lo cual inicio la fabricación de las cajas de *line array*.

### **2.1.1.13 Directividad en *line array***

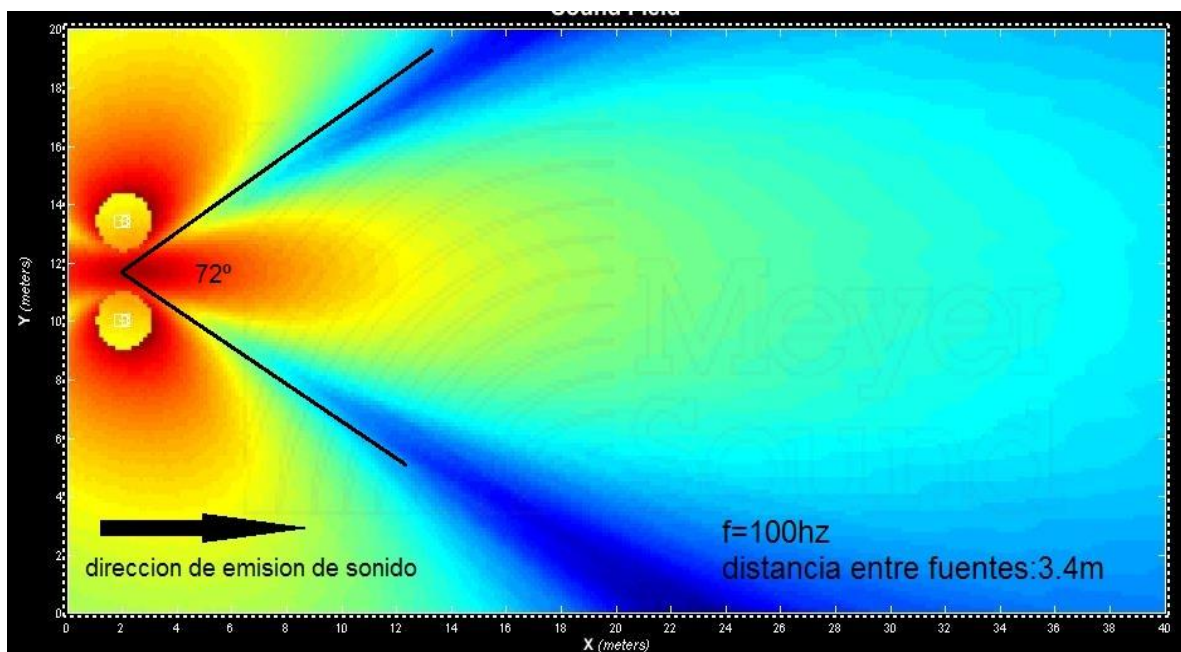
En el punto 2.2.2 se habló de la interacción entre fuentes sonoras y la cancelación de frecuencias, el arreglo *line array* no es ajeno a este fenómeno; sin embargo, este arreglo aprovecha todo lo posible estas interacciones para conseguir la suma de señales a conveniencia.

Si se tienen dos fuentes de sonidos alejadas una de otra, a una longitud de onda de determinada frecuencia y emitimos esa frecuencia, el resultado que obtendremos será una suma de señales en las zonas con distancias simétricas a ambas fuentes hacia la parte donde va



dirigida el sonido y sumas laterales por coincidencia de fase como podemos apreciar en la figura 20.

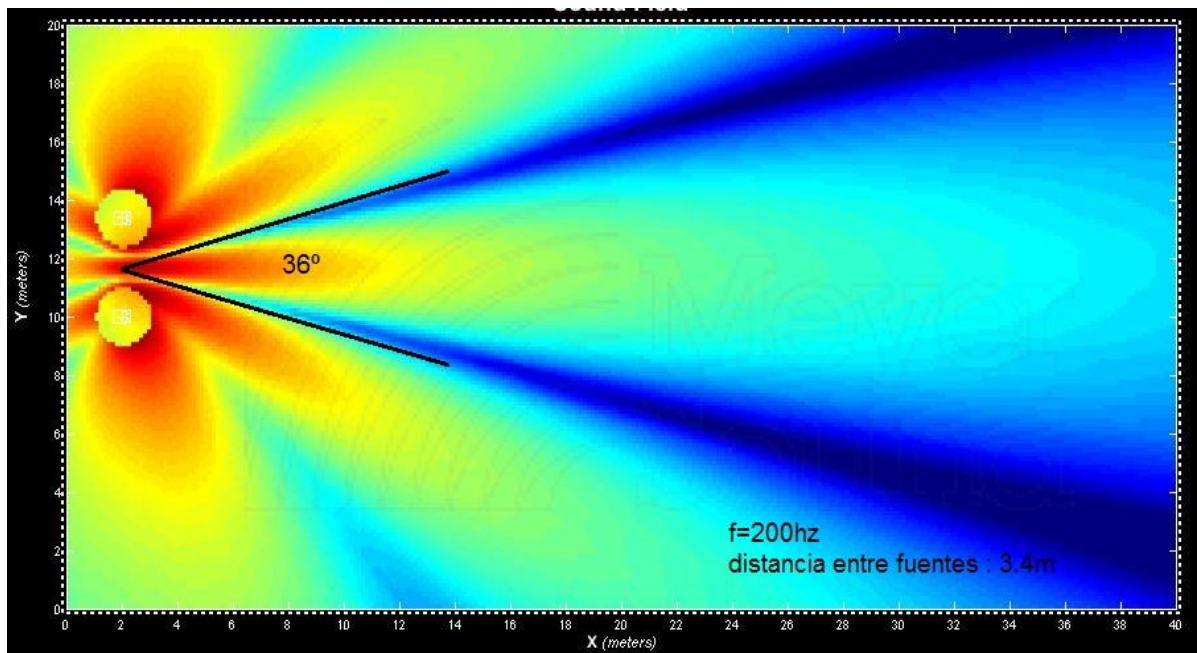
Para este ejemplo se tienen dos fuentes de sonido emitiendo una señal de 100Hz y separadas una de otra 3.4 m el cual es el valor de la longitud de onda de la frecuencia emitida, con esto se obtendrá una suma de señales en los puntos céntricos ubicados en la zona hacia donde es emitida la frecuencia, además de ello se obtendrán sumas laterales debido a que en esas zonas el desfase entre señales es de  $360^\circ$  o dicho de otra manera una longitud de onda completa.



**Figura 20** Interacción de dos fuentes a 100Hz.  
Fuente: Elaboración propia

Un detalle más que se puede observar en la figura 20 es que la apertura de la señal propagada es de  $72^\circ$  siempre que se cumpla que el largo del arreglo sea la distancia de la longitud de onda propagada.

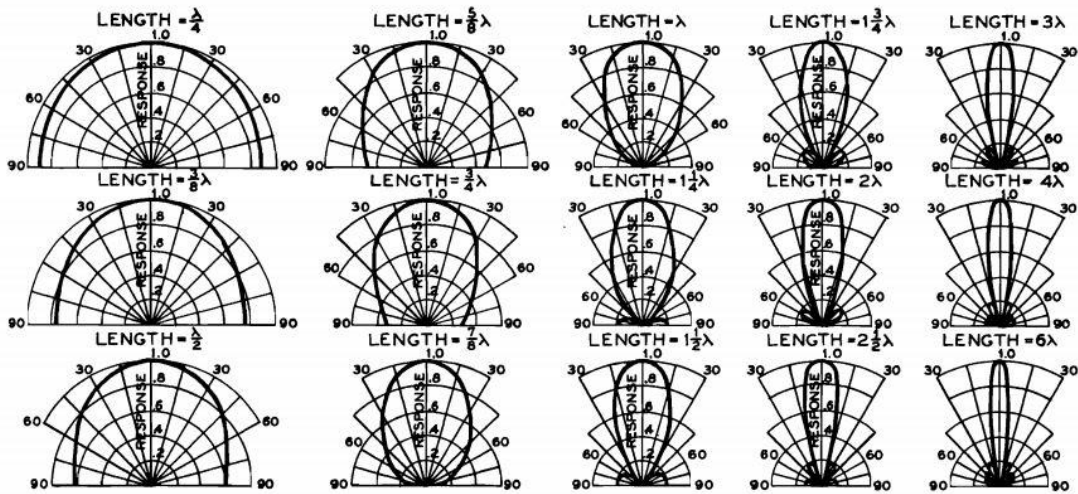
Si se duplica la frecuencia de la señal emitida manteniendo la distancia del arreglo o viéndolo de otro modo reduciendo la distancia del arreglo a la mitad de longitud de onda de la señal de emitida, se conseguirá reducir el ángulo de propagación y se ganará directividad; sin embargo, por el fenómeno de la interacción de ondas se generarán lóbulos, esto se puede apreciar en la figura 21.



**Figura 21** Interacción de dos fuentes a 200Hz  
Fuente: Elaboración propia

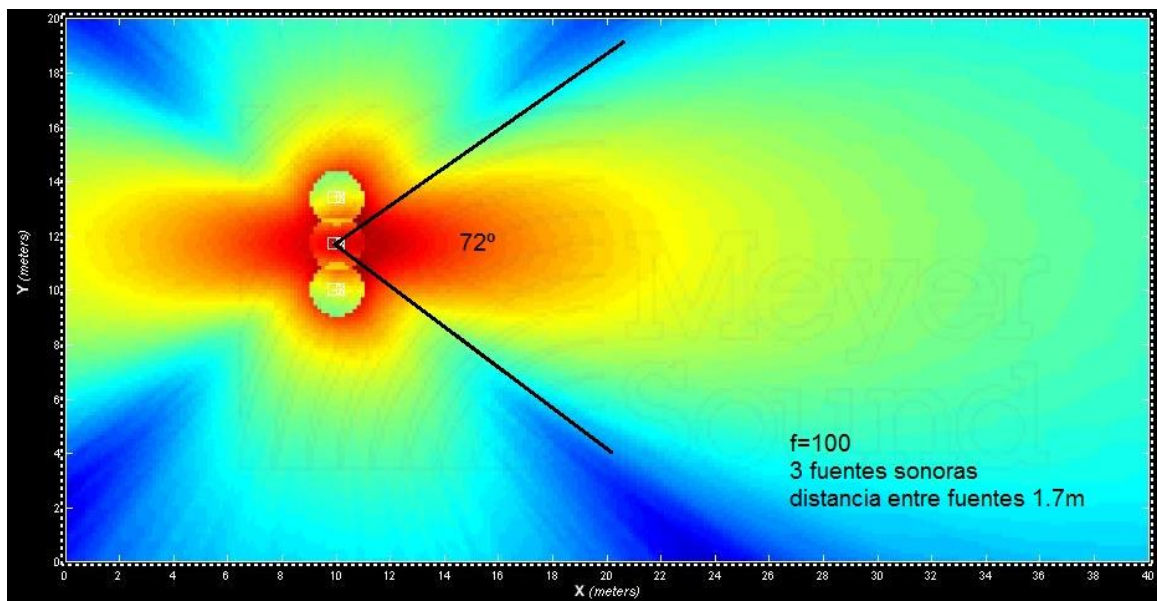
De la misma manera si se vuelve a duplicar la frecuencia emitida manteniendo la distancia del arreglo o se acorta la distancia manteniendo la señal, se reducirá en la mitad el ángulo de propagación y se generan más lóbulos. Estos efectos fueron detallados por Harry F. Olson en su libro "Acoustical Engineering".

En la figura 22, extraída del libro de Harry F. Olson se puede apreciar el ángulo de propagación para las distintas porciones de longitud de onda de la frecuencia emitida.

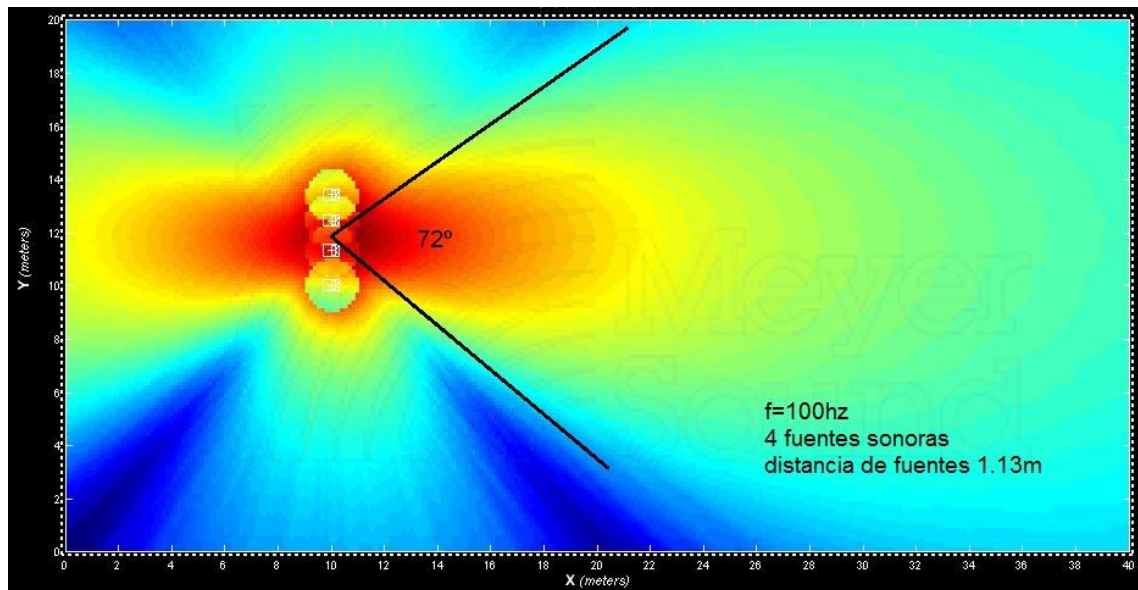


**Figura 22** Característica direccional del arreglo lineal.  
Fuente: Acoustical engineering, 1957

Sin embargo, los arreglos de *line array* no están constituidos de solo dos cajas de altavoces y entre más sea el número de cajas las que intervengan en el arreglo la interacción ira variando dependiendo del largo total del arreglo, el valor de la distancia entre las cajas respecto a la longitud de onda de la frecuencia y la frecuencia emitida. A continuación, se mostrarán algunos ejemplos gráficos.



**Figura 23** Interacción de tres fuentes sonoras a 100 Hz  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 24** Interacción de cuatro fuentes sonoras a 100 Hz.  
Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en las figuras 23 y 24 a pesar de la cantidad de las fuentes adicionales la directividad se mantiene en  $72^\circ$  si se continúa con la frecuencia que tiene la longitud de onda de igual valor que el tamaño total de todo el arreglo, pero aumentando considerablemente la presión sonora cada vez que se agregan más altavoces. De igual manera si se duplica la frecuencia emitida manteniendo las distancias, el ángulo de propagación caerá a la mitad.

Un detalle adicional de la interacción de señales es la suma lateral, la cual se muestra en las figuras anteriores y se da debido a que la separación de las cajas era igual a la longitud de onda de la frecuencia emitida. Para el caso de los diseños de sistema *line array*, se debe evitar estas sumas laterales y se conseguirá cuando la distancia entre altavoces no exceda los  $\frac{2}{3}$  de la longitud de onda de la frecuencia base.



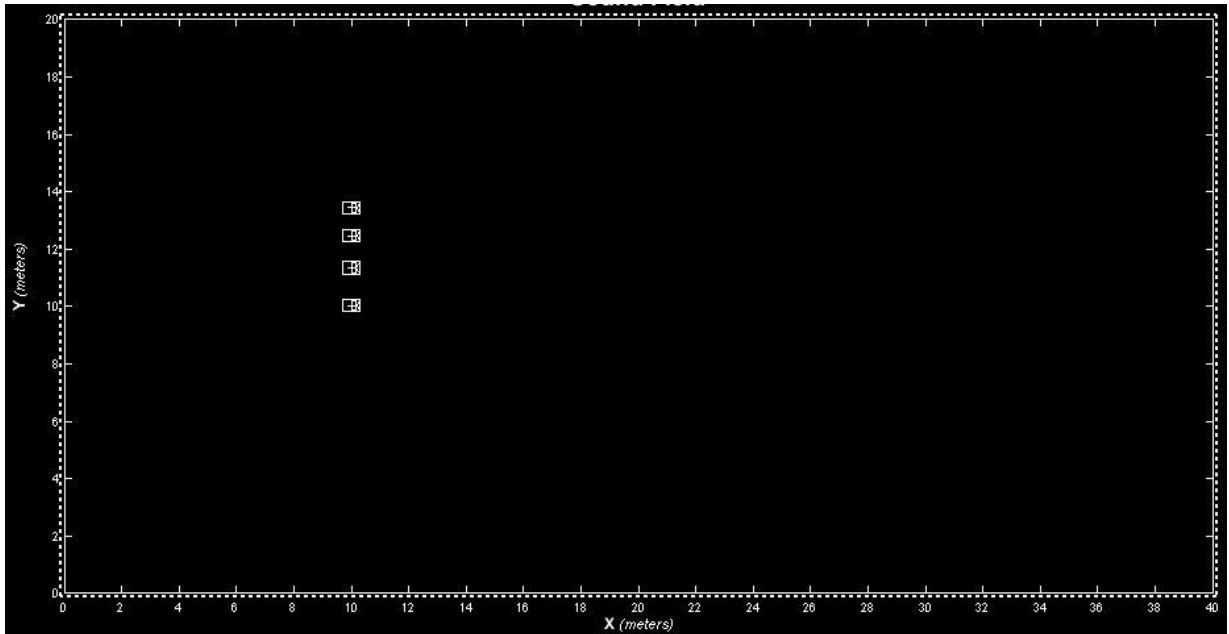
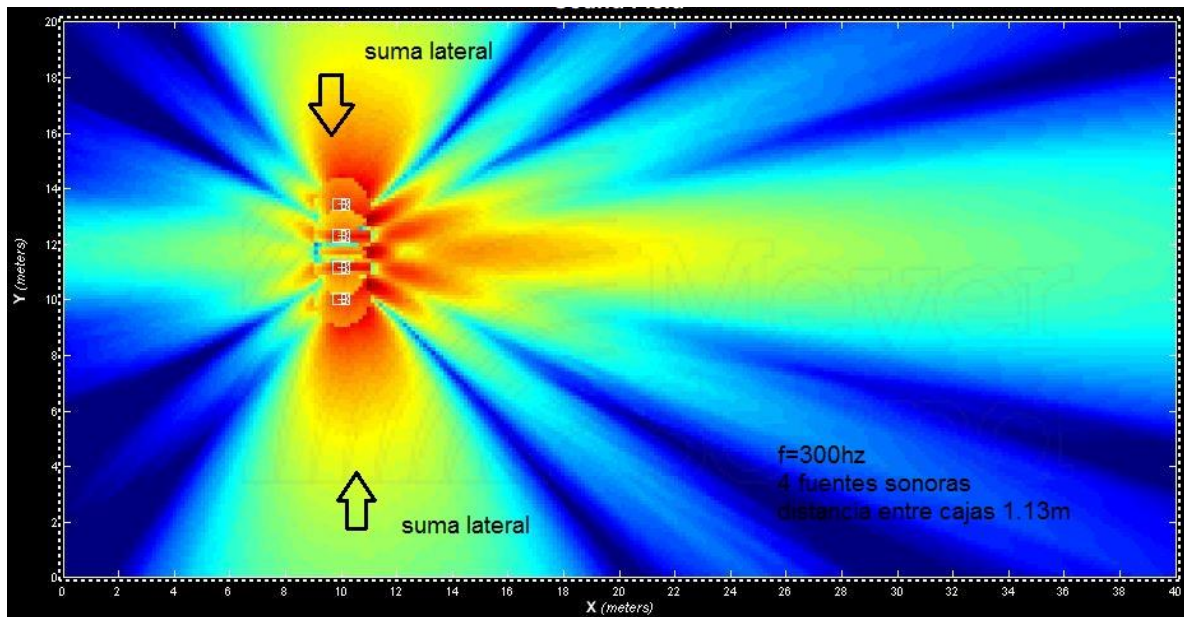


Figura 25 Arreglo line array de longitud total de 3.4 m.  
Fuente: Elaboración propia.

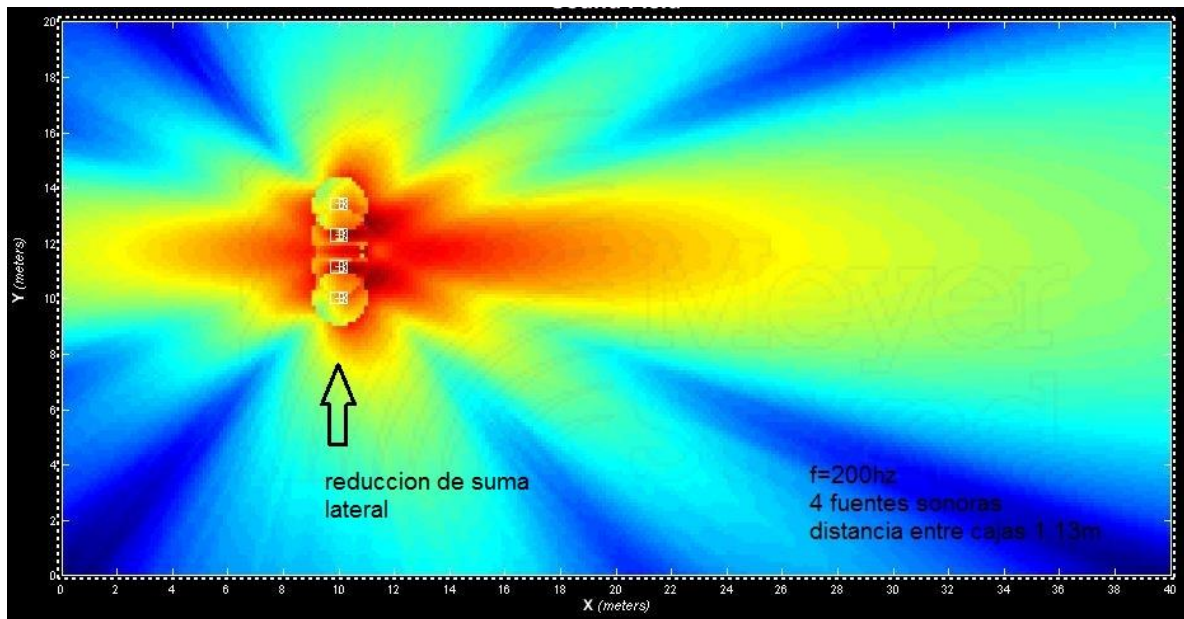
En la figura 25 se puede apreciar cuatro altavoces los cuales están separados uno del otro 1.13 m y la altura total del array es 3.4 m la cual es longitud de onda de 100 Hz. De forma práctica se puede determinar que, si existen 3 espacios en la distancia que pertenece a 100 Hz, la separación de 1.3 m corresponde a la longitud de onda de 300 Hz otra manera de determinarlo es mediante la formula  $V = \lambda * f$ .

Esto quiere decir que de la misma forma que había una suma lateral en 100 Hz habrá una suma lateral en 300 Hz debido a la separación de una longitud de onda por cada altavoz.



**Figura 26** Suma lateral a 300 Hz.  
Fuente: Elaboración propia

Para evitar las sumas laterales se tiene que encontrar la frecuencia que corresponda a los  $\frac{2}{3}$  (0.6666) de la distancia entre altavoces. Si se tiene que la distancia entre altavoces es 1.13 m este valor corresponde a los  $\frac{2}{3}$  de 1.69 m el cual es longitud de onda de aproximadamente 200 Hz. Una manera práctica de encontrar este valor es del producto de  $300 \text{ hz} * 0.6666$ , entonces podemos decir que con la frecuencia de 200 Hz manteniendo los valores de las distancias mencionadas se logrará menos suma lateral y se ganará mayor presión sonora al frente del arreglo.



**Figura 27** Reducción de suma lateral a 200 Hz.  
Fuente: Elaboración propia.

Conociendo el comportamiento de la propagación del sonido según la frecuencia y la distancia entre altavoces se usará el término “límites directivos” para referirse a las distancias máximas que se pueden utilizar antes de tener sumas laterales.

**Limite Directivo en Bajas Frecuencias:**

La Longitud del Array debe ser Igual o Mayor que la Longitud de Onda

Si el Array mide 6.8m, La frecuencia más Baja con Control Direccional es 50Hz (72°).  $\lambda @ 50\text{Hz} = 6.8\text{m}$   
 Si el Array mide 3.4m, La frecuencia más Baja con Control Direccional es 100Hz (72°).  $\lambda @ 100\text{Hz} = 3.4\text{m}$   
 Si el Array mide 1.7m, La frecuencia más Baja con Control Direccional es 200Hz (72°).  $\lambda @ 200\text{Hz} = 1.7\text{m}$   
 Si el Array mide 0.85m, La frecuencia más Baja con Control Direccional es 400Hz (72°).  $\lambda @ 400\text{Hz} = 0.85\text{m}$

**Limite Directivo en Altas Frecuencias:**

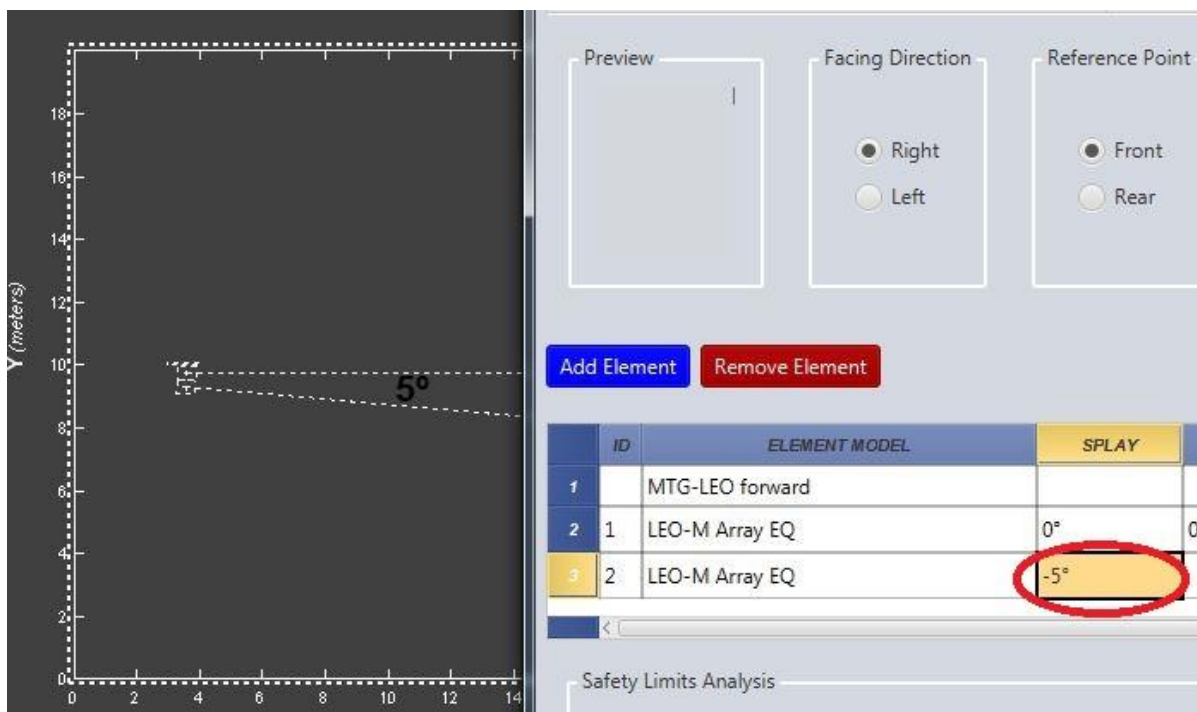
La Separación entre Fuentes Sonoras debe ser Menos de una Longitud de Onda

Si la Separación entre Fuentes Sonoras es 1.7m, La frecuencia más alta con Control Direccional es < 200Hz  
 Si la Separación entre Fuentes Sonoras es 0.85m, La frecuencia más alta con Control Direccional es < 400Hz  
 Si la Separación entre Fuentes Sonoras es 0.425m, La frecuencia más alta con Control Direccional es < 800Hz  
 Si la Separación entre Fuentes Sonoras es 0.2125m, La frecuencia más alta con Control Direccional es < 1,600Hz

**Figura 28** Límites directivos en altas y bajas frecuencias.  
Fuente: Conferencia centro americano de audio

En la figura 28 se puede apreciar los límites de frecuencia en las que se consigue control directivo si se tiene la distancia total del array o la separación entre altavoces.

