

Diseño de una metodología alternativa que permita la caracterización de la radiación de una fuente electroacústica mediante el uso de una sonda P-U.

Luis Fernando Luján López, ✉ lujanlopez1927@hotmail.com

Sergio Andrés Estrada Duarte, ✉ saestrada@outlook.com

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero de Sonido

Asesor: Alejandro Molina Jaramillo, Ingeniero de sonido



Universidad de San Buenaventura Colombia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Sonido

Medellín, Colombia

2017

Citar/How to cite	[1]
Referencia/Reference	[1] L. F. Luján López, y S. A. Estrada Duarte, “Diseño de una metodología alternativa que permita la caracterización de la radiación de una fuente electroacústica mediante el uso de una sonda P-U.”, Trabajo de grado Ingeniería de Sonido, Universidad de San Buenaventura Medellín, Facultad de Ingeniería, 2017.
Estilo/Style: IEEE (2014)	



GIMSP.

Línea de investigación en acústica y procesamiento de señal.

Bibliotecas Universidad de San Buenaventura



Biblioteca Digital (Repositorio)
<http://bibliotecadigital.usb.edu.co>

- Biblioteca Fray Alberto Montealegre OFM - Bogotá.
- Biblioteca Fray Arturo Calle Restrepo OFM - Medellín, Bello, Armenia, Ibagué.
- Departamento de Biblioteca - Cali.
- Biblioteca Central Fray Antonio de Marchena – Cartagena.

Universidad de San Buenaventura Colombia

Universidad de San Buenaventura Colombia - <http://www.usb.edu.co/>

Bogotá - <http://www.usbbog.edu.co>

Medellín - <http://www.usbmed.edu.co>

Cali - <http://www.usbcali.edu.co>

Cartagena - <http://www.usbctg.edu.co>

Editorial Bonaventuriana - <http://www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co/>

Revistas - <http://revistas.usb.edu.co/>

Dedicatoria

A mis padres y a toda mi familia por el amor y el apoyo absoluto. A todos mis amigos, compañeros y profesores, con mucho cariño. TEMPUS FUGIT. VAE VICTIS.

Luis Fernando Luján López.

A mis padres, quienes velaron por mi bienestar y felicidad. A mis compañeros con quienes compartí conocimientos y experiencias, y a mis profesores quienes forjaron en mí integridad y sabiduría.

Sergio Andrés Estrada Duarte.

Agradecimientos

Agradecemos enteramente los esfuerzos realizados por nuestro asesor, Alejandro Molina Jaramillo, quien manifestó interés frente a la propuesta y apoyó el proyecto en todas sus etapas.

De igual forma al PhD. Daniel Fernández Comesaña de Microflown Technologies, quien demostró su disposición frente a las dudas que surgieron durante la investigación. A Genelec, fabricante del altavoz por brindarnos información sobre su producto, necesaria dentro de este estudio.

A los compañeros Daniel Upegui Flórez y Felipe Ramírez Rivera quienes siguieron de cerca nuestro proyecto, a docentes y ex-docentes del programa de Ingeniería de Sonido, a los que sin hacerles mención directamente, extendemos nuestra gratitud por su colaboración.

A nuestras familias, pilares fundamentales de todo, por su apoyo incondicional durante estos años de crecimiento y proceso formativo.

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	13
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
III.	JUSTIFICACIÓN.....	15
IV.	OBJETIVOS.....	17
V.	MARCO TEÓRICO	18
A.	Aspectos del sonido.....	18
1)	Propagación de una onda en el medio	19
2)	Presión sonora y velocidad de partícula	25
3)	Atenuación por distancia	27
4)	Intensidad acústica (I)	28
5)	Campo Vectorial Normal de Intensidad	30
6)	Potencia acústica.....	30
7)	Descriptores de radiación	31
A.	Metodologías de medición	33
1)	Medición de potencia acústica.....	34
2)	Medición de patrones polares	41
VI.	ESTADO DEL ARTE	42
VII.	METODOLOGÍA	45
A.	Consideraciones generales	45
1)	Descripción de la fuente bajo estudio.....	45
2)	Entornos de medición	46
B.	Protocolo de medición.....	49
1)	Descripción del sistema de medición	49

2) Montaje de medición	53
3) Ajustes del Sound Power	58
4) Medición in situ	66
C. Procesamiento de datos	67
1) Extracción de datos medidos	67
2) Consideraciones del algoritmo	68
D. Descripción del algoritmo	70
VIII. RESULTADOS	73
A. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición.....	74
B. Patrones polares.....	89
C. Índices y factores de directividad.....	93
IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	95
A. Representación del campo vectorial de intensidad	97
B. Patrones de radiación, Q y DI	99
X. CONCLUSIONES	101

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Mediciones de nivel de presión sonora a diferentes distancias para comprobar condiciones de campo cercano.	53
Tabla II. Configuraciones previas a la medición de los parámetros del módulo sound power.....	66
Tabla III. Valores de intensidad promedio en cada una de las caras del paralelepípedo para las mediciones en la sala de grabación del estudio A.	81
Tabla IV. Valores de intensidad promedio en cada una de las caras del paralelepípedo para las mediciones en el salón 502E.	88
Tabla V. Factor de directividad (Q) para valores medidos y datos del fabricante.....	93
Tabla VI. Índice de directividad (DI) para valores medidos y datos del fabricante.	94

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Reflexión de una onda incidente sobre diferentes superficies.	22
Fig. 2. Interacción de una onda incidente con la superficie de un material en ondas planas.	23
Fig. 3. Curvas de sonoridad isofónicas de Fletcher y Munson.	24
Fig. 4. Curvas de ponderación.	24
Fig. 5. Filtro tipo peine.	25
Fig. 6. Propagación y pérdida por distancia de una fuente puntual.	27
Fig. 7. Propagación y pérdida por distancia de una fuente puntual.	28
Fig. 8. Patrón de radiación típico de un altavoz.	32
Fig. 9. Sensor P-U Microflow. (a) Sonda Microflow. (b) Arreglo micrométrico de los alambres de platino.	36
Fig. 10. Gradiente de la temperatura entre los alambres de platino de la sonda P-U de Microflow.	37
Fig. 11. Patrón polar en figura de ocho dado por el arreglo de alambres de platino de la sonda p-u de Microflow.	37
Fig. 12. Altavoz Genelec 1032A.	45
Fig. 13. Sala de grabación del estudio A.	47
Fig. 14. Mediciones previas en la sala de grabación del Estudio A. (a) Niveles promedio de ruido de fondo por bandas de octava. (b) Tiempos de reverberación medidos por banda de octava.	47
Fig. 15. Salón de clases 502E.	48
Fig. 16. Mediciones previas en el salón 502E. (a) Niveles promedio de ruido de fondo por bandas de octava. (b) Tiempos de reverberación medidos por banda de octava.	49
Fig. 17. Esquema de conexión del sistema de medición.	50
Fig. 18. Esquema de conexión del sistema generador de ruido rosa.	52
Fig. 19. Configuración superficie de medición - altavoz. (a) Vista superior. (b) Vista lateral.	54
Fig. 20. Rejilla guía usada para la medición en cada una de las caras de la superficie.	55
Fig. 21. Base utilizada para la suspensión del monitor Genelec 1032A.	56

Fig. 22. Objetos de agarre y fijación para la cuadrícula y la sonda P-U. (a) Base de micrófono con altura variable. (b) Pinza de micrófono con angulación variable.....	56
Fig. 23. Configuración final para el montaje de medición. (a) Montaje de medición en la sala de grabación del estudio A. (b) Montaje de medición en el salón 502E.....	57
Fig. 24. Diagrama de flujo de señal e interconexión entre los equipos.....	57
Fig. 25. Pestaña HW Setup del software Sound Power.	59
Fig. 26. 3D Editor del software Sound Power.....	60
Fig. 27. Pestaña Measurement del software Sound Power.	60
Fig. 28. Pestaña Capture del software Sound Power.....	62
Fig. 29. Pestaña Analyse del software Sound Power.	64
Fig. 30. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista frontal. Estudio A.....	75
Fig. 31. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista trasera. Estudio A.....	75
Fig. 32. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista frontal. Estudio A.....	76
Fig. 33. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista trasera. Estudio A.....	76
Fig. 34. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista frontal. Estudio A.....	77
Fig. 35. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista trasera. Estudio A.....	77
Fig. 36. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista frontal. Estudio A.....	78
Fig. 37. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista trasera. Estudio A.....	78
Fig. 38. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista frontal. Estudio A.....	79
Fig. 39. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista trasera. Estudio A.....	79

Fig. 40. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz.	
Vista frontal. Estudio A.....	80
Fig. 41. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz.	
Vista trasera. Estudio A.....	80
Fig. 42. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz.	
Vista frontal. Salón 502E.	82
Fig. 43. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz.	
Vista trasera. Salón 502E.	82
Fig. 44. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz.	
Vista frontal. Salón 502E.	83
Fig. 45. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz.	
Vista trasera. Salón 502E.	83
Fig. 46. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz.	
Vista frontal. Salón 502E.	84
Fig. 47. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz.	
Vista trasera. Salón 502E.	84
Fig. 48. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz.	
Vista frontal. Salón 502E.	85
Fig. 49. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz.	
Vista trasera. Salón 502E.	85
Fig. 50. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz.	
Vista frontal. Salón 502E.	86
Fig. 51. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz.	
Vista trasera. Salón 502E.	86
Fig. 52. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz.	
Vista frontal. Salón 502E.	87
Fig. 53. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz.	
Vista trasera. Salón 502E.	87
Fig. 54. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 125 Hz.	89

Fig. 55. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 250 Hz.	90
Fig. 56. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 500 Hz.	90
Fig. 57. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 1000 Hz.	91
Fig. 58. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 2000 Hz.	91
Fig. 59. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 4000 Hz.	92
Fig. 60. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 8000 Hz.	92

RESUMEN

Mediante el estudio de los estándares para la determinación de la intensidad sonora y los protocolos de medición tradicionales para la obtención de los descriptores de radiación de fuentes electroacústicas, se diseñó una metodología in situ que permite estimar, para un altavoz *Genelec 1032A*, el campo vectorial de intensidad normal a una superficie de medición utilizando el sensor *P-U* y el software *Sound Power* de *Microflown*.

Se buscó estimar una unidad escalar y una vectorial, presión y velocidad de partícula respectivamente. A través de estas fue posible calcular la intensidad medida del altavoz bajo estudio y de esta manera obtener una representación del campo vectorial de intensidad del altavoz, un gráfico tridimensional de su radiación. Además, se comprende que las mediciones para la estimación de la presión deben de realizarse en condiciones de campo libre, debido a que esta variable se ve afectada por las reflexiones del entorno de medida pues no es de tipo vectorial, para la cual no sea necesario tener en cuenta estas contribuciones.

Se desarrolló un algoritmo para el procesamiento de los datos, de manera que los resultados se pudieran proyectar sobre cada una de las posiciones de medida por frecuencias de tercio de octava.

Igualmente se evaluó la reproducibilidad del método por medio de mediciones en entornos acústicos diferentes. En un lugar con tratamiento acústico la distancia de medida es mayor que en un recinto sin tratamiento debido a la variación del campo cercano. A pesar de esto, fue posible obtener resultados satisfactorios en ambos lugares manteniendo la misma configuración en los elementos de medida.

Palabras clave: Radiación, Altavoz, Microflown, Presión sonora, Velocidad de partícula, Intensidad sonora, Caracterización acústica.

ABSTRACT

Through the study of the standards for the determination of the sound intensity and the traditional measurement protocols to obtain the descriptors of radiation of electroacoustic sources an in situ methodology was designed that allows to estimate, for a *Genelec 1032A* loudspeaker, the vectorial field of intensity normal to measuring surface using the PU sensor and the *Microflown's Sound Power* software.

We sought to estimate a scalar and a vector unit, pressure and particle velocity respectively. Through these it was possible to calculate the measured intensity of the under study loudspeaker and thus obtain a representation of the vector field of intensity, a three-dimensional graph of its radiation. It is also understood that the measurements for pressure estimation must be performed under free field conditions, because this variable is affected by the reflections of the measurement environment due it is not of the vectorial type, for which it is not necessary to consider these contributions.

An algorithm was developed for the processing of the data, so that the results could be projected on each one of the measurement positions by frequencies of third of octave.

The reproducibility of the method was also evaluated by measurements in different acoustic environments. In a site with acoustic treatment the measurement distance is greater than in an enclosure without treatment due to the variation of the near field. In spite of this, it was possible to obtain satisfactory results in both places keeping the same configuration in the measurement elements.

Keywords: Radiation, Loudspeaker, Microflown, Sound pressure, Particle velocity, Sound intensity, Acoustic characterization.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la fabricación de altavoces y la medición de sus características electroacústicas surge la necesidad de implementar nuevos métodos para la evaluación de sus parámetros acústicos a partir del uso de herramientas que permitan medir directamente las diferentes variables acústicas y no requerir de entornos de medición ideales.

Las mediciones para caracterizar fuentes electroacústicas están sujetas a realizarse bajo condiciones muy específicas con el fin de asegurar la integridad y veracidad de los datos medidos, estas se presentan dentro de los métodos estandarizadas por diferentes organizaciones internacionales.

El desarrollo de herramientas como las sondas $P-U$ (presión-velocidad de partícula) propicia la generación y presentación de protocolos de medición nuevos y alternativos, ofreciendo a los usuarios las diversas opciones que ofrecen estos sensores y sus plataformas de adquisición de datos. Por ello es competente realizar un protocolo de medición que permita obtener datos para representar la radiación de un altavoz de una forma clara, con la posibilidad de realizar la cuantificación directa de parámetros acústicos de carácter vectorial, pudiéndose despreciar ciertas condiciones ideales de los entornos de medida que son necesarias en las metodologías tradicionales. Esta caracterización facilita la evaluación y el análisis de la distribución de la energía sonora radiada por una fuente al medio de propagación.

La representación del campo vectorial de intensidad normal a una superficie de medida se considera como una aproximación a la forma en que irradia energía sonora una fuente electroacústica.

El planteamiento de este protocolo involucra el estudio de los procedimientos de medida tradicionales de manera que las directrices que estos plantean puedan ser adaptadas para ser usadas en conjunto con la sonda $P-U$.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo e implementación de un método alternativo de medición a través de un sensor *P-U* posibilita la estimación y representación de los parámetros acústicos de un altavoz. Este tipo de sensores utilizan la presión y la velocidad de partícula para estimar la intensidad de una fuente y su propagación a través de una superficie de medida.

El módulo *Sound Power*, herramienta desarrollada por *Microflown* permite obtener una representación de variables como la presión, la velocidad de partícula y la intensidad mediante el establecimiento de una superficie de medición. En la actualidad solamente es posible realizar las medidas a partir de un contorno paralelepípedo dado que la implementación de formas hemisféricas, cilíndricas o semi-cilíndricas aún se encuentra en proceso de desarrollo por parte del fabricante.

El problema se basa en que a través de mediciones con la sonda *P-U* de *Microflown* y el uso de su software no es posible representar de forma gráfica el campo vectorial de intensidad normal a una superficie, estimar los patrones de radiación en plano horizontal y vertical, y calcular los índices y factores de directividad de una fuente. Por tanto, al plantearse una metodología de medición en conjunto con el desarrollo de un algoritmo de procesamiento de datos sería posible precisar estos descriptores. Posterior a la obtención de esta información, se plantea establecer una comparación de los resultados obtenidos con los datos suministrados por el fabricante y medidos bajo metodologías tradicionales. De esta manera podría adaptarse el uso de la sonda y del módulo *Sound Power* para obtener representaciones de los descriptores radiación de una fuente electroacústica

Se busca en esta investigación encontrar una metodología que permita obtener los datos necesarios para realizar la estimación de los descriptores de radiación a través de medidas con una sonda *P-U*. Luego, diseñar un algoritmo que permita representar de forma gráfica el campo vectorial normal de intensidad y la radiación en vista horizontal y vertical, así como el cálculo del factor e índice de directividad de la fuente seleccionada.

¿Qué metodología se puede implementar para la estimación de los descriptores de directividad de una fuente a partir de una sonda *P-U*?, y a partir de esta metodología de medición, ¿qué datos se pueden extraer para el desarrollo de un algoritmo que permita su cálculo y representación gráfica?

III. JUSTIFICACIÓN

Para la definición del tema de investigación se tuvo en cuenta la necesidad que existe en cuanto al planteamiento de protocolos de medición para métodos alternativos, específicamente en la

implementación de la sonda *P-U* como herramienta para la estimación de algunos descriptores de radiación en el proceso de caracterización de una fuente electroacústica. El uso de esta tecnología hace novedosa la presente temática. Es importante resaltar que ajeno a este proyecto se encuentran diversos métodos tradicionales para la obtención de dichas características directivas, por lo que se pretenderá hacer una comparación entre los resultados obtenidos mediante las mediciones con el sensor *P-U* y los datos proporcionados por el fabricante de la fuente, de manera que se puedan analizar posibles desviaciones.

Mediante el uso de esta sonda se plantea desarrollar una metodología de medición, posteriormente, a partir del desarrollo de un algoritmo se procesarán los datos medidos de tal manera que se puedan representar algunos descriptores de directividad. Es importante resaltar que dicho procedimiento contribuye a plantear técnicas de medición y análisis de datos innovadoras, propiciando el desarrollo y la manera en que se puedan usar herramientas alternativas para la estimación de algunas características de fuentes electroacústicas.

Cuantificar la intensidad y la potencia de una fuente mediante la medición de la presión y la velocidad de partícula constituye una aproximación de estas variables a partir de la implementación de un método alternativo que favorece el enriquecimiento de una técnica, además, permite el planteamiento de comparaciones entre mediciones tradicionales y alternativas, de manera que se pueda evaluar la validez del método y la conveniencia de dicho protocolo de medición dentro de la caracterización de un altavoz.

Es importante resaltar que el desarrollo del protocolo representa una ventaja al momento de realizar mediciones bajo entornos acústicos poco favorables en comparación con cámaras anecoicas o cuartos que tengan algún tipo de tratamiento acústico, los cuales resultan ser costosos.

Disponer de una metodología y de un algoritmo de este tipo puede generar para los fabricantes y desarrolladores de altavoces algún interés en la forma como se propicia el cálculo de los factores e índices de directividad y de la representación del campo vectorial de intensidad normal a una superficie como una aproximación inicial que enriquece el análisis de la radiación de una fuente al medio de propagación.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar una metodología de medición in situ a través de la cual se pueda caracterizar la radiación de una fuente electroacústica mediante el uso de la sonda $P-U$.

B. Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología de medición in situ a través de la cual se pueda obtener datos de presión y velocidad de partícula para estimar el representar el campo vectorial normal de intensidad y obtener una aproximación del patrón de radiación, el factor y el índice de directividad de una fuente electroacústica.
- Realizar mediciones a partir de la metodología desarrollada y el módulo *Sound Power* para la obtención de la intensidad acústica de un altavoz y para la estimación de algunos descriptores de radiación en entornos acústicos diferentes.
- Diseñar un algoritmo en *Matlab* que permita la representación del campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medida y la aproximación de algunos descriptores de radiación de una fuente electroacústica a partir del análisis y procesamiento de los datos obtenidos bajo el protocolo de medición desarrollado.
- Evaluar la metodología de medición y las representaciones gráficas de la radiación que fueron obtenidas con el algoritmo desarrollado a partir de su comparación con los datos proporcionados por el fabricante de la fuente.

V. MARCO TEÓRICO

A. Aspectos del sonido

1) *Propagación de una onda en el medio*

De acuerdo a la forma en que un sistema vibrante emite energía, se contempla una fuerza que perturba el medio de propagación, desplazando simétricamente la posición de una partícula a cierta velocidad y durante un determinado tiempo de la siguiente forma [1]:

$$y = f(x - vt) \quad (5.1)$$

donde f es la función que representa la oscilación que aprecian las partículas dada la propagación de la onda en un sentido. En esta función x representa la posición de la partícula en un tiempo determinado t , y v es la velocidad con la que se oscila dicha partícula.

Representando así una onda con desplazamiento a la derecha. Además se debe de cumplir que:

$$y = g(x + vt) \quad (5.2)$$

donde g es una función cualquiera y el signo “+” representa un desplazamiento a la izquierda. Con esto se tiene una igualdad, donde nace el principio de superposición, en el que la suma de dos o más ondas da como resultado una señal que admite la propagación simultanea de dichas ondas sobre el mismo sistema vibrante sin afectarse mutuamente [1].

En este caso la solución general para la suma de las ecuaciones (5.1) y (5.2) es:

$$y = f(x - vt) + g(x + vt) \quad (5.3)$$

donde la velocidad es constante y la posición y el tiempo son variables. Tomando f y g como funciones arbitrarias de una sola variable, entonces $y(x,t) = f(s)$ sabiendo que $s = x - vt$ para el caso de f . Ahora derivando respecto a la posición y el tiempo e igualando las derivadas, se tiene que:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{1}{v} \frac{\partial y}{\partial t} \quad (5.4)$$

donde la ecuación (5.4) solo es solución para ondas que viajan a la derecha o cumplen con la función arbitraria f , por tanto, se debe de derivar dos veces para buscar una solución homogénea para ambas direcciones. Entonces:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (5.5)$$

igualando a cero se toma la ecuación de onda en una dimensión como la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (5.6)$$

en la que v^2 representa e cuadrado de la velocidad oscilación de una partícula.

Al ser f y g funciones arbitrarias, la solución general de la ecuación de onda contempla diversos casos de ondas, en los cuales podemos encontrar ondas no viajeras u ondas estacionarias.

Las ondas estacionarias se producen cuando el medio de propagación es finito. A causa de esto se produce interferencia entre dos ondas de igual frecuencia pero con sentidos opuestos debido a la reflexión en los límites finitos del recinto [1].

En el caso de las fuerzas efectuadas sobre membranas en coordenadas cartesianas, el desplazamiento transversal de un punto es expresado como $y(x,z,t)$. La fuerza actuando en un desplazamiento de la cara de un elemento de área $dS = dx dz$ es la suma de las fuerzas transversales actuando sobre las caras paralelas a los ejes x y z . El estiramiento de la membrana se da en todas las direcciones y vibra transversalmente con pequeños desplazamientos de amplitudes. Siendo ρ la densidad de la superficie y τ la tensión de la membrana por unidad de distancia [N/m] [1]. Esto, cumple con la ecuación de onda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (5.7)$$

donde: $v^2 = \frac{r}{p_s}$

a) Campo Cercano y Campo Reverberante

Según Rossing, una sala está conformada por diferentes zonas donde el sonido tiene componentes energéticas de diferentes fuentes, estas zonas son definidas como el campo cercano y el campo reverberante.

El campo cercano se define como la zona en donde el sonido de la fuente tiene mayor repercusión sobre la señal captada por el oyente y las reflexiones de la sala no modifican la suma energética en el punto del receptor. Esta zona posee la cualidad que solo se ve afectada por la atenuación por distancia [2].

El campo reverberante es la zona donde el sonido que llega al receptor después de múltiples reflexiones tiene mayor impacto que el sonido directo de la fuente. Es decir, que las reflexiones tienen mayor componente energética que la radiación directa [2].

b) Distancia crítica

La frontera que delimita el campo cercano y el campo reverberante es llamada distancia crítica. Allí el nivel del campo cercano es igual a la del reverberante. Se ve afectada por las cualidades de la fuente sonora y de los materiales que conforman la sala, al igual que sus dimensiones [2]. Se define como:

$$D_c = 0.14\sqrt{QR} \quad (5.8)$$

donde D_c es la distancia crítica, Q es el factor de directividad de la fuente y R es la constante de la sala.

c) Reflexiones sonoras

Un frente de onda se define como la superficie alcanzada por una onda en el mismo instante; es decir, la superficie en donde los puntos del campo sonoro tienen la misma fase. Así mismo, en un espacio, esta propagación puede ser interrumpida por materiales que estén en el trayecto de la onda; por tanto, la energía transportada por la onda puede ser absorbida, reflejada o transmitida según las características de dicho material. Si la absorción y la transmisión del frente de onda interactuando con el material son muy pequeñas, esto indica que la energía resultante es en mayor medida convertida en reflexiones, por esto, al material se denota como una superficie acústicamente dura, que posee más cualidades reflejantes que absorbentes. Estas interacciones con el medio provocan reflexiones de la señal en diferentes momentos y direcciones dependiendo del tipo de superficie que se vea afectada, como se ve en la *figura 1*, y mucho más en recintos cerrados, donde se producen reflexiones continuas entre las paredes [2].

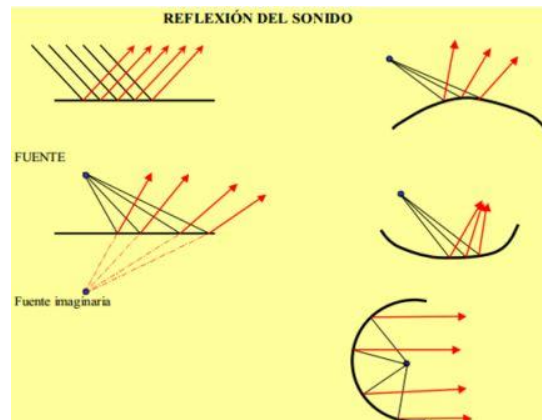


Fig. 1. Reflexión de una onda incidente sobre diferentes superficies.

Fuente: T. Rossing, P. Wheeler and F. R. Moore, "The Science of Sound". San Francisco: Addison Wesley, 3rd ed., 2002.

El balance energético de la onda puede ser transmitido o absorbido por la superficie del material o este puede reflejar la energía al medio como se muestra en la *figura 2* [3]. Esta interacción obedece a la ley de la conservación de la energía de la siguiente forma:

$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad (5.9)$$

donde E_i es la energía incidente, E_r es la energía del rayo reflejado, E_a es la energía absorbida y E_t es la energía transmitida que atraviesa el material.

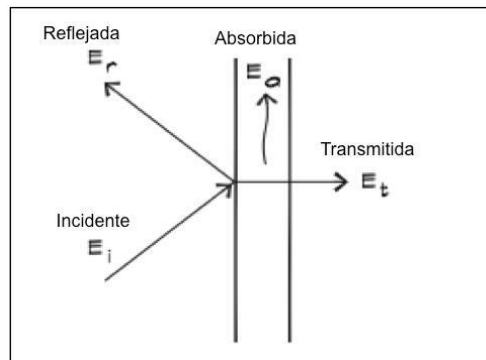


Fig. 2. Interacción de una onda incidente con la superficie de un material en ondas planas.

Fuente: J.Ochoa, "Estimación del coeficiente de absorción en incidencia aleatoria utilizando presión y velocidad de partícula mediante la sonda p-u de Microflown Technologies", Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia, 2015.

d) *Curvas de ponderación*

De manera que los niveles de presión sonora en las distintas frecuencias puedan asemejarse a la percepción del oído humano en diferentes niveles de amplitud, fueron diseñadas una serie de curvas de ponderación que realizan correcciones a las medidas realizadas de acuerdo a las curvas de sonoridad planteadas por *Fletcher & Munson* y mostradas en la *figura 3* [4]. Las diferentes curvas se dividen según el nivel de amplitud que se quiera aproximar a la percepción del oído humano, por ello se expresan las curvas como *dBA*, *dBB*, *dBZ* o *dBZ*, correspondientes a las curvas A, B, C y Z, en donde la curva sin modificaciones es denotada como Z o en estado "*Flat*" [4]. Estas curvas se muestran en la *figura 4*.

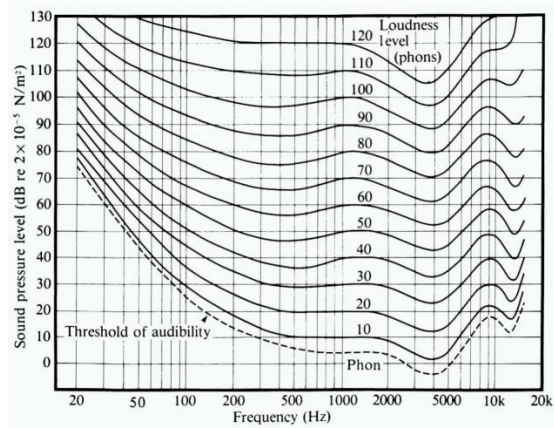


Fig. 3. Curvas de sonoridad isofónicas de Fletcher y Munson.

Fuente: "Investigación: Diagrama de Fletcher y Munson, curvas isofónicas" Doctor Proaudio, 2013.

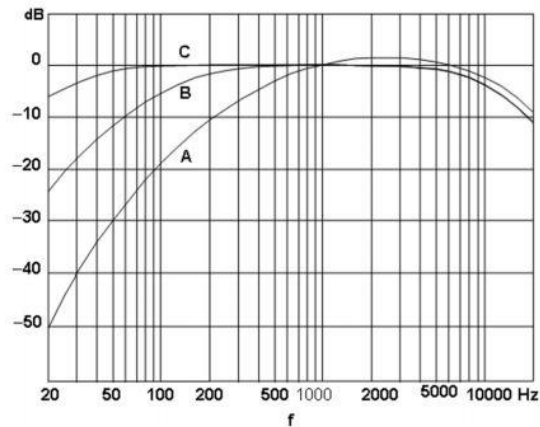
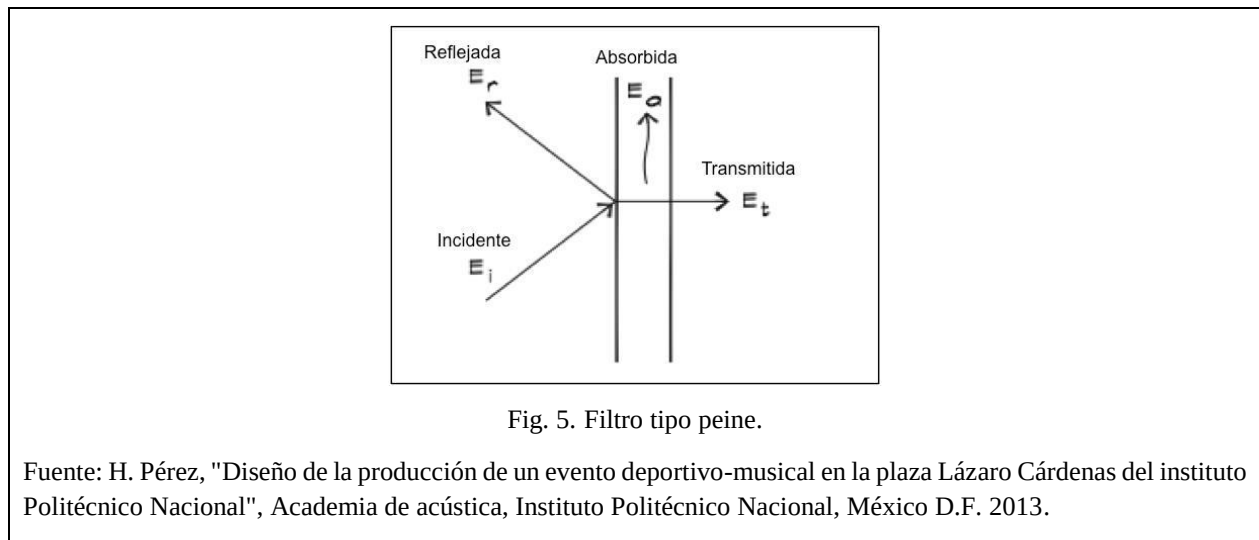


Fig. 4. Curvas de ponderación.

Fuente: H. Pérez, "Diseño de la producción de un evento deportivo-musical en la plaza Lázaro Cárdenas del instituto Politécnico Nacional", Academia de acústica, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 2013.

e) Efecto de peine

El *Comb Filtering* o filtro de peine es una alteración en la respuesta de frecuencia de un sistema o medición que expresa caídas de hasta 40dB en octavas de una o más frecuencias como se muestra en la *figura 5*. Generalmente se produce a partir de la suma del sonido directo y las reflexiones tempranas de gran amplitud entre la fuente y el receptor o micrófono, estas sumas provocan cancelaciones en diferentes frecuencias según la distancia fuente-receptor y el tiempo de llegada y amplitud de las reflexiones tempranas. Estas reflexiones tienen un desfase contra la señal directa y producen una reducción en el balance natural de la fuente [4].



2) *Presión sonora y velocidad de partícula*

La presión sonora es el cambio en las partículas de aire a partir de las variaciones de amplitud de un sistema oscilatorio provocando variaciones en la presión atmosférica y generando en el medio (aire) zonas de compresión (concentración de partículas de aire) y rarefacción (poca concentración de partículas de aire). Se define como la diferencia de la presión instantánea y la presión atmosférica estática [3].

La presión atmosférica es medida en pascuales [*Pa*] pero dadas las variaciones minúsculas de la presión sonora y el umbral de audición del ser humano, se trabaja en un rango de 20 micro pascuales (20 μPa) a 20 pascuales (20 *Pa*) donde se sitúa el umbral de dolor.

La presión sonora es medida en la décima parte de un *Bel* (Decibel), que es una unidad relativa usada para comparar dos medidas acústicas y eléctricas. Se toma como una medida logarítmica relacionando la variación de presión, sobre el umbral de audición a una frecuencia de 1 kHz, tal como se muestra en la ecuación (4.10) [3].

$$dB = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (5.10)$$

donde p_0 es la presión de referencia a 1 KHz (20 uPa) y p es la presión que se desea hallar.

Dada la ecuación de Euler:

$$p_0 \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -\vec{\nabla} P \quad (5.11)$$

donde p_0 es la densidad de referencia del medio y $\vec{u}$ es el vector velocidad de partícula.

Se tiene que la velocidad de partícula va en sentido contrario al máximo incremento de la presión.

La velocidad de partícula es el cambio de posición de la partícula respecto al tiempo a causa de la propagación de una onda acústica. Describe el desplazamiento que tienen las partículas en el tiempo cuando salen de su punto de equilibrio [3]. Es una cantidad vectorial debido a que expresa una magnitud y una dirección de movimiento. Para las siguientes ecuaciones se expresa la velocidad de partícula para ondas planas y esféricas respectivamente de forma armónica compleja:

$$\vec{u}(x, t) = u\hat{x} = \left[\frac{A}{p_0 c} e^{j(\omega t - kx)} - \frac{B}{p_0 c} e^{j(\omega t - kx)} \right], \hat{x} = \frac{p(r, t)}{p_0 c} \quad (5.12)$$

$$\vec{u}(r, t) = \frac{A}{j\omega p_0} \left(\frac{1}{r} + jk \right) \frac{e^{j(\omega t - kx)}}{r} = \frac{p(r, t)}{j\omega p_0} \left(\frac{1}{r} + jk \right) \quad (5.13)$$

donde $\vec{u}$ es el vector de velocidad de partícula [m/s], el signo que lleva encima ($\rightarrow$) es una indicación del sentido direccional y está determinado por la selección de un sentido de referencia

o por la dirección positiva del flujo de energía [5], $\hat{x}$ es el vector unitario en dirección del eje X, en general r se usa para denotar la distancia fuente-receptor, A, B es la amplitud compleja medida en pascals [Pa], ω es la frecuencia angular [rad/s] y K es el número de onda [ciclos/m].

3) Atenuación por distancia

En la emisión sonora por una fuente puntual el sonido se esparce sobre un recinto en forma esférica, lo que provoca que el nivel de presión sonora sea inversamente proporcional al cuadrado de la distancia; es decir, en campo libre, siempre que se duplique la distancia el nivel de presión sonora decaerá en 6 dB. Esto se debe a que el frente de onda del sonido crece exponencialmente respecto a su origen como se muestra en la *figura 6* [4]. Esta atenuación está descrita por la siguiente ecuación:

$$SPL_{esferico} = 20 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (5.14)$$

donde r_1 es la distancia inicial o de referencia (normalmente 1 metro) y r_2 es la distancia a la cual se quiere calcular el nivel de presión sonora.

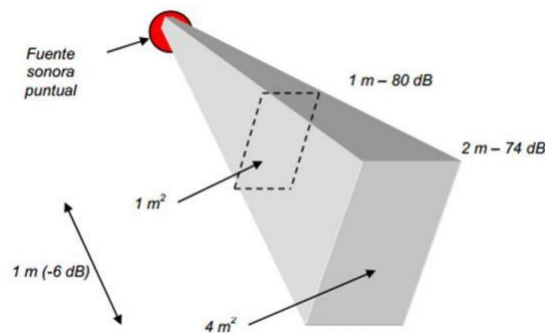


Fig. 6. Propagación y pérdida por distancia de una fuente puntual.

Fuente: H. Pérez, "Diseño de la producción de un evento deportivo-musical en la Plaza Lázaro Cárdenas del Instituto Politécnico Nacional", Academia de acústica, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 2013.

Para una propagación cilíndrica emitida por una fuente lineal la atenuación o incremento es de 3 dB si se duplica la distancia alejándose o acercándose respectivamente. Este fenómeno es causa del crecimiento del área de incidencia del sonido de forma lineal como se muestra en la *figura 7* [4]. Esta atenuación está descrita por la siguiente ecuación:

$$SPL_{lineal} = 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (5.15)$$

donde r_1 es la distancia inicial o de referencia (normalmente 1 metro) y r_2 es la distancia a la cual se quiere calcular el nivel de presión sonora.

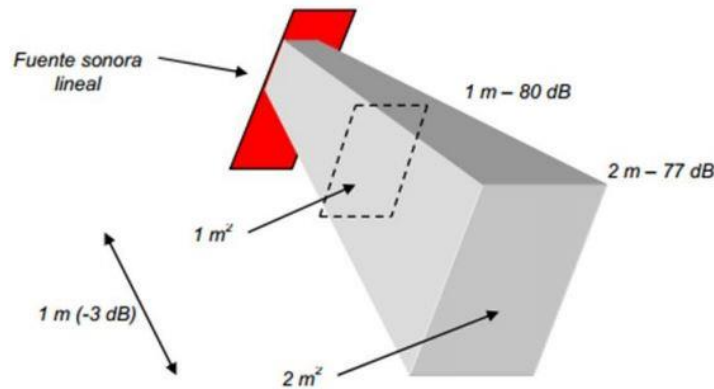


Fig. 7. Propagación y pérdida por distancia de una fuente puntual.

Fuente: H. Pérez, "Diseño de la producción de un evento deportivo-musical en la Plaza Lázaro Cárdenas del Instituto Politécnico Nacional", Academia de acústica, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 2013.

4) Intensidad acústica ($\vec{I}$)

Se entiende como la potencia acústica que transfiere una onda sonora por unidad de área normal a la dirección de propagación. Es el promedio temporal de la relación a la que la energía es transmitida a través de una unidad de área normal a la dirección de propagación. De igual manera se puede considerar como el valor medio en el tiempo de la intensidad instantánea $\vec{I}(t)$ [6].

$$\vec{I}(t) = p(t)\vec{u}(t) \quad (5.16)$$

$$\vec{I}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{I}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)\vec{u}(t) dt \quad (5.17)$$

donde T es el período de una onda de una frecuencia única o la duración de un impulso o de una variable con tendencia a infinito en el caso de ondas no periódicas, $p(t)$ es la presión sonora instantánea y $\vec{u}(t)$ es la velocidad de partícula instantánea del fluido. La intensidad es expresada en Watts por metro cuadrado [W/m^2].

En una onda plana armónica, libre y progresiva, la intensidad en la dirección de propagación se cumple que:

$$I \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{P_{rms}^2}{p_0 c} \quad (5.18)$$

donde P_{rms}^2 es la presión cuadrática media (rms), p_0 es la densidad media en equilibrio del aire y c la velocidad de propagación del sonido en el aire. En general, el símbolo I se usa para denotar la magnitud asignada a la intensidad $\vec{I}$.

El nivel de la intensidad acústica es la cantidad que expresa la relación entre dos intensidades sonoras de manera logarítmica, en este caso frente a una intensidad de referencia $I(ref) = 10^{-12} W/m^2$ para ondas planas o esféricas [7]. La unidad de este nivel es el decibel y se define como:

$$L_I[dB] = IL[dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \quad (5.19)$$

5) *Campo Vectorial Normal de Intensidad*

De acuerdo a la UNAM [8], la distribución en el espacio de una magnitud vectorial se considera como campo vectorial. Cada uno de los puntos que conforman el espacio representa un vector que puede ser asociado a alguna cantidad física. La dirección del vector indica hacia donde está actuando dicha cantidad, su tamaño indica la magnitud de esta.

Como lo menciona Fahy [9], en cualquier punto vecino a una fuente sonora considerada, el campo acústico puede descomponerse en 3 componentes:

- El campo irradiado directamente por la fuente primaria (bajo condiciones de campo libre).
- El campo irradiado directamente por la fuente primaria (bajo condiciones de campo libre).
- El campo producido por las reflexiones, difusiones y difracciones de estos campos al interactuar con cuerpos y superficies delimitadoras.

Así, estos tres componentes contribuyen a la presión cuadrática media total en cualquier punto cercano a la fuente de acuerdo grado de correlación mutua. Además, la distribución de intensidad resultante tiene una dependencia de la distribución y correlación de los vectores de velocidad de partícula [9].

Según Fahy [9], los patrones circulatorios de intensidad acústica activa pueden existir bajo condiciones de campo libre tanto en el campo hidrodinámico como en los campos geométricos cercanos, pero no bajo condiciones de campo lejano. Además, la mayoría de los campos de intensidad sonora encontrados en la práctica son demasiado complicados para ser moldeados matemáticamente de una forma precisa, por lo que es necesario considerar modelos de campo idealizados para apreciar los efectos combinados de dichos componentes del campo.

6) *Potencia acústica*

Es la cantidad de energía que radia una fuente por unidad de tiempo. Es un valor propio de la fuente, por tanto, no depende del entorno en el que se encuentre. Está dado por la intensidad por

unidad de área de superficie [10]. Su unidad es el Watt y puede expresarse como la integral de la intensidad sobre una superficie S , tal como se muestra en (5.20):

$$W = \int_S I dS \quad (5.20)$$

En esta forma de expresar la potencia se considera la suma de las contribuciones de intensidad normales a cada porción del área infinitesimal, como se refleja en el concepto de la integral de superficie [10].

Para las ondas planas se da el caso particular de expresar estas magnitudes con una relación más simple:

$$W = IS \quad (5.21)$$

Así como sucede en la propagación esférica, que particulariza la ecuación (5.20), dado el área de una esfera como superficie (S):

$$W = (4\pi r)^2 I \quad (5.22)$$

donde r es el radio de la superficie imaginaria que encierra la fuente.

7) Descriptores de radiación

f) Patrón polar

Un patrón direccional caracteriza lo eficaz o efectivo que es la radiación sonora de una fuente en distintas direcciones y en diferentes frecuencias. Estos se representan en un diagrama polar, donde se gráfica en una circunferencia los valores de captación o respuesta de un transductor, siendo la mayor energía la que se aproxime más al perímetro de la circunferencia [11]. La *figura 8* ilustra un patrón de radiación típico para un altavoz.

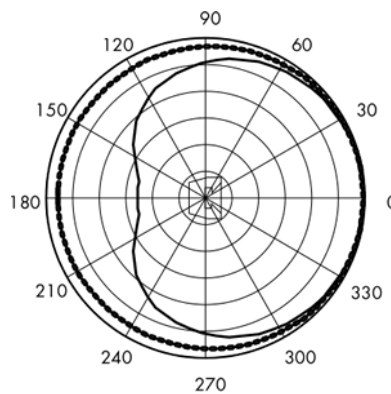


Fig. 8. Patrón de radiación típico de un altavoz.

Fuente: d&b audiotechnik. "24C column loudspeaker. Cardioid dispersion". [Online]. Disponible en: <https://goo.gl/XGAJ7h>, Fecha de consulta: Mar. 25, 2017.

Los patrones polares dependen del tipo de encapsulado del radiador, al igual que de la frecuencia analizada. Para las fuentes sonoras depende directamente de los parámetros *Thiele-Small* (parámetros que fueron descubiertos por *Thiele* y usados para el diseño y análisis de transductores por *Small*, son 4 - V_{as} , Q_{es} , Q_{ms} , Q_{ts} - y se usan para determinar el volumen óptimo para el diseño de la caja de un parlante.) y la frecuencia de radiación; por tanto, en frecuencias bajas los parlantes tienen un comportamiento omnidireccional, y a medida que la frecuencia sube, el comportamiento se va tornando mucho más direccional [11].

g) Factor de directividad (Q)

La energía acústica es radiada uniformemente en todas direcciones para una onda esférica, sin embargo, esta energía puede ser direccional en otras fuentes de sonido. Estas fuentes sonoras radian direccionalmente con diferentes intensidades en diferentes direcciones. Para su caracterización surge la necesidad de obtener valores que manifiesten el fenómeno acústico que da paso a la radiación directiva [12].

El Factor de directividad es definido como la relación de la intensidad en un eje determinado a una distancia específica de la fuente, tal y como se muestra en la ecuación (5.23). Determina cuanto nivel de energía, en comparación con la potencia total de la fuente, se está radiando esféricamente para una frecuencia específica [12].

$$Q = \frac{(4\pi r)^2 I}{W} \quad (5.23)$$

Según considera *Beranek* [13], algunas fuentes como los altavoces presentan simetría respecto a su eje acústico, de esta forma, los datos para obtener Q se miden en un número determinado de puntos definidos por θ dentro de un plano horizontal a la fuente bajo estudio, tal y como lo denota la ecuación (5.24):

$$Q(f) = \frac{(4\pi(p_{ax})^2)(57.3)}{2\pi \sum_{n=1}^{180^\circ/\Delta_\theta} p^2(\theta_n) \sin\theta_n \Delta_\theta} \quad (5.24)$$

donde Δ_θ es la separación en grados de los puntos sucesivos alrededor de la fuente en los que se tomaron medidas de $p(\theta_n)$, mientras que $180^\circ/\Delta_\theta$ hace referencia al número de mediciones que se han hecho al pasar del punto que está justo al frente del altavoz al que está justamente detrás de él (de 0° a 180°). No se presenta variación de las medidas tomadas entre 0° y 180° con las hechas entre 180° y 360° si se supone que la presión es simétrica.

h) Índice de directividad (DI)

Es un valor que indica el nivel de direccionalidad que presenta la fuente en comparación con una onda esférica con igual intensidad sonora en todas las direcciones. Está relacionado al factor de directividad por la ecuación (5.25) [12]:

$$DI = 10 \log_{10}(Q) \quad (5.25)$$

B. Metodologías de medición

Las metodologías de medición se usan para cuantificar la radiación sonora de una fuente y entregar un dato exacto que las caracterice y permite comparar objetivamente una de otra, en niveles de intensidad o potencia sonora. Para ello se hace uso de las magnitudes acústicas tales como presión,

intensidad, potencia o velocidad de partícula. Sin embargo, la dependencia entre la presión y la intensidad con las variables espaciales limita la información que brindan por sí solas respecto a los niveles de emisión de la fuente [10].

1) *Medición de potencia acústica*

Medir la potencia acústica es complejo debido a que no existe un instrumento para cuantificarla directamente dado que es una cantidad independiente de la distancia y que representa la energía de la fuente en cuestión, y como ésta radia en un medio circundante las medidas tomadas representan la suma de la energía directa de la fuente y las reflexiones y el ruido que el medio imprime sobre dicha medición. Por tanto, la potencia acústica se estima a partir de instrumentos sensibles a la presión y mediante métodos tradicionales, tales como sonómetro o sondas de intensidad tipo *P-P* (presión-presión) [10].

La sonda de intensidad tipo *P-P* está diseñada a partir de un par de micrófonos de condensador, pareados y omnidireccionales, enfrentados a cierta distancia (Δr) correspondiente a media longitud de onda de la frecuencia de funcionamiento mayor. Funcionan bajo la relación de velocidad de partícula y el gradiente de presión, o a la razón en cuanto cambia la presión instantánea respecto a la distancia entre dichos micrófonos $\frac{\partial p(t)}{\partial r}$ [10].

$$\vec{u}(t) = \frac{1}{p_0} \int \frac{\partial p(t)}{\partial r} dt \quad (5.26)$$

donde p_0 es la densidad del aire. El gradiente de presión $\frac{\partial p(t)}{\partial r}$ puede aproximarse mediante la diferencia finita que existe entre la medida de presión en los dos micrófonos enfrentados a una distancia conocida Δr :

$$\frac{\partial p(t)}{\partial r} \cong \frac{p_B - p_A}{\Delta r} = \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (5.27)$$

donde p_A y p_B son las presiones correspondientes de los micrófonos A y B de la sonda P-P. Además, si la presión instantánea se determina como el promedio de la presión medida en cada micrófono, entonces se tiene que:

$$p(t) = \frac{p_B - p_A}{2} \quad (5.28)$$

Si se rempazan los valores $p(t)$ y $\vec{u}(t)$ en la ecuación de intensidad $\vec{I}$ se puede conocer como la sonda de intensidad tipo p-p brinda el valor de la intensidad haciendo de este instrumento uno de los más usados para la estimación de los niveles de intensidad de una fuente, quedando a un paso previo para determinar la potencia total radiada. Entonces se reemplazan las ecuaciones (5.20) y (5.22) en la ecuación de intensidad (5.14), teniendo como resultado:

$$\vec{I} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \vec{u}(t) dt = -\frac{1}{2T} \int_0^T \left[(p_B - p_A) \left(\frac{1}{p \Delta r} \int (p_B - p_A) \right) dt \right] dt \quad (5.29)$$

Sin embargo, la sonda tipo $P-P$ presenta el inconveniente en la aproximación por diferencia finita y fuentes de error debido a la difracción y difusión por el carácter masivo de los micrófonos que generalmente es de media pulgada de diámetro, posibles pérdidas de fase entre los micrófonos y valores elevados del índice de presión-intensidad, además de limitaciones en el rango de frecuencia para el que se obtienen resultados precisos [14].

Otro tipo de sonda empleado para la medición de intensidad acústica son las sondas $P-U$ (presión-velocidad de partícula). Algunas de estas utilizan sensores ultrasónicos y el efecto *Doppler* para medir directamente la velocidad de partícula en el medio de transmisión [9]. La necesidad de tener dos rayos de ultrasonido consiste en evitar los cambios de temperatura debido a las variaciones de presión en el campo sonoro (que incrementan la sensibilidad de la presión) y en la capacidad de reconocer la dirección de dicha cantidad vectorial [15].

La tecnología desarrollada por *Microflow* implementa un sensor tipo $P-U$, en un mismo dispositivo se ubican un pequeño transductor de presión y un par de alambres de platino

micrométricos, dispuestos de forma paralela y que se calientan a 200°C aproximadamente como se muestra en la *figura 9* [16]. Las partículas en movimiento (velocidad de partícula) inciden de forma perpendicular al sensor y provocan un diferencial de distribución en la temperatura de los alambres, haciendo que uno de ellos se enfríe más que el otro, conllevando de esta manera un gradiente en la temperatura, tal y como se presenta en la *figura 10*. Este hace que se produzca una variación de la resistividad eléctrica de los alambres dentro de un circuito electrónico, finalmente esto deriva en una variación del voltaje equivalente a la velocidad de las partículas [15]. La capacidad de este dispositivo para cuantificar de forma simultanea la presión y la velocidad de partícula posibilita una medición directa de la intensidad acústica disipada por una fuente sonora bajo una superficie determinada [10].

En la *figura 11* se observa cómo disminuye la direccionalidad del sensor por el arreglo en paralelo de los alambres de platino, causando un patrón polar de figura de ocho debido a la disposición de dicho arreglo de alambres. Esto, además, tiene repercusiones en cuanto al rendimiento de la sonda para captar la variable acústica de la velocidad de partícula, dado que las contribuciones del ruido de fondo no la afectaran de forma considerable. Aunque la reflexión de una onda sobre una superficie, si bien incrementa el nivel de presión sonora, disminuye de forma importante el valor de la velocidad de las partículas, lo que junto con las características directivas del sensor aporta a desasociar los efectos de fuentes ajenas con los resultados de la medición de esta variable para una fuente en específico [10].

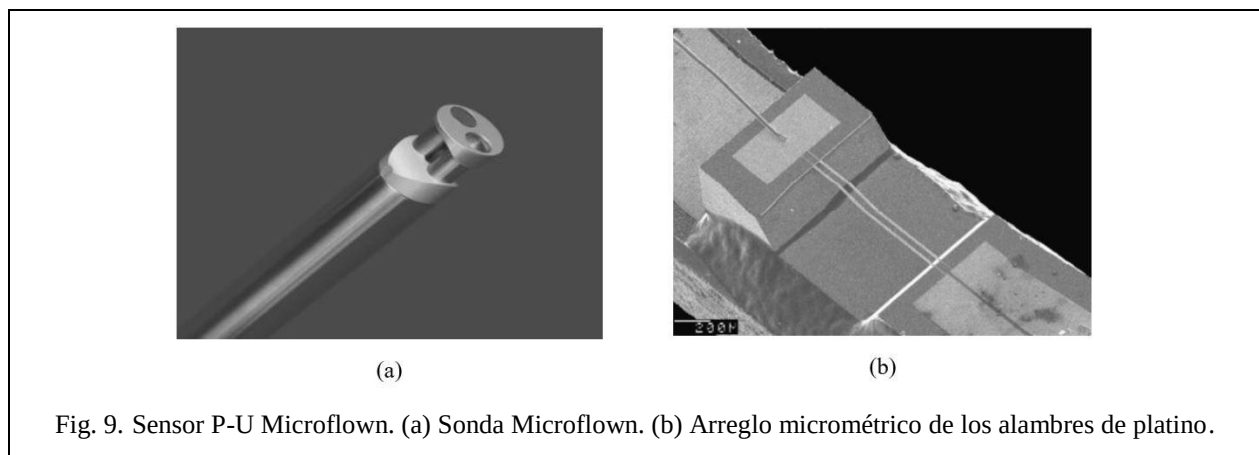


Fig. 9. Sensor P-U Microflow. (a) Sonda Microflow. (b) Arreglo micrométrico de los alambres de platino.

Fuente: A. Molina, "Evaluación de los métodos de estimación de potencia sonora basados en presión y en el uso de la sonda p-u Microflown para la caracterización acústica de los electrodomésticos de la línea Assento de Haceb", Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia, 2014.

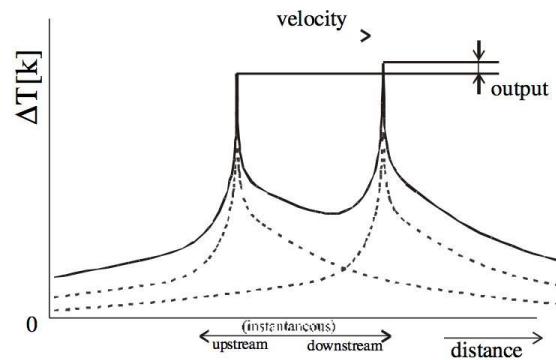


Fig. 10. Gradiente de la temperatura entre los alambres de platino de la sonda P-U de Microflown.

Fuente: A. Molina, "Evaluación de los métodos de estimación de potencia sonora basados en presión y en el uso de la sonda p-u Microflown para la caracterización acústica de los electrodomésticos de la línea Assento de Haceb", Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia, 2014.

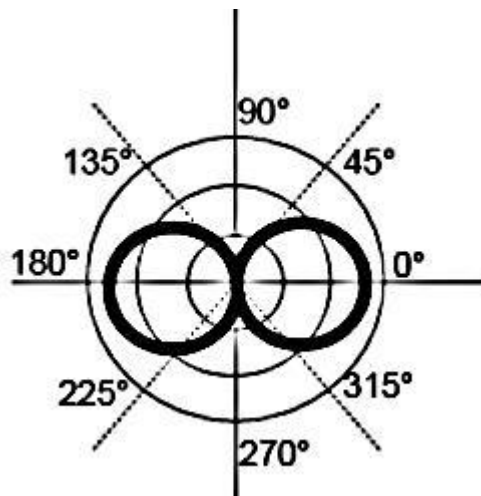


Fig. 11. Patrón polar en figura de ocho dado por el arreglo de alambres de platino de la sonda p-u de Microflown.

Fuente: A. Molina, "Evaluación de los métodos de estimación de potencia sonora basados en presión y en el uso de la sonda p-u Microflown para la caracterización acústica de los electrodomésticos de la línea Assento de Haceb", Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia, 2014.

i) Módulo de software Sound Power

Este módulo, incluido en la plataforma *VELO*, es un software cuya aplicación típica es caracterizar la potencia sonora in-situ de una fuente, permite la adquisición de datos punto por punto a partir de la segmentación de una superficie de medida establecida. Durante la medición también se lleva a cabo una evaluación de los datos medidos a partir del cálculo de los indicadores de calidad establecidos en la norma *ISO 9614* y que se explican con mayor detalle en la siguiente sección. Las funcionalidades del *Sound Power* pueden ser usadas no solo para obtener una distribución 3D de la potencia sonora, sino también de la presión, la intensidad y la velocidad de las partículas [17].

En general, esta herramienta que complementa el método de medición, involucra cuatro etapas según se contempla en [18]: configuración del hardware (*HW setup*), configuración de medición (*Measurement setup*), captura (*Capture*) y análisis (*Analyse*).

La configuración del hardware conlleva la selección de la interfaz y el acondicionador de señal y los canales usados para la medición, así mismo se activan los sensores disponibles. En la configuración de medición es posible definir la superficie de medición que será usada y seleccionar todos sus ajustes (dimensiones y número de segmentos), es importante aclarar que la versión actual del software solo permite establecer contornos paralelepípedos. Después de este paso los ajustes seleccionados no podrán editarse.

La sección de captura puede visualizarse y tenerse control en tiempo real de la señal, también se lleva a cabo todo el proceso de adquisición y almacenamiento de datos, el cual es completamente guiado. Es posible realizar una comprobación básica de la medición y llevar control sobre su estado.

Esta etapa permite hacer una revisión de los resultados obtenidos de la medición y exportarlos en diferentes tipos de formato [18].

Las normas del estándar internacional que se usan para la determinación de los niveles de potencia acústica y los métodos alternativos no estandarizados, como es el uso de la sonda *P-U*, hacen uso

de la teoría descrita para ciertas aplicaciones, tomando como superficie *Gaussiana* una o media esfera, o un paralelepípedo.

Las normativas estandarizadas utilizadas son:

- ISO 3744: 1994. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido mediante el uso de la presión sonora en un campo esencialmente libre y sobre uno o más planos reflectantes.
- ISO 3745: 2012. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido usando presión sonora en una cámara anecoica y semi-anecoica.
- ISO 9614-1: 1993. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido utilizando intensidad – parte 1: medición por puntos discretos.
- ISO 9614-3: 1993. Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido utilizando intensidad – parte 3: método de precisión para medición por escaneo.

j) Indicadores de calidad de las mediciones

Como menciona *Microflown* [17] a pesar de que las sondas *P-U* no son sensores estandarizados, el módulo *Sound Power* está diseñado de manera que los usuarios puedan medir a partir del procedimiento establecido en la ISO 9614. Algunas verificaciones de calidad en los resultados, como el índice *P/I*, no son aplicables a esta tecnología. Sin embargo, se implementan los siguientes criterios con el fin de cumplir con los requerimientos de la norma y de esta manera preservar la confiabilidad de las mediciones.

- Indicador de variabilidad temporal del campo sonoro (*F1*): Determina si el campo acústico dentro de cada segmento evaluado es estacionario, a partir de una serie de estimaciones de intensidad media de corto tiempo (entre 8 y 12 segundos) [17].

El criterio que satisface este indicador es:

$$F1 \leq 0.6 \quad (5.30)$$

- Evaluación de la instrumentación. Criterio de Reactividad ($F5$): Evalúa la variación de fase del campo sonoro, depende del grado de exactitud seleccionado (S) y del ancho de banda (B) establecido para la medición (bandas o tercios de octava) [17]. Se describe como:

$$F5 < 2S \quad (5.31)$$

- Indicador de no uniformidad del campo sonoro ($F4$): Proporciona información sobre cuánta variación hay entre los resultados obtenidos en todas las posiciones medidas. Es la varianza normalizada de los valores de intensidad de los segmentos [17]. Este control viene dado por:

$$N > CF4^2 \quad (5.32)$$

k) Módulo Scan & Paint

Mediante la tecnología de Microflown y su módulo *Scan & Paint* se realiza una medición en campo cercano o de vibraciones. Este software presenta una visualización del campo sonoro de una fuente mediante holografías [3]. En general, esta herramienta que complementa el método de medición, involucra tres etapas: captura de video, post-procesamiento de la señal, y análisis.

En la captura del escaneo registra un video realizado con la sonda sobre las superficies de la fuente a medir, mientras se almacena en un sistema digital las señales de presión y velocidad de partícula captadas por el Microflown. En el post-procesamiento se ubica las posiciones del sensor en cada cuadro del video mediante un rastreo de color elegido por el usuario [1]. Por ello, el espacio se discretiza a través de una serie de celdas pertenecientes a una rejilla sobre el área que será escaneada, lo que posibilita fijar una conexión entre los datos medidos por el sensor y cada celda de la rejilla, estableciendo un segmento de la señal a cada una de las posiciones en el espacio [6]. En el análisis son usados procedimientos de interpolación para finalmente determinar el valor de las variables acústicas (presión, velocidad de partícula, intensidad, potencia, reactividad,

coherencia) en cada uno de los puntos de la superficie escaneada. Posteriormente, se visualiza el campo sonoro en función de cualquiera de las variables descritas en escala de colores superpuesta sobre la imagen, dejando ubicar las fuentes sonoras de mayor intensidad [10].

2) *Medición de patrones polares*

Existen diversas formas de medir las características de radiación polar de un altavoz. La mayoría de fabricantes de estos dispositivos han implementado sistemas de medición con una resolución espacial de al menos 5 grados en los ejes azimutal y angular. En cuanto a la resolución espectral, los sistemas de medición permiten obtener datos dependiendo de la robustez del método; es decir, para una metodología de medición basada en variaciones de frecuencia, la resolución espectral depende de la cantidad de permutaciones entre las frecuencias analizadas y las posiciones en los respectivos ángulos de interés. Para un sistema de análisis por respuestas al impulso o la representación derivada del dominio de la frecuencia, depende del procesamiento y análisis de las muestras; comúnmente este método puede tomar una resolución espectral en valores de un tercio de octava [19].

Las metodologías más utilizadas para obtener los patrones directivos de fuentes sonoras están comprendidas en el estándar *AES 56-2008*. Allí describen las condiciones necesarias para realizar las mediciones. A continuación se hace un breve recuento de ellas:

- Distancia de medición recomendada: 1m.
- Repetibilidad de la medición: Se deben tomar mediciones en los ejes θ y ϕ , con incrementos de 5° entre 0° y 180° .
- Representación de datos: Los datos pueden ser representados mediante un conjunto respuestas al impulso (*IRs*), además de un archivo de texto y dibujo (patrones de radiación).

VI. ESTADO DEL ARTE

Según se plantea en [20], un campo sonoro se describe con un escalar de presión sonora dependiente del tiempo y con el vector velocidad de partícula en función del tiempo en esa posición. Se habla de que normalmente, las propiedades de los campos sonoros se miden mediante el uso de micrófonos de presión, la información sobre el vector velocidad de partícula se calcula a partir del gradiente de presión.

En el transcurso de los años se han desarrollado nuevas metodologías para la medición de la intensidad sonora, posibilitando un mejor entendimiento del flujo de energía acústica en un campo sonoro. En el capítulo dos de [9] se presenta un breve recuento sobre los avances tanto metodológicos como de instrumentación usada para la estimación de la intensidad sonora desde mediados del siglo XIX. Allí hacen referencia a problemas para las realizar las mediciones en cuanto a la considerable influencia de factores como la temperatura, el viento y la humedad ambiental en algunos de los métodos y dispositivos desarrollados como el disco de *Rayleigh*, donde la deflexión de la señal es proporcional a la velocidad de partícula y con esto indicarse la intensidad y el sistema de *Harry Olson* que permitía responder al flujo de energía de ondas sonoras. Aproximadamente veinte años después del sistema desarrollado por *Olson* y a partir de investigaciones y aportes previos de *Enns*, *Firestone* y *Clapp* y luego de *Bolt* y *Petrauskas* se reportaron desarrollos en un nuevo sistema de medición mediante anemómetros de alambre a altas temperaturas y arreglos de micrófonos de presión, por parte de *Baker*. Durante los setentas se produjeron importantes desarrollos, por parte de *Anderson* y *Burguer* se aplicaron medidas de intensidad para determinar la potencia sonora, también se le implementó el *DSP (Digital Signal Processing)* a las herramientas disponibles para estimar la intensidad sonora a partir del análisis de *Fourier*. Durante los siguientes años se prefirió el uso de técnicas que involucraran dos micrófonos de presión iguales, dejando a un lado los sensores de velocidad de partícula.

Las primeras mediciones fiables de la intensidad del sonido en condiciones de laboratorio no se produjeron hasta mediados de la década de 1970. Los primeros sistemas comerciales para la medición de la intensidad sonora aparecieron en el mercado a inicios de 1980, considerándose de

gran influencia en la ingeniería de control de ruido, también hicieron posible la determinación de la potencia acústica de las fuentes sonoras sin el uso de costosas instalaciones especiales como cámaras anecoicas y reverberación [7].

Durante la década de los noventas se crearon estándares internacionales que proporcionaban métodos para la determinación de la potencia sonora de fuentes de ruido a partir de la intensidad acústica [21]. Durante esta década los fabricantes tuvieron una contribución vital para la implementación práctica de los principios de medición de intensidad sonora, desarrollando configuraciones optimizadas de sondas de transductores y asistiendo en el desarrollo de estándares de instrumentos.

Durante los últimos años de los noventas y el inicio del nuevo siglo XX se dieron importantes avances en cuanto a metodologías y técnicas de medición de intensidad acústica, propiciadas principalmente por los importantes desarrollos tecnológicos que permitieron mayor precisión en los resultados; inicialmente con el surgimiento de las sondas de intensidad P - P (presión – presión), luego según [7] con el desarrollo de la sonda de tipo P - U (presión – velocidad de partícula) de *Microflown* en 1994, capaz de medir la velocidad de las partículas directamente.

Partiendo del funcionamiento de cada una de estas sondas, diferentes autores han desarrollado investigaciones que permiten analizar las diferencias entre los principios de medición de las sondas de tipo P - P y de tipo P - U , tal como se evidencia en [22] donde el análisis se realiza a partir de comparaciones teóricas y experimentales, calibrando las sondas en campo libre, midiendo potencia sonora y mejorando la calibración de fase. Dentro del estudio presentado en [14] se analiza el rendimiento de las sondas P - P y P - U bajo condiciones adversas de campo sonoro para la determinación de potencia sonora basada en intensidad.

Teniendo en cuenta que el método de estimación de intensidad acústica mediante la sonda P - U en comparación con la sonda P - P no es un método estandarizado, los estudios anteriores concluyen un alto grado de confiabilidad y de similitud entre los resultados medidos con una sonda P - U respecto a los medidos con una sonda de tipo P - P clase 1, siguiendo un estándar internacional [10].

Según se considera en el *apéndice A* de [1], la falta de sensores de velocidad de las partículas acústicas calibrados en el momento en que se propusieron las normas puede ser la principal razón de la ausencia de un estándar de medición con sonda *P-U*.

A partir de la década de 1980 fueron introducidos métodos basados en el escaneo para el mapeo de campos sonoros estacionarios. Trabajos recientes han introducido nuevos métodos de exploración, uno de ellos es *Scan & Paint*, usado para medir la presión sonora, la velocidad de las partículas, la intensidad, la absorción acústica y la impedancia acústica de una manera eficiente [23].

De igual forma plantean la teoría y la metodología considerada como necesaria para caracterizar el sonido radiado por una fuente no estacionaria, analizando las mediciones realizadas a un *cello*, teniendo en cuenta que los patrones de radiación de los instrumentos musicales son el ejemplo clásico de campos sonoros no estacionarios. A partir de esto concluyen que la técnica de medida presentada reduce el número de transductores, el tiempo de medición y el costo, considerando que se maximiza la flexibilidad y simplicidad de los métodos actuales.

Daniel Fernández, et al., plantean en [24] técnicas de escaneo para medir patrones de radiación de instrumentos musicales, presentando ventajas y desventajas de este procedimiento a partir del análisis de los resultados obtenidos. Este trabajo permitió definir una base teórica para medir los cambios relativos, independientes del tiempo de los campos sonoros, de igual forma proponen que la combinación de los principios descritos con la técnica del software *Scan & Paint* conllevan a un nuevo método que permite caracterizar los patrones de directividad de las fuentes de sonido no estacionarias utilizando un sistema de dos canales basado escaneo.

Como se presenta en [25] la plataforma *VELO* de *Microflown* aún no ha implementado las herramientas para extraer los patrones de directividad directamente. Sin embargo, debería ser posible exportar los datos adquiridos y calcular los resultados de radiación usando *Matlab*.

VII. METODOLOGÍA

Dentro de esta sección, se presentan los procedimientos y metodologías dispuestas para la determinación de los datos y las medidas de las variables acústicas necesarias dentro de la investigación. Se inicia con la descripción de la fuente usada, luego se presentan las características de los entornos donde se desarrolló la medición. Después se expone en detalle el método de medida usado sobre el altavoz, así como la reproducibilidad del protocolo usado.

A. Consideraciones generales

1) Descripción de la fuente bajo estudio

Dentro del proceso de desarrollo del protocolo es importante hablar de las características de la fuente bajo estudio. Según se presenta en [26], el altavoz *Genelec 1032A* es un monitor de estudio de campo cercano, de dos vías y activo; las frecuencias bajas son reproducidas por un *driver* de 10 pulgadas [*in*] mientras que las frecuencias altas se reproducen a través de un *tweeter* de 1 [*in*], ambos montados en una caja ventilada de 24 litros [*L*], la respuesta en frecuencia de este altavoz en campo libre se extiende desde los 42Hz hasta los 21kHz. En la *figura 12* se observa el aspecto físico del altavoz. En el *anexo A* puede encontrarse de manera más detallada información y especificaciones técnicas adicionales de dicho altavoz.



Fig. 12. Altavoz Genelec 1032A.

Fuente: Genelec Oy. "Operation manual Genelec 1032A Monitoring Speaker". (2003) [Online]. Disponible en: <https://goo.gl/TbTQ0O>, Fecha de consulta: Mar. 25, 2017.

La configuración del altavoz siempre fue la misma durante todas las mediciones, los controles de tono (*treble tilt control*, *bass tilt control* y *bass roll-off*) ubicados en la parte trasera se mantuvieron en estado *off* dado que estas son las recomendaciones que el fabricante proporciona para una respuesta anecoica plana, así mismo el control de sensibilidad de entrada (*input sensitivity control*) se mantuvo durante todas las medidas en -6 decibeles de señal [*dB*U] (ref. 0.7746 voltios).

2) Entornos de medición

Las mediciones de intensidad mediante la sonda *Microflown* se realizaron en la sala de grabación del Estudio A de la Universidad de San Buenaventura Medellín sede San Benito, este lugar fue seleccionado debido a que es uno de los lugares donde se puede mantener un ambiente controlado en cada una de las mediciones. Además, buscando establecer reproducibilidad en la metodología desarrollada se realizaron mediciones en un ambiente diferente al del Estudio A, por lo que el lugar seleccionado fue el salón 502E, también ubicado en la misma sede de la universidad. A continuación, se presentan algunas características de estos dos espacios.

1) Estudio A

Buscando establecer una medición de referencia, se seleccionó la sala de grabación del Estudio A, dentro de ella se pueden mantener controladas las condiciones ambientales, su criterio de construcción y adecuación lo hacen un espacio con bajos niveles de ruido de fondo, además presenta tiempos de reverberación cortos en gran parte del espectro de frecuencias. Este lugar presenta un volumen aproximado de 59.2 m^3 , dado su diseño acústico las diferentes superficies que lo conforman tienen diversas características; en el techo se presenta un arreglo de difusores y material absorbente, al igual que sus paredes; el piso está recubierto con madera; posee además un visor de vidrio que facilita la comunicación con la sala de control, en la *figura 13* se observa una imagen del lugar. Antes de las mediciones del altavoz con la sonda *P-U* se evaluó el nivel de ruido de fondo y el tiempo de reverberación de esta sala, los datos se muestran con detalle en el *anexo B.1*. Las *figuras 14(a)* y *14(b)* muestran respectivamente los niveles de ruido de fondo y los tiempos de reverberación obtenidos de las mediciones previas en este lugar.

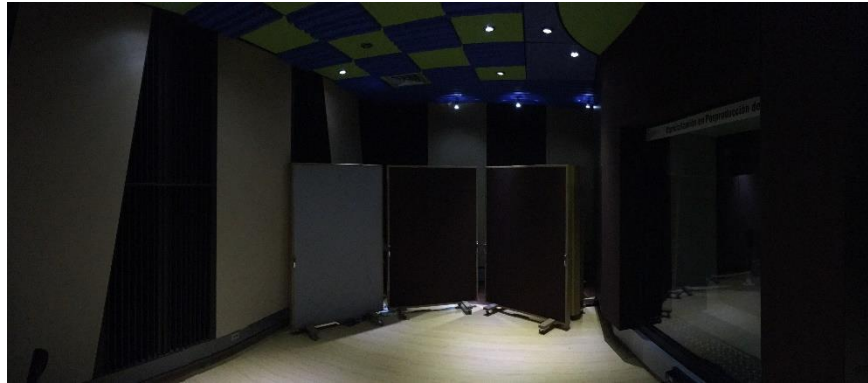
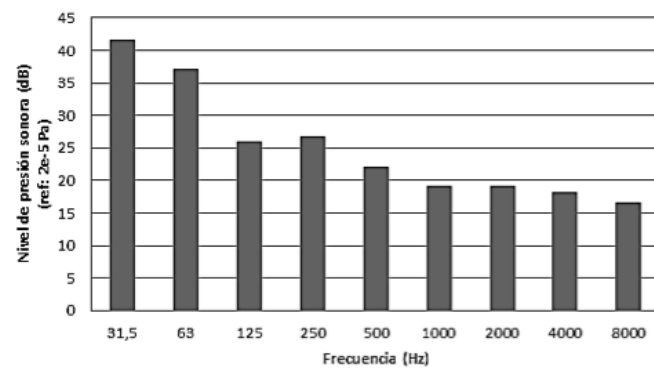
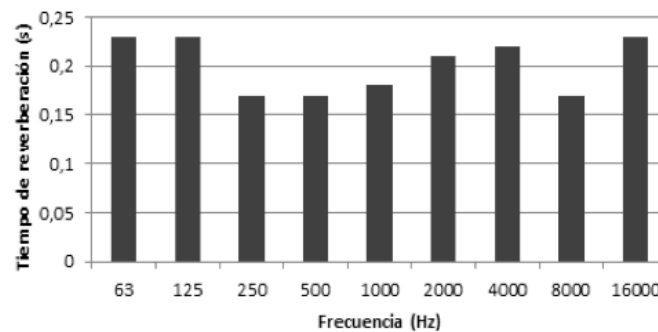


Fig. 13. Sala de grabación del estudio A.

Fuente: Elaboración propia.



(a)



(b)

Fig. 14. Mediciones previas en la sala de grabación del Estudio A. (a) Niveles promedio de ruido de fondo por bandas de octava. (b) Tiempos de reverberación medidos por banda de octava.

Fuente: Elaboración propia.

m) Salón de clases 502E

Considerando nuevamente lo que se menciona en [5], una de las características de funcionamiento de la sonda *P-U* es que permite desligar de los datos medidos las contribuciones de fuentes diferentes a la que se está estudiando. Por esta razón se decide medir en un entorno en el que no se puede tener directamente control sobre las condiciones acústicas y ambientales, con el objetivo de determinar si se presenta algún tipo de influencia en el proceso de captura de datos. Este es un lugar usado generalmente para impartir clases, tiene una forma rectangular con un área superficial total de aproximadamente 204.41 m², en la *figura 15* se observa una imagen del salón. Previamente se evaluó ruido de fondo y tiempo de reverberación buscando obtener una caracterización acústica de este salón. Las *figuras 16(a)* y *16(b)* muestran respectivamente los niveles de ruido de fondo y los tiempos de reverberación obtenidos de las mediciones previas en este lugar. En el *anexo B.2*, se presenta en detalle el procedimiento y los demás datos obtenidos de esta evaluación.



Fig. 15. Salón de clases 502E.

Fuente: Elaboración propia.

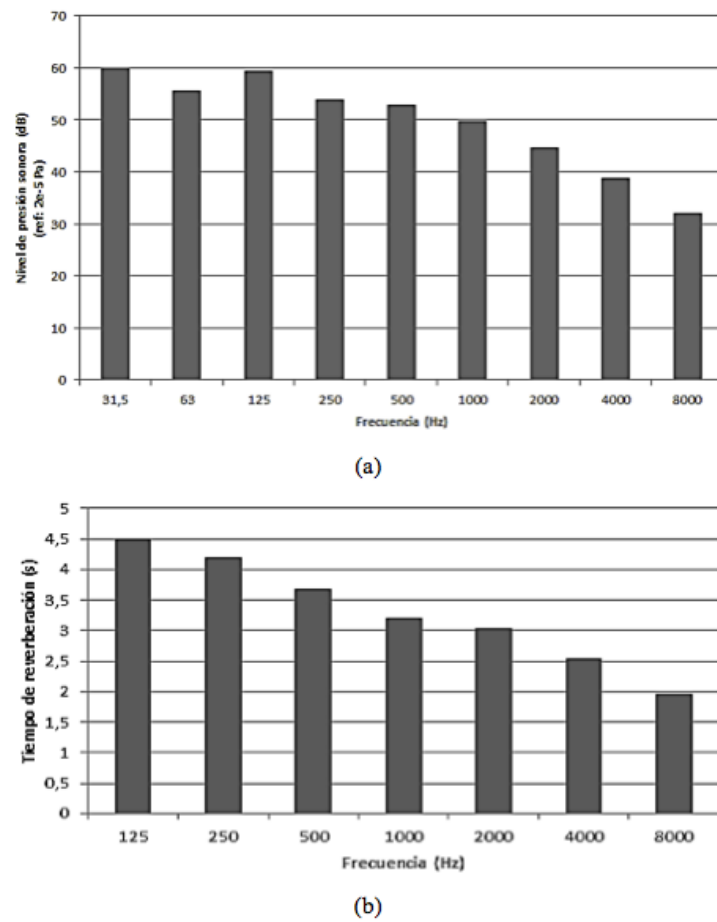


Fig. 16. Mediciones previas en el salón 502E. (a) Niveles promedio de ruido de fondo por bandas de octava. (b) Tiempos de reverberación medidos por banda de octava.

Fuente: Elaboración propia.