Otro punto importante en los arreglos *line array* es el ángulo de apertura que se puede configurar entre cada caja, esto permitirá conseguir mayor cobertura en las frecuencias altas sin cambiar considerablemente la propagación de las frecuencias bajas.



**Figura 29** Captura del software de predicción MAPP  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se aprecia la simulación de apertura de ángulo para dos altavoces.



## **CAPITULO III:**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 REQUERIMIENTOS**

Para realizar el desarrollo del refuerzo sonoro en el estadio nacional se usará una marca específica de productos de audio seleccionada por la demanda y calidad internacional mostrada, en este caso la marca es Meyer Sound, marca que proporciona una variedad de productos según el entorno y las condiciones en las que se desarrolle el evento. Para este caso, refuerzo sonoro en un estadio, Meyer Sound ofrece su producto de vanguardia *line array* LEO, sus procesadores Galileo, el software de monitoreo Compass y su software de predicción Mapp XT. A continuación, una descripción y análisis de los productos a utilizar:

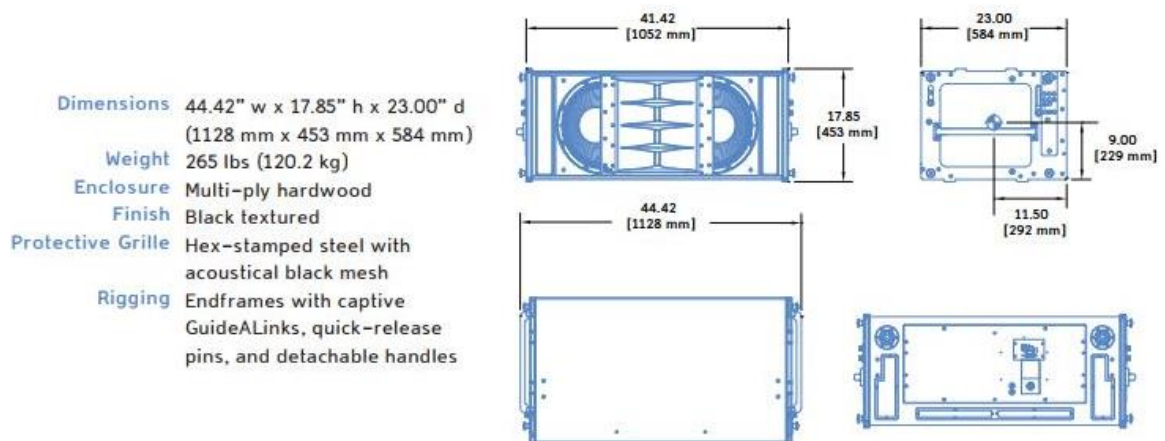
##### **3.1.1 Leo-MT**

Extraído de la página de Meyer Sound, se define al equipo Leo como: “un altavoz de arreglo lineal avanzado con un nivel de distorsión muy bajo”, el cual actualmente es el producto más avanzado en cuanto a calidad, acabado y presión sonora en productos *line array* de la marca mencionada, además se complementa con un equipo que refuerza las bajas frecuencias, el 1100-LFC.



**Figura 30** Leo-MT.

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



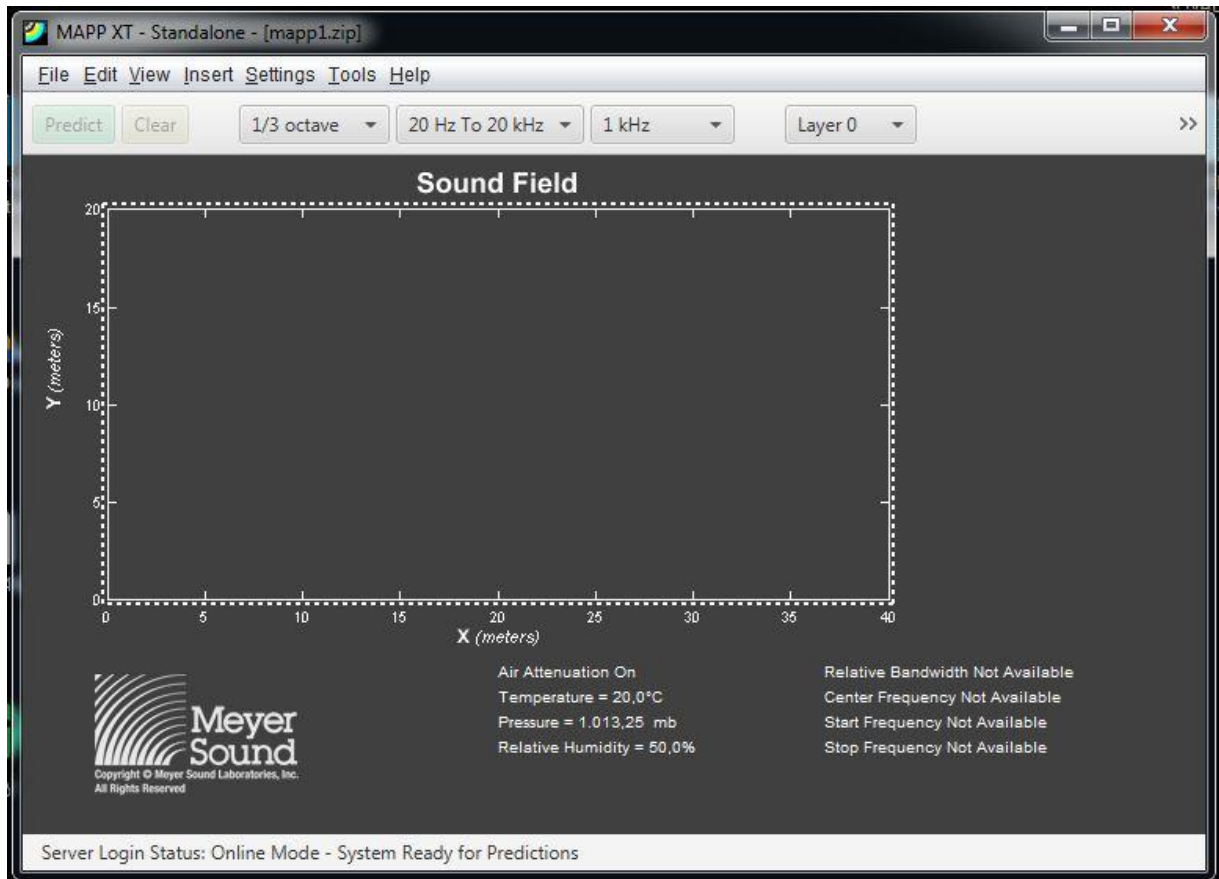
**Figura 31** Principales características del equipo Leo.

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

En la figura 31 se tiene algunas de las principales características de Leo MT, como sus dimensiones y peso, además de esto el datasheet del equipo indica que el intervalo de frecuencia de trabajo es de 55 Hz a 16 kHz, que cuenta con dos bocinas de 15" para las bajas frecuencias y dos compresores de audio de 4" para las frecuencias altas.

Para el desarrollo del refuerzo sonoro, se hará un análisis del comportamiento de este equipo y se verificará parte de los aspectos teóricos

mencionados. Meyer Sound proporciona el software de predicción Mapp XT con el que se puede simular el comportamiento del equipo.

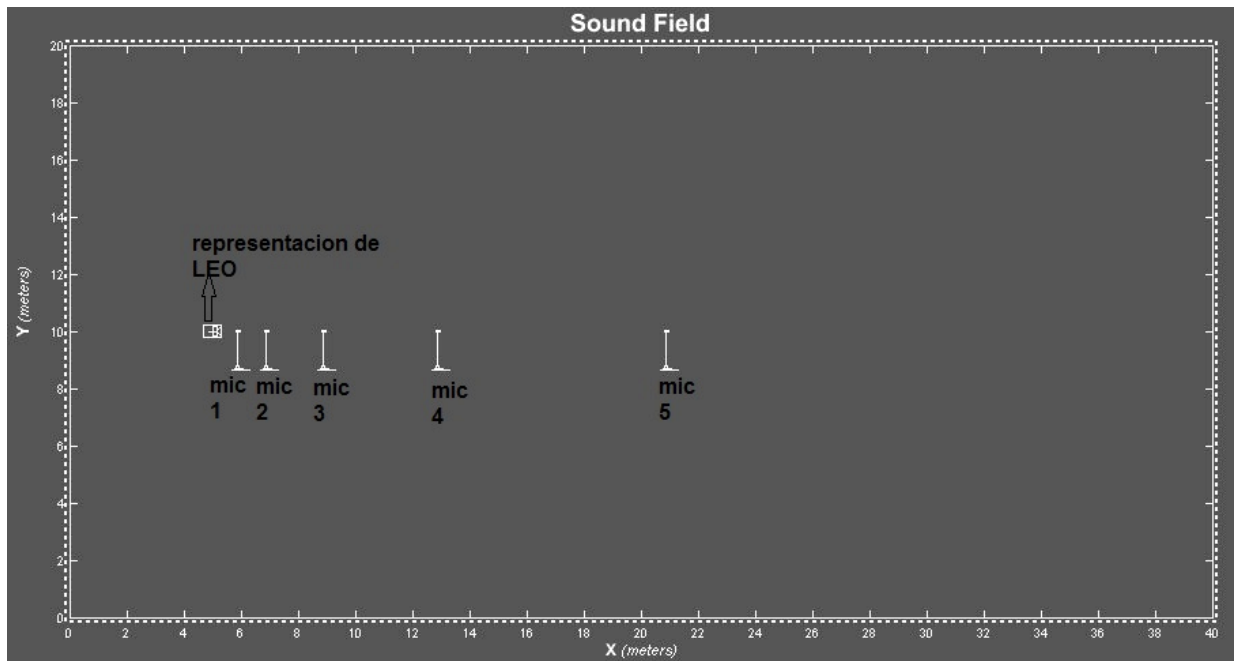


**Figura 32** Entorno del software Mapp XT.  
Fuente: Elaboración propia.

El mencionado software es de uso libre; sin embargo, se necesita de una inscripción en la página web de la marca y el acceso a internet para las predicciones. Este programa permite simular con gran precisión el comportamiento de todo un arreglo de equipos, además de poder insertar en un archivo de AutoCAD el plano del área de trabajo para mayor precisión de la predicción, el cual será descrito más adelante.

En la teoría ya mencionada se nombró la ley cuadrática inversa, la cual dice que, cada vez que se duplique la distancia de medición del sonido su área de cobertura se cuadruplicará y la presión sonora disminuirá en 6db.

A continuación, el análisis del comportamiento de un equipo Leo-MT.



**Figura 33** Representación de equipo Leo.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 33 podemos apreciar el bloque que representa un equipo Leo y 5 representaciones de micrófonos ubicados en las siguientes posiciones:

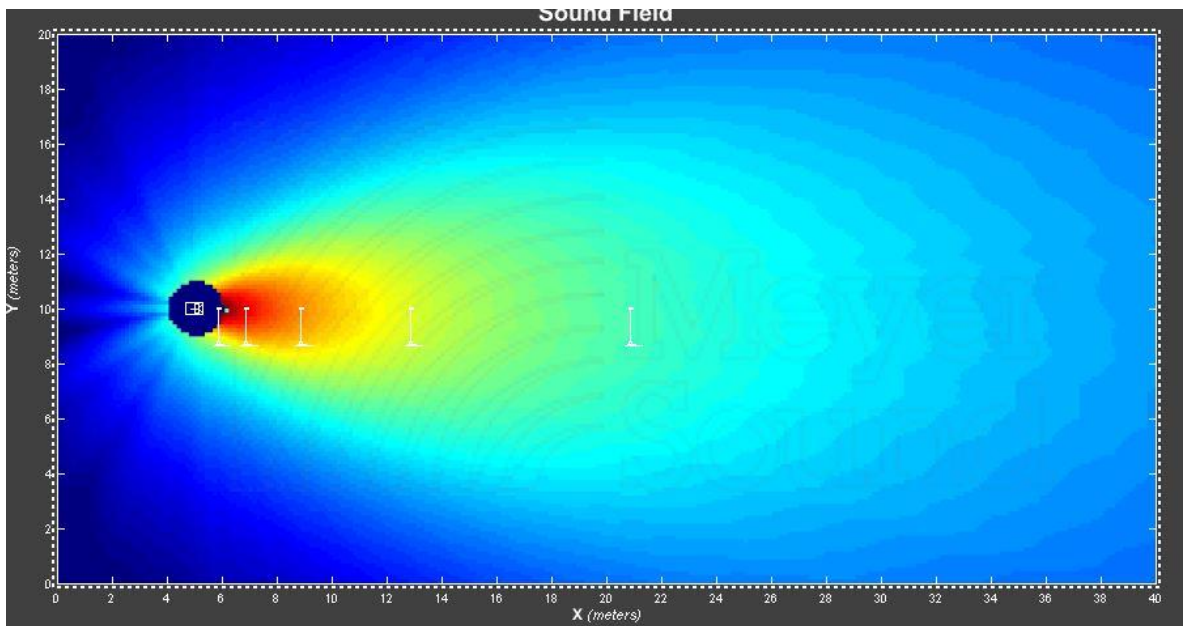
Mic 1 a 1 metro del equipo

Mic 2 a 2 metros del equipo

Mic 3 a 4 metros del equipo

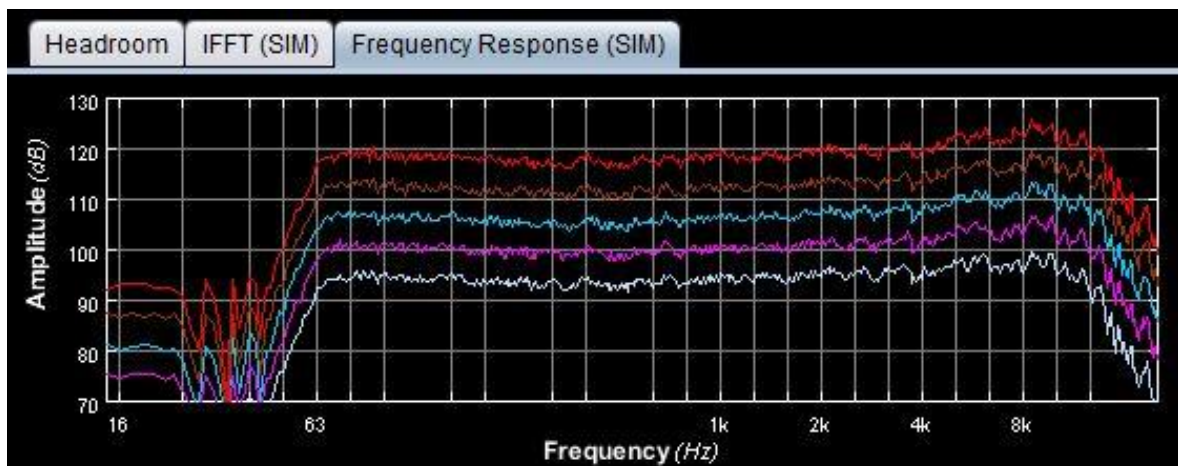
Mic 4 a 8 metros del equipo

Mic 5 a 16 metros del equipo



**Figura 34** Predicción del equipo Leo.  
Fuente: Elaboración propia

En figura 34 se puede observar la predicción del equipo Leo para una frecuencia promedio de 1KHz, en esta predicción se puede observar como a través de la representación de los colores la intensidad del sonido va cayendo según la distancia.



**Figura 35** Respuesta en frecuencia de la predicción de Leo.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 se tiene la respuesta en frecuencia de cada uno de los micrófonos colocados para medir la presión sonora del equipo Leo, distribuidos de la siguiente manera:

Mic 1 a 1 metro del equipo señal roja

Mic 2 a 2 metros del equipo señal marrón

Mic 3 a 4 metros del equipo señal azul

Mic 4 a 8 metros del equipo señal morada

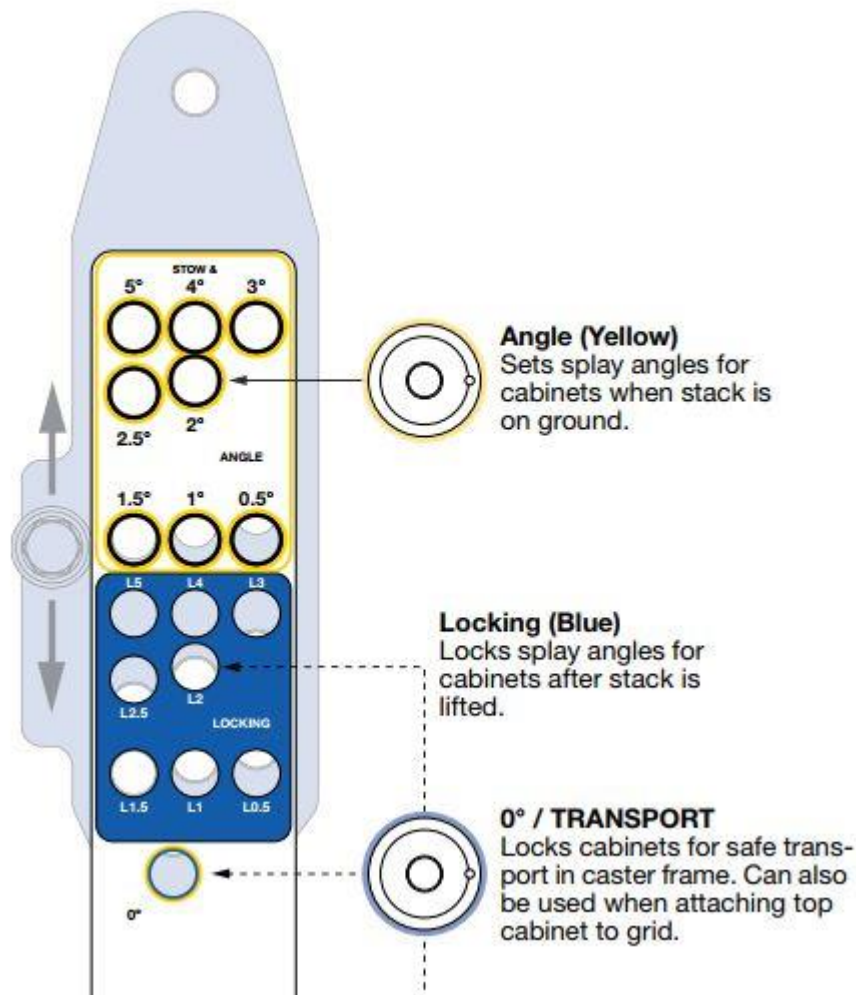
Mic 5 a 16 metros del equipo señal blanca

En la gráfica de respuesta en frecuencia se puede observar como la presión sonora decae aproximadamente 6 db cada vez que la distancia de medición se duplica como nos indica la ley cuadrática inversa. Además, se puede apreciar que la presión sonora máxima del equipo es de 120 db en la mayoría de frecuencias que cubre, también se observa que el intervalo de frecuencias de trabajo de este equipo va desde aproximadamente los 55Hz a un poco más de 14KHz como indica su datasheet, a partir de los cuales empieza a tener caídas de presión sonora. Para el caso de las frecuencias bajas la compensación se realiza a través del ya mencionado equipo complementario de frecuencias bajas 1100-LFC.

Por el lado físico del equipo ya se mostró el peso y dimensiones; sin embargo, es necesario mencionar también que este equipo cuenta con un conjunto de orificios de seguridad que nos permiten establecer los ángulos entre cada caja y asegurar esta distancia.

En la figura 36 se aprecia los orificios mencionados los cuales a través de un pin de seguridad quedan sujetos con la separación requerida. Cabe mencionar que solo se dispone de estos ángulos para realizar arreglos 0. 5°,

1°, 1.5°, 2°, 2.5°, 3°, 4° y 5°. El 0° se utiliza en la unión de la rejilla principal con el primer equipo.



**Figura 36** Orificios de ángulo y seguridad de un Leo.  
Fuente: <http://www.meyersound.com/>

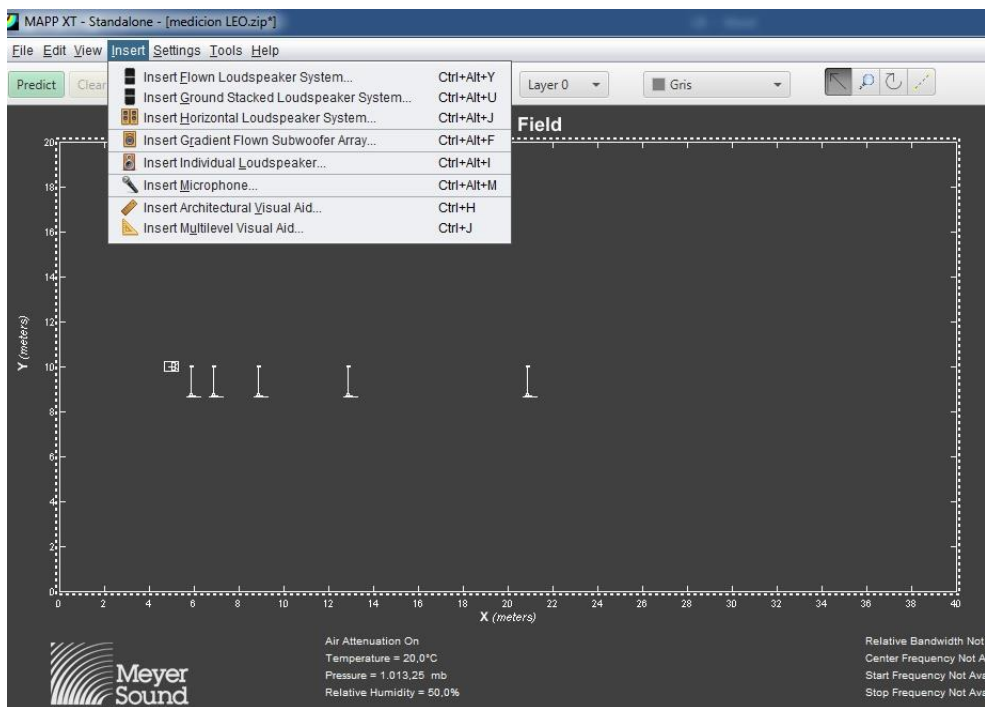
Se debe mencionar también el soporte metálico que sostiene el *line array*, llamado por Meyer Sound para este equipo, rejilla superior MTG-LEO-M, el cual soporta hasta 18 Leo con un factor de seguridad 7:1 (1/7 de su capacidad total). Esta rejilla es la que permite apertura el primer ángulo de direccionamiento de todo el arreglo.



En cuanto al monitoreo del sistema, el equipo cuenta con una placa llamada RMS (remote monitoring system), la cual a través del software Compass nos muestra en tiempo real información de funcionamiento del equipo el cual será mencionado más adelante.

### 3.1.2 Mapp XT

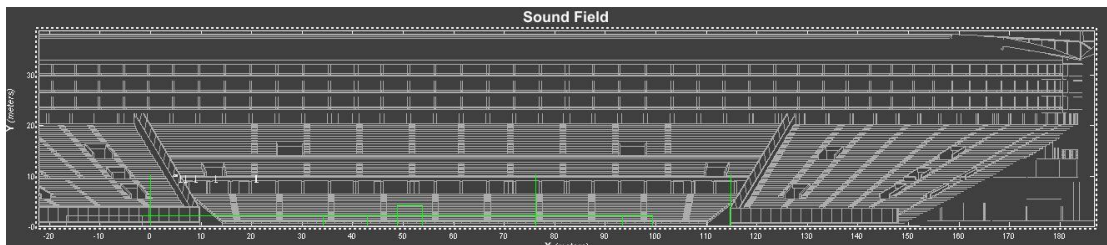
Como ya se mostró y menciono en párrafos anteriores este software permite tener una predicción de cobertura, la respuesta en frecuencia y la salida máxima de presión sonora de todos los equipos de la marca Meyer Sound, lo cual facilita el desarrollo de la implementación del refuerzo sonoro. Como se mencionó también que a pesar de ser un programa de uso libre necesita una inscripción de datos en la página web de la marca para poder usarlo. En la figura 32 se pudo observar el entorno de trabajo del software.



**Figura 37** Opciones para insertar en Mapp XT.  
Fuente: Elaboración propia



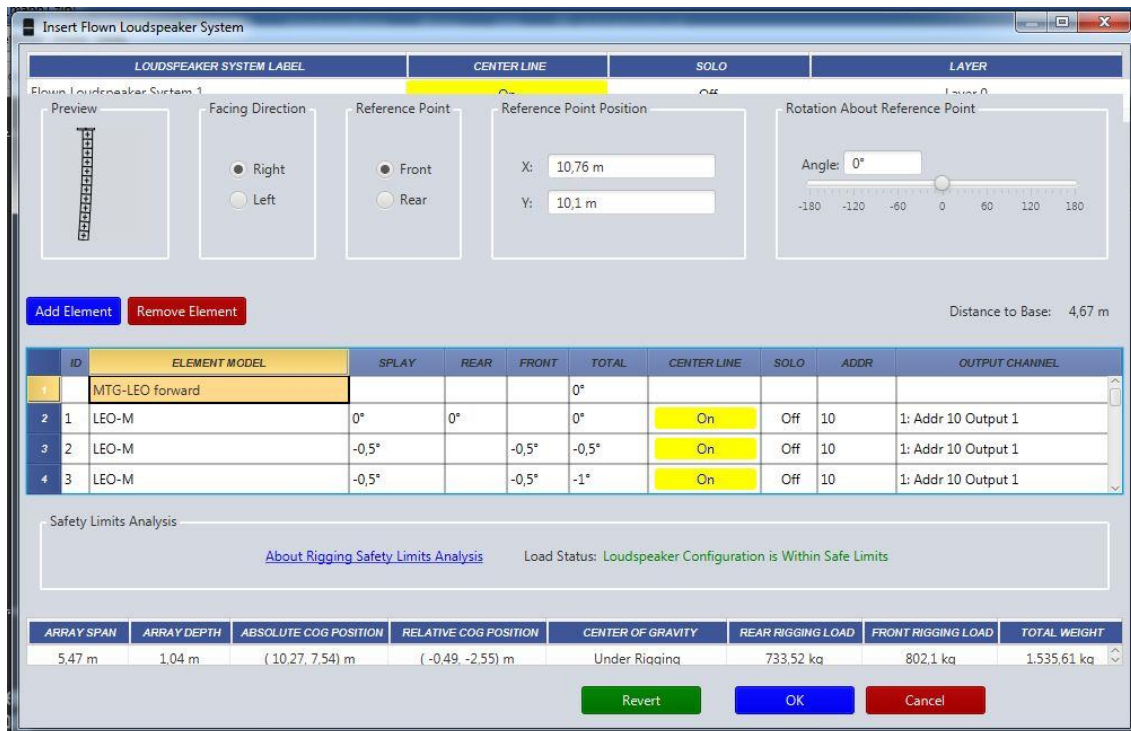
En la figura 37 se muestra las múltiples opciones para insertar del software, como por ejemplo un sistema lineal aéreo o anclado a tierra, un sistema de arreglo horizontal, insertar solo un equipo de frecuencias bajas, insertar solo un equipo estándar, insertar un micrófono e insertar parte de una estructura. Además, si se cuenta con el plano del lugar en formato digital, el software permite importarlo para poder trabajar sobre él y tener mayor precisión en la predicción.



**Figura 38** Importación del plano del estadio nacional en vista lateral.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se mostró en la figura 35 el software permite ver la respuesta en frecuencia de los equipos a través de micrófonos virtuales que pueden ser insertados en cualquier parte del plano.

Al momento de insertar algún arreglo lineal de equipos, Mapp XT desglosa una ventana de configuración para el arreglo como se aprecia en la figura 39, la cual permite cambiar entre otras cosas, el ángulo de apertura entre cajas, el ángulo general del sistema, la posición en el plano del sistema y la orientación.



**Figura 39** Ventana de configuración del sistema.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Galileo

Meyer Sound proporciona una pequeña gama de procesadores de sonido llamados galileo, para poder ajustar la señal de audio del sistema *line array*, entre ellos tenemos al galileo 408, galileo 616, galileo 616 AES (opción de entradas y salidas análogas), galileo calisto 616 y galileo calisto 616 AES. Además de ello recientemente han lanzado su nuevo producto galileo Galaxy, el cual tiene mejoras en su tecnología de fabricación. Los números de cada galileo representan la cantidad de entradas y salidas, por ejemplo, los 408 cuentan con 4 entradas y 8 salidas, los 616 traen 6 entradas y 16 salidas.



**Figura 40** Galileo calisto 616 de Meyer Sound.  
Fuente: <http://www.meyersound.com/>

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizará el galileo AES 616 como procesador principal que recibirá la señal en formato digital desde una consola de audio y dos galileos calisto 616 por cada *line array*.

Para mantener la comunicación y monitoreo entre los procesadores, estos se interconectan a través de una red ethernet que se verá más adelante.



**Figura 41** Panel frontal y posterior de galileo calisto 616.  
Fuente: <http://www.meyersound.com/>

La figura 41 muestra el panel frontal del equipo, el cual consta de indicadores luminosos para la intensidad de entrada de señal, además de botones de acceso rápido para silenciar las entradas y salidas, al lado derecho se cuenta con una pantalla LCD la cual permite realizar configuraciones

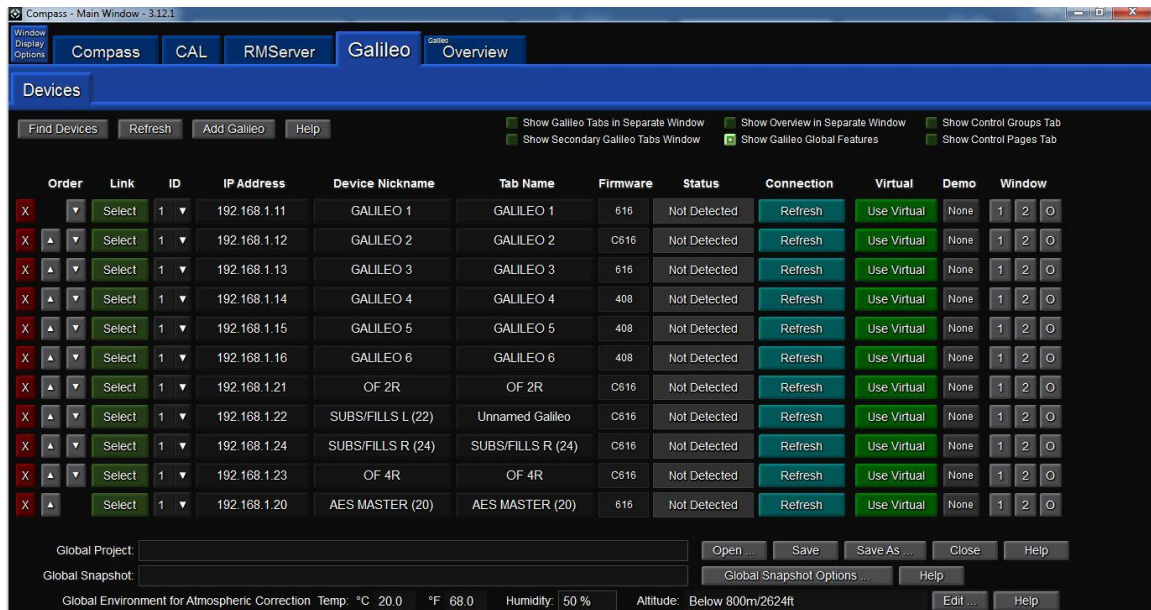
directamente al equipo, como ecualizaciones, cortes de frecuencia y configuración de ip, los botones y perillas alrededor de la pantalla nos ayudan a realizar las configuraciones.

En la parte posterior del Galileo se observar la conexión de corriente alterna, el puerto ethernet para la comunicación entre procesadores, las entradas y salidas de señal del equipo, además de unos puertos llamados Sim3 los cuales permiten la conexión a otro equipo de la marca para analizar en tiempo real la respuesta en frecuencia de los equipos instalados.

### **3.1.4 Compass**

Como ya se mostró en el apartado anterior los galileos son los procesadores encargados de ajustar la señal de los equipos Leo; sin embargo, estos requieren de un software que permita tener una vista adecuada del monitoreo, este software es Compass de Meyer Sound. Compass es la interfaz gráfica que muestra información detallada y controla todas las configuraciones del sistema a través del Galileo. Las ecualizaciones, retardos, filtros pasa alto y pasa bajo, además del control de monitoreo remoto. Para tener el control de varios galileos, los procesadores se interconectan a través de una red ethernet y es el software el que se encarga de reconocerlos a través de sus direcciones ip.

Como se observa en la figura 42, cada galileo insertado cuenta con una dirección ip y un nombre de equipo, además el software nos indica el modelo de galileo con el que estamos trabajando.



**Figura 42** Entorno de trabajo Compass  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2 DISEÑO

El presente proyecto fue desarrollado teniendo como guía el siguiente diagrama de Gantt de la figura 43, con el cual se pudo tener un orden en la ejecución de cada tarea.



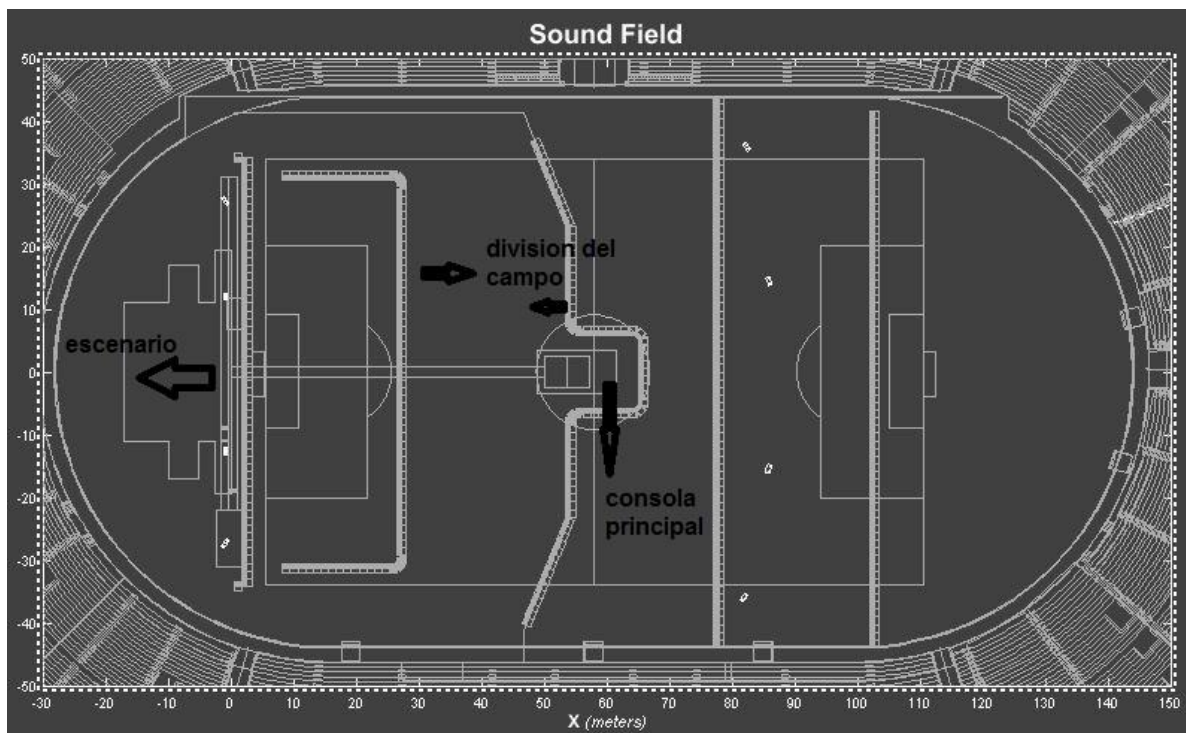
**Figura 43** Diagrama de Gantt del proyecto.  
Fuente: Elaboración propia

Para comenzar con el desarrollo de la propuesta de refuerzo sonoro se tiene que conocer los detalles del entorno de trabajo, como ya se mencionó el estadio nacional es un recinto de gran envergadura con una capacidad máxima en eventos deportivos de 43000 espectadores y supera los 50000 en eventos

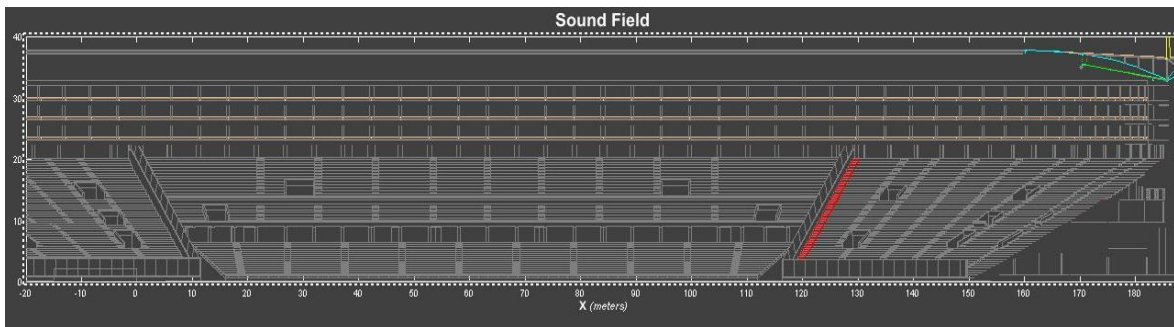


musicales, sus medidas de campo son las convencionales de un estadio de futbol, 115 m de largo y 70 de ancho.

La figura 44 muestra el plano del mencionado estadio desde una vista de planta, si bien están establecidos las medidas del campo tenemos que tener en cuenta que el escenario principal está colocado aproximadamente a 5 m. antes de iniciar el campo como se muestra también en la figura. Además, se tiene que señalar que se diseñara el sistema para cubrir adecuadamente el campo y la tribuna popular frente al escenario, se obviara las tribunas oriente, occidente y la que se encuentra detrás del escenario.



**Figura 44** Vista de planta del estadio nacional.  
Fuente: Elaboración propia.

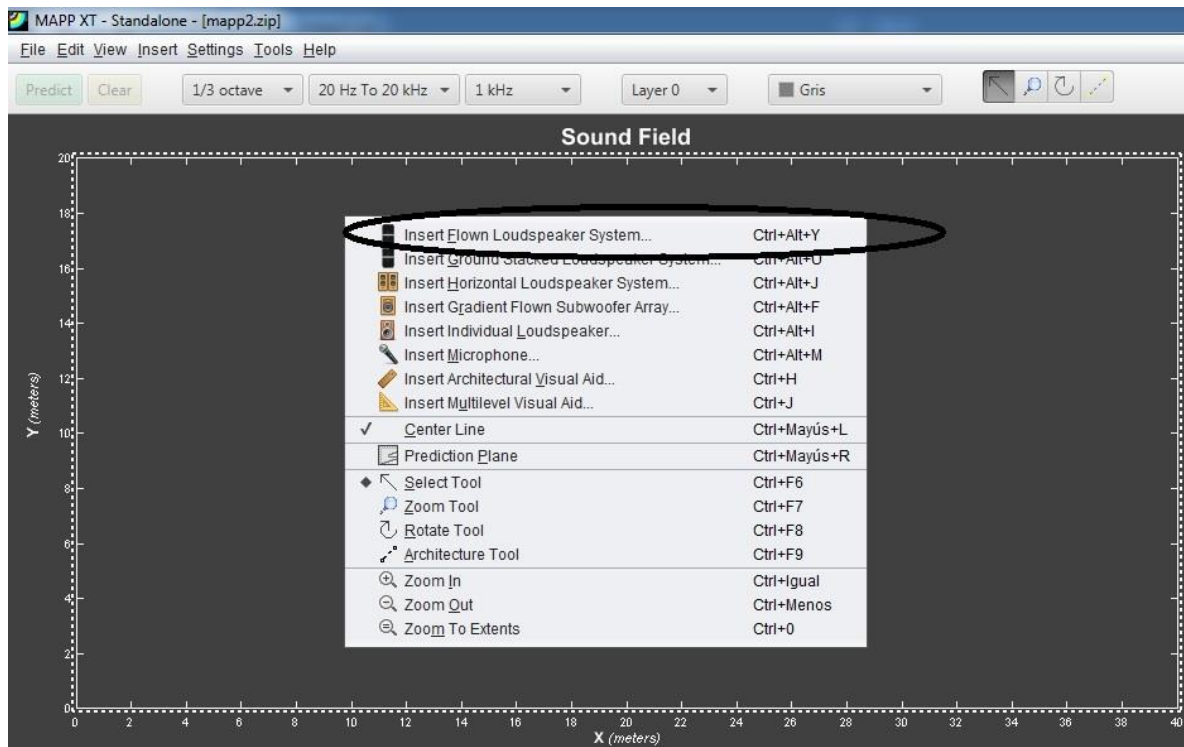


**Figura 45** Vista lateral del estadio nacional.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se aprecia la vista lateral del estadio. Para poder cubrir todo el campo y parte de la zona de las gradas se necesitará un par de torres *line array* adicional ubicados aproximadamente a los 2/3 del largo del campo para que ayuden a reforzar la cobertura.

En la figura 31 en el apartado de descripción del equipo Leo se observó que sus medidas son 0.453 m de alto por 1.052 m de ancho. Como ya se ha mencionado también, el soporte de *line array* para Leo soporta hasta 18 equipos sin ningún problema. En nuestro diseño usaremos 16 equipos para cada *line array* principal con lo cual podemos prevenir cualquier problema de sobre peso y se evaluará el resultado final del diseño con esa cantidad de equipos.

Para poder iniciar con el diseño debemos insertar el *line array* en el software de predicción, lo cual conseguiremos realizando click derecho en el área de trabajo y escogiendo la primera opción "*insert flown loudspeaker system*", insertar sistema de altavoces elevado, como se observa en la figura 45.



**Figura 46** Insertar line array en Mapp XT.  
Fuente: Elaboración propia

Al hacer click en la opción mencionada se abrirá una venta en la que se puede configurar algunos parámetros de posicionamiento para el sistema como ángulos entre cajas, ángulo de rejilla, posición del sistema, dirección del sistema, datos de altura y peso. Las opciones de configuraciones mencionadas se observan en la figura 47.





**Figura 47** Ventana de configuración de *line array*.  
Fuente: Elaboración propia

En esta ventana además se puede escoger que tipo de equipo se va a utilizar y la cantidad del mismo. Como ya se mencionó se utilizará 16 equipos Leo para el diseño.

Si se contamos con 16 equipos Leo y depreciamos la pequeña distancia que se va a generar entre las cajas al incorporar los ángulos más adelante, obtendremos que el *line array* tendrá la siguiente medida de alto  $16 \times 0.453 \text{ m} = 7.248 \text{ m}$ .

En la medición que se realizó al equipo Leo de manera individual se obtuvo que a un metro de distancia el equipo tiene una presión sonora de 120 db, la presión adecuada para un evento musical es de aproximadamente 100 db, entonces se tiene que determinar la distancia adecuada de la caja más cercana al suelo para obtener una presión sonora de 100 db. Por la ley cuadrática inversa se sabe que la presión decae 6 db cada vez que se duplica la señal.

### 3.2.1 Determinación de la posición y ángulo de torre principal

Para determinar la distancia adecuada de la primera caja hacia la zona que se desea cubrir se debe tener en cuenta que la presión sonora adecuada en la zona escogida sea de 100 db aproximadamente, para conseguir esa distancia se sacarán los siguientes datos.

Como ya se demostró en la figura 35, en el comportamiento de la respuesta en frecuencia del equipo Leo MT, a un metro de distancia la intensidad de la presión sonora es de 120db y va decayendo 6 db cada vez que se duplica la distancia de medición.

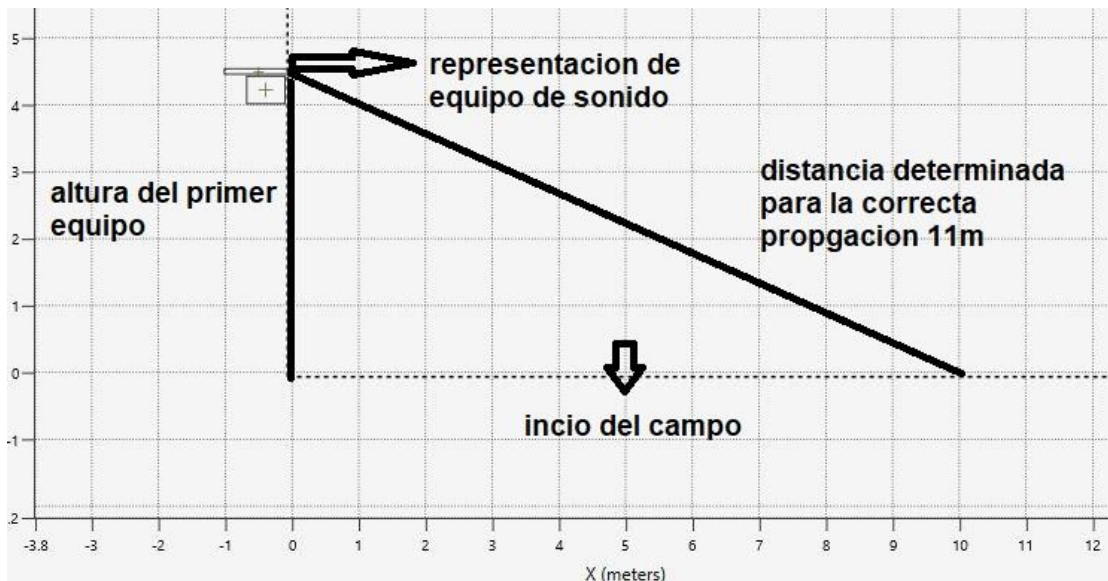
Como se desea conseguir aproximadamente 100 db de presión sonora hacia el espectador, se tomará una distancia de 11 m desde la caja acústica más cercana al espectador, esta representación se puede apreciar en la figura 48.

Considerando que las torres *line array* se instalan a una distancia de 5 m antes del campo deportivo y que los espectadores están ubicados a 5 m luego de iniciar el campo, podemos fácilmente encontrar la altura de la primera caja de nuestro arreglo usando Pitágoras o viéndolo a través del Mapp XT.

En la figura 48 se observa la altura que se obtiene para el primer equipo, 4.5 metros, además teniendo las medidas del triángulo rectángulo que se ha formado se puede determinar el ángulo que forma el equipo para poder apuntar a la zona que deseamos, en este caso el ángulo que forma el equipo para el triángulo rectángulo es de aproximadamente  $65^{\circ}$ , sin embargo tenemos que tomar el ángulo que forma el equipo desde su posición inicial totalmente horizontal, para este diseño sería  $-25^{\circ}$ , el cual terminara representando la suma total aproximada de ángulo de todos los equipos del sistema.

Ya se mencionó líneas arriba que la cantidad total de cajas Leo MT que se usará para el diseño serán 16, las cuales suman una altura de 7.248 m, agregándole los 4.5 m que estará el sistema del suelo tendremos que la altura total del sistema será de 11.748 m, para efectos de un cálculo manejable la medida se redondeará a 12 m.

Para intentar cubrir de manera óptima toda el área del campo, debemos saber cuál es la distancia entre las cajas más altas del sistema y el punto más lejano del campo. Para este diseño, el punto más lejano se encuentra ubicado a 120 m de la posición del sistema, 115 m del campo y 5 de espacio antes de llegar a la torre *line array*, con esto y la altura total del sistema, se puede obtener la distancia del punto más alto hacia la distancia más lejana del campo la cual es 120.5 m.



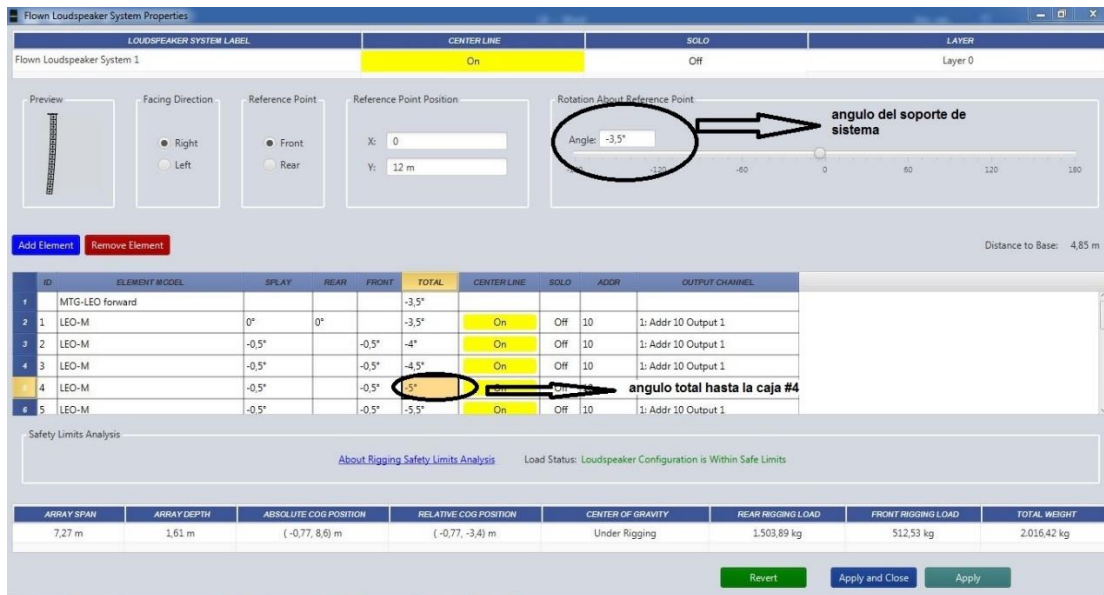
**Figura 48** Ubicación del primer equipo del *line array*.  
Fuente: Elaboración propia.

El siguiente problema a resolver es determinar la cantidad de cajas que puedan generar 100db a una distancia aproximada de 120.5 m. Del análisis realizado al equipo Leo MT en la figura 35, se observó como decaía 6 db cada

vez que se duplicaba la distancia de medición, iniciando con 120 db a 1 m. de distancia, siguiendo la ley cuadrática inversa, se obtendrá que a 128 m de distancia la potencia del equipo caerá a 78 db

Teniendo la potencia con la se va llegar a la distancia mencionada, se debe identificar cuantos equipos se necesitan apuntando a esa dirección para conseguir la presión sonora requerida. Si ya sabemos que un equipo va generar 78 db, por la ley cuadrática inversa, se tiene que con 8 equipos a 128 m se obtendrá 96 db.

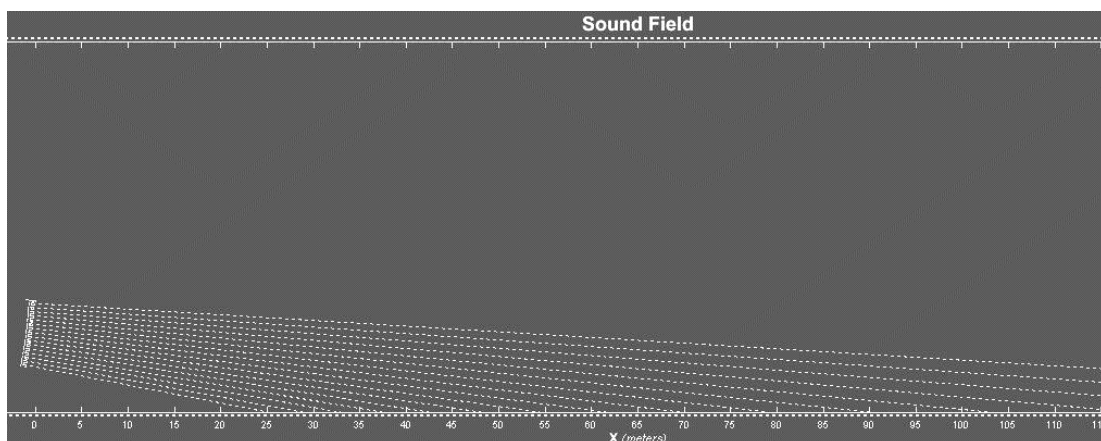
Se debe de considerar también que la mínima separación entre cada caja de Leo MT es de  $0.5^\circ$ , con lo que no podemos tener los 8 equipos dirigidos al mismo punto, lo recomendable de hacer en estos casos es dirigir la caja del centro al punto deseado, entonces en el sistema se tendrá que apuntar con la caja numero 4 a la distancia de 120 m, para determinar el ángulo de la caja 4 se tendrá que saber cuál es su ubicación exacta, como ya se ha mencionado la altura total del sistema es de 12 m, si cada equipo tiene una altura de 0.453 m, se tiene que restar el valor de 3 cajas, el cual seria 1.36 m, con lo cual se determina que la altura de la caja 4 es de 10.64 m. Para este nuevo triangulo rectángulo que se ha obtenido con catetos de 10.64 m y 120 m se tiene un ángulo de inclinación para el equipo de  $-5^\circ$ . Para conseguir que la caja número 4 del arreglo tenga este ángulo de inclinación lo editaremos desde la venta ya mencionada en la figura 46.



**Figura 49** Configuración de los ángulos.  
Fuente: Elaboración propia.

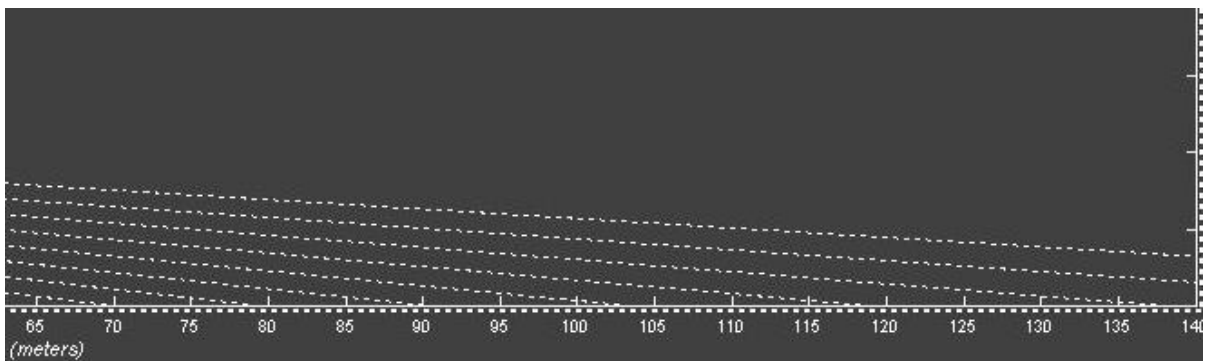
Como se ve en la figura 48 al editar el ángulo de la rejilla del sistema y sumando los ángulos mínimos entre equipos, se puede conseguir los  $-5^{\circ}$  que se necesita para direccionar las cajas más altas del sistema. Para validar la configuración realizada basta con presionar en el botón “*apply and close*”.