B. Protocolo de medición

1) Descripción del sistema de medición

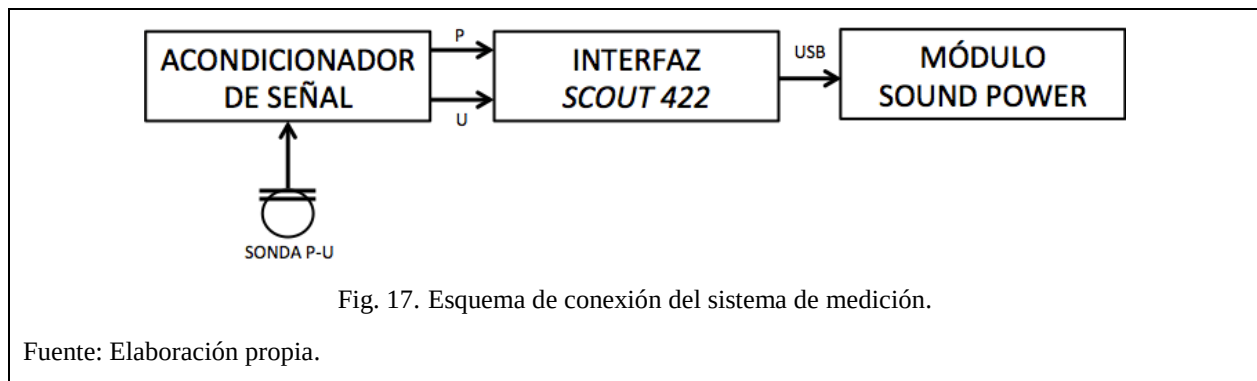
n) Sonda P-U

La herramienta dispuesta para la medición de los datos necesarios dentro de la investigación fue la sonda de intensidad P-U de la empresa *Microflown*. La Universidad de San Buenaventura seccional

Medellín cuenta con la versión estándar de dicha sonda, la cual se compone de los siguientes elementos:

- Sensor de presión y velocidad de partícula.
- Acondicionador de señal
- Interfaz *Scout 422*
- Módulo *Sound Power - Velo software*
- Cableado de conexión

Dichos elementos en conjunto, permiten la adquisición de los datos necesarios para calcular las variables acústicas y a partir de ellas, representar el campo vectorial normal de intensidad y estimar los descriptores de radiación de un altavoz. En la *figura 17* se presenta el diagrama de conexionado entre los elementos de la sonda *P-U*.



Como se plantea en [27] la calibración es una de las cuestiones más importantes de las mediciones, pues permite determinar la calidad de la medición. El objetivo de la calibración en una sonda *Microflow* es averiguar cuanto es la salida de voltaje cuando una determinada señal acústica se aplica a esta; los valores obtenidos describen la sensibilidad y la fase tanto del sensor de presión sonora como del sensor de velocidad de partículas. Según [3], la calibración de una sonda *P-U* se realiza al momento de fabricarse, debiendo volverse a realizar cada cierto tiempo.

o) Aspectos del Sound Power respecto del Scan & Paint

Las ventajas del software *Sound Power*, o por lo menos las que influyeron en la selección de este contra el software *Scan & Paint* son las siguientes:

- El tiempo de integración por punto de medida es superior y configurable, por tanto, hay muchas más muestras dentro del tiempo de medición por punto, por esto, los ruidos de tipo impulsivo de fuentes ajenas que se realicen durante la medición no contribuyen en gran medida al total de las magnitudes obtenidas del punto de estudio, en contra parte con los reducidos tiempos por punto de medición que analiza el *Scan & Paint* que contribuyen a un menor control durante la medición, lo que puede ocasionar falsas fuentes en la holografía acústica. Por ello, utilizando la herramienta *Sound Power* se tienen resultados que aproximan mejor el comportamiento de la radiación de la fuente estudiada. Además, cada punto medido puede ser reescrito durante la medición, lo que facilita obtener y estudiar los resultados arrojados por cada punto.
- La forma en que se realiza la adquisición de datos no interfiere en la medición, debido a que este utiliza solo un punto fijo que es central al segmento de cada cara y que requiere un posicionamiento firme y no variable durante el tiempo de medida, por lo que resulta más simple posicionar la sonda con una base de micrófono y unas pinzas modificadas para reducir el ruido por transmisión.
- Principalmente esta herramienta fue seleccionada por encima del *Scan & Paint* debido a que la forma en cómo se mide (a partir de un paralelepípedo según [5] y [21] comprende la ventaja de tener únicamente el campo sonoro dentro de la superficie en la que se encierra la medición. Esto se realiza con la particularidad de la adquisición de los valores de velocidad de partícula y la dirección positiva (dada por el posicionamiento de la sonda) en dirección normal a la superficie *Gaussiana*.

Con *Sound Power* el tiempo de medición y procesamiento de datos es más extenso que con *Scan & Paint*, esto no representa una intervención directa en los resultados de las magnitudes cuantificadas durante la medición, por lo tanto, los datos obtenidos a partir de este software son más convenientes para el tipo de medición que se busca en esta investigación.

p) Señal de prueba

A partir del estudio previo de las señales con las que se miden patrones directivos y características acústicas del altavoz, se encontraron señales de prueba como tonos puros, señales *sine sweep*, ruido rosa y ruido blanco. Pero comprendiendo el fin de establecer una metodología de medición bajo el uso de una sonda p-u, se entiende que lo más aceptable es trabajar con ruido rosa, debido a que este posee igual intensidad por banda de octava lo que asegura igual energía para cada banda a estudiar, igualmente, los valores finales obtenidos de la medición serán normalizados para obtener los patrones directivos. Por tanto, para este procesamiento no será de gran repercusión la elección de la señal de prueba. Pero para la medición es importante que el nivel emitido por la fuente en todas las bandas sea de igual magnitud, debido a que esto asegura una comparación por banda de octava en cuanto a la señal emitida por el altavoz y la señal capturada por la sonda.

El modulo generador de señales está compuesto por un *DAW (Digital Audio Workstation)* y una interfaz de audio, mediante estos dos componentes es posible producir la señal de prueba y direccionarla al altavoz bajo estudio. A continuación, se presenta una lista con el equipamiento necesario. En la *figura 18* se presenta un diagrama con el conexionado de los equipos.

- Computador.
- REAPER 5.28.
- Interfaz de audio Mobil Pre-USB.
- Cable de audio TRS a XLR macho.



Fig. 18. Esquema de conexión del sistema generador de ruido rosa.

Fuente: Elaboración propia.

El ruido rosa es generado a partir del *plug-in Pink Noise Generator*. Dentro de este se configuró el modo de trabajo en monofónico (*Mode: Mono*) y el nivel de salida en 0dB (*Output: 0dB*). Los parámetros *Noise* y *DRY* se dispusieron bajo la configuración por defecto dado que su función es controlar el nivel de salida.

2) *Montaje de medición*

Antes de disponer de algún tipo de configuración es importante considerar ciertos aspectos que intervienen directamente en la disposición de los elementos usados para la medición del altavoz bajo estudio.

- Distancia y superficie de medida:

Se consideró apropiado medir bajo condiciones de campo cercano, de manera que la señal medida no hubiera experimentado reflexiones provenientes de la sala. Para esto se procedió a estimar la distancia hasta donde se mantuviera dicha condición. Se montó el altavoz en una base para monitor y se realizaron mediciones de nivel de presión sonora sobre su eje acústico utilizando el sonómetro *CESVA SC310*. Dichos niveles fueron medidos con ponderación en frecuencia *Z* y con ponderación temporal lenta (*SLOW*). En la *tabla I* se muestran los resultados medidos en la sala de grabación del estudio A y en el salón 502E. A partir de estos resultados se evidencia que se mantienen condiciones de campo cercano para distancias de hasta 0.6m de la fuente bajo prueba. En el *anexo E* se incluyen los certificados de calibración del sonómetro.

TABLA I. MEDICIONES DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA A DIFERENTES DISTANCIAS PARA COMPROBAR CONDICIONES DE CAMPO CERCANO.

LUGAR	DISTANCIA (m)	NIVEL (L_{sf} , dB)
Sala grabación del estudio A	0,15	93
	0,3	87.4
	0,6	81.2
Salón 502E	0,15	94.2
	0,3	88.5
	0,6	82.2

La superficie se estableció de tal forma que las distancias de medida a todas las caras del altavoz se encontraran dentro del campo cercano de la fuente, además existían limitaciones en el tamaño debido a la altura de uno de los lugares de medida. De acuerdo a esto, se definió una distancia aproximada de 0.3m y una superficie con dimensiones de: 0.9m de altura, 0.9m de ancho y 0.9m de profundidad. La *figura 19* presenta la vista superior y lateral de la configuración superficie-altavoz en donde se pueden observar las distancias a las que se midió en cada cara.

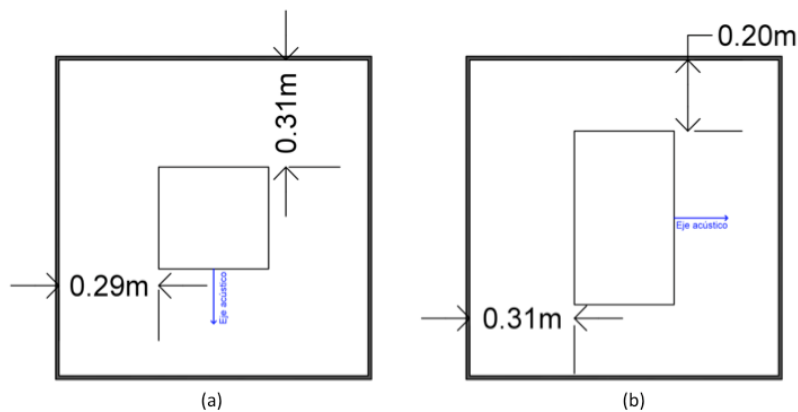


Fig. 19. Configuración superficie de medición - altavoz. (a) Vista superior. (b) Vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

El número de segmentos de medición se eligió de acuerdo su influencia para el cálculo del indicador de no uniformidad del campo, $F4$. Se requiere aumentar la cantidad de segmentos si se presenta mucha variación de ruido de una posición a otra [17]. Considerando lo anterior se optó por segmentar cada cara en 25 partes, obteniendo al final un total de 125 puntos de medición, debido a que la base, aunque permitía elevar la fuente, no permitía realizar una medición sobre el punto central de la cara inferior de la superficie cúbica, por tanto, se removi6 la cara inferior de las mediciones. El tener un número impar de segmentos en cada uno de los lados del paralelepípedo facilitó la medición justo sobre el eje acústico del altavoz.

La fabricación de una superficie paralelepípeda conllevaba ciertas limitaciones en cuanto a estabilidad y movilidad, por lo que se optó por construir una cuadrícula de madera liviana con dimensiones iguales a las de las caras de la superficie e hilo de nylon de 0.3mm de diámetro para segmentarla. La *figura 20* muestra en detalle las características de la cuadrícula construida.

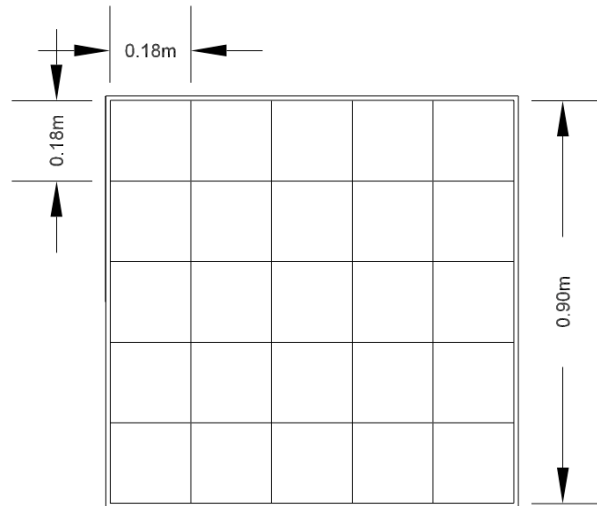


Fig. 20. Rejilla guía usada para la medición en cada una de las caras de la superficie.

Fuente: Elaboración propia.

- Montaje del altavoz:

Según las recomendaciones presentadas en [21], la fuente bajo prueba debe estar ubicada de manera apropiada, es decir, que este instalada bajo condiciones representativas de uso normal. Por lo tanto, el altavoz *Genelec 1032A* fue montado sobre una base de acero para monitores de estudio. Este elemento tiene como características principales: altura variable (1m; 1.2m; 1.3m; 1.4m y 1.5m), capacidad de peso de 45 kilogramos (*kg*), plataforma para la ubicación del altavoz con relleno suave de goma que reduce las vibraciones. La medición se llevó a cabo a una altura de 1.2m. En la *figura 21* se presenta una imagen de la base utilizada para suspender el altavoz.



Fig. 21. Base utilizada para la suspensión del monitor Genelec 1032A.

Fuente: On Stage Stands. SMS6000-P Studio Monitor Stand. [Online]. Disponible en: <https://goo.gl/Q73GG5>, Fecha de consulta: May. 5, 2017.

- Elementos de agarre y fijación:

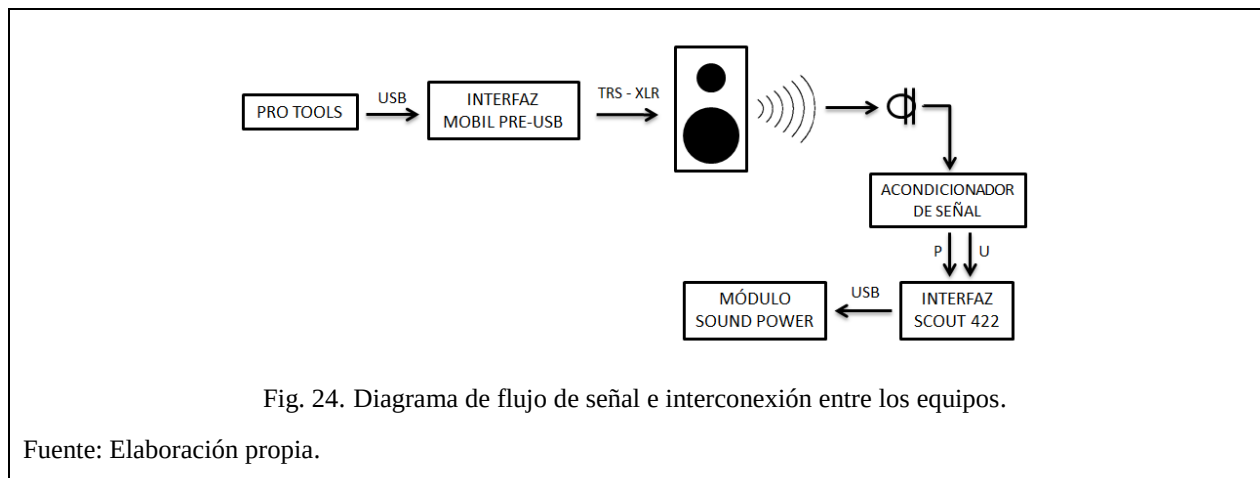
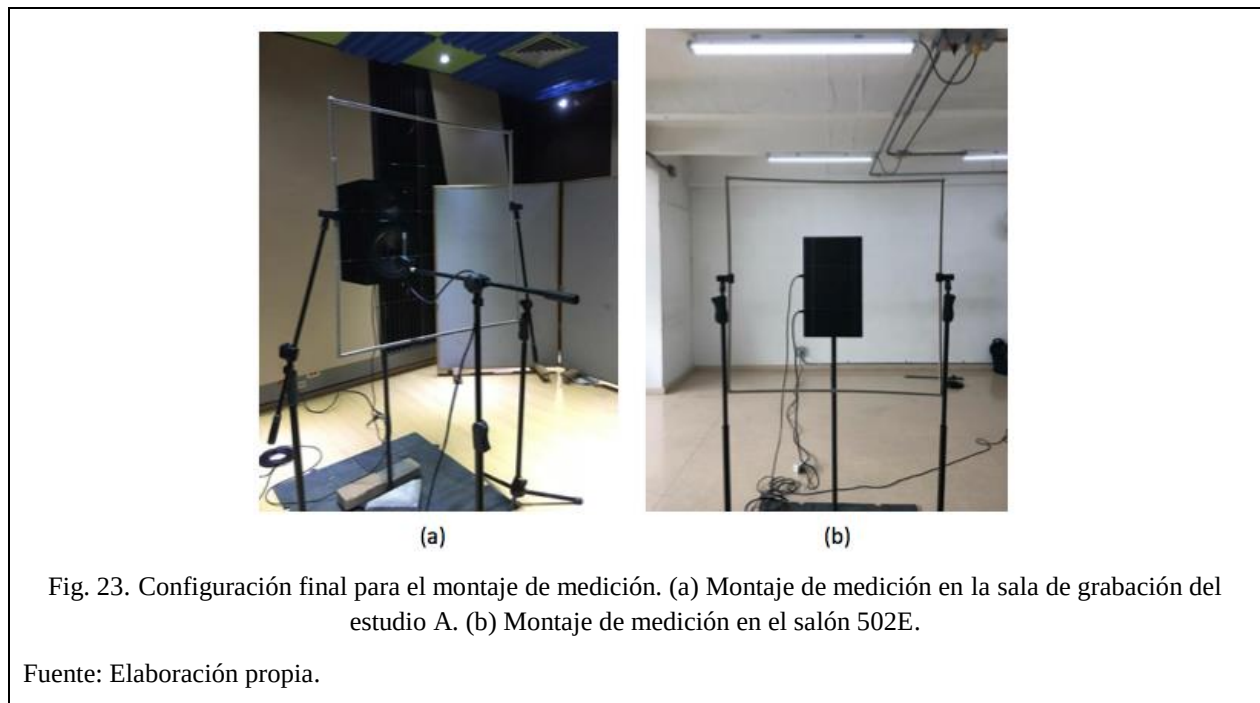
De forma que se asegurara la menor influencia humana posible sobre el proceso de adquisición de datos se utilizaron tres pinzas y tres bases de micrófono con angulación y altura variable, de manera que se pudiera suspender tanto la sonda como la cuadrícula de medición en el lugar que fuera necesario. En la *figura 22* se observan los elementos utilizados.



Fig. 22. Objetos de agarre y fijación para la cuadrícula y la sonda P-U. (a) Base de micrófono con altura variable.
(b) Pinza de micrófono con angulación variable.

Fuente: Hercules Stands. Clutch Tripod Microphone Stand. (2003) [Online]. Disponible en: <https://goo.gl/i7Qjjl>, Fecha de consulta: May. 5, 2017.

Se soportó el altavoz sobre la base y se dispuso de manera concéntrica con la rejilla construida, tal como se mostró en la *figura 19*. La cuadrícula de medición se suspendió a partir dos bases de micrófono mediante las cuales se generaba firmeza y precisión en los desplazamientos. La base restante fue usada para soportar el sensor P - U , la cual debía ser ubicada de forma paralela a la superficie. La configuración final de los elementos y un diagrama de interconexión entre ellos se pueden apreciar en las *figuras 23 y 24* respectivamente.



3) *Ajustes del Sound Power*

Como se mencionó anteriormente y tal como se presenta en [17], el software *Sound Power* tiene un flujo de trabajo establecido. A continuación, se describe la configuración realizada en cada una de las pestañas que se disponen en el software.

- HW setup:

En esta pestaña mostrada en la *figura 25* se da inicio a las configuraciones previas necesarias para desarrollar la medición. El submenú *Global Settings* permite establecer la ruta en la cual se van a almacenar los archivos de medición y de proyecto, así como definir los parámetros atmosféricos del lugar de medición: temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad relativa, densidad del aire y velocidad del sonido. Dentro la sección *Signal Acquisition Settings* se configuran las entradas y salidas de acuerdo a la interfaz y al acondicionador de señal con que se disponga, la frecuencia de muestreo de la señal y el rango de canales de la interfaz que será usado. La sección *Sensor Setup* permite establecer configuraciones particulares sobre el sensor *P-U*; si el sensor se encuentra conectada y disponible para medir se va a encontrar resaltado en color verde, al dar doble clic sobre este se abrirá una nueva ventana en la cual se ingresan los valores de calibración de los sensores de presión y velocidad de partícula suministrados por el fabricante en el reporte de calibración presentado en el *anexo C*.

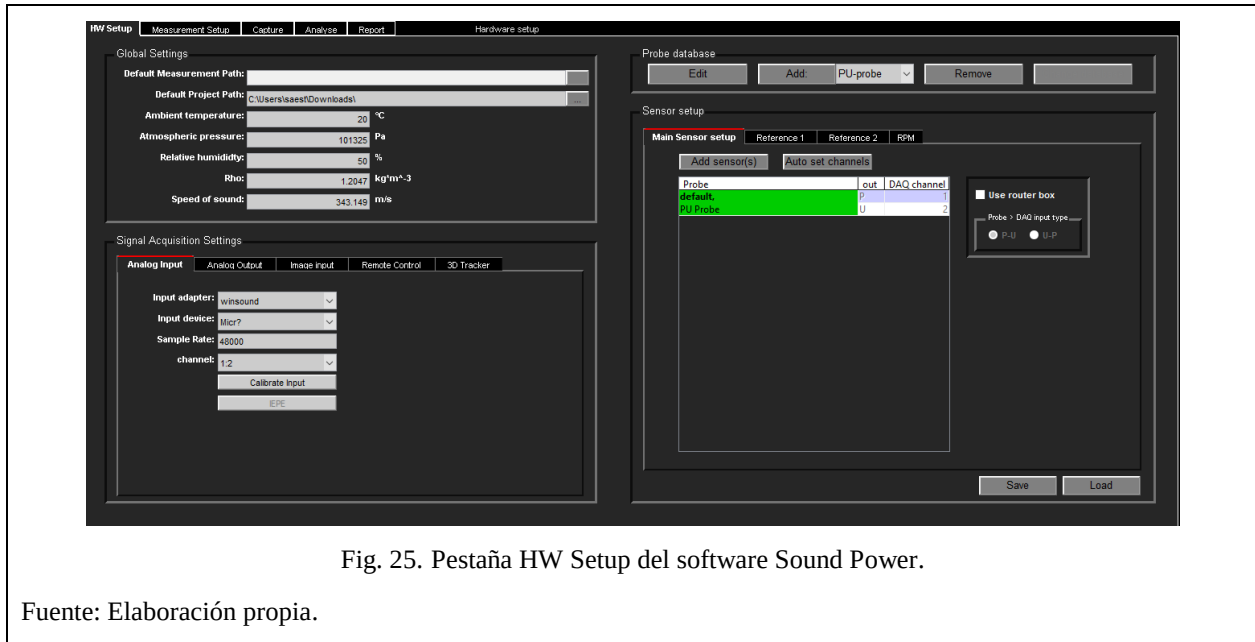


Fig. 25. Pestaña HW Setup del software Sound Power.

Fuente: Elaboración propia.

- Measurement setup:

Antes de poder realizar cualquier tipo de ajuste y poder activar las funcionalidades de esta pestaña es necesario tener definida una superficie de medición, la cual se crea a partir del *3D Editor*, mostrado en la *figura 26*. Se encuentra en la barra de menú principal del *Sound Power* (*Tools -> 3D Editor*). Debido a limitaciones de desarrollo del software, únicamente se pueden crear superficies paralelepípedas, los parámetros de configuración considerados dentro de la creación de la superficie son la longitud y el número de segmentos en los ejes X, Y y Z. Es importante aclarar que la selección de las dimensiones y del número de segmentos de la superficie tendrá efectos sobre la calidad de los resultados dado que la distancia de medición y el número de posiciones tienen influencia en los controles establecidos por los indicadores de campo. Una vez sea establecida la superficie, se procede a guardarla en un directorio.

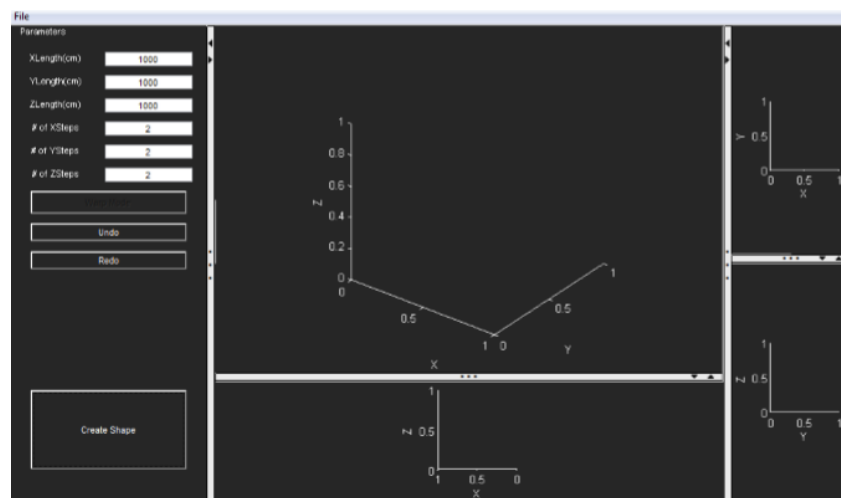


Fig. 26. 3D Editor del software Sound Power.

Fuente: Elaboración propia.

Al volver nuevamente a la pestaña *Measurement setup*, mostrada en la figura 27 se realiza la importación de la superficie creada, mediante el botón *Shape*, ubicado en el menú principal de herramientas. Allí se selecciona el archivo (.shape) generado y se carga en el *Sound Power*.

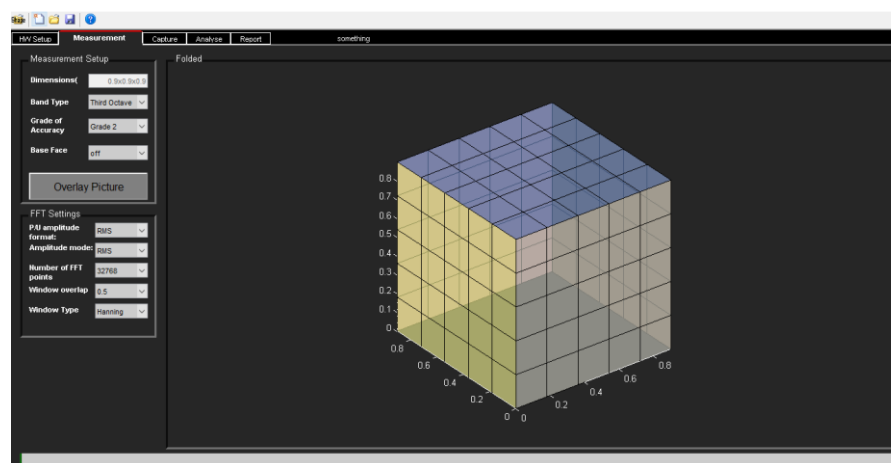


Fig. 27. Pestaña Measurement del software Sound Power.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizarse el procedimiento anterior, se habilitan las opciones de configuración de la medición en los menús desplegables que se encuentran en la parte izquierda de la ventana. Allí se encuentran las opciones de:

- *Band Type*: Permite seleccionar si el análisis se va a realizar en tercios o en bandas de octava.
- *Grade of accuracy*: En esta opción se selecciona la categoría de precisión que tendrá la medición, de acuerdo a los grados de exactitud establecidos en la norma *ISO 9614*.
- *Base face*: Permite decidir si se activa o desactiva la cara de la base del paralelepípedo, es decir si se medirá en las 6 caras del cuboide o únicamente en 5 de ellas.

De manera que el proceso de medición pueda hacerse más fácil es posible cargar y sobreponer imágenes de la fuente bajo prueba en las caras de la superficie creada. Esto puede realizarse a partir del botón *Overlay Picture*, se abre una ventana nueva y se asignan las imágenes a cada una de las caras de interés.

- **FFT settings:**

Los parámetros que se encuentran en esta sección están relacionados con la forma en que se realiza el análisis de la señal medida. Estos son:

- *P/U amplitude format*: Permite seleccionar si se desea expresar el espectro en frecuencia de *P* o *U* como un espectro de potencia o como su raíz cuadrada.
- *Amplitude mode*: Define el tipo de señal que se ingresa al sistema, pico (*peak*) o RMS.
- *Number of FFT points*: Posibilita la selección de la cantidad de puntos de análisis de la *FFT*. Entre mayor sea el número, será necesaria una ventana de tiempo más amplia para realizar los cálculos.
- *Overlap*: Permite definir cuanto será la parte de la ventana de tiempo que se superpondrá con la ventana inmediatamente anterior.
- *Window type*: En esta opción se puede seleccionar el tipo de ventana temporal que se desee usar para el análisis de la señal.

- Capture:

Esta pestaña está dividida en 5 secciones como se muestra en la *figura 28*, en las que se realiza la selección, el monitoreo, la adquisición, el almacenamiento y la validación de los datos con los indicadores de campo.

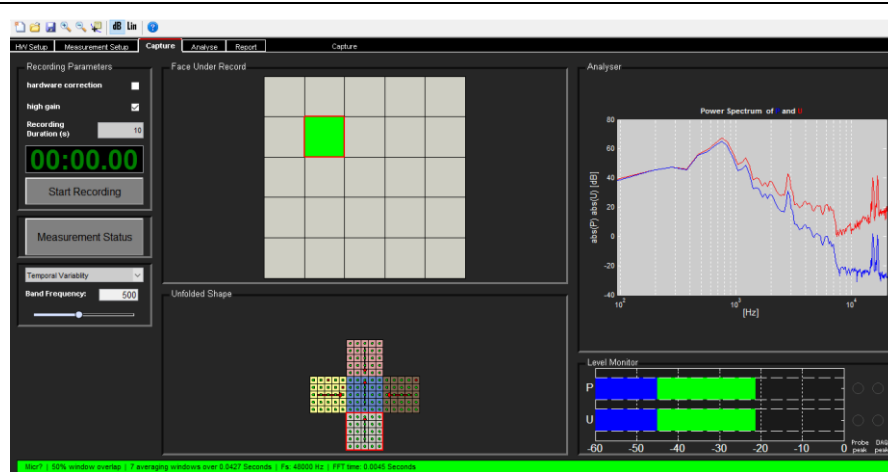


Fig. 28. Pestaña Capture del software Sound Power.

Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente se configuran los parámetros de registro, pues una vez sea iniciada la medición estos no pueden ser cambiados. En caso de que la ganancia de entrada necesite ser ajustada se cuentan con los parámetros *hardware correction* y *high gain*, el primero de ellos genera una corrección de la señal a partir de los filtros analógicos implementados en los circuitos electrónicos del acondicionador de señal, cuando este seleccionada la opción *high gain* el acondicionador de señal amplificará las señales por un factor de 40dB.

La opción *Recording duration* permite seleccionar el tiempo de medición en cada uno de los segmentos de las caras. El tiempo seleccionado debe estar dentro del rango entre 8 y 12 segundos, de acuerdo a como lo establece la norma *ISO 9614*. El tiempo de medida también afecta directamente los resultados del control de calidad realizado a partir de los indicadores de campo.

El proceso de adquisición de datos comienza con la selección de una de las caras mostradas en *Unfolded shape*, luego debe escogerse el segmento de cara que se desea medir, la

selección del segmento a medir se realiza en la sección *Face Under Record*. Una vez se indique el segmento y se ubique la sonda en una posición correcta se presiona el botón *Start Recording* para iniciar las medidas. Este mismo procedimiento se realiza para cada una de las caras y sus respectivos fragmentos, al finalizar la medición cada uno será marcado con un punto de color que aparecerá en la celda de segmentos del panel *Unfolded Shape*, estos puntos dan un rápido análisis de dos indicadores de calidad: Variabilidad temporal (*F1*) y Error de reactividad (*F5*) pueden tener 3 colores, verde, para los datos que pasan el criterio de calidad y aportan al cálculo del total de la potencia, amarillo, para los datos que pasan el criterio de calidad, pero por su cercanía con el umbral de paso no son tenidos en cuenta para el total de potencia, y rojo para aquellos segmentos que no pasaron el criterio de calidad. La barra verde horizontal ubicada en la parte baja de la ventana también es un indicador del avance de la medición.

Existen 2 paneles más dentro de esta pestaña que permiten realizar control de las señales que se están midiendo. Uno de ellos es el *Real time analyzer* que muestra una gráfica de frecuencia (Hz) contra nivel (dB) para la presión y la velocidad de las partículas. El panel *Level monitor* permite hacer seguimiento de los niveles de las señales de *P* y *U*, cuando alguna de las señales exceda el rango máximo de nivel en la sonda o la interfaz se encenderá un indicador de color rojo.

- **Analyse:**

Esta pestaña contiene el procesamiento de los datos registrados en la medición evaluados con el tipo de interpolación que se configure en el menú de opciones (Lineal, natural o cercana), por defecto será lineal, y se muestra en una escala de colores las intensidades de las magnitudes medidas. Posee una barra de herramientas en las que se encuentran las opciones para exportar los datos en archivo *Excel* o en formato *.txt*, herramientas para visualizar los datos en el espectro de frecuencias de forma lineal o logarítmica, un *switch* para variar entre los datos con ponderación *A* y sin ponderación y finalmente un menú desplegable en el cual se selecciona la unidad medida a analizar, como se muestra en la *figura 29*.

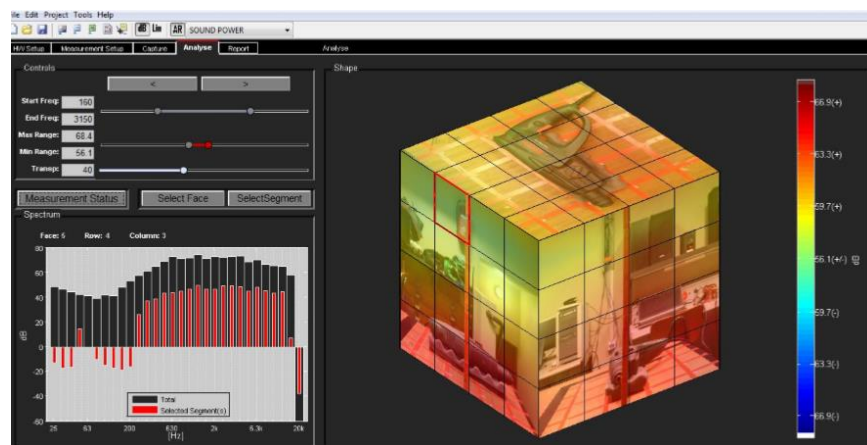


Fig. 29. Pestaña Analyse del software Sound Power.

Fuente: Elaboración propia.

Las variables que puede analizar son:

- Sound Power
- Sound Power("A" Weight)
- Intensity
- Intensity(+/-)
- Reactive Intensity
- Reactive Intensity(+/-) (Re/Im)
- Pressure
- Pressure (A)
- Particle Velocity
- Phase P-U
- Coherence

La pestaña *Analyse* se divide en 3 paneles. El primero, *Shape* nos permite una visualización en 3D de las 3 caras del cubo, en este, se superpone una holografía acústica que representa por calidez de color, la amplitud de la unidad que se está visualizando. Es posible rotar el cubo para tener una mejor comprensión de la distribución de la energía en cada una de las

caras y además se facilita una barra de color a la derecha en el cual se asocia a cada rango de color un valor, según sea la energía máxima y mínima en todo el cubo, una cara, o un segmento si se desea.

El panel *Controls* ubicado a la esquina superior izquierda contiene las acotaciones en frecuencia y decibelios en los cuales se mostrará el gráfico del cubo en las 3 caras. Este panel permite posicionar la frecuencia de interés que se desea visualizar, o hacer un recorrido de las frecuencias específicas en saltos de tercios de octavas, en octavas completas o seleccionando una frecuencia en específico para el análisis de la radiación en el plano medido.

Finalmente se encuentra el panel *Spectrum*, el cual muestra la información en un gráfico de barras de la energía asociada a la unidad seleccionada del menú desplegable de la barra de herramientas en tercio de octavas dependiendo de la selección dentro del cubo, por tanto, puede mostrar los datos de todo el cubo, de una cara, o un segmento en particular, además de brindar las coordenadas de cara en la que se ubica, fila y columna para una posterior manipulación de los datos. Una característica relevante de este panel es que se puede obtener información de una selección en particular y compararla con otra; es decir, se puede obtener el gráfico de barras por tercio de octavas de un segmento, y compararlo con el gráfico del resto de la cara, igualmente se puede hacer con la representación de una cara y compararla con el resto del cubo.

Al conocer las configuraciones necesarias para el software y sus repercusiones sobre los resultados obtenidos, se hace necesario presentar el recuento de los ajustes previos al proceso de adquisición de datos, en la *tabla II* se muestra cada uno de ellos.

TABLA II. CONFIGURACIONES PREVIAS A LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MÓDULO SOUND POWER.

PESTAÑA	SECCIÓN	AJUSTE	SELECCIÓN	OBSERVACIONES
HW Setup	Global Settings	Default project Path	-	Se mantuvo la ruta especificada por defecto
		Ambient temperature	20 [°C]	
		Atmospheric pressure	101325 [Pa]	
		Relative humidity	50%	
		Rho	1.2047 [kg*m ⁻³]	Se calcula automáticamente al ingresar la temperatura
		Speed of sound	343.149 [m/s]	Se calcula automáticamente al ingresar la temperatura
	Signal Acquisition Settings	Input adapter	dtol	
		Input device	Scout 422 (00),	Dentro de esta sección se requiere únicamente configurar la pestaña Analog Input
		Sample rate	48000	
		Channel	0:1	
Measurement	Measurement Setup	Band Type	Third Octave	
		Grade of Accuracy	Grade 2	Especificado como "Precisión de ingeniería"
		Base Face	off	Medición en la cara inferior deshabilitada
		P/U amplitude format	RMS	
	FFT Settings	Amplitude mode	RMS	
		Number of FFT points	32768	
		Window overlap	0,5	
		Window Type	Hanning	Este tipo de ventanas tienen una buena resolución en frecuencia y menor fuga espectral.
Capture	Recording Parameters	Hardware correction	Check	Debe estar activado el switch en la interfaz
		High gain	Check	Debe estar activado el switch en la interfaz
		Recording duration (s)	10	

4) *Medición in situ*

Una vez configurados los parámetros para la medición se procede a evaluar la distancia crítica del recinto, esta es la variable que discrimina la distancia máxima a la cual se puede realizar la medición y en consecuencia las dimensiones máximas que puede tener la superficie de medición, puesto que es de vital importancia encontrarse en campo cercano para la comprobación de los datos. La distancia mínima se verá reflejada en el campo reactivo de la fuente y además, estos valores variarán según el rango de frecuencias de interés. Así, a mayor rango de frecuencia (o al incluir frecuencias con longitudes de onda muy grandes) la distancia máxima se verá reducida.

Además, es de gran importancia para la aproximación de los datos de presión, realizar una medición de comprobación de campo cercano; para ello, es necesario asegurar una atenuación igual a 6 dB cuando se duplica la distancia a la fuente.

Una vez obtenidas las distancias a las cuales es seguro realizar la medición, se enmarca la superficie y cada uno de sus segmentos para pasar al proceso de medición en cada uno de los segmentos durante el tiempo establecido en el software.

C. Procesamiento de datos

1) Extracción de datos medidos

Para esto es necesario considerar que las magnitudes de las cifras arrojadas por el software se limitan a un punto central por segmento. Este valor en el punto asociado al segmento, reúne la información de la medición realizada integrada en el tiempo establecido en la pestaña *Capture* (de 8 a 12 segundos).

Entendiendo que los datos extraídos contienen la información de un punto central por segmento, en cada una de las caras medidas, se procede a obtener las unidades requeridas en las frecuencias que se desea procesar la información, para ello, la herramienta posee varias configuraciones, en las que se presenta tipos de ponderación (tipo Z o tipo A), escala de referencia (Lineal o logarítmica) y presentación en la octava deseada con la suma energética asociada (por octavas, tercio de octavas o por las frecuencias seleccionadas dentro del rango de captura de la herramienta).

A partir de esto, se genera un archivo tipo *.txt* o *.xls*, en donde se presentan las cifras obtenidas de la medición en diversos libros. Primeramente, se encuentra una pestaña con todos los metadatos y configuración inicial de la medición en donde se muestra la información del proyecto: Nombre, fecha y seriales, además de las propiedades de la superficie de medición: dimensiones, número de segmentos, duración del tiempo de grabación por segmento y tipo de extracción por banda. Se muestra además la forma como será analizada la información por el software: Número de puntos *FFT*, *Overlap* de la ventana, tipo de ventana, grado de exactitud, referencia de la presión y de la

velocidad de partícula. También se brindan los parámetros atmosféricos configurados durante la medición: Temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad relativa, impedancia (Rho) y velocidad del sonido.

En el segundo libro del archivo de extracción de datos, se presenta un resumen de la medición con los valores más relevantes para el *Sound Power* presentados por la banda seleccionada. Los valores en cada una de las frecuencias de potencia sonora y los indicadores de campo hacen parte de este inciso, además se muestra la dirección del campo obtenido de la potencia sonora, representado con un signo positivo o negativo que se asocia y es afectado en gran medida por la manipulación de la dirección de la sonda, fuentes externas de impacto de amplitud relevante durante la medición y reflexiones de la sala consideradas por medir a una distancia grande y alejado del campo directo de la fuente sonora de estudio. Los indicadores de campo que se presentan son: el índice de no uniformidad, el error de reactividad, los valores C asociados al grado de exactitud de la medición, la incertidumbre (s) que proporciona el valor C , una verificación del ancho de banda por el tiempo de medición mayor a 400 para el indicador de campo $F1$, verificación del número de segmentos significativos para cada una de las magnitudes requeridas para la potencia sonora y el indicador de campo $F4$ y una última verificación del indicador $F5$ menor a 2 veces la incertidumbre obtenida anteriormente para el análisis de las frecuencias en las cuales se tomaron cifras significativas para el error de reactividad.

En los libros siguientes se presentan las magnitudes asociadas en cada uno de los puntos de medición por frecuencias según la banda seleccionada en la extracción de los datos; las unidades vectoriales tienen asociadas su respectiva dirección representada con +1 o -1 en una matriz aparte. Las unidades arrojadas son: potencia sonora, intensidad, presión, velocidad de partícula, intensidad reactiva, fase $P-U$ e indicadores de campo $F1$ y $F5$. En caso de tener una medición sin la cara inferior del paralelepípedo, la primera cara y sus segmentos tendrán asociado un valor igual a 0 o "NaN".

2) Consideraciones del algoritmo

Para la realización del algoritmo de procesamiento de datos se tiene en cuenta que los datos obtenidos no están interpolados ni poseen un procesamiento de relleno dentro de la rejilla, por tanto, si se desea obtener la representación de la holografía acústica en todo el plano, se puede recurrir a algún tipo de método de aproximación de fronteras conociendo los puntos dentro de la superficie de interés (Puntos de las mediciones realizadas), estos métodos pueden ser algoritmos tipo *BEM* (*Boundary Element Method*), *FEM* (*Finite Element Method*) o *SDM* (*Spectral Domain Method*).

Para la interpretación de las gráficas se realizó el trazado de un cubo de las mismas dimensiones de la superficie de medición y se superpuso los puntos de medición realizados en el escaneo con *Sound Power*, asociando a cada uno de los puntos las magnitudes extraídas en el archivo tipo *.xls*; por ello se tomó de la pestaña *Analyse* del software el *ID* de cada uno de los segmentos teniendo una correspondencia apropiada en el algoritmo y en el software.

Posteriormente se interpretaron los datos asociados a los puntos en el cubo y se dio paso a la graficación de los vectores en dirección normal con magnitud igual a los datos obtenidos en la medición, se hizo una normalización de estos vectores con respecto al valor máximo de todos los segmentos de las caras, para una visualización comprensible de dichos vectores. Además, para una fácil percepción de las magnitudes, se hizo una tabla de colores, de frío a cálido (Tipo *JET*), siendo los colores cálidos las magnitudes con valores más grandes y los fríos las magnitudes más bajas. A estos vectores en 4 dimensiones (2 dimensiones para la ubicación, 1 más para la graficación de la magnitud, y un vector asociado a la correspondencia de color con dependencia de los múltiples vectores que conforman el trazado de la figura.) se les concatenó una dependencia en frecuencia (por tercio de octava) y unidad a graficar (Intensidad, presión o velocidad de partícula). Por ello se puede obtener el campo vectorial normal a la superficie de medición de cualquier frecuencia por banda de tercio de octava de la unidad deseada en un paralelepípedo.

Además del gráfico del campo vectorial se brinda una representación de un plano por cara con la elevación ligada a la magnitud de cada segmento o punto medido, para inferir con mayor precisión el comportamiento de la radiación del objeto de estudio en cada uno de sus ejes.

Después, se llevó a cabo una aproximación de la magnitud de la presión a un punto superpuesto de una esfera circunscrita dentro del paralelepípedo. Esta aproximación fue realizada bajo el concepto de la ley del inverso cuadrado, que se estudió con anterioridad en la medición de verificación del campo cercano. El fin de esta aproximación fue el logro de una gráfica de radiación de presión sonora en forma esférica para la comparación directa con los datos brindados por el fabricante; aunque el fabricante ofreció los datos en los ejes de elevación y azimutal, la comparación se puede dar con cortes de la esfera y una graficación polar normalizada de los datos de los cortes respectivos en los planos XZ y YZ , por tanto los puntos de medición de mayor interés son los correspondientes a estos cortes, así se puede obtener una representación del patrón de radiación como normalmente se presenta lo que brinda los datos aproximados para la comparación directa con la referencia establecida por el fabricante.

Adicionalmente, se presentan los índices y factores de directividad asociados a la fuente por tercio de octava, aprovechando de esta forma la medición realizada para la potencia acústica e intensidad sonora y brindando datos relevantes de la fuente electroacústica, que los fabricantes pocas veces incluyen dentro de las especificaciones de sus productos.

Finalmente se presentan las distintas gráficas de campos vectoriales normales a la superficie de medición de las unidades y frecuencias seleccionadas; además de los diferentes patrones polares por cortes de la esfera de presión dada por aproximaciones por pérdida por distancia en las diferentes frecuencias y recintos para comparación directa con los datos medidos por el fabricante y los índices y factores directivos del altavoz.

D. Descripción del algoritmo

Para el desarrollo del algoritmo se inicia por ajustar las variables de la medición como las dimensiones de la superficie de medición D , el número de caras n en el que se comprende el cubo, la frecuencia f en la que se desea graficar el campo vectorial normal a la superficie y el ajuste del parámetro que se graficará (Intensidad, Presión o velocidad de partícula).

Posteriormente se inicia con el trazado de la superficie de medición y los puntos de medición, para ello se utiliza una rejilla de puntos desde el origen hasta la distancia total del cubo para un lado de sus caras, con pasos de a cada segmento del paralelepípedo por lo que se divide la distancia total por el número de segmentos en una variable llamada d . Para la elevación en las 3 dimensiones se utiliza una matriz de ceros de la misma longitud que la rejilla creada, la cual será escalada dependiendo de la variable longitudinal D . Semejante a este proceso, se realiza el trazado de los puntos de medición, con la diferencia de que todos los puntos en todas las coordenadas se escalan un valor e , que define la mitad de cada segmento y posiciona el punto en esta posición.

Para mayor comprensión se realiza una reasignación de las variables a representar, debido a que la forma como se grafican los puntos y superficies es por rotación de ejes, se establece puntos según la posición dentro del cubo; es decir, se dividen las gráficas por caras del paralelepípedo y se nombran según su posición con variables significativas (f para frontal, por ejemplo), así, se obtienen n planos correspondientes a los lados que componen la superficie de medición.

Después de obtenida la superficie de medición se ubican los puntos en dirección normal a cada punto de medición superpuestos en el paralelepípedo. Estos puntos serán base para la vectorización unitaria según la dirección de los puntos de medición con respecto a los puntos normales a la superficie, que luego se procederán a escalar una magnitud I , p o $\vec{u}$, según sea el caso de la unidad a plotear.

Luego se importa el archivo extraído del software *Sound Power* y se leen los libros necesarios utilizando la función *xlsread*, además, se acotan los resultados y se buscan los valores de las frecuencias necesarias para las caras que se desean extraer; esto debido a que el archivo *.xls* reconoce la primer matriz como la cara inferior, y para evitar problemas con el software de procesamiento, estos valores o casillas vacías, deben de ser eliminadas en el caso de no haber ninguna medición realizada en la parte inferior del cubo. Además se dividen las celdas según el *ID* de la cara a la que pertenezca, por lo que se tiene cada una de las magnitudes organizadas por cara, aparte de ellos se debe de realizar una verificación en el orden del recorrido de los segmentos, para que cada punto del algoritmo corresponda con su semejante en la superficie de medición, si estos

no corresponden se procede a hacer un análisis y a realizar las rotaciones e inversiones automáticas y pertinentes de las matrices para el correcto manejo de los datos.

Comprendiendo la organización que se arroja en el archivo extraído y la frecuencia manejada por columnas contra el ID del segmento en cada fila, se presenta una lista para arrojar los datos de una forma más comprensible, haciendo visual la frecuencia en la que se está trabajando dentro del algoritmo. Esto se realiza a partir de un ciclo *if* según el código en la numeración de la frecuencia en la que se grafiquen los datos. La asignación de la frecuencia se realiza por tercio de octavas desde el código 1 hasta el 30, respectivo a las 30 frecuencias por banda de tercio de octava.

Posteriormente se emplea una acotación según la frecuencia elegida para la graficación de los vectores normales a la superficie en cada una de las caras del cubo. Con ello se establece el segmento máximo y mínimo de la unidad elegida para establecer los límites de color, además de elegir el mapa de color deseado, y delimitar la barra de color que nos dará información acerca de la correspondencia en magnitud de los colores de los vectores. Después se procede a asignar un valor redondeado a dos cifras decimales de cada una de las magnitudes de los segmentos, de esta forma los segmentos con mayor magnitud tendrán mayor magnitud dentro del mapa de color, lo que significa un código de color más alto. Finalmente se realiza una asignación de colores cálidos para los códigos de colores más altos, y colores fríos para códigos de colores más bajos.

Para la representación de los vectores normales se utilizó la función *quiver3* a la cual se le debe de ingresar las coordenadas en 3 dimensiones del punto de inicio del vector, la dirección en cada una de las 3 dimensiones hacia donde irá dirigido y la magnitud con la que se graficará. Adicional a esto se efectuaron las configuraciones de estos vectores para asignarle un color, el cual será seleccionado dependiendo de su magnitud y su valor en el mapa de color seleccionado. Para mejor visualización de los vectores se ajustó el ancho de la línea y el ancho de la flecha. Como estas configuraciones se hicieron por cada uno de los vectores graficados, se hizo un arreglo matricial o *for anidado* para adicionarle características a cada vector. Esta graficación se hizo bajo la selección de la frecuencia y el parámetro elegido en las configuraciones iniciales.

Adicionalmente se muestra una gráfica de la superficie tridimensional obtenida por los valores de magnitud de cada segmento superpuesto sobre la superficie de medición, esto ayuda a comprender las variaciones de magnitud entre segmentos y compararlos directamente en cada una de las caras. Para ello fue necesario rotar cada una de las superficies graficadas dependiendo de su posición en el cubo y orden de segmentos.

Sabiendo las coordenadas de cada punto sobre el cubo, se organiza una esfera circunscrita dentro del paralelepípedo y se procede a reasignar cada punto del cubo sobre los vértices de la esfera, y se comprueba la distancia recorrida de cada punto por la norma euclidiana para vectores en 3 dimensiones, esta norma define la longitud o magnitud en línea recta entre 2 vectores en un espacio tridimensional; esta distancia se almacena en una matriz de movimiento y se analiza que los puntos centrales de cada cara no tuvieron ningún movimiento, debido a que los puntos donde la esfera se intersecta con el cubo precisamente son estos puntos. Posteriormente se realiza la gráfica de la radiación de presión normal a la superficie esférica y se le reasigna el valor de presión bajo la norma de pérdida por distancia descrita en 4.1.3 aplicando la reducción obtenida bajo la ecuación (4.14) a los datos de presión. Sabiendo con anterioridad que el espacio donde se encuentran los puntos medidos pertenece al campo cercano de la fuente en donde la única atenuación percibida es la descrita por dicha norma. Así, se realiza los cortes sobre la esfera seleccionando los segmentos de la esfera por los cuales cruzan estos cortes y trazarlos en una gráfica polar para obtener la presión sobre los ejes azimutal y de elevación, los cuales pueden ser comparados con los datos brindados por el fabricante por una superposición de gráficas.

Finalmente se hace uso de la ecuación (4.24), y la ecuación (4.25) para hallar los valores de Q y DI respectivamente, contemplando los puntos sobre el corte horizontal de la esfera de presión.

VIII. RESULTADOS

A. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición.

A continuación, se muestra una representación del campo vectorial de intensidad normal al paralelepípedo de medición, para el rango de frecuencias comprendido entre los 25Hz y los 20kHz, tanto para las medidas tomadas en la sala de grabación del estudio A como para las hechas en el salón 502E se seleccionaron las frecuencias que contienen una mejor representación del fenómeno de radiación comprendido a través de la gráfica del campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medida.

Cada uno de los segmentos de las caras tiene asociado un vector de intensidad; el tamaño y el color de las flechas cumplen la función de ser indicadores visuales de la magnitud de la intensidad en cada sección, por ejemplo, las magnitudes más grandes tendrán asociadas una flecha de mayor longitud y una tendencia al color negro (tonos cálidos), por el contrario, las magnitudes más pequeñas tendrán asociadas vectores de menor longitud que tienden al azul (tonos fríos), tal como lo muestra la escala de color *JET* ubicada al lado derecho de cada gráfico. Las figuras son presentadas en dos vistas: una llamada "vista frontal" que permite visualizar el campo vectorial normal a la superficie de las caras frontal, superior y lateral derecha, y otra llamada "vista trasera" que muestra las magnitudes de los vectores de las caras posterior y lateral izquierda.

q) Estudio A

Resultados obtenidos para la representación gráfica del campo vectorial de intensidad normal a la superficie paralelepípeda en la sala de grabación del estudio A de la Universidad de San Buenaventura Medellín. En el *anexo F.1* se muestran las representaciones del campo vectorial de intensidad para el resto de bandas de tercio de octava.

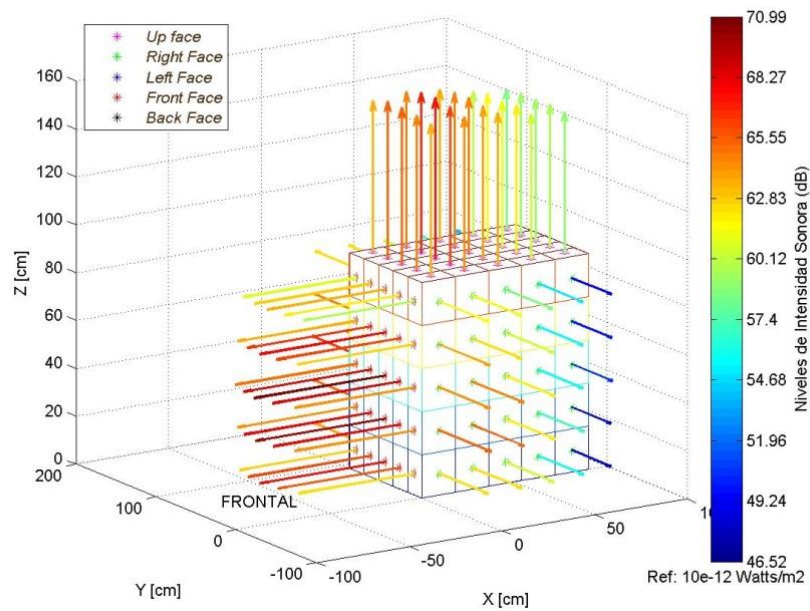


Fig. 30. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista frontal. Estudio A.

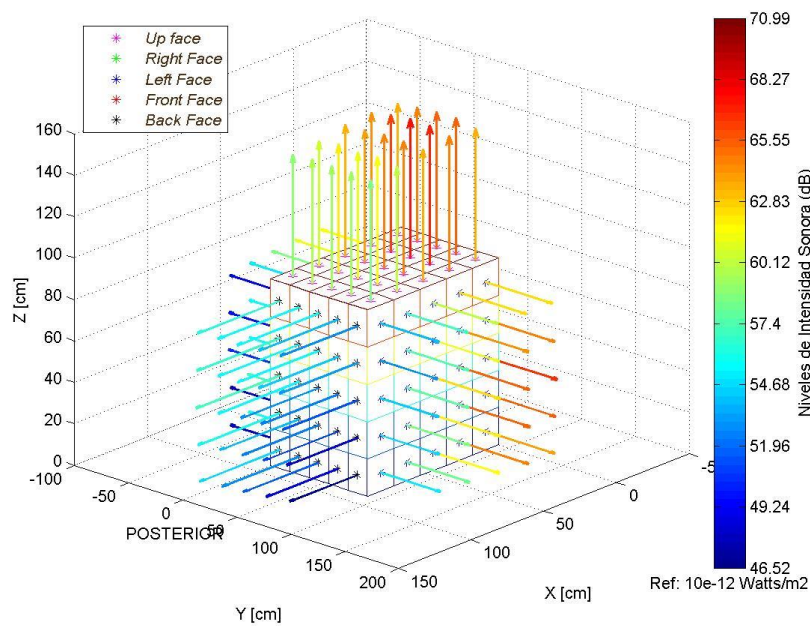


Fig. 31. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista trasera. Estudio A.

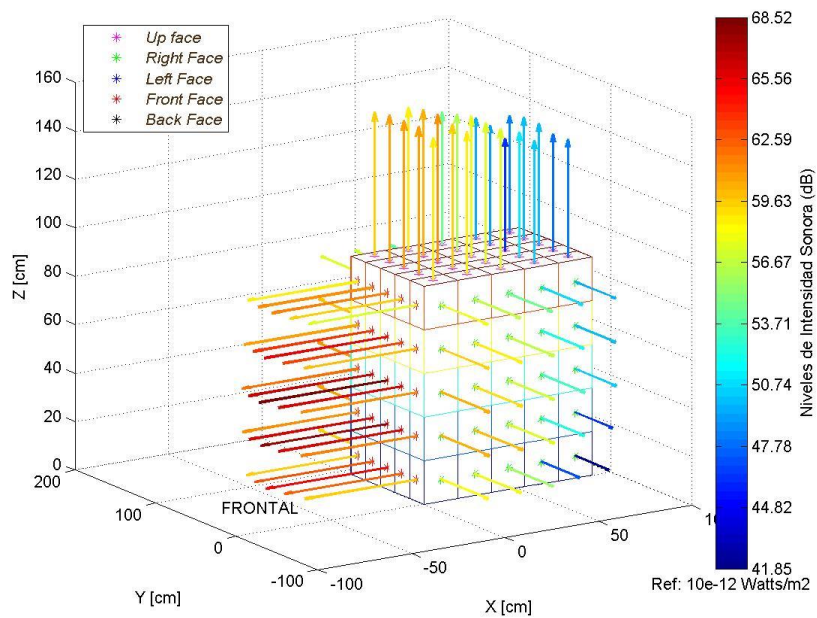


Fig. 32. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista frontal. Estudio A.

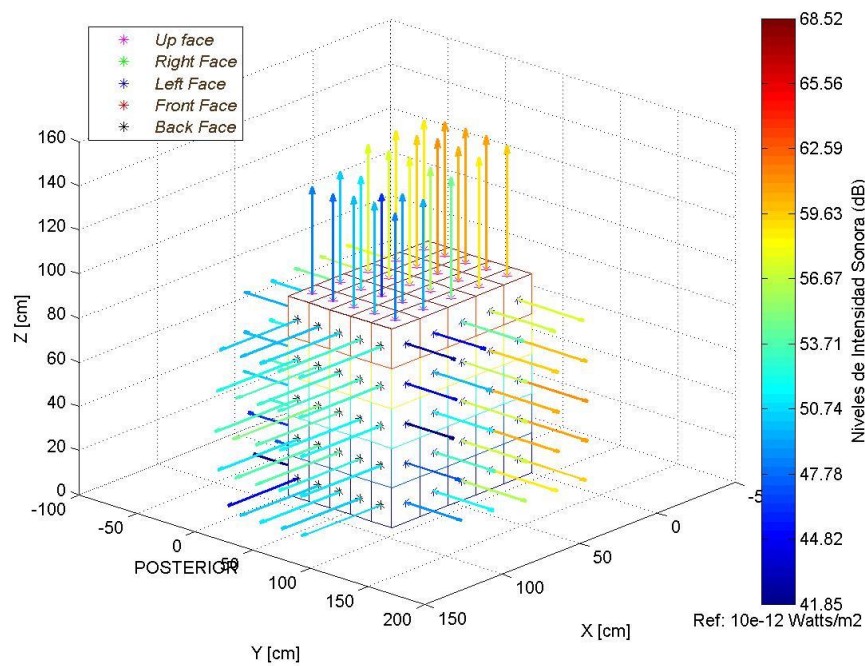


Fig. 33. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista trasera. Estudio A.

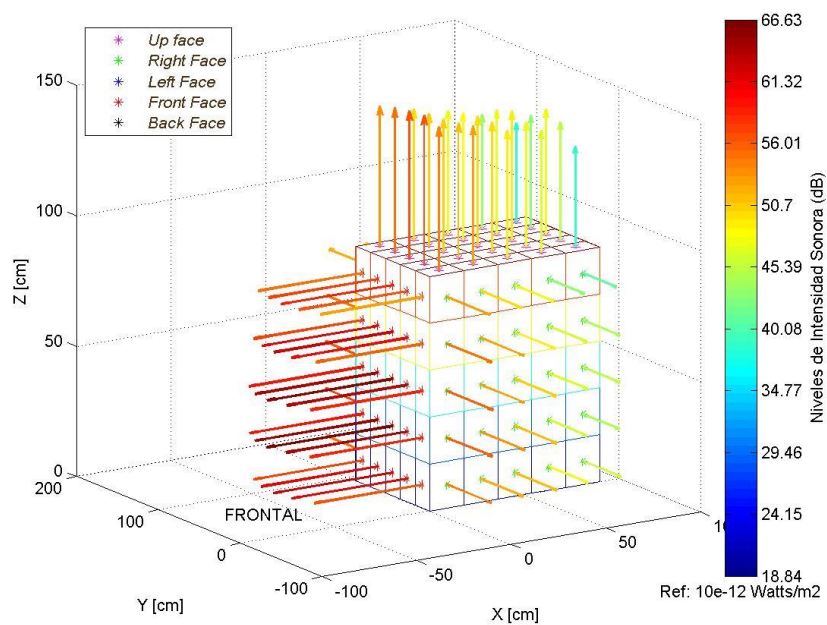


Fig. 34. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista frontal. Estudio A.

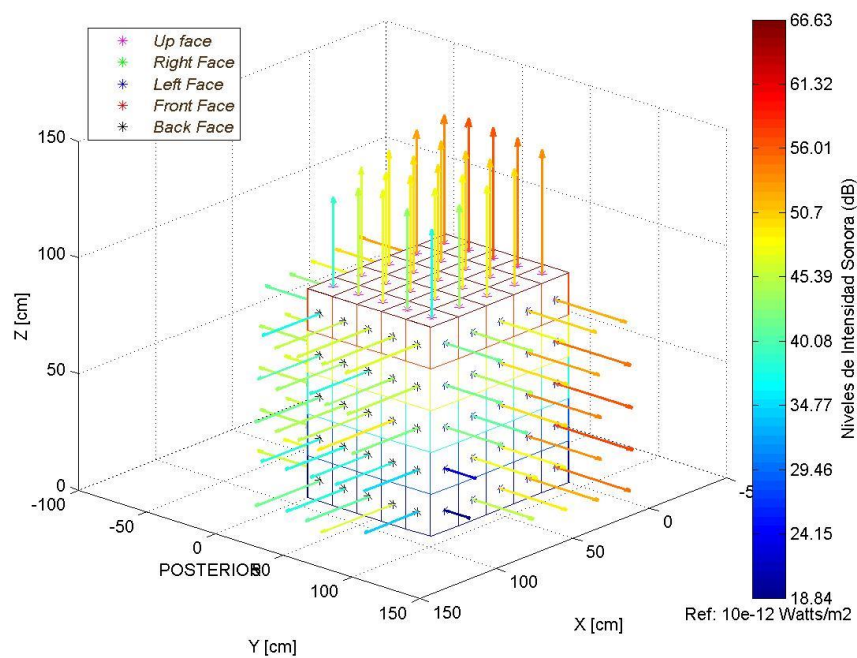


Fig. 35. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista trasera. Estudio A.

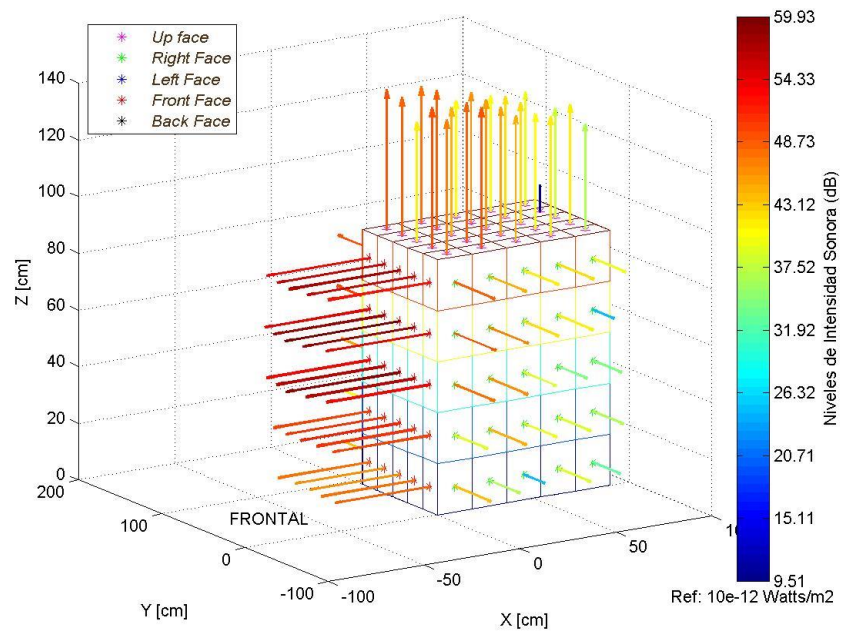


Fig. 36. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista frontal. Estudio A.

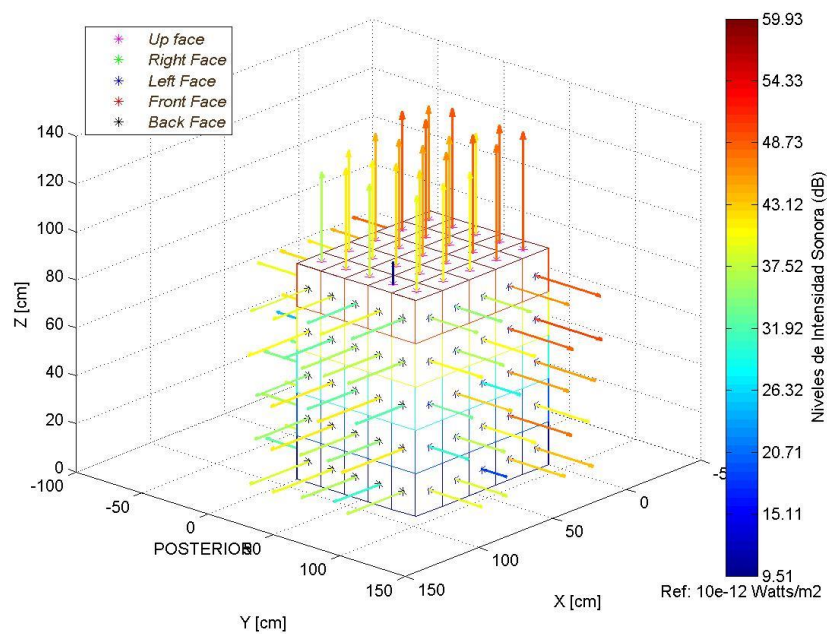
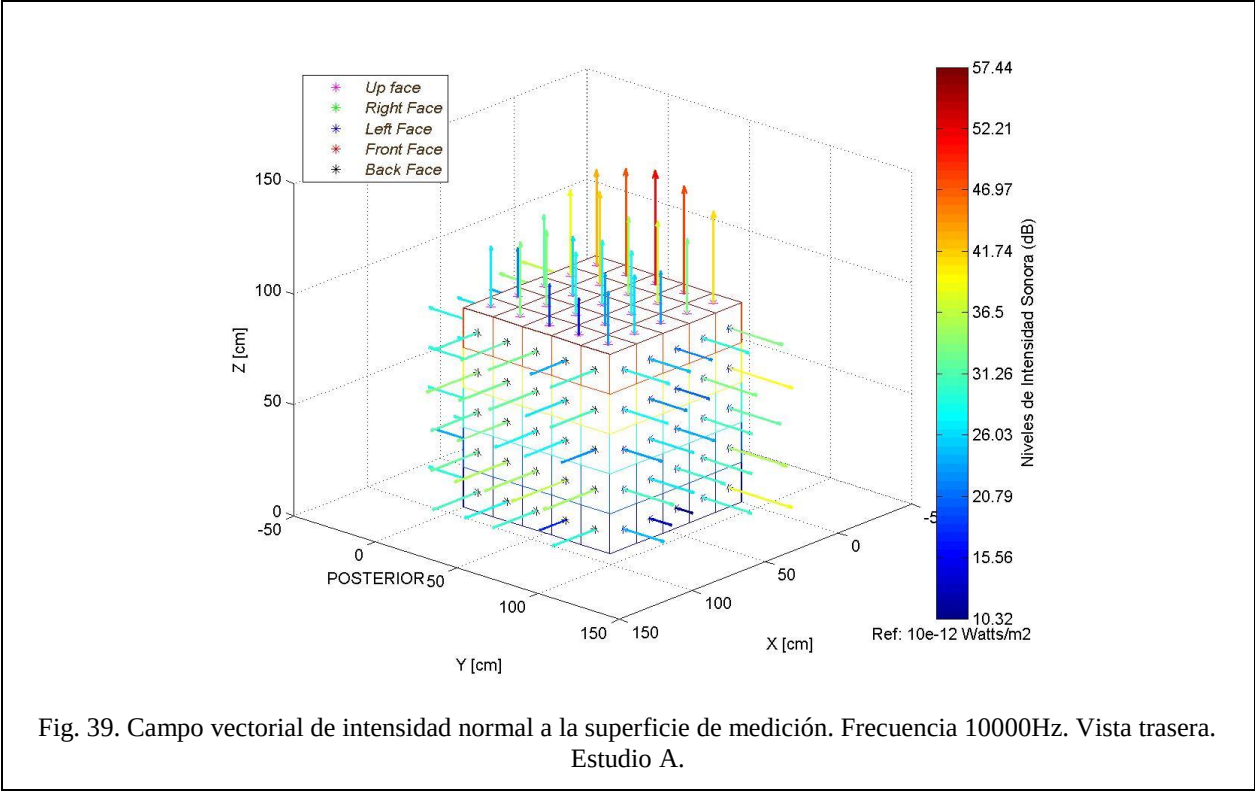
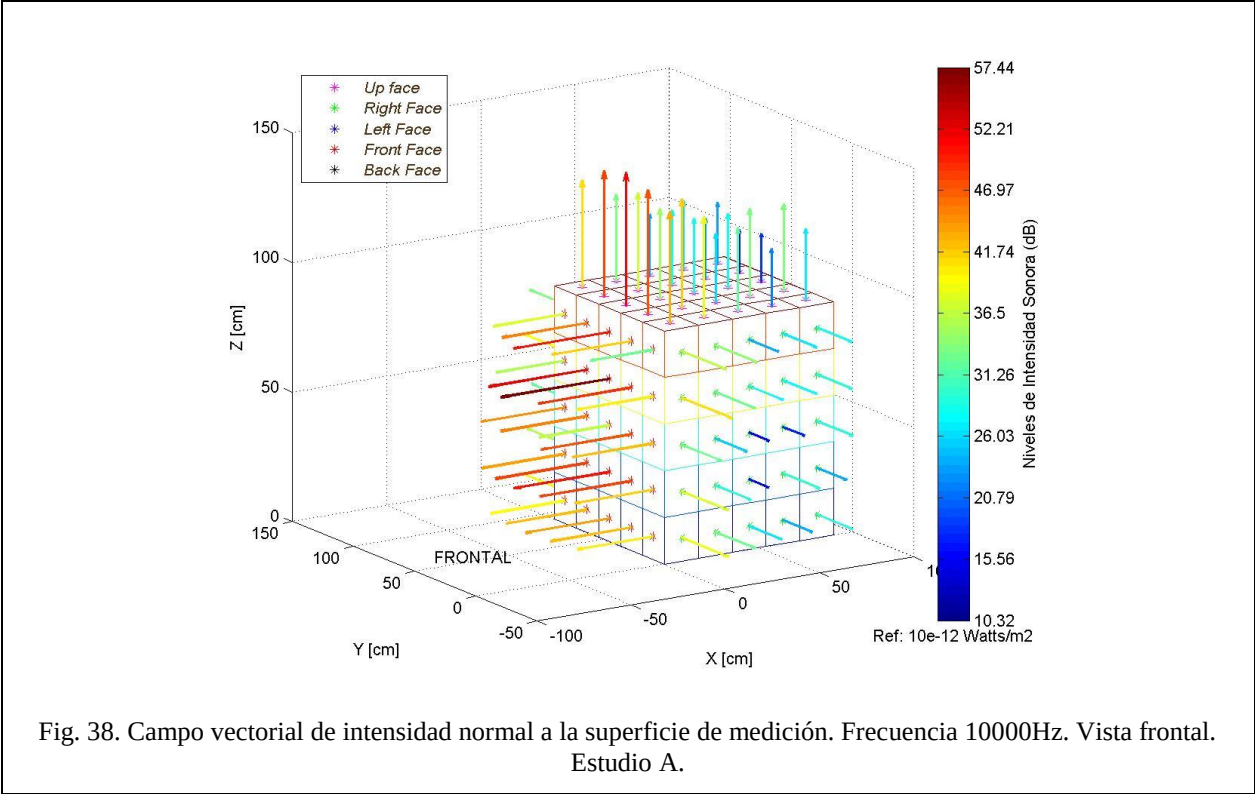
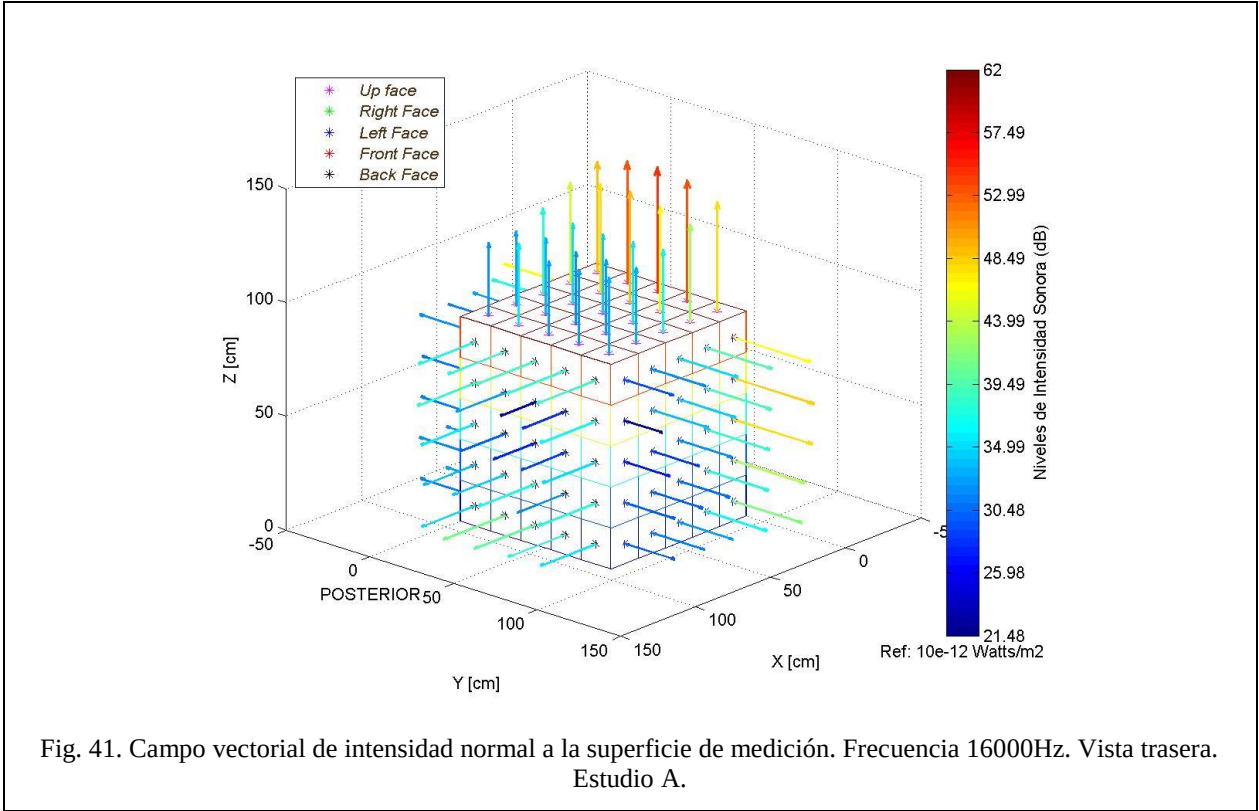
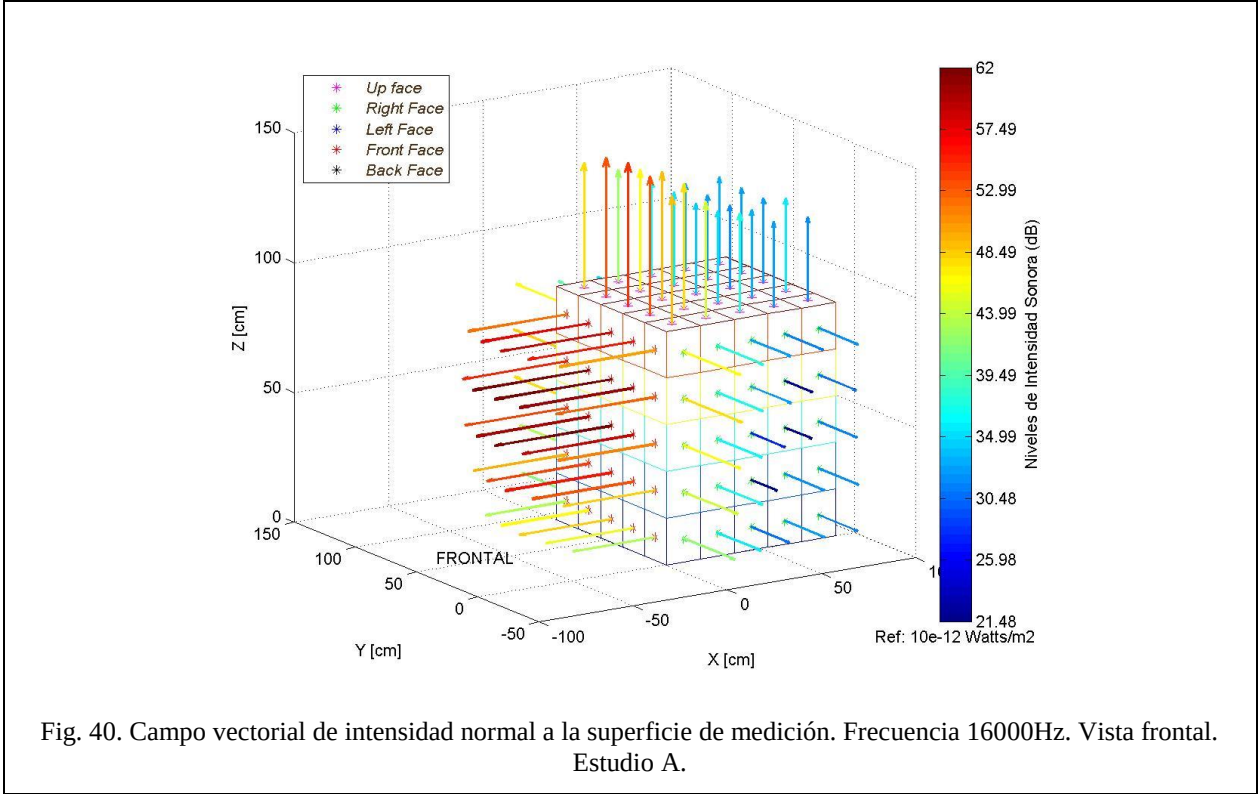


Fig. 37. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista trasera. Estudio A.