Habiendo validado la configuración de los ángulos y agregando la posición en la que se desea que vaya el *line array* ya se puede visualizar como iría ubicado.



**Figura 50** Posición del *line array*.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 50 ya se puede apreciar como estaría ubicado el *line array*, las líneas que se generan de manera perpendicular de cada Leo son una representación de hacia dónde está dirigido cada equipo, para observar mejor la zona de direccionamiento de las Leo más altas se puede hacer un acercamiento en la zona más alejada.



**Figura 51** Líneas de direccionamiento de Leo.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 51 muestra la proyección de cada Leo, la línea más alta representa la Leo más alta del sistema. En esta figura se puede ver como la proyección de la caja numero 4 cae muy cerca a los 120 m, sin embargo también se aprecia que la caja numero 8 llega a los 70 m, este direccionamiento es inevitable ya que el mínima apertura entre cada caja es de  $-0.5^\circ$ .

Ahora bien, se necesita repartir las 8 cajas restantes entre los 60 m que han quedado sin cubrir de la división de 60 entre 8 obtendremos que cada caja restante debe estar dirigida cada 7.5 m, entonces la distribución quedará de la siguiente manera, caja número 9 apuntando a 62.5 m, caja 10 a 55 m, caja 11 a 47.5 m, caja 12 a 40 m, caja 13 a 32.5 m, caja 14 a 25 m, caja 15 a 17.5 m y caja 16 a 10 m.

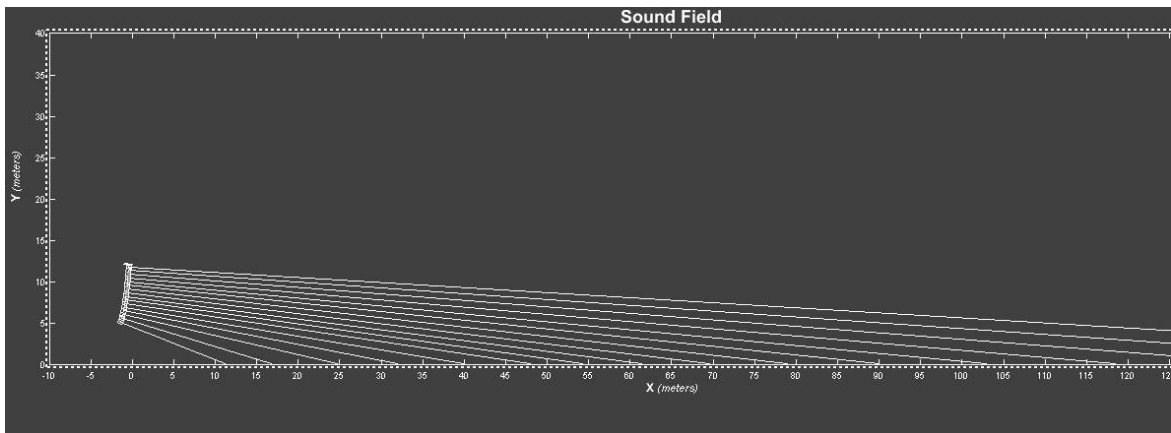
Para lograr la dirección de cada caja restante a estos puntos tendremos que realizar la configuración de ángulos y ver el resultado en la zona de trabajo.

ID	ELEMENT MODEL	SPLAY	REAR	FRONT	TOTAL	CENTER LINE	SOLO	ADDR	OUTPUT CHANNEL
1	MTG-LEO forward				-3,5°				
2	1 LEO-M	0°	0°		-3,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
3	2 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-4°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
4	3 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-4,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
5	4 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
6	5 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-5,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
7	6 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-6°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
8	7 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-6,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
9	8 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-7°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
10	9 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-7,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
11	10 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-8°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
12	11 LEO-M	-0,5°		-0,5°	-8,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
13	12 LEO-M	-1°		-1°	-9,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
14	13 LEO-M	-1,5°		-1,5°	-11°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
15	14 LEO-M	-2°		-2°	-13°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
16	15 LEO-M	-4°		-4°	-17°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
17	16 LEO-M	-5°		-5°	-22°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1

**Figura 52** Tabla de configuración de ángulos.  
Fuente: Elaboración propia.

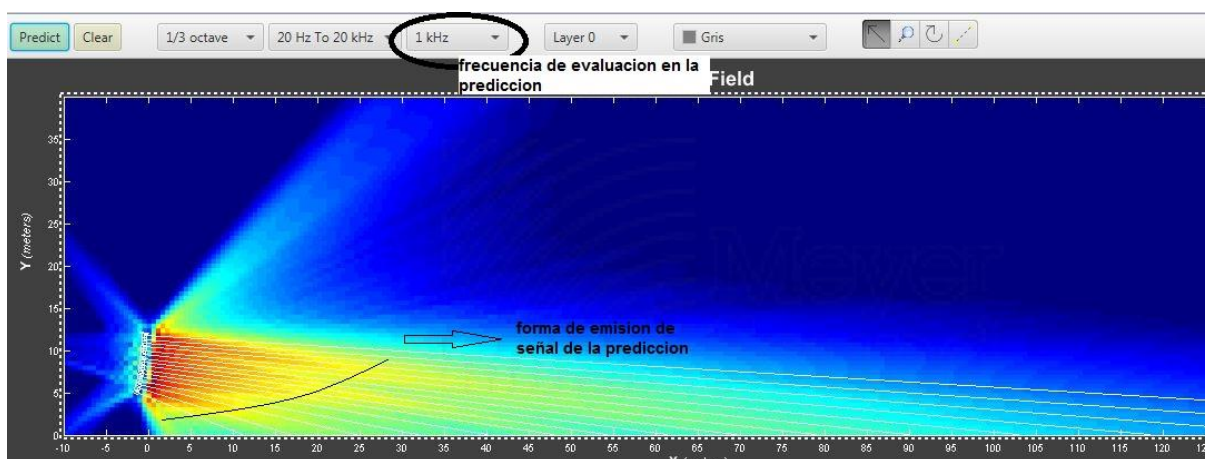
La figura 52 muestra la configuración de cada ángulo que se utilizará para direccionar los equipo en los puntos especificados, también se puede apreciar que la suma total de los ángulos es de -22°, en un principio se había determinado que tendrá que ser aproximadamente -25°, entonces se tiene en un valor adecuado.





**Figura 53** Marca de proyección del *line array* configurado.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 53 se observa las líneas de proyección de cada caja ya configurada. Para poder realizar una predicción el Mapp XT, se debe de configurar el rango de frecuencias que se desea evaluar, además de ello el software permite insertar micrófonos en puntos específicos para poder realizar una medición de todo el espectro. En este caso se evaluará la respuesta en frecuencia en las distancias de 30 m, 60 m, 90 m y 120 m.

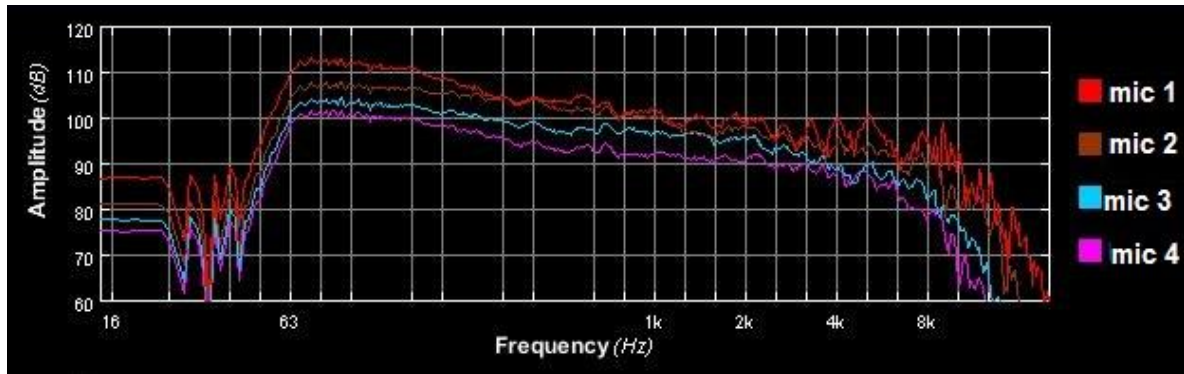


**Figura 54** Predicción de *line array*.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 54 se observa la predicción del sistema. Para esta predicción se utilizó una frecuencia de 1 kHz, se aprecia en el gráfico que la



predicción tiene mayor ganancia en la parte alta para intentar cubrir las distancias más largas. En esta predicción también se insertaron los micrófonos en las zonas ya mencionadas, el resultado se observa en la figura 55.



**Figura 55** Respuesta en frecuencia de la predicción.  
Fuente: Elaboración propia.

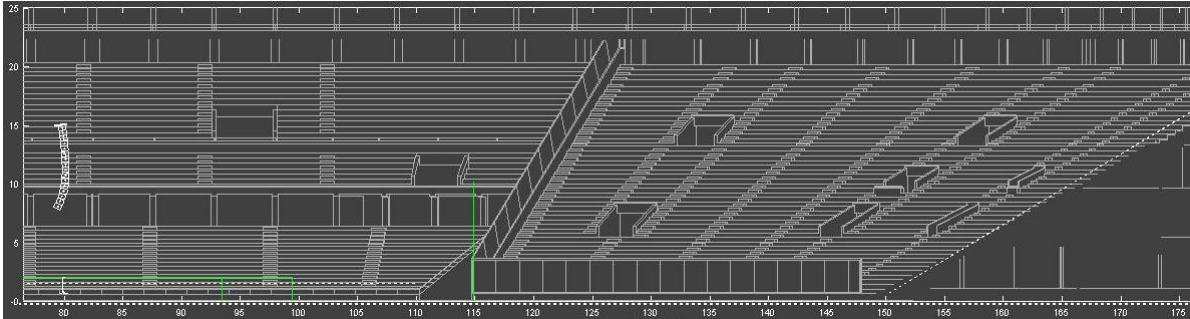
La figura 55 muestra la medición de la respuesta en frecuencia obtenida en cada micrófono, como era de esperarse el micrófono más alejado (mic4) tiene mayor pérdida de db en las frecuencias altas debido a la direccionalidad en las altas frecuencias ya mencionadas en los apartados anteriores. Sin embargo, se puede apreciar que en promedio la respuesta de las señales es aceptable y se pueden mejorar con los arreglos posteriores de ecualización, tiempo y torres de refuerzo.

### 3.2.2 Torre de delay

Se denomina así a las torres que ayudan a cubrir las zonas en las que el sistema principal no tiene buena cobertura y el área restante por cubrir.

Para el diseño colocará las torres de *delay* a los 2/3 de la distancia total del campo, en este caso serían a las 80 m. Se tiene que considerar que

además de reforzar las zonas alejadas del campo, estas torres también tienen que cubrir las zonas de las tribunas del estadio. Para ayudarnos con ese gráfico utilizaremos el plano del estadio insertado en el Mapp XT.



**Figura 56** Lado final del campo  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 56 se aprecia la ubicación de la torre de *delay* a 80 m, además que el lado más alto a cubrir se ubica a unos 180 m de distancia con una altura de 20 m. Para que la torre *line array* pueda cubrir las zonas altas, esta vez se ubicarán a 15 m de altura. Con estos datos se puede determinar la distancia de la primera torre al punto más lejano de cobertura, la cual es aproximadamente 100 m.

Debido a que la distancia de la primera caja al punto lejano es similar a la del sistema principal, se utilizará 8 equipos para cubrir la zona lejana. Si se tiene en cuenta que la apertura mínima entre caja es de  $-0.5^\circ$  y que se debe conseguir que la caja 4 apunte a la zona lejana, se tendrá  $-1.5^\circ$  de caída formado por los 4 primeros equipos, además se tiene que tener en cuenta que la caja número 4 se ubica a una altura de aproximadamente 13 m con lo que el ángulo del sistema tendría que ser  $4^\circ$ . Para conseguir los  $4^\circ$  tenemos que posicionar la rejilla a  $5.5^\circ$ .

ID	ELEMENT MODEL	SPLAY	REAR	FRONT	TOTAL	CENTER LINE	SOLO	ADDR	
1	LEO-M	0°	0°		4,5°	On	Off	10	1: A
2	LEO-M	-0,5°		-0,5°	4°	On	Off	10	1: A
3	LEO-M	-0,5°		-0,5°	3,5°	On	Off	10	1: A
4	LEO-M	-0,5°		-0,5°	3°	On	Off	10	1: A
5	LEO-M	-0,5°		-0,5°	2,5°	On	Off	10	1: A

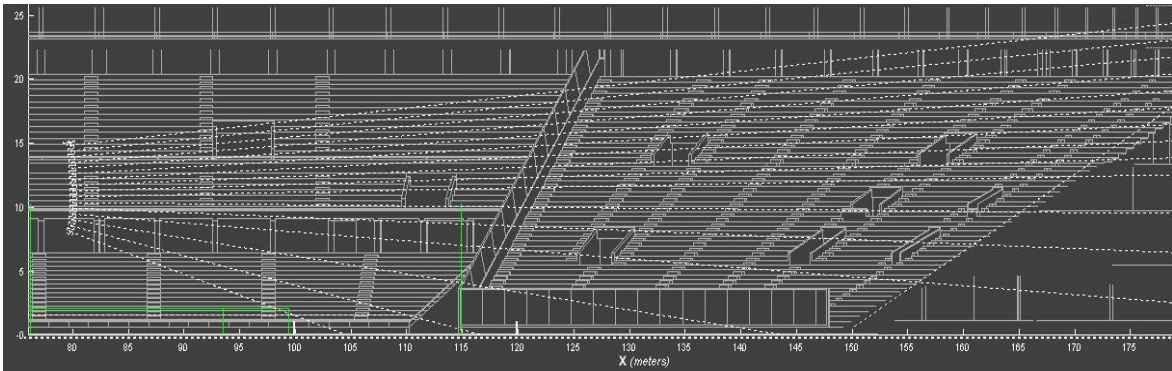
**Figura 57** Configuración de ángulos de delay.  
Fuente: Elaboración propia.

Con esta configuración la caja numero 8 apuntara aproximadamente a una distancia de 174 m con 15 m de altura. La graduación de los siguientes ángulos será determinada de manera visual teniendo en cuenta la forma de la estructura de las tribunas y el tramo de campo restante, la figura 58 muestra la configuración de ángulos de las cajas restantes.

ID	ELEMENT MODEL	SPLAY	REAR	FRONT	TOTAL	CENTER LINE	SOLO	ADDR	
9	LEO-M	-0,5°		-0,5°	1,5°	On	Off	10	
10	LEO-M	-0,5°		-0,5°	1°	On	Off	10	
11	LEO-M	-1,5°		-1,5°	-0,5°	On	Off	10	
12	LEO-M	-1,5°		-1,5°	-2°	On	Off	10	
13	LEO-M	-2°		-2°	-4°	On	Off	10	
14	LEO-M	-4°		-4°	-8°	On	Off	10	
15	LEO-M	-5°		-5°	-13°	On	Off	10	
16	LEO-M	-5°		-5°	-18°	On	Off	10	

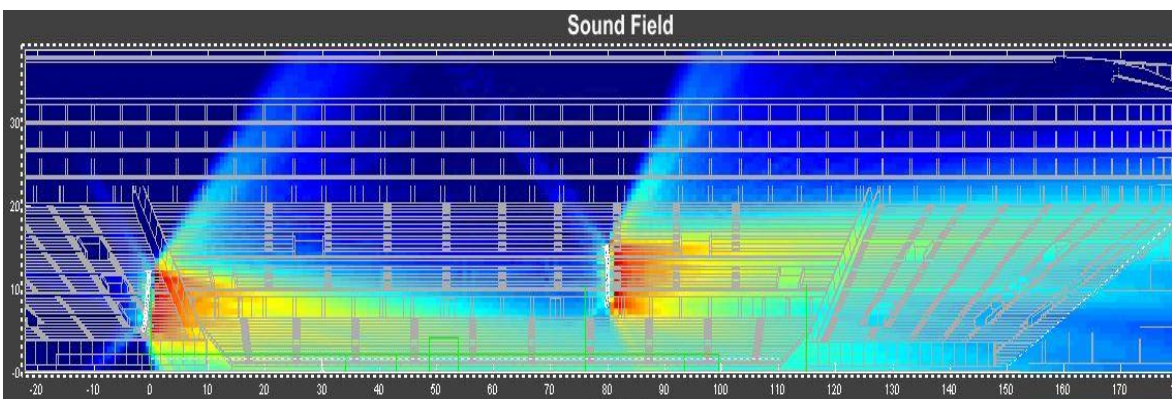
**Figura 58** Configuración de ángulos del resto de *delay*.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 59 se observa cómo quedaría las líneas dirección de la torre de *delay*, nótese que la última caja de la torre apunta a los 105 m de distancia aproximadamente, esto nos ayudara a reforzar la cobertura de los últimos metros, los cuales no tenían toda presión sonora que esperábamos.



**Figura 59** Líneas de proyección de torre *line array*.  
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo configuradas las torres de sistema principal y las de *delay* se puede observar la predicción general en todo el campo.



**Figura 60** Predicción del sistema de refuerzo sonoro.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 60 se tiene la predicción en todo el campo de las torres de *line array* y de *delay*, se puede observar a través de los colores que la cobertura es más homogénea.

### 3.2.3 Vista de planta

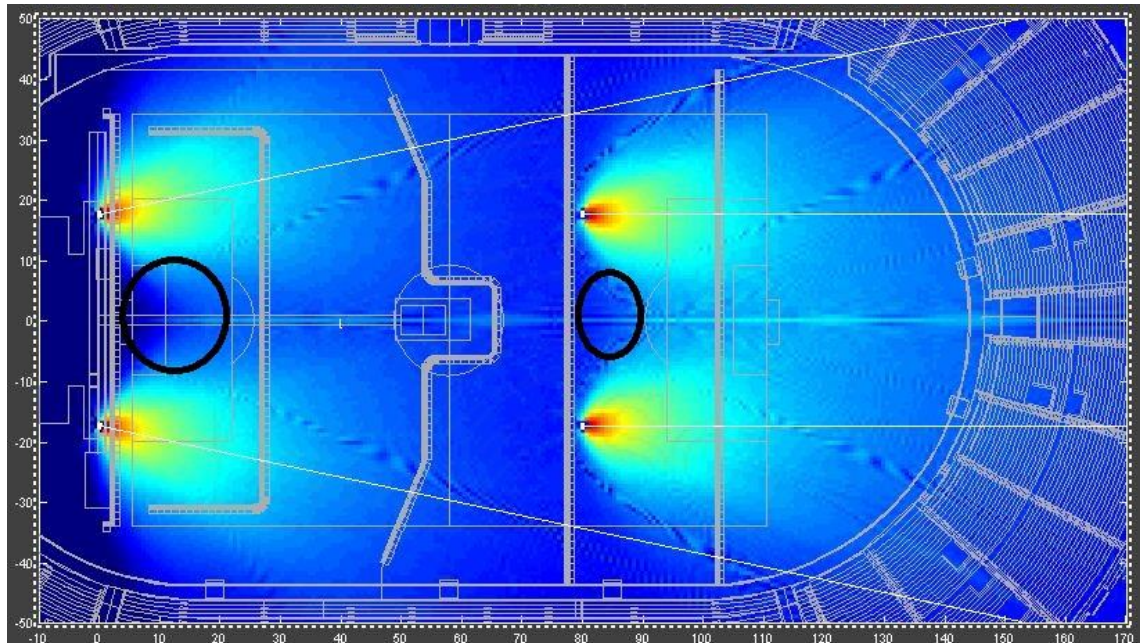
Todo el diseño hasta el momento ha sido evaluado desde una vista lateral, sin embargo, también se debe hacer desde la vista de planta para conocer la cobertura que se tiene desde esa ahí, además de establecer la

posición del sistema. Se sabe que el ancho del campo deportivo es de 70 m, entonces ubicaremos las torres principales a  $\frac{1}{4}$  del total del campo en el aérea designada al borde del escenario, estas posiciones serian 17.5 m y -17.5 m del plano cargado en Mapp XT, al igual que en el plano lateral se necesita dar una dirección a las torres. Para el caso de las torres principales se buscará que apunten hacia el borde de los  $\frac{2}{3}$  del campo que son los 80 m. Al igual que los casos anteriores se determinará el ángulo gracias al triangulo rectángulo que se va formando, entonces los ángulos de las torres principales serian  $12^\circ$  y  $-12^\circ$ .

Para el caso de las torres de *delay* ya se había establecido que irían a 80 m del escenario y al igual que las torres principales se ubicaran a  $\frac{1}{4}$  del ancho del campo, respecto al ángulo de dirección se dejará en  $0^\circ$  para ambas torres debido a que se necesita su cobertura hacia las tribunas más alejadas.

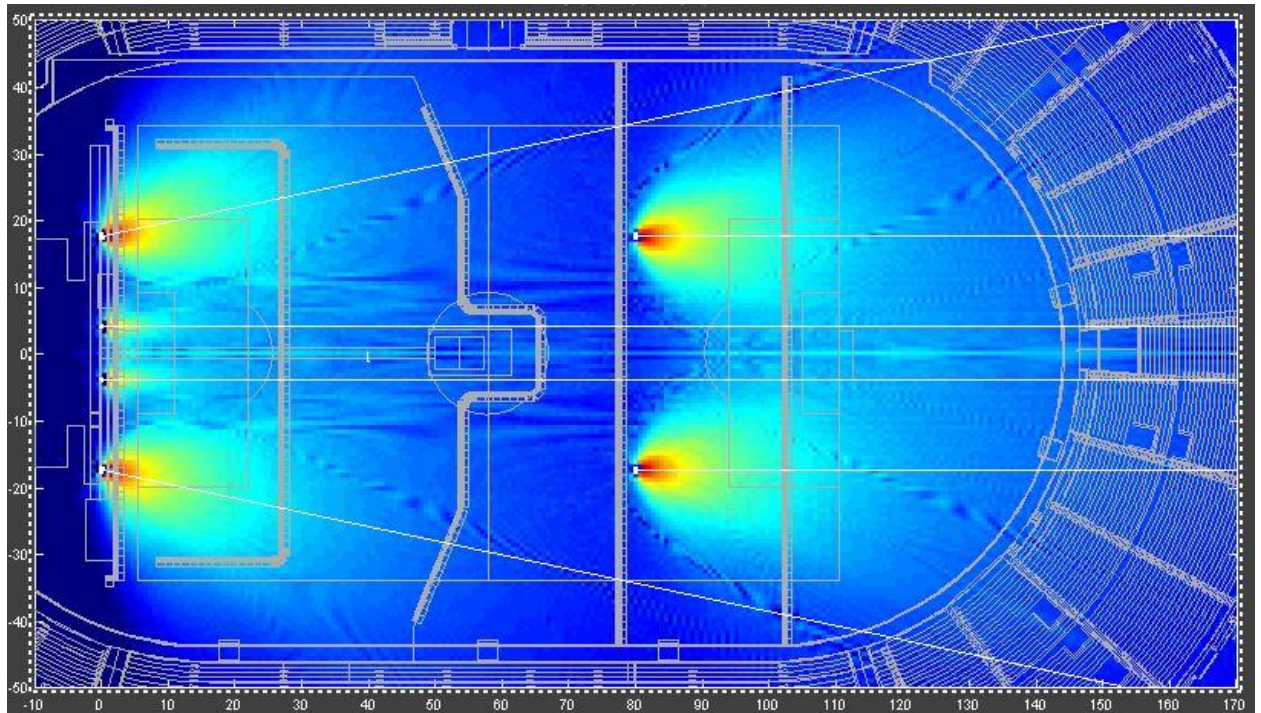
Con estas especificaciones ya se puede hacer una predicción de la vista de planta, se debe mencionar que para esta vista no se podrá insertar los *line array* para la simulación, ya que el programa solo lo hace para la vista lateral, debido a ellos solo se ingresará un equipo Leo en vista de planta que represente cada torre.





**Figura 61** Predicción en vista de planta.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 61 se puede ver la predicción desde la vista de planta, se debe tener en cuenta que en esta vista solo se debe evaluar la cobertura a lo ancho de cada equipo, ya que la cobertura a lo largo fue evaluada en la vista lateral. Si bien se aprecia que la cobertura a lo ancho es aceptable se puede observar dos círculos que indican un vacío en la cobertura. Respecto al círculo que se encuentra entre las torres de *delay* no se hará ningún cambio ya que esa zona no es ocupada por espectadores, debido a que se encuentra detrás de la consola principal. El vacío entre las torres principales será cubierto con un par de equipos llamados UPQ-1P, también de la marca Meyer Sound, los cuales no tienen mucho ángulo de apertura horizontal y no interactuarán demasiado con el sistema. Los UPQ-1P estarán ubicados a 4 m del centro del escenario ya que ese valor es un 1/16 aproximado del total de ancho con el cual casi no tendrán interacción con las torres *line array*.



**Figura 62** Predicción en vista de planta con refuerzo central.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 62 se puede apreciar la predicción en vista de planta con el refuerzo adicional de los UPQ-1P en el centro del escenario, con este refuerzo ya se puede apreciar una cobertura más homogénea en todo el campo descartando la parte trasera de la consola principal, se debe mencionar que los UPQ-1P no serán considerados en la vista lateral debido a que su función es solo la de cubrir de manera horizontal la parte más cercana al centro del escenario.

### 3.2.4 Mediciones y retardos

Como ya se ha observado en la predicción en plano lateral del Mapp XT todo indica que tenemos una cobertura adecuada para el campo y tribunas, sin embargo, se tiene que evaluar la interacción entre las torres en varios puntos de campo para corregir el sistema. El Mapp XT nos permite

insertar micrófonos en cualquier parte del entorno de trabajo para realizar mediciones y poder ver la respuesta en frecuencia en ese punto.

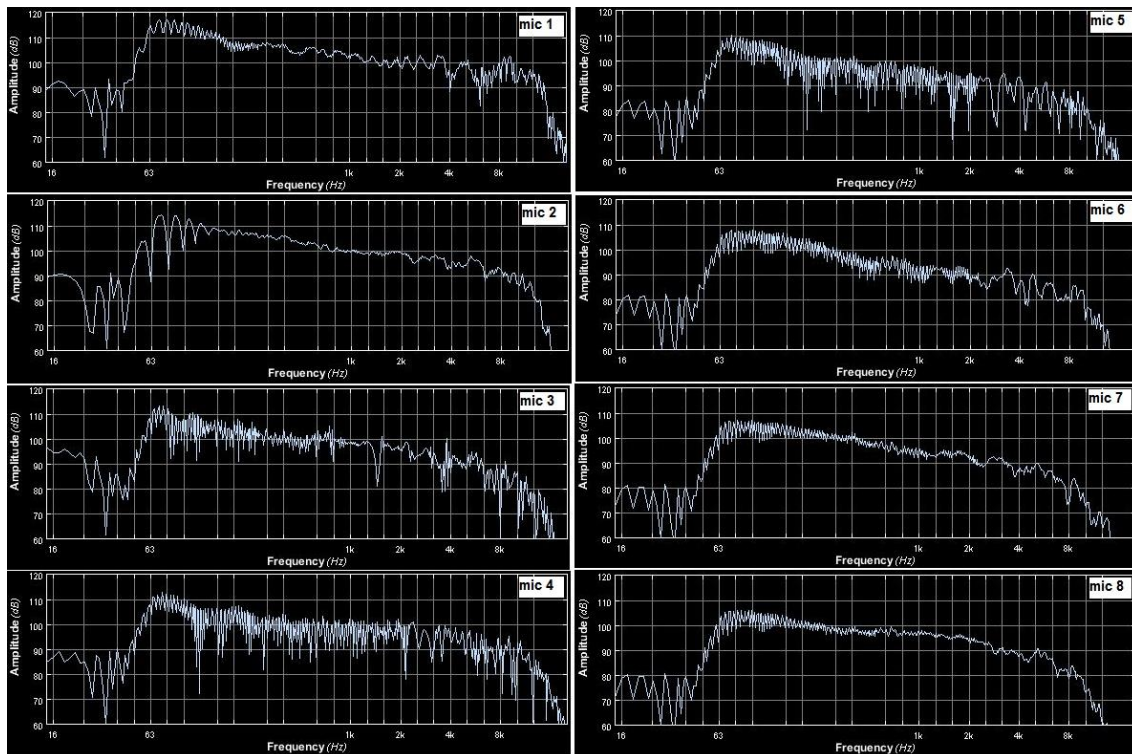
La figura 63 muestra la lista de micrófonos que se usará y la posición de cada uno de ellos.

<i>CH</i>	<i>MICROPHONE LABEL</i>
1	mic1 20m
2	mic2 50m
3	mic3 80m
4	mic4 110m
5	mic5 140m
6	mic6 160-6m
7	mic7 170-12m
8	mic8 180-18m

**Figura 63** Lista de micrófonos para medición.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 64 se puede observar las gráficas de respuesta en frecuencia de todos los micrófonos colocados en las ubicaciones ya mencionadas. La distorsión y pérdidas en frecuencias se debe básicamente a dos factores a la interacción entre varios equipos al llegar las señales a un mismo punto en tiempo diferentes y a la pérdida de presión sonora debido a la distancia.





**Figura 64** Respuesta en frecuencia en varios puntos del entorno de trabajo.  
Fuente: Elaboración propia.

Si bien para propósitos de simulación hasta el momento se ha enviado la misma señal a cada equipo, para realizar una configuración adecuada se debe enviar una señal diferente a cada equipo o conjunto de equipos. Para este diseño agruparemos los Leo de a dos y se enviara una señal configurada convenientemente a cada par.

La distribución y configuración de señal es un trabajo propio de los Galileos, sin embargo, el Mapp XT también proporciona estos procesadores de manera virtual para tener una predicción con mayor exactitud. La opción de configuración de señal se muestra en la ventana de configuración de cada torre del sistema como se puede apreciar en las figuras 64 y 65.

ID	ELEMENT MODEL	SPLAY	REAR	FRONT	TOTAL	CENTER LINE	SOLO	ADDR	OUTPUT CHANNEL
	MTG-LEO forward				-3,5°	<b>Torre principal</b>			
1	LEO-M	0°	0°		-3,5°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
2	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-4°	On	Off	10	1: Addr 10 Output 1
3	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-4,5°	On	Off	10	2: Addr 10 Output 2
4	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-5°	On	Off	10	2: Addr 10 Output 2
5	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-5,5°	On	Off	10	3: Addr 10 Output 3
6	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-6°	On	Off	10	3: Addr 10 Output 3
7	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-6,5°	On	Off	10	4: Addr 10 Output 4
8	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-7°	On	Off	10	4: Addr 10 Output 4
9	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-7,5°	On	Off	10	5: Addr 10 Output 5
10	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-8°	On	Off	10	5: Addr 10 Output 5
11	LEO-M	-0,5°		-0,5°	-8,5°	On	Off	10	6: Addr 10 Output 6
12	LEO-M	-1°		-1°	-9,5°	On	Off	10	6: Addr 10 Output 6
13	LEO-M	-1,5°		-1,5°	-11°	On	Off	10	7: Addr 10 Output 7
14	LEO-M	-2°		-2°	-13°	On	Off	10	7: Addr 10 Output 7
15	LEO-M	-4°		-4°	-17°	On	Off	10	8: Addr 10 Output 8
16	LEO-M	-5°		-5°	-22°	On	Off	10	8: Addr 10 Output 8

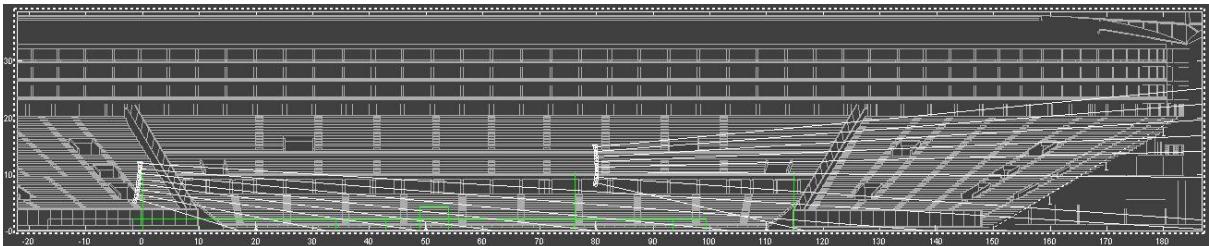
**Figura 65** Configuración de señal de la torre principal.  
Fuente: Elaboración propia.

ID	ELEMENT MODEL	SPLAY	REAR	FRONT	TOTAL	CENTER LINE	SOLO	ADDR	OUTPUT CHANNEL
	MTG-LEO forward				5,5°	<b>Torre de delay</b>			
1	LEO-M	0°	0°		5,5°	On	Off	10	9: Addr 10 Output 9
2	LEO-M	-0,5°		-0,5°	5°	On	Off	10	9: Addr 10 Output 9
3	LEO-M	-0,5°		-0,5°	4,5°	On	Off	10	10: Addr 10 Output 10
4	LEO-M	-0,5°		-0,5°	4°	On	Off	10	10: Addr 10 Output 10
5	LEO-M	-0,5°		-0,5°	3,5°	On	Off	10	11: Addr 10 Output 11
6	LEO-M	-0,5°		-0,5°	3°	On	Off	10	11: Addr 10 Output 11
7	LEO-M	-0,5°		-0,5°	2,5°	On	Off	10	12: Addr 10 Output 12
8	LEO-M	-0,5°		-0,5°	2°	On	Off	10	12: Addr 10 Output 12
9	LEO-M	-0,5°		-0,5°	1,5°	On	Off	10	13: Addr 10 Output 13
10	LEO-M	-0,5°		-0,5°	1°	On	Off	10	13: Addr 10 Output 13
11	LEO-M	-1,5°		-1,5°	-0,5°	On	Off	10	14: Addr 10 Output 14
12	LEO-M	-1,5°		-1,5°	-2°	On	Off	10	14: Addr 10 Output 14
13	LEO-M	-2°		-2°	-4°	On	Off	10	15: Addr 10 Output 15
14	LEO-M	-4°		-4°	-8°	On	Off	10	15: Addr 10 Output 15
15	LEO-M	-5°		-5°	-13°	On	Off	10	16: Addr 10 Output 16
16	LEO-M	-5°		-5°	-18°	On	Off	10	16: Addr 10 Output 16

**Figura 66** Configuración de señal de torre de *delay*.  
Fuente: Elaboración propia.

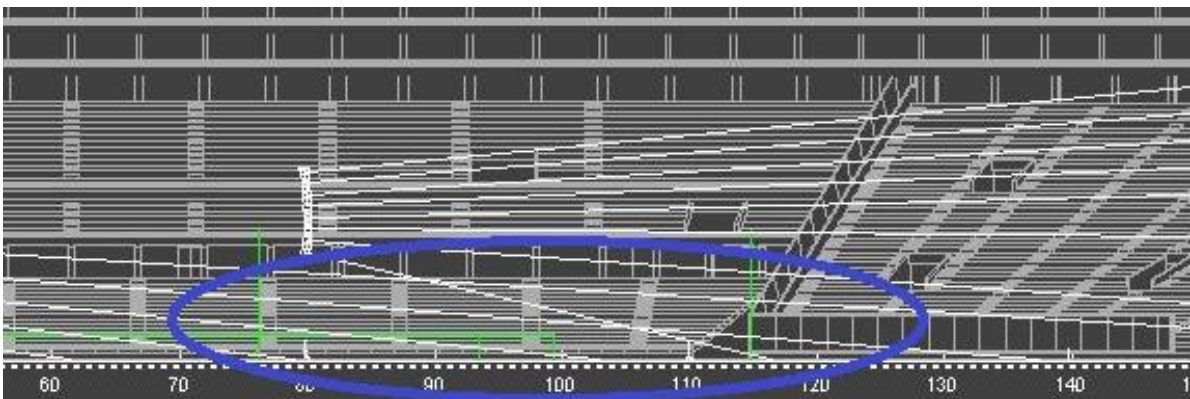
Una de las primeras configuraciones que se realizará a las torres de refuerzo sonoro será la de corregir el tiempo de cada par de equipo para mejorar la interacción, para esto se tomará como punto crítico de interacción la zona en la que la señal de la torre principal se combina con la señal de la torre de *delay*, a partir de la corrección de este punto de interacción se

establecerán tiempos de retardo en las demás cajas, como se está agrupando las señales por cada par de cajas tomaremos la distancia de la caja superior como se muestra en la figura 67.



**Figura 67** Distribución de direccionamiento del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 68 se puede apreciar mejor el cruce de señales de la torre principal y la de *delay*.



**Figura 68** Zona de interacción entre torre principal y *delay*.  
Fuente: Elaboración propia

La zona de interacción entre las torres se da entre los 80 m y 120 m, tomaremos el punto de referencia a los 100 m. Debido a la gran diferencia de distancia entre la altura de las cajas y la extensión del campo, la distancia total de las cajas que se evaluará al punto de medición será aproximadamente la misma que hay entre su ubicación en el eje horizontal y el punto de medición.

Conociendo el punto de medición y las distancia a evaluar, se realizarán los cálculos simples. Como se vio en el marco teórico la velocidad del sonido es de 340 m/s, si la torre principal está ubicada en el punto 0 tenemos que la distancia al punto de medición es de 100 m y el tiempo que se tomó la señal en llegar al punto es de  $\frac{100\text{ m}}{340\text{ m/s}} = 294\text{ ms}$ .

La torre de *delay* se encuentra ubicada a 80 m, entonces tardara en llegar al punto  $\frac{20\text{ m}}{340\text{ m/s}} = 59\text{ ms}$  . Para que ambas señales lleguen aproximadamente al mismo tiempo al punto de medición la torre de *delay* debe retrasarse en su emisión de señal, la cantidad de tiempo que debe tardar se obtendrá de la diferencia entre los tiempos que demoran en propagarse,  $294\text{ ms} - 59\text{ ms} = 235\text{ ms}$ .

Se insertará este retardo en la torre de *delay* a través de la ventana de configuración del Mapp XT que nos permite simular el uso de una Galileo.

Device Configuration - [estadio lateral.zip]

File Settings Tools

Predict Clear Galileo Callisto 616

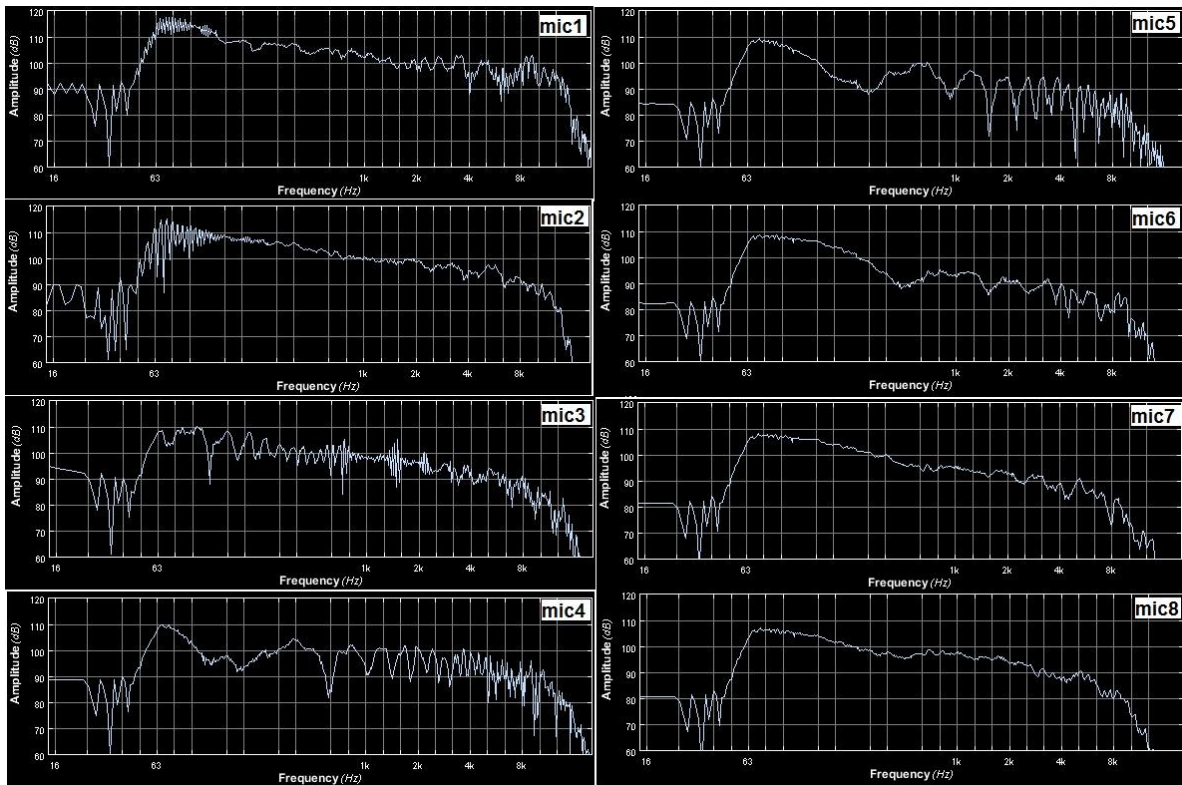
Processors and Microphones

CH	PROC LABEL	MODEL	LOCATION	EQUALIZATION	ARRAY GROUPS	POLARITY	DELAY	GAIN	MUTE
Settings 1	Processing	Addr 10 Output 1		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 2	Processing	Addr 10 Output 2		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 3	Processing	Addr 10 Output 3		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 4	Processing	Addr 10 Output 4		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 5	Processing	Addr 10 Output 5		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 6	Processing	Addr 10 Output 6		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 7	Processing	Addr 10 Output 7		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 8	Processing	Addr 10 Output 8		Enabled	Edit	Normal	0 ms	0 dB	Mute
Settings 9	Processing	Addr 10 Output 9		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 10	Processing	Addr 10 Output 10		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 11	Processing	Addr 10 Output 11		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 12	Processing	Addr 10 Output 12		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 13	Processing	Addr 10 Output 13		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 14	Processing	Addr 10 Output 14		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 15	Processing	Addr 10 Output 15		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute
Settings 16	Processing	Addr 10 Output 16		Enabled	Edit	Normal	235 ms	0 dB	Mute

**Figura 69** Configuración de retardo.  
Fuente: Elaboración propia.



La figura 69 muestra la configuración de retardo que se insertó en los equipos de la torre de *delay*, con esta configuración se volverá a realizar las mediciones con los micrófonos ubicados en la misma posición.



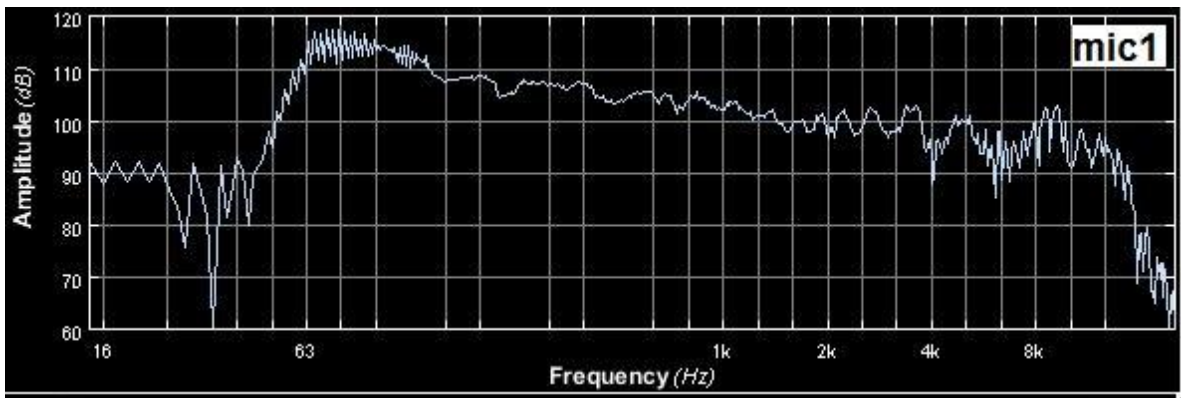
**Figura 70** Respuesta en frecuencia luego de la configuración de retardo.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 70 se puede apreciar la respuesta en frecuencia luego de haber establecido el tiempo de retardo en la torre de *delay*. Si bien se observa una mejora en la forma de onda en cada punto medida, aun se puede notar la tendencia a la caída de las frecuencias altas, la intensidad de las frecuencias bajas y la interacción en la zona donde se combinan las señales de la torre principal y la de *delay*.

### 3.2.5 Ecuación

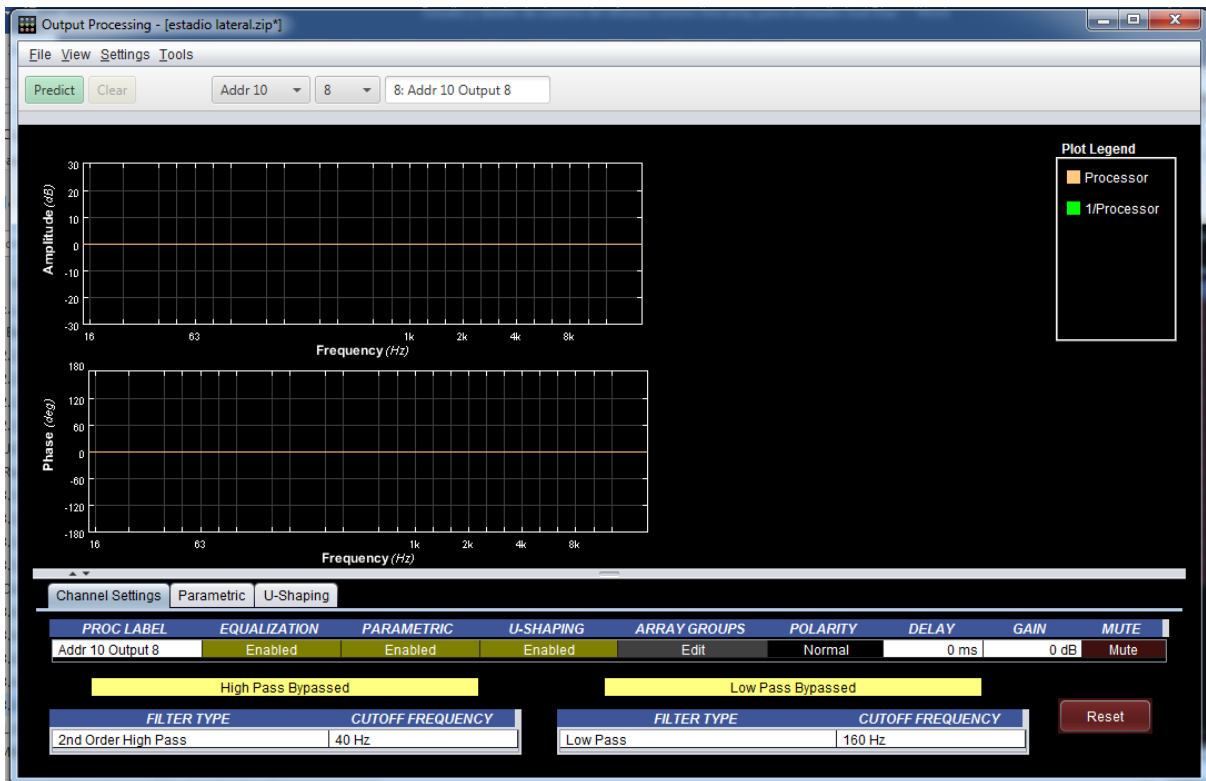
Este apartado está destinado a mejorar la señal luego de aplicar el retardo en la zona que vimos conveniente. La forma de ecualizar la señal de cada par de equipos Leo se ira dando de acuerdo a los gráficos obtenidos en cada punto de medición.

Se iniciará la ecualización desde la zona más cercana al escenario y se continuará midiendo la señal conforme se avance en la configuración.



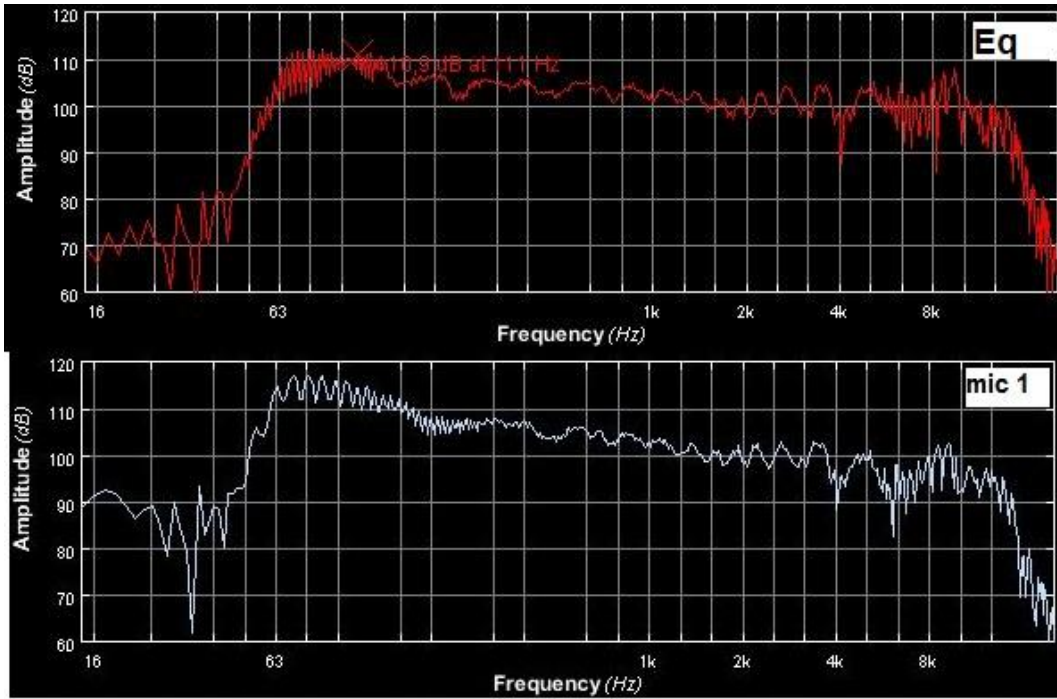
**Figura 71** Medición de micrófono uno antes de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 71 muestra la respuesta en frecuencia del micrófono 1 ubicado a 20 m de la torre principal, esta señal tiene gran ganancia en las frecuencias bajas y una distorsión en las frecuencias más altas. Para ecualizar esta señal se aplicará la configuración al par de cajas de la parte final de la torre debido a que son las direccionadas a este punto de medición, la ecualización se llevó a cabo desde la venta de configuración del Galileo.



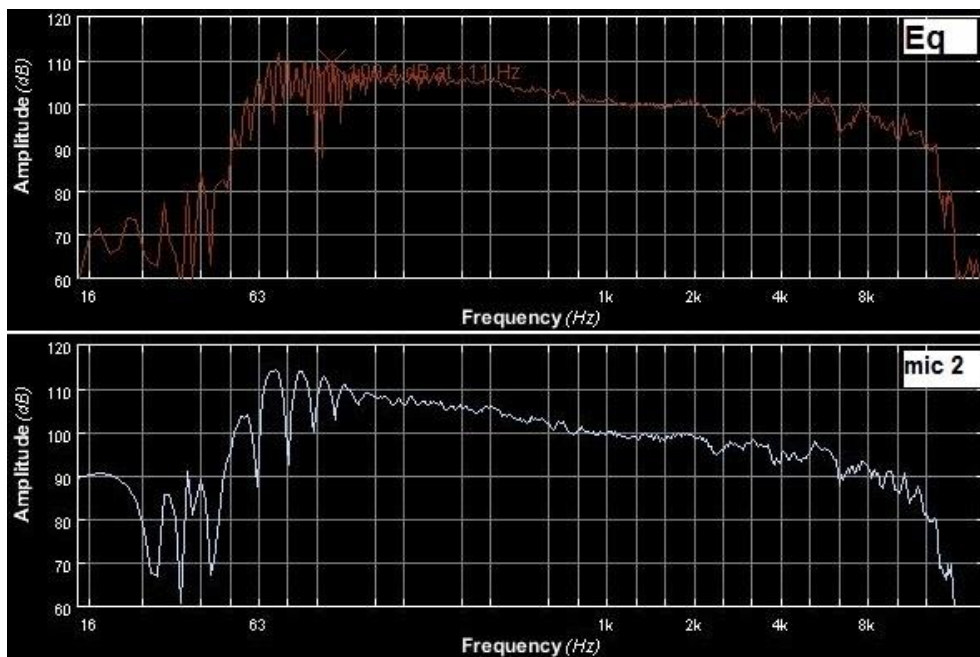
**Figura 72** Ecuación a través del Mapp XT.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 72 se observa la ventana de configuración de ecualización, este entorno permite realizar la ecualización a través de filtros definidos, ingresando parámetros o configurando según criterio personal. A continuación, se muestra la comparación de las gráficas ecualizadas y sin ecualizar.



**Figura 73** Medición de micrófono uno antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

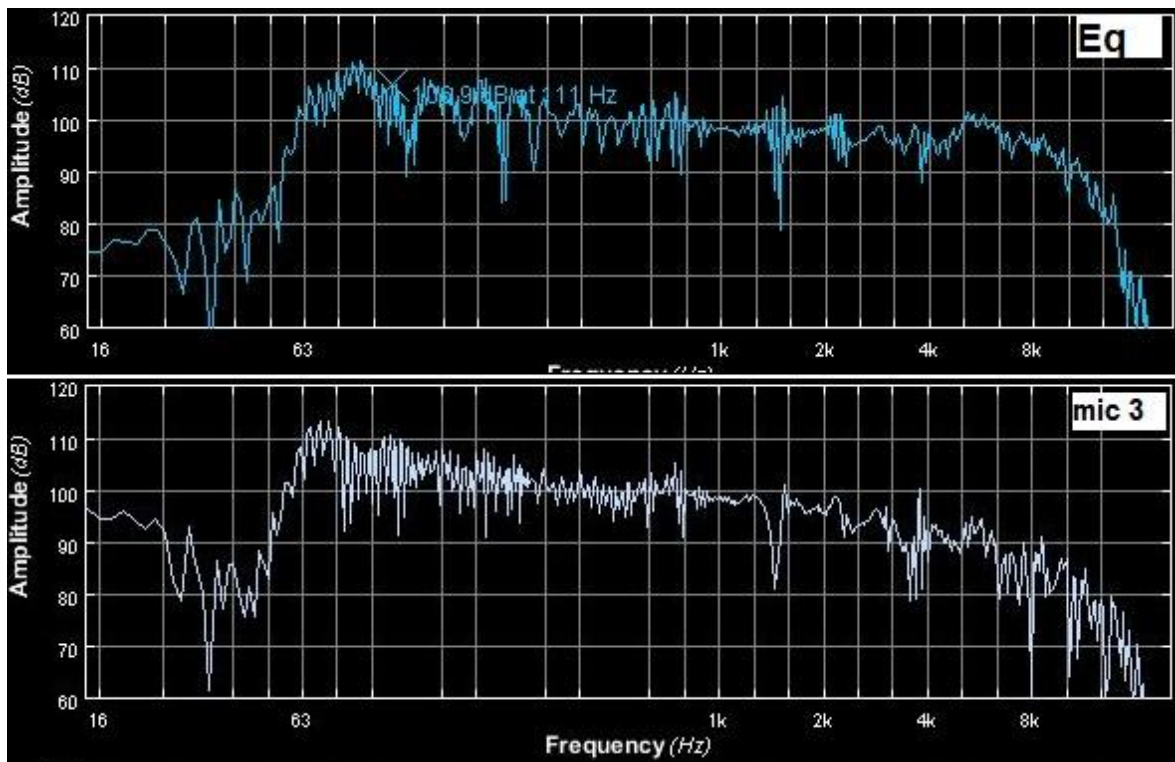
En la figura 73 se observa que a través de la ecualización se atenuó las frecuencias bajas a partir de 63 Hz para tratar de tener 100 db de salida.