En la *tabla III* se presentan los valores del promedio energético de intensidad en cada una de las caras del paralelepípedo por bandas de tercio de octava.

TABLA III. VALORES DE INTENSIDAD PROMEDIO EN CADA UNA DE LAS CARAS DEL PARALELEPÍPEDO PARA LAS MEDICIONES EN LA SALA DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO A.

f(Hz)	Superior	Frontal	Trasera	Izquierda	Derecha
25 Hz	38.913	48.188	35.679	33.814	31.170
32 Hz	59.241	64.299	54.672	54.747	47.938
40 Hz	68.176	71.555	63.870	62.930	59.481
50 Hz	62.598	65.032	61.510	61.437	58.859
63 Hz	58.260	61.686	56.676	54.049	47.763
80 Hz	60.946	65.44	55.354	44.310	54.813
100 Hz	58.114	65.546	47.739	48.947	60.891
125 Hz	52.098	64.11	52.567	59.124	62.417
160 Hz	63.279	66.347	61.012	55.359	61.169
200 Hz	60.281	64.248	55.579	58.302	54.882
250 Hz	52.897	60.738	38.584	38.882	56.459
315 Hz	52.143	63.145	50.221	50.848	51.256
400 Hz	51.430	62.274	49.041	48.608	51.202
500 Hz	50.202	59.214	48.134	49.412	47.842
630 Hz	47.047	57.103	37.468	36.137	49.791
800 Hz	41.281	56.632	41.474	40.720	42.324
1000 Hz	33.567	53.176	38.811	38.143	34.728
1250 Hz	44.689	48.930	40.167	40.393	16.222
1600 Hz	36.732	48.023	38.479	34.308	36.728
2000 Hz	23.080	49.484	36.479	35.684	38.531
2500 Hz	35.767	49.363	36.342	36.746	37.170
3150 Hz	28.829	33.666	27.749	28.810	30.945
4000 Hz	10.622	43.160	28.479	27.489	18.997
5000 Hz	30.033	44.576	27.748	30.217	20.850
6300 Hz	30.434	46.744	26.340	27.754	33.555
8000 Hz	32.463	38.653	24.394	22.130	23.243
10000 Hz	24.223	28.723	20.346	22.984	16.319
12500 Hz	26.358	28.763	19.325	20.649	20.433
16000 Hz	33.688	45.463	22.367	27.152	29.036
20000 Hz	29.821	38.344	13.927	13.669	14.178

r) Salón 502E

Resultados obtenidos para la representación gráfica del campo vectorial de intensidad normal a la superficie paralelepípeda en salón 502E de la Universidad de San Buenaventura Medellín. En el *anexo F.2* se muestran las representaciones del campo vectorial de intensidad normal para el resto de bandas de tercio de octava.

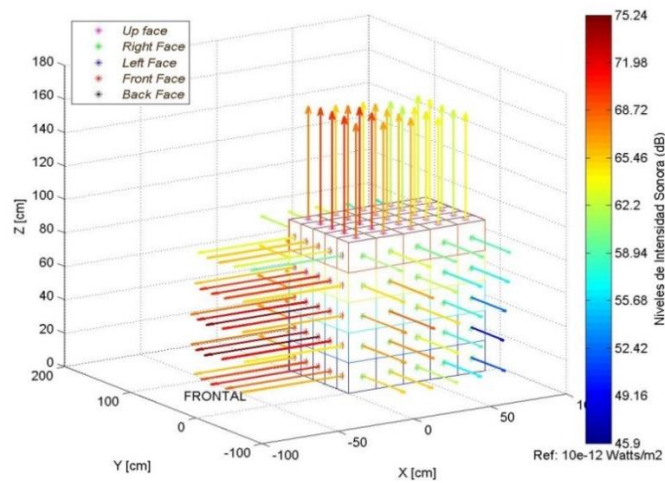


Fig. 42. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista frontal. Salón 502E.

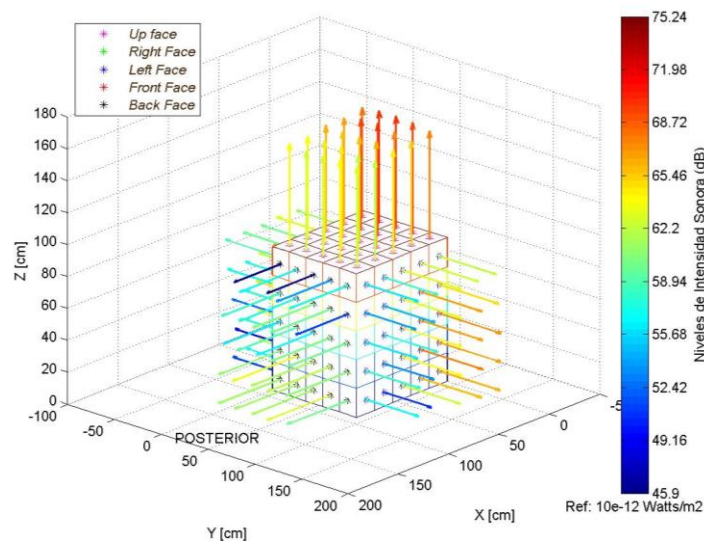


Fig. 43. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista trasera. Salón 502E.

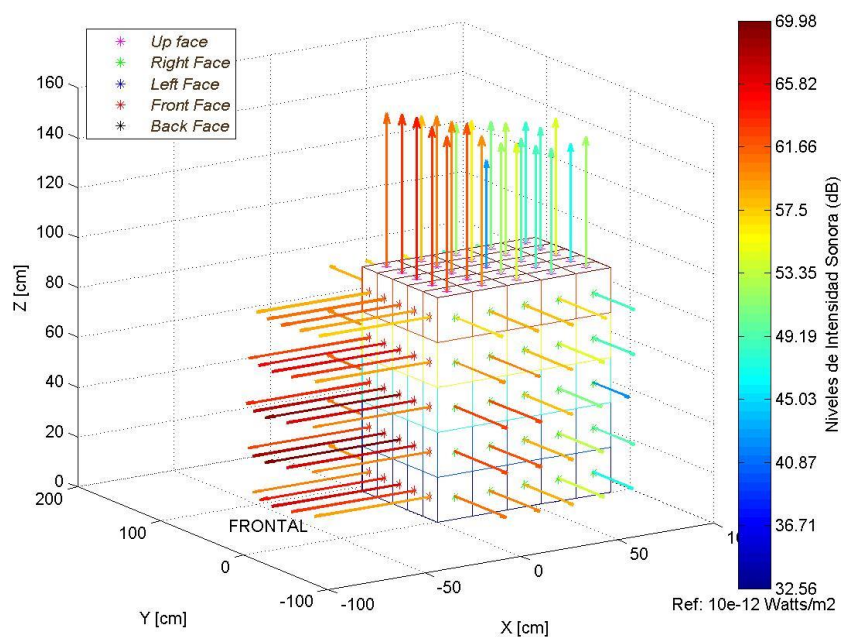


Fig. 44. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista frontal. Salón 502E.

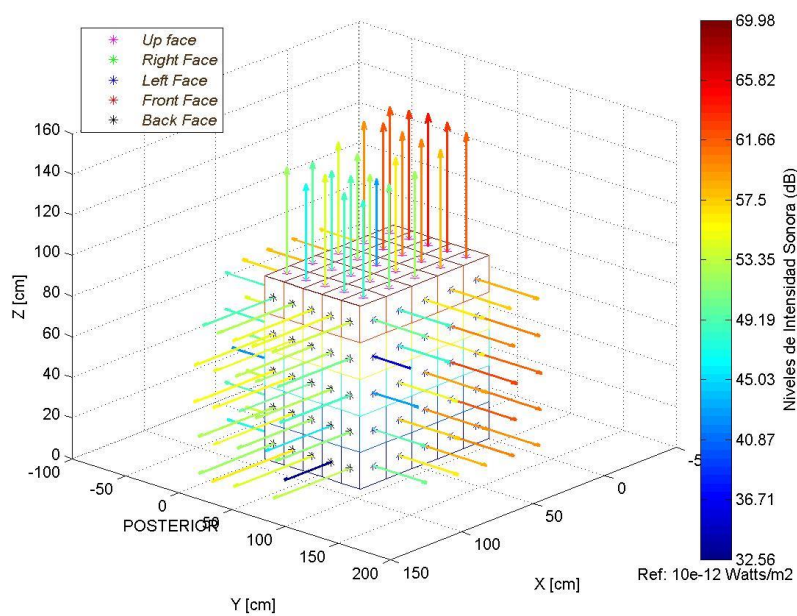


Fig. 45. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista trasera. Salón 502E.

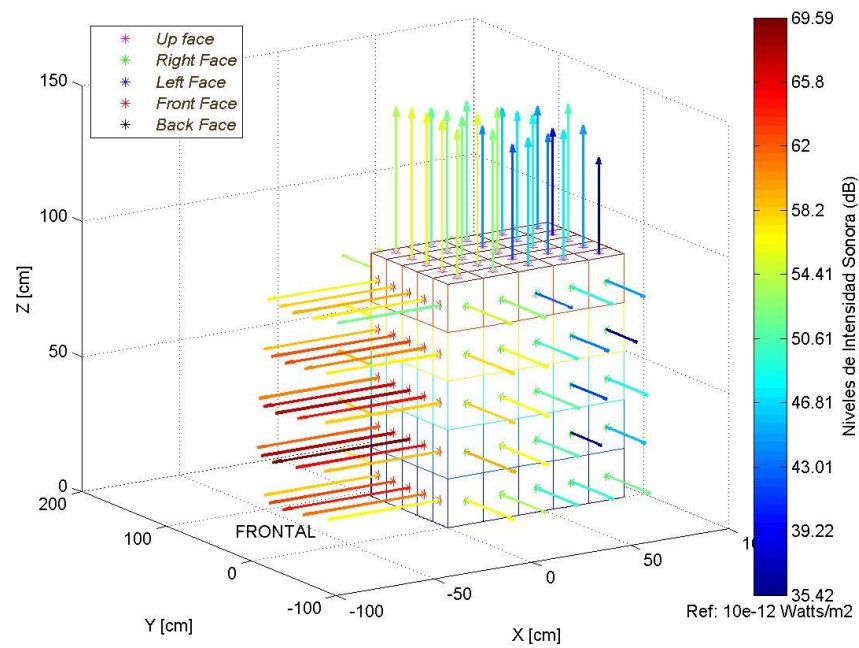


Fig. 46. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

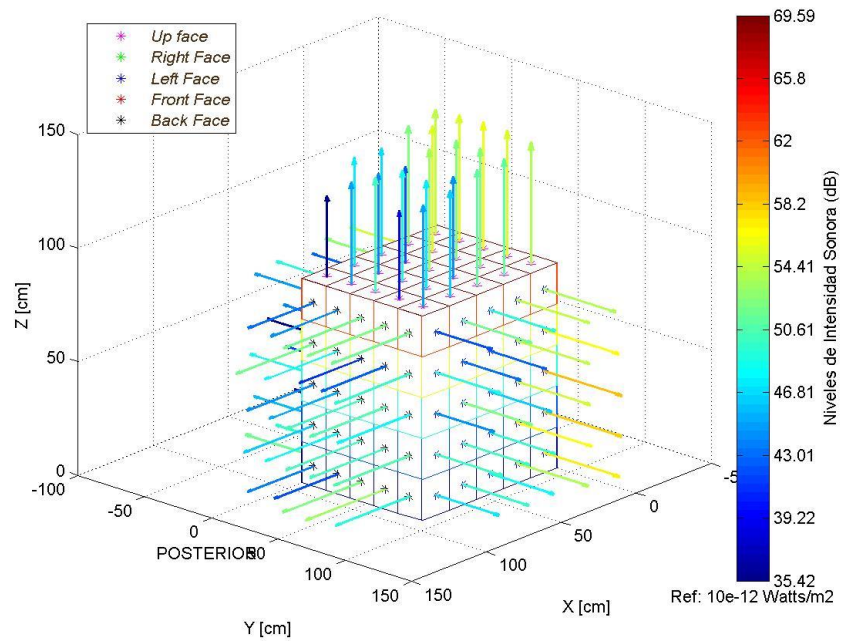


Fig. 47. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

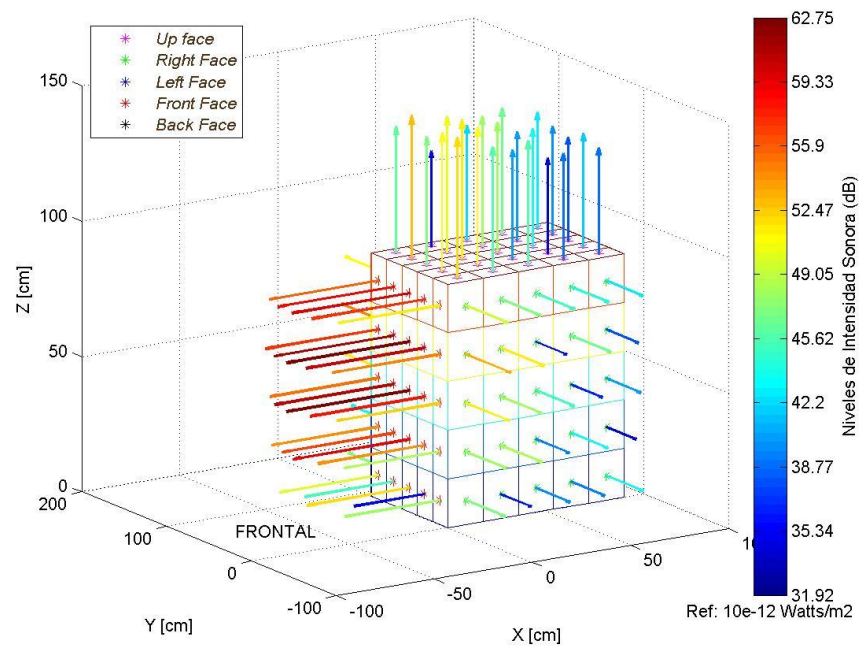


Fig. 48. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista frontal. Salón 502E.

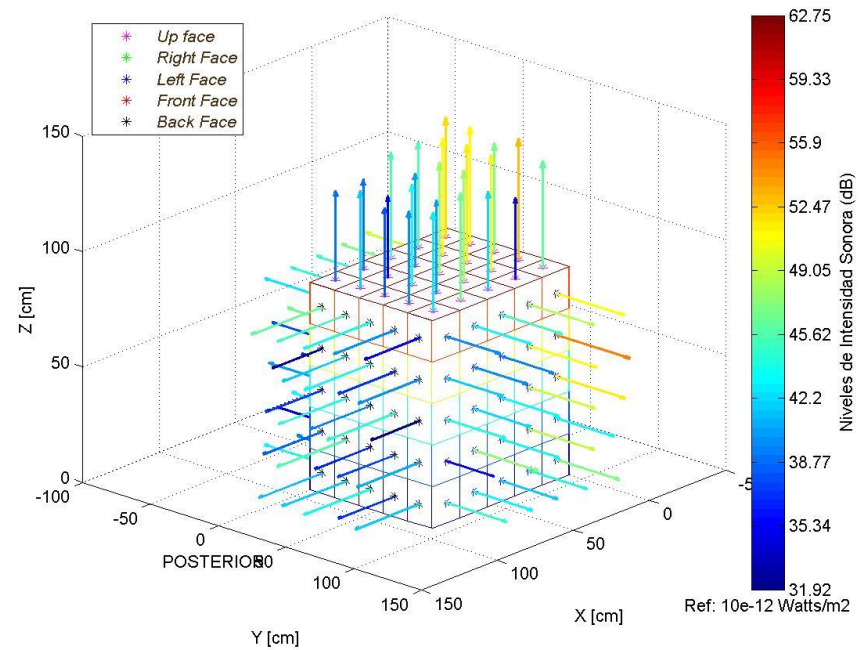


Fig. 49. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista trasera. Salón 502E.

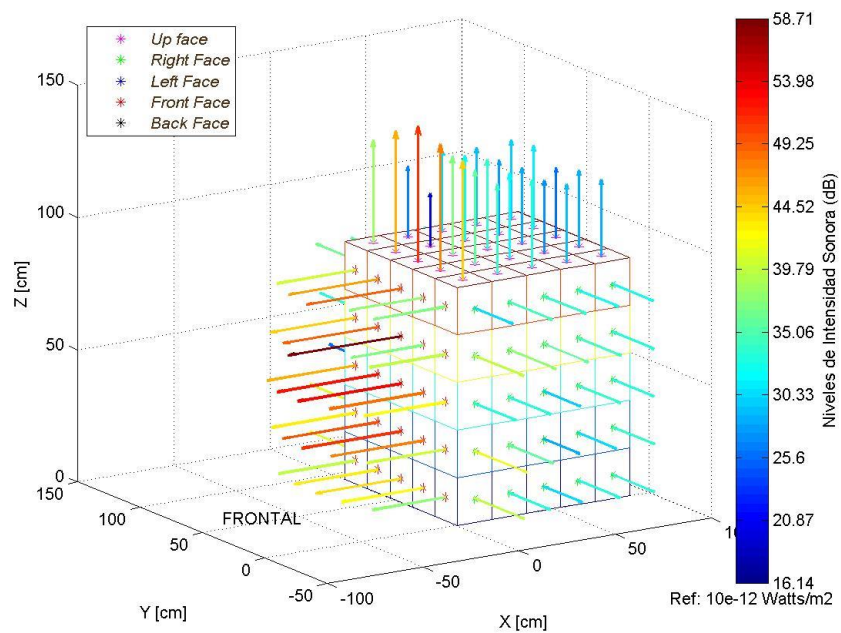


Fig. 50. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

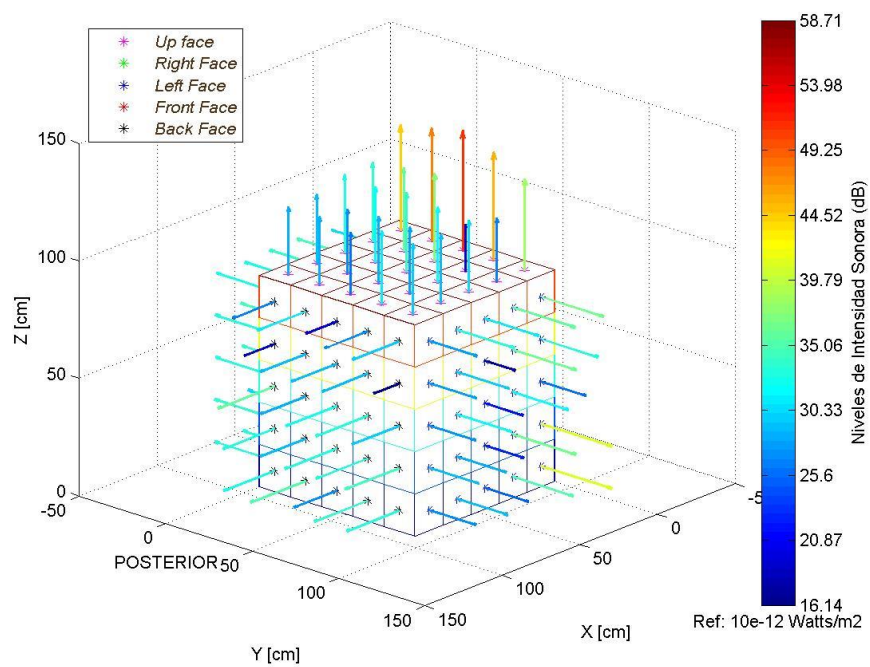


Fig. 51. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

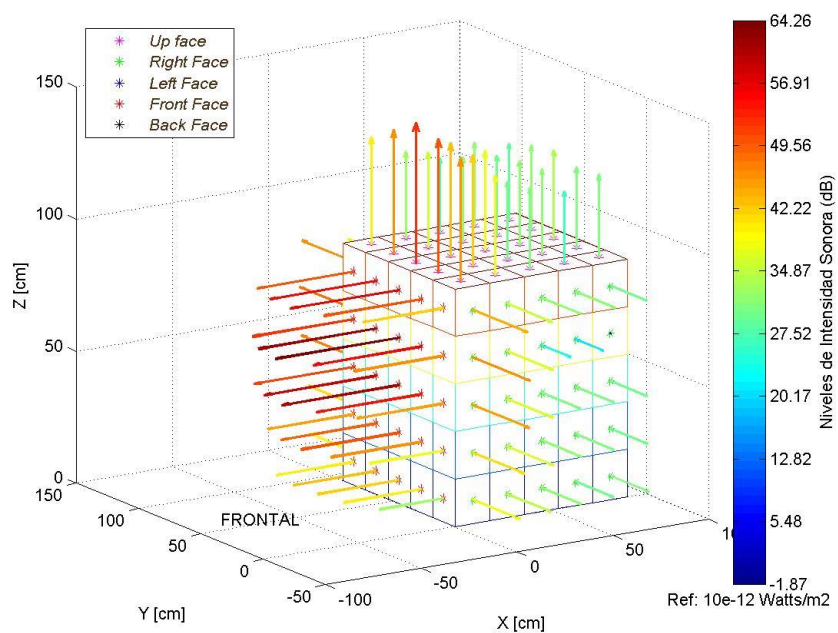


Fig. 52. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

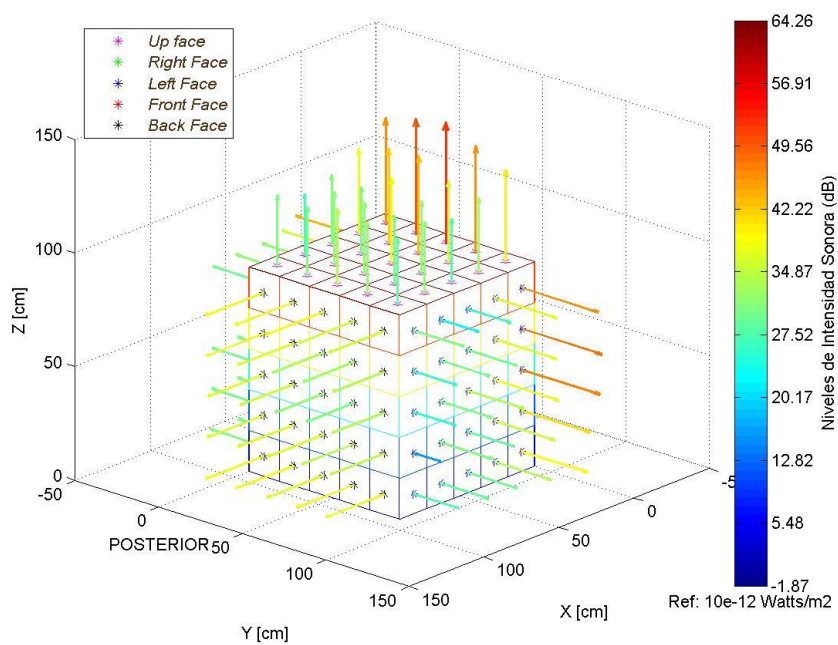


Fig. 53. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

En la *tabla IV* se presentan los valores del promedio energético de intensidad en cada una de las caras del paralelepípedo por bandas de tercio de octava.

TABLA IV. VALORES DE INTENSIDAD PROMEDIO EN CADA UNA DE LAS CARAS DEL PARALELEPÍPEDO PARA LAS MEDICIONES EN EL SALÓN 502E.

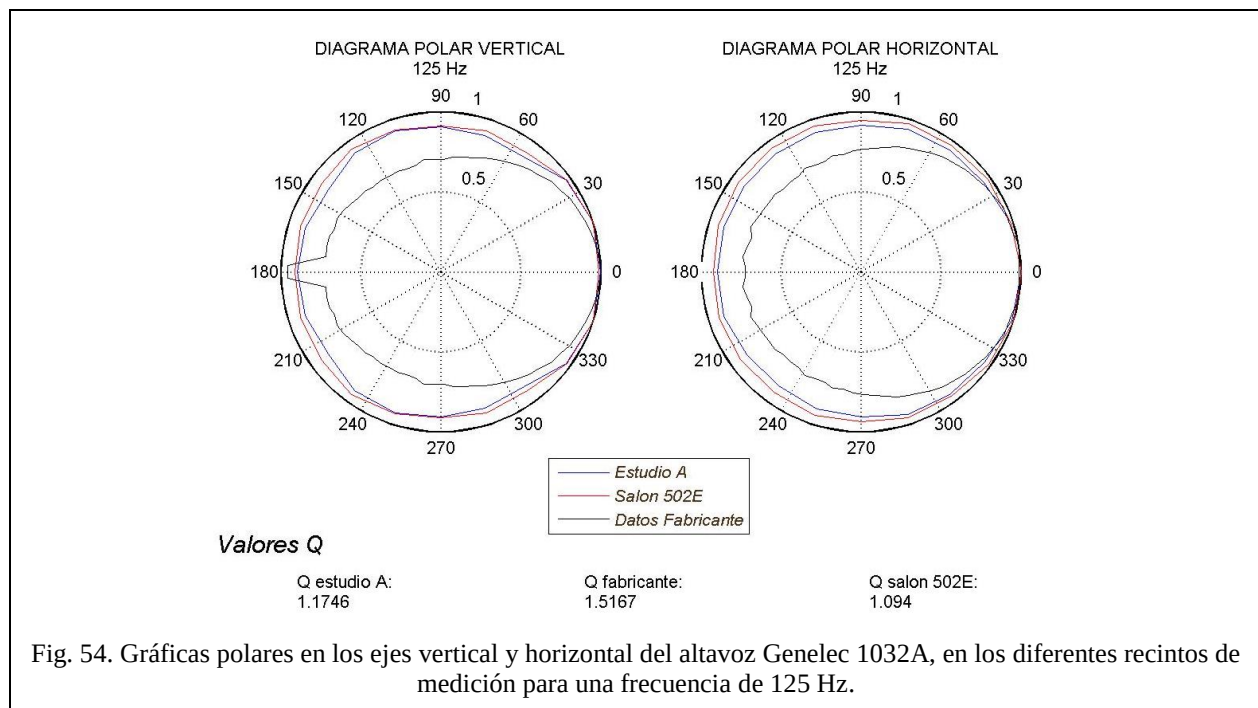
f(Hz)	Superior	Frontal	Trasera	Izquierda	Derecha
25 Hz	41.216	46.431	43.681	43.328	35.014
32 Hz	58.658	62.245	50.236	51.925	56.294
40 Hz	67.294	72.142	65.758	54.507	60.820
50 Hz	65.991	72.942	63.859	60.529	60.604
63 Hz	61.930	66.557	63.035	58.819	64.554
80 Hz	49.656	61.648	55.470	51.506	58.998
100 Hz	40.831	60.754	57.888	56.919	57.893
125 Hz	57.474	63.163	47.367	56.135	56.469
160 Hz	60.889	62.876	55.824	52.466	53.068
200 Hz	54.767	59.887	52.200	45.803	54.727
250 Hz	52.951	52.127	49.683	42.857	51.200
315 Hz	56.472	59.762	51.029	53.827	52.047
400 Hz	37.975	59.404	51.040	51.735	41.408
500 Hz	45.475	56.435	44.849	44.486	43.863
630 Hz	45.374	55.919	45.160	44.154	36.462
800 Hz	49.899	54.240	48.350	48.576	46.688
1000 Hz	38.174	50.706	40.500	39.759	39.761
1250 Hz	43.980	44.233	32.450	34.494	29.243
1600 Hz	38.632	47.470	41.757	38.533	39.146
2000 Hz	41.420	47.123	41.310	41.212	38.584
2500 Hz	41.165	47.101	36.560	37.572	37.280
3150 Hz	40.156	44.023	35.130	40.054	30.507
4000 Hz	31.072	46.394	30.134	34.255	31.771
5000 Hz	29.067	29.014	30.237	25.010	32.701
6300 Hz	32.673	29.969	29.125	32.125	29.651
8000 Hz	28.116	32.566	15.764	14.589	29.428
10000 Hz	17.886	29.869	19.000	25.014	21.819
12500 Hz	22.694	35.640	15.745	17.131	13.028
16000 Hz	32.501	41.505	17.644	21.497	21.034
20000 Hz	21.106	24.817	9.746	11.725	10.220

B. Patrones polares

A continuación, se muestran los resultados obtenidos por el algoritmo de procesamiento al ingresarle los datos extraídos del *Sound Power*, medidos bajo la metodología de medición desarrollada.

Los valores de presión sonora son ajustados bajo la aproximación de pérdida por distancia, para cada uno de los entornos en los que se midió (sala de grabación del estudio A y Salón 502E, respectivamente). Dentro de este apartado se incluyen únicamente algunas de las gráficas obtenidas. En el *anexo F.3* se muestran los patrones polares obtenidos para las otras frecuencias.

La empresa *Genelec*, fabricante del modelo de altavoz bajo estudio, suministró los valores de la magnitud de la presión para los planos horizontal y vertical, medidos bajo el método establecido en [19]. Los valores se encuentran normalizados respecto al eje acústico, cubriendo el rango de frecuencias entre 100Hz y 10kHz. Por lo tanto no se pueden obtener referencias de patrones de radiación para frecuencias por fuera de este rango.



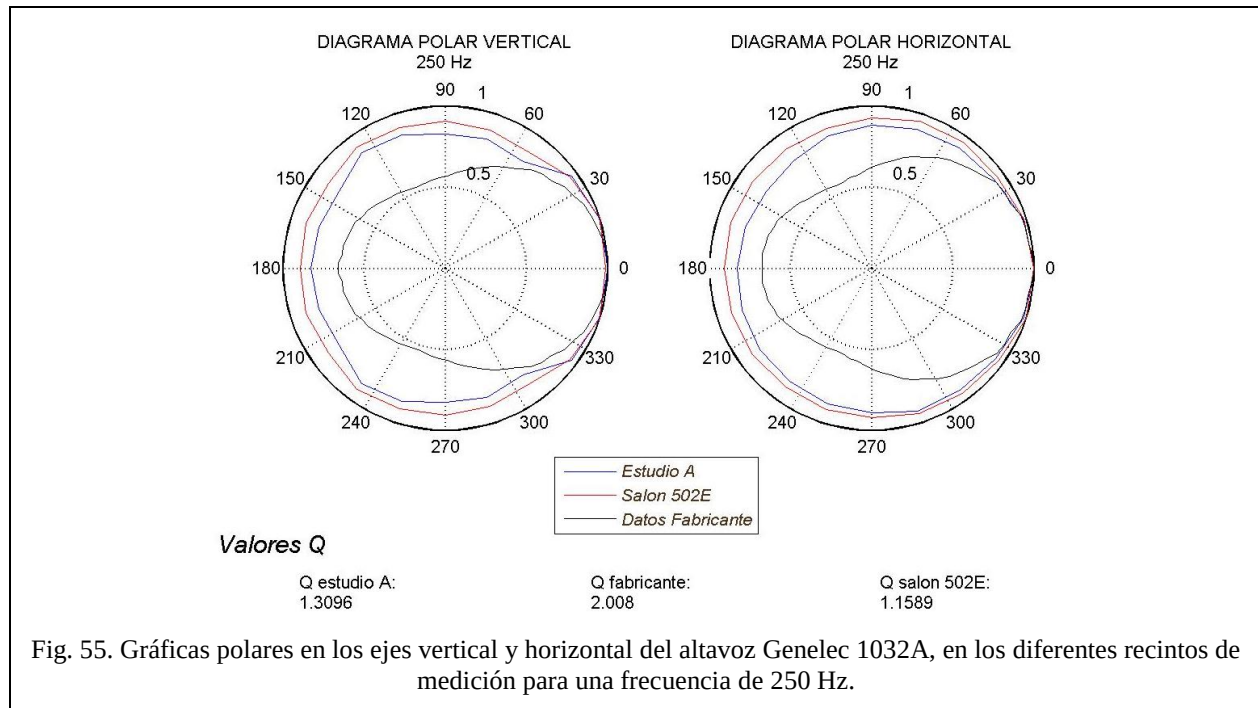


Fig. 55. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 250 Hz.

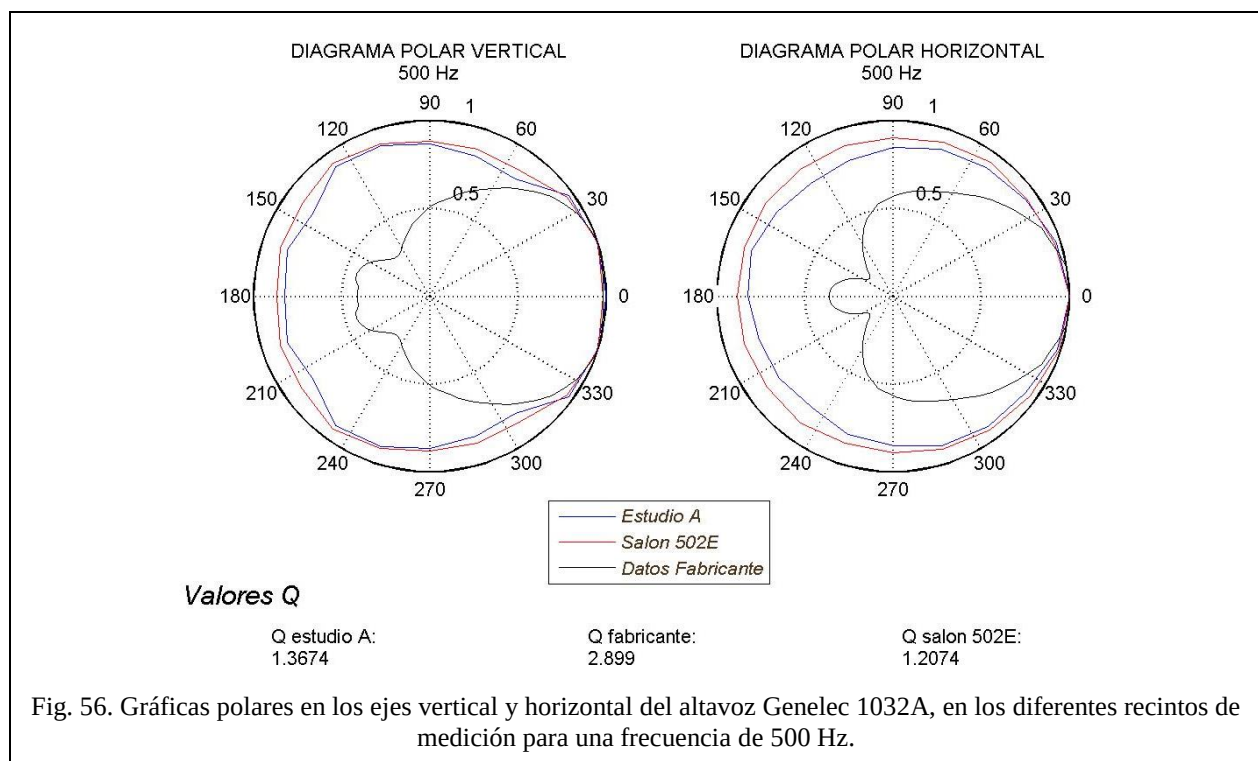
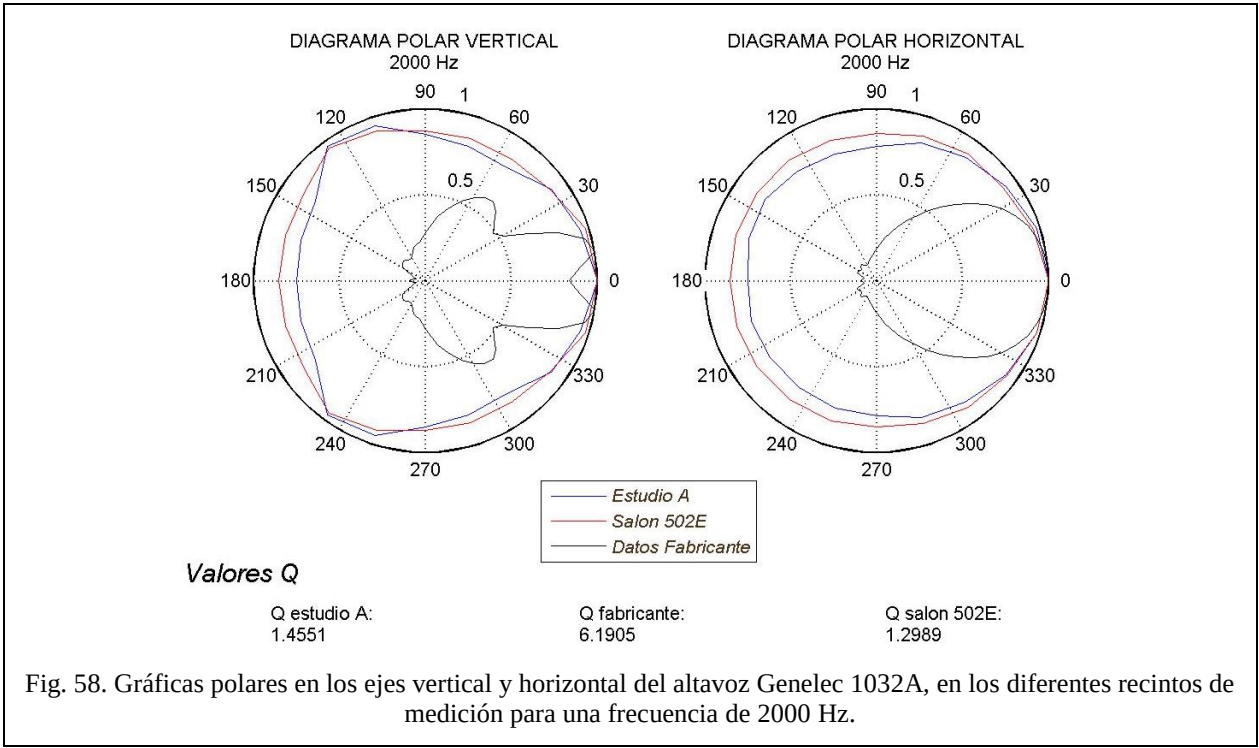
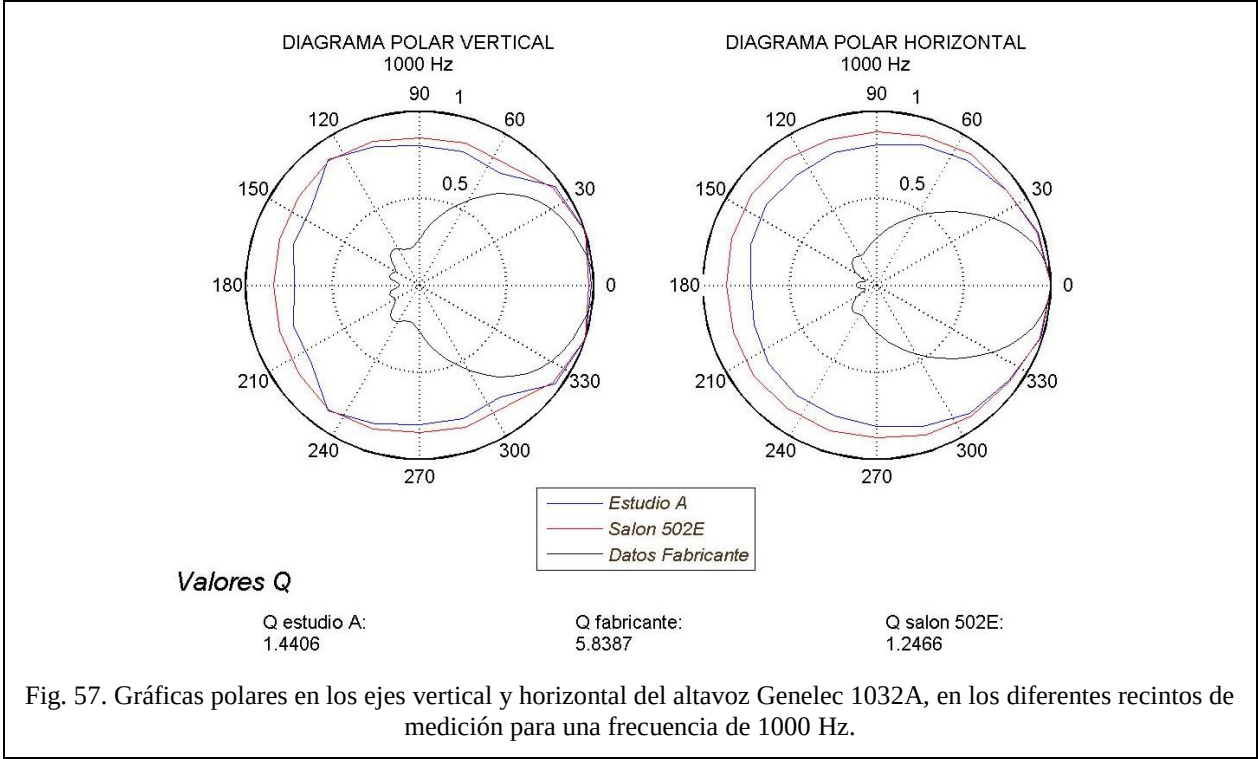


Fig. 56. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 500 Hz.



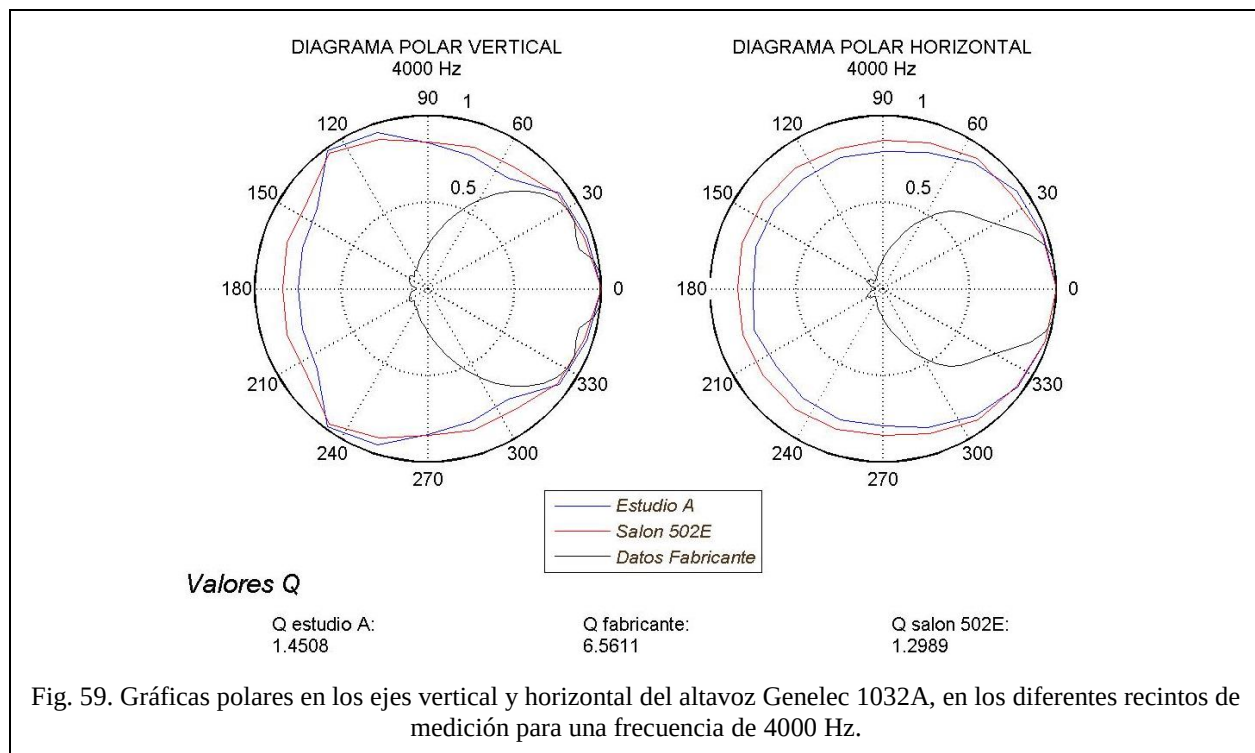


Fig. 59. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 4000 Hz.

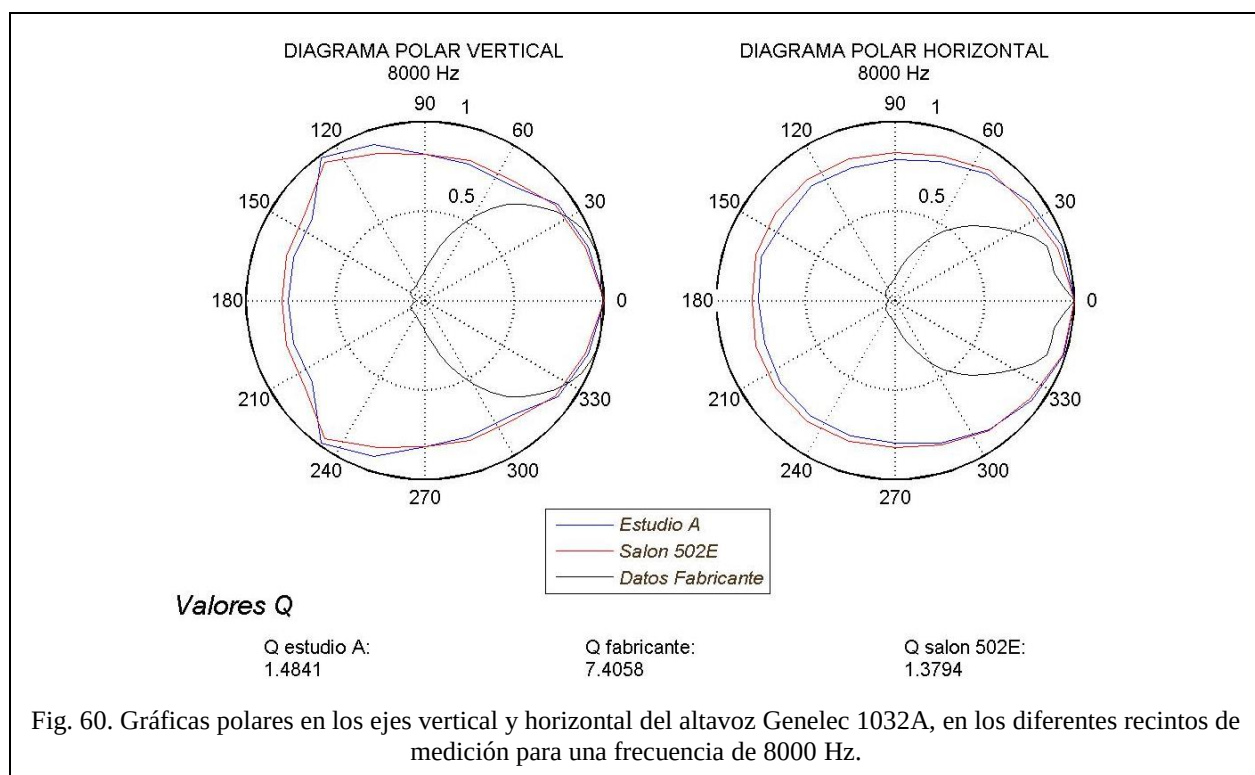


Fig. 60. Gráficas polares en los ejes vertical y horizontal del altavoz Genelec 1032A, en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 8000 Hz.

C. Índices y factores de directividad

La *tabla V* muestra por tercio de octava los valores del factor de directividad (Q) calculados a partir de las mediciones realizadas en la sala de grabación del estudio A y en el salón 502E, así como los valores suministrados por el fabricante del altavoz *Genelec 1032A*.

TABLA V. FACTOR DE DIRECTIVIDAD (Q) PARA VALORES MEDIDOS Y DATOS DEL FABRICANTE.

f(Hz)	Q Estudio A	Q Salón 502E	Q Fabricante
25 Hz	1.1402	1.0915	-
32 Hz	1.1026	1.0749	-
40 Hz	1.1639	1.0775	-
50 Hz	1.2146	1.0703	-
63 Hz	1.3539	1.0731	-
80 Hz	1.303	1.1043	-
100 Hz	1.2463	1.1261	-
125 Hz	1.1746	1.094	1.5167
160 Hz	1.197	1.0635	1.7386
200 Hz	1.2348	1.1439	1.7174
250 Hz	1.3096	1.1589	2.008
315 Hz	1.2489	1.1652	2.5881
400 Hz	1.3085	1.189	2.3928
500 Hz	1.3674	1.2074	2.899
630 Hz	1.3877	1.2161	4.3347
800 Hz	1.4354	1.2288	4.4914
1000 Hz	1.4406	1.2466	5.8387
1250 Hz	1.5063	1.2973	6.0894
1600 Hz	1.5028	1.3021	5.7459
2000 Hz	1.4551	1.2989	6.1905
2500 Hz	1.4606	1.2852	5.4824
3150 Hz	1.4934	1.3054	6.2251
4000 Hz	1.4508	1.2989	6.5611
5000 Hz	1.4582	1.3304	7.2547
6300 Hz	1.4098	1.3079	5.0229
8000 Hz	1.4841	1.3794	7.4058
10000 Hz	1.5029	1.4107	-
12500 Hz	1.4479	1.3915	-
16000 Hz	1.4872	1.5327	-
20000 Hz	1.7151	1.6866	-

La *tabla VI* muestra por tercio de octava los valores del índice de directividad (*DI*) calculados a partir de las mediciones realizadas en la sala de grabación del estudio A y en el salón 502E, así como los valores suministrados por el fabricante del altavoz *Genelec 1032A*.

TABLA VI. ÍNDICE DE DIRECTIVIDAD (DI) PARA VALORES MEDIDOS Y DATOS DEL FABRICANTE.

f(Hz)	DI Estudio A	DI Salón 502E	DI Fabricante
25 Hz	0.56995	0.38031	-
32 Hz	0.42412	0.31386	-
40 Hz	0.6591	0.32401	-
50 Hz	0.84433	0.29488	-
63 Hz	1.3159	0.30653	-
80 Hz	1.1495	0.43097	-
100 Hz	0.95614	0.51573	-
125 Hz	0.699	0.3903	1.8089
160 Hz	0.78087	0.26734	2.4019
200 Hz	0.916	0.58383	2.3487
250 Hz	1.1715	0.64029	3.0276
315 Hz	0.96532	0.66384	4.1298
400 Hz	1.1677	0.75166	3.789
500 Hz	1.359	0.81839	4.6225
630 Hz	1.4231	0.84955	6.3695
800 Hz	1.5697	0.89482	6.5238
1000 Hz	1.5854	0.95723	7.6632
1250 Hz	1.779	1.1304	7.8457
1600 Hz	1.7691	1.1464	7.5936
2000 Hz	1.6288	1.1359	7.9172
2500 Hz	1.6453	1.0898	7.3897
3150 Hz	1.7419	1.1574	7.9414
4000 Hz	1.6162	1.1358	8.1697
5000 Hz	1.6383	1.2397	8.6062
6300 Hz	1.4915	1.1657	7.0096
8000 Hz	1.7148	1.3968	8.6957
10000 Hz	1.7693	1.4942	-
12500 Hz	1.6074	1.4348	-
16000 Hz	1.7236	1.8545	-
20000 Hz	2.343	2.2701	-

IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Acá se presentan las observaciones y discusiones concernientes a los resultados obtenidos tras el desarrollo del protocolo de medición, su implementación mediante las mediciones en dos entornos diferentes y el procesamiento de los datos a través del algoritmo creado. El orden anterior, será en el que se presentará el análisis.

- Protocolo de medición:

De acuerdo a lo que se presenta en la sección 6.2, el desarrollo del protocolo de medición implicó el establecimiento de ciertas configuraciones de herramientas y equipos de manera que se pudieran adaptar los procedimientos de medida existentes con el sensor P-U dentro de una metodología que permitiera representar los descriptores de radiación de un altavoz y obtener una representación gráfica del campo vectorial de intensidad asociado a la superficie de medida.

Tradicionalmente estos descriptores se estiman mediante desplazamientos angulares sobre los ejes horizontal y vertical de la fuente, como se presenta en [19], de acuerdo a esto, se evidencia la primer limitación para las mediciones: el software de adquisición de datos *Sound Power*, basado en la norma *ISO 9614*, no permite establecer superficies de medida esféricas, y como tal la plataforma *VELO* no permite extraer los resultados de cada segmento medido, a menos que se haya completado la medición, así, dado el desarrollo del software se debe establecer un contorno paralelepípedo. Las dimensiones de éste se determinaron de manera que se mantuviera una distancia de medida dentro del campo cercano de la fuente, dependiendo del lugar donde se midiera y procurando tener una cantidad de puntos representativa, mayor resolución.

Buscando exactitud en las medidas y la menor influencia humana posible, se implementaron dispositivos como una base para suspender el altavoz, una rejilla segmentada con hilos de nylon que simulaba una de las caras de la superficie de medida y los soportes para la sonda, los cuales propiciaron estos aspectos.

A partir del protocolo realizado para la representación de las características directivas del altavoz, se obtuvo adicionalmente, una representación del campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición, que proporciona gráficas tridimensionales referentes al comportamiento de la radiación sonora del altavoz en sus caras y permite la visualización del campo generado para un amplio rango de frecuencias, permitiendo identificar los segmentos de mayor energía sobre la superficie de medida. De esta forma, la metodología de medición in situ brinda información de los parámetros directivos de una fuente y permite la representación tridimensional del campo de radiación de intensidad normal a la superficie generado por la fuente midiendo en salas con características acústicamente desfavorables.

- Mediciones en entornos acústicos diferentes:

Para la validación del protocolo y la determinación de su reproducibilidad era necesario llevar a cabo mediciones en dos lugares con condiciones acústicas diferentes, de manera que se pudieran cotejar los datos y realizar comparaciones para establecer las posibles desviaciones en ellos. Se estableció como lugar de control la sala de grabación del estudio A debido a que cuenta con un tratamiento acústico especial, mientras que el salón 502E no tiene este tipo de adecuaciones, por tanto, fue necesario caracterizar dichos espacios. De acuerdo a lo que se presenta en la *sección 7.1* y en los *anexos B.1* y *B.2*, el salón 502E presentó mayores niveles de ruido de fondo y unos tiempos de reverberación más altos que la sala de grabación del estudio A, lo que hace suponer que existió una mayor influencia de la sala en los valores de presión medidos en este lugar. Son estas características las que hacen especial refuerzo al uso de unidades de tipo vectorial que tengan la capacidad de reducir la contribución de las reflexiones en el lugar. Es por esto, que se hace relevancia en el uso de campos vectoriales de intensidad como representación del campo radiado por la fuente, cuando se cuenta con condiciones no anecoicas.

- Procesamiento de datos mediante el algoritmo:

Aunque la sonda *P-U* cuenta con la capacidad de capturar datos de varias variables acústicas, no permite representar directamente los descriptores de radiación. A partir de esto se hace necesario el desarrollo de un código en *Matlab* que depure los datos y realice los cálculos necesarios para obtener representaciones gráficas del campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medida y los patrones de radiación e índices de directividad. Por tanto, se hace necesario centrar el análisis en estas representaciones obtenidas.

A. Representación del campo vectorial de intensidad

La representación de la radiación del altavoz *Genelec 1032A* a partir de su campo vectorial de intensidad supone una aproximación cercana a la presentación de un patrón polar en 3 dimensiones, con la ventaja de despreciar las contribuciones del recinto en los resultados. Al graficarse tanto la magnitud del vector normal de intensidad en cada segmento es posible diferenciar las zonas alrededor de la fuente donde se presenta una mayor densidad de energía sonora.

Desde la figura 30 a la 41, en donde se muestra el campo vectorial obtenido a partir de las medidas hechas en la sala de grabación del estudio A y desde la 42 hasta la 53 donde se muestra el campo vectorial obtenido de las mediciones desarrolladas en el salón 502E, es posible evidenciar de forma muy general una mayor concentración de intensidad sonora en los segmentos de la cara frontal de la fuente a medida que la frecuencia aumenta, lo que denota el carácter directivo del altavoz para frecuencias altas. La disminución en la magnitud de los vectores de intensidad en las caras laterales, superior y trasera es otro indicador de los efectos directivos de las frecuencias altas.

En las gráficas de ambas salas vale la pena destacar que a partir de 2 kHz y hasta aproximadamente 10 kHz los vectores de la cara superior, vecinos de la cara frontal, aumentan el valor de su magnitud, lo que muestra mayor intensidad en la zona cercana a la vía de alta frecuencia (*tweeter*). Este efecto se hace notorio a partir de esa frecuencia considerando que en 1.8 kHz se encuentra la frecuencia de corte entre las 2 vías de la fuente (*crossover*).

Aunque en la cara frontal, donde se ubican los radiadores, se observan variaciones en la magnitud de la intensidad, no se observan cambios representativos dentro del espectro que supongan realces o atenuaciones en alguna frecuencia particular. Con esto, se puede confirmar de cierta manera el carácter plano (*flat*) con que fue diseñado este modelo de altavoz; propiciando las gráficas de campo vectorial de intensidad como alternativa a una curva de respuesta en frecuencia. En las gráficas presentadas es notoria la presencia de un vector que representa el segmento donde la magnitud de la intensidad es mayor (mostrado en color rojo oscuro), a medida que aumenta la frecuencia se observa que éste se desplaza a los segmentos superiores de la cara frontal, lo que se puede interpretar como una mayor concentración de energía sonora en los puntos que se ubican justo frente a la vía de alta frecuencia

En general, para ambos espacios se presenta un efecto de dispersión en la intensidad, concentrándose en mayor medida sobre los segmentos superiores de la cara frontal al aumentar la frecuencia. A partir de 10kHz se producen desviaciones en la distribución y en las magnitudes de los vectores de campo. Tanto en la sala de grabación del estudio A como en el salón 502E el campo de vectores asociado a la cara frontal para las frecuencias superiores a 10kHz no tiende a concentrarse sobre una región específica de la cara, debido a que estas frecuencias se encuentran por encima del rango efectivo de la sonda para mediciones de intensidad.

En las *tablas III y IV* se muestra el promedio energético de la intensidad en cada una de las caras del paralelepípedo y para cada uno de los recintos de medición. Considerando el rango útil de la sonda, se puede observar cómo se presentan disminuciones en el nivel promedio de cada una de las caras al momento de aumentar la frecuencia. El aumento de la frecuencia genera una centralización de la intensidad sobre segmentos muy específicos, es decir, se tienen muy pocas secciones de la cara donde el vector de intensidad tiene una magnitud grande en comparación con el resto de ellas, esto conlleva a una disminución de la intensidad en las zonas donde no se presenta esta concentración, por tanto, el incremento de la desviación entre las magnitudes de los vectores genera una disminución del nivel de intensidad al momento de calcular el promedio de toda la cara. En baja frecuencia no se nota claramente que exista una zona donde se centralice la intensidad, por tanto hay una mayor equivalencia entre las magnitudes de los segmentos que conforman cada cara.

B. Patrones de radiación, Q y DI

Si bien el algoritmo creado aporta la representación de estos parámetros directivos, los valores y gráficas mostradas presentan variaciones significativas con respecto a los valores medidos por el fabricante, debido a que la presión por sí sola, no permite medir en condiciones no anecoicas. Es por ello que el peso de la representación de la radiación del altavoz bajo el método establecido en esta investigación recae sobre la graficación del campo vectorial de intensidad normal a la superficie.

En los diagramas de radiación presentados desde la *figura 54* hasta la *figura 60*, para las mediciones realizadas en la sala de grabación del estudio A y para las hechas en el salón 502E se observan pequeñas variaciones de presión a lo largo del eje *Theta*, para gran parte de las frecuencias analizadas. A pesar de esto existe una diferencia significativa respecto a los diagramas de radiación proporcionados por la empresa *Genelec*, inicialmente debido a la forma y a las condiciones bajo las cuales se realizó la adquisición de los datos. Aunque las mediciones con el sensor *P-U* fueron realizadas siguiendo el procedimiento de medición desarrollado y cumpliendo con los indicadores de calidad descritos en la *sección 5.2.1*, necesarios para verificar la exactitud de las medidas, no se pudo obtener una representación gráfica de los patrones polares que estuviera acorde al comportamiento direccional en función de la frecuencia. Una de las principales razones que tuvo influencia en estos resultados fue la interacción de las reflexiones con la señal emitida por el altavoz.

Se entiende además que la presión por sí sola puede brindar la información suficiente para graficar los patrones de radiación, siempre y cuando sea medida bajo condiciones acústicas anecoicas, dado que las contribuciones del cuarto en el que se realice la medición se verán reflejadas directamente en la magnitud de la presión medida en cada uno de los segmentos, debido a que esta unidad (la presión sonora) es afectada por las reflexiones cuando es captada mediante un transductor omnidireccional. Esto provoca que las caras laterales, posterior y superior de la superficie, que son las que idealmente deberían de tener menos contribución energética que la cara frontal donde están ubicados los radiadores, contribuyan con energía de las reflexiones provocadas por la radiación

sonora de la fuente en direcciones ajenas a la de interés. Así la medición de presión, para la caracterización del patrón de radiación debe hacerse en un lugar donde las reflexiones sean despreciables en comparación con la magnitud proveniente de la dirección deseada, que para estos casos será la normal al altavoz.

En las mediciones tradicionales para la determinación de patrones polares es necesario considerar ciertas especificaciones en cuanto a las características del lugar de medición y al tipo de señal. Se hace necesario medir bajo condiciones de campo libre, buscando aislar las reflexiones en el recinto. La elección de la señal determinará el tipo de procesamiento que debe realizarse, pues este afectará directamente a los datos obtenidos de la medición. Es decir, con la elección de cualquier tipo de ruido o señal *sine sweep*, los resultados se verán influenciados por la forma en cómo se realice el filtrado de la muestra capturada, mientras que, en una medición por tonos puros, será el ruido de fondo quien intervenga sobre ellos. Es por esto que, en las representaciones mostradas del patrón directivo, el aporte energético en cada una de las bandas, debe ser visto como el resultado del filtrado de la señal *sine sweep* o el ruido, según sea el caso. Esto, sumado a las contribuciones de las reflexiones provoca que se presenten desviaciones respecto a los datos proporcionados por el fabricante.

Debido que Q y DI tienen una dependencia directa de la presión, también se presentan diferencias significativas entre los calculados a partir de las medidas con sonda $P-U$ respecto de la información brindada por el fabricante. Esto es causado porque a las magnitudes de las reflexiones sobre las mediciones en los puntos que rodean del eje acústico del altavoz poseen contribuciones del recinto, mientras que en el caso de la medición realizada por el fabricante, estas contribuciones no existen. Es por esto que los valores de presión sonora en el desplazamiento angular sobre el eje acústico de la fuente poseen valores muy semejantes para el protocolo de medición establecido. Se aprecia que tanto Q como DI aumentan a medida que la frecuencia se hace más alta, resultados que van de acuerdo a lo que sucede cuando la respuesta del altavoz se hace más direccional a frecuencias altas.

A pesar de que los datos medidos bajo el protocolo difieren con los del fabricante, las desviaciones entre los resultados para ambos entornos de son pequeñas, lo que supone la posibilidad de replicar

la metodología en diferentes condiciones acústicas sin que estas afecten de manera considerable la estimación de las variables bajo estudio.

X. CONCLUSIONES

El protocolo de medición desarrollado contempla una serie de configuraciones mediante las cuales es posible replicarlo y llevarlo a cabo in situ para obtener una representación del campo vectorial normal de intensidad asociado a una superficie paralelepípeda.

Si bien la presión es una variable que se ve afectada por el comportamiento del lugar donde se mida, la intensidad, siendo una unidad vectorial producto de la velocidad de partícula, tiene la capacidad de desprestigiar las reflexiones ajenas a la dirección de la sonda, por tanto, las contribuciones del recinto pueden ser despreciables con respecto a los datos medidos dentro de los límites de la superficie.

La medición de velocidad de partícula realizada con la sonda permite adquirir los datos únicamente en la dirección a la que apunta el transductor, de esta forma obtener valores medidos en cada cara sin ser afectados por reflexiones tempranas. El problema, es que no hay una constante de peso mediante la cual se puedan escalar las magnitudes al desplazar el vector desde una de las caras del paralelepípedo a la superficie de una esfera inscrita dentro de él. Este escalamiento depende de la dirección, el sentido y la distancia a la cual se vaya a desplazar el vector, esto posibilitaría estimar el comportamiento de la unidad vectorial en la nueva posición y de esta forma aproximar su nueva magnitud.

Los diagramas de radiación, los índices y factores de directividad obtenidos mediante las mediciones realizadas bajo el protocolo desarrollado presentan diferencias notables respecto de la información brindada por el fabricante del altavoz. Las mediciones para determinar estos descriptores de radiación deben medirse necesariamente en campo libre, donde no existan reflexiones o sean mínimas. El tipo de ajuste realizado para aproximar los datos desde una superficie paralelepípeda a una esfera también tiene una influencia directa en los resultados presentados.

El algoritmo desarrollado proporciona una visualización gráfica de la magnitud y la dirección de los vectores asociados a la superficie de medida. Adicionalmente, proporciona gráficas y cálculos de los descriptores de radiación medidos y de los suministrados por *Genelec*.

Se comprueba que con la aproximación de intensidad del altavoz sobre una superficie paralelepípeda por tercios de octava, realizada según el método implementado, cumple para ambos

recintos. Es posible graficar de forma satisfactoria y asociar a un color las magnitudes de los vectores que representan a los segmentos donde se ubican las fuentes de mayor energía.

De esta manera la visualización del campo vectorial de intensidad presenta información valiosa sobre la radiación de la fuente bajo estudio. Esta representación se puede tener en cuenta como un primer acercamiento al análisis de la interacción de la fuente con el medio.

La metodología de medición elaborada en esta investigación está sujeta al desarrollo del software *Sound Power*. Mientras no esté disponible la posibilidad de medir directamente sobre una esfera, deberán de aplicarse métodos numéricos avanzados, como *BEM* o *FEM*, mediante los cuales se establezcan aproximaciones de mayor precisión, de manera que puedan representarse de forma directa los patrones de radiación en 2 y 3 dimensiones.

REFERENCIAS

- [1] D. Fernandez, Scan-based sound visualisation methods using sound pressure and particle velocity. Thesis for degree of doctor of philosophy, University of Southampton, Southampton, 2014.

- [2] T. D. Rossing, P. A. Wheeler, and F. R. Moore, *The Science of Sound*. San Francisco: Addison Wesley, 3rd ed., 2002.
- [3] J. Ochoa, *Estimación del coeficiente de absorción en incidencia aleatoria utilizando presión y velocidad de partícula mediante la sonda pu de Microflown Technologies*. Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura, Medellín, 2015.
- [4] F. Everest and K. C. Pohlmann, *Master Handbook of Acoustics*. The McGraw-Hill Companies, Inc, 5th. ed., 2009.
- [5] ISO, “ISO 9614: Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-Part 2: Measurement by scanning,” 1996.
- [6] D. Fernandez, A. Grosso, and K. R. Holland, “Loudspeaker cabinet characterization using a particle-velocity based scanning method,” *AIA-DAGA Merano*, 2013.
- [7] F. Jacobsen, “Sound intensity and its measurement and applications,” *Current Topics in Acoustical Research*, no. 31262, 2003.
- [8] Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), “Campos vectoriales,” 2013. [Online]. Available: <http://objetos.unam.mx/fisica/camposVectoriales/index.html>
- [9] F. Fahy, *Sound Intensity*. London: E & FN Spon, 2nd ed., 1995
- [10] A. Molina, *Evaluación de los métodos de estimación de potencia sonora basados en presión y en el uso de la sonda p-u Microflown para la caracterización acústica de los electrodomésticos de la línea Assento de Haceb*. Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura, Medellín, 2014.
- [11] B. Pueo and M. Romá, *Electroacústica: altavoces y micrófonos*. Madrid: Pearson Educación, S.A, 2003.
- [12] R. F. Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*. Ruston, Louisiana: Marcel Decker, Inc., 1st ed., 2003.
- [13] L. L. Beranek, *Acústica*. Cambridge, Massachusetts: McGraw Hill Book Company, Inc., 2nd ed., 1969.
- [14] F. Jacobsen and H. E. de Bree, “Intensity based sound power determination under adverse sound field conditions: P-P probes versus P-U probes,” *12th Int. Congress on Sound and Vibration*, vol. 12, pp. 1–8, 2005.
- [15] D. Bonsi, D. Stanzial, F. G. Cini, and S. Giorgio, “Use of the Microflown Intensity Probe for evaluating the Influence of the Environment on the Power of an Acoustic Source,” *ICA*,

- vol. 18, 2004.
- [16] W. F. Druyvesteyn, H. E. de Bree, and M. Elwenspoek, “A new acoustic measurement probe; The Microflown,” 1999.
 - [17] Microflown, “VELO - Sound Power Manual.” 2014.
 - [18] Microflown, “Sound Power Release Note.” 2014.
 - [19] AES, “AES standard on acoustics - Sound source modeling - Loudspeaker polar radiation measurements,” 2008.
 - [20] H. E. de Bree, R. Raangs, and E. Druyvesteyn, “Sound intensity measurements with the Microflown sensor,” *Internoise*, vol. 33, pp. 1–11, 2004.
 - [21] ISO, “ISO 9614: Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity-Part 1: Measurement at discrete points,” 2009.
 - [22] F. Jacobsen and H. E. de Bree, “A comparison of two different sound intensity measurement principles,” *J. Acoustical. Soc. Am*, vol. 118, 2005.
 - [23] D. Fernandez, S. Morales, T. Takeuchi, and K. Holland, “Measuring under non stationary conditions with scanning techniques,” *Novem*, pp. 1–7, 2012.
 - [24] D. Fernandez, S. Morales, T. Takeuchi, and K. Holland, “Measuring Musical Instruments Directivity Patterns with Scanning Techniques,” *19th International Congress of Sound and Vibration*, pp. 1–8, 2012.
 - [25] D. Fernandez, “Inter-Network Talk,” 2016.
 - [26] Genelec, “Operating Manual Genelec 1031A Monitoring System.” 2003.
 - [27] Microflown, “Calibration,” in *The Microflown E-book* (Microflown, ed.), ch. 4, p. 92, 2008.

ANEXOS

Anexo A. Hoja de datos Genelec 1032A

GENELEC®
ACTIVE MONITORING

1032A

DATA SHEET

Genelec 1032A
Bi-amplified Monitoring System



1032A Bi-amplified Active Monitoring System



APPLICATIONS

Near Field Monitoring
Broadcast Monitoring
TV Control Rooms
Mobile Vans
Video Post Production
Project Studios
Digital Workstations

SYSTEM

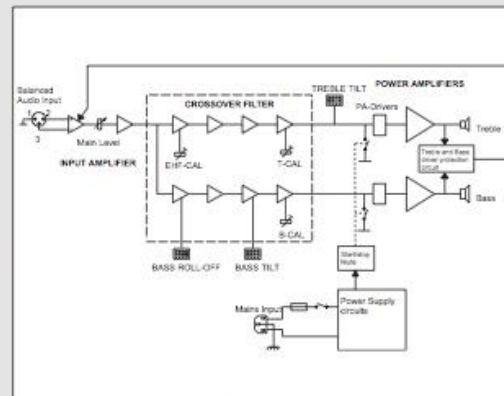
The Genelec 1032A is a two-way active monitoring system including magnetically shielded loudspeaker drivers, speaker enclosure, multiple power amplifiers and active, low signal level crossover. Based on the famous 1031A near field monitor, the 1032A offers extended low frequency response and an increased maximum SPL. Due to its compact size, this system is ideal for high power near field monitoring. Furthermore, it is well suited to general purpose broadcasting applications, TV control rooms, mobile vans and CD mastering as well as home studios.

The unique Directivity Control Waveguide (DCW) Technology used provides excellent stereo imaging and frequency balance even in difficult acoustic environments. The fast, low distortion amplifiers are capable of driving the stereo system to peak output levels in

excess of 124 dB SPL at 1 m with program signals. Versatile crossover controls allow for precise matching of the speaker system to different acoustic conditions. The system can be used in both vertical and horizontal orientation by simply rotating the DCW unit.

INTEGRATED CONSTRUCTION

The system is very easy to use as only mains power and input signal are needed. Uniform performance is obtained through the integration of the loudspeakers and amplifiers as a complete matched and calibrated package. The rugged amplifier is mounted into the enclosure with vibration isolators which also act as quick release hinges making maintenance operations very easy and straightforward. The speaker cabinet is constructed of veneered MDF, which is heavily braced to eliminate structural resonances.



The block diagram showing active crossover filters, power amplifiers and driver units.



Two channel amplifier is housed in the speaker cabinet

AMPLIFIERS

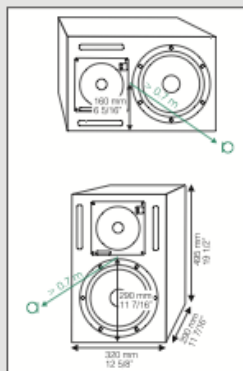
The bass and treble amplifiers each produce 180 W and 120 W respectively of short term power with very low THD and IM distortion. Special attention has been paid to the electronic design to ensure the highest subjective sound quality currently possible. The system incorporates special circuitry for driver overload protection. Thermal protection is included for the amplifiers.



Horizontal mounting



Vertical mounting



The reference axis lies between bass and tweeter drivers.

CROSSOVER FILTERS

The crossover frequency of the active crossover is 1.8 kHz. In order to obtain uniform frequency balance in differing acoustic conditions, special calibrated controls are included in the crossover. Three such controls are at the users disposition including treble and bass tilt, and bass roll-off switch. Each of these controls allow for adjustment in 2 dB increments and also provide the possibility of muting the channel for test purposes. A high pass filter is included in the LF channel to protect the woofer from subsonic signals. The crossover network is driven by an active balanced input stage. Variable input sensitivity allows for accurate level matching to the mixing console.

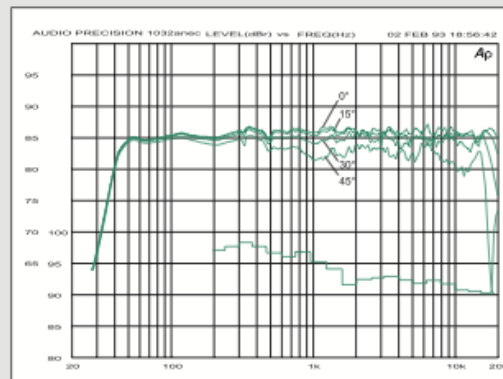
DRIVERS

The bass frequencies are reproduced by a 250 mm (10") bass driver loaded by a 24 litre vented box. The -3 dB point is 40 Hz and the low frequency response extends down to 36 Hz.

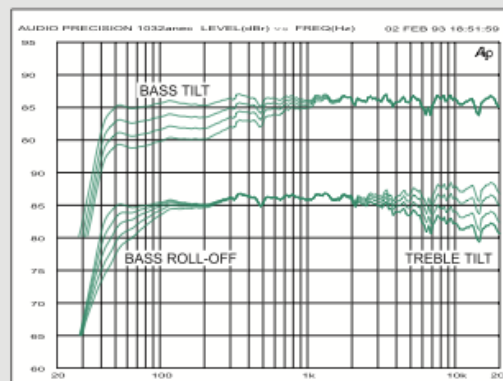
The high frequency driver is a 25 mm (1") metal dome, with pistonic behavior upto 23 kHz, is loaded by a proprietary DCW. Both drivers are magnetically shielded for applications where the stray magnetic field must be minimized.



Calibrated 'Tilt' switch. MUTE disconnects the channel for testing.



The upper curve group shows the horizontal directivity characteristics of the 1032A in its vertical configuration measured at 1 m. The lower curve is a $1/3$ octave band power response, measured in an IEC approved reverberation chamber.



The upper curves show the effect of the 'bass tilt' control on the free field response. The lower curves show the effect of the 'treble tilt' and 'bass roll-off' controls.

DCWTECHNOLOGY

The revolutionary Directivity Control Waveguide Technology is a means of greatly improving the performance of a direct radiating multiway loudspeaker under normal listening conditions. The basic idea is to match the different drive units precisely, in terms of both frequency response and directivity. This will result in a smoother and virtually uncoloured off-axis system response. Also, due to improved directivity control, especially in the midrange frequencies, more direct sound and less early boundary reflections are received at the listening position. This gives improved stereo imaging and ensures the system is less sensitive to differing control room acoustics than any conventional direct radiator design. The DCW Technology improves the drive unit sensitivity by

+2 to +6 dB thus increasing the system maximum sound pressure level.



The tweeter driver is mounted in a DCW to match the dispersion characteristics to that of the bass driver. The DCW may be rotated for horizontal or vertical mounting.

Options



Opt-01
Flight case
Order Code
1032-401



Opt-09
Grille
Order Code
1032-409



Opt-04
Wall Mount
Order Code
1032-404-V
1032-404-H



Opt-05
Floor stand
Order Code
1032-405-V
1032-405-H

SYSTEM SPECIFICATIONS

Lower cut-off frequency, -3 dB: ≤ 40 Hz
 Upper cut-off frequency, -3 dB: ≥ 22 kHz

Free field frequency response of system:
 42 Hz - 21 kHz (± 2.5 dB)

Maximum short term sine wave acoustic output on axis in half space, averaged from 100 Hz to 3 kHz:

@ 1m ≥ 113 dB SPL
 @ 0.5m ≥ 119 dB SPL

Maximum long term RMS acoustic output in same conditions with IEC weighted noise (limited by driver unit protection circuit):

@ 1m ≥ 103 dB SPL
 @ 0.5m ≥ 109 dB SPL

Maximum peak acoustic output per pair on top of console, @ 1 m from the engineer with music material: ≥ 124 dB

Self generated noise level in free field @ 1m on axis: ≤ 10 dB (A)

Harmonic distortion at 90 dB SPL @ 1m on axis:

Freq: 50...100 Hz $< 1\%$
 > 100 Hz $< 0.5\%$

Drivers:

Bass 250 mm (10") cone
 Treble 25 mm (1") metal dome
 Both drivers are magnetically shielded

Weight: 21,7 kg (48 lb)

Dimensions: Height 495 mm (19 $\frac{1}{2}$ ")
 Width 320 mm (12 $\frac{5}{16}$ ")
 Depth 290 mm (11 $\frac{7}{16}$ ")

AMPLIFIER SECTION

Bass amplifier output power with an 4 Ohm load: 180 W

Treble amplifier output power with an 8 Ohm load: 120 W

Long term output power is limited by driver unit protection circuitry.