**Figura 74** Medición de micrófono dos antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

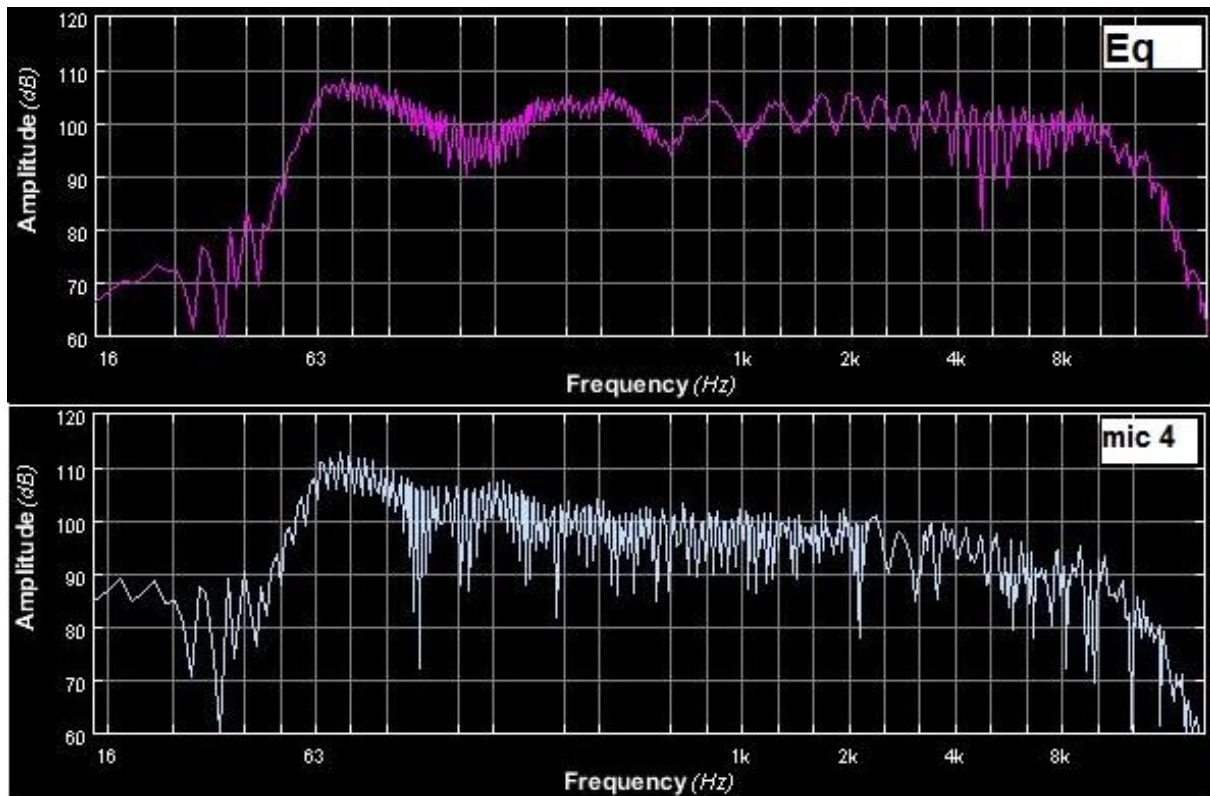


Al igual que con la medición del micrófono uno en la ecualización de la figura 74 se ha tratado de atenuar las frecuencias bajas, además debido a que el micrófono dos se encuentra a 50 m de la torre principal en la medición sin ecualizar se tenía un nivel de presión sonora por debajo de los 100 db, con la ecualización se logró elevar el nivel para que la señal este muy cercana a los 100 db.



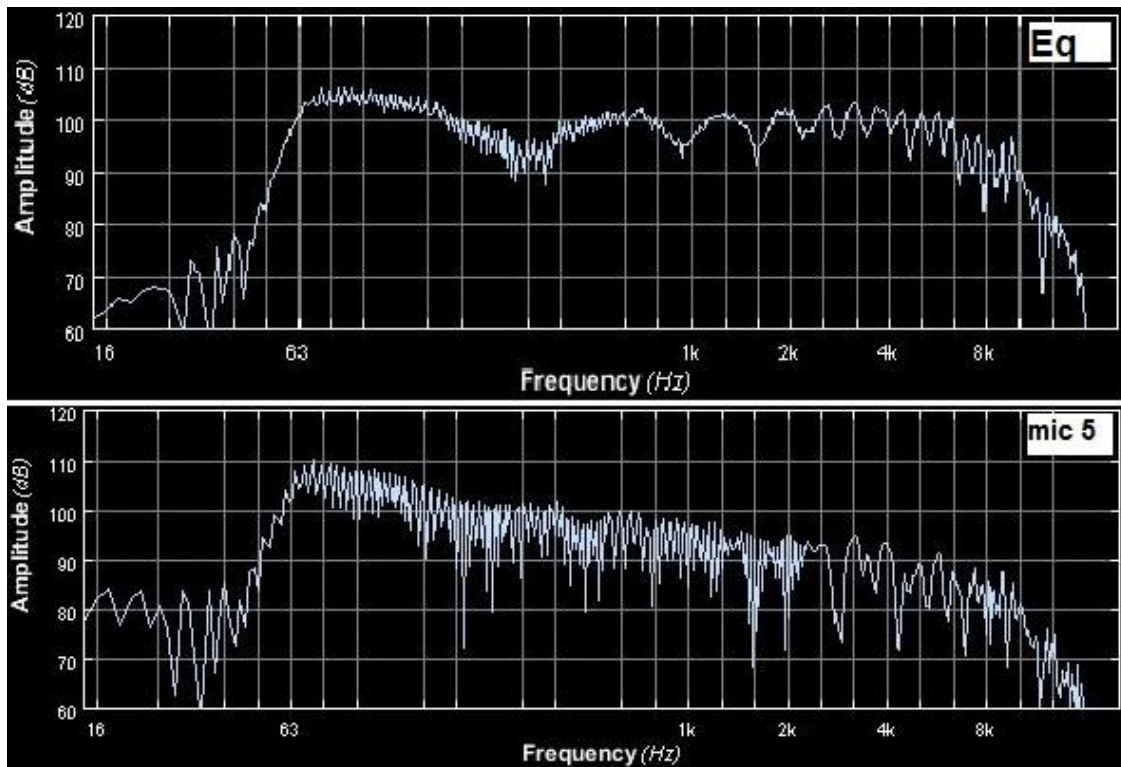
**Figura 75** Medición de micrófono tres antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 75 se muestra la respuesta en frecuencia para la medición del micrófono tres, debido a que este micrófono se encuentra a 80 m, se tiene mayor pérdida de frecuencias altas, lo cual se intentó mejorar a través de la ecualización.



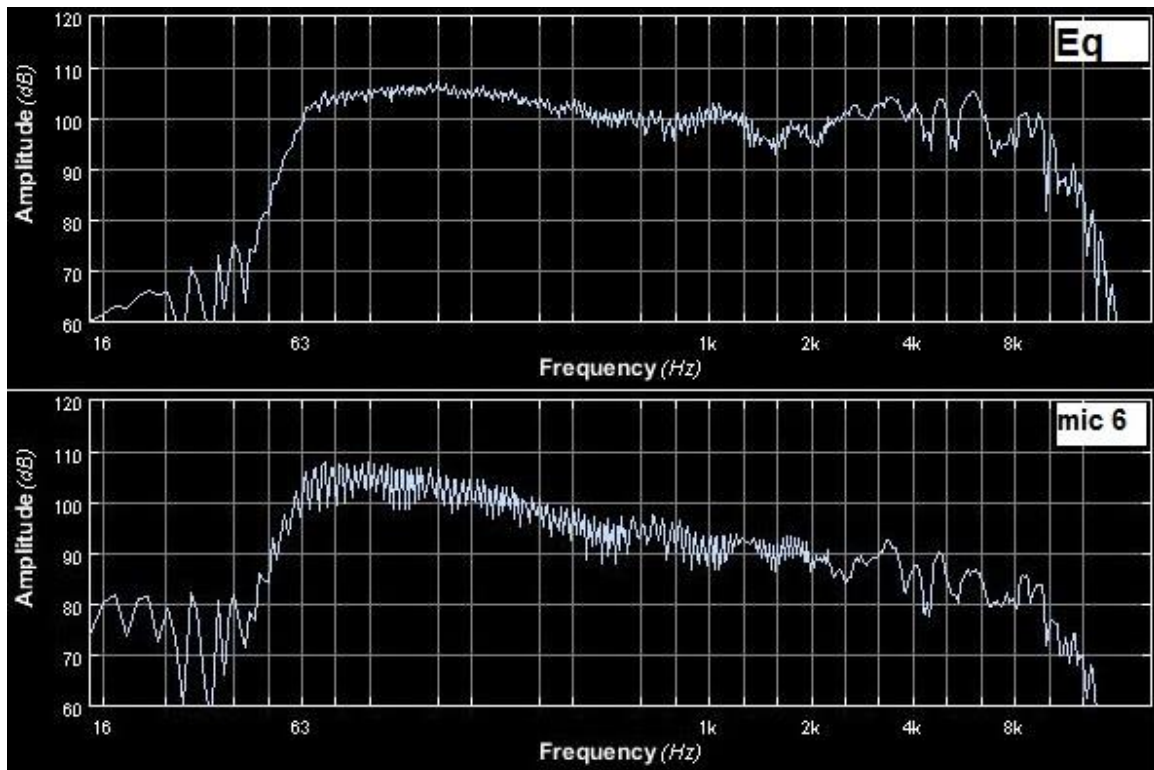
**Figura 76** Medición de micrófono cuatro antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 76 se observa la medición del micrófono cuatro el cual está ubicado en la zona de interacción entre la torre principal y la *delay*, debido a ello se generan pequeños cortes en muchas frecuencias, además la pérdida en los valores altos, la ecualización se realizó para tratar de estabilizar la señal y elevar la presión sonora en las frecuencias altas.



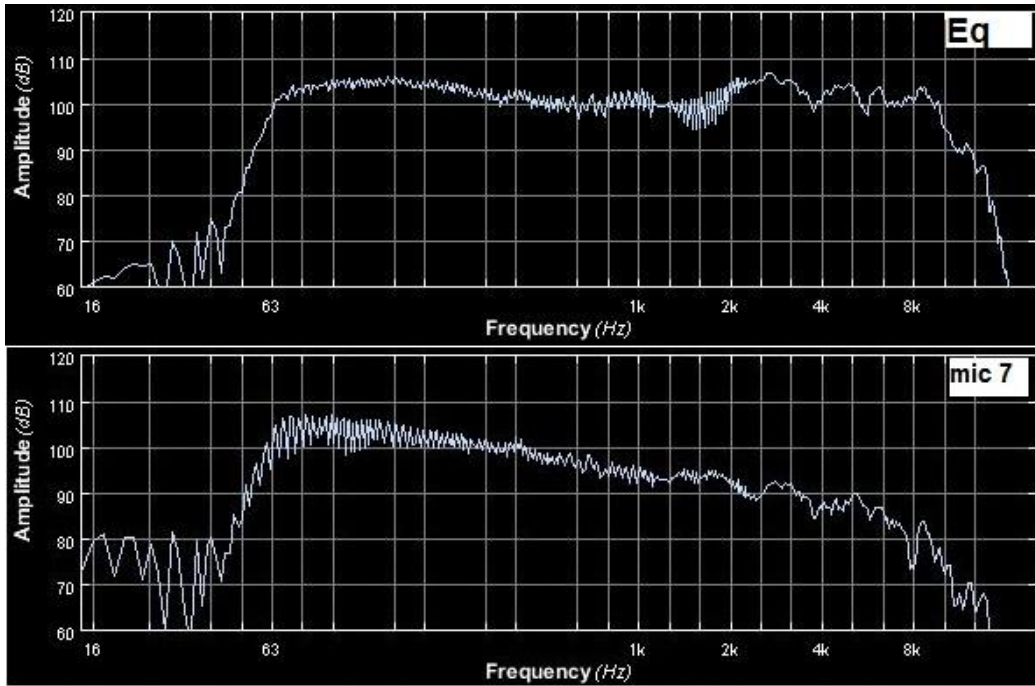
**Figura 77** Medición de micrófono cinco antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 77 muestra las mediciones a través del micrófono cinco, este micrófono también está ubicado en la zona de interacción entre las dos torres de refuerzo sonoro, debido a ello muestra atenuaciones en frecuencias específicas. La ecualización ayudó a aumentar la presión sonora en las frecuencias altas para nivelarlas a aproximadamente los 100 db.



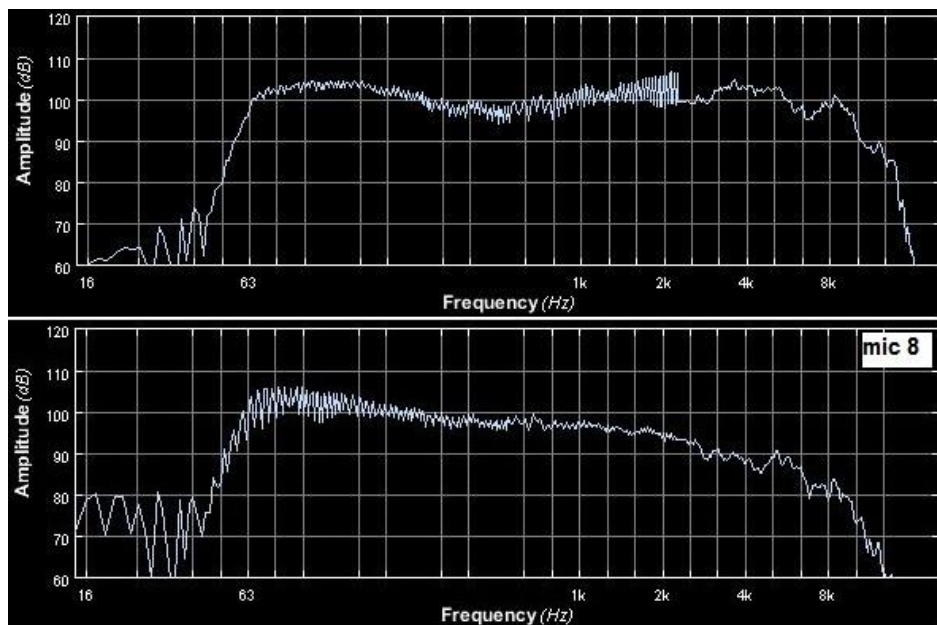
**Figura 78** Medición de micrófono seis antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 78 es la medición del micrófono seis el cual al estar más alejado tiene pérdida de intensidad en las frecuencias altas, a pesar de no conseguir una respuesta en frecuencia totalmente plana se obtuvo la ganancia para una respuesta aceptable.



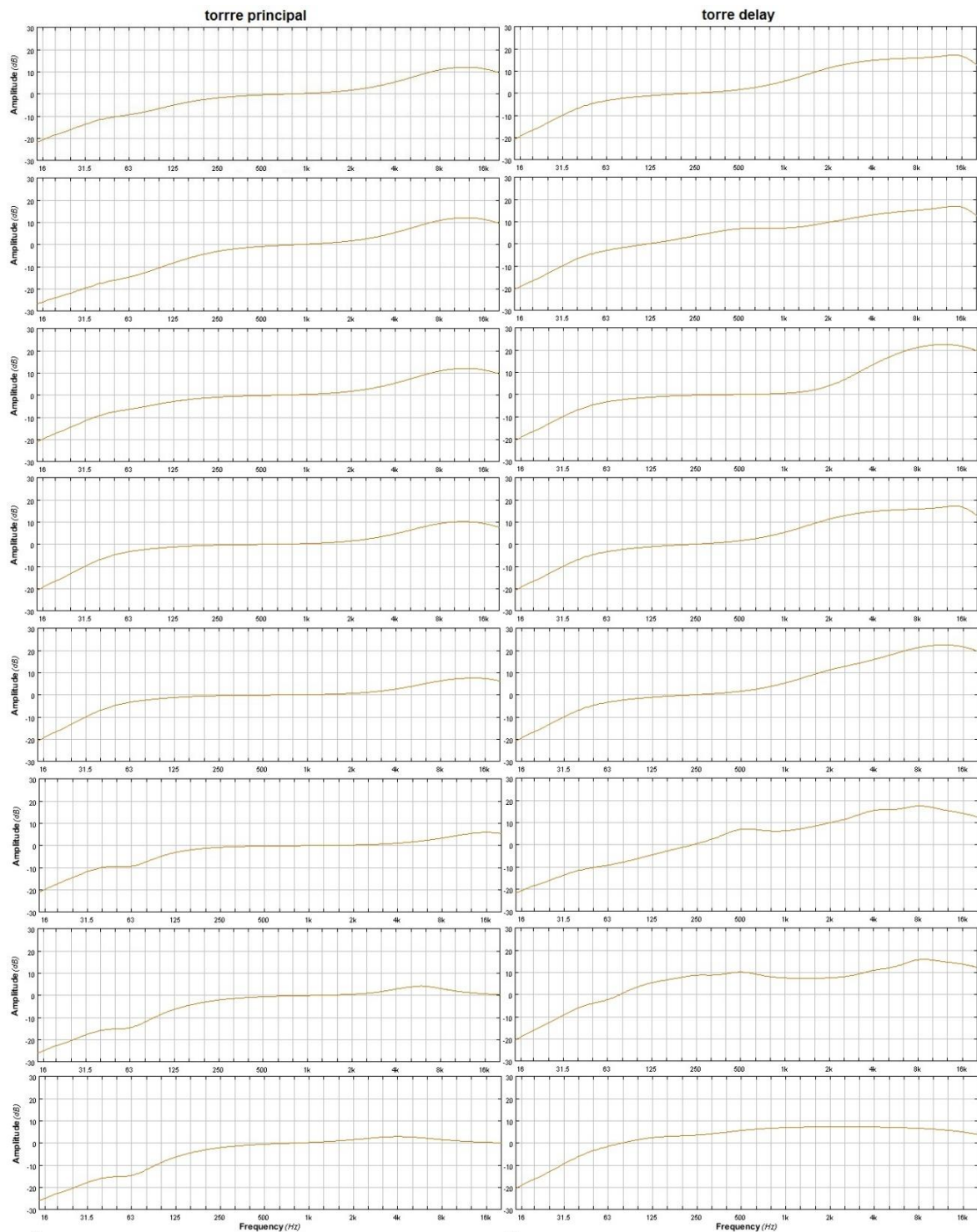
**Figura 79** Medición de micrófono siete antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 79 y 80 al igual que la figura 78 se observa la tendencia a la pérdida de intensidad en las frecuencias altas la cual también fue mejorada a través de la ecualización.



**Figura 80** Medición de micrófono ocho antes y después de ecualización.  
Fuente: Elaboración propia.





**Figura 81** Ecuación del sistema principal y *delay*.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 81 muestra las ecualizaciones que se realizaron para el sistema principal y el de *delay*, como se observa la tendencia a seguir es la

reducción de las frecuencias bajas y el aumento de ganancia en las frecuencias más altas.

Cabe mencionar que para efectos de simulación se utilizó un solo procesador que emitió la señal para las dos torres de predicción. Para realizar la implementación del sistema se tendrá que utilizar un procesador por cada *line array*, en nuestro caso dos principales y dos de *delay*. Para el monitoreo de todo los procesadores y por ende los sistemas se contará con una red ethernet simple que permita la comunicación entre ellos.

Tanto los retardos, así como las ecualizaciones realizadas en el software de predicción Mapp XT serán introducidas en los Galileo que se dispondrán para la implementación del sistema a través de su software de configuración Compass.

### **3.2.6 Simulación alternativa**

Para reconocer la calidad de los resultados obtenidos en el presente trabajo se realizará simulaciones con una cantidad distinta de equipos y se analizarán los resultados.

El presente trabajo se realizó con 16 equipos Leo-M por cada lado del escenario y otro par de torres de 16 equipo para el *delay*, se optó por esta cantidad debido a que el soporte de *line array* resiste hasta 18 Leo-M como máximo y no se desea sobrecargar la estructura

En las simulaciones alternativas se usarán 8 y 4 Leo-M tanto en la torre principal como en la de *delay* para poder apreciar una diferencia marcada en cuanto a la propagación del sonido ya que, si se realiza con 15, 14 o 12 equipos la diferencia sería notoria tan solo en algunas frecuencias muy

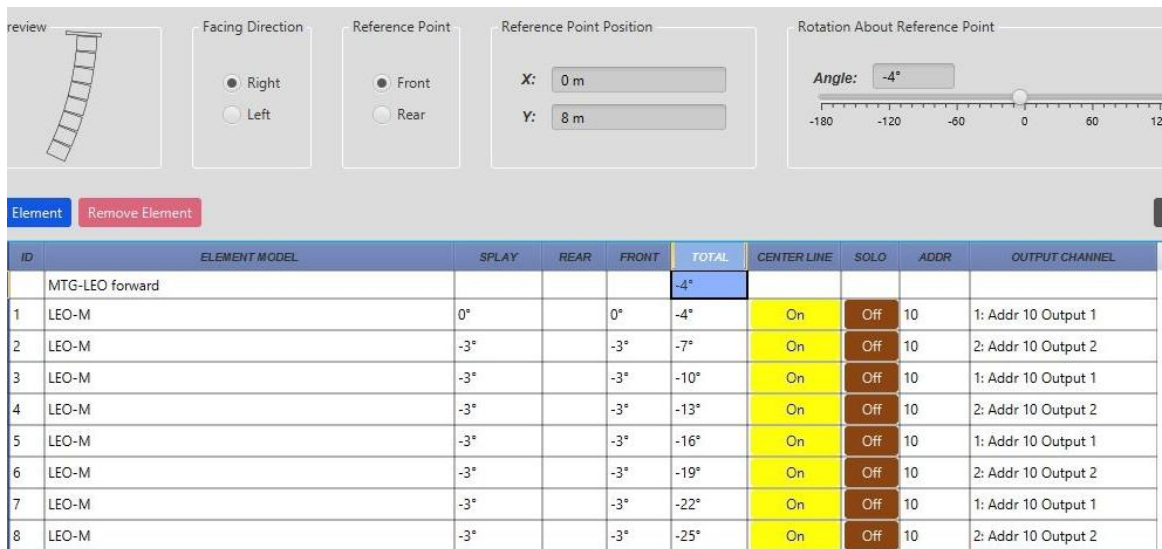
específicas y la percepción del público tampoco sería muy distinta por ello se busca poder realizar una comparación mucho más marcada.

Para la primera simulación alternativa se configuró el sistema con 8 equipos tanto en la torre principal como en la de *delay*. Se inicia estableciendo nuevamente la altura del primer equipo respecto al suelo tomando en consideración la distancia desde donde se encuentra el público, la altura fue determinada en la figura 48, siendo 4.5 metros. Tomando en cuenta el tamaño de cada equipo Leo-M (0.43 m) se determina la altura total de nuestra nueva torre, la cual es 7.94 metros, para nuestra simulación usaremos 8 metros.

Respecto a la configuración de los ángulos de inclinación, se tratará de abarcar la misma distancia que con el sistema original, para ello el equipo más alto de la nueva torre, que se encuentra a 8 metros, tiene que apuntar a una distancia de 120 metros, aplicando el teorema de Pitágoras nos va resultar 120.6 metros desde el equipo al punto deseado, con un ángulo de inclinación de  $-3.81^\circ$ , para nuestra simulación usaremos  $4^\circ$ .

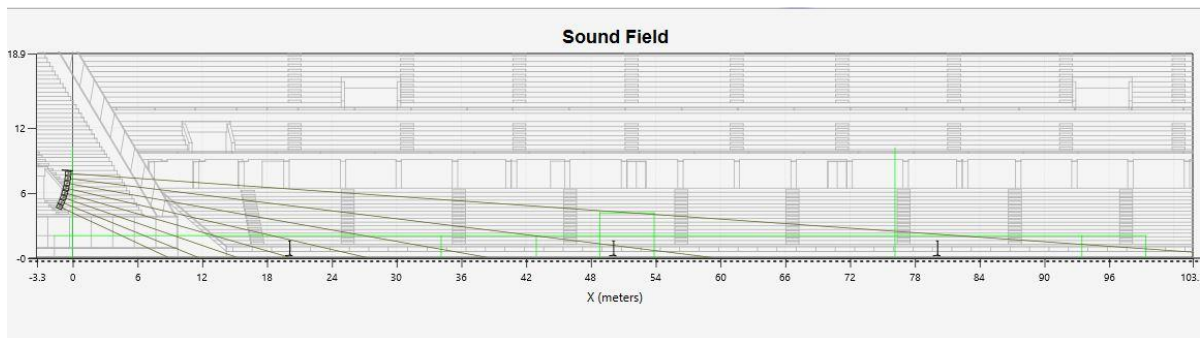
Teniendo en cuenta que el ángulo de inclinación de la caja más cercana al suelo debe ser de  $-25^\circ$  buscaremos distribuir de la mejor manera la apertura de cada equipo.





**Figura 82** Distribución de ángulos en torre principal de simulación alternativa uno.

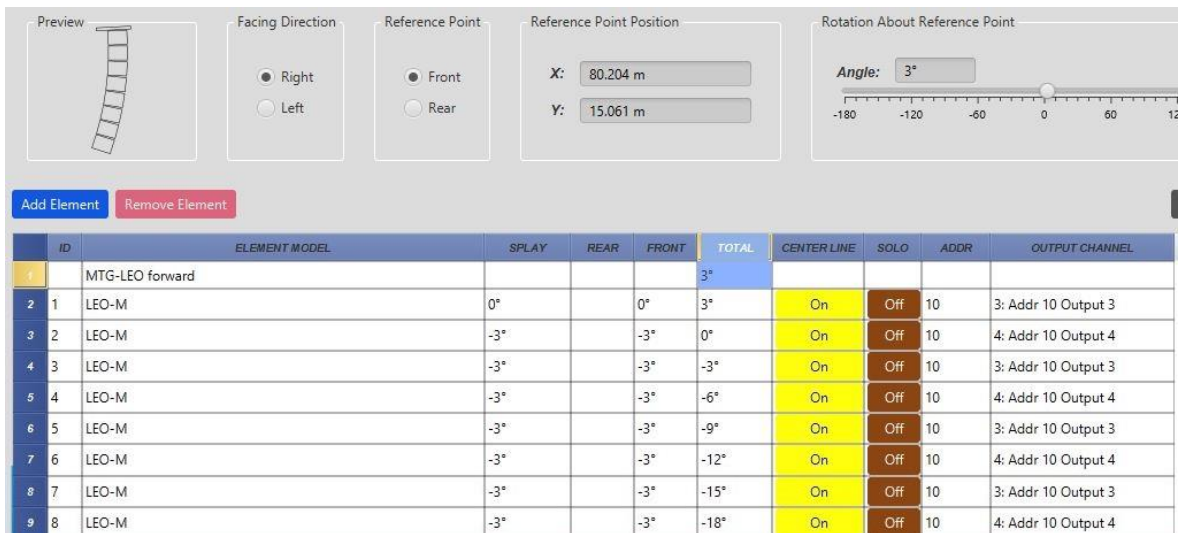
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 83** Proyección de torre principal de simulación alternativa uno.