Slew rate: 80 V/ μ s

Amplifier system distortion at nominal output:

THD $\leq 0.05\%$
 SMPTE-IM $\leq 0.05\%$
 CCIF-IM $\leq 0.05\%$
 DIM 100 $\leq 0.05\%$

Signal to Noise ratio, referred to full output:

Bass ≥ 100 dB

Treble ≥ 100 dB

Mains voltage: 100/200 V or 115/230 V

Voltage operating range nominal $\pm 10\%$

Power consumption:

Idle 50 W

Full output 200 W

CROSSOVER SECTION

Input connector: XLR female

pin 1 gnd
 pin 2 +
 pin 3 -

Input impedance: 10 kOhm balanced

Input level for 100 dB SPL output @ 1m: variable from +6 to -6 dBu

Input level for maximum short term output of 113 dB SPL @ 1m: variable from +19 to +7 dBu

Subsonic filter below 40 Hz : 18 dB/octave

Ultrasonic filter above 25 kHz: 12 dB/octave

Crossover frequency, Bass/Treble: 1.8 kHz

Crossover acoustical slopes: 24 - 32 dB/octave

Treble tilt control operating range in 2 dB steps: +2 to -4 dB & MUTE

Bass roll-off control operating range in 2 dB steps: 0 to -8 dB @ 40 Hz

Bass tilt control operating range in 2 dB steps: 0 to -6 dB & MUTE

The 'CAL' position is with all tone controls set to 'off' and input sensitivity control to maximum.

All data subject to change without prior notice

Genelec Oy, Olvite 5
 FIN - 74100 IISALMI, FINLAND
 Phone: +358 - 17 - 83 881
 Fax: +358 - 17 - 812 267
 E-mail: genelec@genelec.com
 Web: <http://www.genelec.com>

GENELEC®

Genelec Document BSA32001a COPYRIGHT GENELEC OY 6.2000

Genelec Inc, 7 Tech Circle
 Natick, MA 01760, USA
 Phone: +1 - 508 - 652 - 0900
 Fax: +1 - 508 - 652 - 0909
 E-mail: genelec.usa@genelec.com

Anexo B. Mediciones previas

B. 1. Informes de medición: Sala de grabación Estudio A

B.1.1. Medición ruido de fondo

Información general

Se presenta el proceso realizado para determinar el nivel de ruido de fondo en la sala de grabación del estudio A de la Universidad de San Buenaventura Medellín sede San Benito. Todas las medidas fueron realizadas de acuerdo a como lo estipula la Resolución 8321 de 1983 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

Los equipos usados para la medición fueron los siguientes:

- Sonómetro *Cesva SC310* clase 1. Número de serie: T232231.
- Calibrador sonoro *Cesva CB006* clase 1.
- Trípode.
- Flexómetro.
- Software *dBTrait*.

Descripción de la medición

Se realizaron en total tres mediciones, cada una con una duración de quince minutos en diferentes lugares del recinto como se muestra en la *figura 61* y aproximadamente a 1.2m de altura. Todas las mediciones fueron con la puerta de la sala cerrada y con las configuraciones especificadas por la norma para el sonómetro.

Una vez concluyeron las mediciones se procedió a extraer los resultados con el software del sonómetro para posteriormente realizar su análisis.

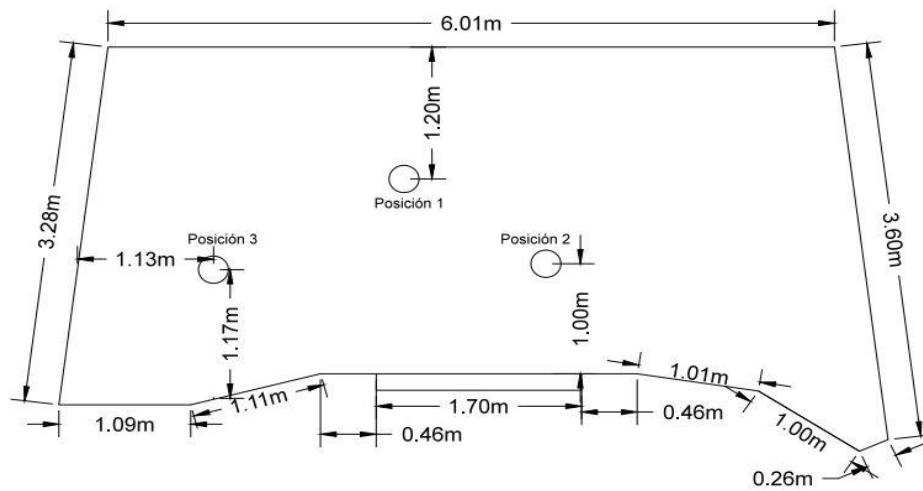


Fig. 61. Puntos de medición de ruido de fondo para la sala de grabación del estudio A.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

En la *tabla VII* se presenta el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}) y los niveles de presión sonora para cada uno de los puntos de medición por bandas de octava, además de mostrar su promedio aritmético.

TABLA VII. NIVELES DE RUIDO DE FONDO SALA DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO A POR BANDAS DE OCTAVA.

	Posición 1	Posición 2	Posición 3	Promedio
L_{Aeq} (dBA)	26,4	27,5	26,8	26,9
Frecuencia (Hz)	Nivel (dB)			
31,5	41,6	38,9	44,2	41,6
63	36,2	39,5	35,5	37,1
125	24,6	26,2	27,5	26,1
250	25,4	27,8	27,2	26,8
500	20,9	23,3	22,1	22,1
1000	19,8	18,5	18,9	19,1
2000	19,7	18,6	19,2	19,2
4000	16,7	18,9	18,9	18,2
8000	15,5	16,3	17,9	16,6

B.1.2. Medición tiempo de reverberación

Información general

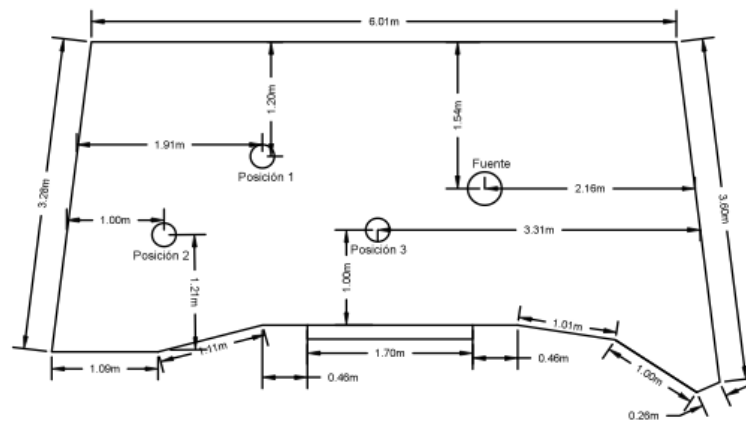
Este informe muestra el proceso realizado para determinar el tiempo de reverberación de la sala de grabación del estudio A de la Universidad de San Buenaventura Medellín sede San Benito. Todas las medidas fueron realizadas de acuerdo a como lo estipula el estándar ISO 3382-2.

El equipamiento de medición usado fue el siguiente:

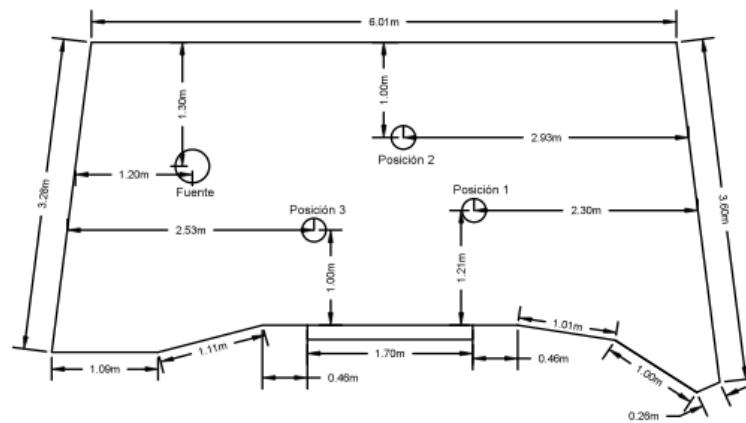
- Fuente omnidireccional *01 dB Omni 12*. Amplificador y módulo generador de señales incluidos.
- Dos (2) micrófonos de medición *dbx RTA-M*.
- Interfaz de audio *M-Audio Mobil Pre-USB*.
- Computador portátil

Descripción de la medición

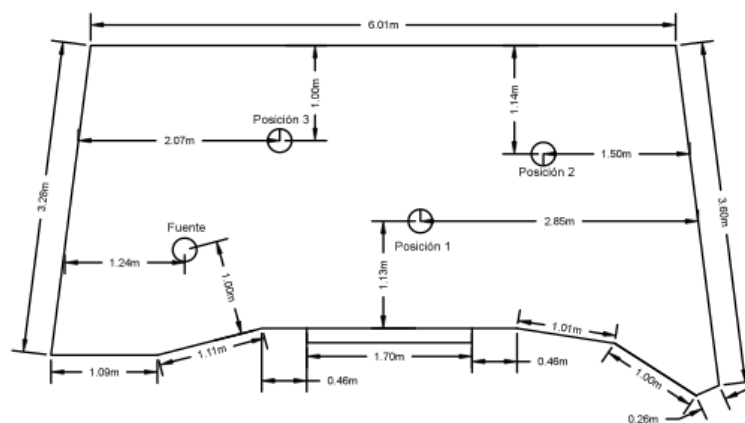
Esta medición se realizó bajo el método de ruido interrumpido, con el número de posiciones de medición suficientes para realizar una evaluación con grado de ingeniería, las muestras se obtuvieron de la siguiente forma: tres (3) posiciones de fuente con tres (3) posiciones de micrófono para cada una de ellas, como se observa en la *figura 62*. Se configuró la fuente omnidireccional de manera que se alcanzara al menos 30dB por encima del nivel de ruido de fondo. El único mobiliario presente en el recinto fue la configuración de paneles móviles, además de las dos personas que se encontraban realizando la medición. Luego, las señales capturadas pasaron a analizarse mediante un algoritmo en *Matlab* suministrado por uno de los docentes de la universidad, este algoritmo permite obtener la curva de decaimiento por bandas de octava.



(a)



(b)



(c)

Fig. 62. Puntos de medición de tiempo de reverberación para la sala de grabación del estudio A. (a) Posición de fuente 1. (b) Posición de fuente 2. (c) Posición de fuente 3.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se obtuvieron los tiempos de reverberación de cada una de las muestras se procedió a calcular su promedio aritmético, estos resultados se observan en la *tabla VIII*.

TABLA VIII. TIEMPO DE REVERBERACIÓN T60 MEDIDO EN LA SALA DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO A POR BANDAS DE OCTAVA.

Frecuencia (Hz)	T60 (s)									Promedio
	Muestra									
	1,1	1,2	1,3	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	
63	0,25	0,28	0,27	0,23	0,2	0,19	0,25	0,17	0,24	0,23
125	0,25	0,23	0,24	0,26	0,21	0,24	0,22	0,2	0,19	0,23
250	0,18	0,19	0,19	0,18	0,14	0,19	0,2	0,15	0,13	0,17
500	0,18	0,12	0,19	0,17	0,16	0,18	0,2	0,16	0,15	0,17
1000	0,15	0,19	0,21	0,18	0,14	0,19	0,15	0,17	0,22	0,18
2000	0,21	0,2	0,21	0,22	0,19	0,26	0,24	0,2	0,18	0,21
4000	0,2	0,23	0,24	0,26	0,21	0,22	0,2	0,19	0,19	0,22
8000	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,19	0,17	0,18	0,17
16000	0,24	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,21	0,22	0,21	0,23

Es importante notar que para la frecuencia de 31.5 Hz no se presentó un decaimiento de 30dB o más en el nivel de la sala, por lo tanto no fue posible presentar tiempos en esta banda de octava.

Así mismo se procedió a realizar el cálculo teórico de los tiempos de reverberación del lugar, T60 mediante la fórmula de *Sabine* y mediante la fórmula de *Eyring*. Previamente se habían realizado las mediciones del lugar, de tal manera que se pudieran determinar sus dimensiones así como el área de todos los elementos que lo componen. Como resultado se determinó un área superficial total 112.18 m² y un volumen de 59.2 m³ ambos aproximados. Las áreas de los diferentes componentes de la sala, los coeficientes de absorción y los tiempos de reverberación obtenidos se muestran en las tablas IX, X y XI respectivamente. En la *figura 63* se presenta un gráfico del tiempo de reverberación calculado en función de la frecuencia.

TABLA IX. MATERIALES DE LA SALA DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO A.

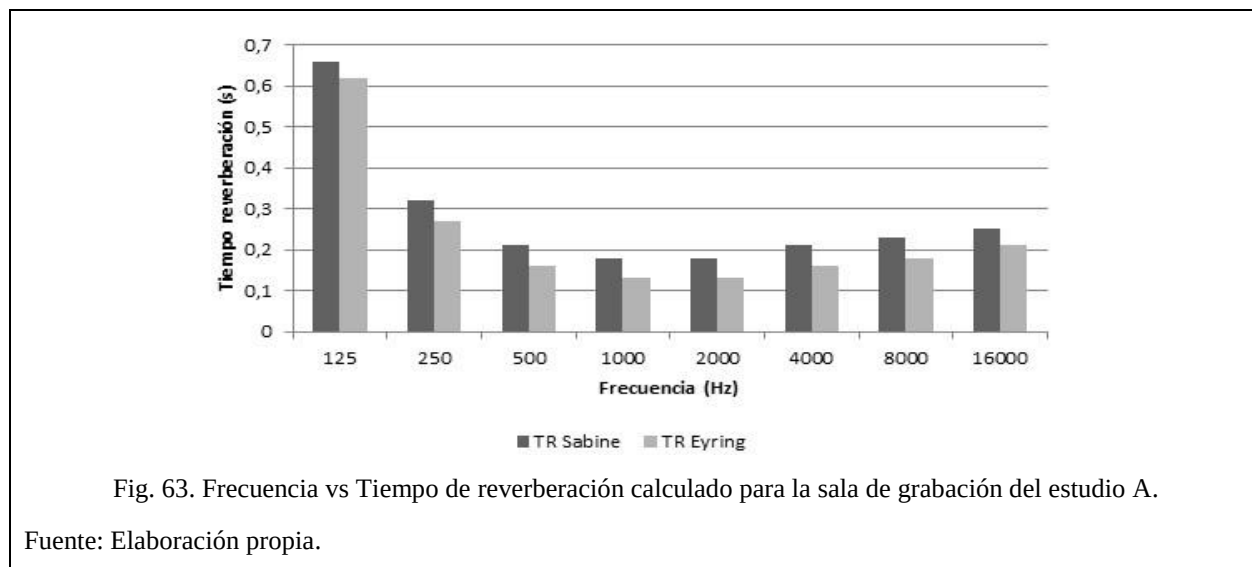
Objeto	Material	Área (m ²)
Piso	Cerezo tablilla	20
Paneles absorbentes	Paño y fibra de vidrio	24,58
Recubrimiento paredes	Madera	21,25
Muro	Hormigón	1
Difusores (techo y paredes)	Madera	23,55
Puerta de ingreso	Metal	4,1
Visor al control room	Vidrio	2,88
Rejilla de ventilación	Aluminio	0,66
Canaleta de cableado	Metal	4,1
Paneles móviles	Paño y lana de roca	10,06

TABLA X. COEFICIENTES DE ABSORCIÓN DE LA SALA DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO A.

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN (α)									
Material \ Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
Cerezo tablilla	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	
Paneles absorbentes paredes	0,06	0,41	0,83	0,93	0,73	0,55	0,37	0,19	
Madera paredes	0,18	0,34	0,42	0,59	0,83	0,68	0,74	0,8	
Hormigón	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Madera difusores	0,2	0,25	0,2	0,2	0,15	0,2	0,2	0,2	
Puerta Metal	0,35	0,39	0,44	0,49	0,54	0,57	0,57	0,62	
Vidrio	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,01	0,01	
Aluminio	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Metal	0,07	0	0,14	0	0,14	0,14	0,14	0,07	
Paño y lana de roca	0,03	0,33	0,73	0,89	0,85	0,77	0,69	0,61	
$\alpha_{promedio}$	0,13	0,27	0,41	0,47	0,47	0,40	0,37	0,34	

TABLA XI. TIEMPOS DE REVERBERACIÓN CALCULADOS POR BANDAS DE OCTAVA PARA LA SALA DE GRABACIÓN DEL ESTUDIO A.

TIEMPO DE REVERBERACION (seg)									
F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
T60 Sabine	0,66	0,32	0,21	0,18	0,18	0,21	0,23	0,25	
T60 Eyring	0,62	0,27	0,16	0,13	0,13	0,16	0,18	0,21	



Cálculo de distancia crítica (Dc)

Obtenidos los tiempos de reverberación para las distintas frecuencias, se procede a calcular otras variables acústicas como constante de la sala (R) y absorción total (A), que brindan valores bajo los cuales se caracterizan las salas como "secas" (cuando poseen tiempos de reverberación muy bajos, y por tanto no se perciben demasiadas reflexiones.) y "vivas" (cuando la sala tiene un tiempo de reverberación largo y por consiguiente se perciben reflexiones del cuarto.)

A partir del cálculo de estas dos variables y sabiendo el factor de directividad de la fuente estudiada, se puede proceder con el cálculo de la distancia crítica descrita en la ecuación (5.8). Pero al no tener el valor exacto del factor de directividad de la fuente (debido a que pocos fabricantes brindan este dato), se observa que el valor mínimo y más crítico es para el caso de una fuente omnidireccional, el cual tiene un factor de "1". A medida que la fuente se vuelve más direccional, este factor aumenta y con ello la distancia crítica. Por ello, se hicieron los cálculos bajo un Q de 1, sabiendo que con más direccionalidad de la fuente se tiene mayor libertad en el movimiento dentro del campo cercano en la sala.

En la *tabla XII* se muestra las magnitudes obtenidas para los cálculos de la constante de la sala (R), la absorción total de la sala (A) y la distancia crítica bajo el cálculo con un Q igual a 1.

TABLA XII. CÁLCULOS PARA LA DISTANCIA CRÍTICA EN EL ESTUDIO A.

Parámetro \ Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Área total de absorción (A)	14,25	30,04	46,08	53,03	52,27	45,27	41,43	37,59
Constante de la sala (R)	16,32	41,02	78,21	100,58	97,87	75,89	65,68	56,54
Distancia crítica (Dc) [m]	0,57	0,90	1,24	1,40	1,39	1,22	1,13	1,05

B.2. Informes de medición: Salón 502E

B.1.1. Medición ruido de fondo

Información general

Se presenta el proceso realizado para determinar el nivel de ruido de fondo en salón 502E de la Universidad de San Buenaventura Medellín sede San Benito. Todas las medidas fueron realizadas de acuerdo a como lo estipula la Resolución 8321 de 1983 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

Los equipos usados para la medición fueron los siguientes:

- Sonómetro *Cesva SC310* clase 1. Número de serie: T232231.
- Calibrador sonoro *Cesva CB006* clase 1.
- Trípode.
- Flexómetro.
- Software *dBTrait*.

Descripción de la medición

Se realizaron en total tres mediciones, cada una con una duración de quince minutos en diferentes lugares del recinto como se muestra en la *figura 64* y aproximadamente a 1.2m de altura. Todas las mediciones fueron con la puerta y ventanas cerradas, además con las configuraciones especificadas por la norma para los elementos de medida.

Una vez concluyeron las mediciones se procedió a extraer los resultados con el software del sonómetro para posteriormente realizar su análisis.

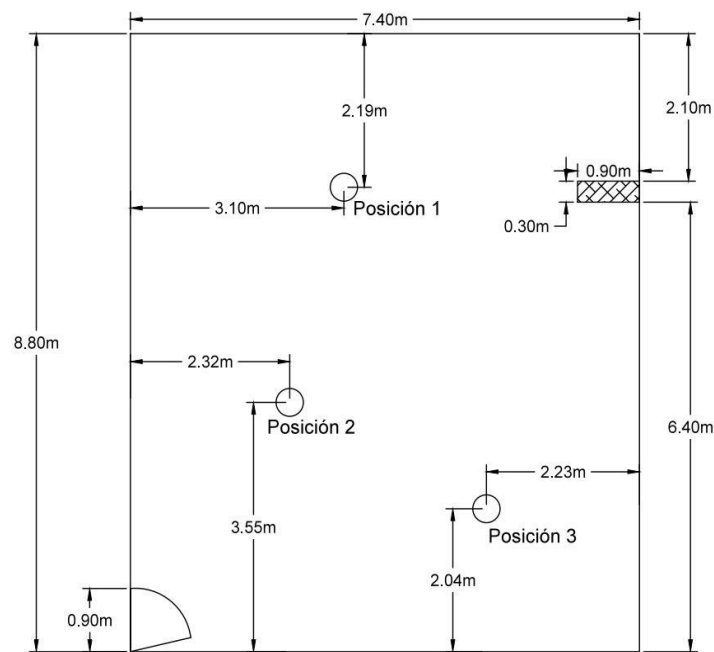


Fig. 64. Puntos de medición de ruido de fondo para el salón 502E.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

En la *tabla XIII* se presenta el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}) y los niveles de presión sonora para cada uno de los puntos de medición por bandas de octava, además de mostrar su promedio aritmético.

TABLA XIII. NIVELES DE RUIDO DE FONDO SALÓN 502E.

	Posición 1	Posición 2	Posición 3	Promedio
L_{Aeq} (dBA)	47,3	41,1	43,5	43,97
Frecuencia (Hz)	Nivel (dB)			
31,5	62,7	57,2	59,5	59,80
63	63,2	52,6	51,4	55,73
125	61,1	58,7	58,5	59,43
250	59,6	49,9	52,3	53,93
500	58,6	50,3	49,6	52,83
1000	57,4	43,2	48,5	49,70
2000	51	39,9	43,4	44,77
4000	44,9	31,6	40	38,83
8000	35,3	27,7	33,4	32,13

B.2.2. Medición tiempo de reverberación

Información general

Este informe muestra el proceso realizado para determinar el tiempo de reverberación del Aula de clase 502E de la Universidad de San Buenaventura Medellín sede San Benito. Todas las medidas fueron realizadas de acuerdo a como lo estipula el estándar *ISO 3382-2*.

El equipamiento de medición usado fue el siguiente:

- Fuente omnidireccional *01 dB Omni 12*. Amplificador y módulo generador de señales incluidos.
- Dos (2) micrófonos de medición *dbx RTA-M*.
- Interfaz de audio *M-Audio Mobil Pre-USB*.
- Computador portátil

Descripción de la medición

Esta medición se realizó bajo el método de ruido interrumpido, con el número de posiciones de medición suficientes para realizar una evaluación con grado de ingeniería, las muestras se obtuvieron de la siguiente forma: dos (2) posiciones de fuente con tres (3) posiciones de micrófono para cada una de ellas como se muestra en la *figura 65*. Se configuró la fuente omnidireccional de manera que se alcanzara al menos 30dB por encima del ruido de fondo. Los elementos como sillas, escritorio y demás mobiliario fueron retirados del salón. Luego, las señales capturadas pasaron a analizarse mediante un algoritmo en *Matlab* suministrado por uno de los docentes de la universidad. Dicho algoritmo permite obtener la curva de decaimiento por bandas de octava.

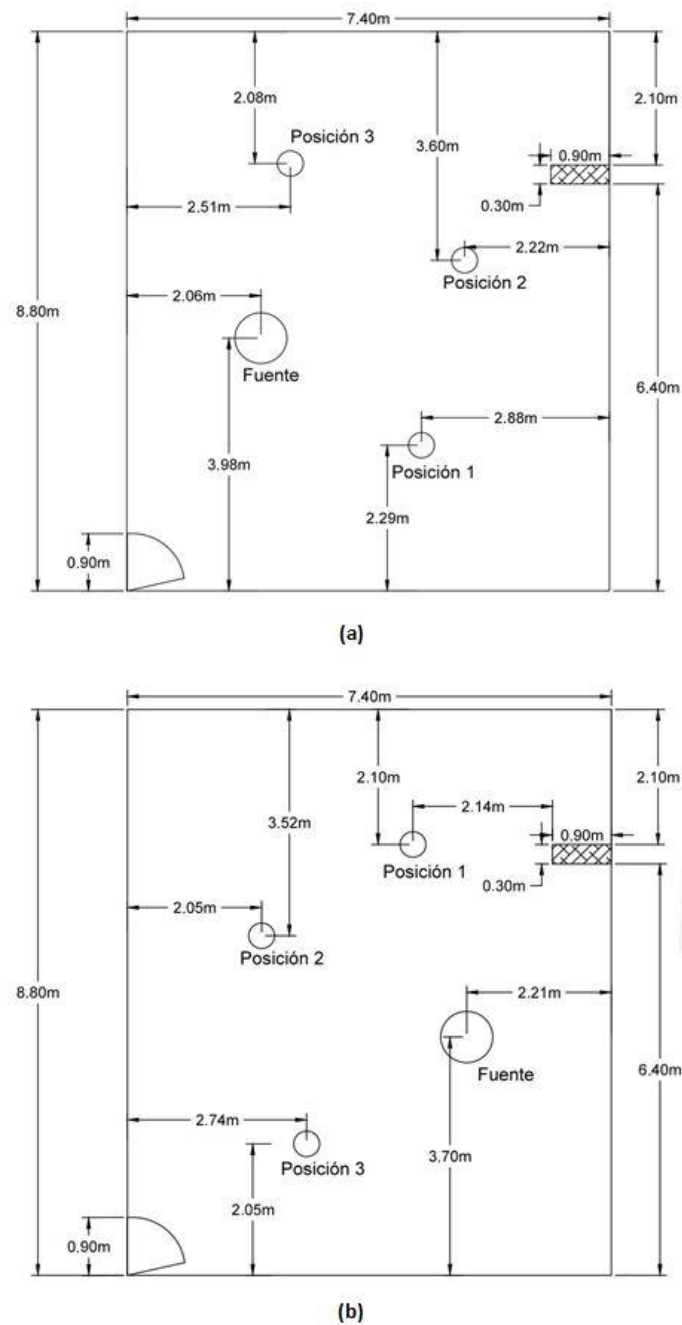


Fig. 65. Puntos de medición de tiempo de reverberación para el salón 502E. (a) Posición de fuente 1. (b) Posición de fuente 2.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se obtuvieron los tiempos de reverberación de cada una de las muestras se procedió a calcular su promedio aritmético, estos resultados se observan en la *tabla XIV*.

TABLA XIV. TIEMPOS DE REVERBERACIÓN MEDIDOS EN EL SALÓN 502E.

Frecuencia (Hz)	T60 (s)						Promedio (s)
	Muestra						
	1,1	1,2	1,3	2,1	2,2	2,3	
125	4,14	4,68	4,32	4,23	4,68	4,95	4,50
250	3,51	4,14	4,05	4,41	4,68	4,32	4,19
500	3,78	4,14	3,6	3,42	3,24	3,87	3,68
1000	3,195	3,23	2,7	3,46	3,47	3,28	3,22
2000	3,34	2,98	2,43	2,85	3,75	2,9	3,04
4000	2,5	2,48	2,534	2,45	2,66	2,68	2,55
8000	2,035	1,743	1,92	1,78	1,76	2,5	1,96

Es importante considerar que debido al comportamiento energético del lugar, en las bandas de 31.5, 63 y 16000Hz no se presentó decaimiento de 30dB.

Así mismo se procedió a realizar el cálculo teórico de los tiempos de reverberación del lugar, T60 mediante la fórmula de *Sabine* y mediante la fórmula de *Eyring*. Previamente se habían realizado las mediciones del lugar, de tal manera que se pudieran determinar sus dimensiones así como el área de todos los elementos que lo componen. Como resultado se determinó un área superficial total 204.41m² y un volumen de 169.53m³, ambos aproximados. Las áreas de los diferentes componentes de la sala, los coeficientes de absorción y los tiempos de reverberación obtenidos se muestran en las *tablas XV, XVI y XVII* respectivamente. En la *figura 66* se observa un gráfico del tiempo de reverberación calculado en función de la frecuencia.

TABLA XV. MATERIALES QUE COMPONEN EL SALÓN 502E.

Objeto	Material	Área (m ²)
Piso	Baldosa	55,22
Ventanas	Vidrio	5,61
Tableros	Acrílico	5,71
Paredes	Concreto pintado	134,91
Puerta de ingreso	Madera	2,96

TABLA XVI. COEFICIENTES DE ABSORCIÓN SALÓN 502E.

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN (α)						
Material \ Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Baldosa	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Vidrio	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Acrílico	0,42	0,21	0,1	0,08	0,06	0,06
Concreto pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Madera	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
$\alpha_{promedio}$	0,036	0,026	0,021	0,025	0,026	0,025

TABLA XVII. TIEMPOS DE REVERBERACIÓN CALCULADOS PARA EL SALÓN 502E.

TIEMPO DE REVERBERACION (seg)						
F(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
T60 Sabine	3,74	5,04	6,26	5,28	5,15	5,29
T60 Eyring	3,67	4,97	6,20	5,21	5,08	5,22

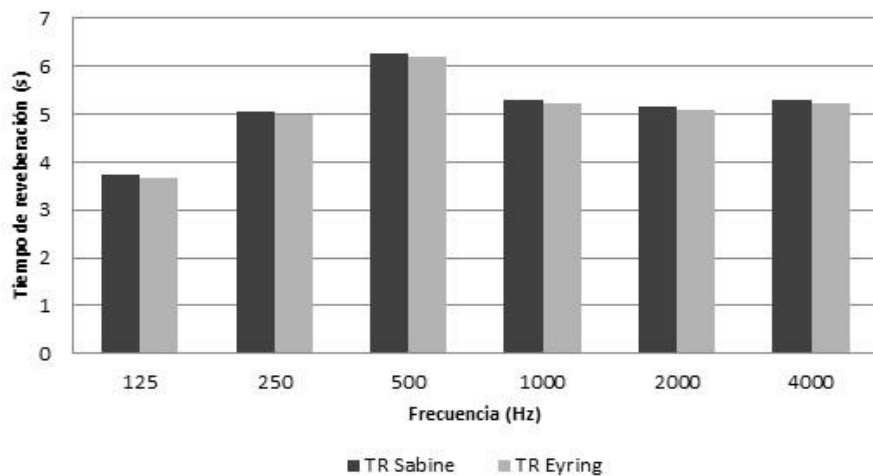


Fig. 66. Frecuencia vs Tiempo de reverberación calculado para el salón 502E.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de distancia crítica (Dc)

Obtenidos los tiempos de reverberación para las distintas frecuencias, se procede a calcular otras variables acústicas como constante de la sala (R) y absorción total (A), que brindan valores bajo

los cuales se caracterizan las salas como "secas" (cuando poseen tiempos de reverberación muy bajos, y por tanto no se perciben demasiadas reflexiones.) y "vivas" (cuando la sala tiene un tiempo de reverberación largo y por consiguiente se perciben reflexiones del cuarto.)

A partir del cálculo de estas dos variables y sabiendo el factor de directividad de la fuente estudiada, se puede proceder con el cálculo de la distancia crítica descrita en la ecuación (5.8). Pero al no tener el valor exacto del factor de directividad de la fuente (debido a que pocos fabricantes brindan este dato), se observa que el valor mínimo y más crítico es para el caso de una fuente omnidireccional, el cual tiene un factor de "1". A medida que la fuente se vuelve más direccional, este factor aumenta y con ello la distancia crítica. Por ello, se hicieron los cálculos bajo un Q de 1, sabiendo que con más direccionalidad de la fuente se tiene mayor libertad en el movimiento dentro del campo cercano en la sala.

En la *tabla XVIII* se muestra las magnitudes obtenidas para los cálculos de la constante de la sala (R), la absorción total de la sala (A) y la distancia crítica bajo el cálculo con un Q igual a 1.

TABLA XVIII. CÁLCULOS PARA LA DISTANCIA CRÍTICA EN EL SALÓN 502E.

Parámetro \ Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Área total de absorción (A)	7,26	5,38	4,33	5,14	5,27	5,13
Constante de la sala (R)	7,22	5,35	4,31	5,11	5,24	5,10
Distancia crítica (Dc) [m]	0,38	0,32	0,29	0,32	0,32	0,32

Anexo C. Reporte de calibración - Sensor P-U



Calibration Report

Probe: **PR-900970**

Calibrated with G.R.A.S Type 40AQ microphone & G.R.A.S Type 26CA preamplifier

Sensitivity= 52,1mV/Pa at a temperature of: 21 °C

Checks performed:	
☐	Audio test
☐	Mechanical check
☐	Full calibration
☐	Calibration Validation
☐	Final check

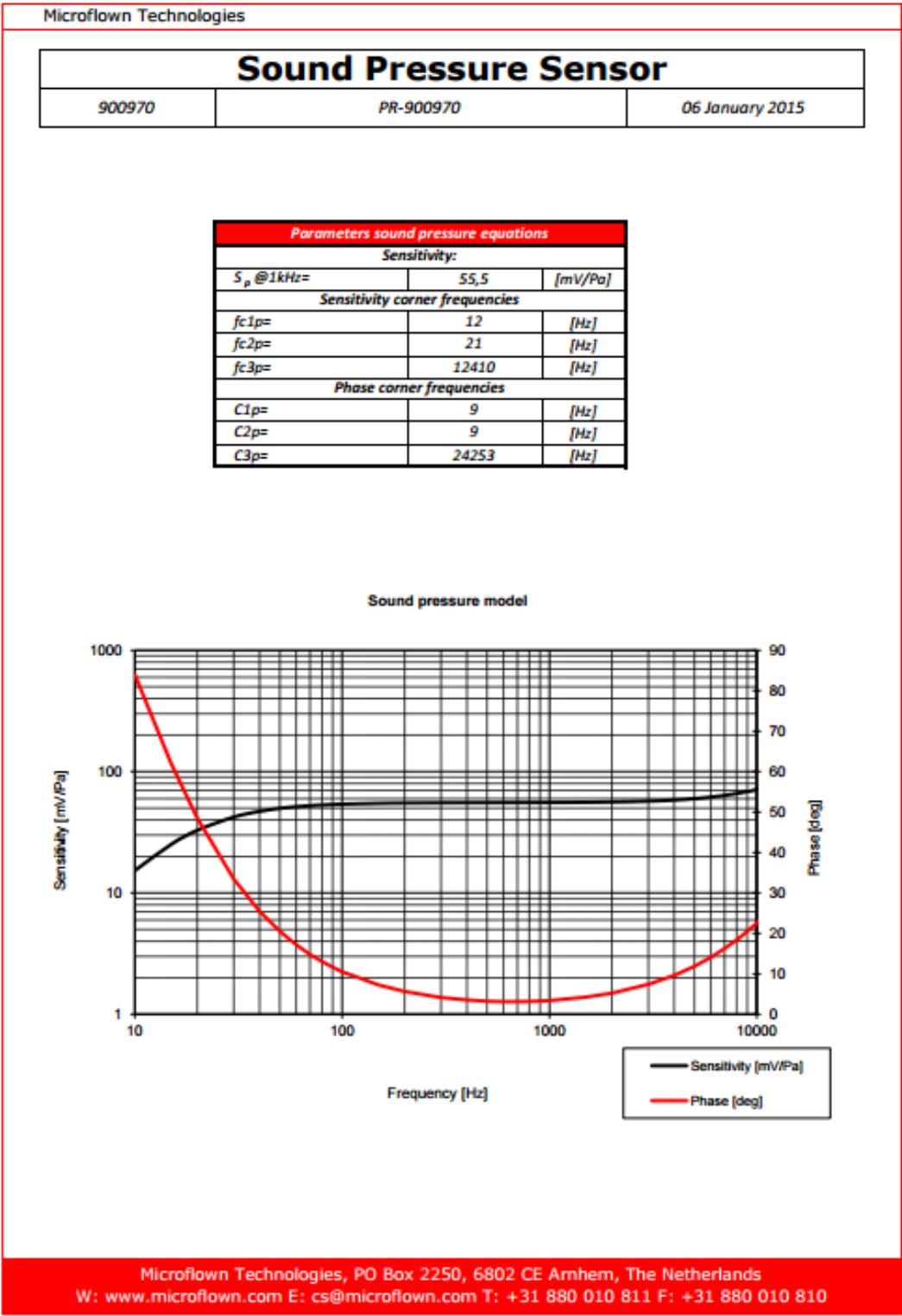
Calibrator E.J. Jongh
--

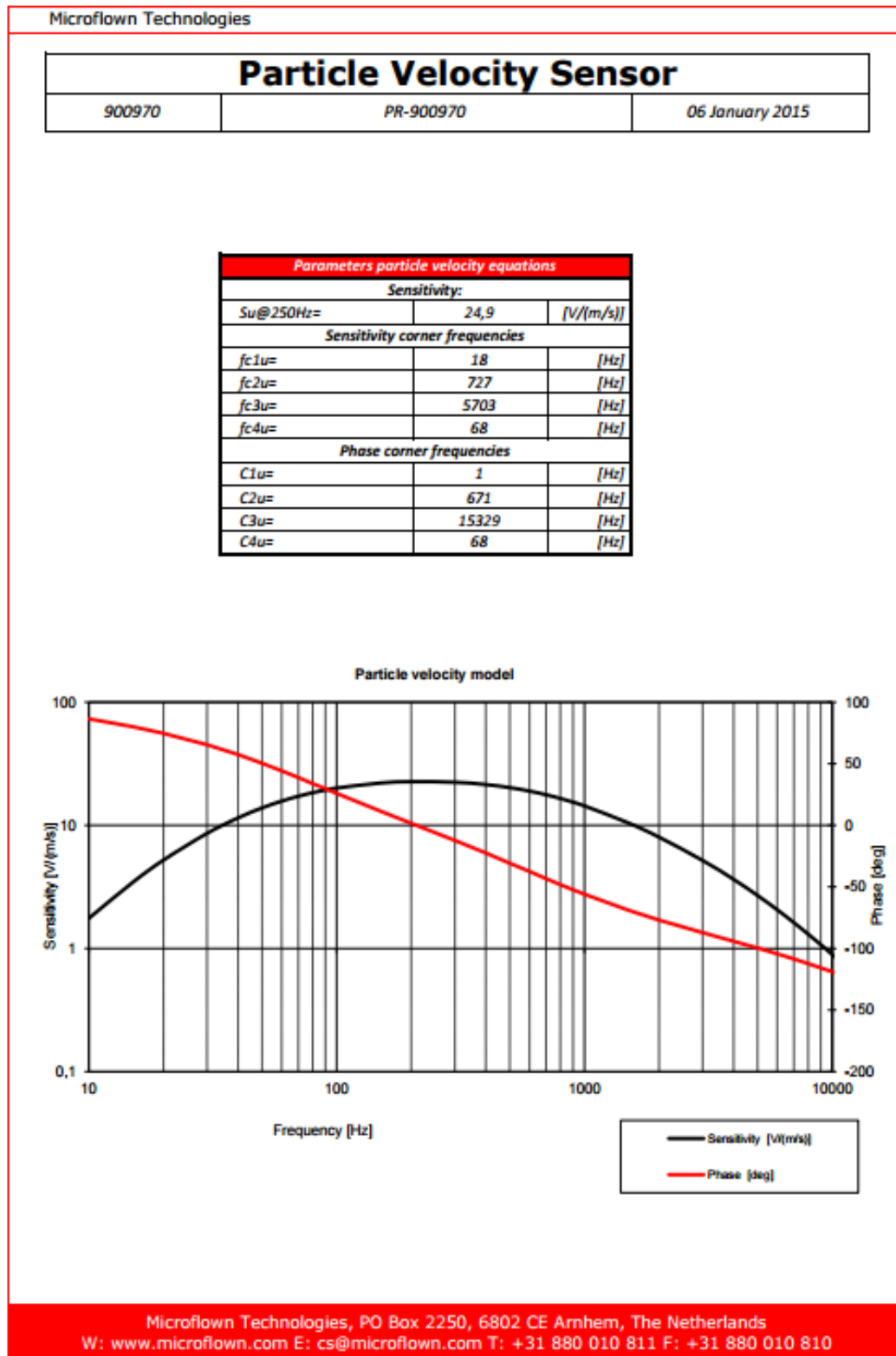
Supervisor L. Garcia

Report Number: **900970**

Calibration Date: **6-1-2015**

Calibration Due: **6-1-2017**



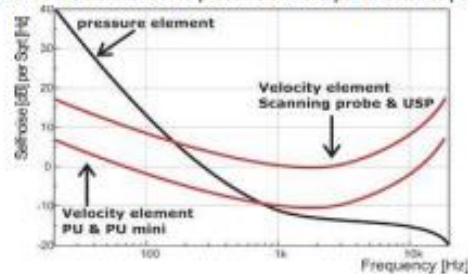


Microflown Technologies

Additional information

Selfnoise

Typical selfnoise level of the pressure and the particle velocity sensor:



List of Formulas

Sound Pressure Model

The model describing the sensitivity of the sound pressure sensor:

$$S_p [\text{mV} / \text{Pa}] = S_p @ 1\text{kHz} \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{c1p}}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{c1p}}{f}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f_{c2p}}{f}\right)^2}}$$

The phase of the sound pressure sensor is described by:

$$\phi_p [\text{deg}] = \arctan\left(\frac{C_{1p}}{f}\right) + \arctan\left(\frac{C_{2p}}{f}\right) + \arctan\left(\frac{f}{C_{3p}}\right)$$

Particle Velocity Model

The model describing the sensitivity of the particle velocity sensor:

$$S_v [\text{V}/(\text{m/s})] = \frac{S_v @ 250\text{Hz}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{c1v}}{f}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{c2v}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{c3v}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f_{c4v}}{f}\right)^2}}$$

The phase of the particle velocity sensor is described by:

$$\phi_v [\text{deg}] = \arctan\left(\frac{C_{1v}}{f}\right) - \arctan\left(\frac{f}{C_{2v}}\right) - \arctan\left(\frac{f}{C_{3v}}\right) + \arctan\left(\frac{C_{4v}}{f}\right)$$

To change the sensitivity from V/(m/s) to mV/Pa* divide the V/(m/s) value by ((343*1,2)/1000);

For this probe:

$$24,9 \quad [\text{V}/(\text{m/s})] = 60,5 \quad [\text{mV}/\text{Pa}^*]$$

Should questions arise don't hesitate to contact Customer Service at:
cs@microflown.com

Microflown Technologies, PO Box 2250, 6802 CE Arnhem, The Netherlands
W: www.microflown.com E: cs@microflown.com T: +31 880 010 811 F: +31 880 010 810

Anexo D. Algoritmo de procesamiento de datos

%Algoritmo de procesamiento para datos de Excel extraídos de software SP.
 %Algoritmo realizado por Sergio Andrés Estrada Duarte y Luis Fernando Lujan
 %Para el trabajo de grado de: Diseño de una metodología alternativa que permita
 la caracterización de la radiación de una fuente electroacústica mediante el
 uso de una sonda P-U.

%se realiza el procesamiento y reconstrucción de los datos en cada
 %superficie de medición para una superficie de forma de paralelepípedo.

%Se obtiene el campo vectorial normal a la superficie de la magnitud
 %seleccionada (Presión, Velocidad de partícula o Intensidad) con la
 %frecuencia seleccionada. un plot de la radiación de cada cara del cubo
 %en igual medida que el campo vectorial normal a la superficie. Entrega
 %además una aproximación del patrón de radiación con la corrección por
 %distancia de las coordenadas superpuestas en el cubo a las coordenadas en
 %la esfera circunscrita y finalmente se entrega una tabla que brinda
 %información sobre los índices de radiación del altavoz (DI y Q) por tercio
 %de octava.

%Algoritmo realizado bajo Matlab en su versión R2014a.

```
%-----

clear all
close all
clc

%%Variables de iniciación
D = 90;      %Dimensiones de la superficie de medición
n = 5;      %Numero de caras(5 plano reflejante, 6 paralelepípedo completo)
d = D/n;    %Dimensión de cada segmento
e = d/2;    %Mitad de cada segmento (Punto de medición en cada segmento)
med = 0.01; %Error en la medición
param = 1;  %Parámetro a sacar los vectores normales: 1 para intensidad...
           %- 2 para presión - 3 para velocidad de partícula.
f = 20;     %Código frecuencia en tercio de octava (1 a 30)
VecW=1.5;   %Ancho de línea de vectores

%%Superficies
[x,y]=meshgrid(0:d:D); %Creación de matriz de puntos discretos entre...
                        %valor 0 hasta el total de la superficie en el...
                        %cubo, con su rejilla separada una distancia "d"...
                        %y altura dada por una distancia "D".

z=zeros(size(x,1));    %Matriz de ceros del tamaño de la rejilla creada...
                        %con anterioridad para dimensiones de altura en...
                        %el plot de del cubo.

%%puntos de medición
I = zeros(n);
```

```

J = zeros(n);
pointsx = zeros(n);
pointsy = zeros(n);
for i=1:n %puntos en vertices de la superficie de medicion.
    for j=1:n
        %points(i,j) = [(e+(d*(i-1))), (e+(d*(j-1)))];
        I(i)=(e+(d*(i-1)));
        J(j)=(e+(d*(j-1)));
    end
end

for i=1:n %puntos de medicion sobre la superficie de medicion
    for j=1:n
        pointsx(i,j)=I(i);
        pointsy(i,j)=J(j);
    end
end

%reasignacion de puntos de medida y coordenadas sobre el cubo de
%dimensiones Dx D
%Interpretacion de funciones:
%"d" para "down", graficas en cara inferior del cubo
%"u" para "up", graficas en cara superior del cubo
%"r" para "right", graficas en cara lateral derecha del cubo
%"l" para "left", graficas en cara lateral izquierda del cubo
%"f" para "front", graficas en cara frontal del cubo
%"b" para "back", graficas en cara trasera del cubo
pxd=pointsx;pyd=pointsy;pzd=(pointsy.*0)-med;
pxu=pointsx;pyu=pointsy;pzu=(pointsy.*0)+D+med;
pxr=pointsx;pyr=(pointsy.*0)-med;pzr=pointsy;
pxl=pointsx;pyl=(pointsy.*0)+D+med;pzl=pointsy;
pxf=(pointsy.*0)-med;pyf=pointsx;pzf=pointsy;
pxb=(pointsy.*0)+D+med;pyb=pointsx;pzb=pointsy;

%Asignacion de coordenadas y direcciones normales a la superficie de
%vectores unitarios
[ud,vd,wd]=surfnorm(pxd,pyd,pzd);
[uu,vu,wu]=surfnorm(pxu,pyu,pzu);
[ur,vr,wr]=surfnorm(pxr,pyr,pzr);
[ul,vl,wl]=surfnorm(pxl,pyl,pzl);
[uf,vf,wf]=surfnorm(pxf,pyf,pzf);
[ub,vb,wb]=surfnorm(pxb,pyb,pzb);

%%Ploteo Cubo
figure (1)
grid on
hold on
colormap gray
mesh(x,y,(z+D)) %Up
Pu=plot3(pxu,pyu,pzu,'m*');
mesh(x,z,y) %Right
Pr=plot3(pxr,pyr,pzr,'g*');
mesh(x,(z+D),y) %Left
Pl=plot3(pxl,pyl,pzl,'b*');
mesh(z,x,y) %Front
Pf=plot3(pxf,pyf,pzf,'r*');

```

```

mesh((z+D),x,y) %Behind
Pb=plot3(pxb,pyb,pzb,'k*');
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
text(-50,65,0,'FRONTAL')

flLeg1=legend('Up face','Right Face','Left Face','Front Face',...
'Back Face','Location','NorthWest');
set(flLeg1,'FontAngle','italic','TextColor',[.3,.2,.1])

view(-35,45)

%%Matrices de XLS
%Extraccion de datos desde los archivos .xls arrojados por el Sound Power y
%recompilacion en matrices bidimensionales en cuanto a segmentos y
%frecuencias.
filename='502E-NoPond.xls'; %Nombre de archivo a importar tipo .xls
Potencia=xlsread(filename,'Power','B27:AE151');
PotenciaSig=xlsread(filename,'Power Signs','B27:AE151');
Intensidad=xlsread(filename,'Intensity','B27:AE151');
IntensidadSig=xlsread(filename,'Intensity Signs','B27:AE151');
Presion=xlsread(filename,'Pressure','B27:AE151');
Velocidad=xlsread(filename,'Particle Velocity','B27:AE151');
VelocidadSig=xlsread(filename,'Particle Velocity Signs','B27:AE151');
Fase=xlsread(filename,'Phase P-U','B27:AE151');
W=xlsread(filename,'Global Quantities','B2:AE2');

Potencial1=Potencia(1:25,:); %Potencia Cara 1
Potencia2=Potencia(26:50,:); %Potencia Cara 2
Potencia3=Potencia(51:75,:); %Potencia Cara 3
Potencia4=Potencia(76:100,:); %Potencia Cara 4
Potencia5=Potencia(101:125,:); %Potencia Cara 5

PotenciaSig1=PotenciaSig(1:25,:); %Signos de Potencia Cara 1
PotenciaSig2=PotenciaSig(26:50,:); %Signos de Potencia Cara 2
PotenciaSig3=PotenciaSig(51:75,:); %Signos de Potencia Cara 3
PotenciaSig4=PotenciaSig(76:100,:); %Signos de Potencia Cara 4
PotenciaSig5=PotenciaSig(101:125,:); %Signos de Potencia Cara 5

Intensidad1=Intensidad(1:25,:); %Intensidad Cara 1
Intensidad2=Intensidad(26:50,:); %Intensidad Cara 2
Intensidad3=Intensidad(51:75,:); %Intensidad Cara 3
Intensidad4=Intensidad(76:100,:); %Intensidad Cara 4
Intensidad5=Intensidad(101:125,:); %Intensidad Cara 5

IntensidadSig1=IntensidadSig(1:25,:); %Signos de Intensidad Cara 1
IntensidadSig2=IntensidadSig(26:50,:); %Signos de Intensidad Cara 2
IntensidadSig3=IntensidadSig(51:75,:); %Signos de Intensidad Cara 3
IntensidadSig4=IntensidadSig(76:100,:); %Signos de Intensidad Cara 4
IntensidadSig5=IntensidadSig(101:125,:); %Signos de Intensidad Cara 5

Presion1=Presion(1:25,:); %Presion Cara 1
Presion2=Presion(26:50,:); %Presion Cara 2
Presion3=Presion(51:75,:); %Presion Cara 3
Presion4=Presion(76:100,:); %Presion Cara 4

```

```

Presion5=Presion(101:125,:);

Velocidad1=Velocidad(1:25,:);
Velocidad2=Velocidad(26:50,:);
Velocidad3=Velocidad(51:75,:);
Velocidad4=Velocidad(76:100,:);
Velocidad5=Velocidad(101:125,:);

VelocidadSig1=VelocidadSig(1:25,:);
VelocidadSig2=VelocidadSig(26:50,:);
VelocidadSig3=VelocidadSig(51:75,:);
VelocidadSig4=VelocidadSig(76:100,:);
VelocidadSig5=VelocidadSig(101:125,:);

Fase1=Fase(1:25,:);
Fase2=Fase(26:50,:);
Fase3=Fase(51:75,:);
Fase4=Fase(76:100,:);
Fase5=Fase(101:125,:);

%%
%Tabla frecuencias

if f == 1
    disp('Frecuencia de 25 Hz')
    frec=25;
elseif f == 2
    disp('Frecuencia de 31.5 Hz')
    frec=31.5;
elseif f == 3
    disp('Frecuencia de 40 Hz')
    frec=40;
elseif f == 4
    disp('Frecuencia de 50 Hz')
    frec=50;
elseif f == 5
    disp('Frecuencia de 63 Hz')
    frec=63;
elseif f == 6
    disp('Frecuencia de 80 Hz')
    frec=80;
elseif f == 7
    disp('Frecuencia de 100 Hz')
    frec=100;
elseif f == 8
    disp('Frecuencia de 125 Hz')
    frec=125;
elseif f == 9
    disp('Frecuencia de 160 Hz')
    frec=160;
elseif f == 10
    disp('Frecuencia de 200 Hz')
    frec=200;
elseif f == 11
    disp('Frecuencia de 250 Hz')
    frec=250;

%Presion Cara 5

%Velocidad de Particula Cara 1
%Velocidad de Particula Cara 2
%Velocidad de Particula Cara 3
%Velocidad de Particula Cara 4
%Velocidad de Particula Cara 5

%Signos de Vel de Particula Cara 1
%Signos de Vel de Particula Cara 2
%Signos de Vel de Particula Cara 3
%Signos de Vel de Particula Cara 4
%Signos de Vel de Particula Cara 5

%Fase Cara 1
%Fase Cara 2
%Fase Cara 3
%Fase Cara 4
%Fase Cara 5

```

```
elseif f == 12
    disp('Frecuencia de 315 Hz')
    frec=315;
elseif f == 13
    disp('Frecuencia de 400 Hz')
    frec=400;
elseif f == 14
    disp('Frecuencia de 500 Hz')
    frec=500;
elseif f == 15
    disp('Frecuencia de 630 Hz')
    frec=630;
elseif f == 16
    disp('Frecuencia de 800 Hz')
    frec=800;
elseif f == 17
    disp('Frecuencia de 1000 Hz')
    frec=1000;
elseif f == 18
    disp('Frecuencia de 1250 Hz')
    frec=1250;
elseif f == 19
    disp('Frecuencia de 1600 Hz')
    frec=1600;
elseif f == 20
    disp('Frecuencia de 2000 Hz')
    frec=2000;
elseif f == 21
    disp('Frecuencia de 2500 Hz')
    frec=2500;
elseif f == 22
    disp('Frecuencia de 3150 Hz')
    frec=3150;
elseif f == 23
    disp('Frecuencia de 4000 Hz')
    frec=4000;
elseif f == 24
    disp('Frecuencia de 5000 Hz')
    frec=5000;
elseif f == 25
    disp('Frecuencia de 6300 Hz')
    frec=6300;
elseif f == 26
    disp('Frecuencia de 8000 Hz')
    frec=8000;
elseif f == 27
    disp('Frecuencia de 10000 Hz')
    frec=10000;
elseif f == 28
    disp('Frecuencia de 12500 Hz')
    frec=12500;
elseif f == 29
    disp('Frecuencia de 16000 Hz')
    frec=16000;
elseif f == 30
    disp('Frecuencia de 20000 Hz')
```



```

    frec=20000;
end

%%
%%Graficacion Vectores Normales a la superficie
%Se colorean segun su magnitud utilizando las funciones quiverC3D y las
%propiedades de colores de quiver3 utilizando mapas de colores asociados a
%la respuesta en magnitud que se les quiere dar. Se hace una busqueda del
%los vectores minimos y los de mayor amplitud para graficar la barra de
%colores y asignarles un valor. Se plotean dichos vectoes sobre los puntos
%medidos y se grafican sobre la superficie de medicion.
for i=1:n
    for j=1:n
        I1(i,j)=Intensidad1(((i-1)*n)+j,f);
        I2(i,j)=Intensidad2(((i-1)*n)+j,f);
        I3(i,j)=Intensidad3(((i-1)*n)+j,f);
        I4(i,j)=Intensidad4(((i-1)*n)+j,f);
        I5(i,j)=Intensidad5(((i-1)*n)+j,f);
    end
end
I1=flipud(I1);
I2=flipud(I2);
I3=flipud(I3);
I4=flipud(I4);
I5=flipud(I5);

for i=1:n
    for j=1:n
        quiver3(pxu(i,j),pyu(i,j),pzu(i,j),-uu(i,j),-vu(i,j),...
            -wu(i,j),I1(i,j));
        hold on
        quiver3(pxf(i,j),pyf(i,j),pzf(i,j),uf(i,j),vf(i,j),...
            wf(i,j),I2(i,j));
        quiver3(pxb(i,j),pyb(i,j),pzb(i,j),-ub(i,j),-vb(i,j),...
            -wb(i,j),I3(i,j));
        quiver3(pxl(i,j),pyl(i,j),pzl(i,j),ul(i,j),vl(i,j),...
            wl(i,j),I4(i,j));
        quiver3(pxr(i,j),pyr(i,j),pzc(i,j),-ur(i,j),-vr(i,j),...
            -wr(i,j),I5(i,j));
    end
end

%Matrices de Intensidad por caras
for i=1:n
    for j=1:n
        I1(i,j)=Intensidad1(((i-1)*n)+j,f);
        I2(i,j)=Intensidad2(((i-1)*n)+j,f);
        I3(i,j)=Intensidad3(((i-1)*n)+j,f);
        I4(i,j)=Intensidad4(((i-1)*n)+j,f);
        I5(i,j)=Intensidad5(((i-1)*n)+j,f);
    end
end
I1=flipud(I1);
I2=flipud(I2);
I3=flipud(I3);

```

```

I4=flipud(I4);
I5=flipud(I5);

%Correcciones de lectura de valores
I4=fliplr(I4);

%Matrices de Presion por caras
for i=1:n
    for j=1:n
        P1(i,j)=Presion1((i-1)*n+j,f);
        P2(i,j)=Presion2((i-1)*n+j,f);
        P3(i,j)=Presion3((i-1)*n+j,f);
        P4(i,j)=Presion4((i-1)*n+j,f);
        P5(i,j)=Presion5((i-1)*n+j,f);
    end
end
P1=flipud(P1);
P2=flipud(P2);
P3=flipud(P3);
P4=flipud(P4);
P5=flipud(P5);

%Matrices de Velocidad de particula por caras
for i=1:n
    for j=1:n
        V1(i,j)=Velocidad1((i-1)*n+j,f);
        V2(i,j)=Velocidad2((i-1)*n+j,f);
        V3(i,j)=Velocidad3((i-1)*n+j,f);
        V4(i,j)=Velocidad4((i-1)*n+j,f);
        V5(i,j)=Velocidad5((i-1)*n+j,f);
    end
end
V1=flipud(V1);
V2=flipud(V2);
V3=flipud(V3);
V4=flipud(V4);
V5=flipud(V5);

if param == 1                %Vectores de intensidad

%   quiverC3D(pxu,pyu,pzu,I1,I1,I1,50,1);
%   quiverC3D(pxf,pyf,pzf,-I2,I2,I2,50,2);
%   quiverC3D(pxb,pyb,pzb,I3,I3,I3,50,3);
%   quiverC3D(px1,py1,pz1,I4,I4,I4,50,4);
%   quiverC3D(pxr,pyr,pzr,I5,-I5,I5,50,5);

Imin=min(Intensidad(:,f));
Imax=max(Intensidad(:,f));
colormap jet;
C= colormap;
ECol=linspace(Imin,Imax,10);
Ecol=round(ECol*100)/100;
%Escala de color

```

```

colorbar('YtickLabel',{Ecol})

for i=1:n
    for j=1:n
        Icol1=(round(((I1(i,j)-Imin)/(Imax-Imin))*64));
        Icol2=(round(((I2(i,j)-Imin)/(Imax-Imin))*64));
        Icol3=(round(((I3(i,j)-Imin)/(Imax-Imin))*64));
        Icol4=(round(((I4(i,j)-Imin)/(Imax-Imin))*64));
        Icol5=(round(((I5(i,j)-Imin)/(Imax-Imin))*64));

        Icol1(Icol1==0)=1;
        Icol2(Icol2==0)=1;
        Icol3(Icol3==0)=1;
        Icol4(Icol4==0)=1;
        Icol5(Icol5==0)=1;

        hold on
        quiver3(pxu(i,j),pyu(i,j),pzu(i,j),-uu(i,j),-vu(i,j),...
            -wu(i,j),I1(i,j),'Color',C(Icol1,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxf(i,j),pyf(i,j),pzf(i,j),uf(i,j),vf(i,j),...
            wf(i,j),I2(i,j),'Color',C(Icol2,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxb(i,j),pyb(i,j),pzb(i,j),-ub(i,j),-vb(i,j),...
            -wb(i,j),I3(i,j),'Color',C(Icol3,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxl(i,j),pyl(i,j),pzl(i,j),ul(i,j),vl(i,j),...
            wl(i,j),I4(i,j),'Color',C(Icol4,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxr(i,j),pyr(i,j),pzm(i,j),-ur(i,j),-vr(i,j),...
            -wr(i,j),I5(i,j),'Color',C(Icol5,:), 'LineWidth',VecW);
    end
end
title(['INTENSIDAD a ',num2str(frec),' Hz'])

elseif param == 2                %Vectores de Presion

Pmin=min(Presion(:,f));           %Presion maxima de todo el cubo para f
Pmax=max(Presion(:,f));           %Presion maxima de todo el cubo para f
colormap jet;                     %Tipo de colores a utilizar
C= colormap;                      %Asignacion de colores a variable "C".
ECol=linspace(Pmin,Pmax,10);      %Escala de color
Ecol=round(ECol*100)/100;         %Redondeo a dos cifras decimales...
                                %dentro de la escala de color
colorbar('YtickLabel',{Ecol})    %Valores para escala de colores.

for i=1:n
    for j=1:n
        Pcol1=(round(((P1(i,j)-Pmin)/(Pmax-Pmin))*64));
        Pcol2=(round(((P2(i,j)-Pmin)/(Pmax-Pmin))*64));
        Pcol3=(round(((P3(i,j)-Pmin)/(Pmax-Pmin))*64));
        Pcol4=(round(((P4(i,j)-Pmin)/(Pmax-Pmin))*64));
        Pcol5=(round(((P5(i,j)-Pmin)/(Pmax-Pmin))*64));

        Pcol1(Pcol1==0)=1;
        Pcol2(Pcol2==0)=1;
        Pcol3(Pcol3==0)=1;
        Pcol4(Pcol4==0)=1;
        Pcol5(Pcol5==0)=1;
    end
end

```

```

hold on
quiver3(pxu(i,j),pyu(i,j),pzu(i,j),-uu(i,j),-vu(i,j),...
        -wu(i,j),P1(i,j),'Color',C(Pcol1,:), 'LineWidth',VecW);
quiver3(pxf(i,j),pyf(i,j),pzf(i,j),uf(i,j),vf(i,j),...
        wf(i,j),P2(i,j),'Color',C(Pcol2,:), 'LineWidth',VecW);
quiver3(pxb(i,j),pyb(i,j),pzb(i,j),-ub(i,j),-vb(i,j),...
        -wb(i,j),P3(i,j),'Color',C(Pcol3,:), 'LineWidth',VecW);
quiver3(pxl(i,j),pyl(i,j),pzl(i,j),ul(i,j),vl(i,j),...
        wl(i,j),P4(i,j),'Color',C(Pcol4,:), 'LineWidth',VecW);
quiver3(pxr(i,j),pyr(i,j),pZR(i,j),-ur(i,j),-vr(i,j),...
        -wr(i,j),P5(i,j),'Color',C(Pcol5,:), 'LineWidth',VecW);
end
end
title(['PRESION a ',num2str(frec),' Hz'])

elseif param == 3                %Vectores de velocidad de particula

Vmin=min(Velocidad(:,f));
Vmax=max(Velocidad(:,f));
colormap jet;
C= colormap;
ECol=linspace(Vmin,Vmax,10);          %Escala de color
Ecol=round(ECol*100)/100;
colorbar('YtickLabel',{Ecol})

for i=1:n
    for j=1:n
        Vcol1=(round((V1(i,j)-Vmin)/(Vmax-Vmin))*64));
        Vcol2=(round((V2(i,j)-Vmin)/(Vmax-Vmin))*64));
        Vcol3=(round((V3(i,j)-Vmin)/(Vmax-Vmin))*64));
        Vcol4=(round((V4(i,j)-Vmin)/(Vmax-Vmin))*64));
        Vcol5=(round((V5(i,j)-Vmin)/(Vmax-Vmin))*64));

        Vcol1(Vcol1==0)=1;
        Vcol2(Vcol2==0)=1;
        Vcol3(Vcol3==0)=1;
        Vcol4(Vcol4==0)=1;
        Vcol5(Vcol5==0)=1;

        quiver3(pxu(i,j),pyu(i,j),pzu(i,j),-uu(i,j),-vu(i,j),...
                -wu(i,j),V1(i,j),'Color',C(Vcol1,:), 'LineWidth',VecW);
        hold on
        quiver3(pxf(i,j),pyf(i,j),pzf(i,j),uf(i,j),vf(i,j),...
                wf(i,j),V2(i,j),'Color',C(Vcol2,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxb(i,j),pyb(i,j),pzb(i,j),-ub(i,j),-vb(i,j),...
                -wb(i,j),V3(i,j),'Color',C(Vcol3,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxl(i,j),pyl(i,j),pzl(i,j),ul(i,j),vl(i,j),...
                wl(i,j),V4(i,j),'Color',C(Vcol4,:), 'LineWidth',VecW);
        quiver3(pxr(i,j),pyr(i,j),pZR(i,j),-ur(i,j),-vr(i,j),...
                -wr(i,j),V5(i,j),'Color',C(Vcol5,:), 'LineWidth',VecW);
    end
end
title(['VELOCIDAD DE PARTICULA a ',num2str(frec),' Hz'])

```

```

elseif param == 4                                %Vectores de Potencia
    for i=1:n
        for j=1:n
            W1(i,j)=Potencia1(((i-1)*n)+j,f);
            W2(i,j)=Potencia2(((i-1)*n)+j,f);
            W3(i,j)=Potencia3(((i-1)*n)+j,f);
            W4(i,j)=Potencia4(((i-1)*n)+j,f);
            W5(i,j)=Potencia5(((i-1)*n)+j,f);
        end
    end
    W1=flipud(W1);
    W2=flipud(W2);
    W3=flipud(W3);
    W4=flipud(W4);
    W5=flipud(W5);

    for i=1:n
        for j=1:n
            quiver3(pxu(i,j),pyu(i,j),pzu(i,j),-uu(i,j),-vu(i,j),...
                    -wu(i,j),W1(i,j));
            hold on
            quiver3(pxf(i,j),pyf(i,j),pzf(i,j),uf(i,j),vf(i,j),...
                    wf(i,j),W2(i,j));
            quiver3(pxb(i,j),pyb(i,j),pzb(i,j),-ub(i,j),-vb(i,j),...
                    -wb(i,j),W3(i,j));
            quiver3(pxl(i,j),pyl(i,j),pzl(i,j),ul(i,j),vl(i,j),...
                    wl(i,j),W4(i,j));
            quiver3(pxr(i,j),pyr(i,j),pzm(i,j),-ur(i,j),-vr(i,j),...
                    -wr(i,j),W5(i,j));
        end
    end
    title('POTENCIA')
end

%%
%CampoDeRadiacionSobreCubo
dim=linspace(d/2,D-(d/2),n);

figure (2)

hold on

hI1 = surf(dim,dim,I1+D-min(I1(:))+med);           %Up

hI2 = surf(dim-D-(d/2),dim,I2+(D/2)+med+30);
rotate(hI2,[0 1 0],-90)                             %Front

hI3 = surf(dim+D,dim,I3+D);
rotate(hI3,[0 1 0],90)                               %Behind

hI4 = surf(dim,dim+D+d/2,I4+D);
rotate(hI4,[1 0 0],-90)                             %Left

hI5 = surf(dim,dim-(D/2)-d-(d/2),I5+D+d);

```

```

rotate(hI5,[1 0 0],90)                                %Right

mesh(x,y,(z+D))                                       %Up
mesh(z,x,y)                                           %Front
mesh((z+D),x,y)                                       %Behind
mesh(x,z,y)                                           %Right
mesh(x,(z+D),y)                                       %Left

grid on
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')

view(-35,45)

title(['SUPERFICIES DE MAGNITUD SUPERPUESTAS (' ,num2str(frec),' Hz)'])

%%Caras separadas

%Ploteo cara inferior.
figure(3)
subplot(2,3,1)
surf(x,y,z)
hold on
grid on
plot3(pointsx,pointsy,(pointsy.*0),'*')
title('Inferior')
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
view(-35,45)

%Ploteo cara superior.
subplot(2,3,2)
surf(x,y,z+D)
hold on
grid on
plot3(pointsx,pointsy,(pointsy.*0)+D,'*')
for i=1:n
    for j=1:n
        Icol2=(round(((I2(i,j)-Imin)/(Imax-Imin))*64));
        Icol2(Icol2==0)=1;
        quiver3(pxu(i,j),pyu(i,j),pzu(i,j),-uu(i,j),-vu(i,j),...
            wf(i,j),I2(i,j),'Color',C(Icol2,:), 'LineWidth',VecW);
    end
end
title('Superior')
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
view(-35,45)

%Ploteo cara frontal.
subplot(2,3,3)

```

```

surf(x,z,y)
hold on
grid on
plot3(pointsx, (pointsy.*0), pointsy, '*')

title('Frontal')
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
view(-35,45)

%Ploteo cara Posterior.
subplot(2,3,6)
surf(x,z+D,y)
hold on
grid on
plot3(pointsx, (pointsy.*0)+D, pointsy, '*')

title('Posterior')
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
view(-35,45)

%Ploteo cara lateral izquierda.
subplot(2,3,4)
surf(z,x,y)
hold on
grid on
plot3((pointsy.*0), pointsx, pointsy, '*')

title('Izquierda')
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
view(-35,45)

%Ploteo cara lateral derecha.
subplot(2,3,5)
surf(z+D,x,y)
hold on
grid on
plot3((pointsy.*0)+D, pointsx, pointsy, '*')

title('Derecha')
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')
view(-35,45)

%%
%Grafica de Esfera inscrita en el cubo
[xp, yp, zp]=sphere(n*2);

[xlp, ylp, zlp]=sphere(n*4);
for i=1:11

```

```

    Zp((i*2)-1,:)=zp(i,:);
    Zp(i*2,:)=zp(i,:);
end
Zp=[Zp Zp];
Zp=Zp(2:21,1:21);
Zp(12:21,:)=Zp(11:20,:);

Zlp=Zp(1:2:21,:);
Xlp=xlp(1:2:21,:);
Ylp=y1p(1:2:21,:);

cen=D/2;
Xe=(Xlp*cen)+cen; Ye=(Ylp*cen)+cen; Ze=(Zlp*cen)+cen;

explote=20; %Dimensiones de la explotacion del cubo

figure (4)
hold on
surf(Xe,Ye,Ze)
mesh(x,y,z-explote)
mesh(x,y,(z+D)+explote)
mesh(x,z-explote,y)
mesh(x,(z+D)+explote,y)
mesh(z-explote,x,y)
mesh((z+D)+explote,x,y)
plot3(pointsx,pointsy,(pointsy.*0)-med,'*')
plot3(pointsx,pointsy,(pointsy.*0)+D+med,'*')
plot3(pointsx,(pointsy.*0)-med,pointsy,'*')
plot3(pointsx,(pointsy.*0)+D+med,pointsy,'*')
plot3((pointsy.*0)-med,pointsx,pointsy,'*')
plot3((pointsy.*0)+D+med,pointsx,pointsy,'*')

grid on
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')

title(['Esfera Circunscrita de Radio ',num2str(D),' cm'])

view(-35,45)

%%
%%Aproximacion a puntos de esfera
theta=linspace(pi,-pi,(n*4)+1);
theta=theta(1:(n*4)+1);

for i=1:n*2
    R(i)=(abs(abs(Xe(i)-cen)+(abs(Xe(i+1)-cen))))/2;
    for j=1:n*4

        r1=(ones(size(theta)))*R(i);
        [Xt,Yt]=pol2cart(theta,r1);
        X(i,j)=Xt(j);
        Y(i,j)=Yt(j);
        Zl(i,j)=((Ze(i+1))+(Ze(i)))/2;
    end
end

```



```

end

X=X(1:n*2,2:2:n*4)+cen;      %Pasos pares de los puntos obtenidos en x
Y=Y(1:n*2,2:2:n*4)+cen;      %Pasos pares de los puntos obtenidos en y
Zl=Zl(:,1:n*2);              %Ajuste de dimensiones en z

figure (5)
plot3(Xe,Ye,Ze,'*')
hold on
surf(Xe,Ye,Ze)
[Xn,Yn,Zn]=surfnorm(Xe,Ye,Ze);
quiver3(Xe,Ye,Ze,Xn,Yn,Zn,0.5);

grid on
xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')

view(-35,45)

%%
%Perdida por distancia

%reorganizacion de puntos (asignacion de puntos en cubo a esfera)

figure (6)
hold on
grid on
surf(Xe,Ye,Ze)
plot3(Xe,Ye,Ze,'w*')
plot3(pxd,pyd,pzd,'r*')
plot3(pxu,pyu,pzu,'r*')
plot3(pxr,pyr,pzr,'r*')
plot3(pxl,pyl,pzl,'r*')
plot3(pxf,pyf,pzf,'b*')
plot3(pxb,pyb,pzb,'r*')

grid on

xlabel('X')
ylabel('Y')
zlabel('Z')

view(-35,45)

%Distancias bajo norma Euclidiana para vectores en 3 dimensiones
nc=round(n/2);                %punto central de cara

for i=1:n                      %Verticales
    DistFront(i)=sqrt((Xe(i+nc)-pxf(nc,i))^2+(Ye(i+nc)-pyf(nc,i))^2+...
        (Ze(i+nc)-pzf(nc,i))^2);
    DistTop(i)=sqrt((Xe(i+nc+n)-pxf(i,nc))^2+(Ye(i+nc+n)-pyf(i,nc))^2+...
        (Ze(i+nc+n)-pzf(i,nc))^2);
end

```

```

%Distancias bajo norma Euclidiana para vectores en 3 dimensiones
Xe=Xe(:,1:20);
Ye=Ye(:,1:20);
Ze=Ze(:,1:20);
Xer=(circshift(Xe(n+1,:),nc-1));
Yer=(circshift(Ye(n+1,:),nc-1));
Zer=(circshift(Ze(n+1,:),nc-1));
for i=1:n %Horizontales
    DistF(i)=sqrt((Xer(i)-pxf((n+1)-i,nc))^2+(Yer(i)-pyf((n+1)-i,nc))^2+...
        (Zer(i)-pzf((n+1)-i,nc))^2);
    DistR(i)=sqrt((Xer(n+i)-pxr(i,nc))^2+(Yer(n+i)-pyr(i,nc))^2+...
        (Zer(n+i)-pzc(i,nc))^2);
    DistB(i)=sqrt((Xer((n*2)+i)-pxb(i,nc))^2+(Yer((n*2)+i)-pyb(i,nc))^2+...
        (Zer((n*2)+i)-pzb(i,nc))^2);
    DistL(i)=sqrt((Xer((n*3)+i)-pxl((n+1)-i,nc))^2+(Yer((n*3)+i)-...
        pyr((n+1)-i,nc))^2+(Zer((n*3)+i)-pzc((n+1)-i,nc))^2);
end

for i=1:n
    for j=1:n
        P1(i,j)=Presion1(((i-1)*n)+j,f);
        P2(i,j)=Presion2(((i-1)*n)+j,f);
        P3(i,j)=Presion3(((i-1)*n)+j,f);
        P4(i,j)=Presion4(((i-1)*n)+j,f);
        P5(i,j)=Presion5(((i-1)*n)+j,f);
    end
end
P1=flipud(P1);
P2=flipud(P2);
P3=flipud(P3);
P4=flipud(P4);
P5=flipud(P5);

for i=1:5
    reduccion(i)=1*log10(D/D+DistF(i)); %arreglo matricial

    %Horizontal
    Peh1(i)=P2(i,nc)+reduccion(i); %Frontal
    Peh2(i)=P5(i,nc)+reduccion(i); %Right
    Peh3(i)=P3(i,nc)+reduccion(i); %Back
    Peh4(i)=P4(i,nc)+reduccion(i); %Left

    %Vertical
    Pev1(i)=P2(nc,i)+reduccion(i); %Frontal
    Pev2(i)=P1(nc,i)+reduccion(i); %Up
    Pev3(i)=P3(nc,i)+reduccion(i); %Back
end

% thetaPv=linspace(0,pi,11);
thetaPv=linspace(0,2*pi,21);
radioPv1=[Pev1(nc:n),Pev2,Pev3(1:nc)];
radioPv=[radioPv1,flipplr(radioPv1(1:10))];
radioPh=[Peh1(nc:n),Peh2,Peh3,Peh4,Peh1(1:nc)];

```

```

thetaPh=linspace(0,2*pi,21);

%newpresion=presioncubo-reduccion;                                %arreglo matricial
figure (7)
polar(thetaPv,radioPv)
title (['DIAGRAMA POLAR VERTICAL para ',num2str(frec),' Hz'])
figure (8)
polar(thetaPh,radioPh)
title (['DIAGRAMA POLAR HORIZONTAL para ',num2str(frec),' Hz'])

%%
%obtencion DI y Q por bandas de tercio de octava

for i=1:n*(n*n)                                %Promedio energetico Intensidad
    for j=1:30
        Imag(i,j)=10^(Intensidad(i,j)/10);
    end
end
Isegprom=(sum(Imag));
Iter=10*log10(Isegprom);

Wmag=10.^(W/10);

Wtermag=10.^(W/10);
Itermag=10.^(Iter/10);
for i=1:10                                %Organizacion en octavas
    Woct(i)=10*log10((Wtermag(i+((i-1)*2)+1)+(Wtermag(i+((i-1)*2)+2))+...
        (Wtermag(i+((i-1)*2)))));                                %Potencia en octavas
    Ioct(i)=10*log10((Itermag(i+((i-1)*2)+1)+(Itermag(i+((i-1)*2)+2))+...
        (Itermag(i+((i-1)*2)))));                                %Intensidad en octavas
end

for i=1:30                                %Tercio
    Qter(i)=(4*pi*(cen^2)*(Iter(i)))/(W(i));
    Qtermag(i)=(4*pi*(cen^2)*(Itermag(i)))/(Wmag(i));
end
DI=10*log10(Qter);
DImag=10*log10(Qtermag);

%Normalizando con respecto al valor mayor de DI
DInorm=DI/(max(DI));
DInorm1=DImag/max(DImag);

```

Anexo E. Certificado de calibración del sonómetro Cesva SC 310 y del pistófono CB 006.

Todo lo relacionado con asesoría, control metrológico e instrumentación

G & J
METROLOGÍA E
INSTRUMENTACIÓN S.A.S

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate Calibration

NÚMERO: C 34212
Number
Página 1 de 3

INSTRUMENTO: <i>Instrument</i>	SONOMETRO	
FABRICANTE: <i>Manufacturer</i>	CESVA	
MODELO: <i>Model</i>	SC310	
NÚMERO DE SERIE: <i>Serial number</i>	T232232	
CÓDIGO: <i>Code</i>	7520	
RANGO DE MEDICIÓN: <i>Measurement range</i>	30-130	dB
DIVISIÓN DE ESCALA: <i>Scale division</i>	0,1	dB
SOLICITANTE: <i>Customer</i>	UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA	
DIRECCIÓN: <i>Address</i>	CR 56 C N. 51 - 110	
CIUDAD: <i>City</i>	MEDELLIN - ANTIOQUIA	
LUGAR DE CALIBRACIÓN: <i>Calibration Place</i>	CALLE 46 No 45 - 16 ITAGUI - ANTIOQUIA	
FECHA DE RECEPCIÓN: <i>Date of reception</i>	2016-09-19	
FECHA DE CALIBRACIÓN: <i>Calibration Date</i>	2016-09-19	
NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: <i>Number of pages of this certificate and documents attached</i>	(3)	

Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
The results of this certificate is the moment and conditions in which the measurements were made. G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S. assumes no responsibility for damages ensuing misuse of the calibrated instruments.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.
This inform may not be partially or total reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

 Calle 46 No. 45-16 - Itagüí - Antioquia  448 54 24  www.gymetrologia.com  gymetrologia@gmail.com

Todo lo relacionado con asesoría, control metrológico e instrumentación



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Numero: C 34212

Página 2 de 3

SOLICITANTE:	UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA		
INSTRUMENTO:	SONOMETRO		
FABRICANTE:	CESVA	CONDICIONES AMBIENTALES	
MODELO:	SC310		
NÚMERO DE SERIE:	T232232	TEMPERATURA:	25,2°C
CÓDIGO:	7520	HUMEDAD RELATIVA%	53,8%
RESOLUCIÓN:	0,1	dB	

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa de las indicaciones del instrumento a calibrar con sonómetro Patrón.
Según procedimiento PRT 023, Procedimiento técnico para la calibración de sonómetros y equipos de intensidad sonora. Basado en la NTC 3428 "Acústica. Sonómetros (Medidores de Intensidad de Sonido) y el procedimiento AC-003 para la calibración de Sonómetros, Edición 0, emitido por el Centro Español de Metrología.

Previo a la calibración se confirmó el estado del instrumento.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

PRUEBA 1

INDICADOR dB	PATRÓN dB	DESVIACIÓN POR MEDIDA dB	DESVIACIÓN ESTANDAR INDICADOR	PROMEDIO INDICADOR dB	PROMEDIO PATRÓN dB	CORRECCION A LA INDICACIÓN dB
114,2	114,0	0,2	0,14	114,08	114,00	0,1
114,1	114,0	0,1				
113,9	114,0	-0,1				
114,1	114,0	0,1				
114,1	114,0	0,1				

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Ue:	±	0,13	dB	0,12	%
------------------------------------	---	------	----	------	---

PRUEBA 2

INDICADOR dB	PATRÓN dB	DESVIACIÓN POR MEDIDA dB	DESVIACIÓN ESTANDAR INDICADOR	PROMEDIO INDICADOR dB	PROMEDIO PATRÓN dB	CORRECCION A LA INDICACIÓN dB
94,1	94,0	0,1	0,14	94,02	94,00	0,0
94,1	94,0	0,1				
93,9	94,0	-0,1				
94,1	94,0	0,1				
93,9	94,0	-0,1				

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Ue:	±	0,12	dB	0,13	%
------------------------------------	---	------	----	------	---

CORRECCIÓN A LA INDICACIÓN: PROMEDIO INDICADOR - PROMEDIO PATRÓN



Calle 46 No. 45-16 - Itagüí - Antioquia



448 54 24



www.gyjmetrologia.com



gyjmetrologia@gmail.com

Todo lo relacionado con asesoría, control metrológico e instrumentación



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Numero: C 34212

Página 3 de 3

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre reportada se ha determinado multiplicando la incertidumbre estándar combinada (patrón, método y resolución del instrumento de prueba) por el factor de cubrimiento $K=2$, con el cual se logra un nivel de confianza del 95% aproximadamente para una distribución normal.

TRAZABILIDAD

El laboratorio de metrología G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S. Garantiza la trazabilidad de sus patrones utilizados en estas mediciones hacia patrones nacionales o internacionales.

The laboratory of metrology G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S. Ensures in these measurements keeping of traceability to national or international standards.

El Calibrador Acústico utilizado fue calibrado por LAB & SERVICE con certificado N. CA-11035100-OSC0744

El termómetro empleado fue calibrado por SIGMA con certificado No 21426 ZC

El higrómetro empleado fue calibrado por SIGMA con certificado No 21427 ZC

OBSERVACIONES

1. Con anticipación a su próxima calibración, debe solicitarse el servicio al laboratorio de metrología de G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S.
2. El usuario es responsable de repetir la calibración a intervalos de tiempo apropiados.

FIRMA AUTORIZADA

Authorized signature

GABRIEL JAIME PALACIOS CALLE

Realizó

CIERRE DEL CERTIFICADO



Calle 46 No. 45-16 - Itagüí - Antioquia



448 54 24



www.gyjmetrologia.com



gyjmetrologia@gmail.com

Todo lo relacionado con asesoría, control metrológico e instrumentación



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate Calibration

NÚMERO: C 34213

Number

Página 1 de 3

INSTRUMENTO: <i>Instrument</i>	CALIBRADOR ACUSTICO	
FABRICANTE: <i>Manufacturer</i>	CESVA	
MODELO: <i>Model</i>	CB 006	
NÚMERO DE SERIE: <i>Serial number</i>	49313	
CÓDIGO: <i>Code</i>	N.P.	
RANGO DE MEDICIÓN: <i>Measurement range</i>	94	dB
DIVISION DE ESCALA: <i>Scale division</i>	0,1	dB
SOLICITANTE: <i>Customer</i>	UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA	
DIRECCIÓN: <i>Address</i>	CR 56 C N. 51 - 110	
CIUDAD: <i>City</i>	MEDELLIN - ANTIOQUIA	
LUGAR DE CALIBRACIÓN: <i>Calibration Place</i>	CALLE 46 No 45 - 16 ITAGUI - ANTIOQUIA	
FECHA DE RECEPCIÓN: <i>Date of reception</i>	2016-09-19	
FECHA DE CALIBRACIÓN: <i>Calibration Date</i>	2016-09-19	

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: (3)

Number of pages of this certificate and documents attached

Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. G & J METROLOGIA E INSTRUMENTACION S.A.S. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

The results of this certificate to the moment and conditions in which the measurements were made. G & J METROLOGIA E INSTRUMENTACION S.A.S. assumes no responsibility for damages ensuing misuse of the calibrated instruments.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

This inform may not be partially or total reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.



Calle 46 No. 45-16 - Itagüí - Antioquia



448 54 24



www.gyjmetrologia.com



gyjmetrologia@gmail.com

Todo lo relacionado con asesoría, control metrológico e instrumentación



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Numero: C 34213

Página 2 de 3

SOLICITANTE:	UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA		
INSTRUMENTO:	CALIBRADOR ACUSTICO		
FABRICANTE:	CESVA	CONDICIONES AMBIENTALES	
MODELO:	CB 006		
NÚMERO DE SERIE:	49313	TEMPERATURA:	25,1°C
CÓDIGO:	N.P.	HUMEDAD RELATIVA%:	53,9%
RESOLUCIÓN:	0,1	dB	

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa de las indicaciones del instrumento a calibrar con sonómetro Patrón.
Según procedimiento PRT 023, Procedimiento técnico para la calibración de sonómetros y equipos de intensidad sonora. Basado en la NTC 3428 "Acústica. Sonómetros (Medidores de Intensidad de Sonido) y el procedimiento AC-003 para la calibración de Sonómetros, Edición 0, emitido por el Centro Español de Metrología.

Previo a la calibración se confirmó el estado del instrumento.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

PRUEBA 1

INDICADOR dB	PATRÓN dB	DESVIACIÓN POR MEDIDA dB	DESVIACIÓN ESTANDAR INDICADOR	PROMEDIO INDICADOR dB	PROMEDIO PATRÓN dB	CORRECCION A LA INDICACION dB
94,1	94,0	0,1	0,14	94,02	94,00	0,0
94,1	94,0	0,1				
93,9	94,0	-0,1				
93,9	94,0	-0,1				
94,1	94,0	0,1				

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Ue: ± 0,12 dB 0,13 %

PRUEBA 2

INDICADOR dB	PATRÓN dB	DESVIACIÓN POR MEDIDA dB	DESVIACIÓN ESTANDAR INDICADOR	PROMEDIO INDICADOR dB	PROMEDIO PATRÓN dB	CORRECCION A LA INDICACION dB
94,1	94,0	0,1	0,14	94,12	94,00	0,1
94,1	94,0	0,1				
94,1	94,0	0,1				
94,2	94,0	0,2				
94,1	94,0	0,1				

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Ue: ± 0,13 dB 0,14 %

CORRECCIÓN A LA INDICACIÓN: PROMEDIO INDICADOR - PROMEDIO PATRÓN

Todo lo relacionado con asesoría, control metrológico e instrumentación



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Numero: C 34213

Página 3 de 3

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre reportada se ha determinado multiplicando la incertidumbre estándar combinada (patrón, método y resolución del instrumento de prueba) por el factor de cubrimiento $K=2$, con el cual se logra un nivel de confianza del 95% aproximadamente para una distribución normal.

TRAZABILIDAD

El laboratorio de metrología G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S. Garantiza la trazabilidad de sus patrones utilizados en estas mediciones hacia patrones nacionales o internacionales.

The laboratory of metrology G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S. Ensures in these measurements keeping of traceability to national or international standards.

El Calibrador Acústico utilizado fue calibrado por LAB & SERVICE con certificado N. CA-11035100-OSC0744

El termómetro empleado fue calibrado por SIGMA con certificado No 21426 ZC

El higrómetro empleado fue calibrado por SIGMA con certificado No 21427 ZC

OBSERVACIONES

1. Con anticipación a su próxima calibración, debe solicitarse el servicio al laboratorio de metrología de G & J METROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A.S.
2. El usuario es responsable de repetir la calibración a intervalos de tiempo apropiados.

FIRMA AUTORIZADA

Authorized signature

GABRIEL JAIME PALACIOS CALLE

Realizó

CIERRE DEL CERTIFICADO



Calle 46 No. 45-16 - Itagüí - Antioquia



448 54 24



www.gymetrologia.com



gyjmetrologia@gmail.com

Anexo F. Representaciones gráficas de radiación.

F.1. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medida. Estudio A.

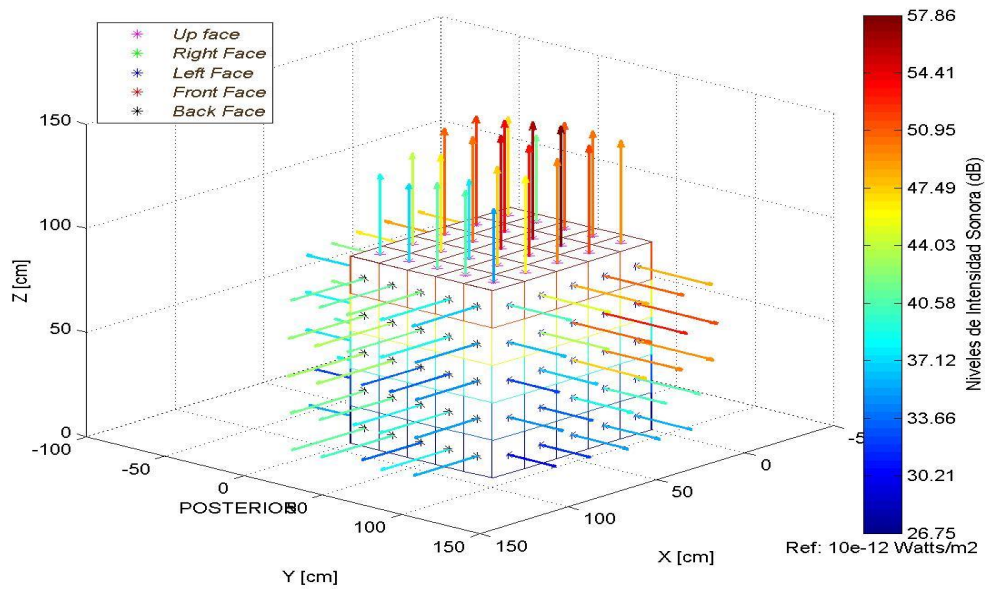


Fig. 67. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 25Hz. Vista trasera. Estudio A.

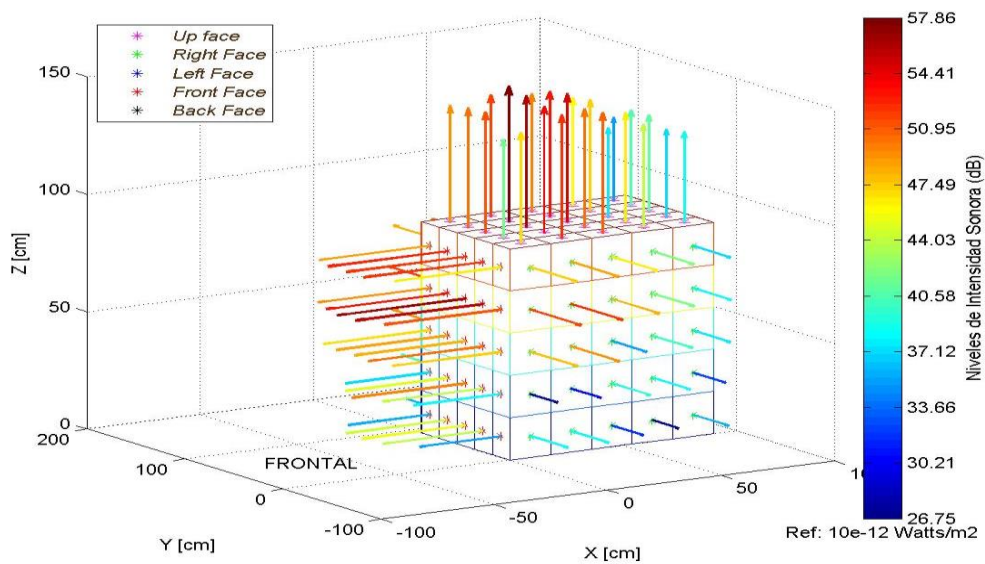


Fig. 68. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 25Hz. Vista frontal. Estudio A.

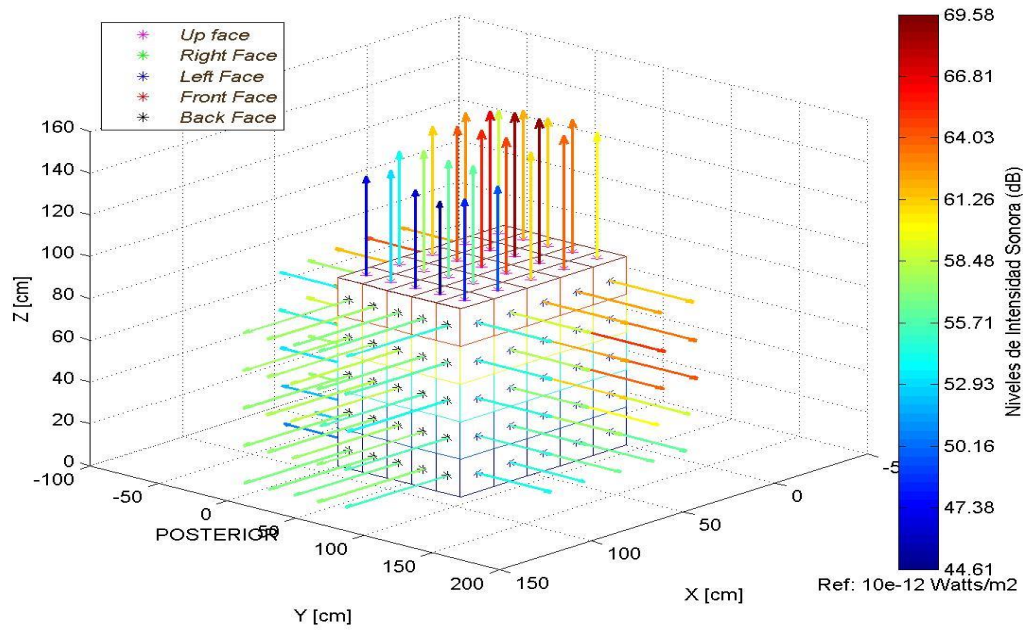


Fig. 69. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 31.5Hz. Vista trasera. Estudio A.

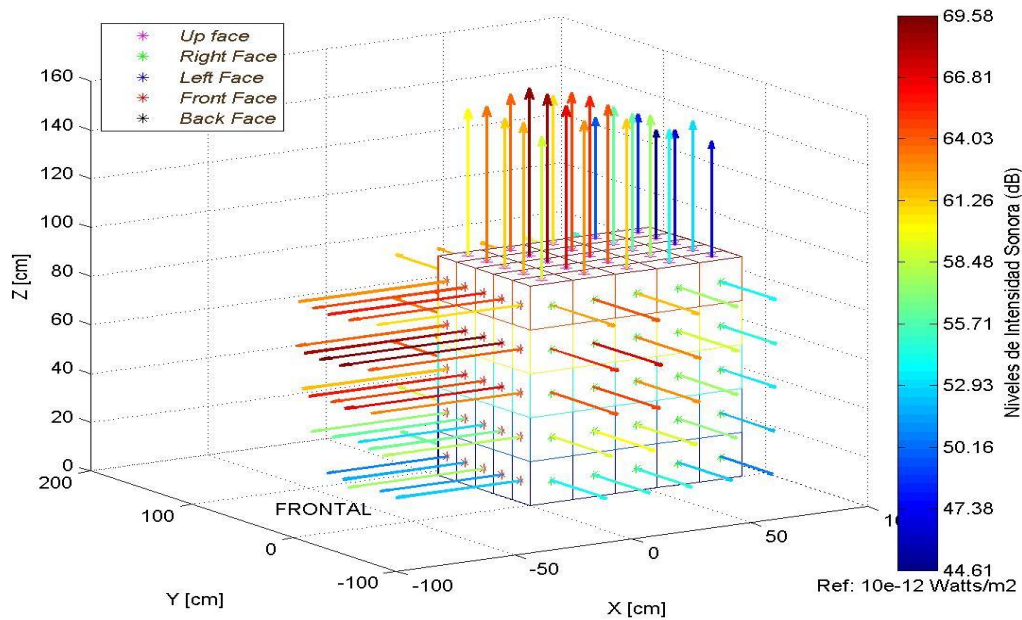


Fig. 70. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 31.5Hz. Vista frontal. Estudio A.

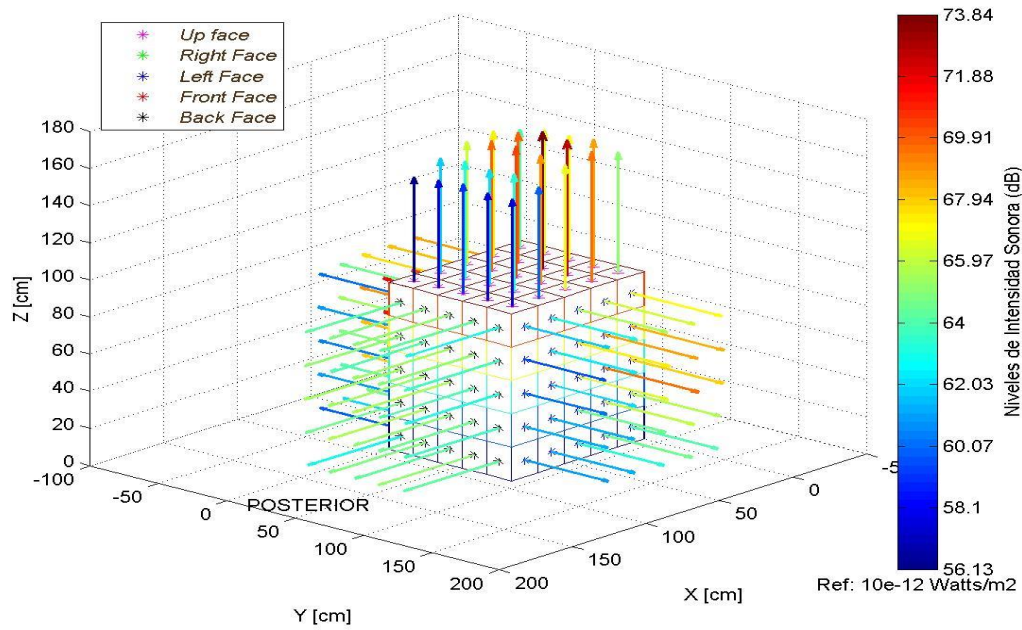


Fig. 71. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 40Hz. Vista trasera. Estudio A.

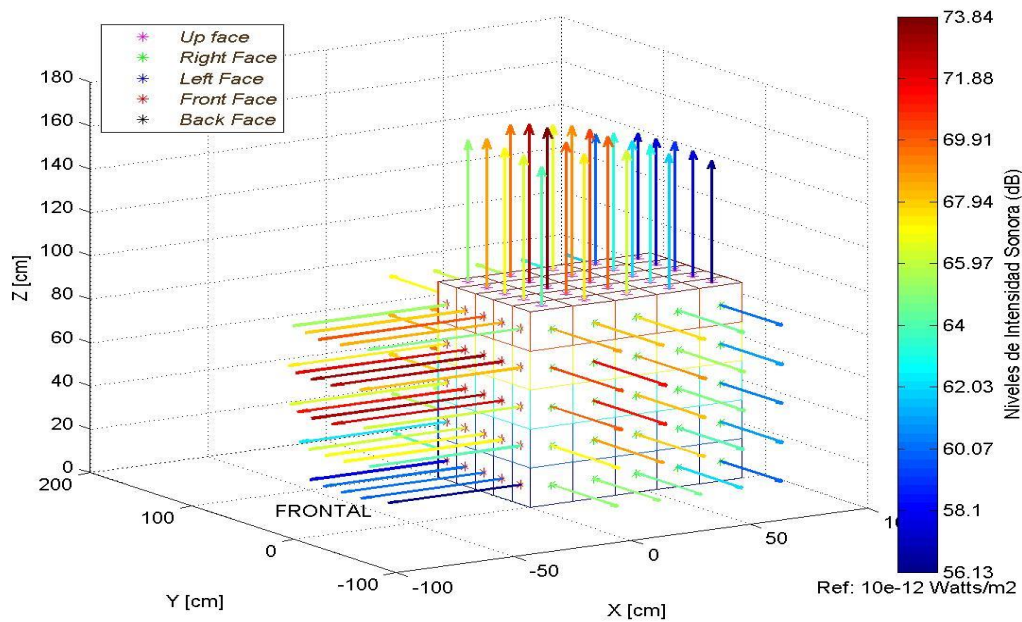


Fig. 72. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 40Hz. Vista frontal. Estudio A.

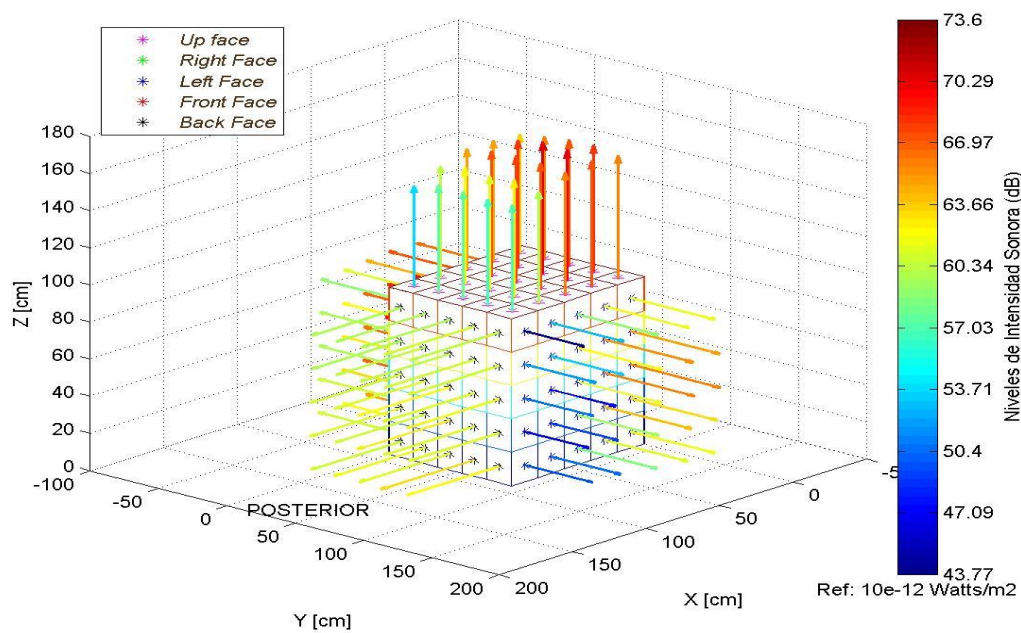


Fig. 73. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 50Hz. Vista trasera. Estudio A.

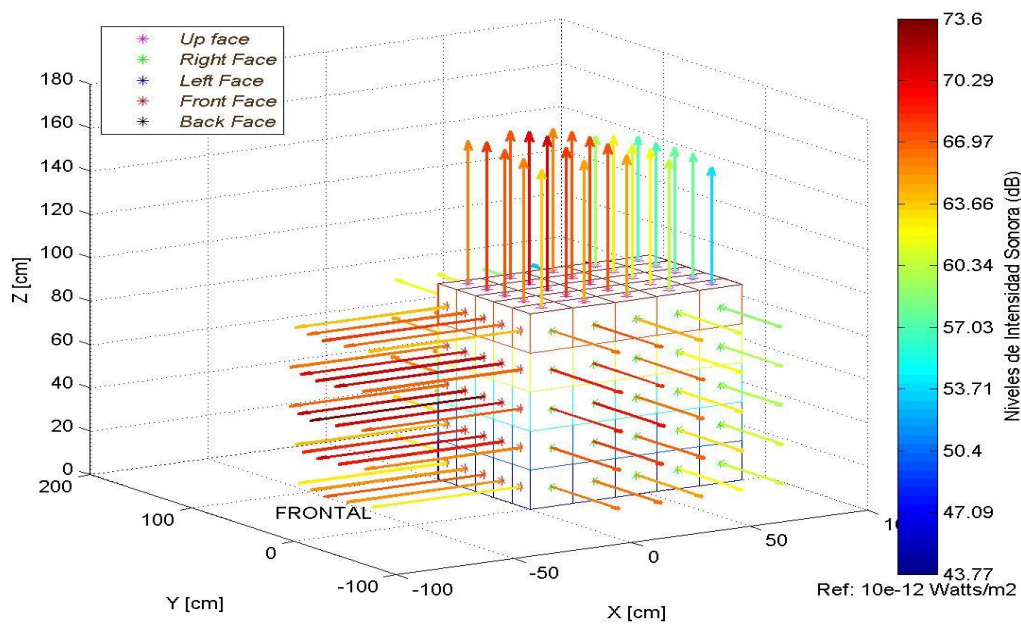


Fig. 74. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 50Hz. Vista frontal. Estudio A.

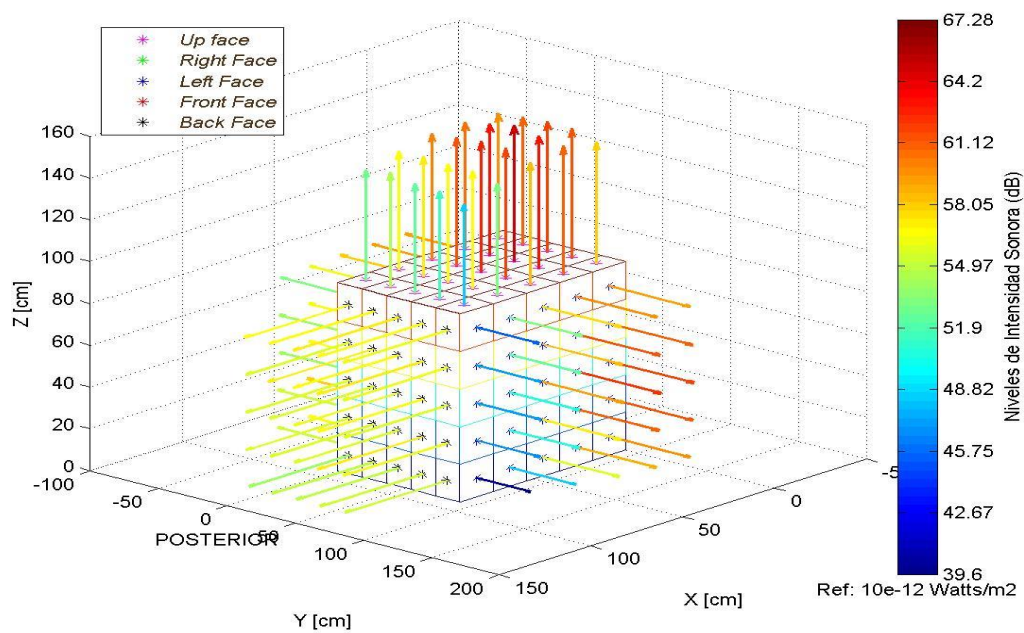


Fig. 75. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 63Hz. Vista trasera. Estudio A.

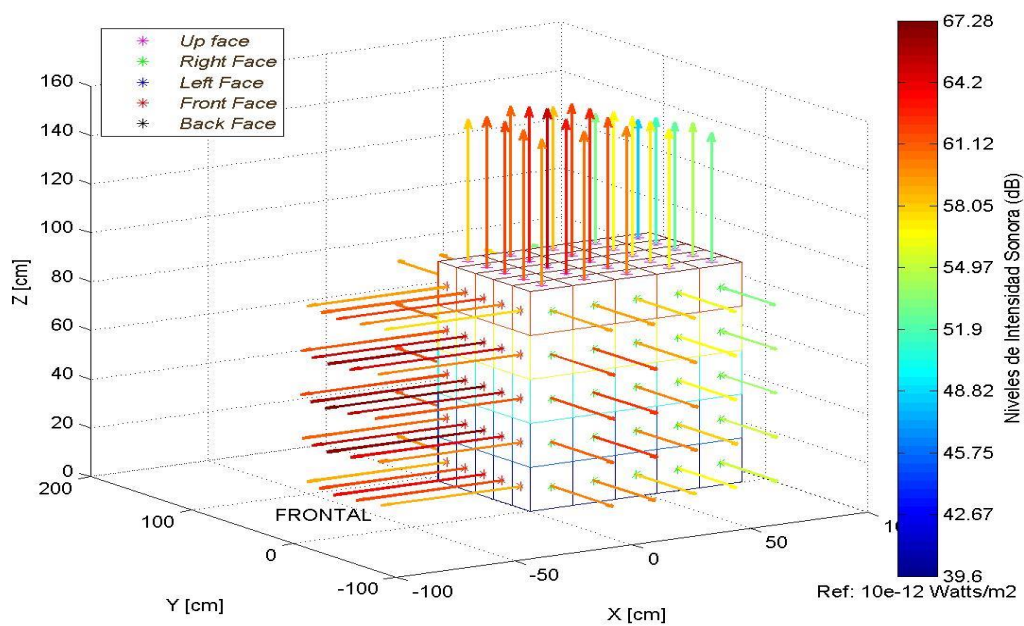


Fig. 76. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 63Hz. Vista frontal. Estudio A.

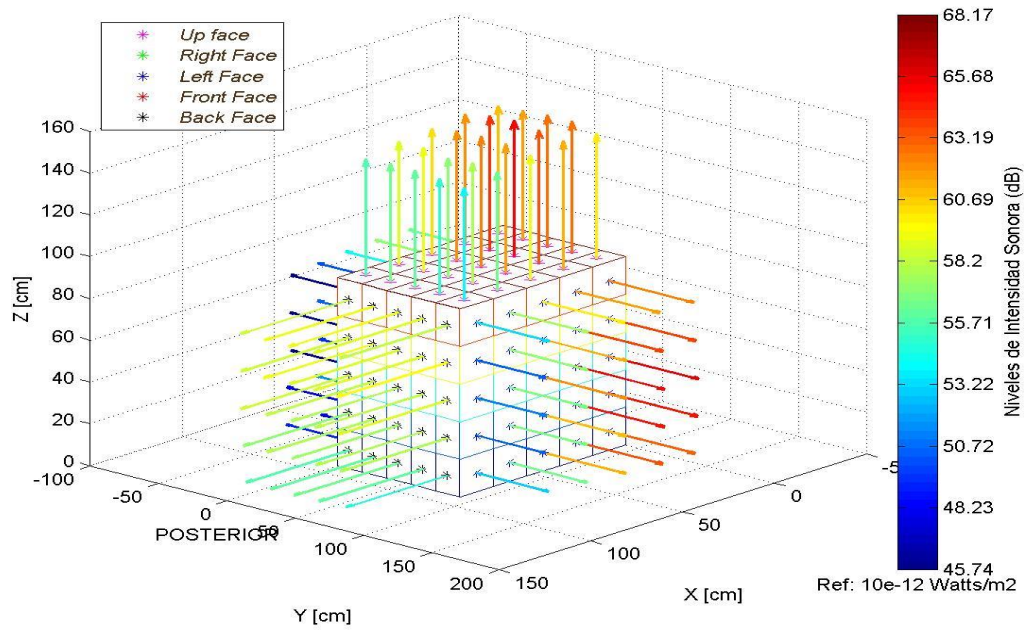


Fig. 77. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 80Hz. Vista trasera. Estudio A.

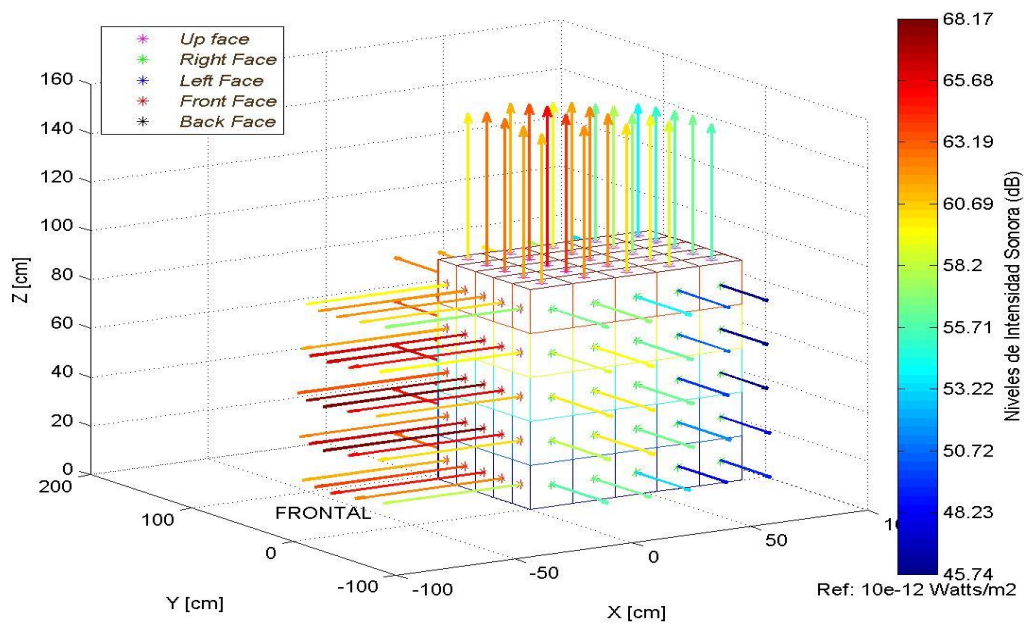


Fig. 78. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 80Hz. Vista frontal. Estudio A.

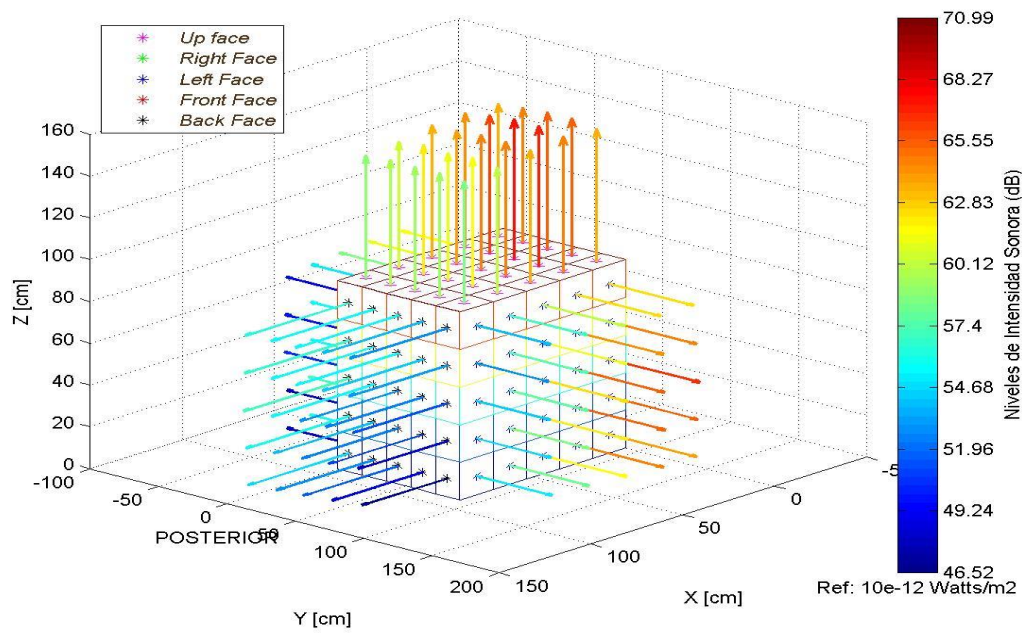


Fig. 79. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista trasera. Estudio A.

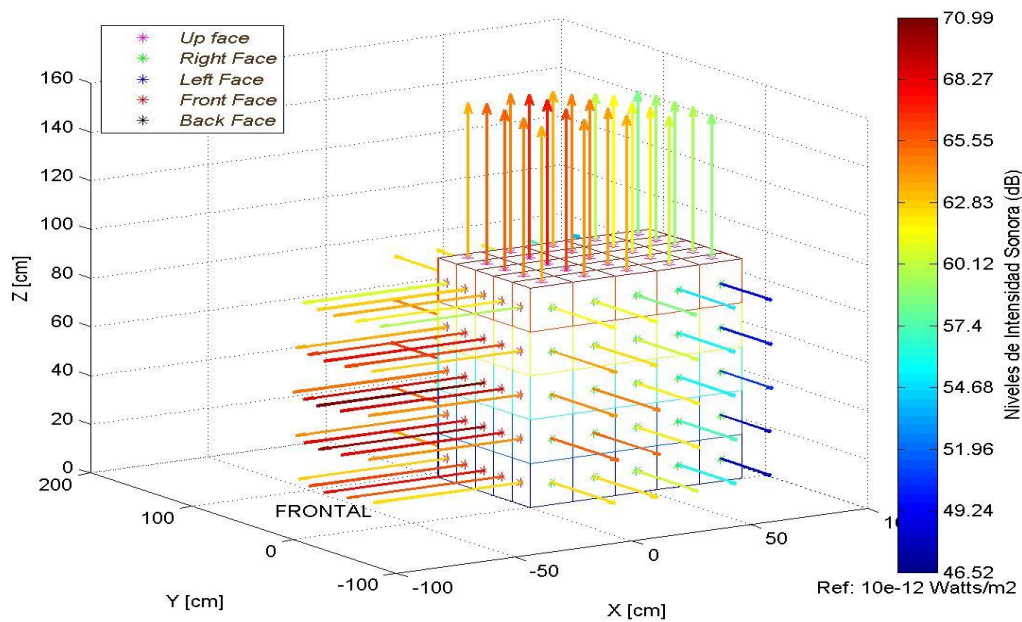


Fig. 80. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 100Hz. Vista frontal. Estudio A.

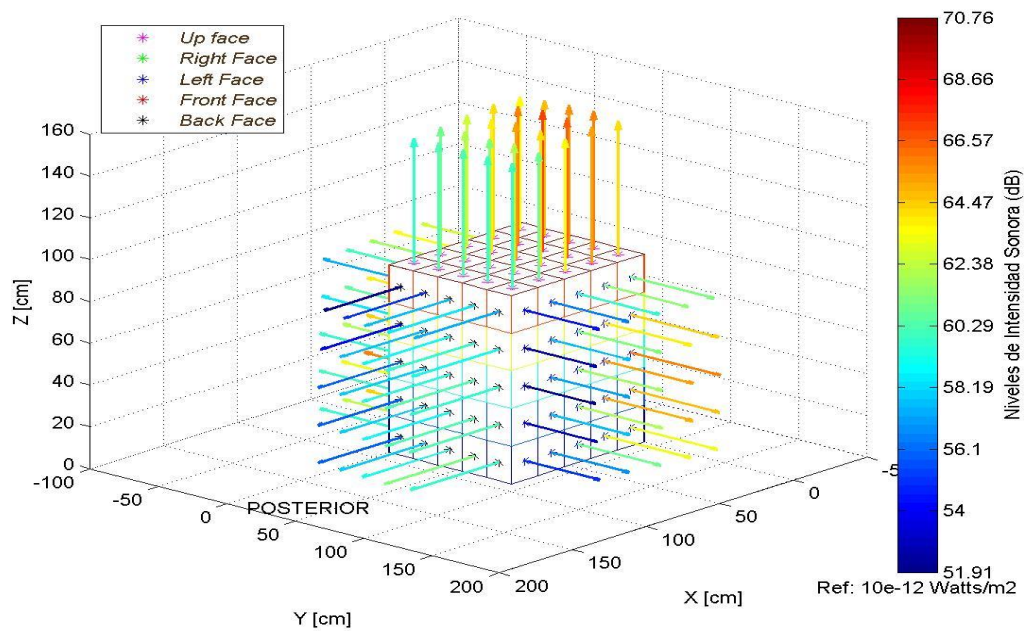


Fig. 81. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 125Hz. Vista trasera. Estudio A.

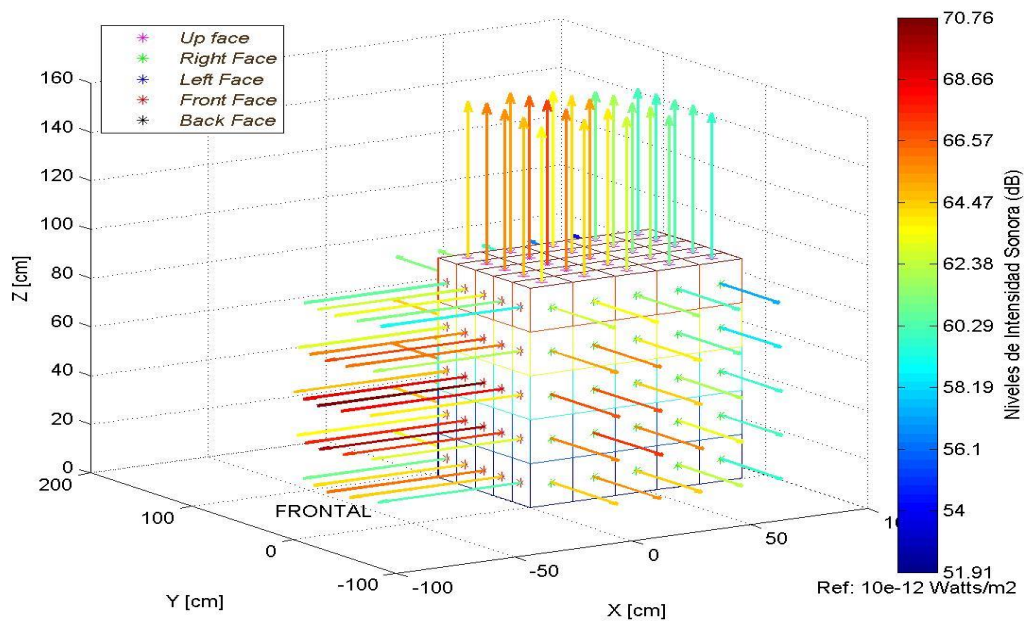


Fig. 82. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 125Hz. Vista frontal. Estudio A.

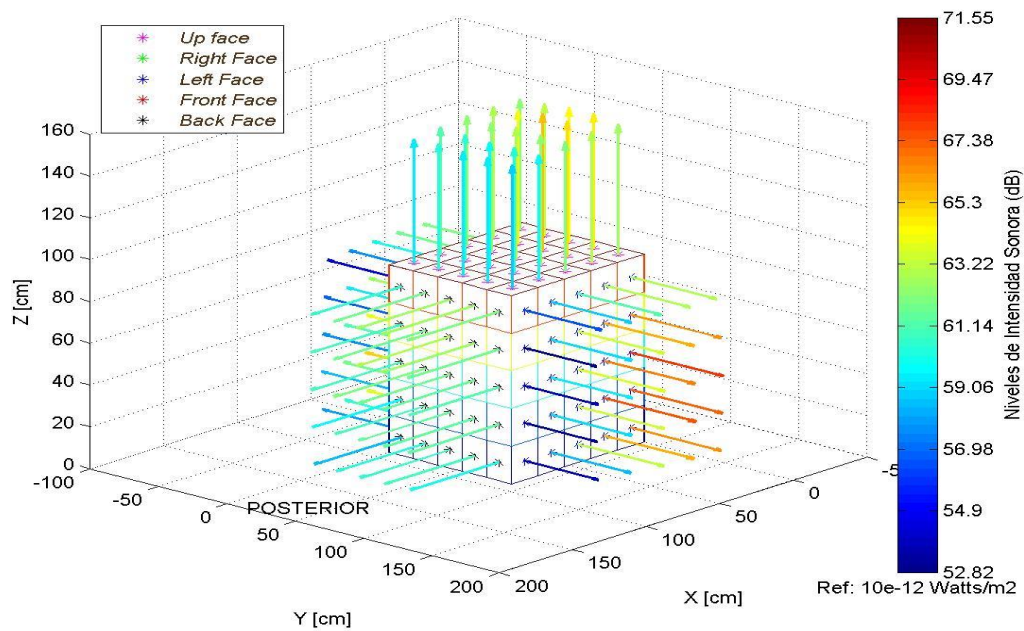


Fig. 83. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 160Hz. Vista trasera. Estudio A.

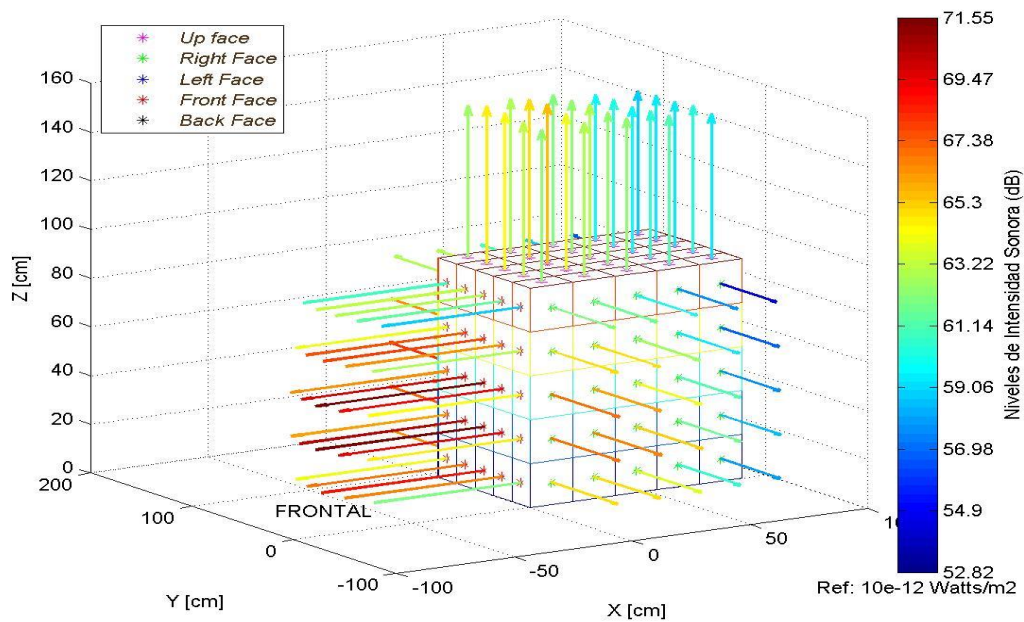


Fig. 84. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 160Hz. Vista frontal. Estudio A.

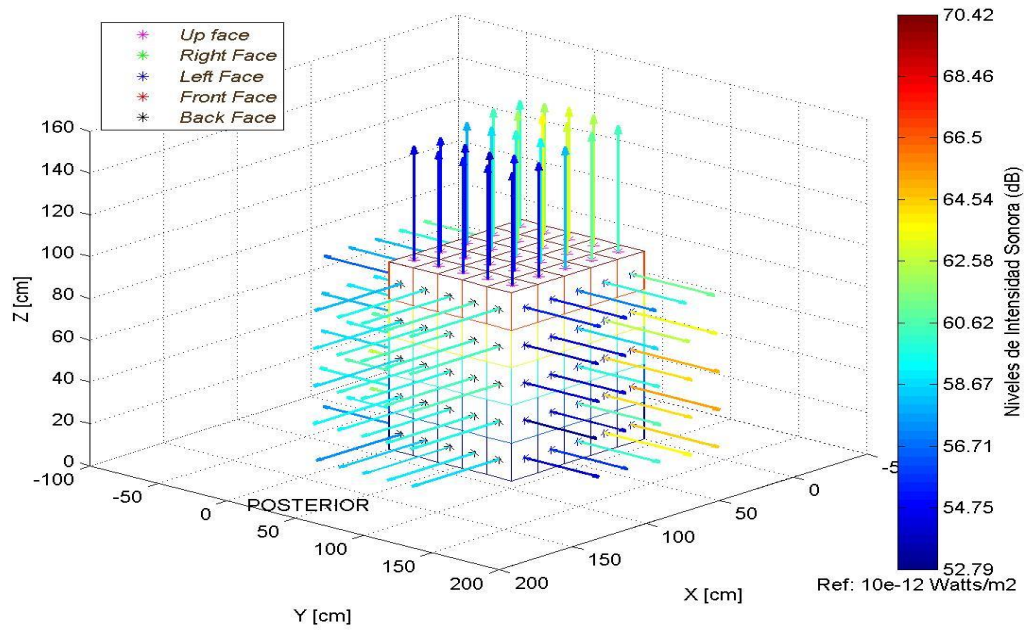


Fig. 85. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 200Hz. Vista trasera. Estudio A.

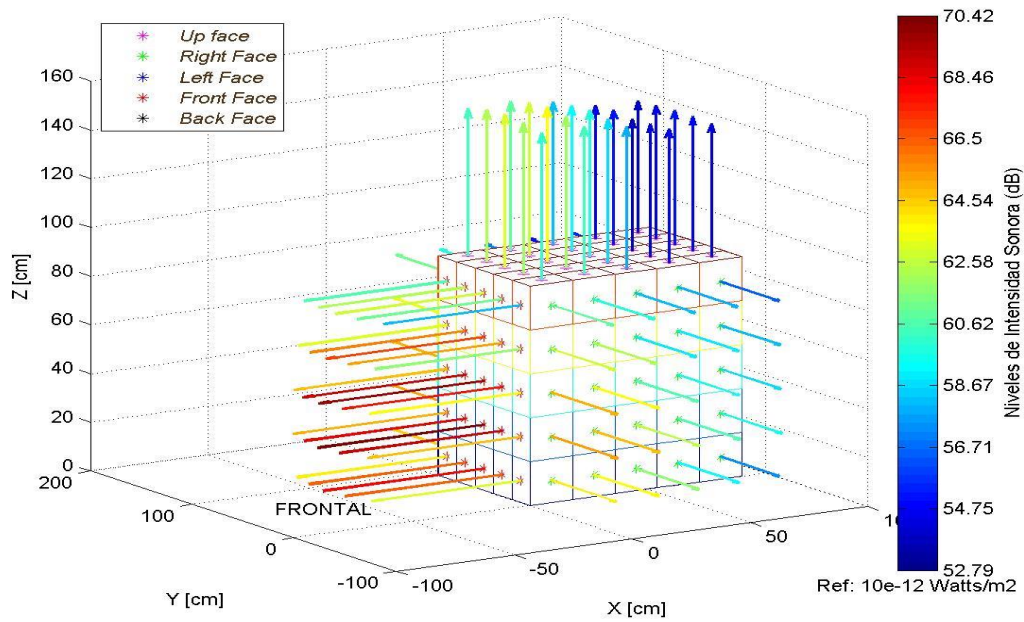


Fig. 86. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 200Hz. Vista frontal. Estudio A.

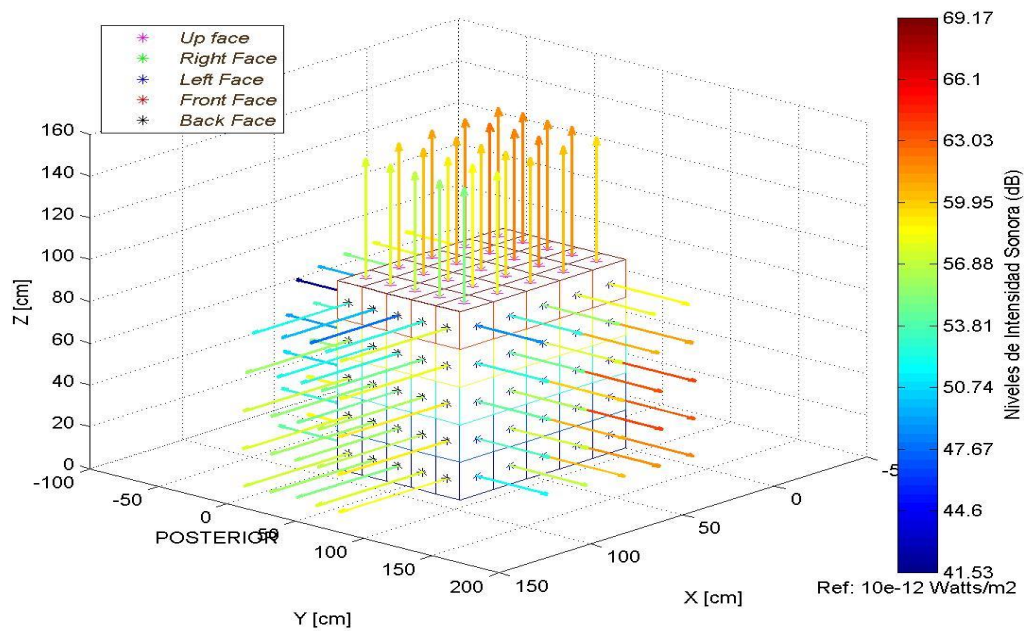


Fig. 87. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 250Hz. Vista trasera. Estudio A.

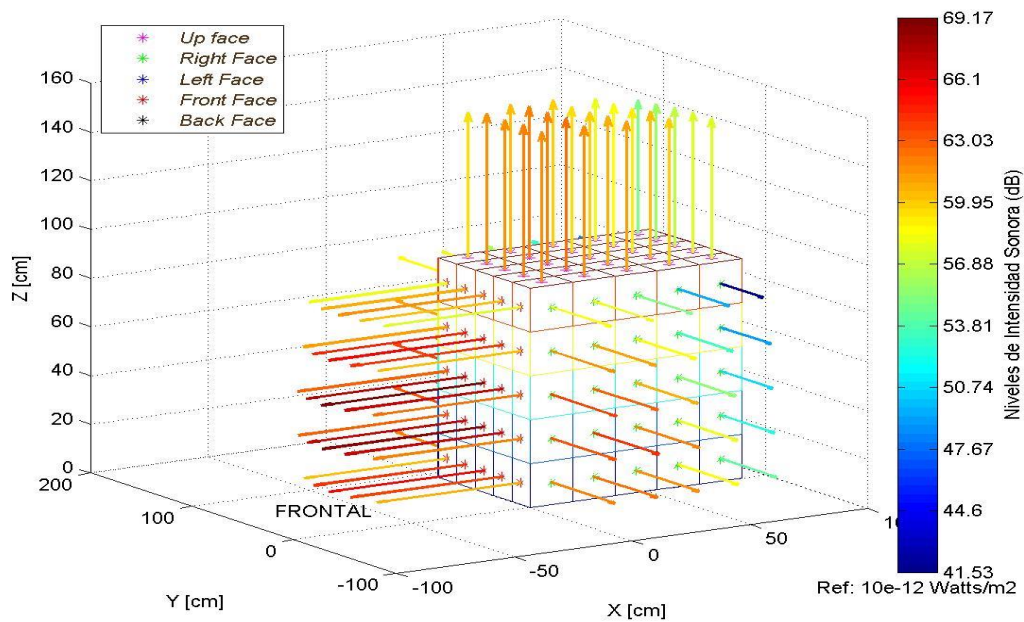


Fig. 88. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 250Hz. Vista frontal. Estudio A.

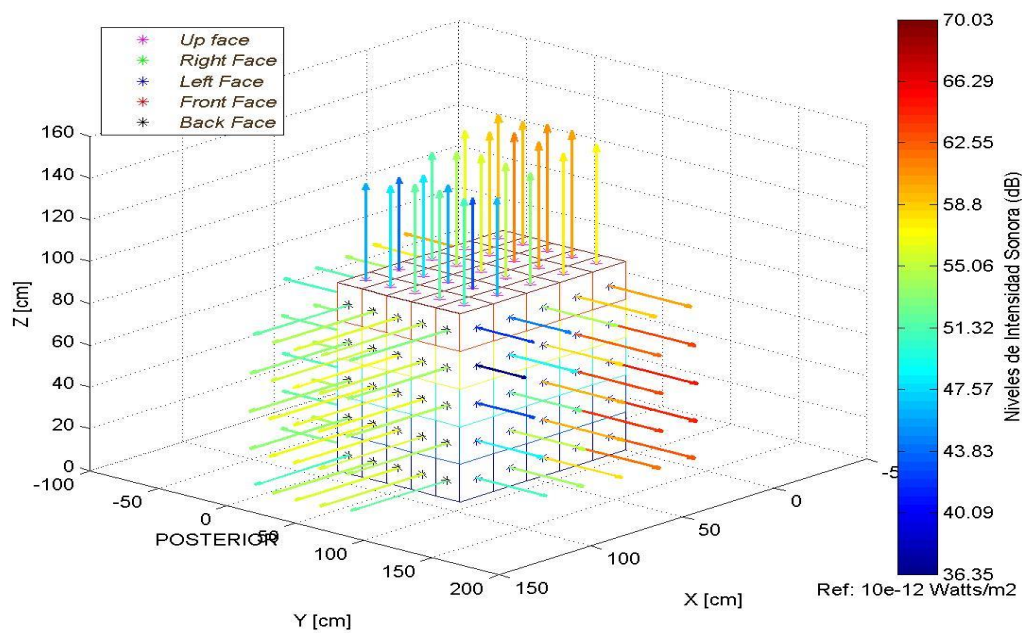


Fig. 89. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 315Hz. Vista trasera. Estudio A.

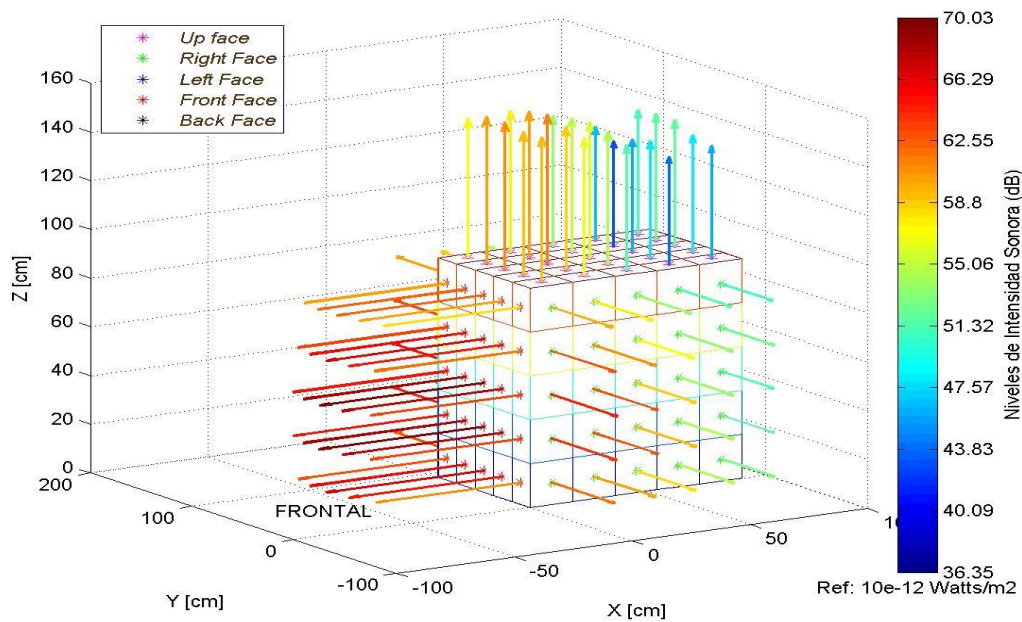


Fig. 90. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 315Hz. Vista frontal. Estudio A.

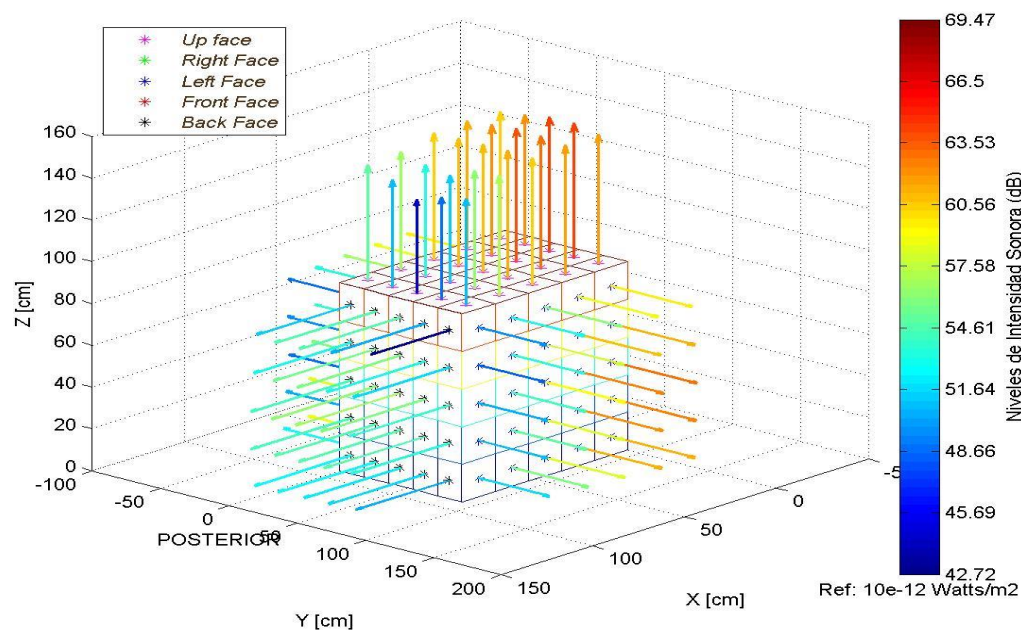


Fig. 91. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 400Hz. Vista trasera. Estudio A.

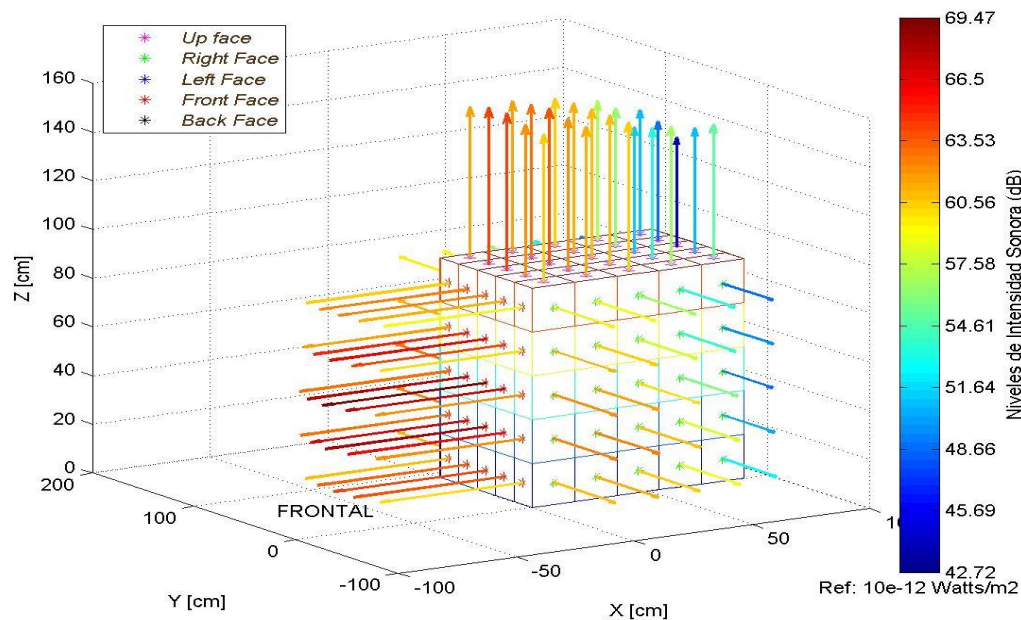


Fig. 92. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 400Hz. Vista frontal. Estudio A.

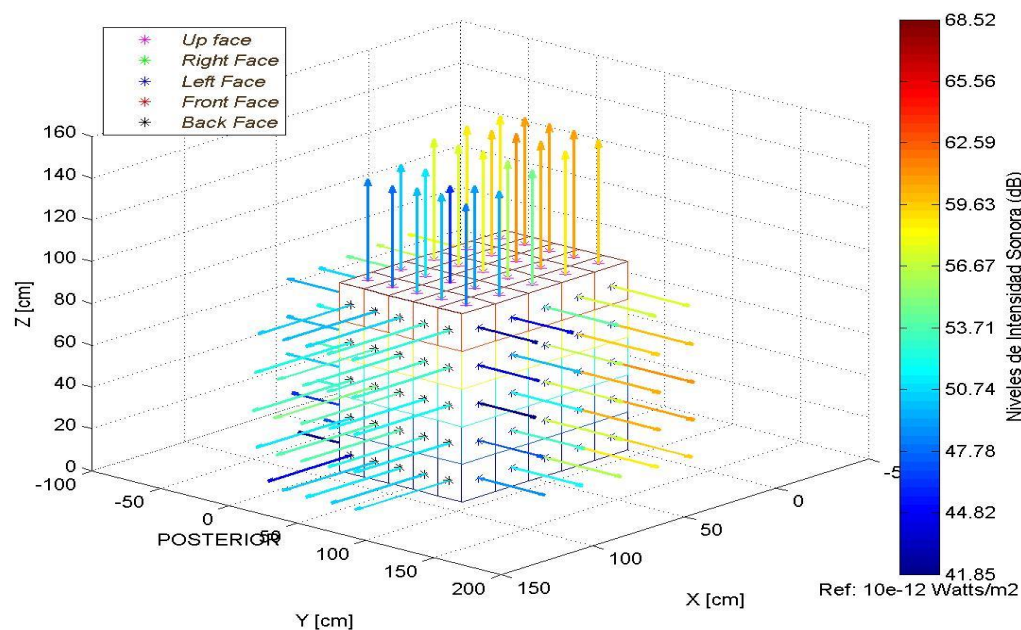


Fig. 93. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista trasera. Estudio A.

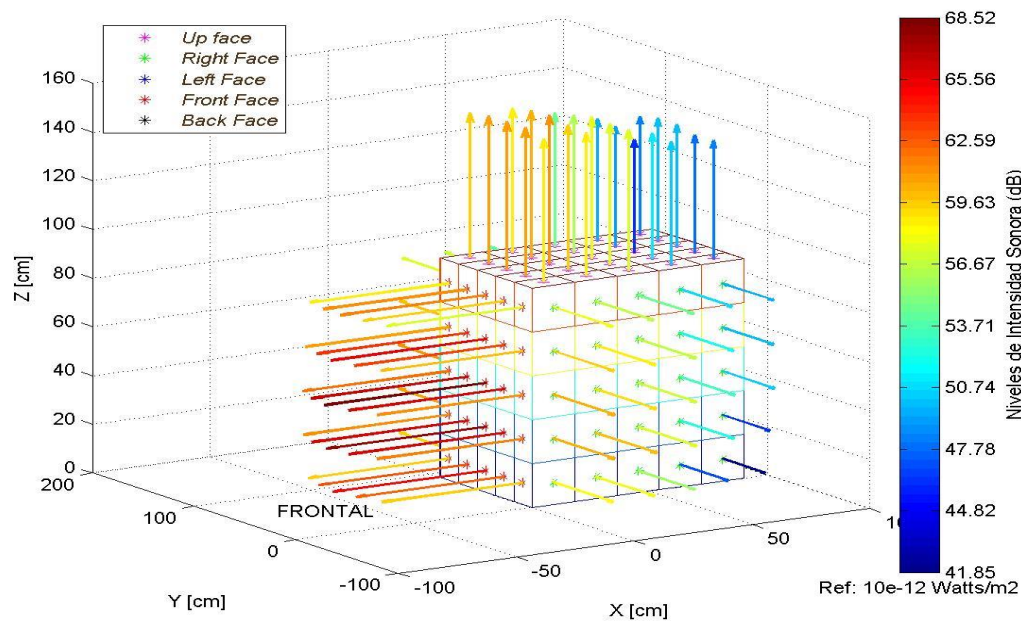


Fig. 94. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista frontal. Estudio A.

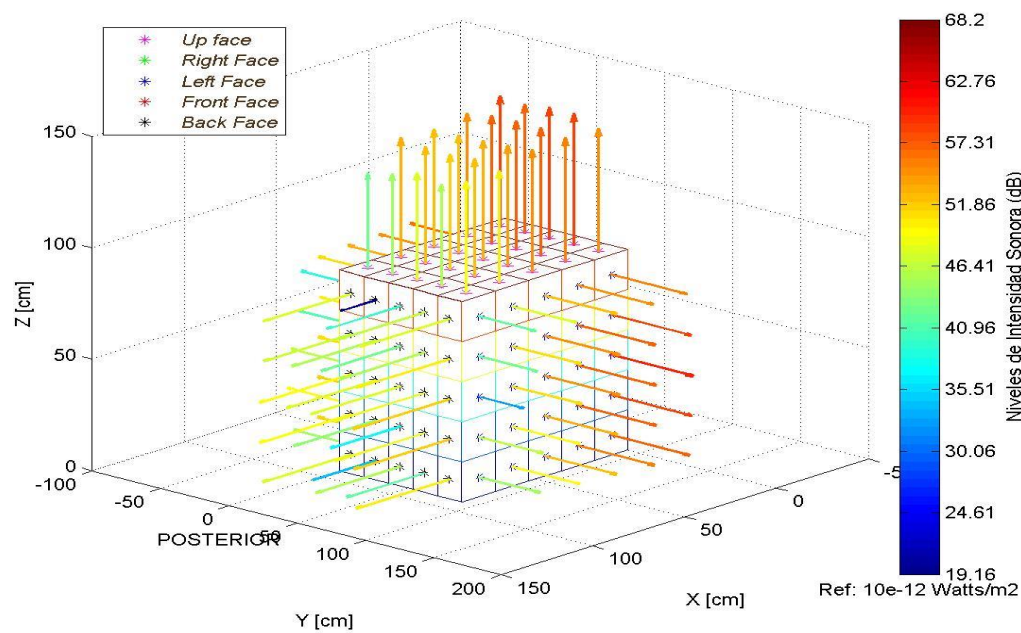


Fig. 95. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 630Hz. Vista trasera. Estudio A.

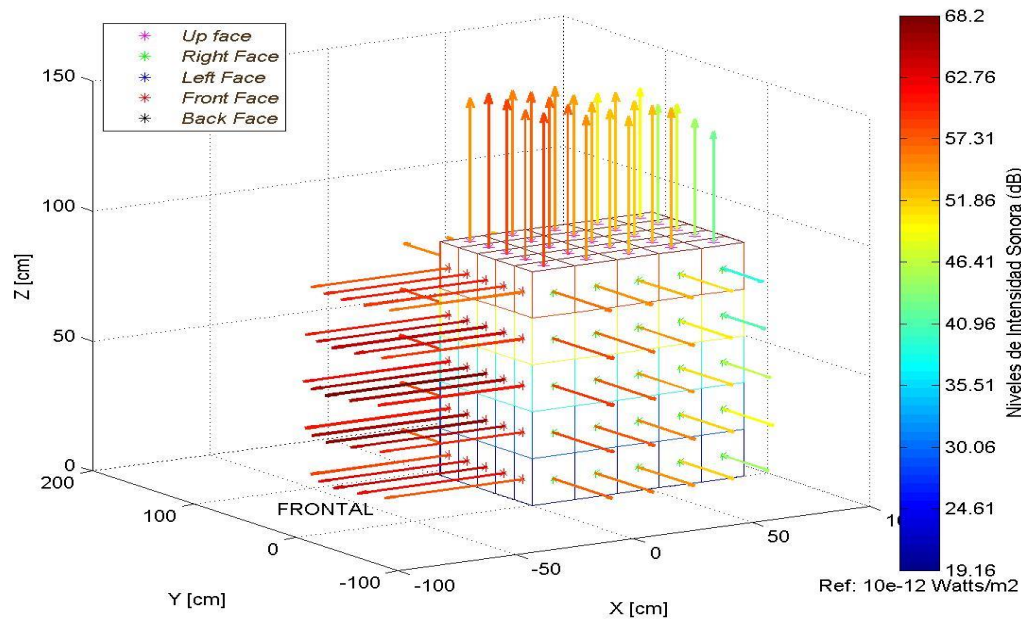


Fig. 96. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 630Hz. Vista frontal. Estudio A.

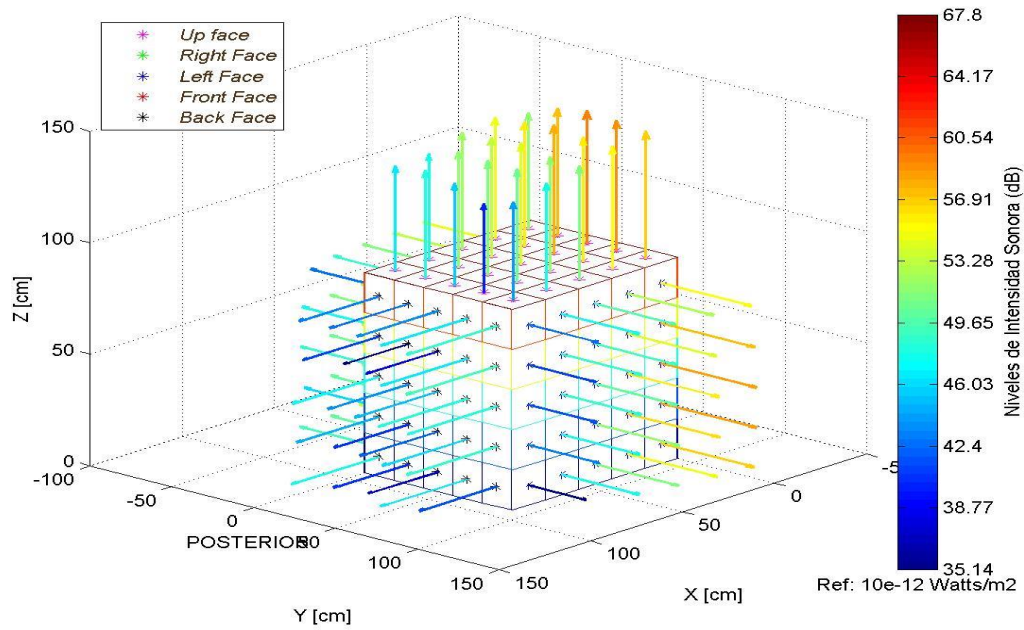


Fig. 97. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 800Hz. Vista trasera. Estudio A.

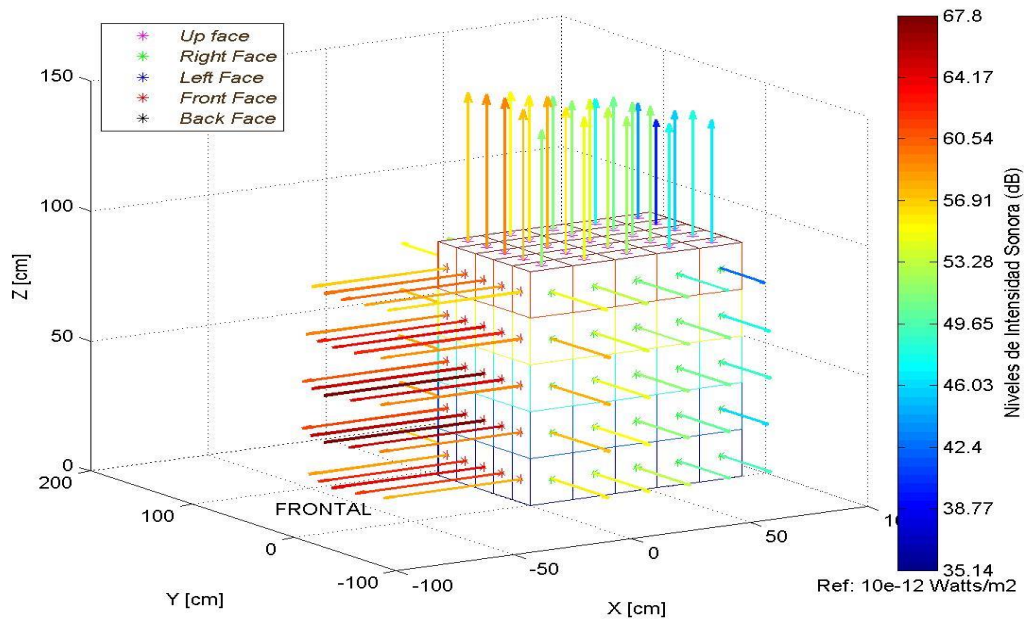


Fig. 98. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 800Hz. Vista frontal. Estudio A.

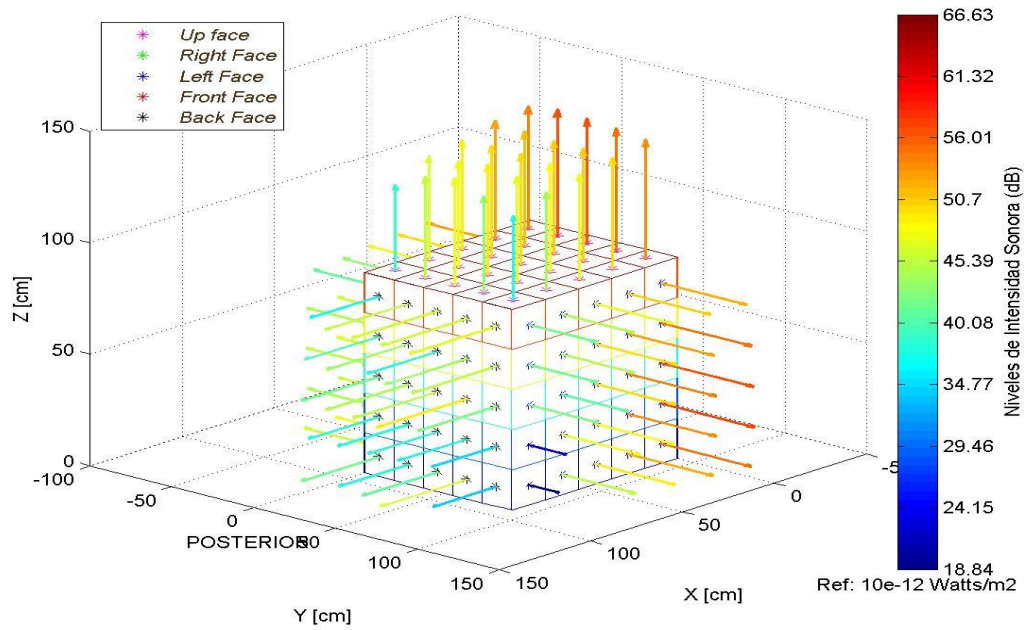


Fig. 99. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista trasera. Estudio A.