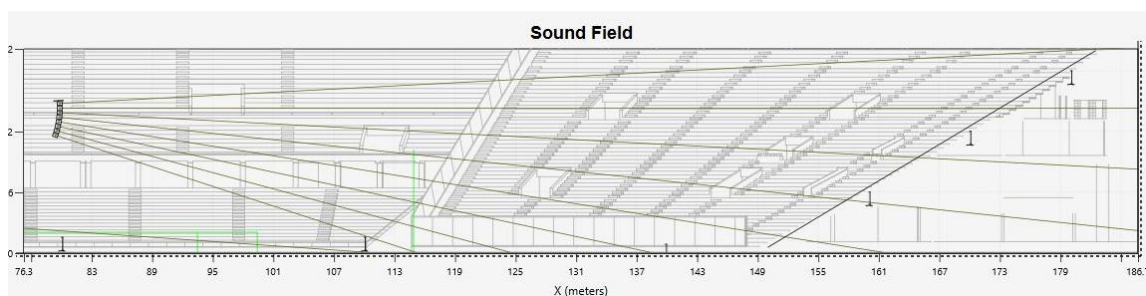
Fuente: Elaboración propia.

Ahora procederemos a localizar y configurar la nueva torre de *delay*. Para ellos usaremos la referencia de la torre de *delay* principal de este trabajo, la cual se ubica a 15 m del suelo y teniendo una distancia de aproximadamente 100.12 m hasta la zona más lejana de la tribuna, obteniendo un ángulo de elevación de 2.86°, para nuestra simulación usaremos 3°, para el resto de equipos buscaremos repartir la distribución de ángulos de tal forma que se pueda cubrir la distancia hasta los 120 m que cubre la torre principal.



**Figura 84** Distribución de ángulos en torre *delay* de simulación alternativa uno.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 84 se observa cómo queda la distribución de los ángulos para la nueva torre *delay* y en la figura 85 se observa la proyección de los equipos hacia las tribunas.



**Figura 85** Proyección de torre *delay* de simulación alternativa uno.  
Fuente: Elaboración propia.

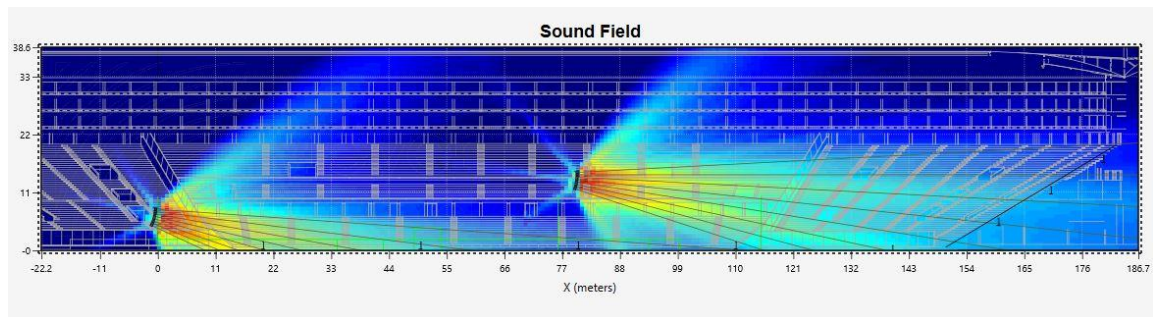
Para poder configurar el nuevo tiempo de retardo vamos a identificar desde la imagen 84 la zona de interacción entre las torres, la cual se da entre los 110 m y 115 m, se tomará como punto de referencia 112.5 m, sabiendo que la velocidad del sonido es de 340 m/s obtenemos el siguiente valor  $\frac{112.5m}{340m/s} = 330ms$ . A continuación, insertamos el nuevo tiempo de retardo en el procesador del Mapp XT.

CH	Processing	Equalization	Delay Integration	Polarity	Delay	Gain	Mute	Processor Label
1	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	0 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 1
2	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	0 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 2
3	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	330 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 3
4	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	330 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 4

**Figura 86** Configuración de tiempo de retardo en torre *delay* de simulación alternativa uno.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 87 se observa la predicción total de las nuevas torres de refuerzo sonoro.



**Figura 87** Predicción total de simulación alternativa uno.

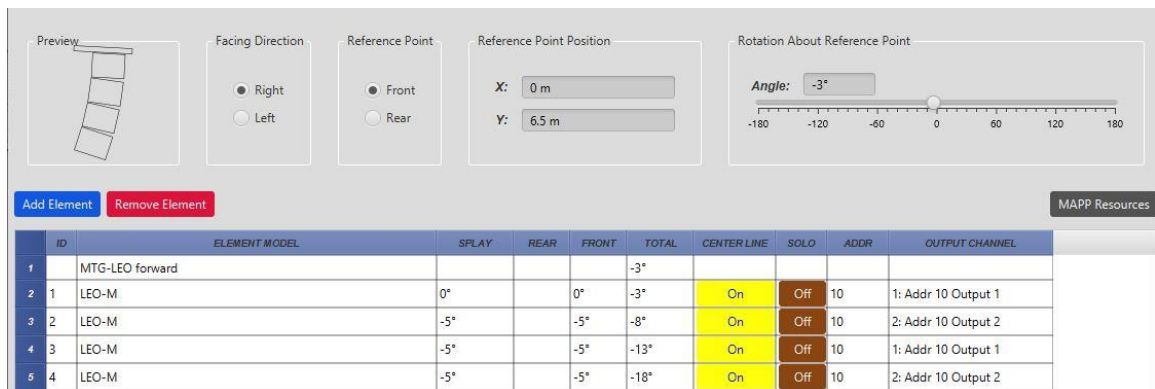
Fuente: Elaboración propia.

Para la segunda simulación alternativa se usarán 4 equipos por cada torre, nuevamente se iniciará estableciendo la ubicación de la torre principal, siendo 4.5 metros la altura del primer equipo. tomando en cuenta el tamaño de cada equipo Leo-M (0.43 m) se determina la altura total de nuestra nueva torre, la cual es 6.22 m, para nuestra simulación usaremos 6.5 metros.

Respecto a la configuración de los ángulos de inclinación, al igual que con la simulación anterior se tratará de abarcar la misma distancia que con el sistema original, para ello el equipo más alto de la nueva torre, que se encuentra a 6.5 m, tiene que apuntar a una distancia de 120 metros, aplicando el teorema de Pitágoras nos va resultar 120.8 m desde el equipo al punto

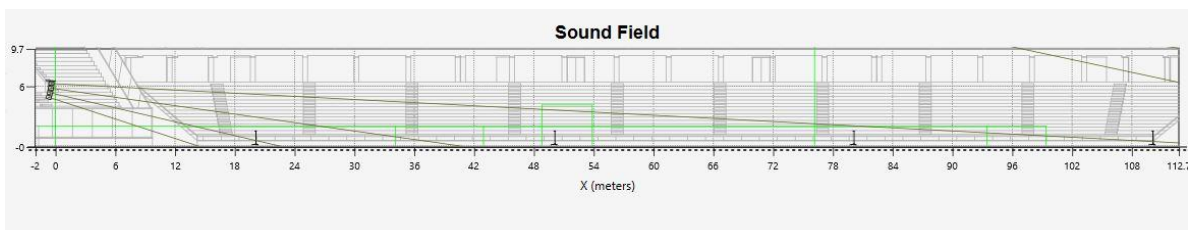
deseado, con un ángulo de inclinación de  $-3.1^\circ$ , para nuestra simulación usaremos  $3^\circ$ .

Para la distribución de los ángulos al tener solo 4 equipo en nuestra nueva torre usaremos la máxima apertura que se nos permite entre cajas, la cual es  $5^\circ$ . En las figuras 87 y 88 podemos observar la configuración de los ángulos y la proyección de los equipos.



**Figura 88** Distribución de ángulos en torre principal de simulación alternativa dos.

Fuente: Elaboración propia.

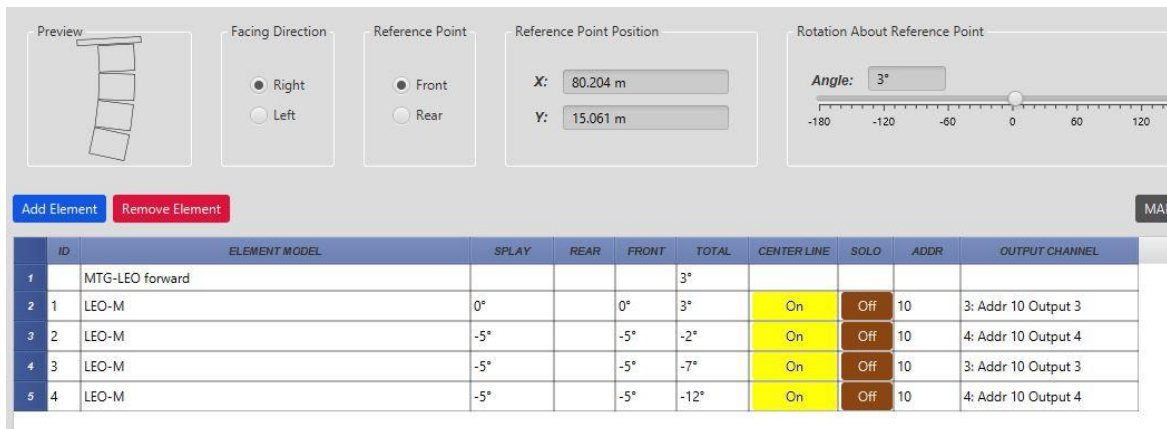


**Figura 89** Proyección de torre principal de simulación alternativa dos.

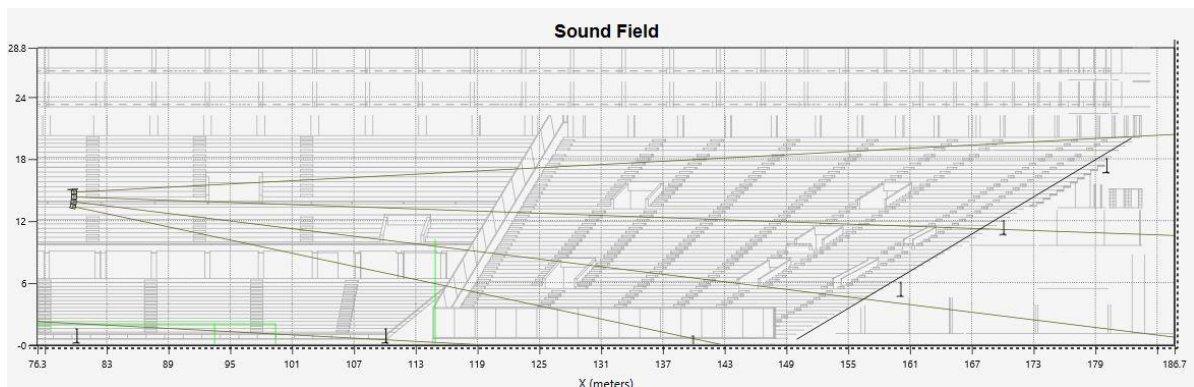
Fuente: Elaboración propia.

Para poder localizar y configurar la nueva torre de *delay* usaremos nuevamente la referencia de la torre de *delay* principal de este trabajo, la cual se ubica a 15 m del suelo y teniendo una distancia de aproximadamente 100.12 m hasta la zona más lejana de la tribuna, por ellos usaremos nuevamente los  $3^\circ$  de elevación para el primer equipo, para el resto de

equipos, teniendo en cuenta que solo hay 4, buscaremos repartir la distribución de ángulos de tal forma que se pueda cubrir la distancia hasta los 120 m que cubre la torre principal, por ellos usaremos la máxima apertura permitida, 5°.



**Figura 90** Distribución de ángulos en torre *delay* de simulación alternativa dos.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 91** Proyección de torre *delay* de simulación alternativa dos.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 90 se aprecia la configuración final de la distribución de los ángulos y en la figura 91 la proyección de los equipos de la torre *delay*.

Para la configuración del tiempo de retardo vamos a identificar desde la imagen 90 la zona de interacción entre las torres, la cual se da entre los 120 m y 142 m, se tomará como punto de referencia 131 metros, sabiendo



que la velocidad del sonido es de 340 m/s obtenemos el siguiente valor

$$\frac{131m}{340m/s} = 385ms.$$

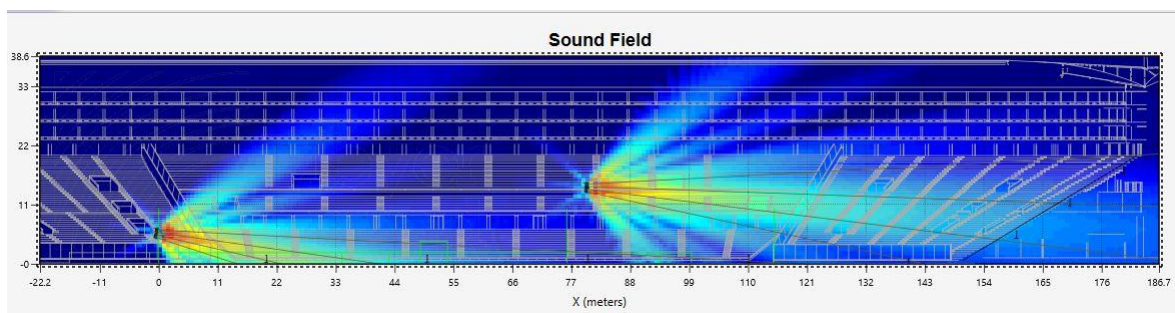
Ahora insertamos el nuevo tiempo de retardo en el

procesador del Mapp XT.

Processors		Microphones						
CH	Processing	Equalization	Delay Integration	Polarity	Delay	Gain	Mute	Processor Label
1	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	0 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 1
2	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	0 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 2
3	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	385 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 3
4	Processing	EQ Bypassed	Off	Normal	385 ms	0 dB	Mute	Addr 10 Output 4

**Figura 92** Configuración de tiempo de retardo en torre *delay* de simulación alternativa dos.

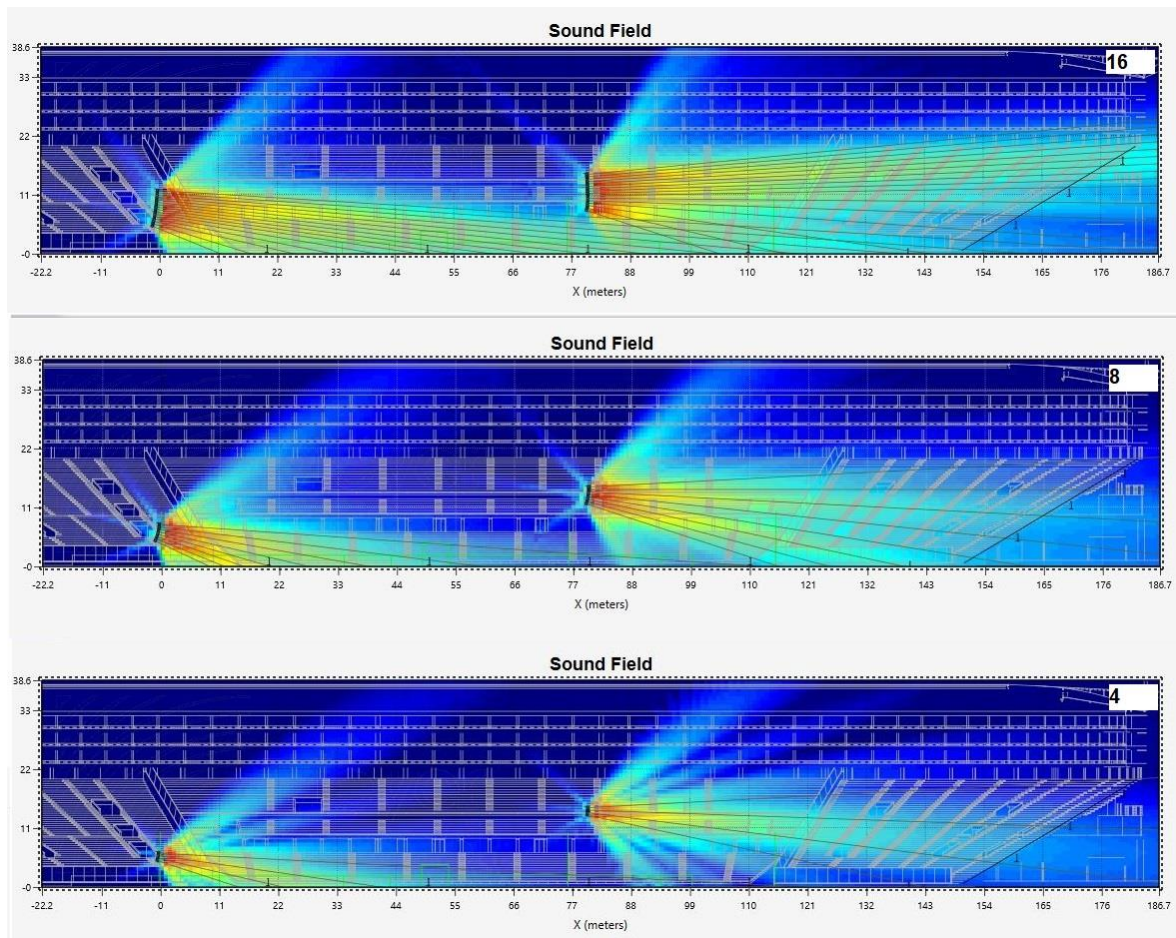
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 93** Predicción total de simulación alternativa dos.

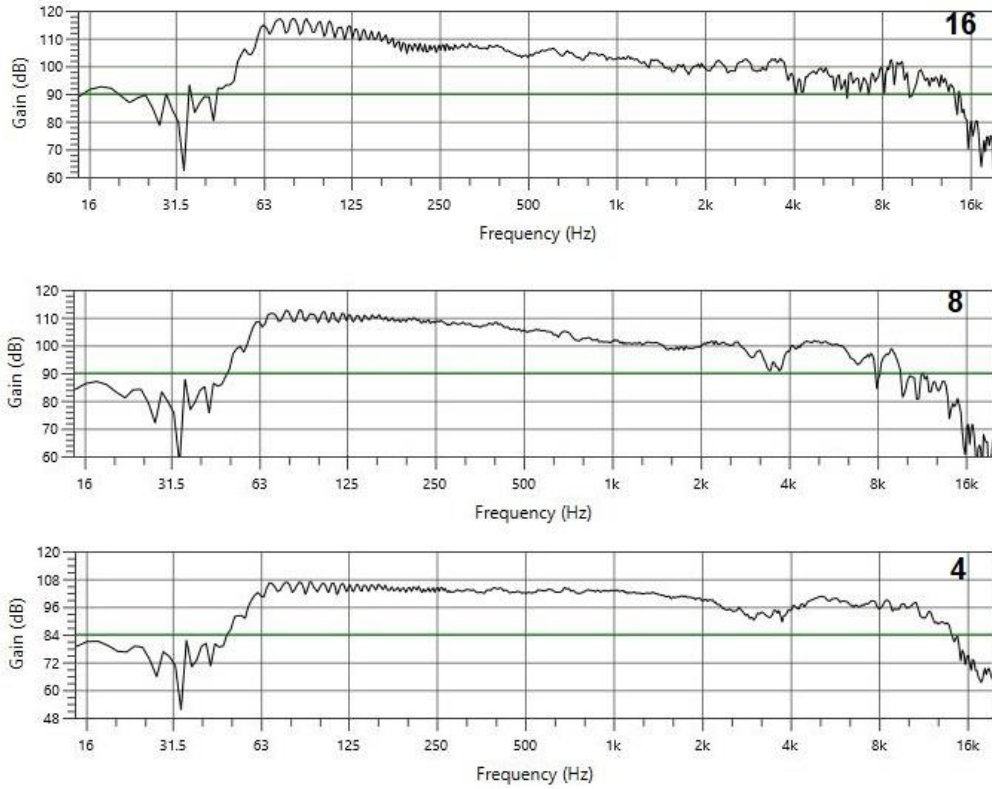
Fuente: Elaboración propia.

Con las dos nuevas simulaciones podemos realizar las comparaciones con la simulación principal. En la figura 94 se tiene la comparación visual de las 3 simulaciones, se observa como la propagación del sonido va siendo cada vez más débil según la cantidad de equipos trabajando.

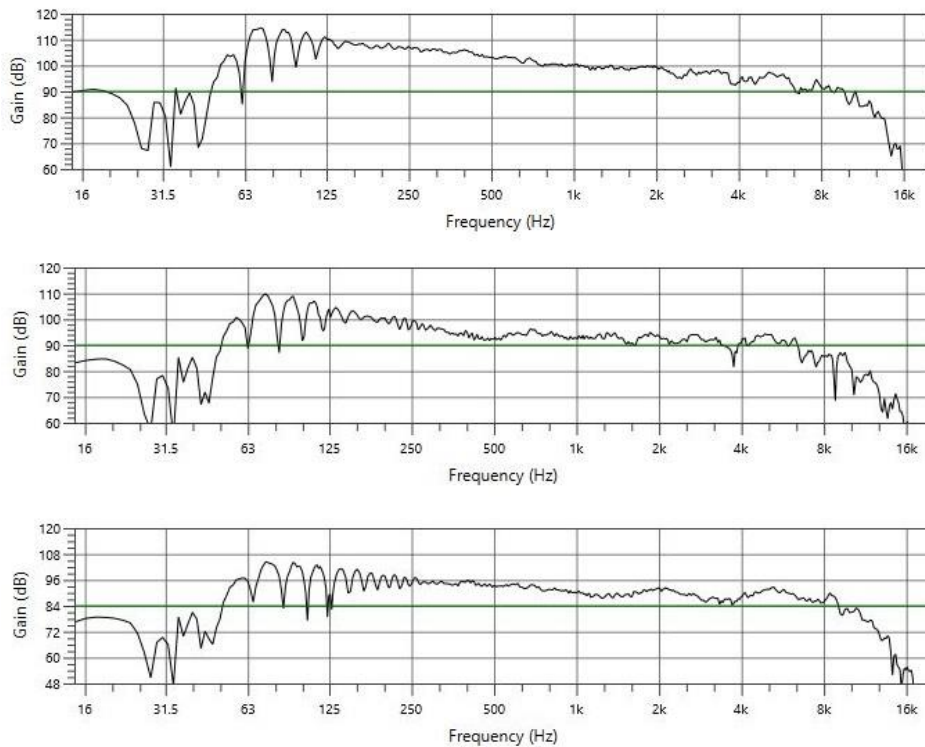


**Figura 94** Predicción total de las tres simulaciones.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realizará la comparación de las simulaciones con la medición que se obtenga de los micrófonos insertados en el software, respecto a las ecualizaciones, no se realizará la configuración debido a que se pudo alterar la potencia del equipo forzándolo a tener un mayor rendimiento. En las figuras del 94 al 101 se puede apreciar la diferencia de intensidad en cada ubicación de los micrófonos, en la mayoría de los gráficos la pérdida más notoria de intensidad se da en las frecuencias altas, esto debido a que el ángulo de propagación de las frecuencias altas es pequeño, mientras que las frecuencias bajas tienen un ángulo de propagación más amplio.