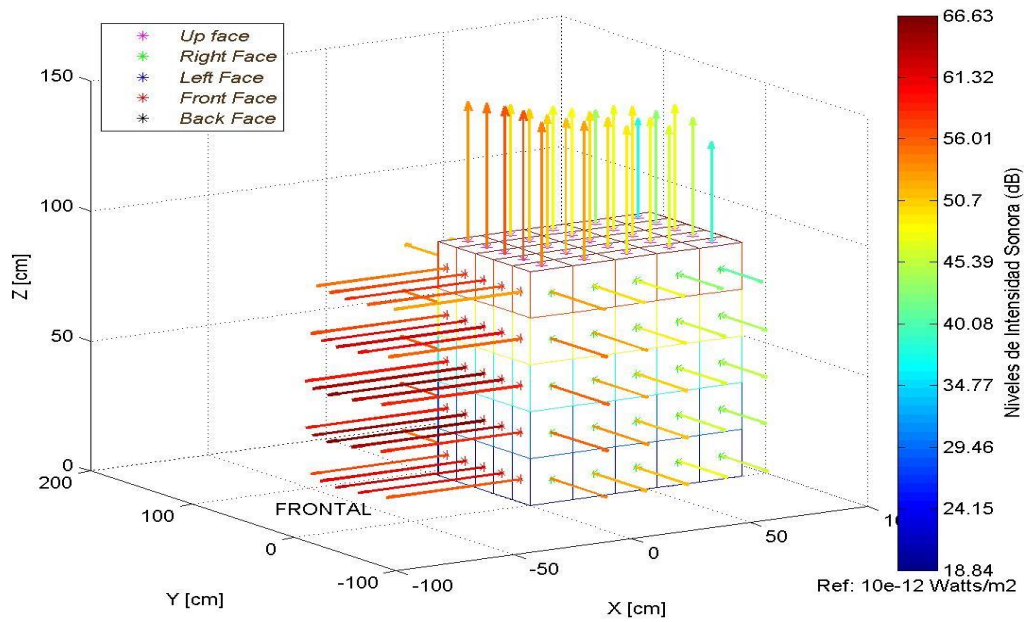


Fig. 100. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista frontal. Estudio A.

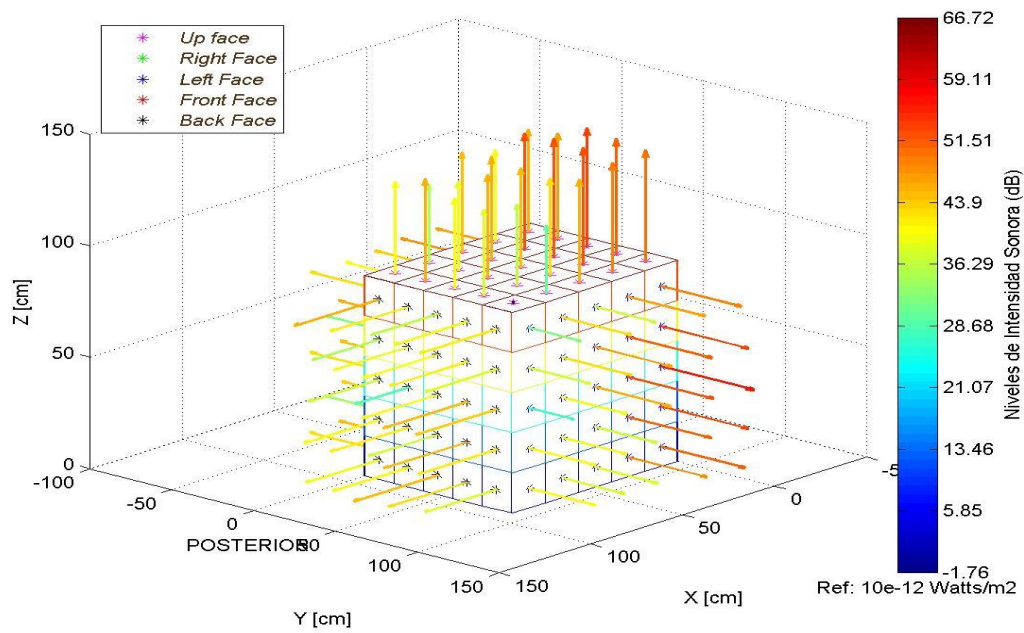


Fig. 101. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1250Hz. Vista trasera. Estudio A.

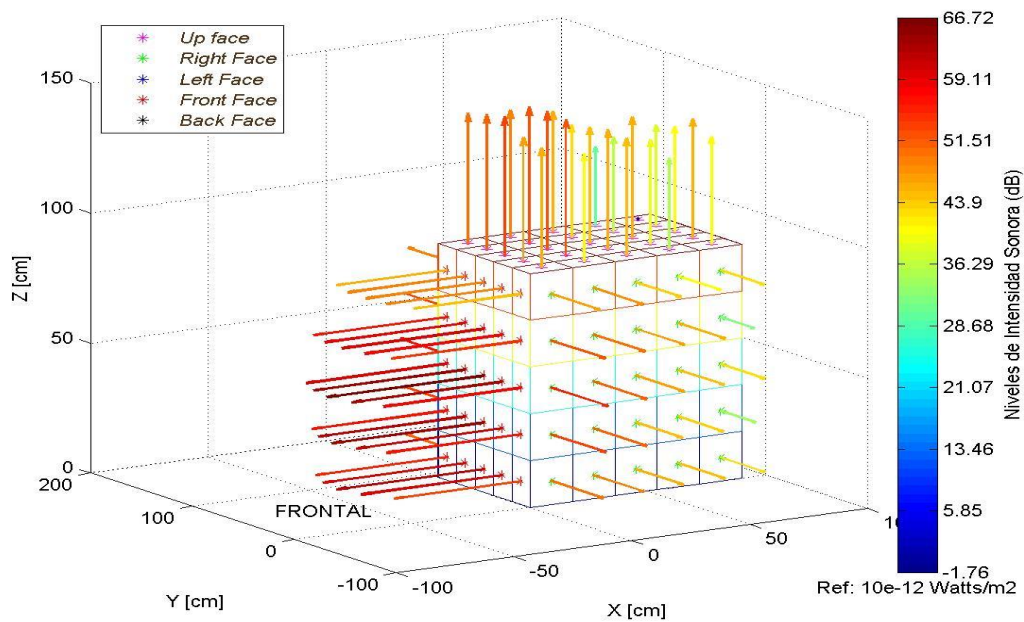


Fig. 102. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1250Hz. Vista frontal. Estudio A.

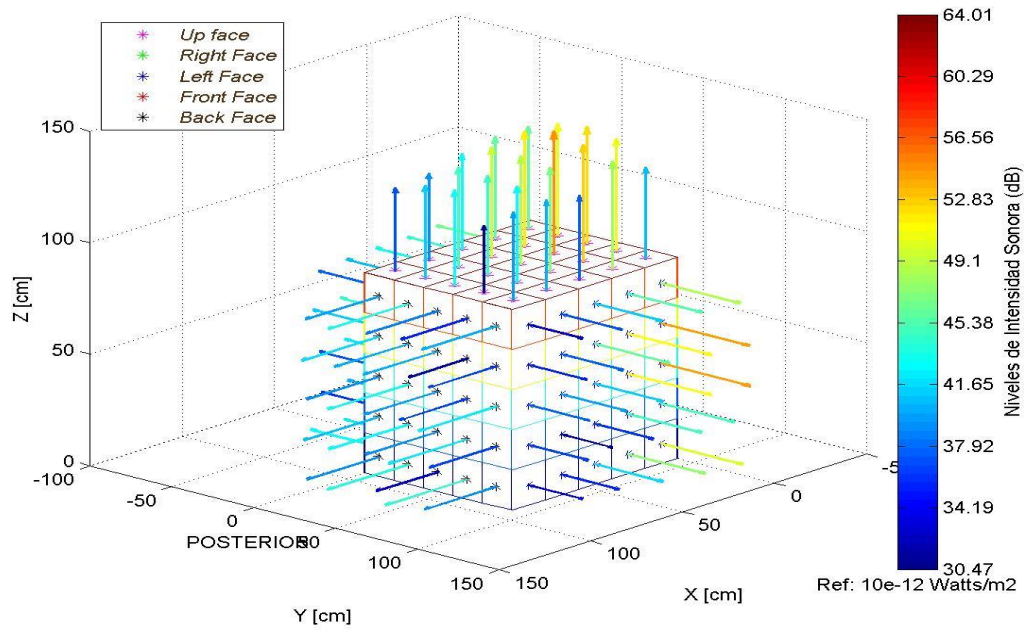


Fig. 103. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1600Hz. Vista trasera. Estudio A.

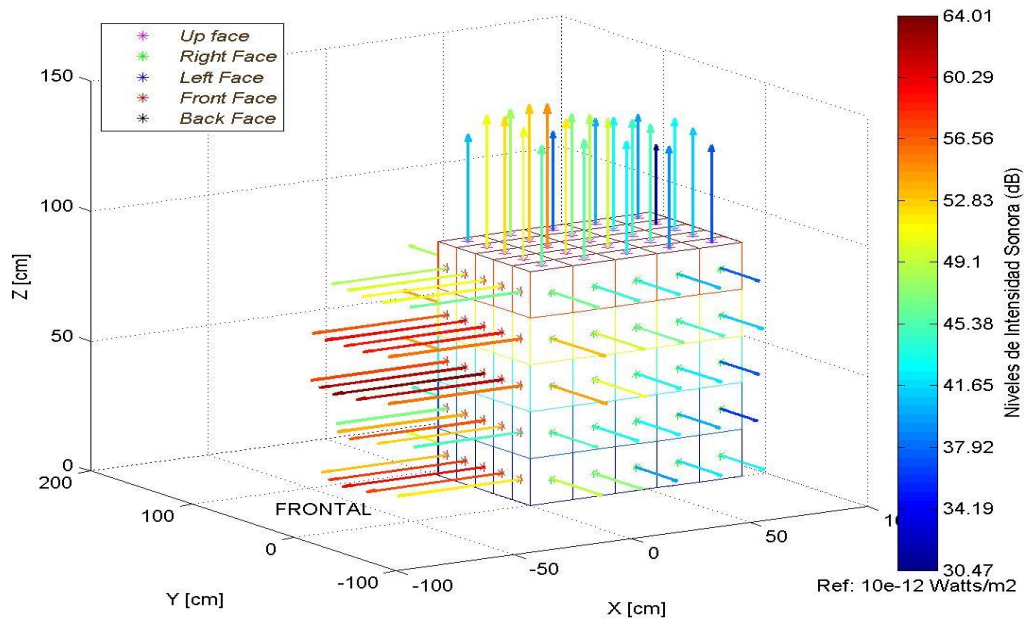
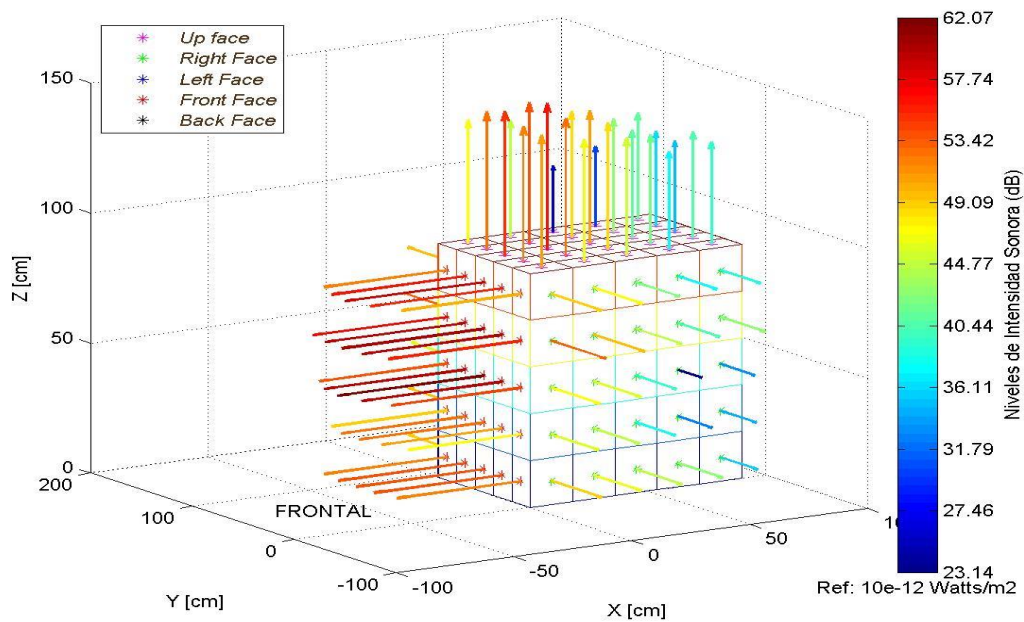
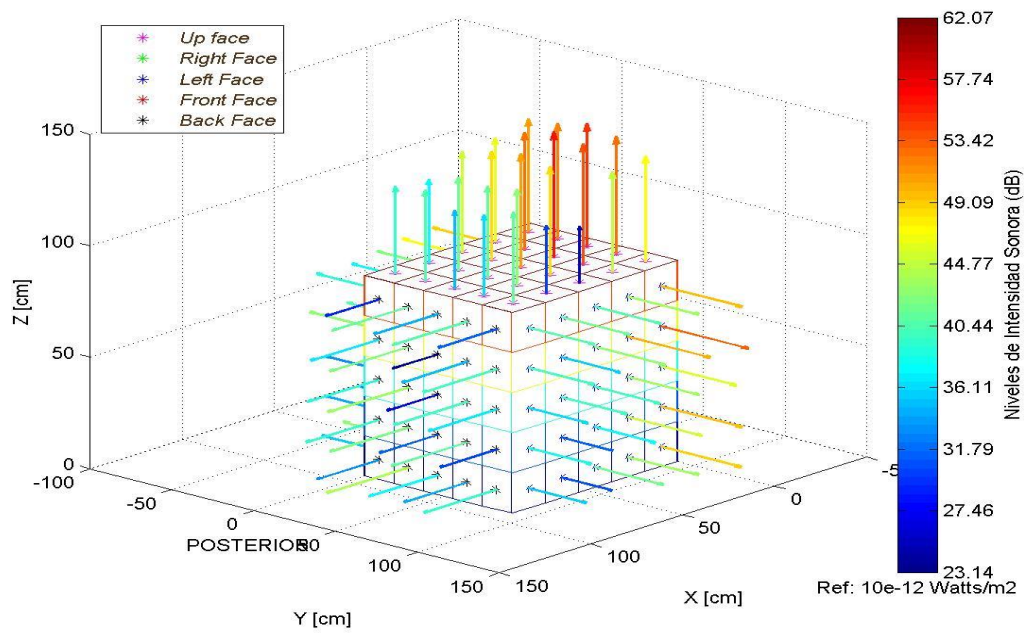


Fig. 104. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1600Hz. Vista frontal. Estudio A.



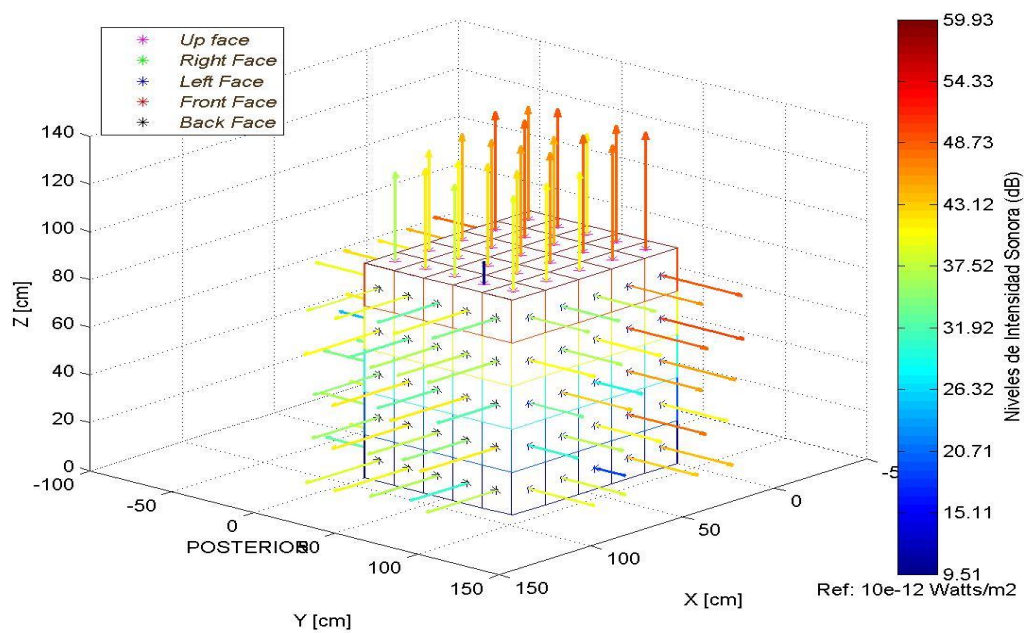


Fig. 107. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista trasera. Estudio A.

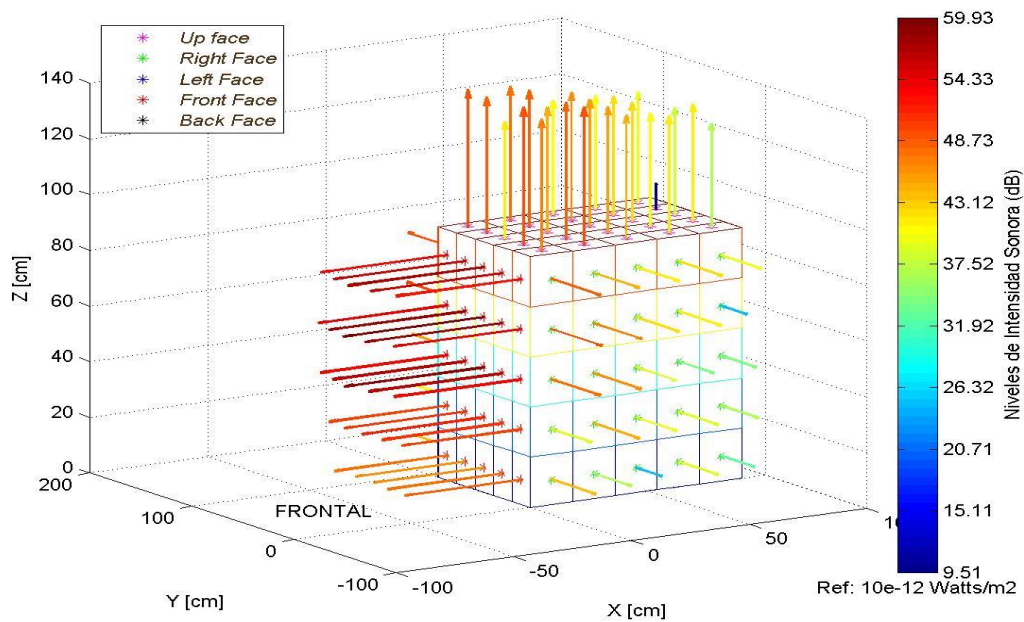


Fig. 108. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista frontal. Estudio A.

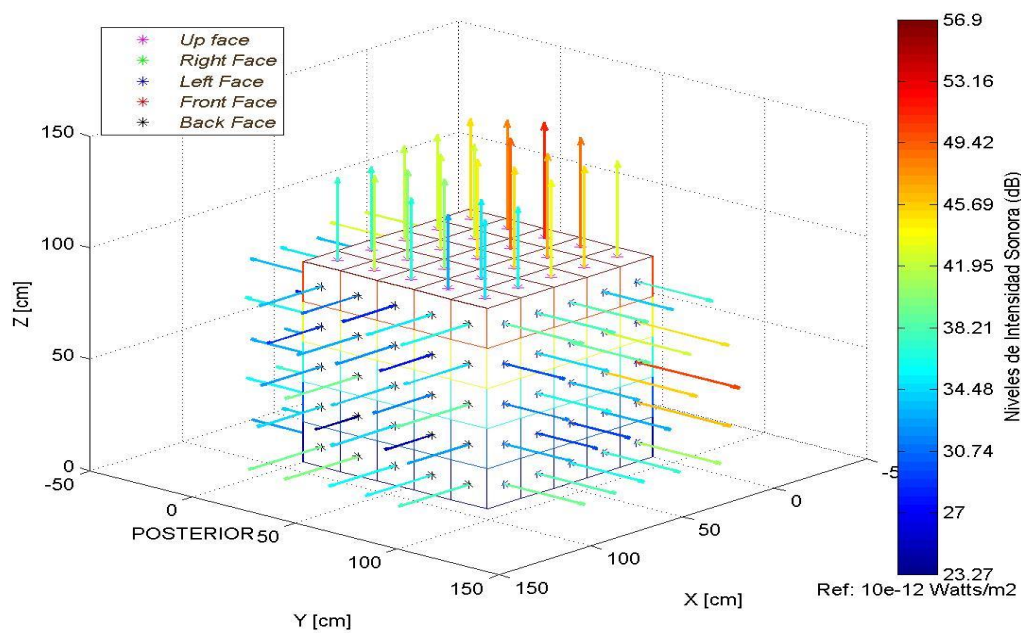


Fig. 109. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 3150Hz. Vista trasera. Estudio A

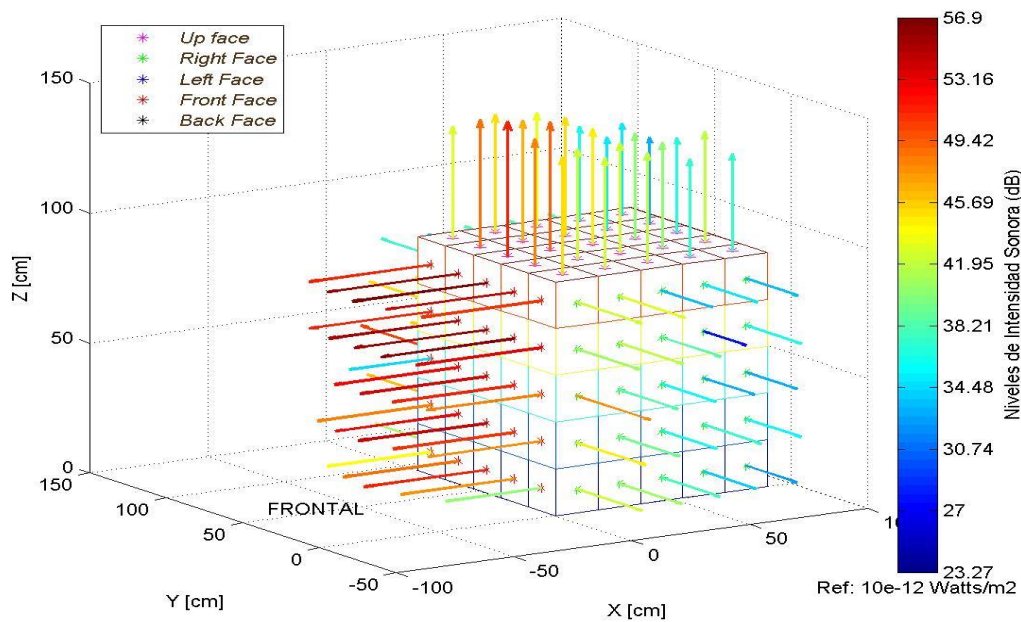


Fig. 110. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 3150Hz. Vista frontal. Estudio A.

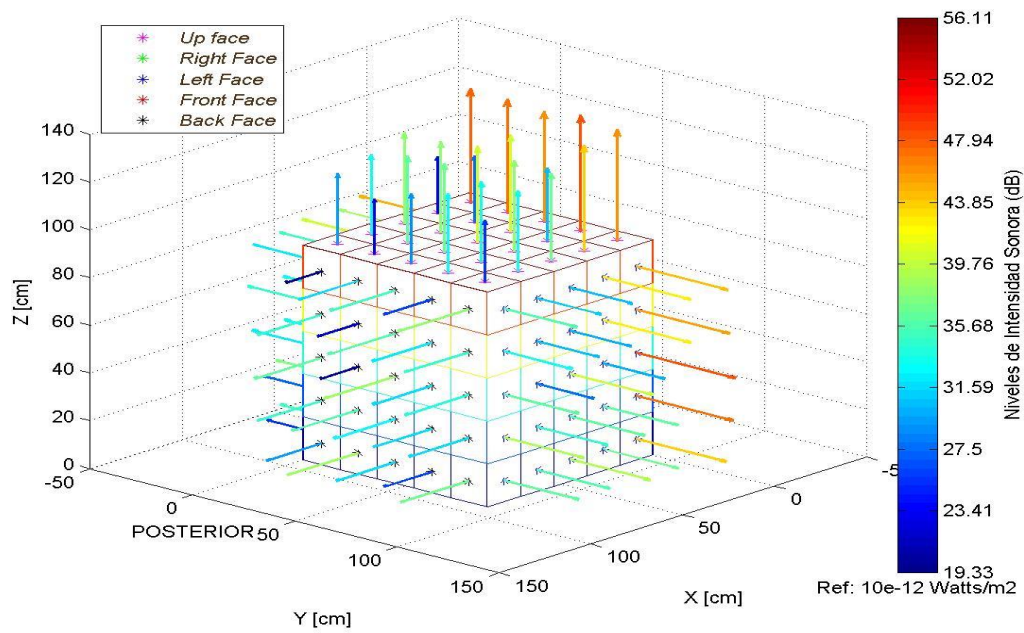


Fig. 111. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 4000Hz. Vista trasera. Estudio A.

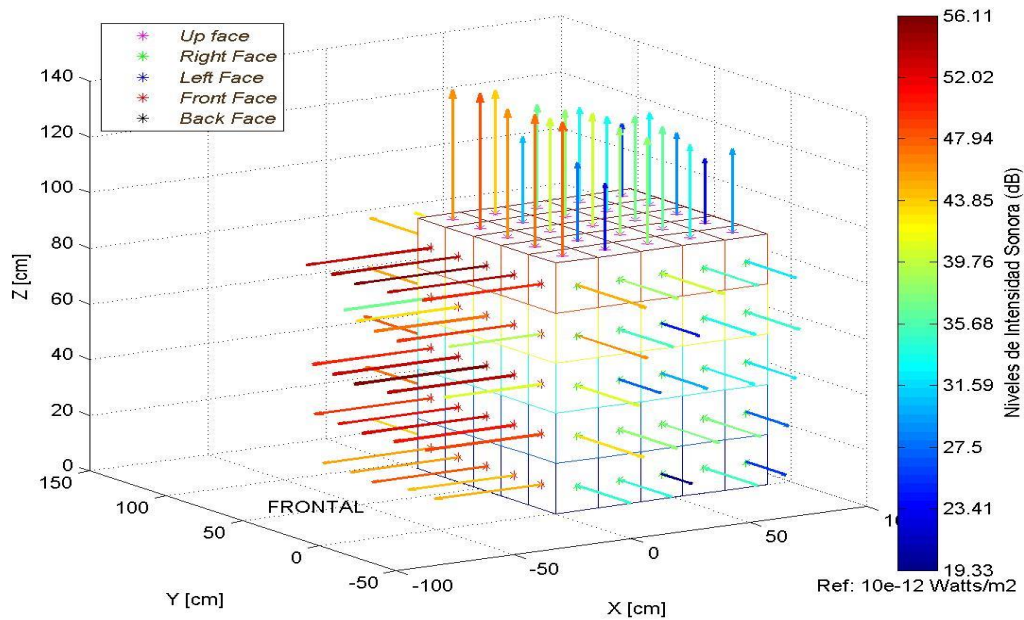


Fig. 112. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 4000Hz. Vista frontal. Estudio A.

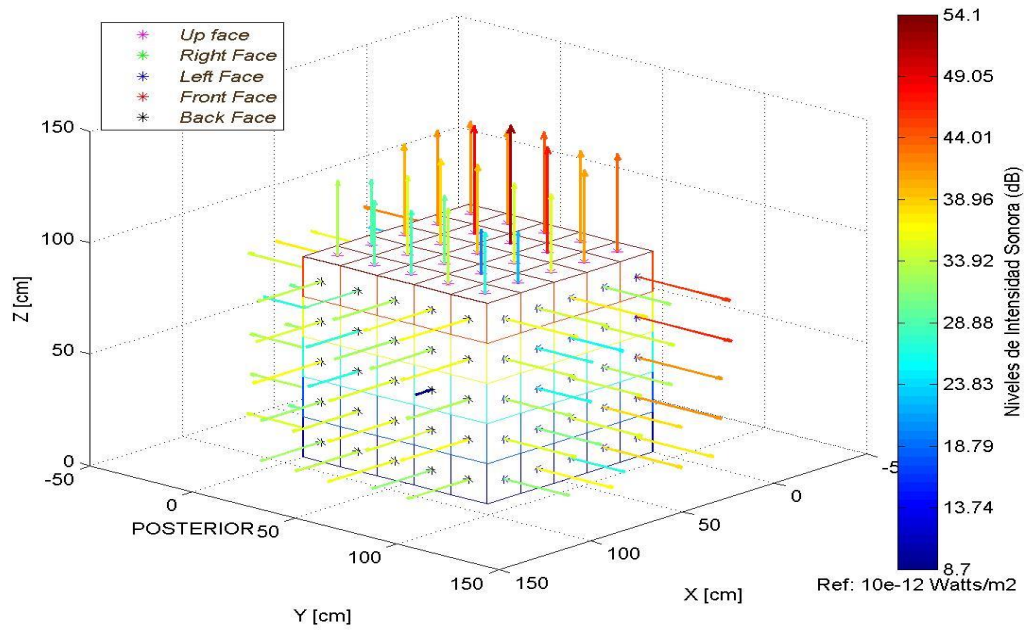


Fig. 113. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 5000Hz. Vista trasera. Estudio A.

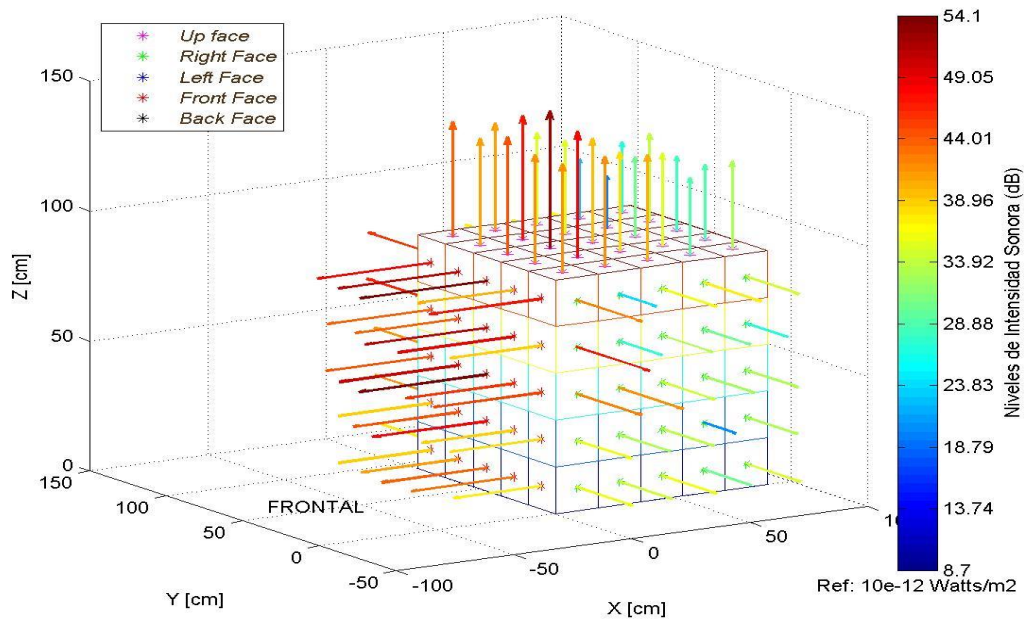


Fig. 114. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 5000Hz. Vista frontal. Estudio A.

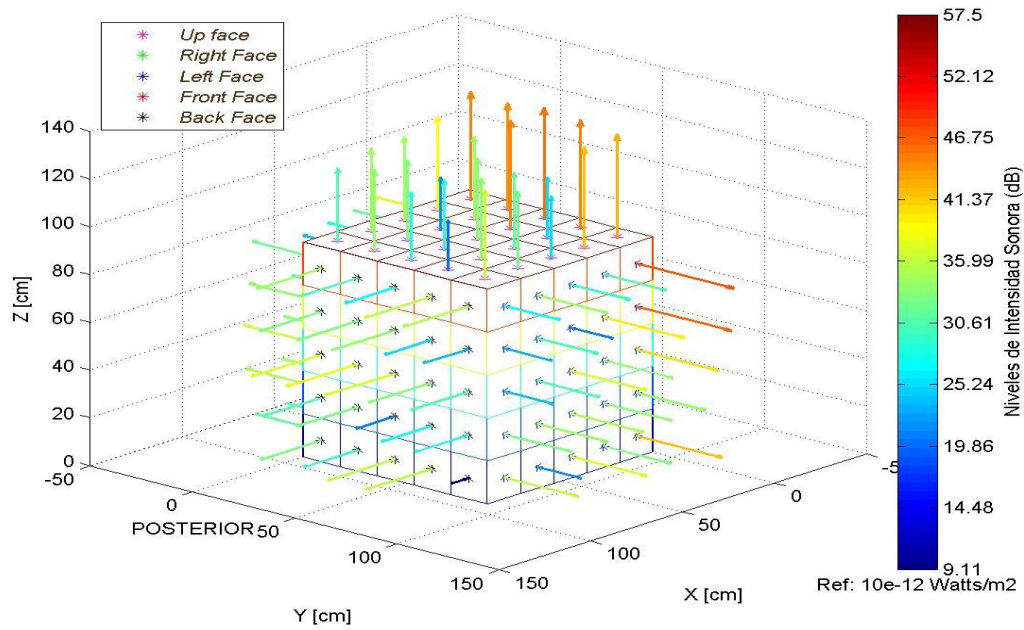


Fig. 115. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 6300Hz. Vista trasera. Estudio A.

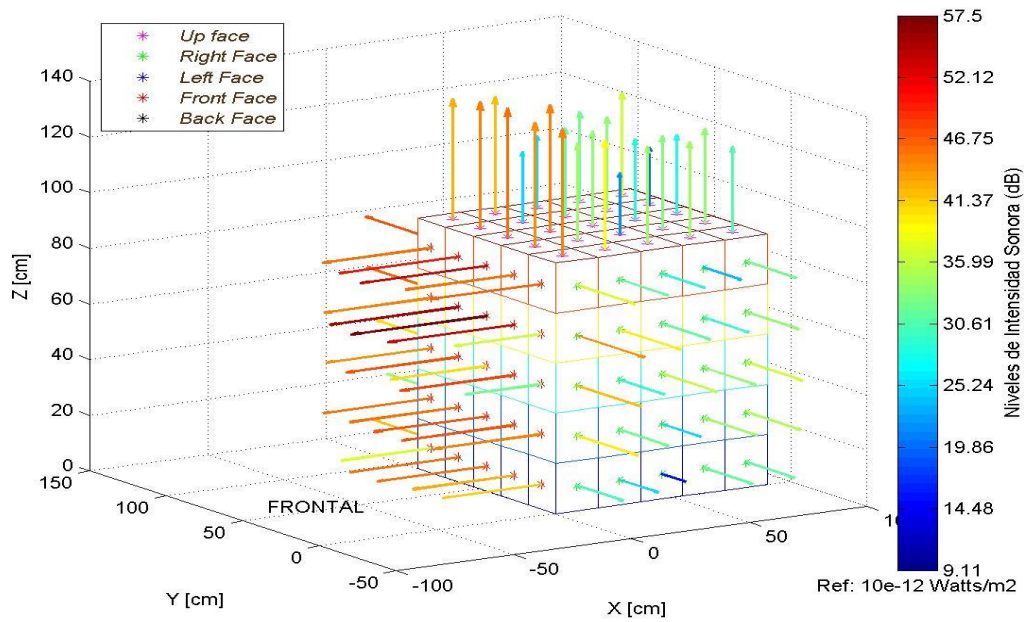


Fig. 116. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 6300Hz. Vista frontal. Estudio A.

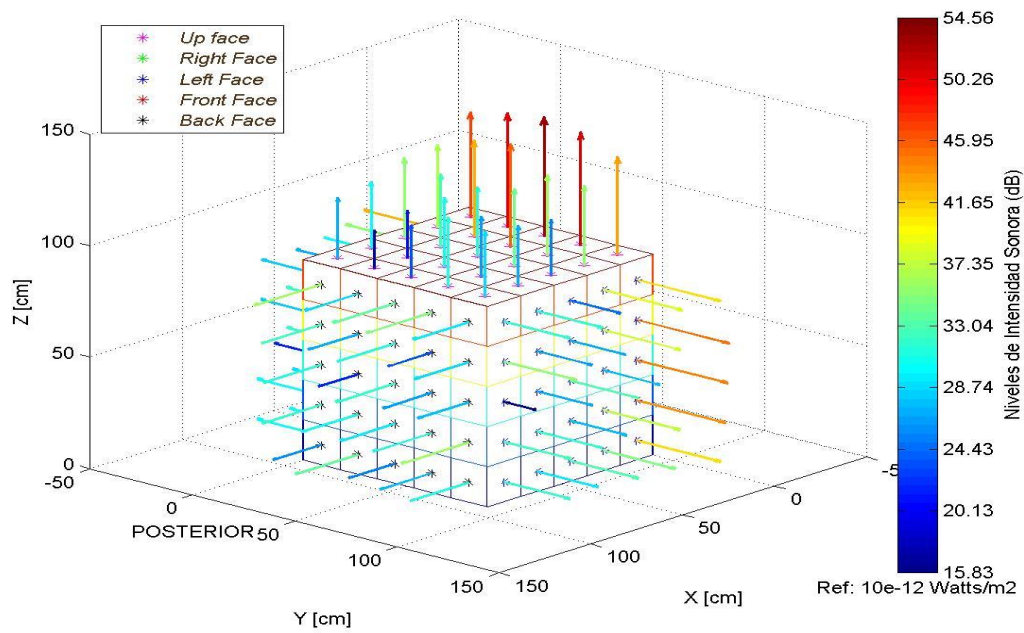


Fig. 117. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 8000Hz. Vista trasera. Estudio A.

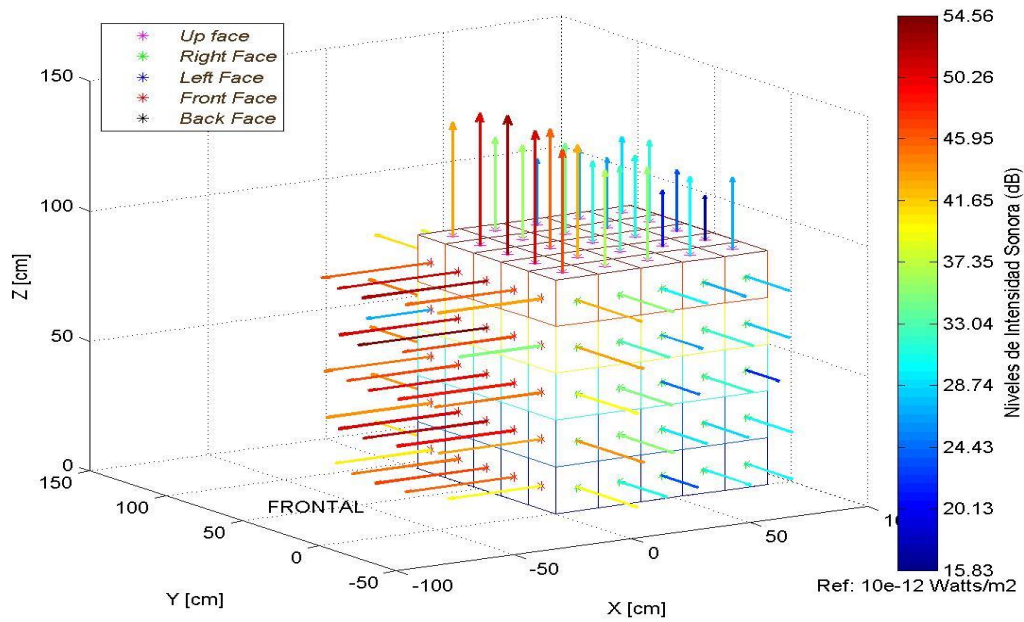


Fig. 118. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 8000Hz. Vista frontal. Estudio A.

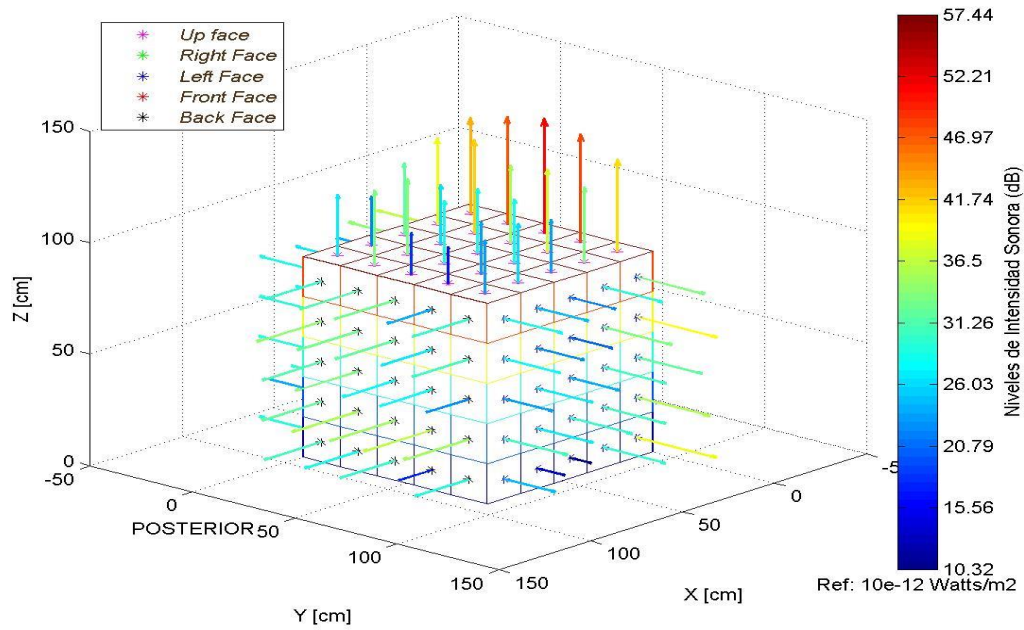


Fig. 119. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista trasera. Estudio A.

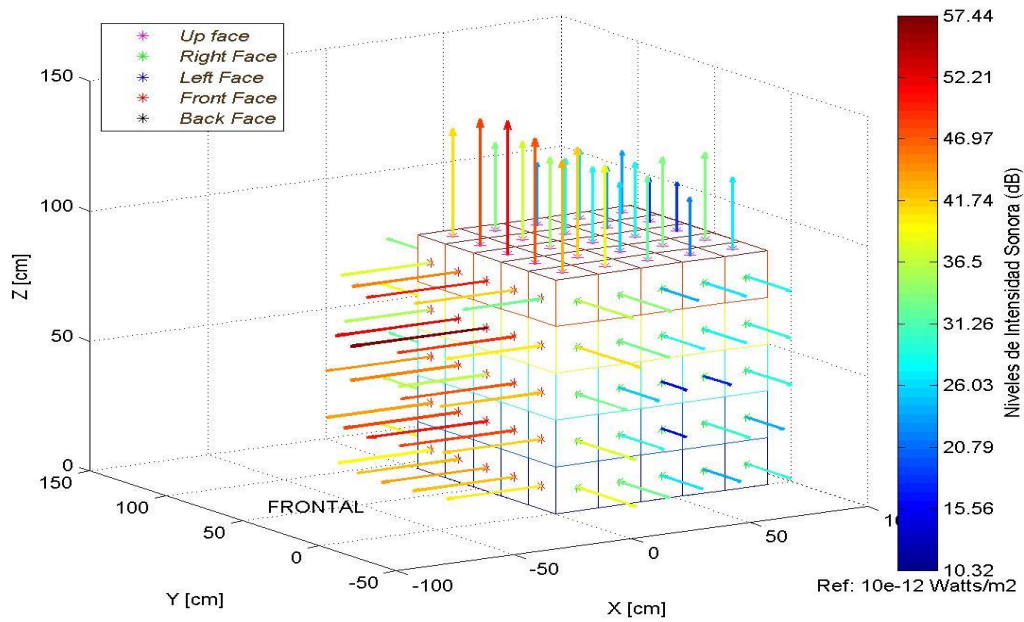


Fig. 120. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista frontal. Estudio A.

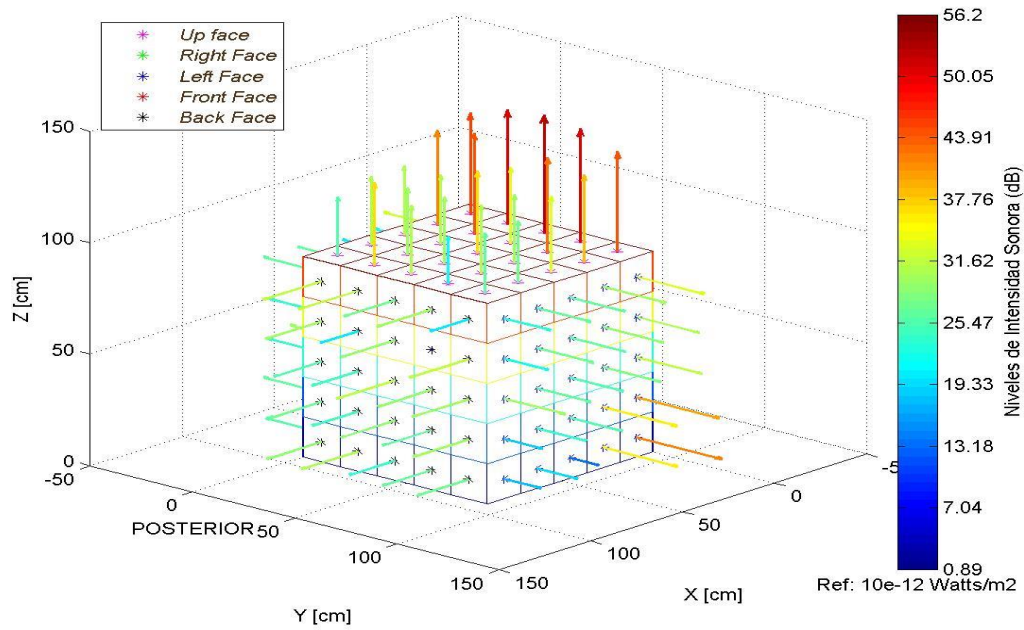


Fig. 121. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 12500Hz. Vista trasera. Estudio A.

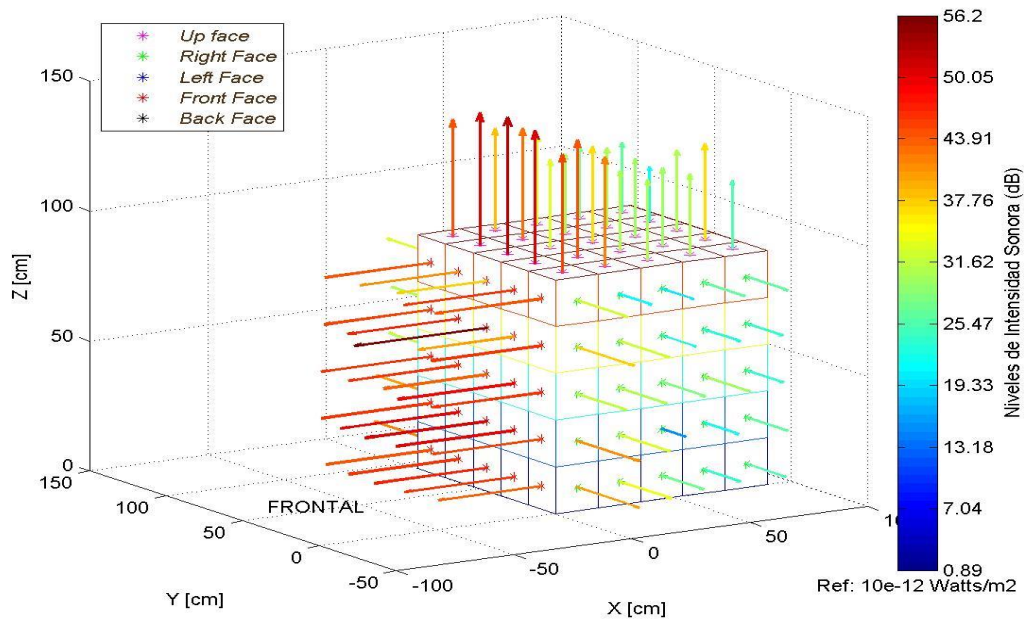


Fig. 122. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 12500Hz. Vista frontal. Estudio A.

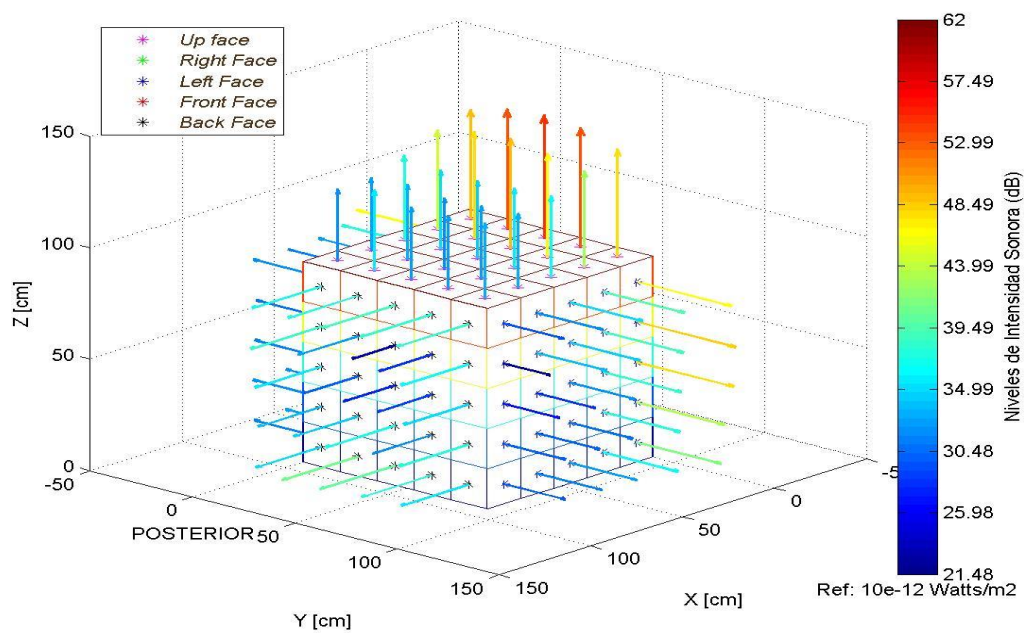


Fig. 123. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz. Vista trasera. Estudio A.

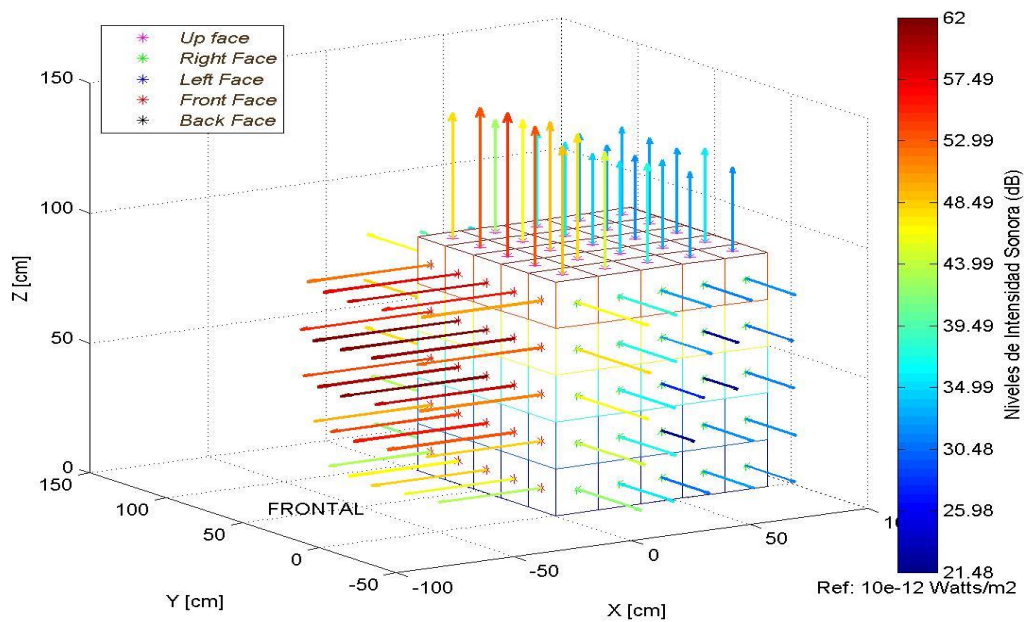


Fig. 124. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz. Vista frontal. Estudio A.

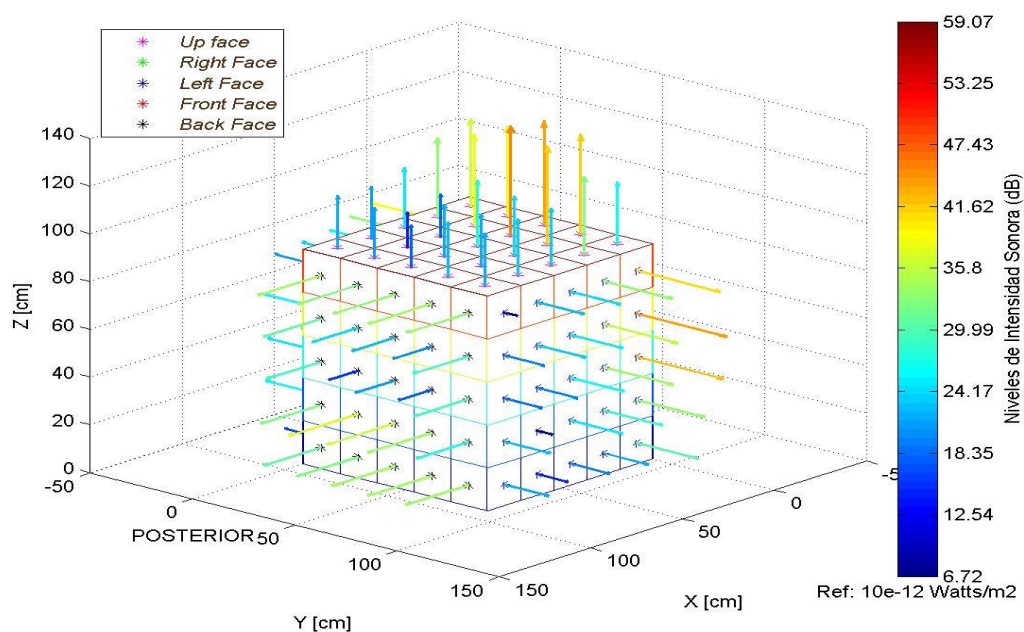


Fig. 125. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 20000Hz. Vista trasera. Estudio A.

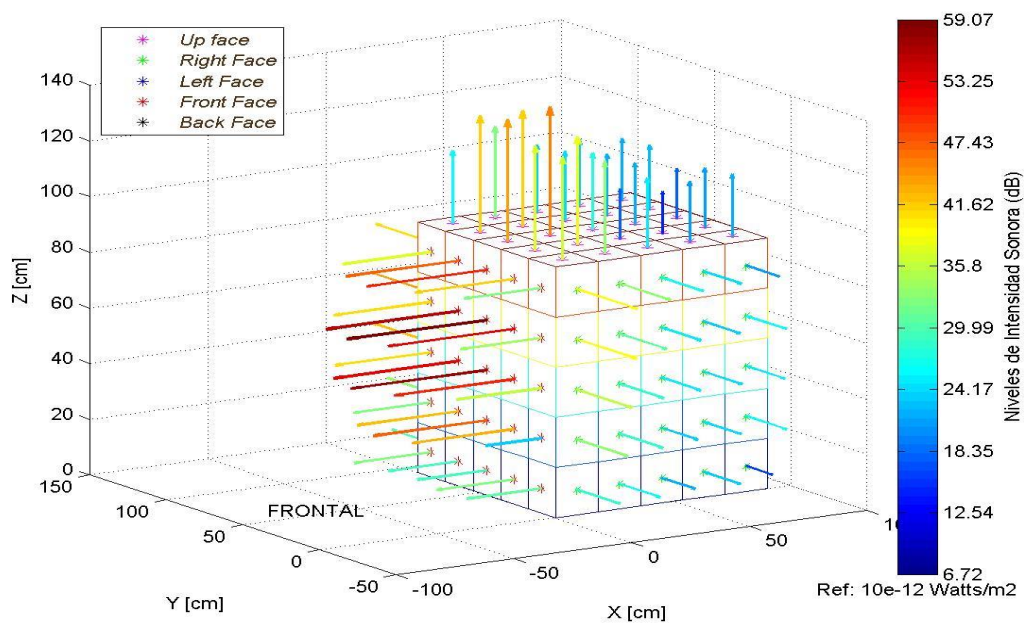


Fig. 126. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 20000Hz. Vista frontal. Estudio A.

F.2. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medida. Salón 502E.

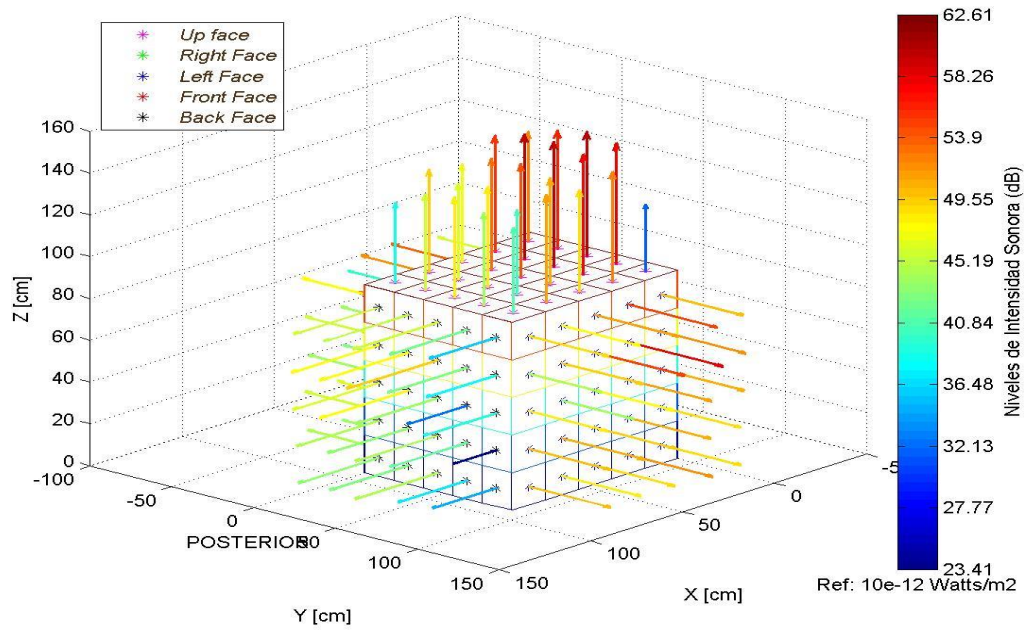


Fig. 127. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 25Hz. Vista trasera. Salón 502E.

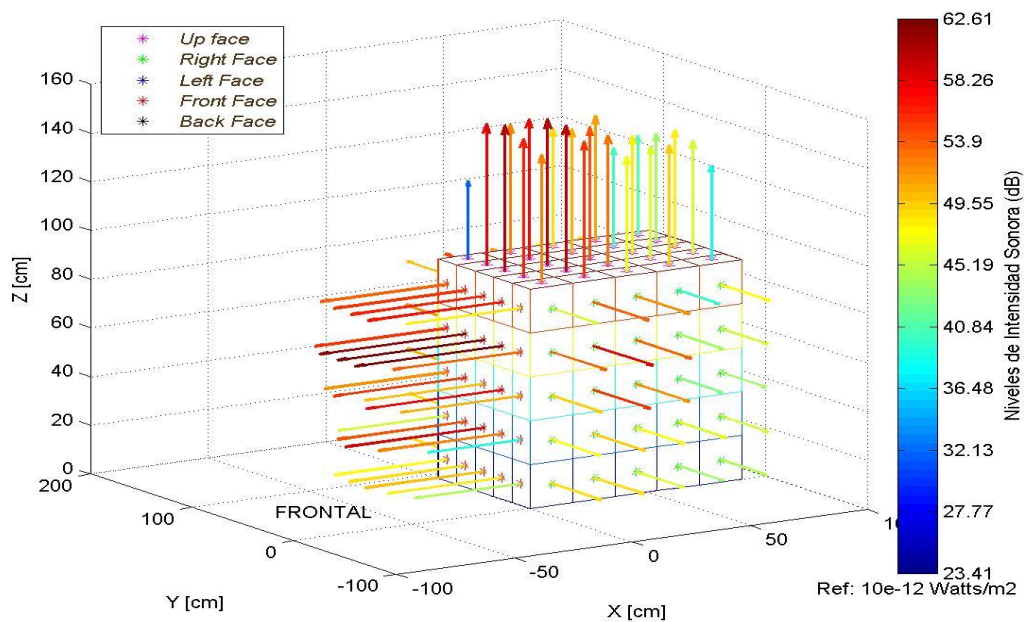


Fig. 128. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 25Hz. Vista frontal. Salón 502E.

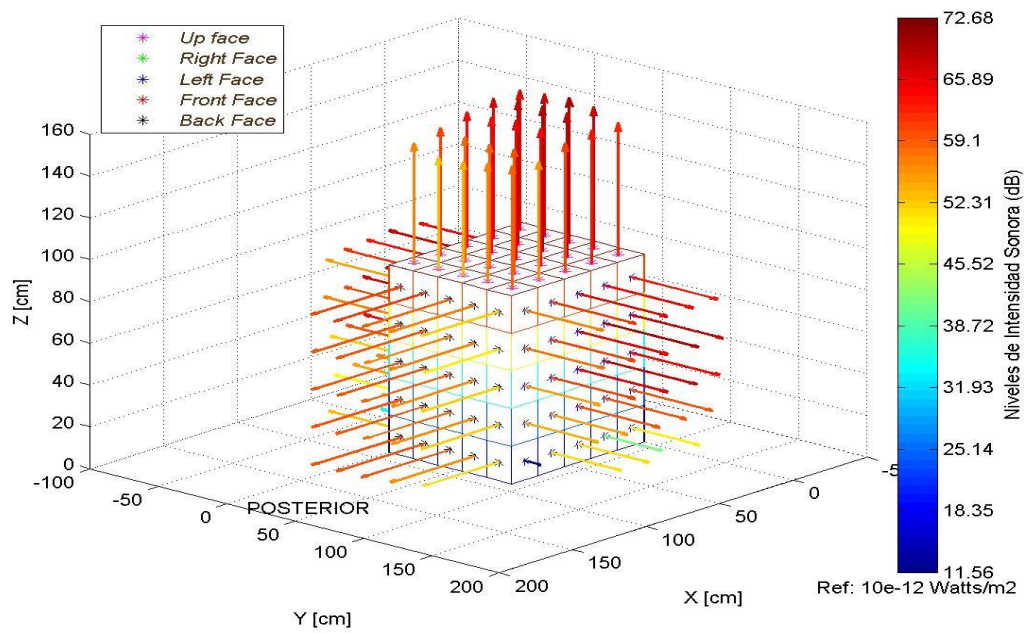


Fig. 129. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 31,5Hz. Vista trasera. Salón 502E.

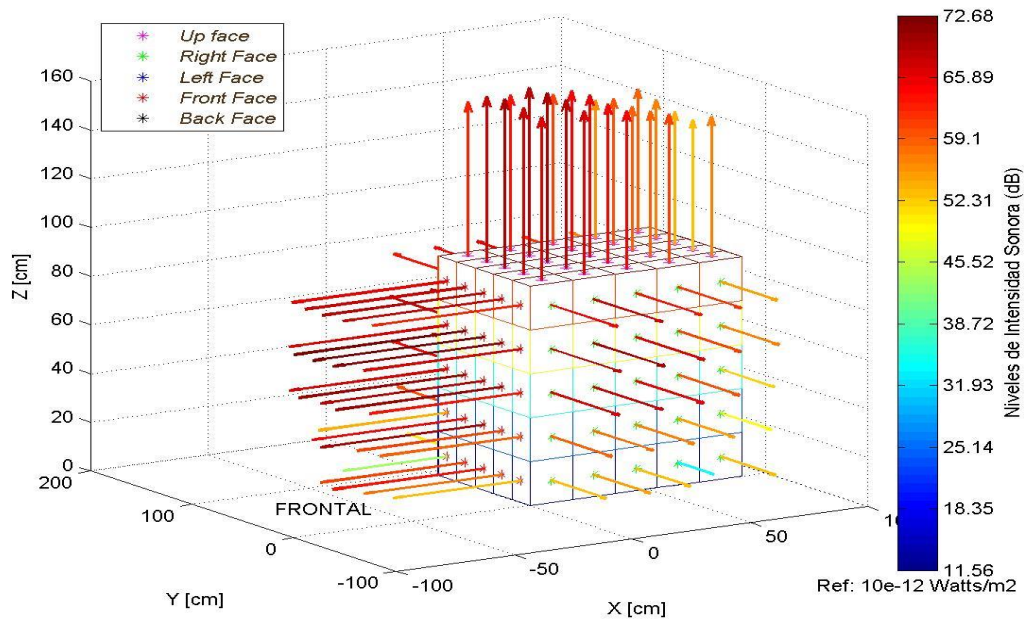


Fig. 130. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 31,5Hz. Vista frontal. Salón 502E.

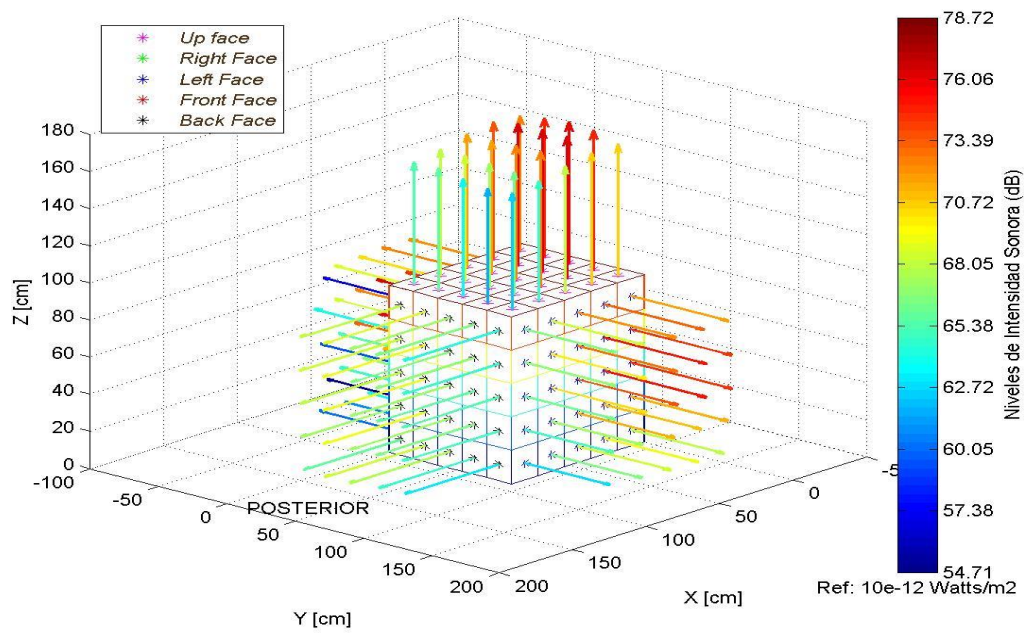


Fig. 131. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 40Hz. Vista trasera. Salón 502E.

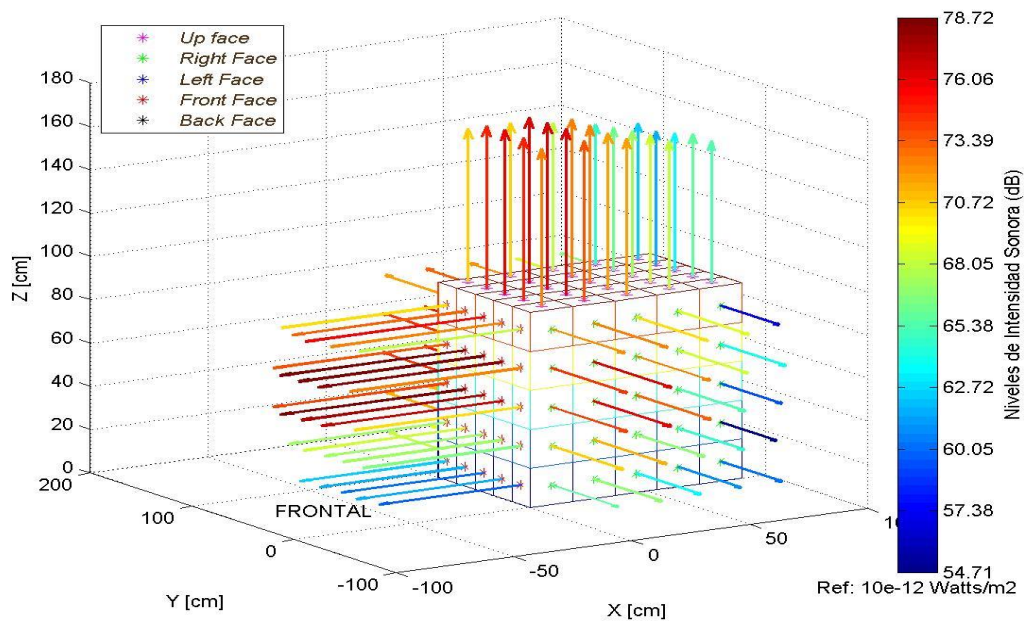


Fig. 132. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 40Hz. Vista frontal. Salón 502E.

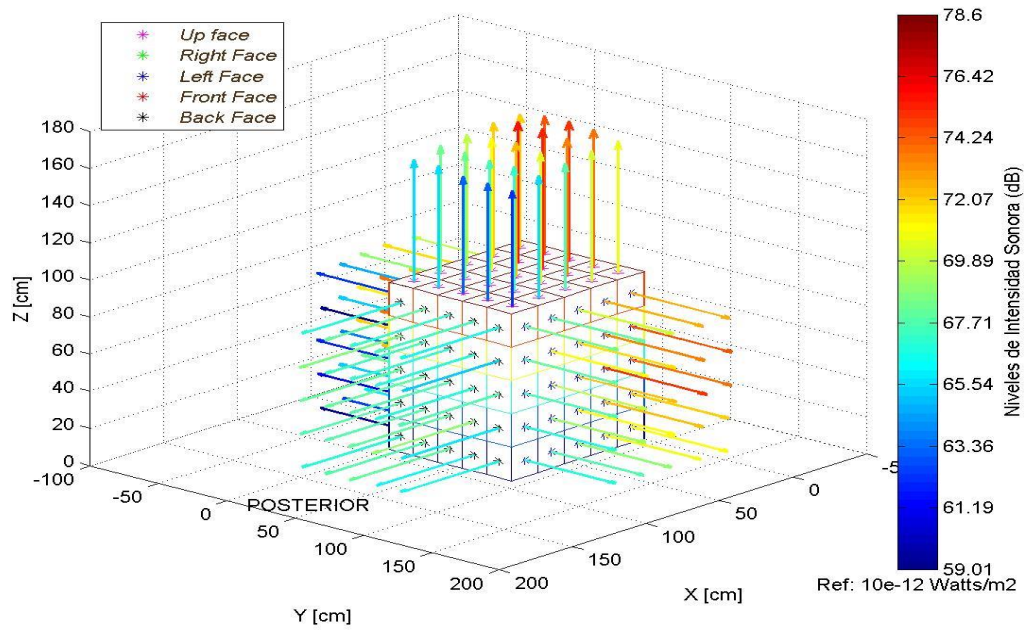


Fig. 133. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 40Hz. Vista trasera. Salón 502E.

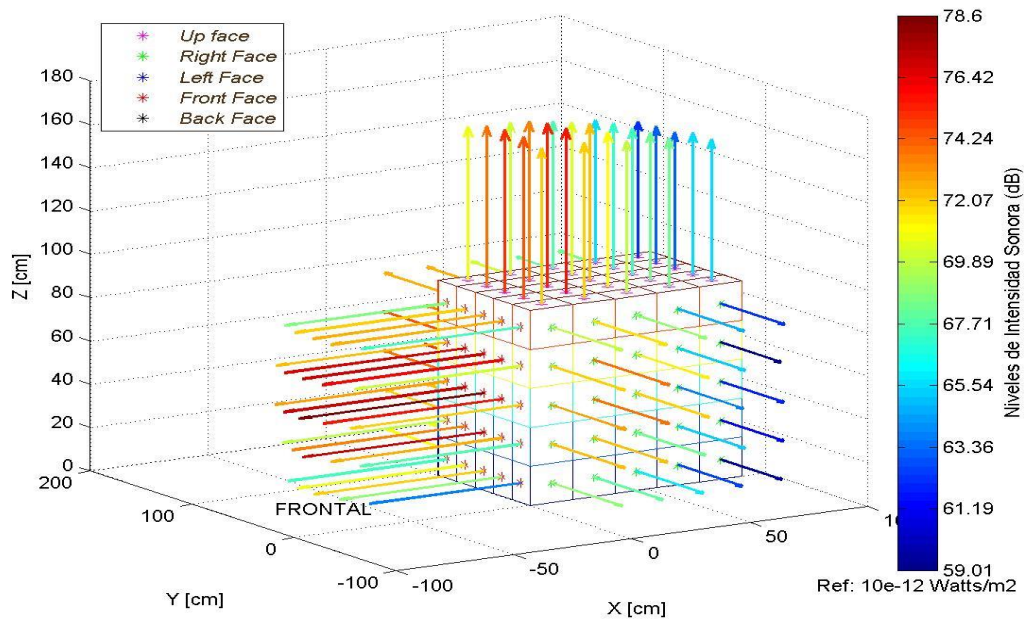


Fig. 134. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 50Hz. Vista frontal. Salón 502E.

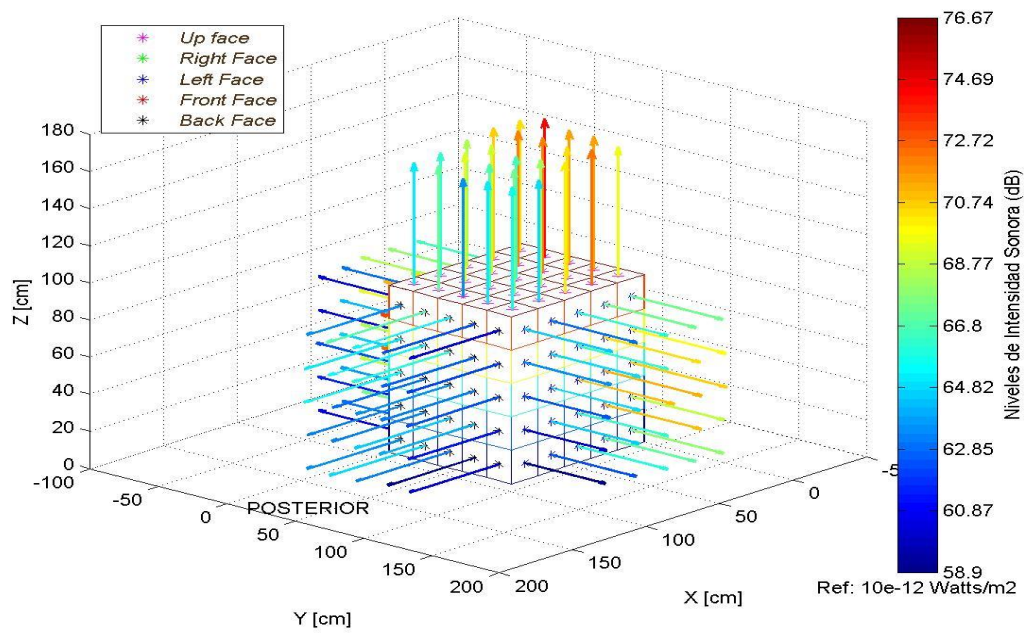


Fig. 135. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 63Hz. Vista trasera. Salón 502E.

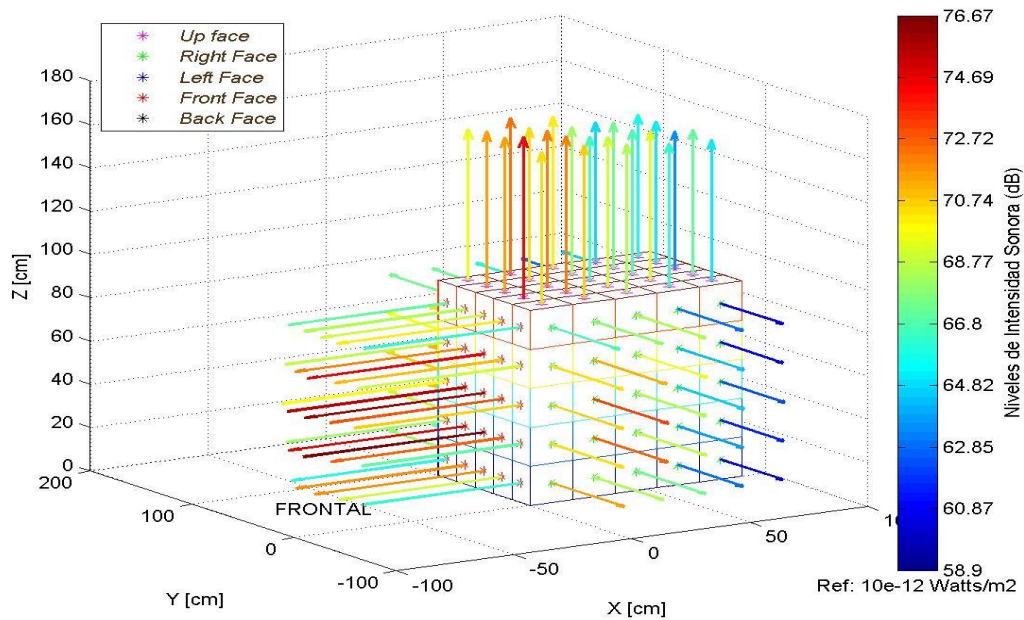


Fig. 136. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 63Hz. Vista frontal. Salón 502E.

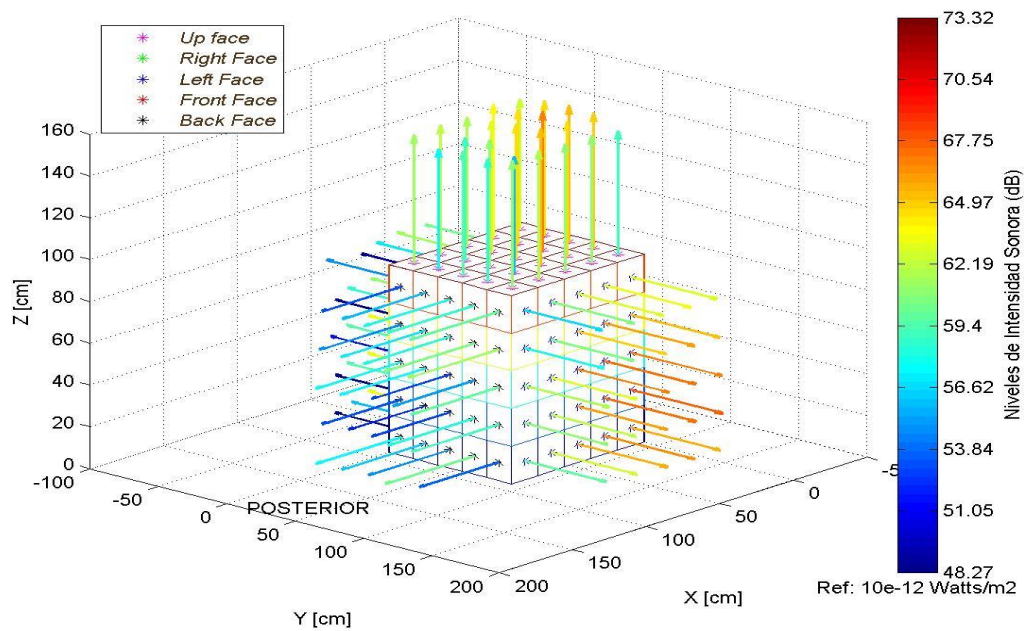


Fig. 137. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 80Hz. Vista trasera. Salón 502E.

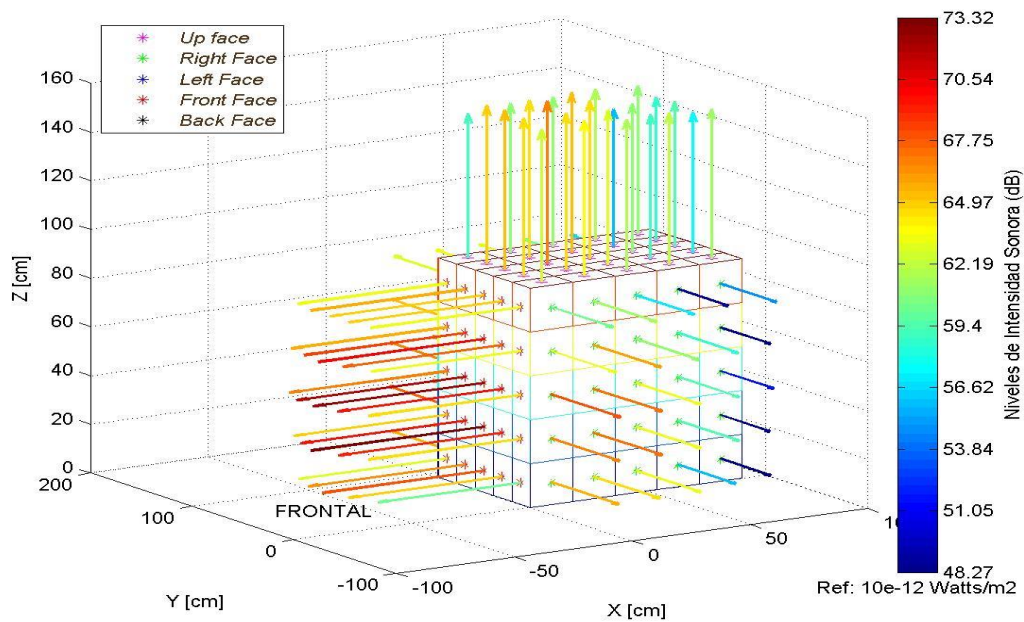


Fig. 138. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 80Hz. Vista frontal. Salón 502E.

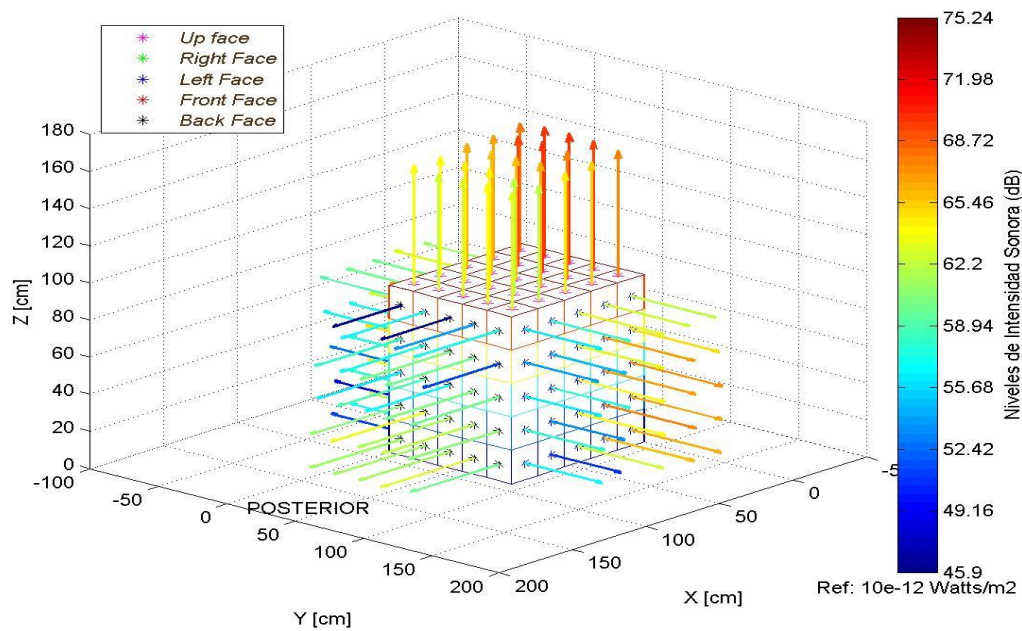


Fig. 139. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie. Frecuencia 100Hz. Vista trasera. Salón 502E.

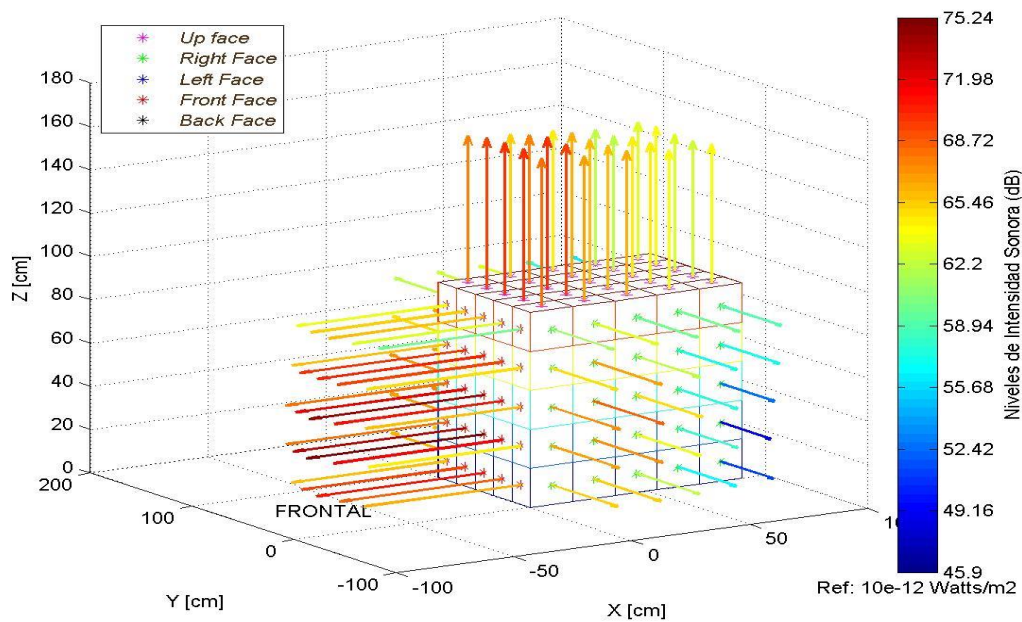


Fig. 140. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie. Frecuencia 100Hz. Vista frontal. Salón 502E

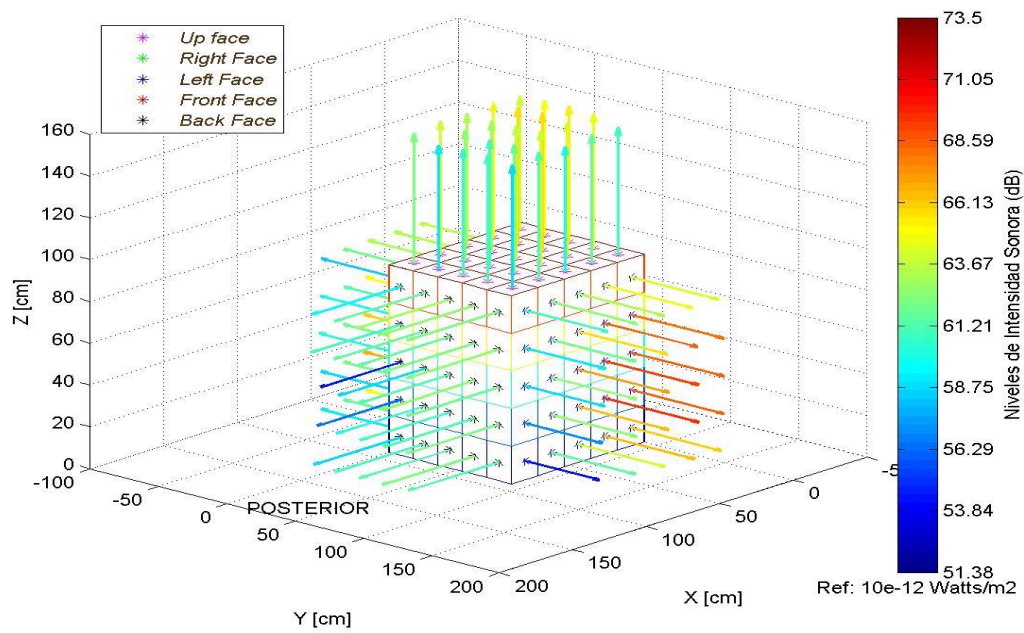


Fig. 141. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 125Hz. Vista trasera. Salón 502E.

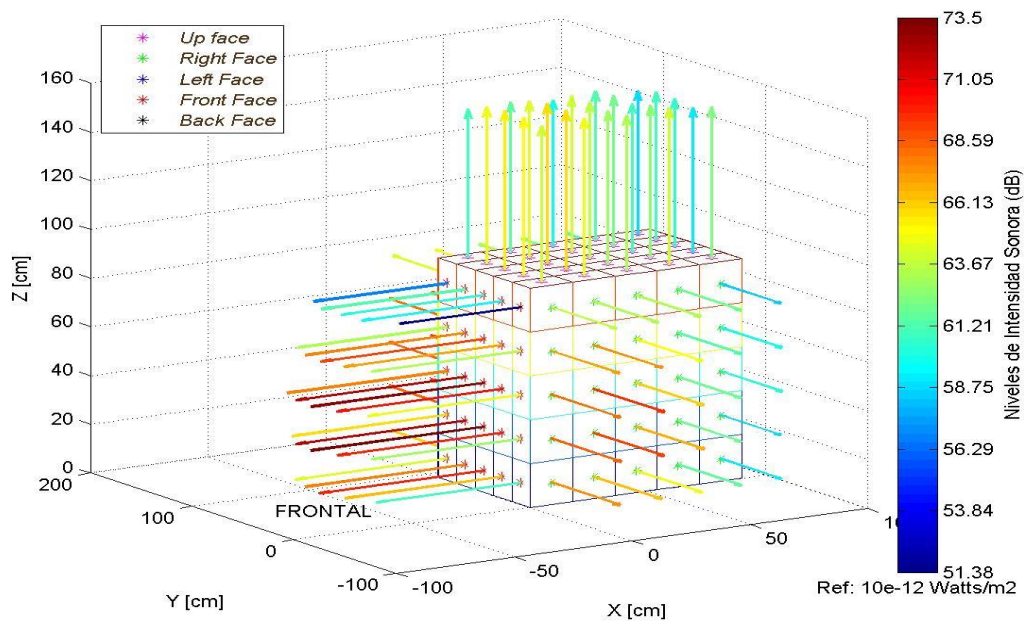


Fig. 142. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 125Hz. Vista frontal. Salón 502E.

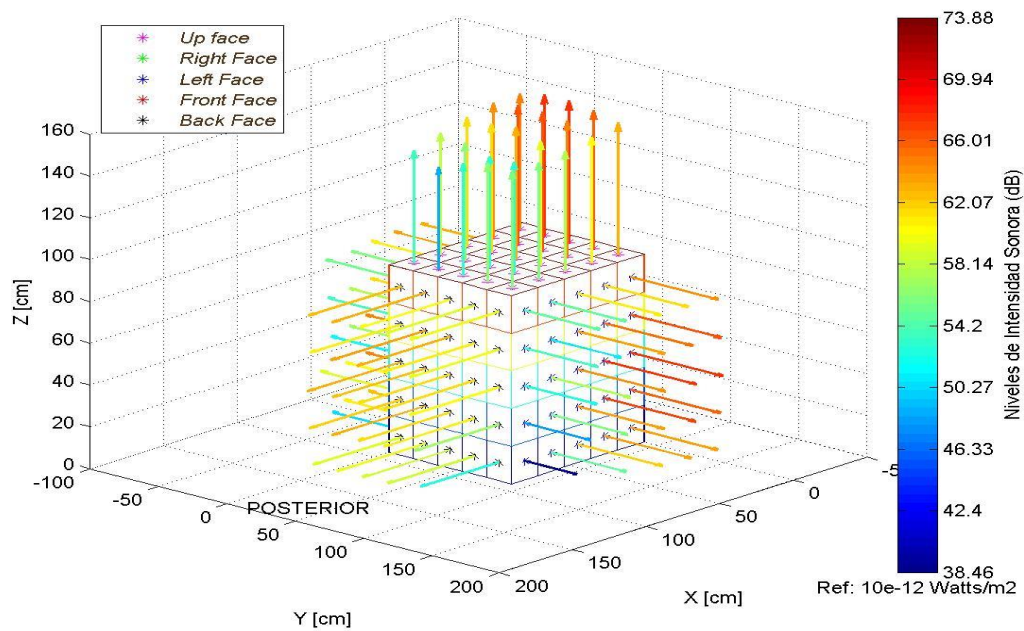


Fig. 143. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 160Hz. Vista trasera. Salón 502E.

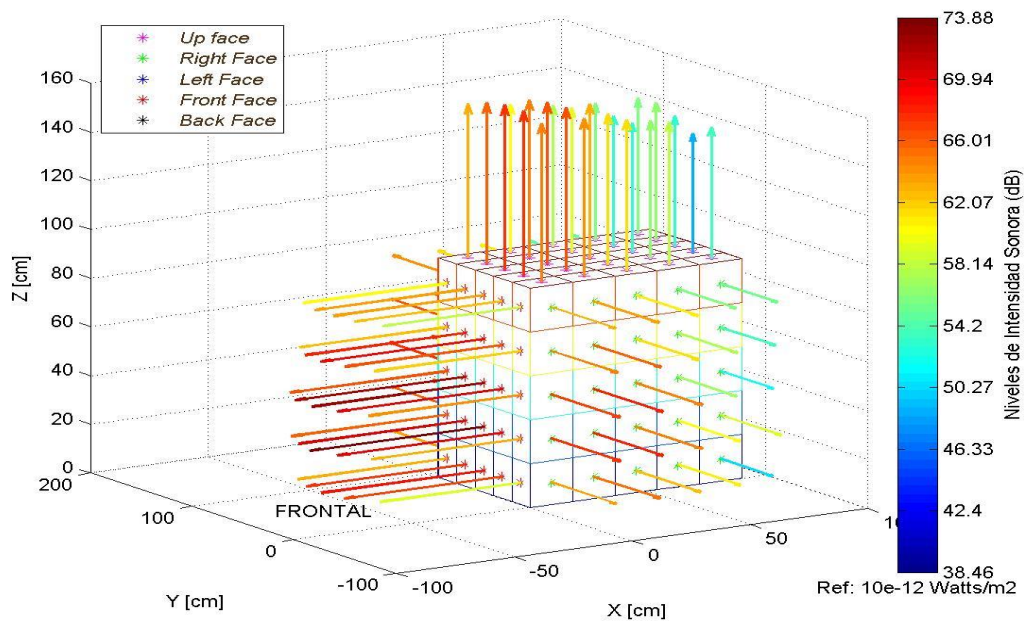


Fig. 144. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 160Hz. Vista frontal. Salón 502E.

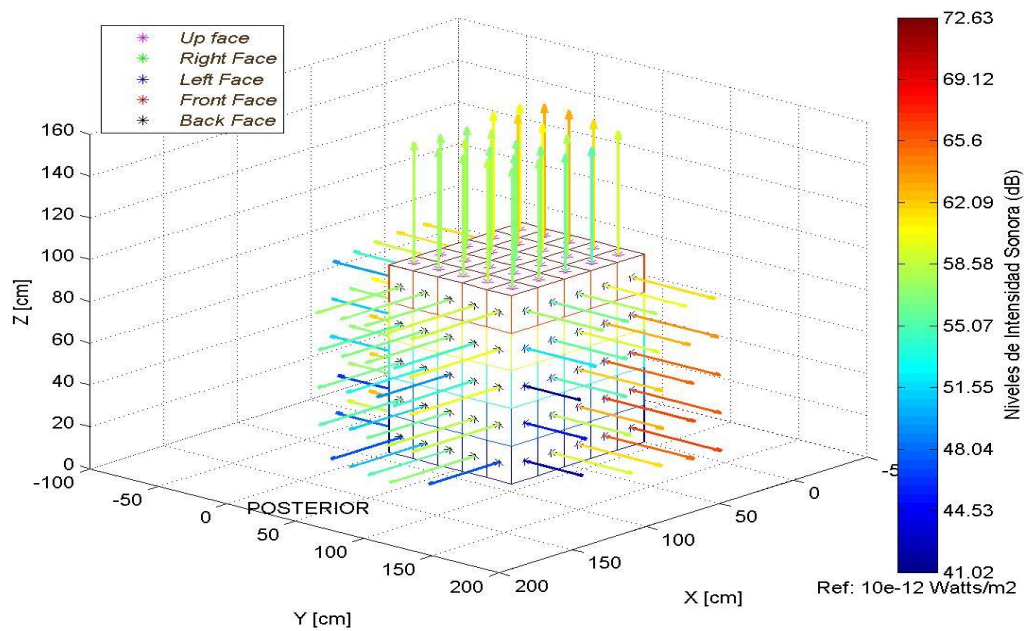


Fig. 145. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 200Hz. Vista trasera. Salón 502E.

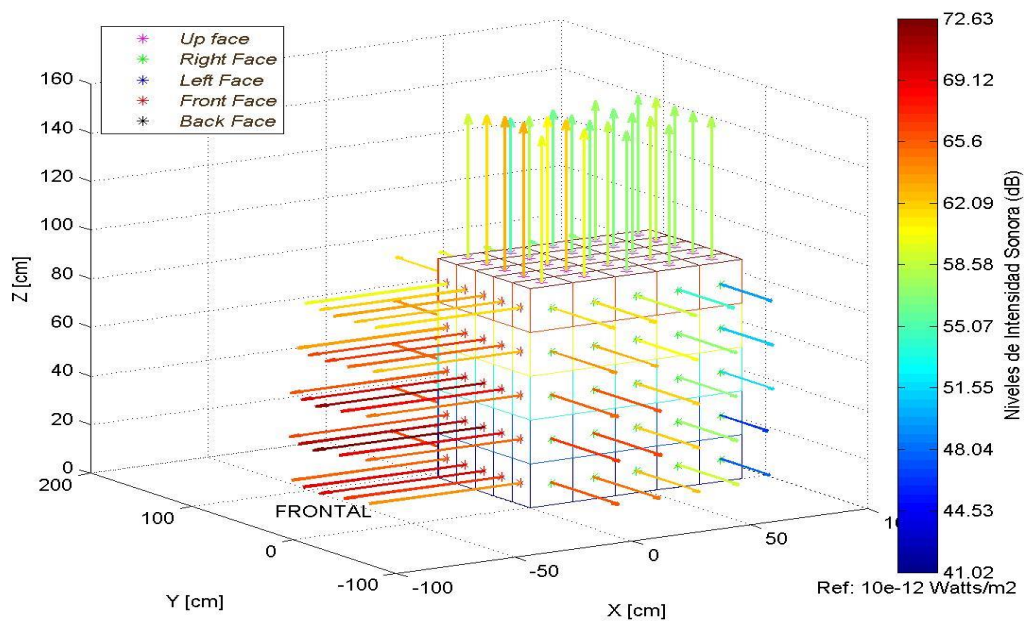


Fig. 146. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 200Hz. Vista frontal. Salón 502E.

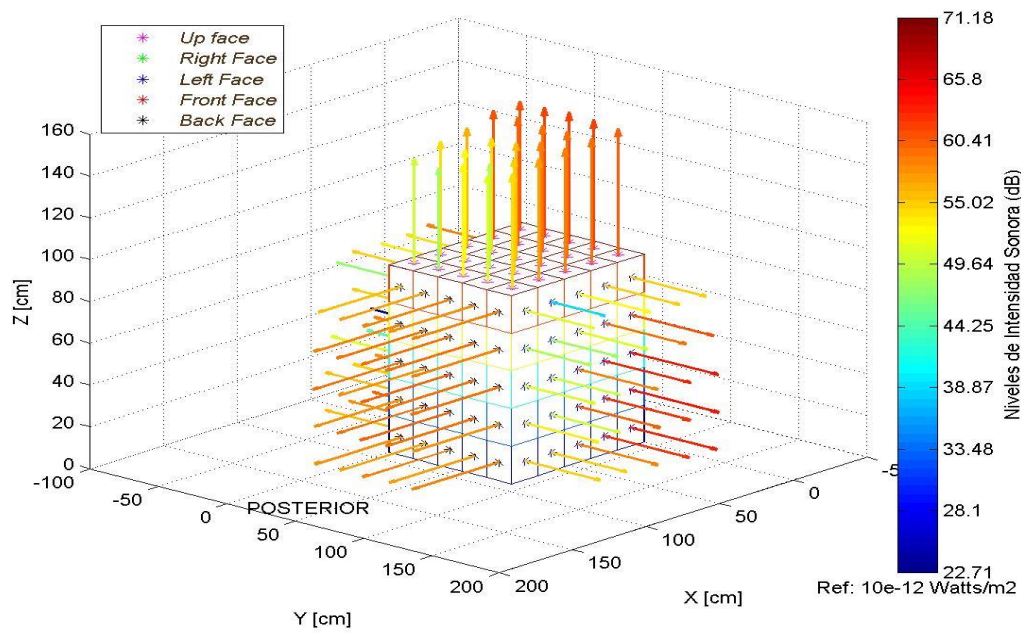


Fig. 147. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 250Hz. Vista trasera. Salón 502E.

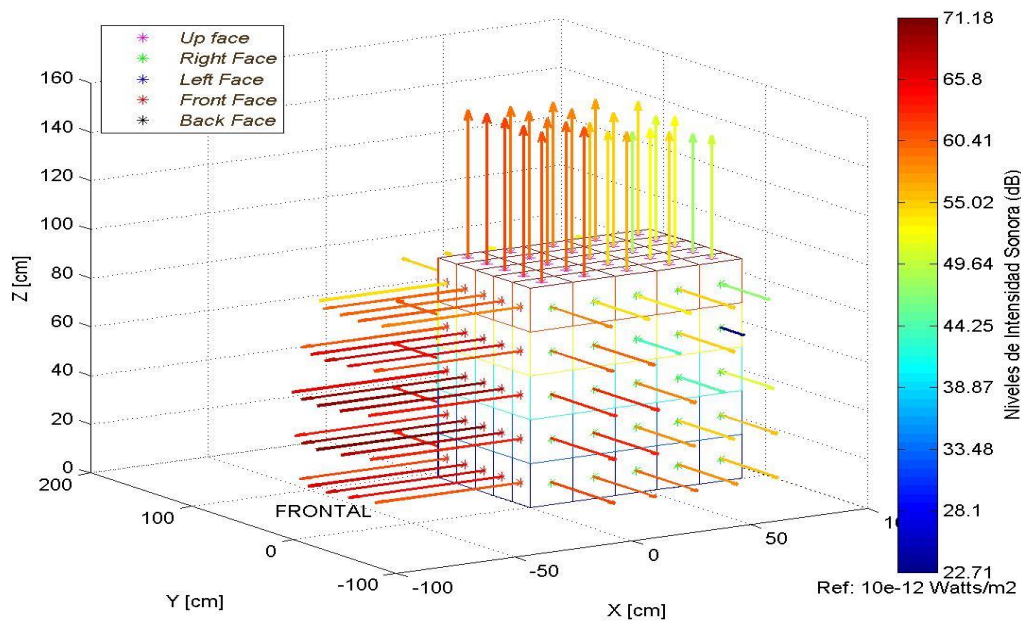


Fig. 148. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 250Hz. Vista frontal. Salón 502E.

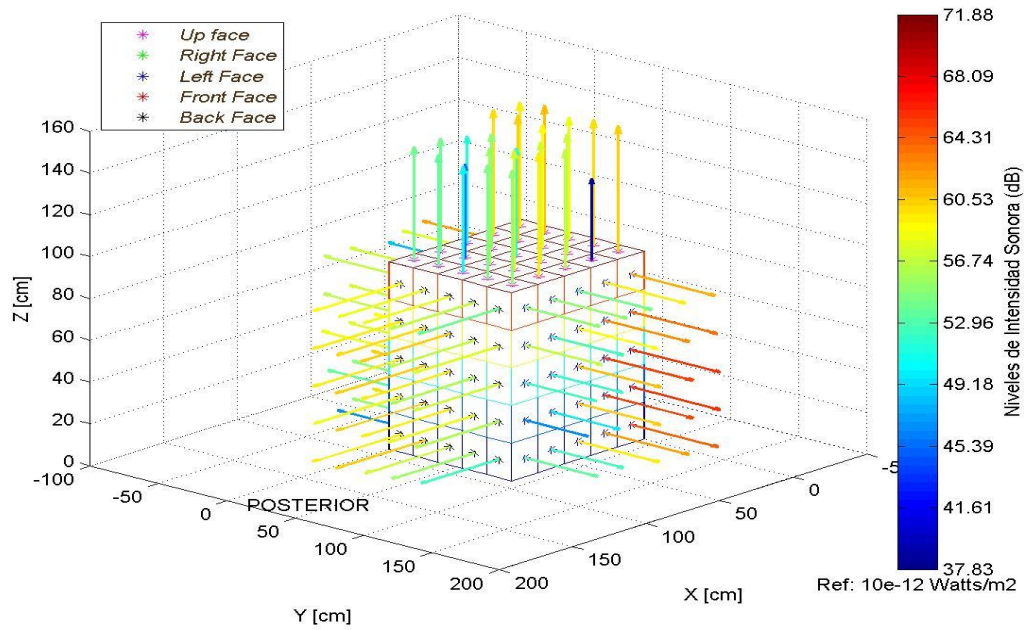


Fig. 149. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 315Hz. Vista trasera. Salón 502E.

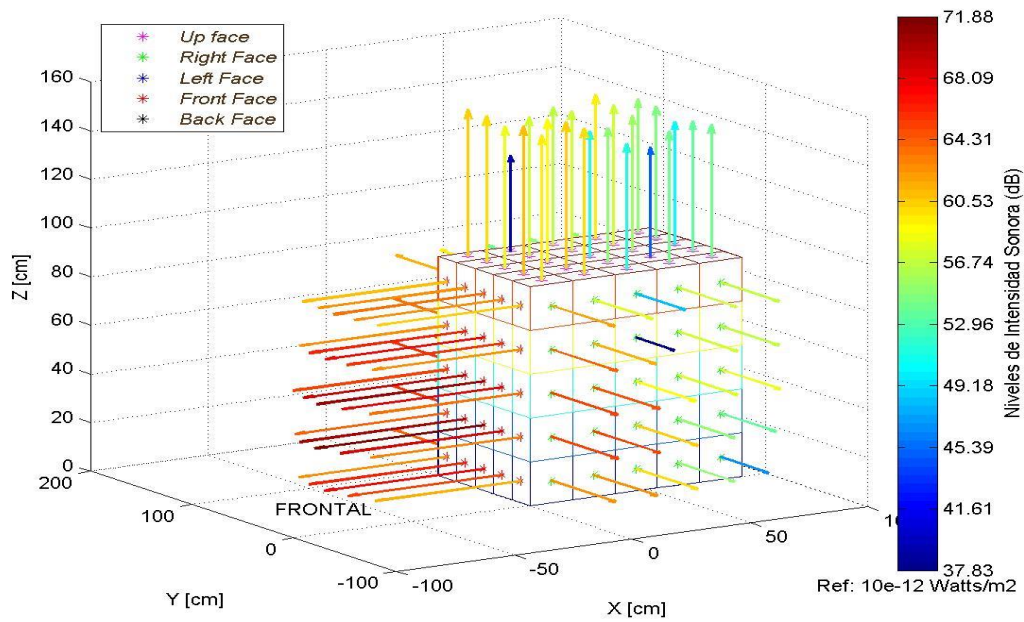


Fig. 150. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 315Hz. Vista frontal. Salón 502E.

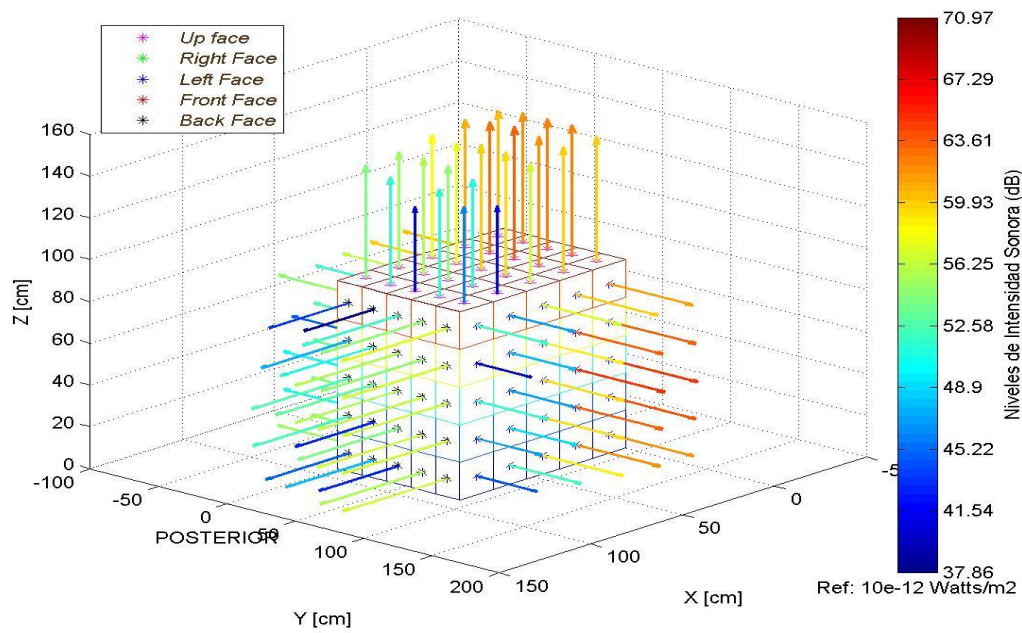


Fig. 151. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 400Hz. Vista trasera. Salón 502E.

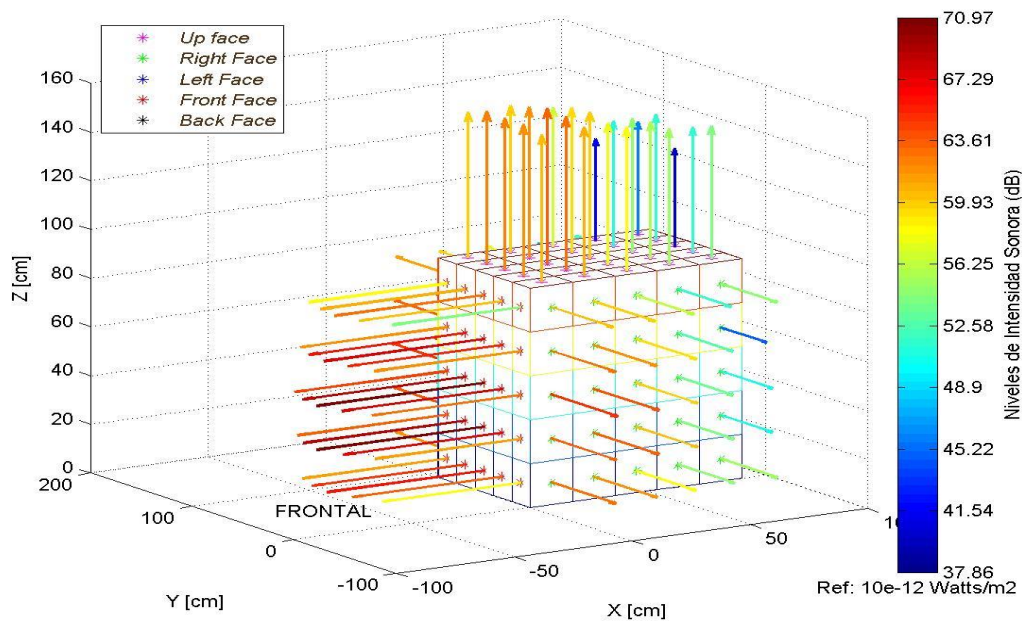


Fig. 152. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 400Hz. Vista frontal. Salón 502E.

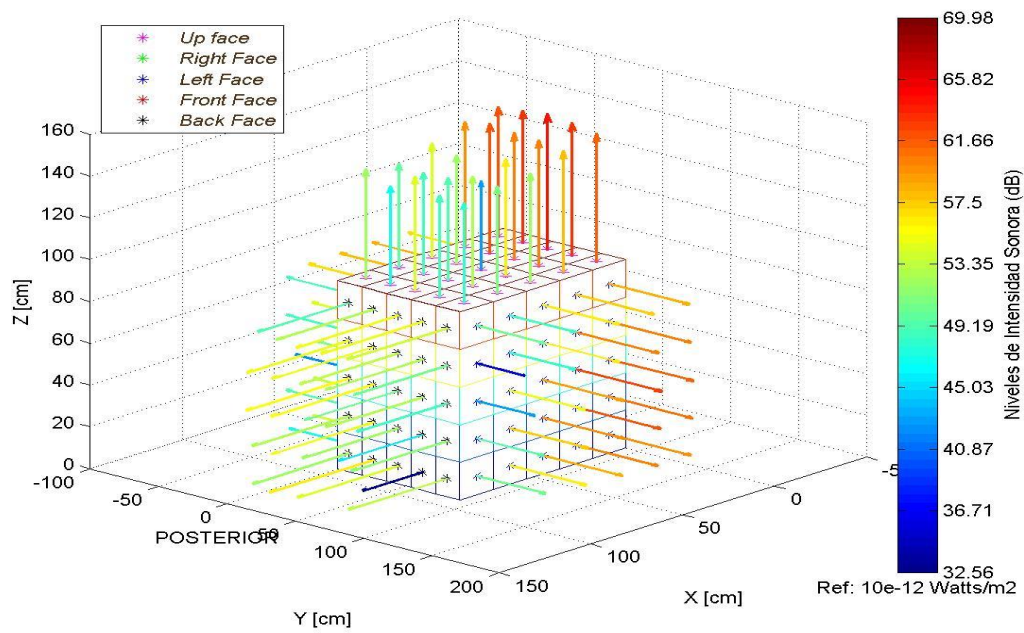


Fig. 153. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista trasera. Salón 502E.

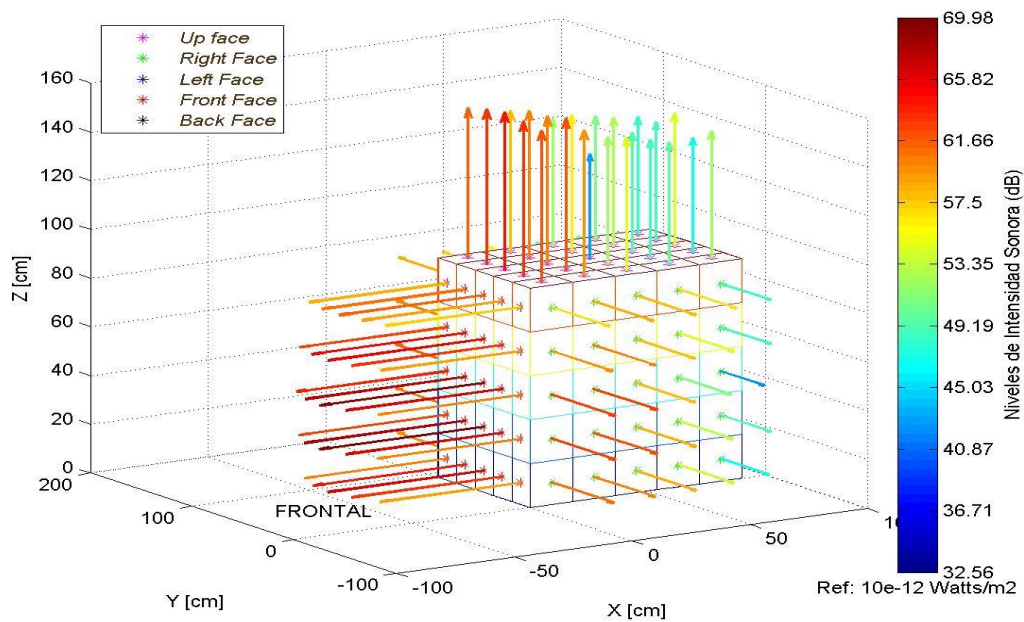


Fig. 154. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 500Hz. Vista frontal. Salón 502E.

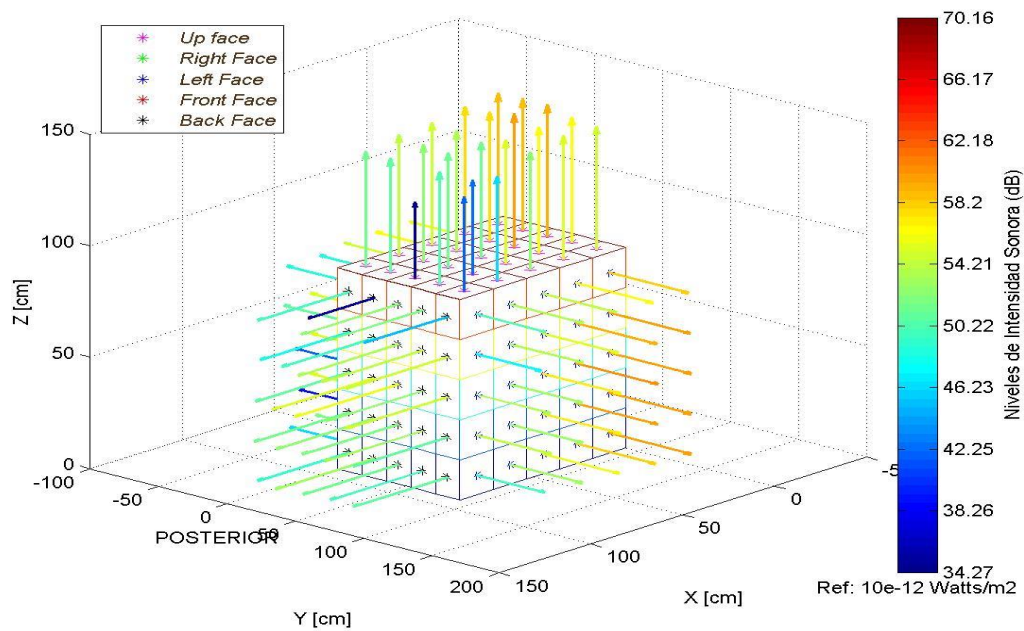


Fig. 155. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 630Hz. Vista trasera. Salón 502E.

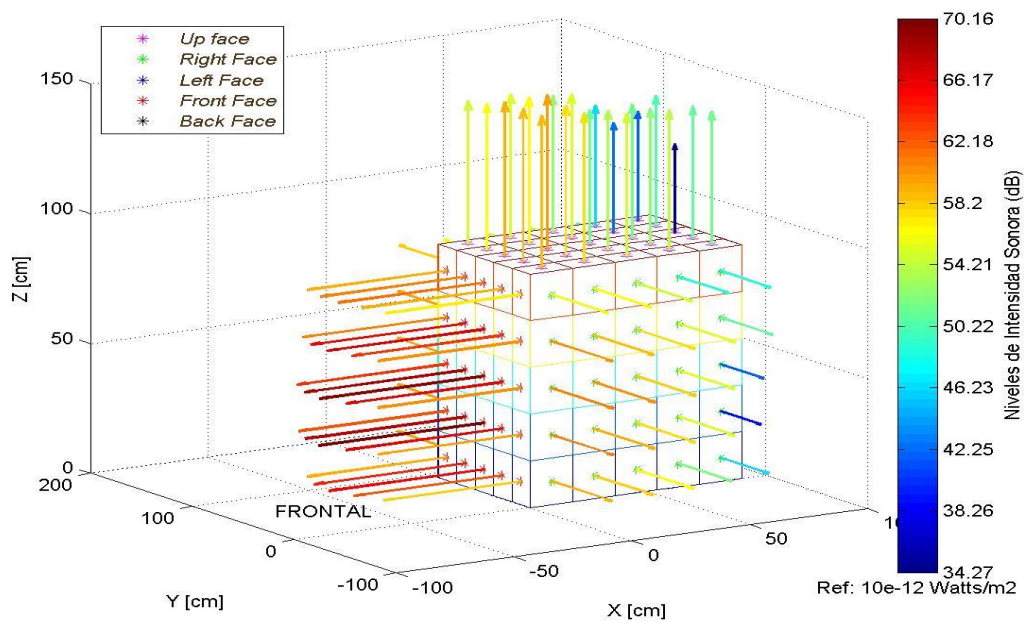


Fig. 156. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 630Hz. Vista frontal. Salón 502E.

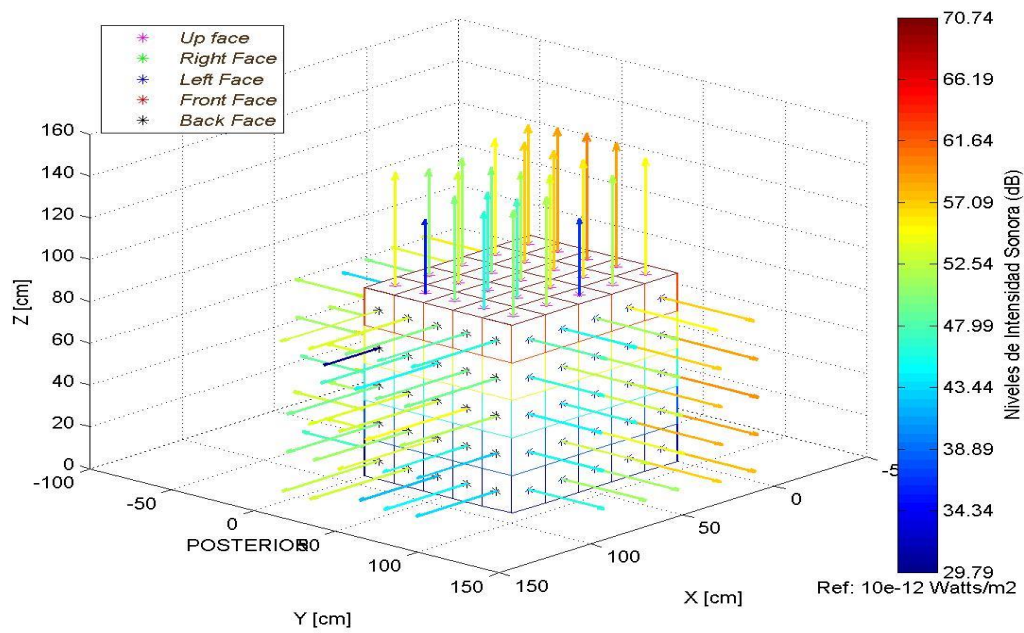


Fig. 157. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 800Hz. Vista trasera. Salón 502E.

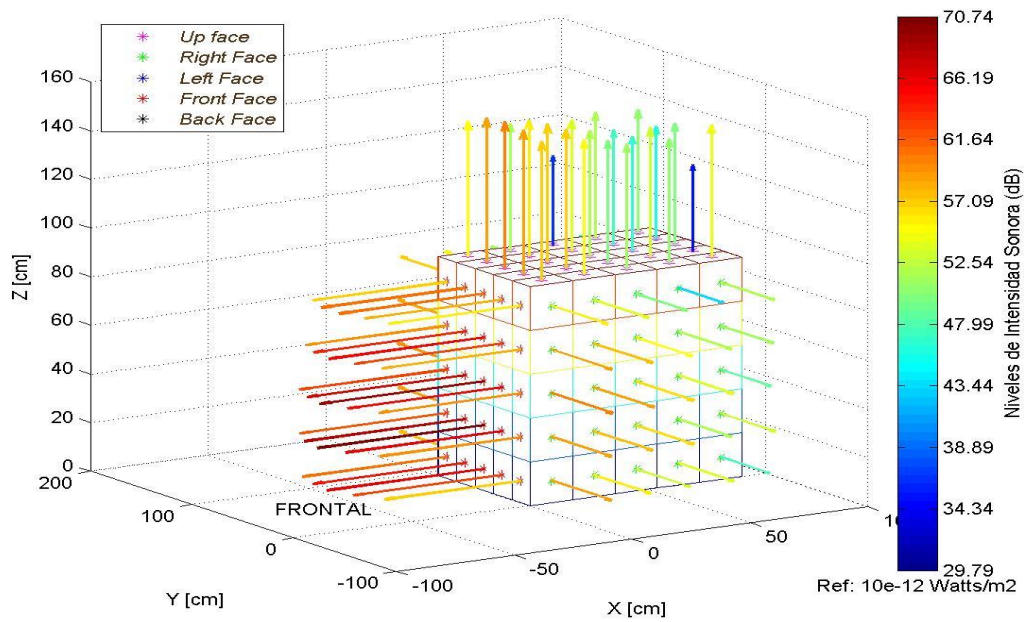


Fig. 158. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 800Hz. Vista frontal. Salón 502E.

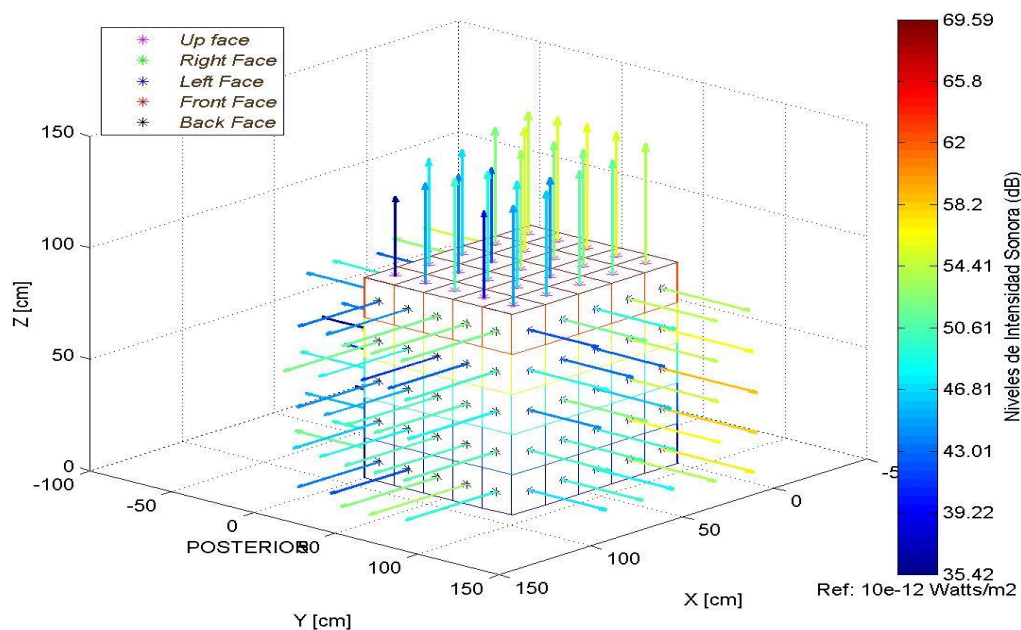


Fig. 159. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista trasera. Salón 502E

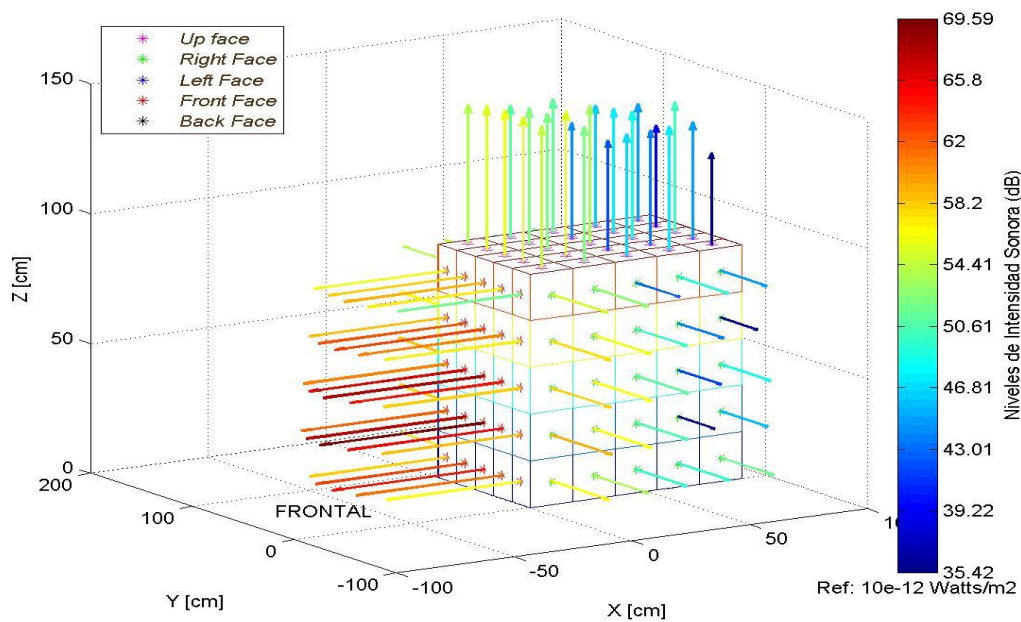


Fig. 160. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

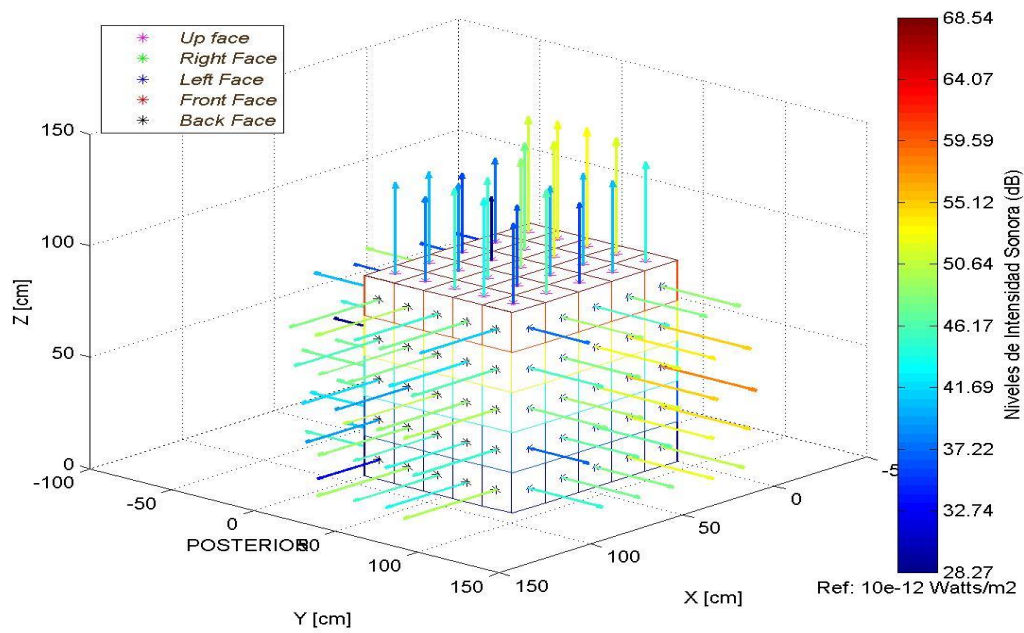


Fig. 161. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1250Hz. Vista trasera. Salón 502E.

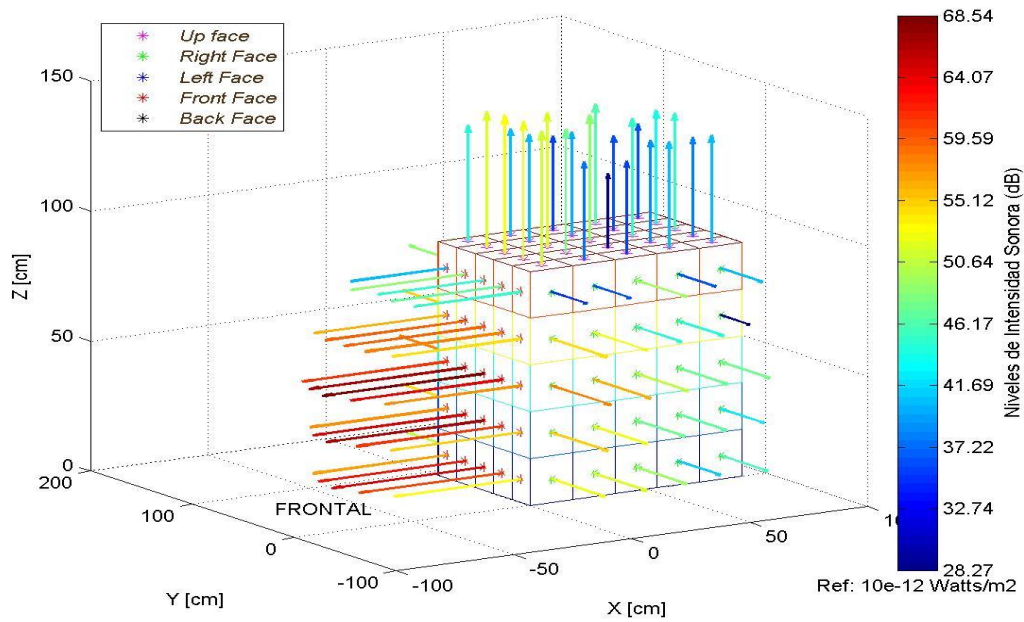


Fig. 162. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1250Hz. Vista frontal. Salón 502E.

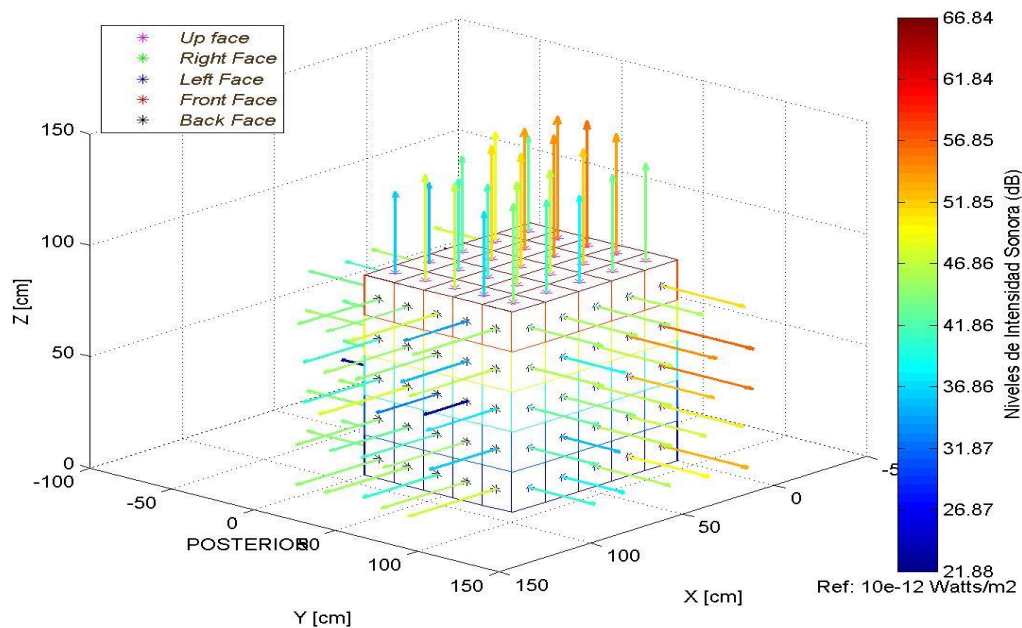


Fig. 163. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1600Hz. Vista trasera. Salón 502E.

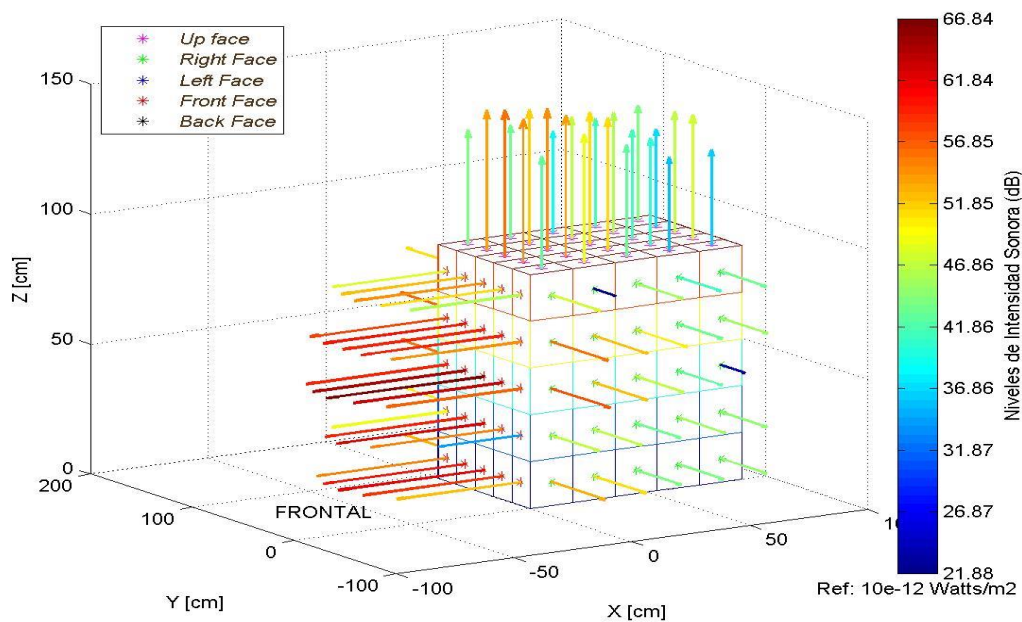


Fig. 164. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 1600Hz. Vista frontal. Salón 502E.

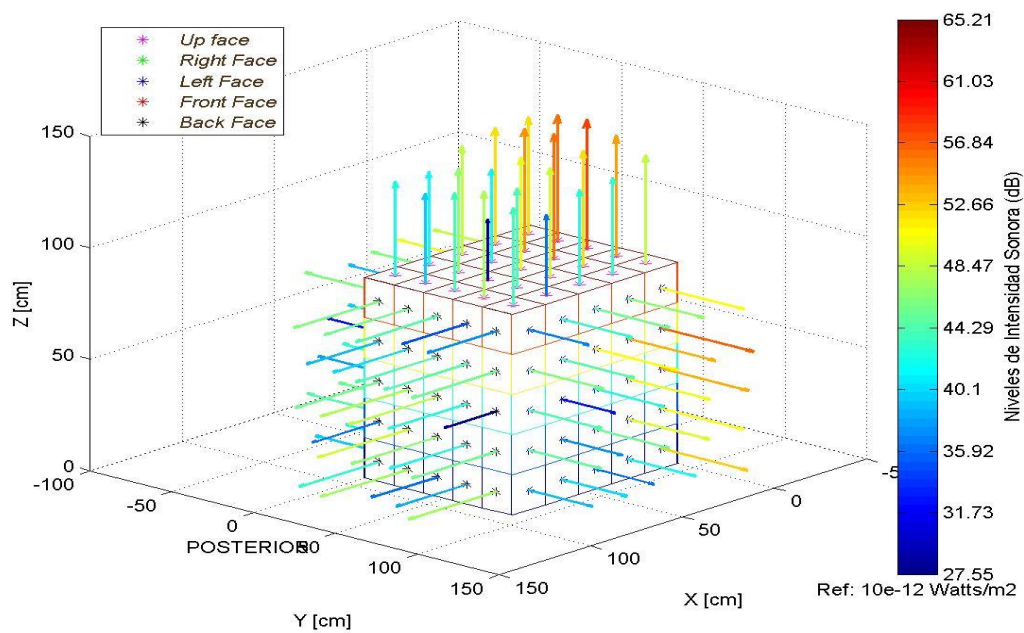


Fig. 165. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

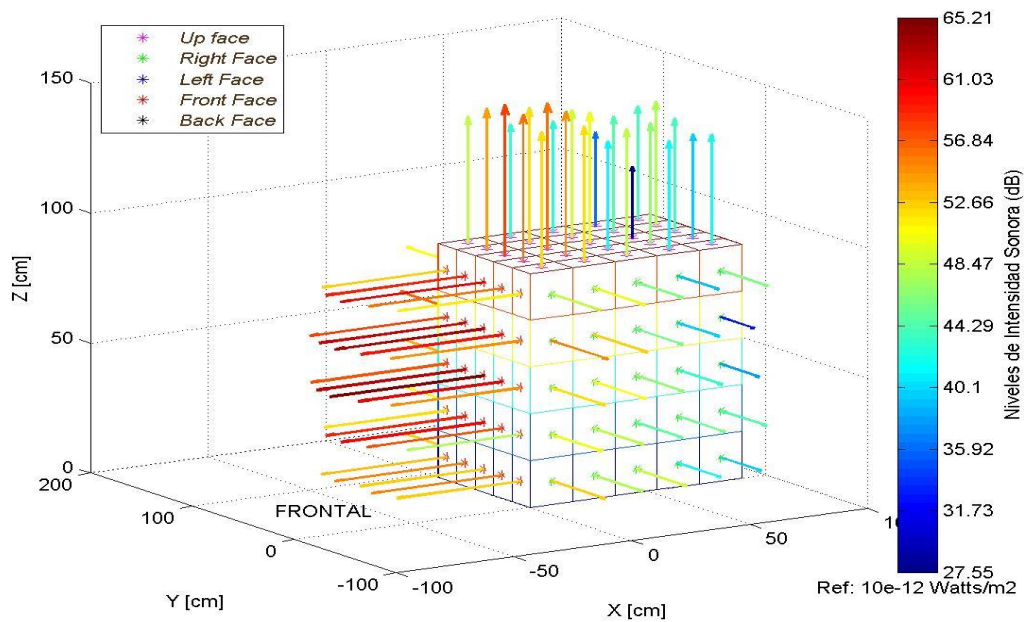


Fig. 166. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

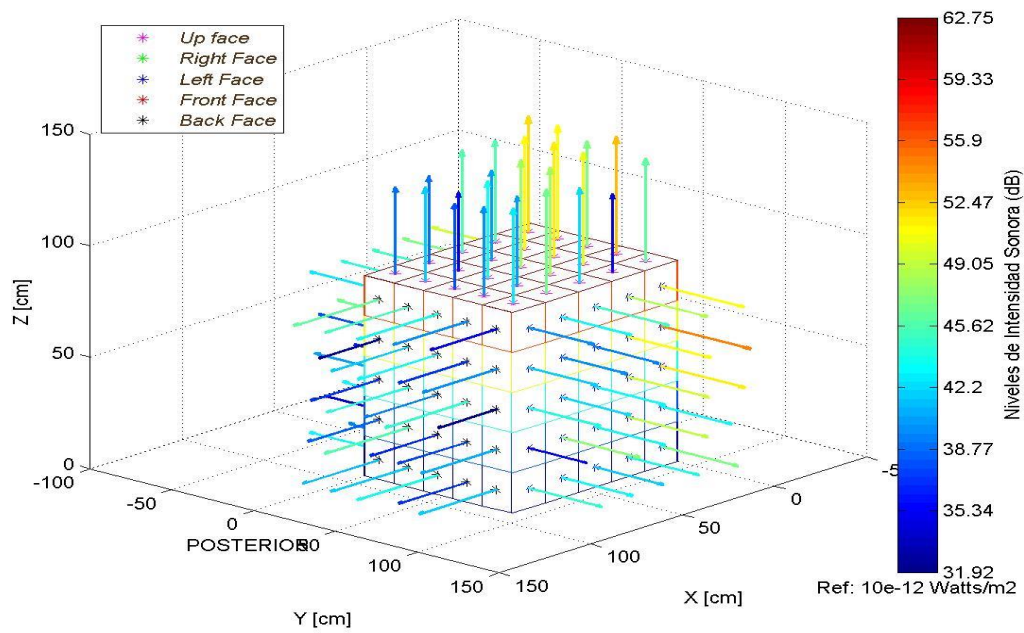


Fig. 167. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista trasera. Salón 502E.

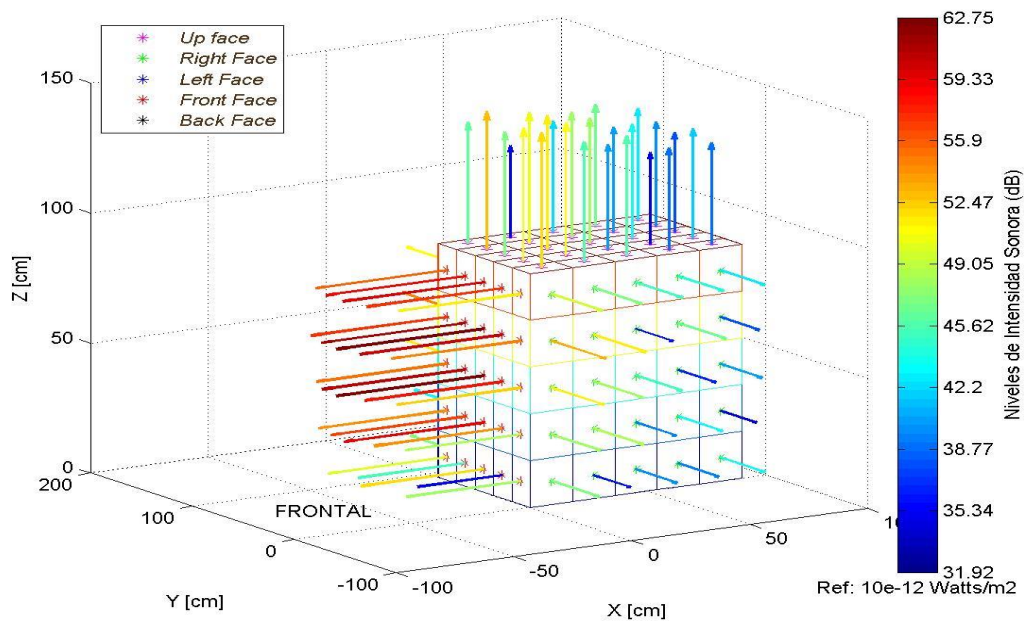


Fig. 168. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 2500Hz. Vista frontal. Salón 502E.

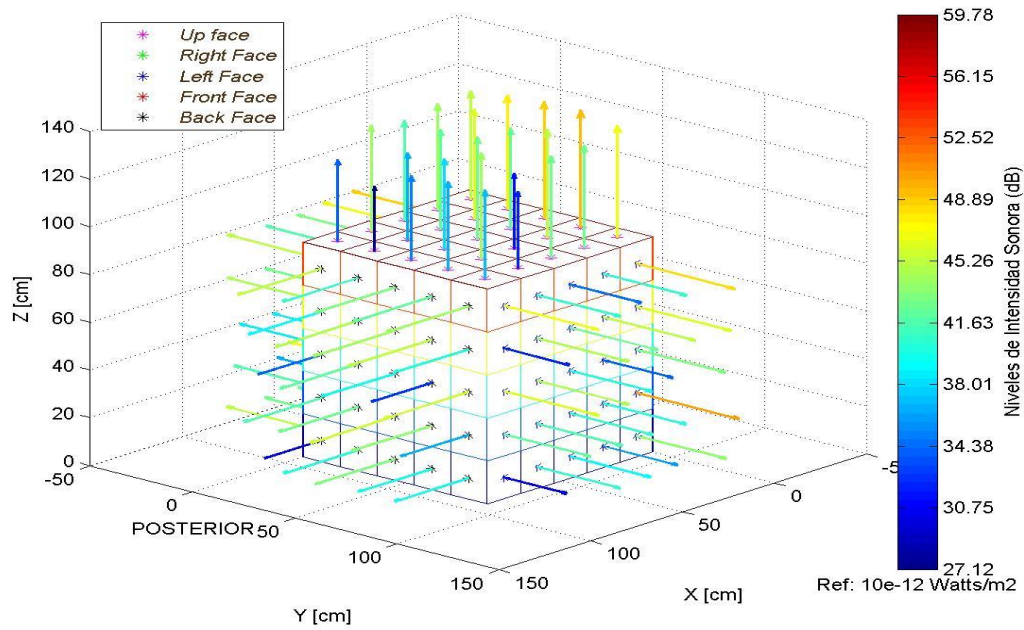


Fig. 169. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 3150Hz. Vista trasera. Salón 502E.

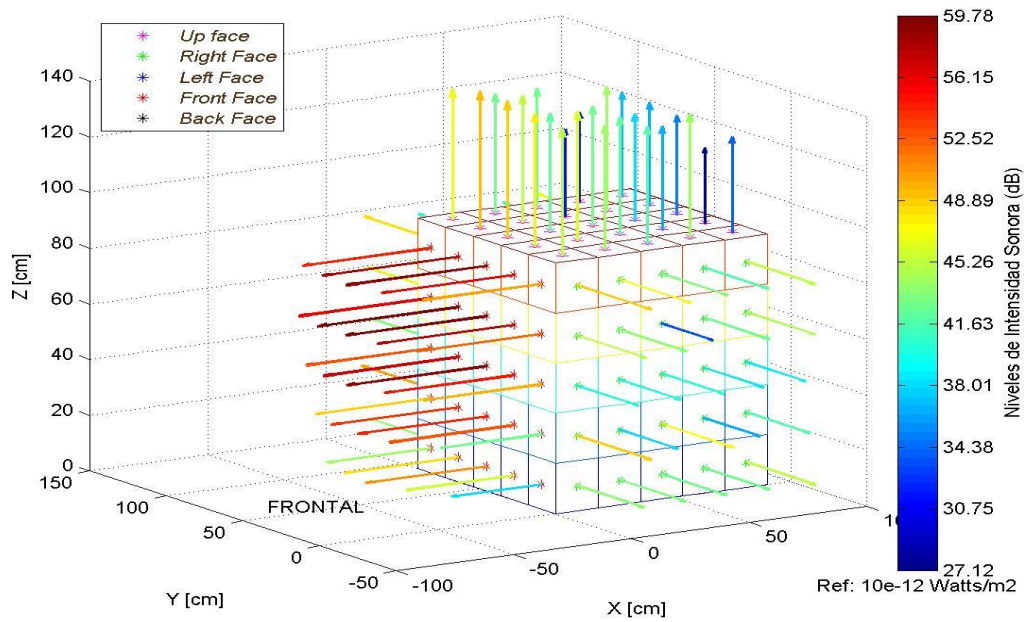


Fig. 170. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 3150Hz. Vista frontal. Salón 502E.

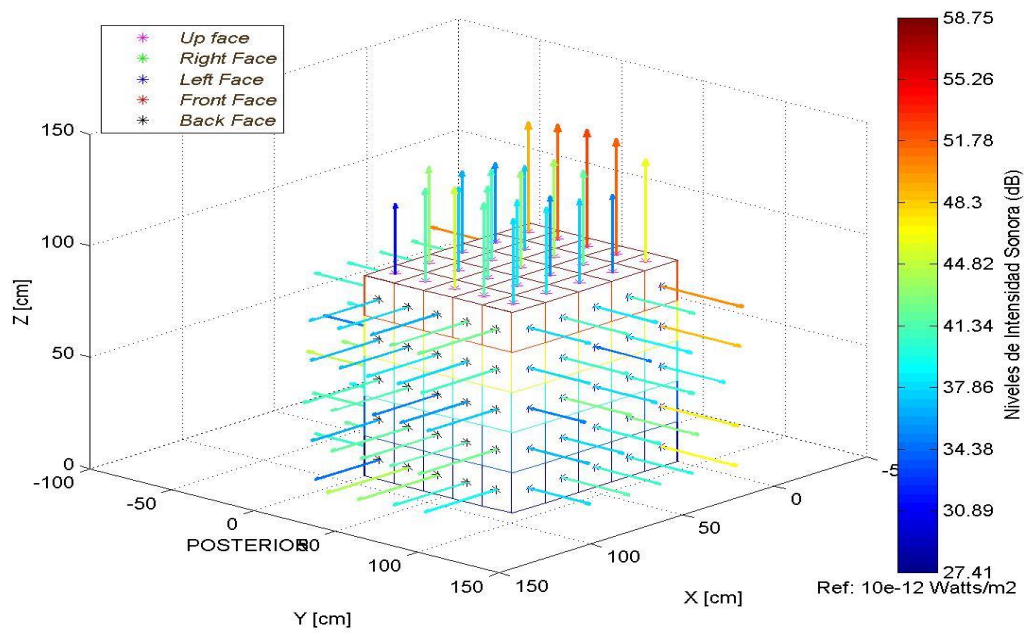


Fig. 171. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 4000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

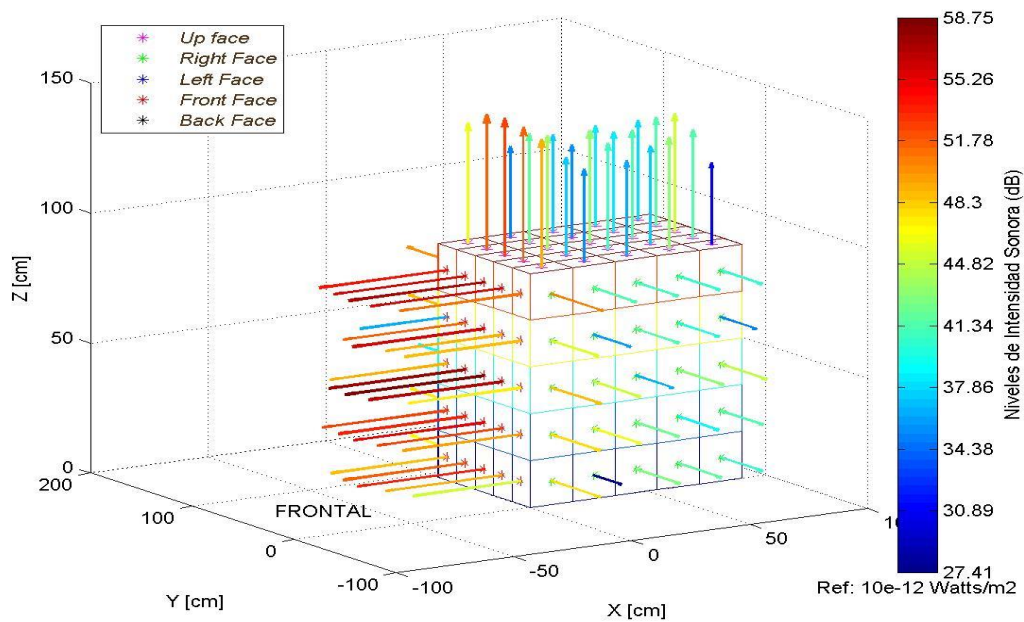


Fig. 172. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 4000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

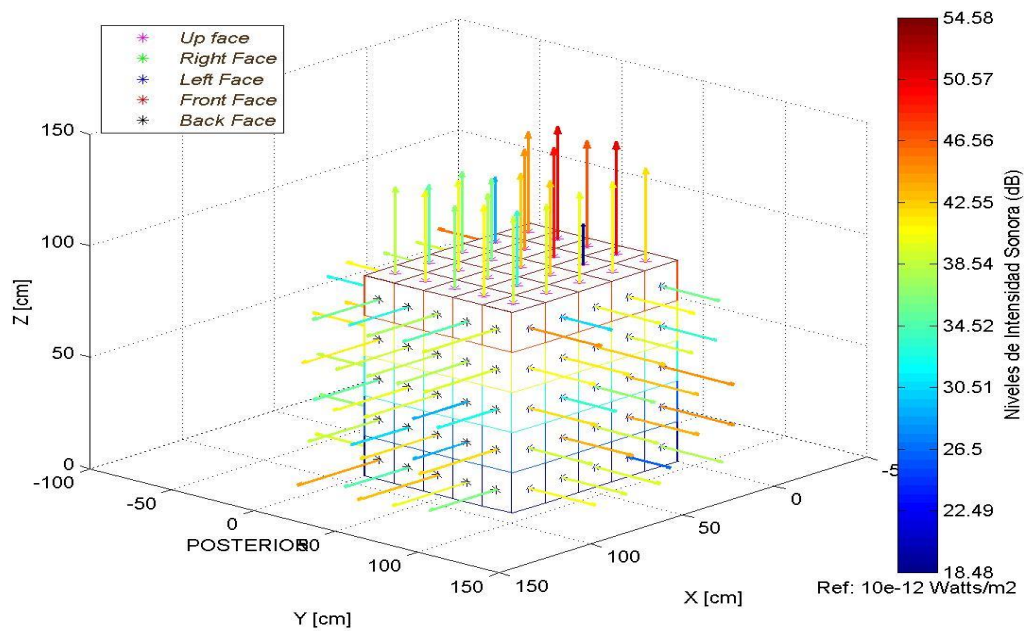


Fig. 173. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 5000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

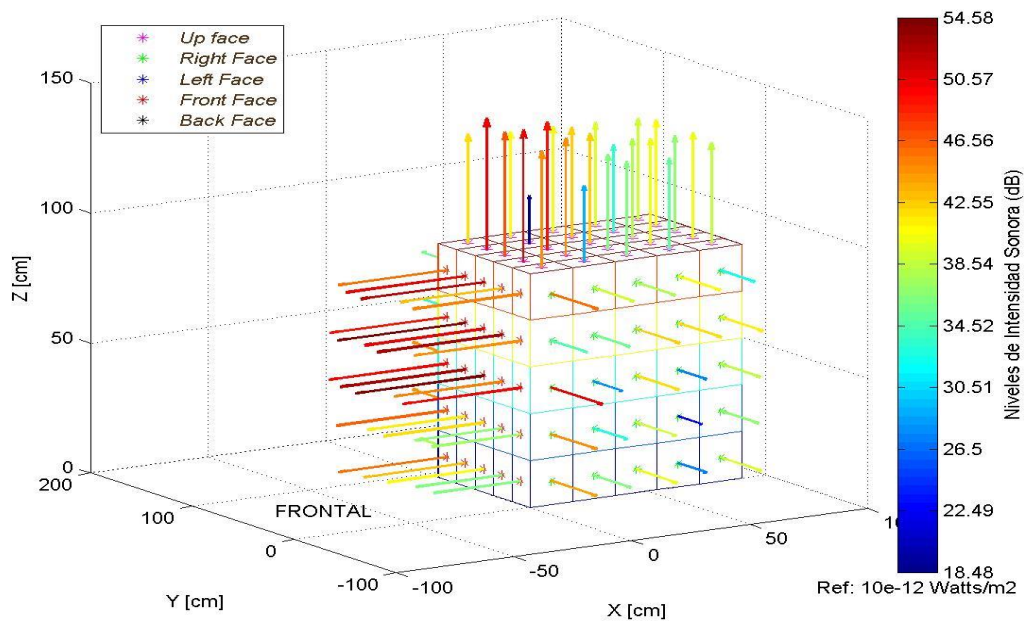


Fig. 174. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 5000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

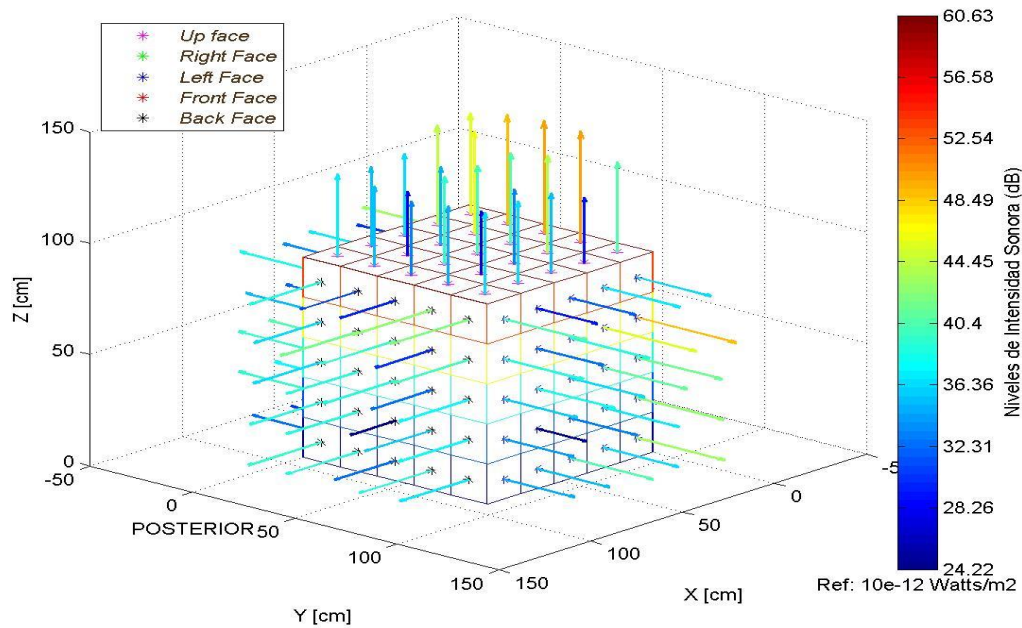


Fig. 175. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 6300Hz. Vista trasera. Salón 502E.