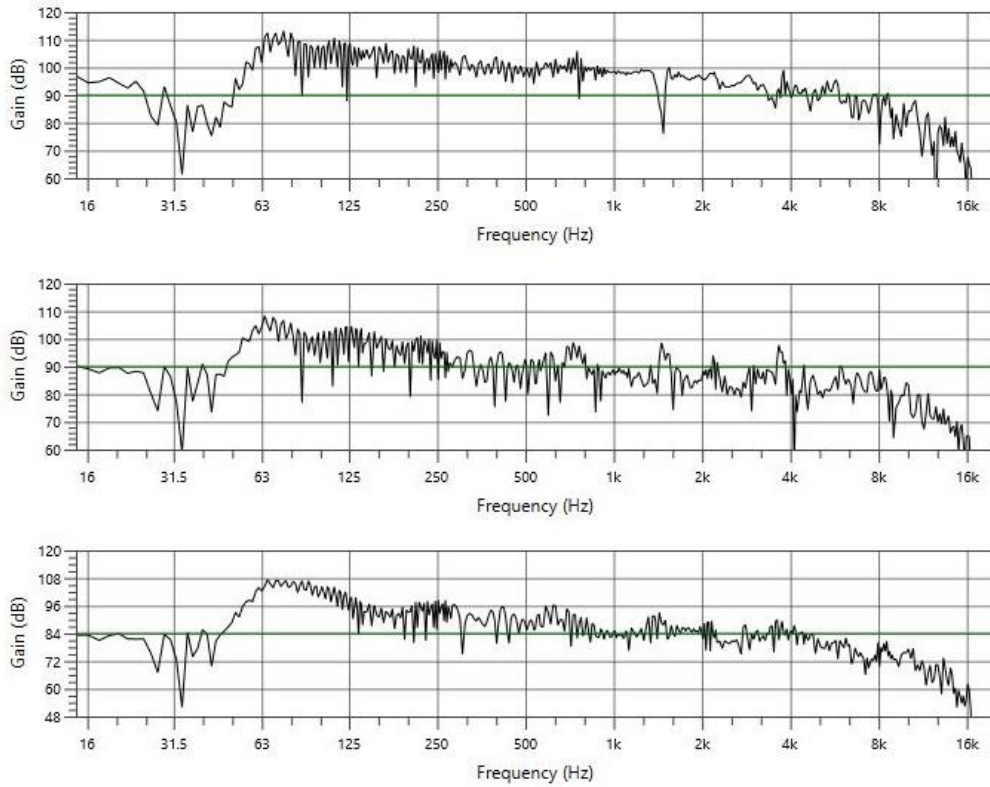


**Figura 95** Comparación de medición de micrófono uno a 20 metros.  
Fuente: Elaboración propia.

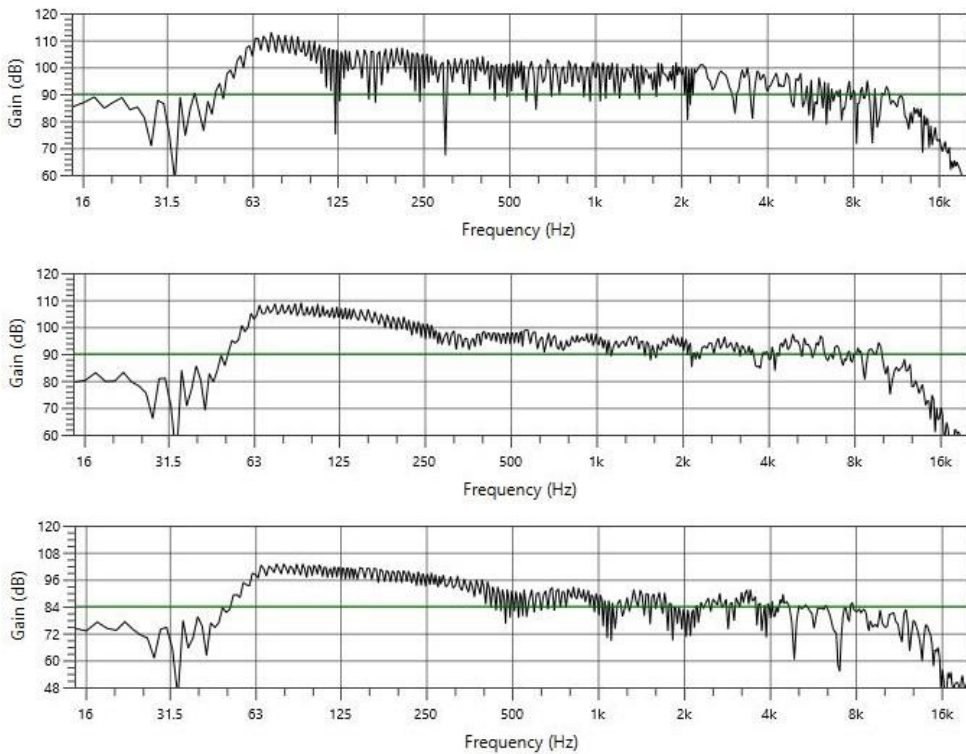


**Figura 96** Comparación de medición de micrófono dos a 50 metros.  
Fuente: Elaboración propia.

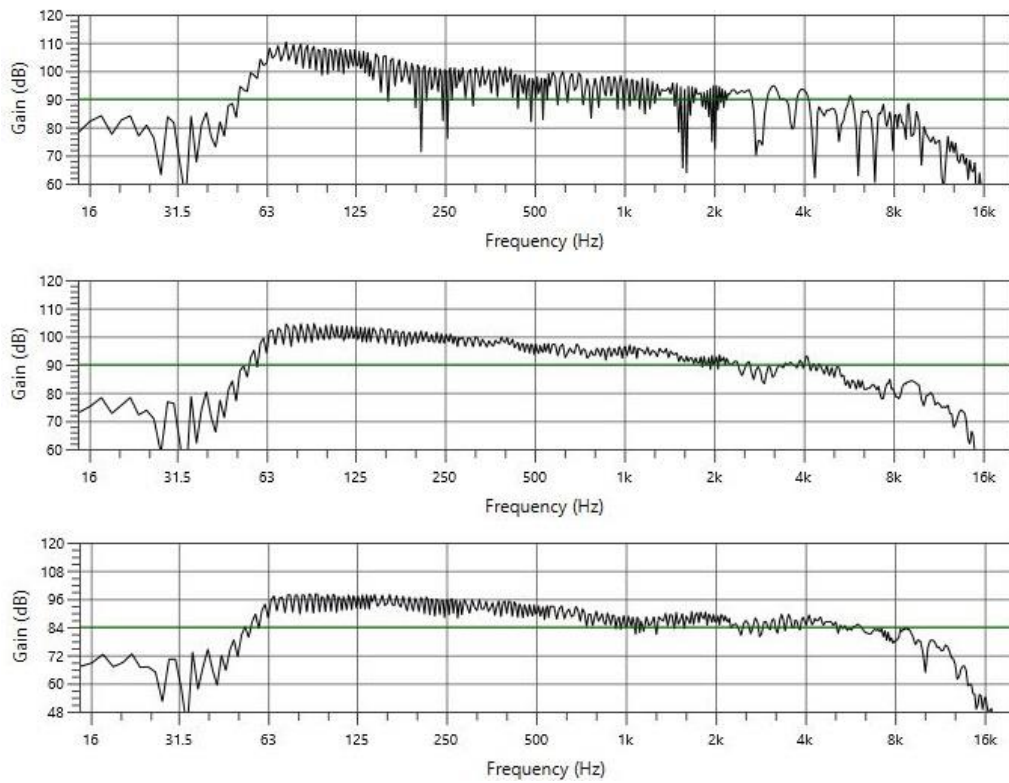




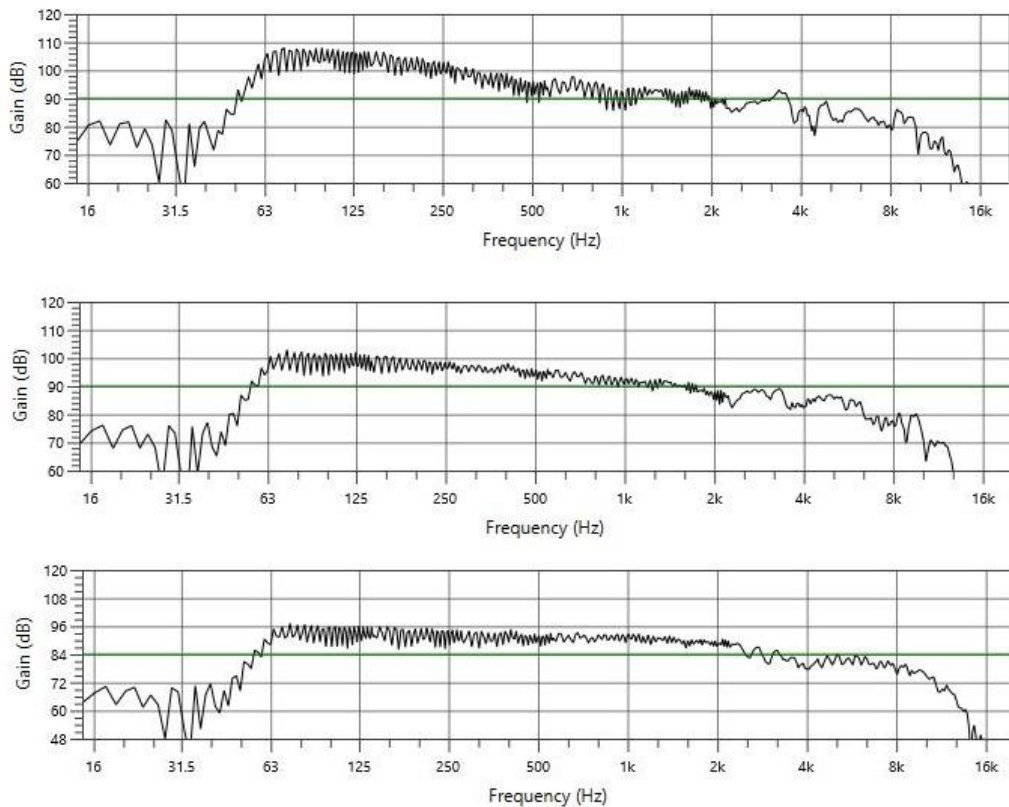
**Figura 97** Comparación de medición de micrófono tres a 80 metros.  
Fuente: Elaboración propia.



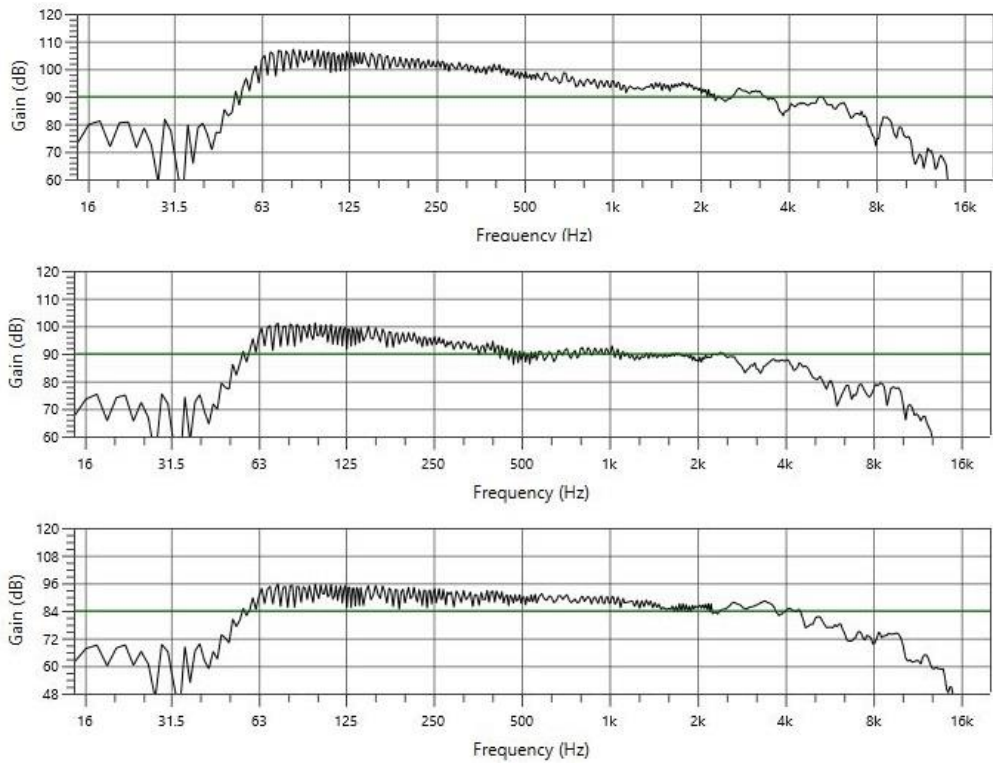
**Figura 98** Comparación de medición de micrófono cuatro a 110 metros.  
Fuente: Elaboración propia.



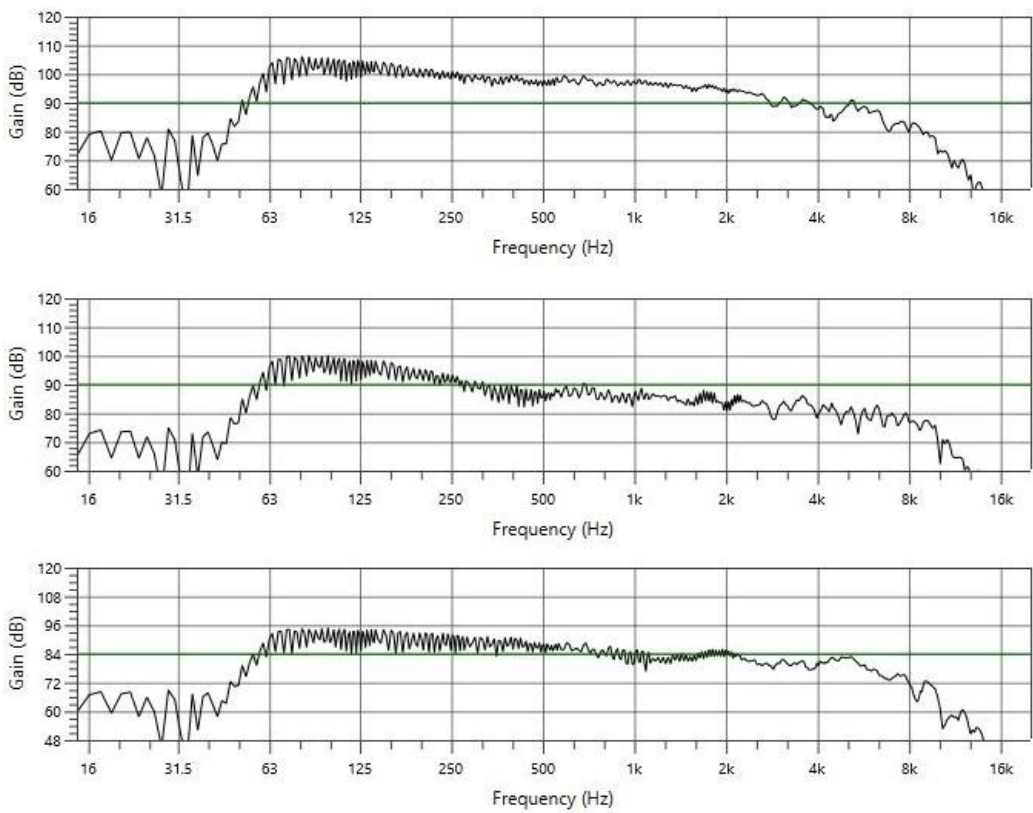
**Figura 99** Comparación de medición de micrófono cinco a 140 metros.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 100** Comparación de medición de micrófono seis a 160 metros.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 101** Comparación de medición de micrófono siete a 170 metros.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 102** Comparación de medición de micrófono ocho a 180 metros.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó se realizaron las nuevas simulaciones manteniendo la configuración de ecualización inicial, sin embargo, se aprecia la caída de potencia en muchas frecuencias, si bien es posible aumentar esta potencia a través de una nueva configuración en la ecualización, se estaría forzando mucho más el trabajo de cada equipo para tratar de cubrir la carencia de potencia, además de ello el otro problema sería los cortes de frecuencia ocasionados también por la menor cantidad de equipos en funcionamiento.

### 3.3 COMPARACIONES TÉCNICAS

En comparación con, Gabarrón González, A. (2018) en Diseño de un sistema de refuerzo sonoro para un concierto en el estadio Wanda Metropolitano. Se puede encontrar puntualmente lo siguiente:

- Optaron por equipos de la marca Das audio, también considerados entre una de las marcas más solicitadas a nivel profesional.
- El trabajo mencionado utiliza una configuración distinta en cuanto distribución de altavoces, utilizando 12 equipo principales por torre, pero adicionando 6 equipo de emisión de frecuencias bajas para dar mayor potencia.
- En ambos trabajos fueron necesarias torres de refuerzo *delay*
- El trabajo mencionado no hizo énfasis en la configuración de ecualización
- Las zonas más complicadas de cubrir fueron en ambos casos las gradas mas altas

En comparación de con Daniel Espada (2017) en Refuerzo sonoro del festival de Ortigueira, de la universidad politécnica de Madrid, encontramos las siguientes similitudes y diferencias:

- Se utilizó como line array principal los modelos Aero 50 y Aero 20, ambos de la marca DAS, marca de origen español considerada entre las mejores del mundo
- Al igual que el trabajo anterior este sistema de refuerzo sonoro fue configurado con 12 equipo por cada lado en el line array principal
- Por las dimensiones del recinto no fue necesario añadir torres de delay, sin embargo, lo consideran como una posible mejora de su trabajo
- En cuanto a la ecualización consideran la configuración estándar que brinda la marca DAS en equipo line array y dejan que el técnico de sonido de cada artista realice las ecualizaciones que crea pertinente.
- En este caso no hubo algún tipo de complicación con zonas de coberturas difíciles ya que el recinto es totalmente plano

## CONCLUSIONES

- Se logró el desarrollo de un diseño de sistema de refuerzo sonoro con una cobertura adecuada en toda el área deseada del estadio nacional donde se pueda mantener un comportamiento lineal que se encuentre en aproximadamente 100db sin tener demasiadas pérdidas propias de la naturaleza por distancia o direccionalidad de frecuencias.
- Teniendo en consideración la posición del escenario, el área total de cobertura, la distribución del público y la ubicación de la consola principal se puede encontrar la mejor posición para las torres principales de refuerzo y las torres de *delay*.
- Habiendo establecido la dirección de cada equipo a través de los ángulos de apertura se determinó puntos para realizar mediciones con el software Mapp XT.
- Conociendo la distancia desde la torre principal al punto más lejano de cobertura, la distancia de la torre de *delay* al punto de interacción con la torre principal y la velocidad del sonido en condiciones ambientales normales se consiguió el tiempo que se debe retardar la señal de las torres de *delay* para atenuar la interacción entre ambos sistemas. Respecto a la ecualización se consiguió una adecuada configuración observando el comportamiento en cada punto de medición y buscando una respuesta en frecuencias uniforme, mientras se realizó el aumento o disminución de ganancia en los intervalos de frecuencias requeridos.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable mantener desde el inicio de la predicción la respuesta en frecuencia lo más homogénea posible para que en las configuraciones posteriores no se tenga que hacer demasiadas modificaciones.
- Se recomienda tener los datos necesarios en cuanto al terreno de trabajo, ubicación de escenario y todo aquello que ocupe un lugar dentro del área que deseamos cubrir.
- Para una adecuada medición de la proyección del sonido se recomienda usar micrófonos de medición con una separación no mayor a 30 metros.
- La configuración de la ecualización se deberá realizar considerando la direccionalidad que tiene cada frecuencia.



## BIBLIOGRAFÍA

El Comercio Perú, N. (2022, septiembre 24). *Conciertos en Lima 2022: cuáles son los grandes shows con los que se cierra el año*. El Comercio Perú.

<https://elcomercio.pe/luces/musica/conciertos-en-lima-2022-estos-son-los-grandes-shows-con-los-que-se-cierra-el-ano-concierto-harry-styles-daddy-yankee-bad-bunny-mon-laferte-arctic-monkeys-j-balvin-tdex-noticia>

El Comercio Perú, N. (2017). *Año 2016: ¿Cuál fue el concierto con más asistencia en el Perú?* | LUCES | EL COMERCIO PERÚ.

<https://elcomercio.pe/luces/musica/ano-2016-concierto-asistencia-peru-231321-noticia/>

Gabarrón González, A. (2018). *Diseño de un sistema de refuerzo sonoro para un concierto en el estadio Wanda Metropolitano*.

Espada Ramírez, D. (2017). *Refuerzo sonoro del festival de*

*Increasing potential acoustic gain*. (s/f). Gsu.edu. Recuperado el 5 de junio de 2023, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Audio/pagi2.html>

*Manual para Radialistas Analfatécnicos*. (s/f). Analfatecnicos.net. Recuperado el 5 de junio de 2023, de <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=34>

McCarthy, B. (2012). *Sound systems: design and optimization: modern techniques and tools for sound system design and alignment*. CRC Press.

McCarthy, B. (2009). Sistemas de Sonido.

Ministerio de Cultura. (s/f). Gob.pe. Recuperado el 5 de junio de 2023, de <https://www.gob.pe/institucion/cultura/informes-publicaciones/1859508-como-vamos-en-el-consumo-de-musica-en-el-peru>

Murray, J. (2003). Line Array Loudspeaker Systems: A Technical Overview. Journal of the Audio Engineering Society.

(N.d.). Equaphon-university.net. Retrieved June 5, 2023, recuperado de <http://www.equaphon-university.net/suma-de-senales-coherentes-e-incoherentes/>

Oscar Barrientos (2017). Conferencia centro americano de audio, Guatemala 2017

Peru, N. (2022, octubre 11). *Estos son los conciertos con mayor público y recaudación hasta setiembre*. Peru21.

<https://peru21.pe/economia/conciertos-en-el-peru-estos-son-los-espectaculos-con-mas-publico-y-mayor-recaudacion-hasta-setiembre-2022-coldplay-daddy-yankee-rmmn-noticia/>

Portillo, G. (2021, octubre 21). *Velocidad del sonido*. Meteorología en Red. <https://www.meteorologiaenred.com/velocidad-del-sonido.html>

Olson, H. F. (1957). Acoustical engineering. van Nostrand.

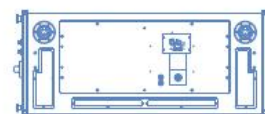
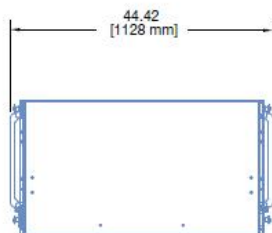
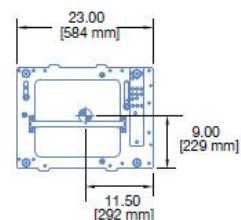
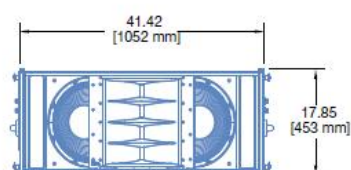
Zafra, J. (2018). Ingeniería de Sonido. Conceptos, fundamentos y casos prácticos.  
Grupo Editorial RA-MA.

# ANEXOS

## Anexo N° 1

### Hoja de datos LEO-M

#### LEO-M™ Advanced Linear Array Loudspeaker



Sonic linearity at any output level defines the LEO®-M advanced linear array loudspeaker. Conceived for long-throw applications, with exceptional headroom, extremely low distortion, and optimized rigging options, LEO-M forms the nucleus of Meyer Sound's next-generation LEO array systems. Pair LEO arrays with Meyer Sound's 1100-LFC low-frequency control element for bass reproduction, and the LYON® linear line array loudspeaker for downfill. Drive entire systems with Meyer Sound's Galileo® GALAXY Network Platform, which provides 24 bit, 96 kHz audio, matrix routing, alignment, and processing for array components.

To guarantee optimum system performance, design LEO array systems with Meyer Sound's MAPP™ System Design Tool. This intuitive, cross-platform application accurately predicts coverage patterns, frequency and impulse responses, and linear peak SPL for LEO array systems, ensuring that systems deliver the required SPL and ideal coverage for the intended audience areas.

LEO-M's high-frequency section comprises two proprietary compression drivers coupled to a constant-directivity horn through a patented REM® manifold. The manifold's smooth radiating characteristics afford tight vertical coverage. The low-frequency section includes two long-excursion cone drivers, also proprietary, capable of withstanding high continuous output levels. Precise phase and magnitude alignment between low- and high-frequency drivers yields consistent and well-behaved system responses.

The unit's power amplifier operates at nominal voltages from

208–235 V AC at 50–60 Hz. TruPower® limiting ensures maximum driver protection, minimizing power compression while yielding high constant output under high continuous and peak power conditions. A single field-replaceable module located on the rear of the cabinet contains the amplifier, control electronics, and power supply.

Meyer Sound's RMS™ remote monitoring system comes standard with all LEO-M loudspeakers and provides comprehensive monitoring of system parameters on a Mac® or Windows®-based computer. Convenient XLR 5-pin connectors allow the use of composite cables carrying both RMS and balanced audio.

LEO-M offers intuitive rigging with captive GuideALinks™ that users can set to the desired splay angles while cabinets rest in caster frames. The MTG-LEO-M top grid files arrays of up to 22 LEO-Ms at a 5:1 safety factor (with some restrictions). Fly LYONs below LEO-M arrays for downfill with available optional transition frames. Securely transport stacks of up to four LEO-Ms with the optional MCF-LEO-M caster frame; Protect the cabinets during transport with optional durable nylon covers that accommodate stacks of two, three, or four units.

Meyer Sound builds the vented LEO-M cabinet with premium multi-ply birch and coats it with a slightly textured black finish. A powder-coated, hex-stamped steel grille with acoustical black mesh protects the unit's drivers. The weather-protected cabinet and included collapsible rain hood that shields user panel connectors from water intrusion accommodate a variety of applications.

## SPECIFICATIONS

ACOUSTICAL <sup>1</sup>	
Operating Frequency Range <sup>2</sup>	55 Hz – 16 kHz
Phase Response	375 Hz – 14 kHz $\pm 30^\circ$
Maximum SPL <sup>3</sup>	155 dB
Linear Peak SPL <sup>4</sup>	149.5 dB with 20 dB crest factor (M-noise), 142.5 dB (Pink noise), 144 dB (B-noise)
COVERAGE	
Horizontal Coverage	75°
Vertical Coverage	Varies, depending on the array length and configuration
TRANSDUCERS	
Low Frequency	Two 15-inch long-excursion cone drivers; 4 $\Omega$ nominal impedance
High Frequency	Two 4-inch diaphragm compression drivers coupled to a constant-directivity horn through a patented REM manifold; 12 $\Omega$ nominal impedance

AUDIO INPUT	
Type	Differential, electronically balanced
Maximum Common Mode Range	$\pm 15$ V DC, clamped to earth for voltage transient protection
Connectors	XLR 5-pin female input with male loop output
Input Impedance	10 k $\Omega$ differential between pins 2 and 3
Wiring	Pin 1: Chassis/earth through 1 k $\Omega$ , 1000 pF, 15 V clamped network to provide virtual ground lift at audio frequencies Pin 2: Signal + Pin 3: Signal - Pin 4: RMS Pin 5: RMS Case: Earth ground and chassis
Nominal Input Sensitivity	0 dBV (1 V rms) continuous is typically the onset of limiting for noise and music
Input Level	Audio source must be capable of producing of +20 dBV (10 V rms) into 600 $\Omega$ to produce the maximum peak SPL over the operating bandwidth of the loudspeaker
AMPLIFIERS	
Type	3-channel complementary MOSFET output stages (class AB/H bridged)
Total Output Power <sup>5</sup>	9900 W Peak
THD, IM, TIM	< 0.02%
Cooling	Two ultra high-speed primary fans, two ultra high-speed reserve fans

AC POWER	
Connector	powerCON 32
Automatic Voltage Selection	208–235 V AC, 50–60 Hz
Safety Rated Voltage Range	208–235 V AC, 50–60 Hz
Turn-on and Turn-off Points	Turn-on: 165 V AC; Turn-off: 264 V AC
CURRENT DRAW	
Idle Current	0.6 A rms (230 V AC)
Max Long-Term Continuous Current (>10 sec)	6.0 A rms (230 V AC)
Burst Current (<1 sec) <sup>6</sup>	8.0 A rms (230 V AC)
Maximum Instantaneous Peak Current	24 A peak (230 V AC)
Inrush Current	< 15 A peak

## Anexo N° 2

### Hoja de datos Galileo 616

#### GALILEO 616 SPECIFICATIONS

<b>INPUTS</b>	
Inputs Section	Six inputs, analog or digital (AES/EBU, selectable in pairs)
Connectors	Goldplated XLR female
Maximum Input Level	+26 dBu (maximum range selected, 0 dB input gain)
Metering	26-segment LED ladder meters on each input
<b>OUTPUTS</b>	
Outputs Section	16 analog outputs
Connectors	Goldplated XLR male
Maximum Output Level	+26 dBu into 600 $\Omega$ or greater (maximum range selected)
Metering	Variable-intensity, bi-color signal presence/clip LEDs on each output
<b>SUMMING</b>	
	Full 6 x 16 summing matrix; any input summed with any input and routed to any output
<b>PROCESSING</b>	
Digital Conversion	24-bit resolution, 96 kHz sample rate
Internal Processing	32-bit vector floating point, 96 kHz
Processor	Monolithic, 1 GHz vector DSP
Input Processing	Gain, delay, TruShaping equalization, 5-band parametric filtering, 31-band graphic equalization
Output Processing	Gain, delay, polarity reversal, TruShaping equalization, 10-band parametric filtering, atmospheric correction, M Series array correction, low- and high-pass filters
<b>NETWORK/CONTROL</b>	
Front Panel	128 x 64 LCD, navigation buttons, high-resolution encoder knobs, and illuminated mute switches
Network	RJ-45 port for network connection and control from a Mac or Windows-based computer
Software	Full bidirectional communication with Meyer Sound's Compass control software within a client-server architecture
SIM	Two SIM bus ports for linking to the SIM 3 audio analyzer for measuring Galileo outputs (either post delay or post gain)
<b>AC POWER</b>	
Connector	powerCON 20
Operating Voltage Range	100–240 V AC, 50/60 Hz
Current Draw	0.55 A rms (115 V AC); 0.27 A rms (230 V AC); 0.56 A rms (100 V AC)
<b>PHYSICAL</b>	
Dimensions	2-space rack 19.00" w x 3.48" h x 15.30" d (483 mm x 88 mm x 388 mm)
Weight	19.2 lbs (8.71 kg)



Galileo 616 — 04.141.024.01 A

Copyright © 2013  
Meyer Sound Laboratories Inc.  
All rights reserved

MEYER SOUND LABORATORIES INC.  
2832 San Pablo Avenue  
Berkeley, CA 94702

T: +1 510 486.1166  
F: +1 510 486.8356

techsupport@meyersound.com  
www.meyersound.com