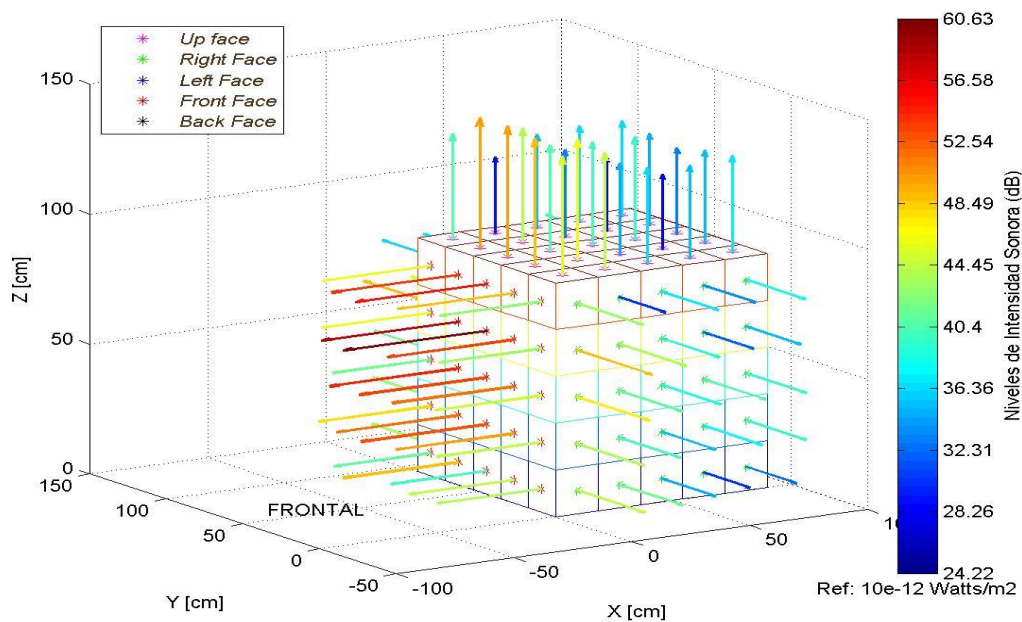


Fig. 176. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 6300Hz. Vista frontal. Salón 502E.

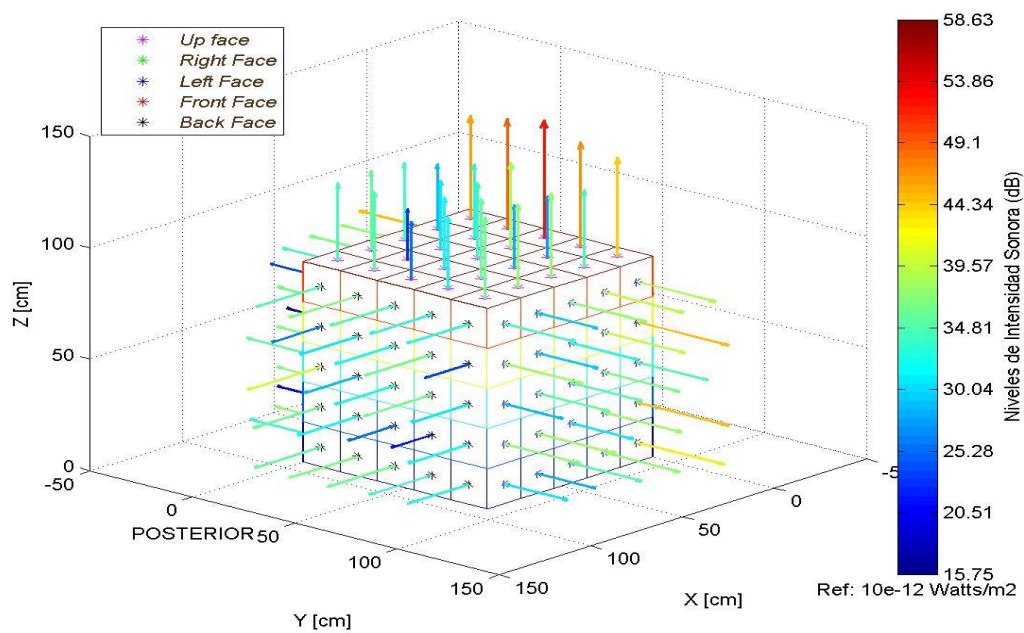


Fig. 177. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 8000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

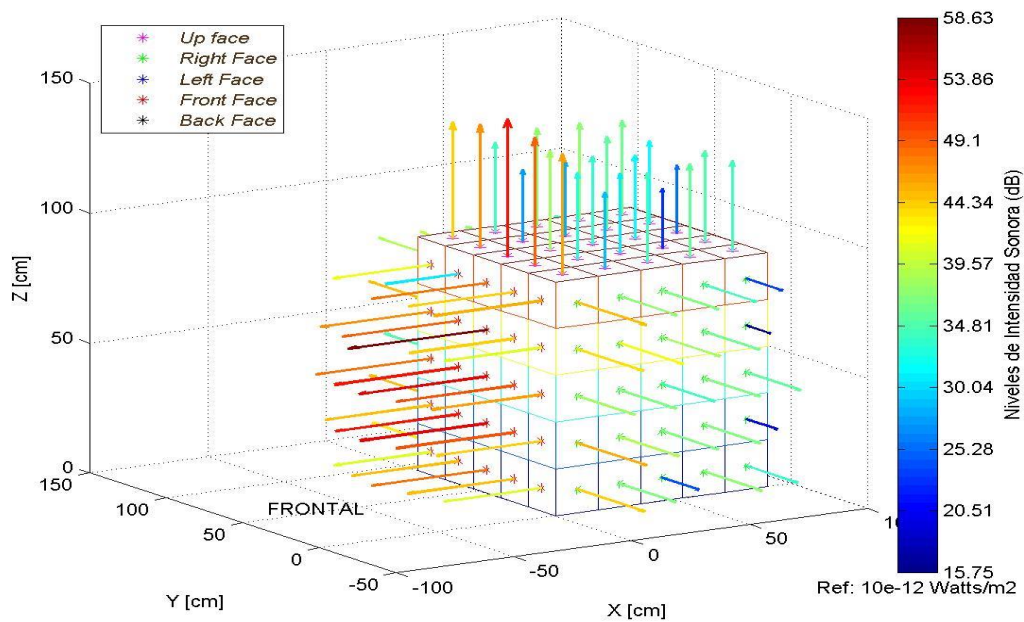


Fig. 178. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 8000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

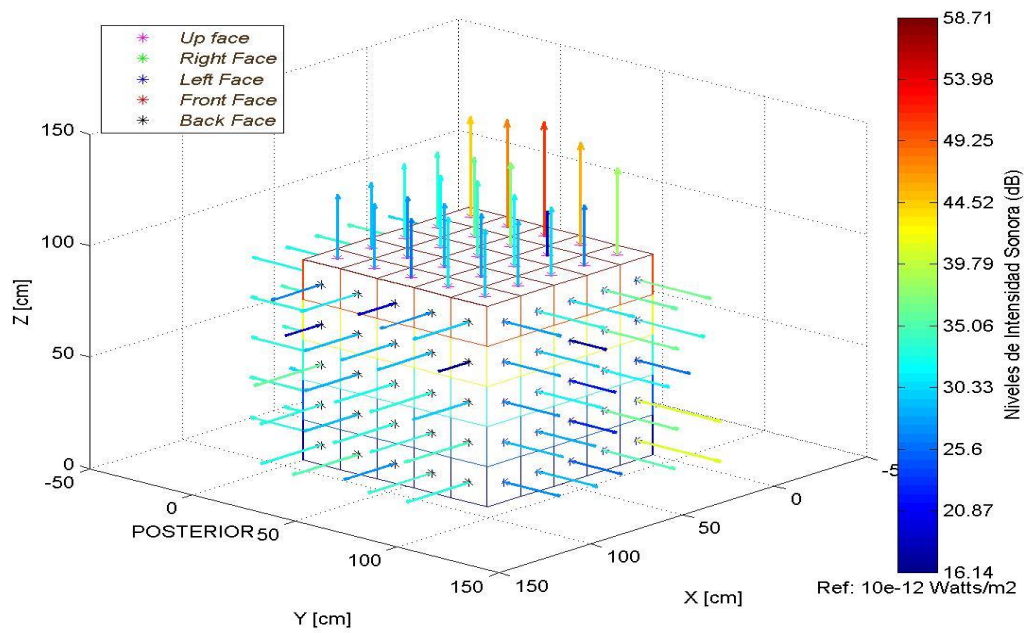


Fig. 179. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

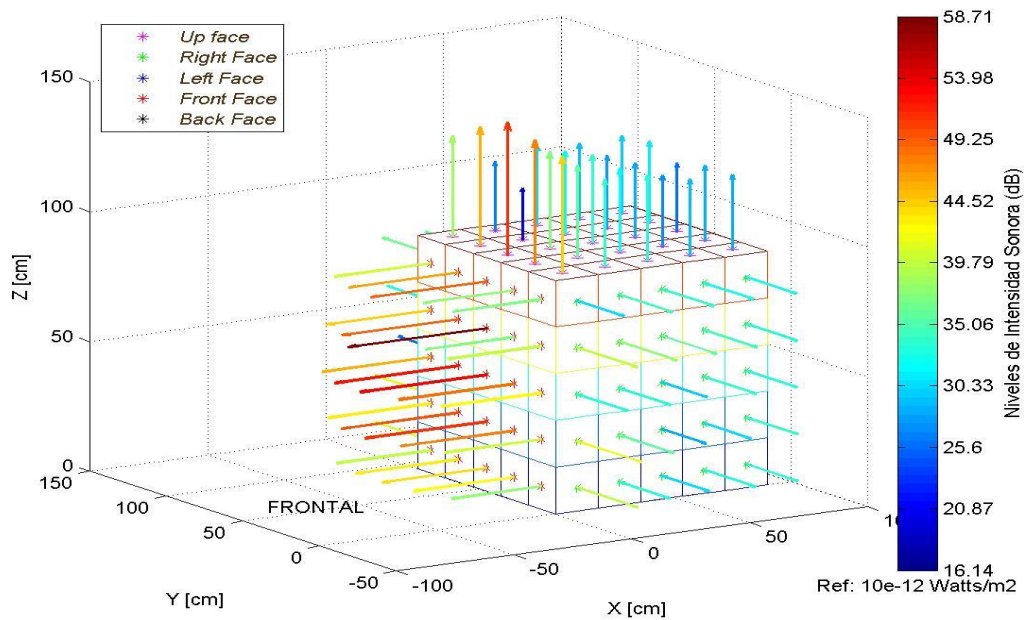


Fig. 180. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 10000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

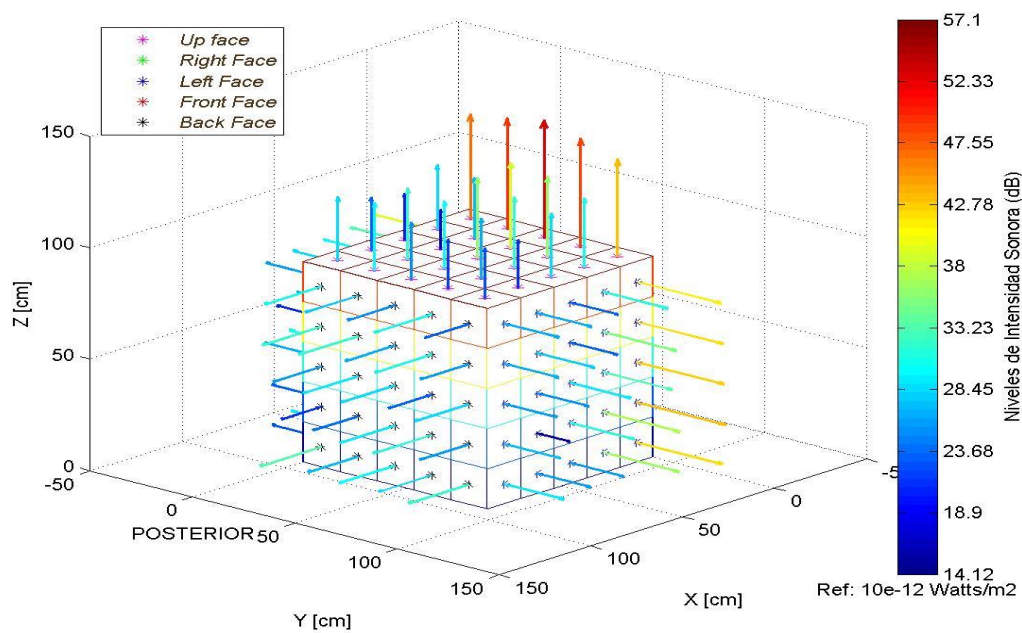


Fig. 181. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 12500Hz. Vista trasera. Salón 502E.

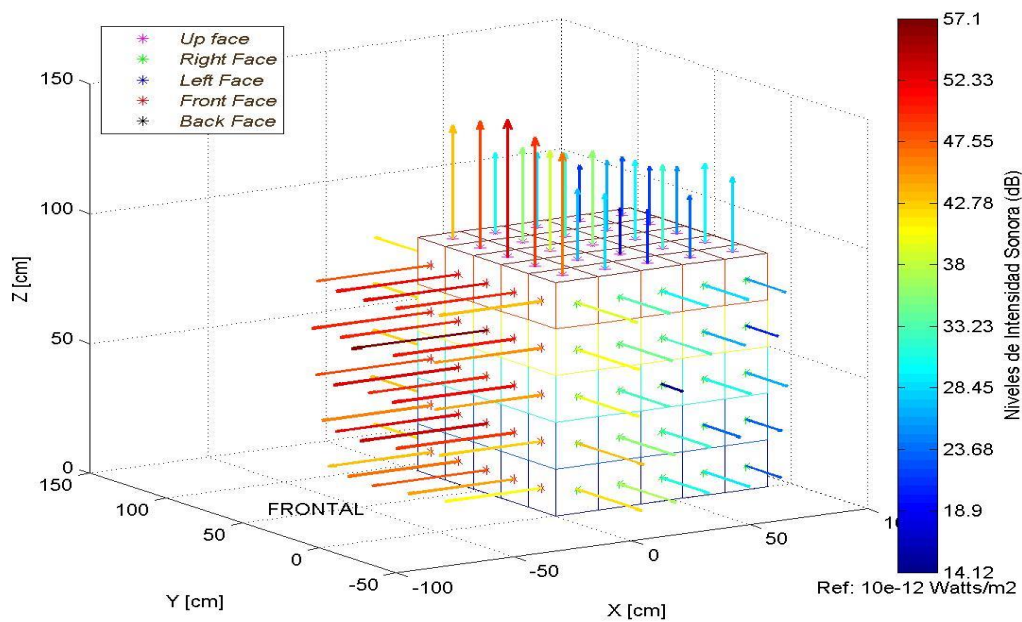


Fig. 182. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 12500Hz. Vista frontal. Salón 502E.

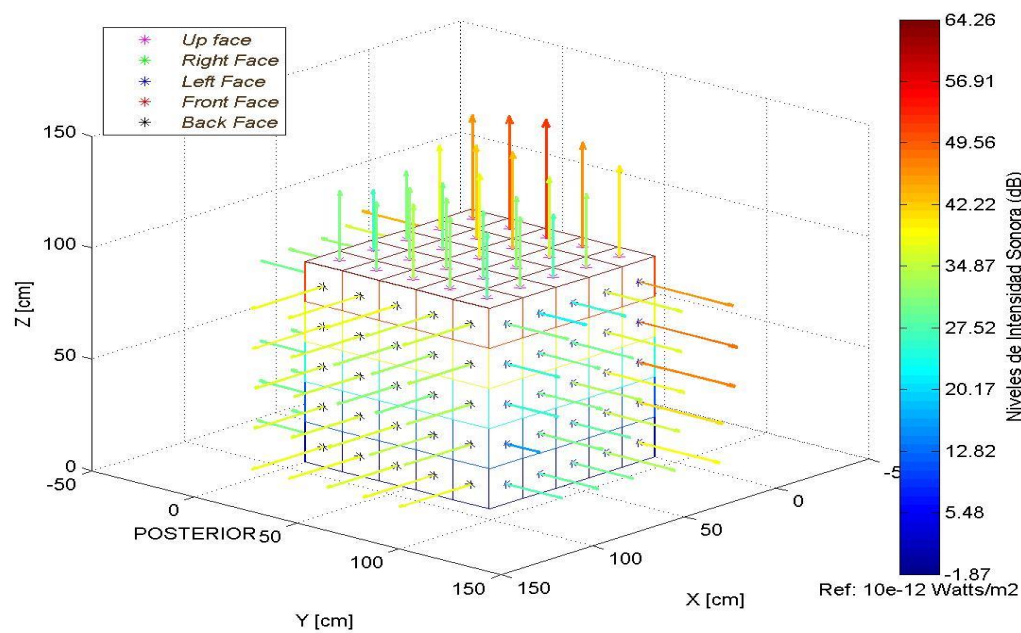


Fig. 183. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

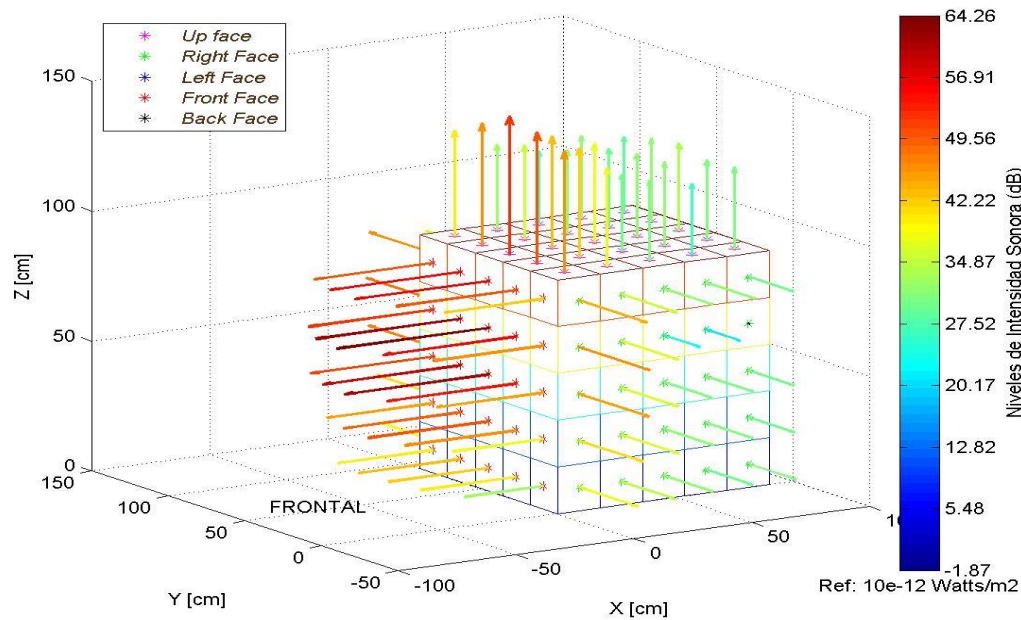


Fig. 184. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 16000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

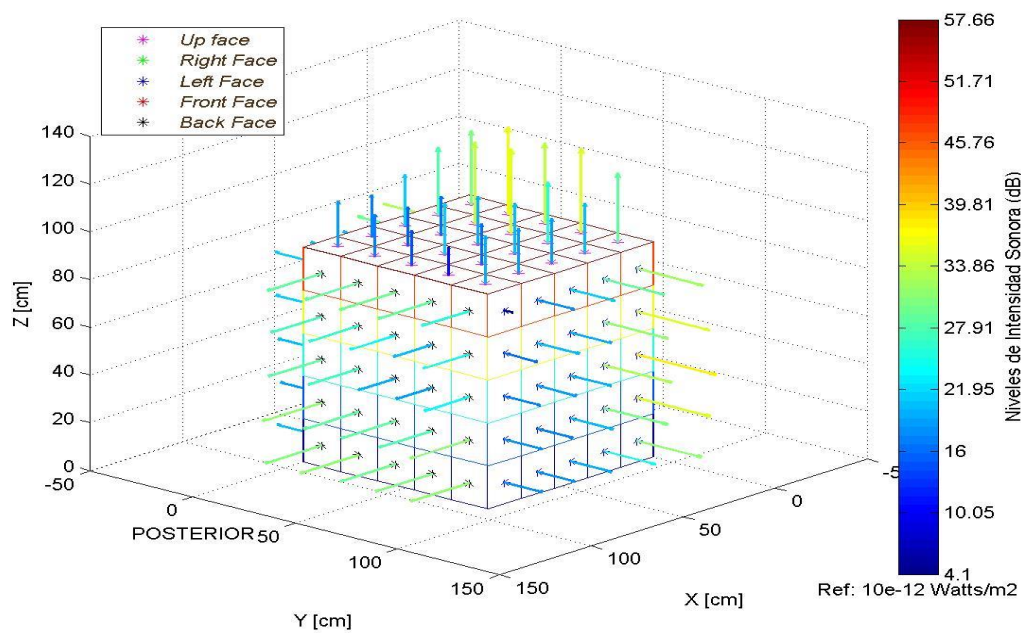


Fig. 185. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 20000Hz. Vista trasera. Salón 502E.

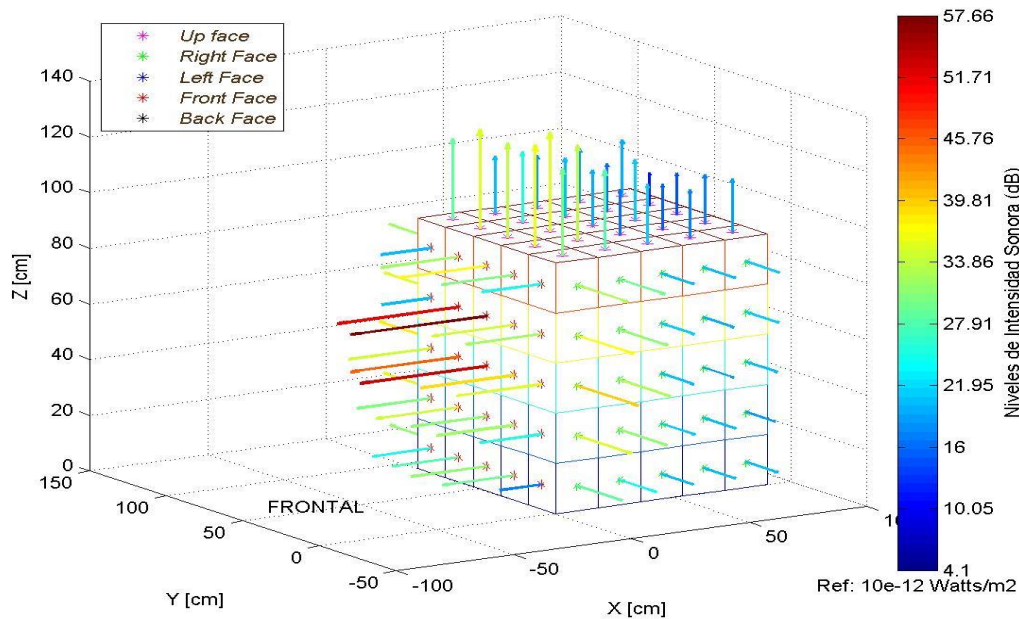


Fig. 186. Campo vectorial de intensidad normal a la superficie de medición. Frecuencia 20000Hz. Vista frontal. Salón 502E.

F.3. Comparación de patrones polares, factores e índices de directividad.

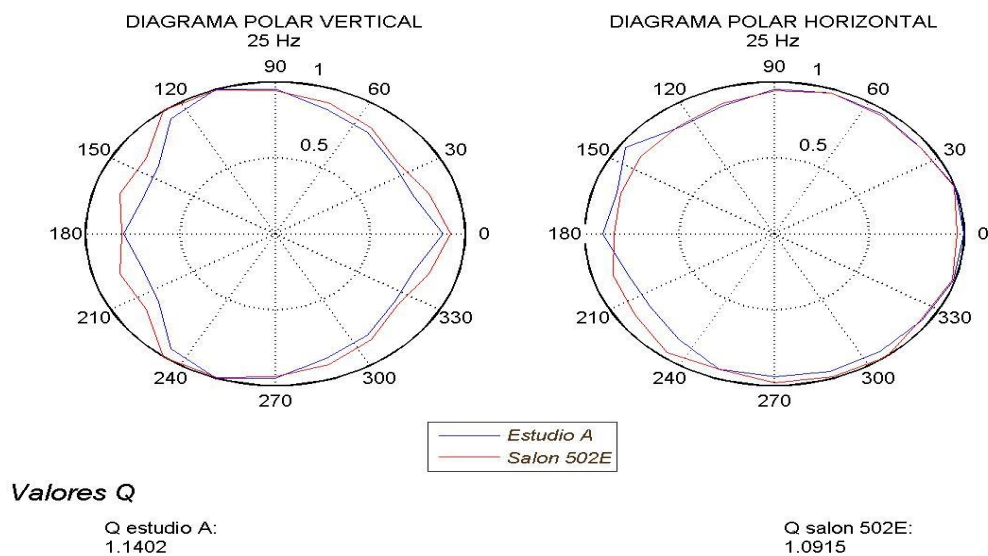


Fig. 187. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 25 Hz.

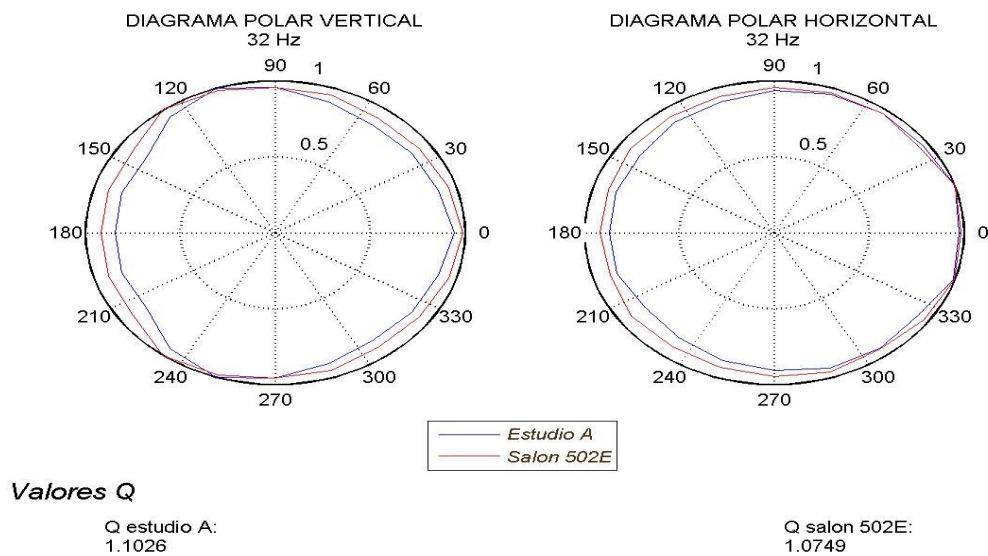


Fig. 188. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 31,5 Hz.

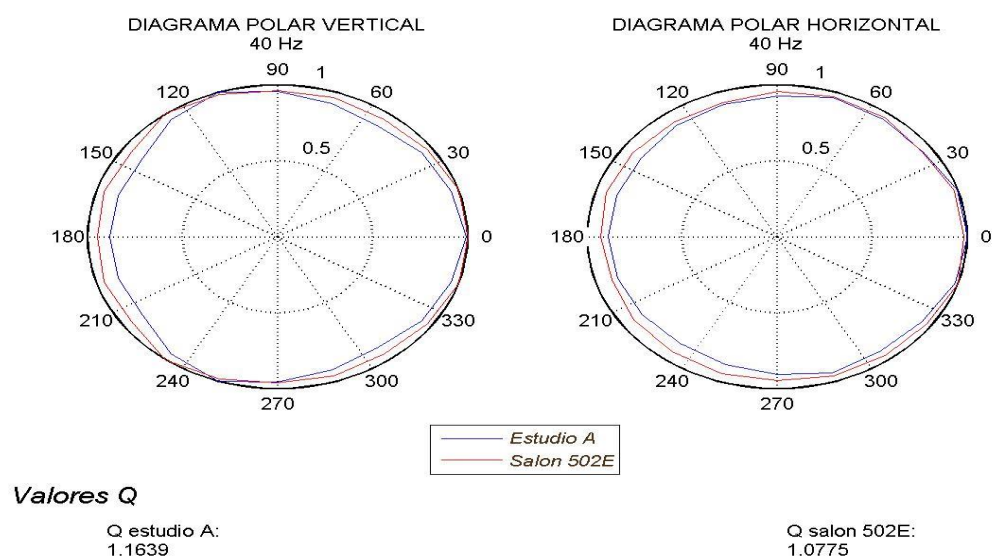


Fig. 189. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 40 Hz.

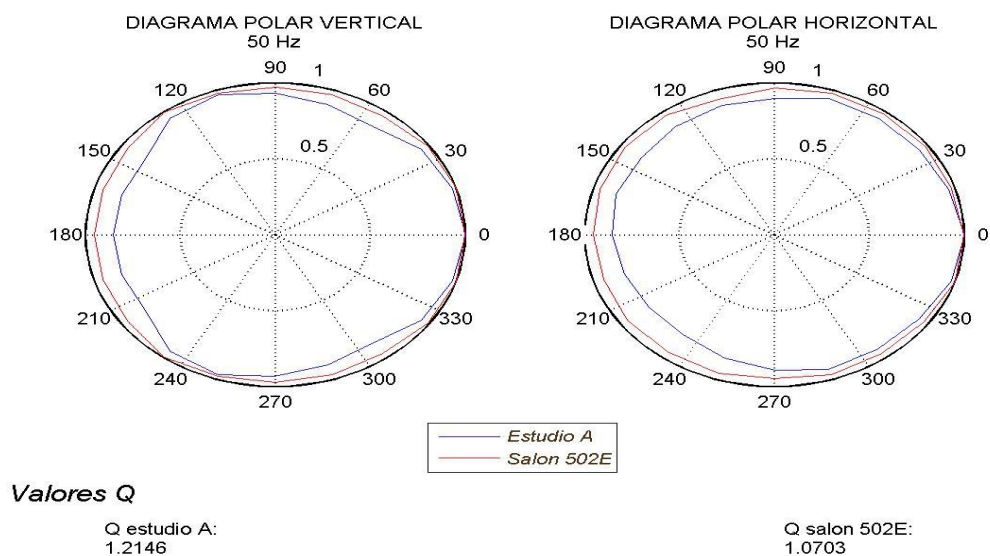


Fig. 190. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 50 Hz.

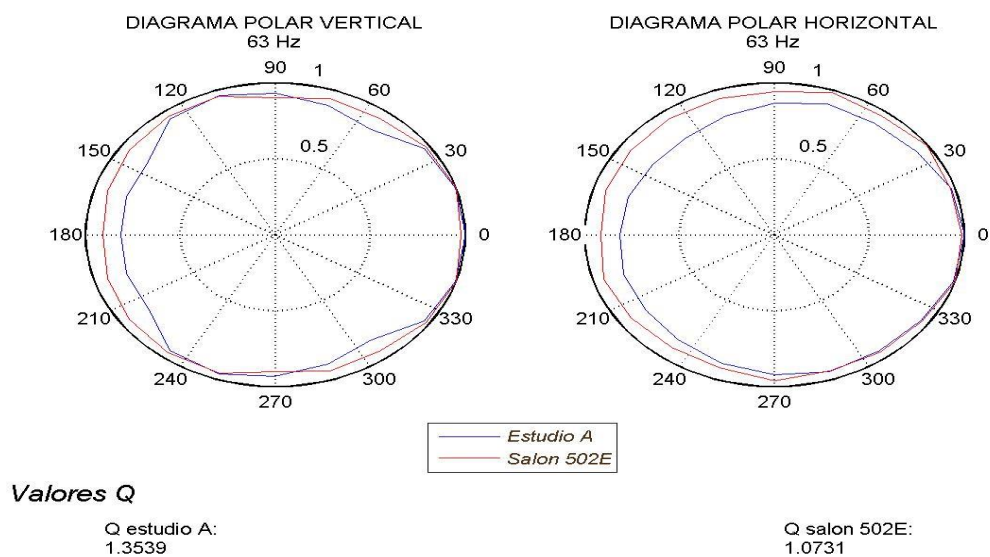


Fig. 191. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 63 Hz.

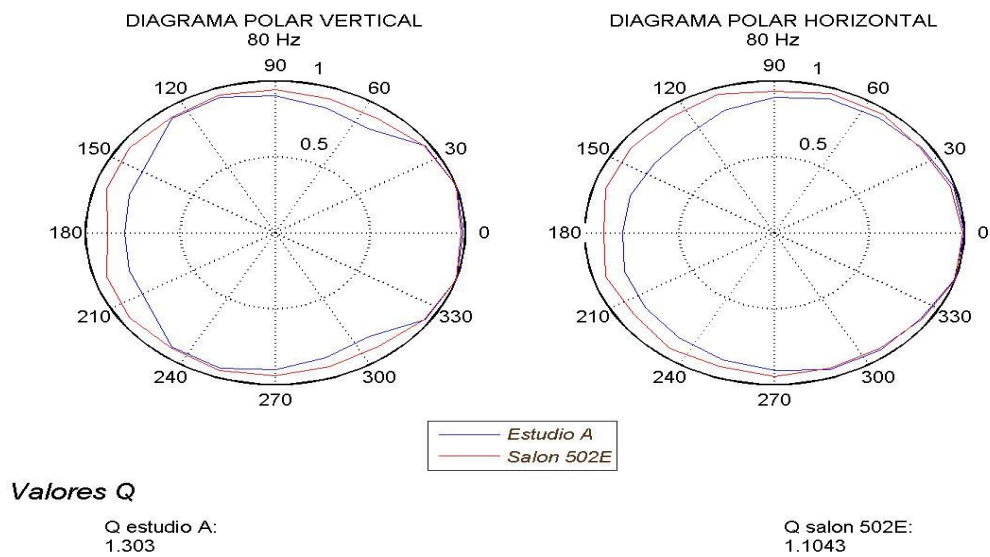


Fig. 192. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 80 Hz.

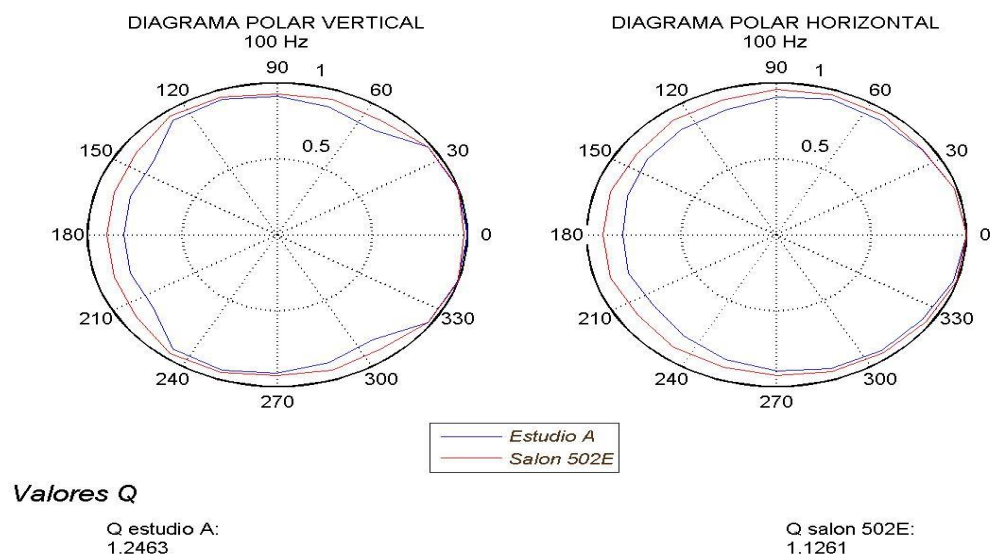


Fig. 193. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 100 Hz.

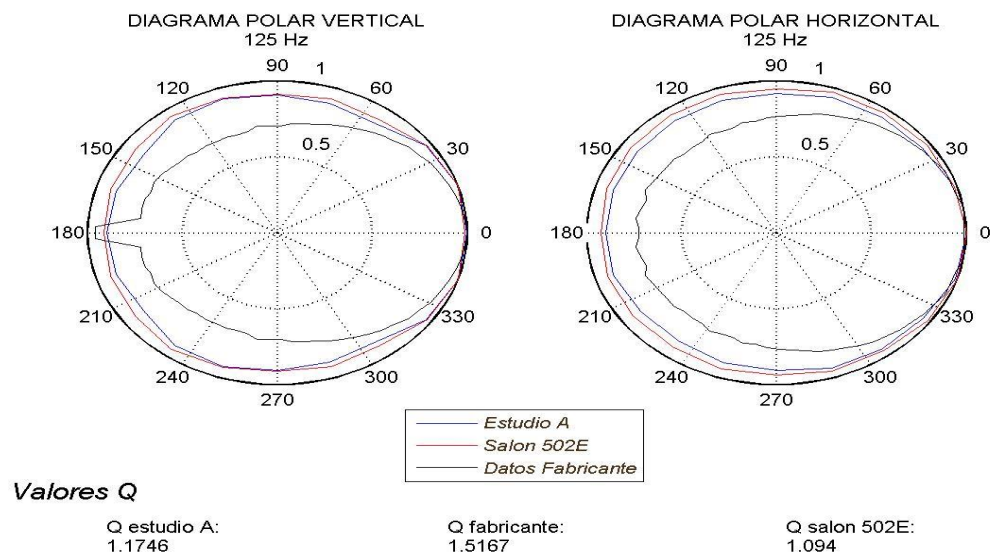


Fig. 194. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 125 Hz.

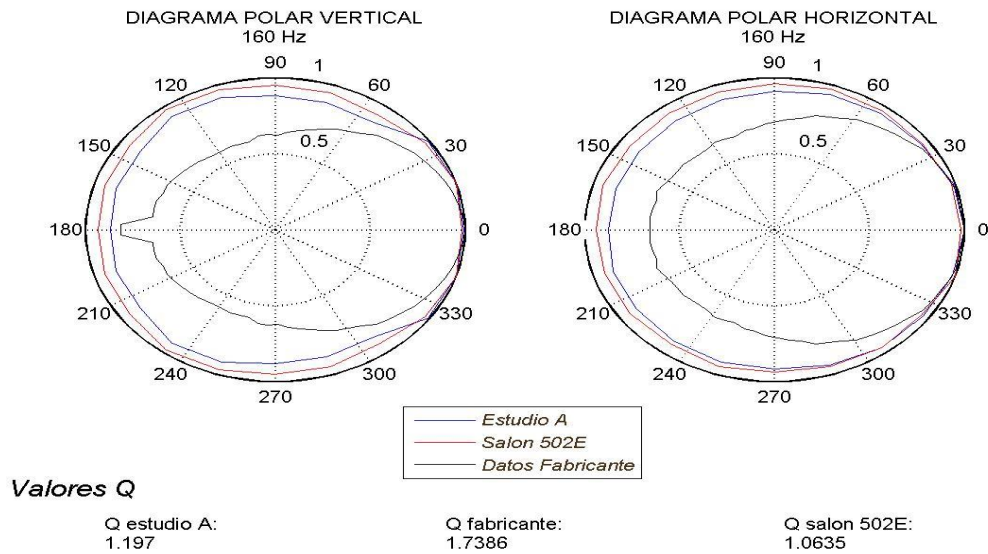


Fig. 195. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 160 Hz.

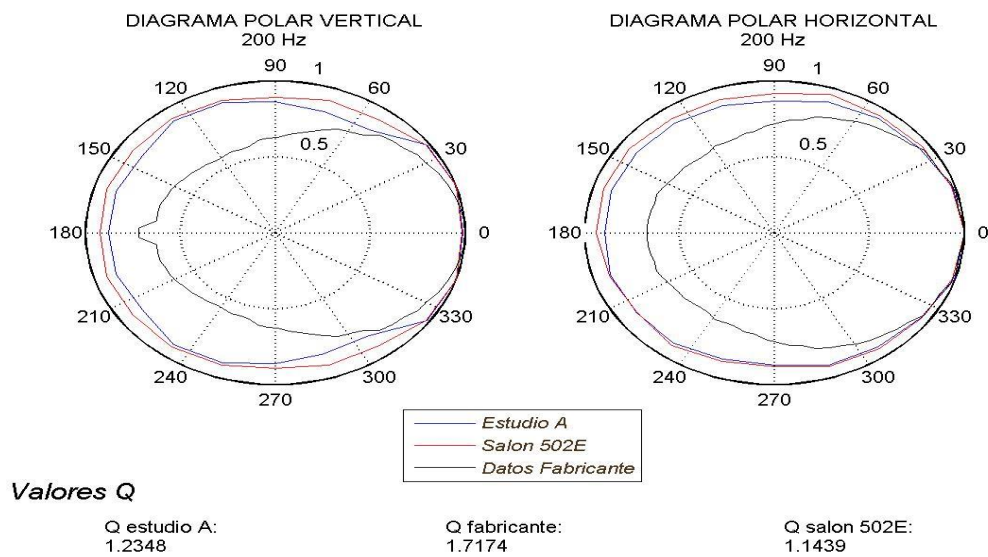


Fig. 196. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 200 Hz.

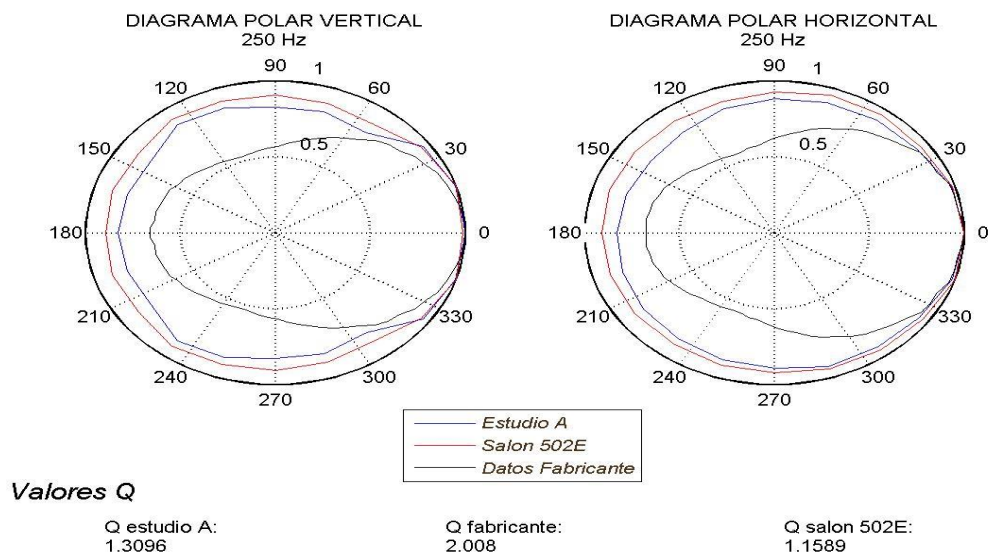


Fig. 197. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 250 Hz.

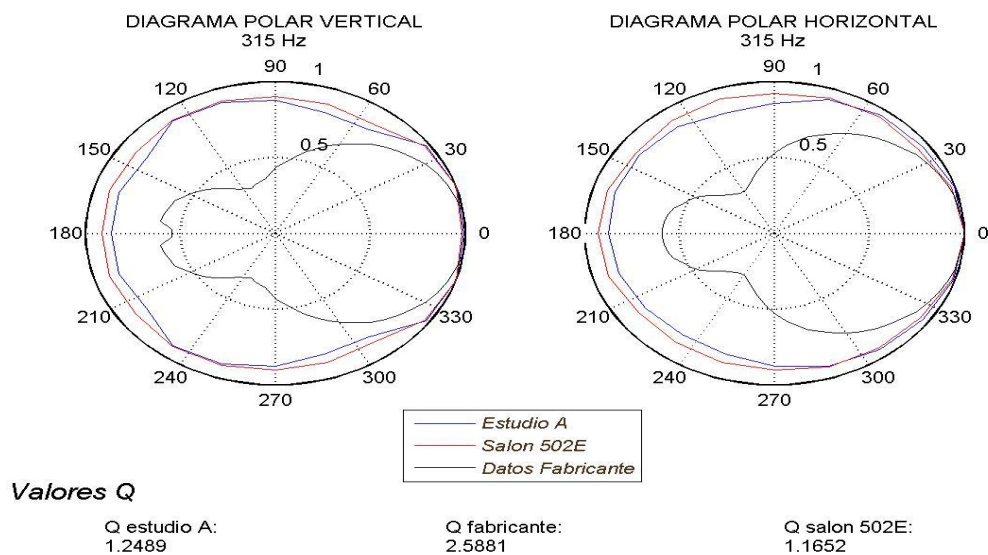


Fig. 198. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 315 Hz.

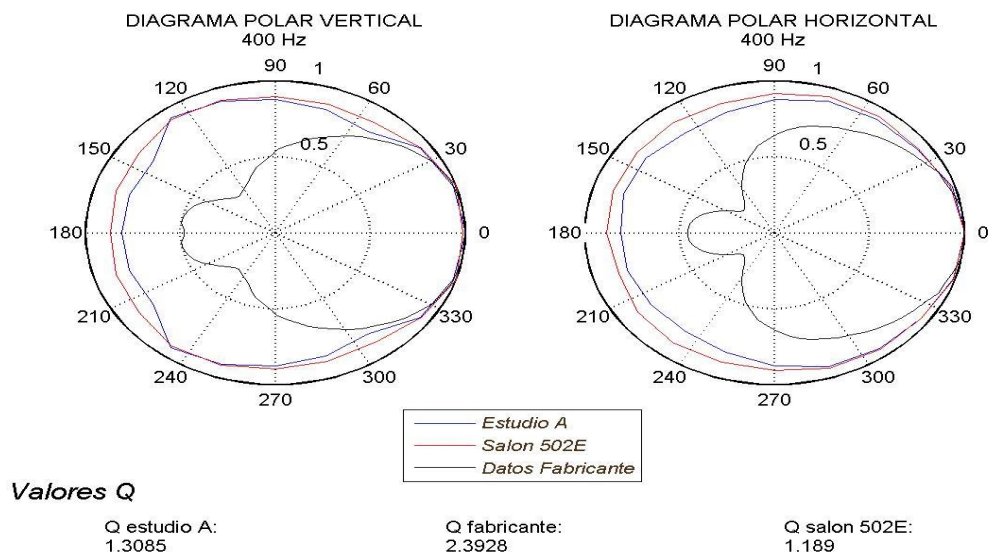


Fig. 199. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 400 Hz.

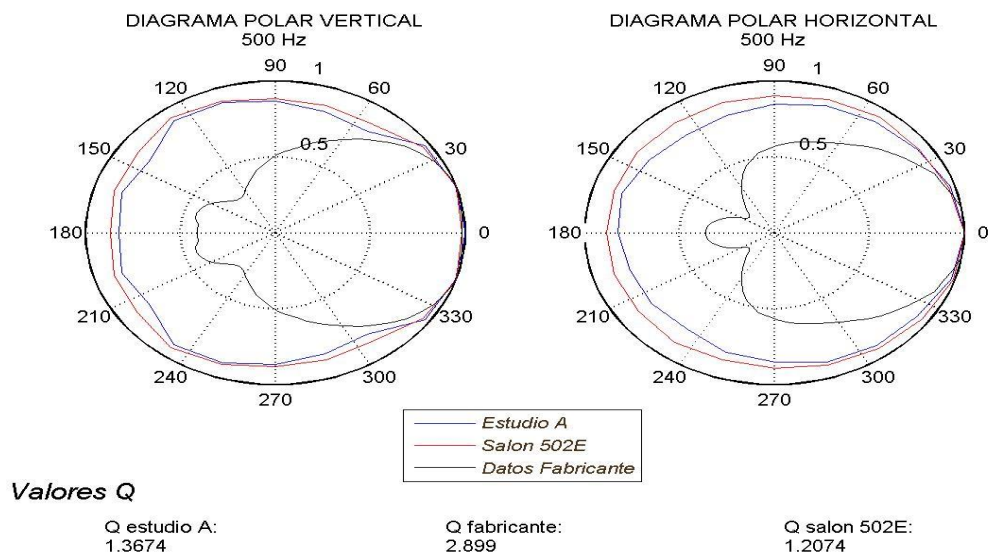


Fig. 200. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 500 Hz.

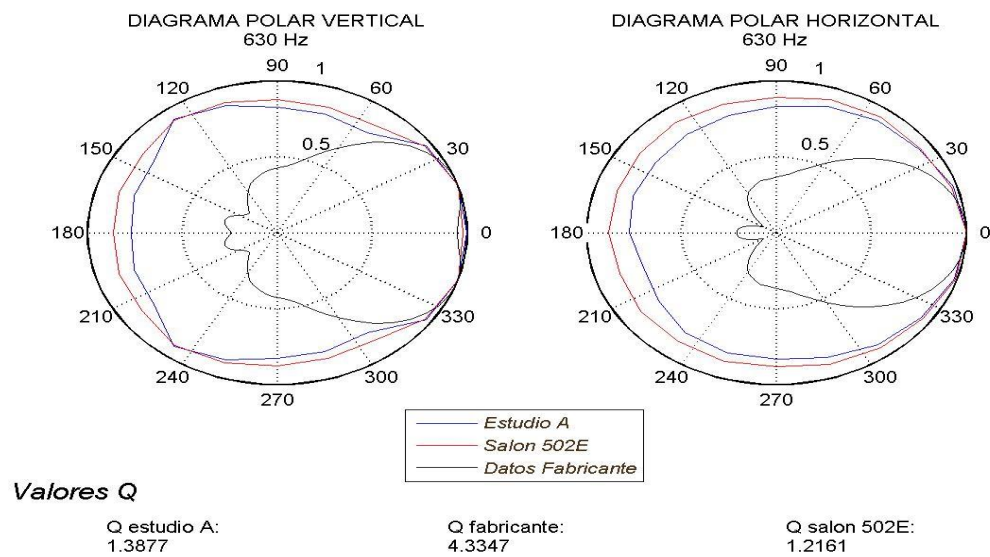


Fig. 201. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 630 Hz.

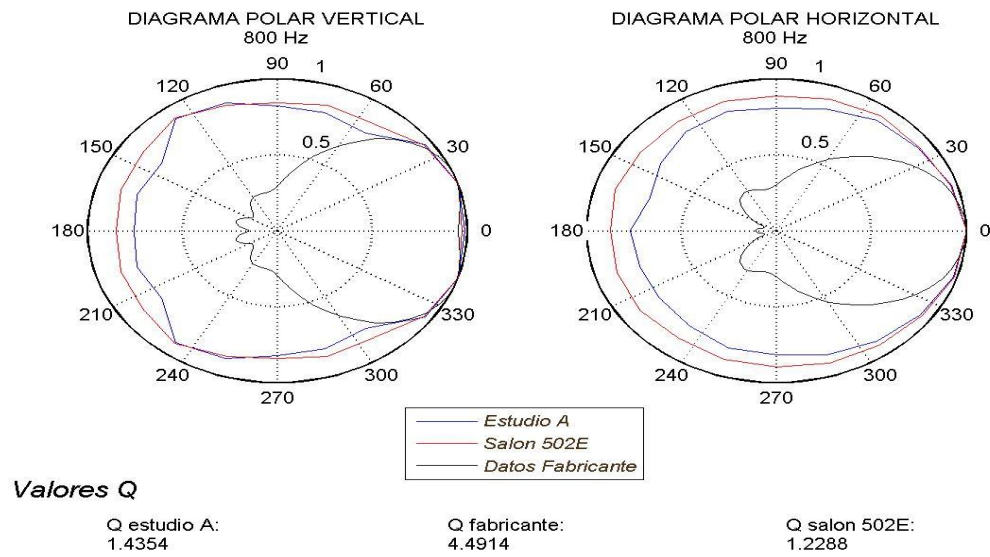


Fig. 202. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 800 Hz.

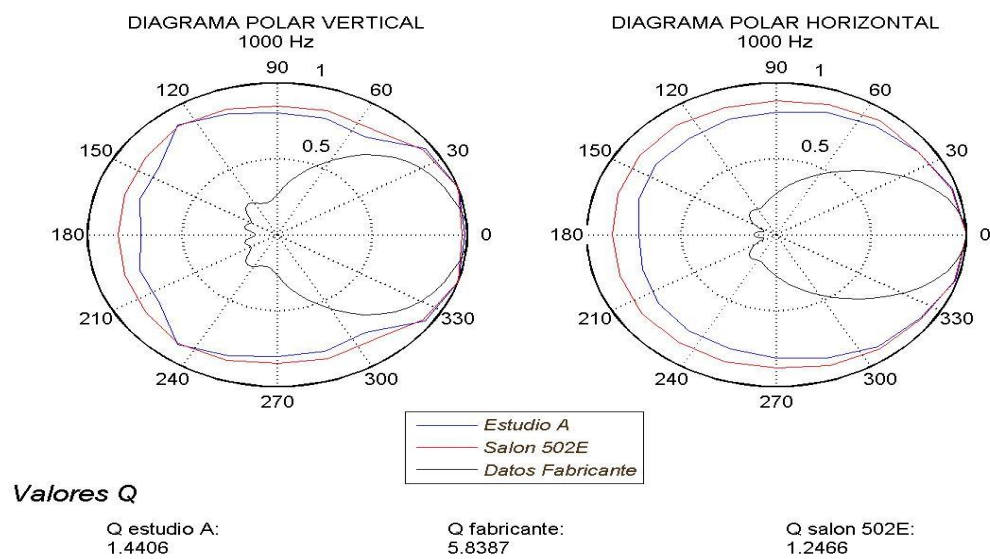


Fig. 203. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 1000 Hz.

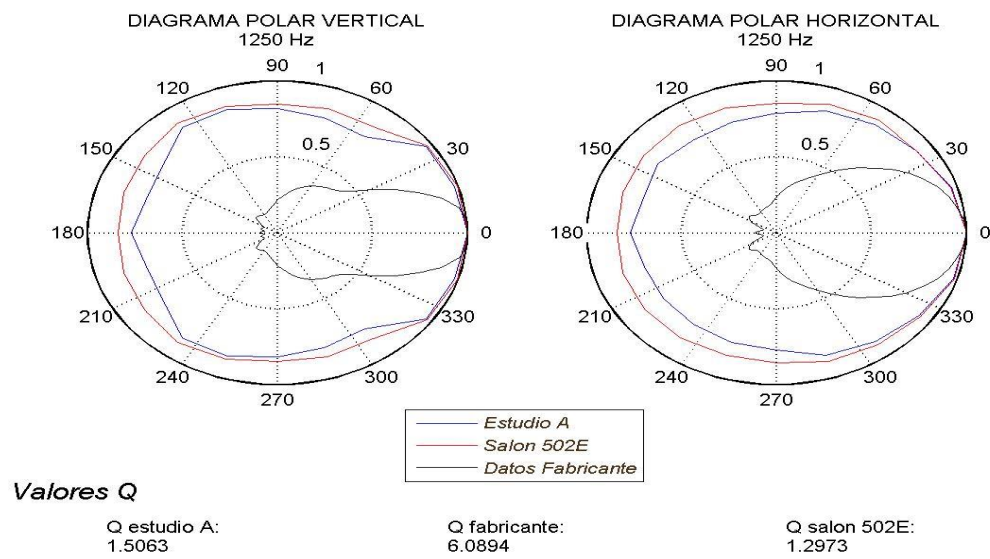


Fig. 204. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 1250 Hz.

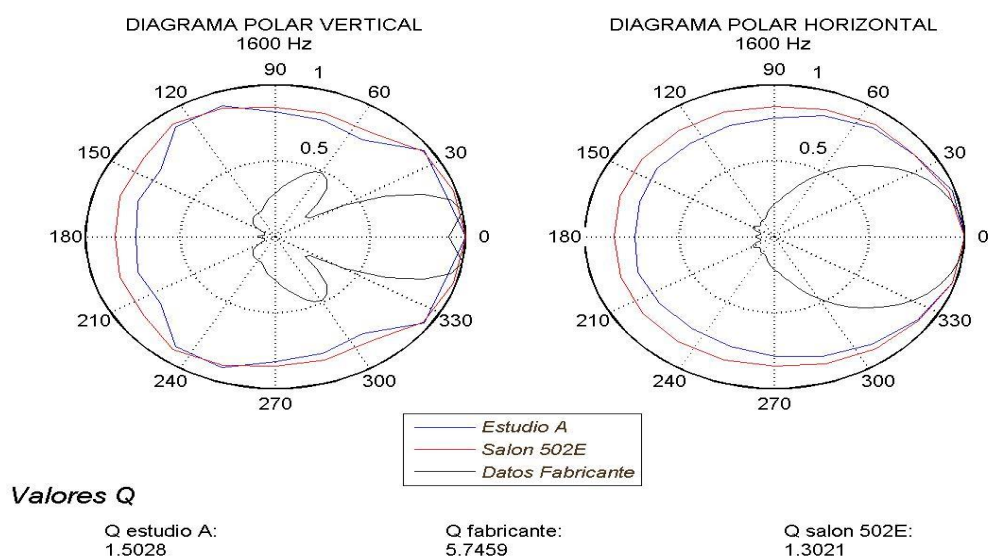


Fig. 205. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 1600 Hz.

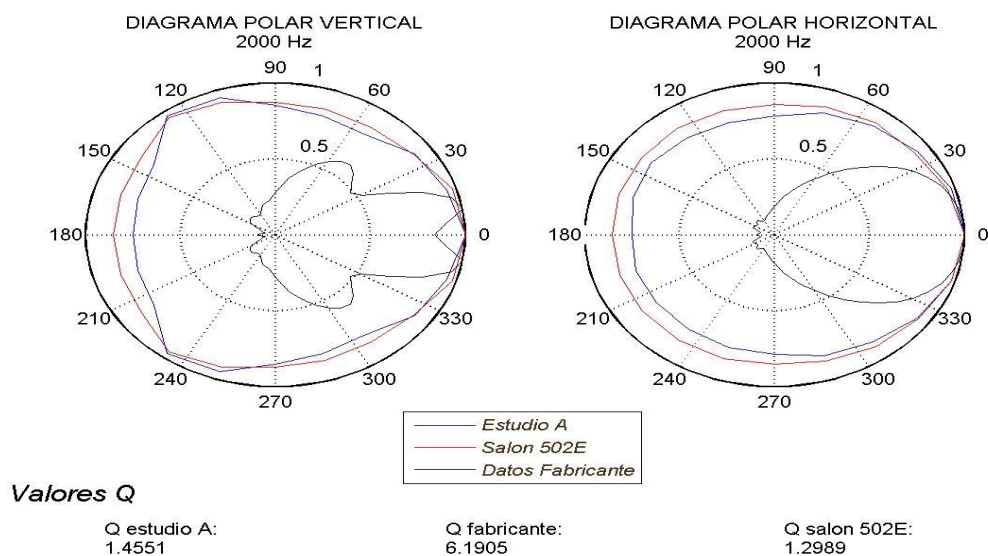


Fig. 206. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 2000 Hz.

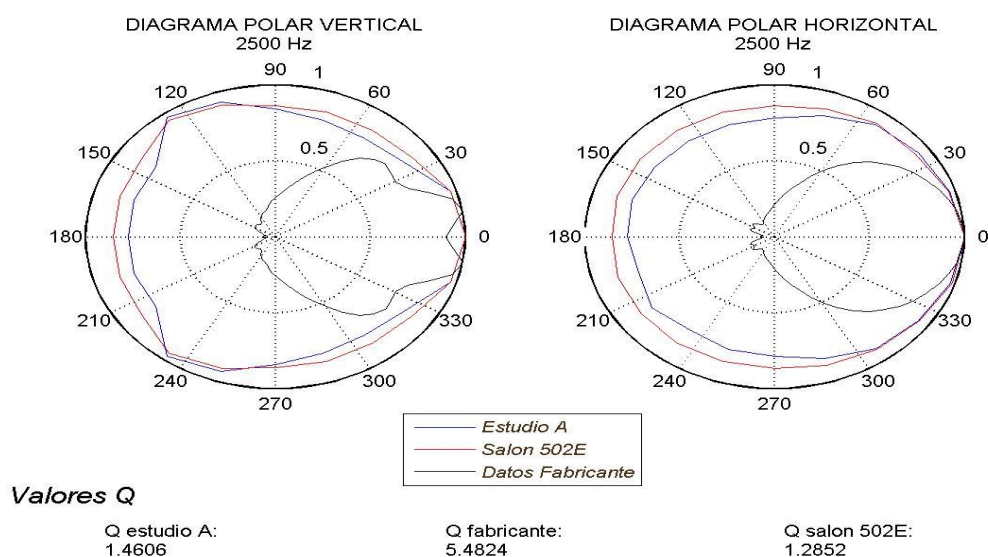


Fig. 207. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 2500 Hz.

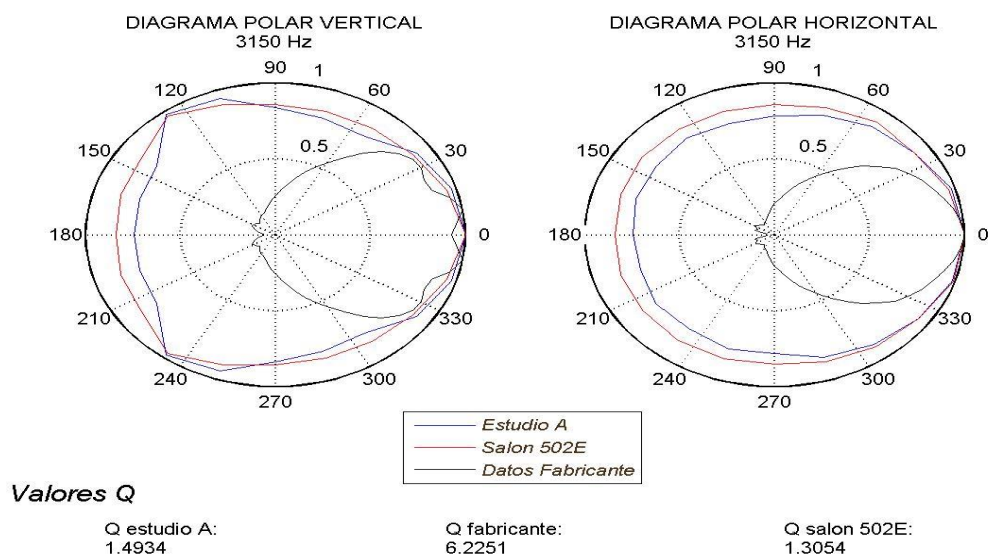


Fig. 208. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 3150 Hz.

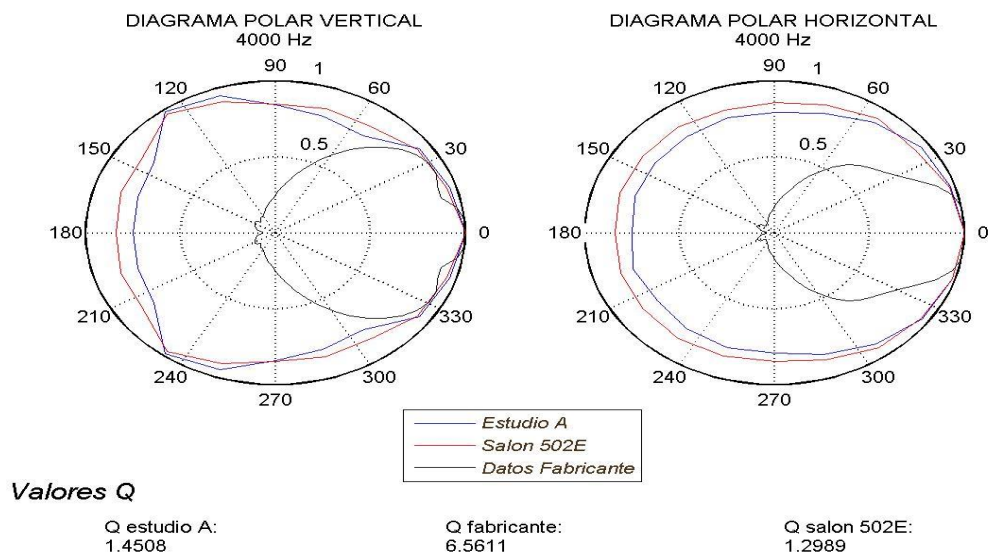


Fig. 209. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 4000 Hz.

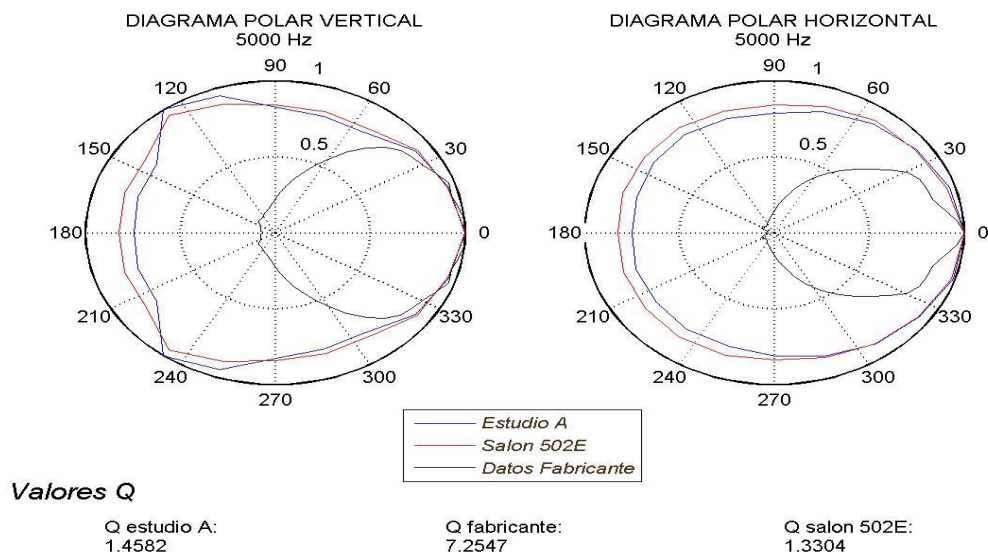


Fig. 210. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 5000 Hz.

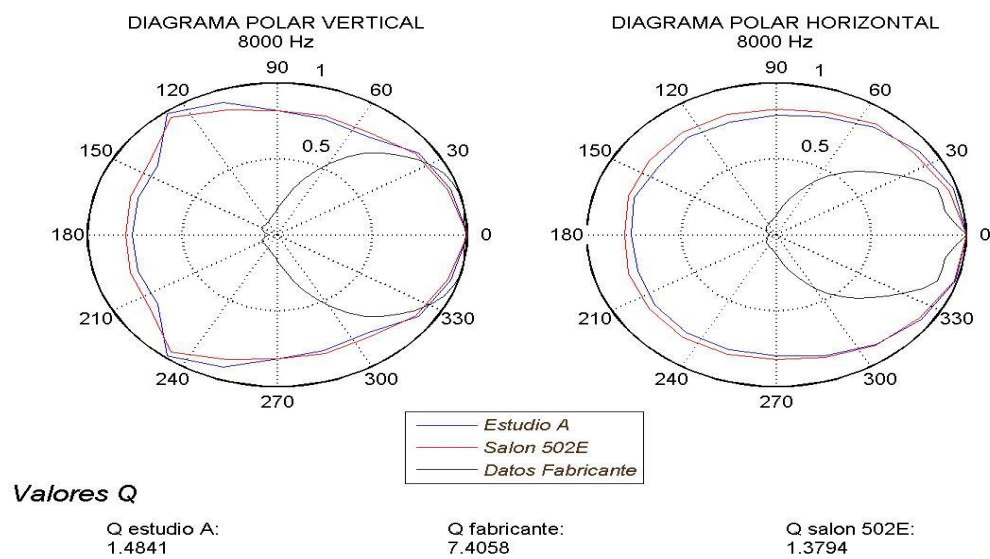


Fig. 211. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 8000 Hz.

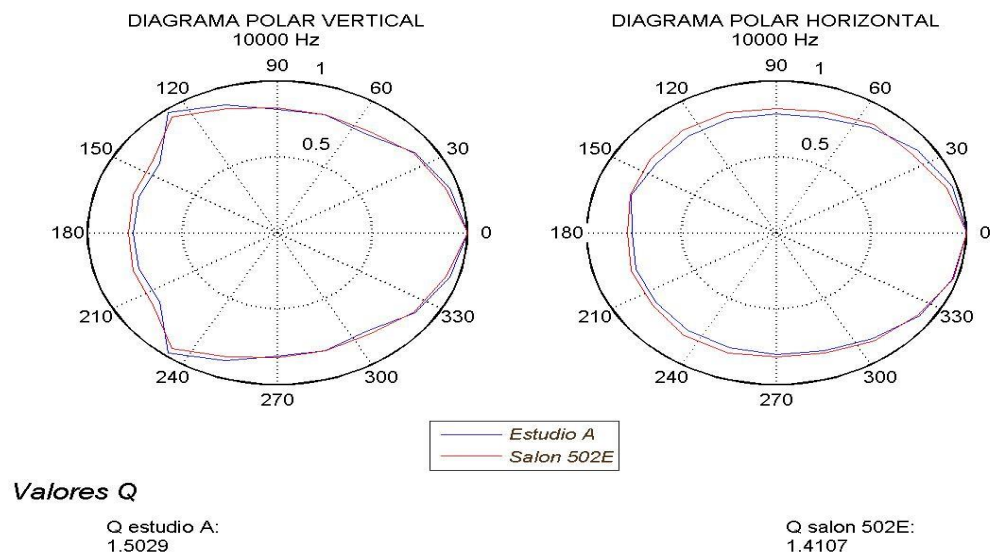


Fig. 212. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 10000 Hz.

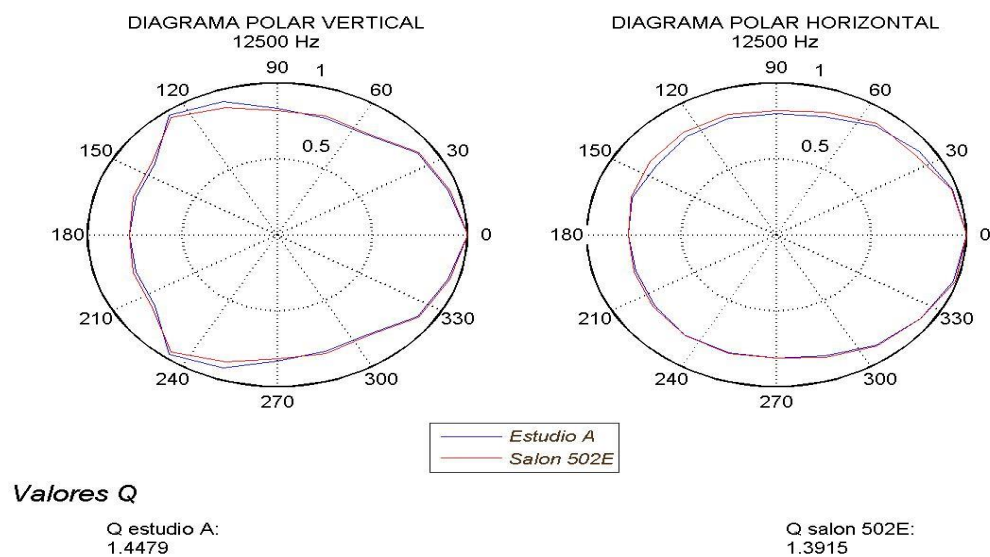


Fig. 213. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 12500 Hz.

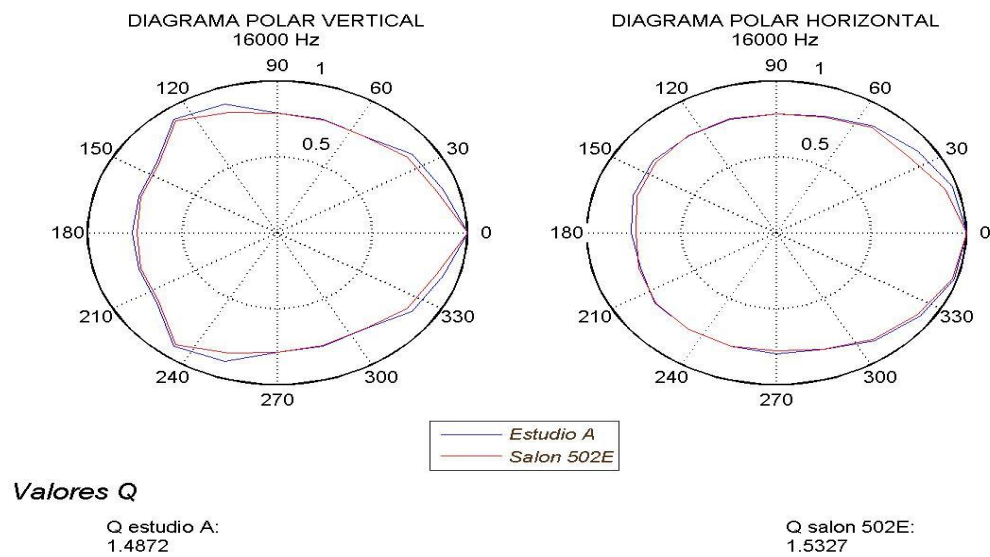


Fig. 214. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 16000 Hz.

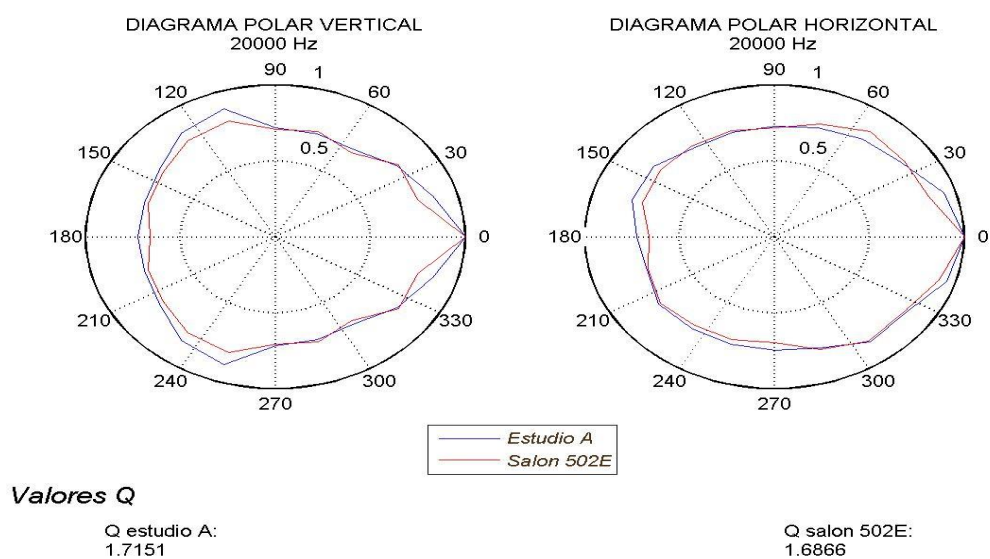


Fig. 215. Gráficas polares en ejes azimutal y de elevación del altavoz Genelec 1032A en los diferentes recintos de medición para una frecuencia de 20000 Hz.