

**EVALUACIÓN DE AURALIZACIONES CREADAS MEDIANTE MÉTODOS
NUMÉRICOS BASADOS EN ACÚSTICA GEOMÉTRICA Y REPRODUCIDAS
EN EL SISTEMA DE REPRODUCCIÓN BINAURAL OPSODIS**

**MARIO ALFONSO HENRÍQUEZ ROMERO
ÁNGEL DAVID LONDOÑO RENTERÍA**

Proyecto De Grado

**Asesor:
MSc. Luis Alberto Tafur Jiménez**

**Universidad de San Buenaventura
Facultad De Ingenierías
Ingeniería de Sonido
Medellín
2014**

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	6
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.5 PROPÓSITO DEL PROYECTO.....	8
1.6 MARCO TEÓRICO.....	9
1.6.1 Métodos de grabación del material anecoico.....	9
1.6.2 Acústica geométrica.....	9
1.6.2.1 Trazado de rayos.....	9
1.6.2.2 Fuentes imagen.....	10
1.6.2.3 Métodos híbridos.....	11
1.6.2.4 <i>Randomized tail-corrected cone-tracing</i>	11
1.6.3 Respuesta al impulso.....	11
1.6.4 Convolución.....	12
1.6.5 Audio tridimensional.....	12
1.6.5.1 Audífonos.....	13
1.6.5.2 Arreglo de dos parlantes.....	13

1.6.5.3 Arreglo de cuatro parlantes.....	13
1.6.5.4 Ambisonics.....	14
1.6.5.5 OPSODIS.....	14
1.7 ESTADO DEL ARTE.....	14
2. METODOLOGÍA.....	16
2.1 ETAPA DE GENERACIÓN.....	17
2.2 ETAPA DE TRANSMISIÓN.....	17
2.2.1 Medición.....	17
2.2.2 Modelos computarizados.....	19
2.2.3 Obtención de las auralizaciones.....	21
2.3 ETAPA DE REPRODUCCIÓN.....	21
2.4 ETAPA DE EVALUACIÓN.....	22
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
3.1 ANÁLISIS INICIAL.....	23
3.2 COMPARACIÓN OBJETIVA.....	24
3.3 ESCUCHA CRÍTICA.....	34
3.3 PRUEBA SUBJETIVA.....	35
4. ANALISIS.....	38
5. CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXO A. INFORME DE MEDICIÓN DE RESPUESTA AL IMPULSO.....	44

pág.

ANEXO B. INFORME DE MEDICIÓN DE DIRECTIVIDAD DEL PARLANTE EON-15 G2.....	84
ANEXO C. FICHA TÉCNICA GRABACIÓN DE MENSAJES LIBRES DE REVERBERACIÓN.....	100
ANEXO D. CÓDIGO PARA CONVOLUCIÓN DE RESPUESTAS AL IMPULSO BINAURALES CON EL MATERIAL SONORO.....	107
ANEXO E. FORMULARIO DE LA PRUEBA SUBJETIVA.....	110

RESUMEN

Este proyecto se basa en la evaluación de la sensación sonora generada por las auralizaciones creadas mediante el modelo de acústica geométrica utilizado por el software CATT-Acoustic, utilizando el sistema de reproducción binaural OPSODIS. La evaluación se realizó mediante la comparación objetiva y subjetiva entre los resultados obtenidos de la simulación de dos recintos ya construidos y valores de referencia obtenidos mediante mediciones en los mismos. El proyecto está dividido en 4 etapas fundamentales: etapa de Generación, etapa de Transmisión, etapa de Reproducción y etapa de Evaluación. En este documento se expresan metodologías, resultados y particularidades encontradas durante la realización del proyecto.

INTRODUCCIÓN

La auralización es un proceso por el cual se puede recrear el campo sonoro de un recinto de manera virtual en forma de archivo audible, esto puede ser realizado utilizando distintos métodos como: modelos a escala, simulación mediante acústica geométrica o respuestas al impulso medidas directamente en los recintos. Hoy en día existen distintos programas informáticos que utilizan métodos de acústica geométrica para predecir las características acústicas de un recinto, en algunas ocasiones de forma muy precisa, sin embargo, los datos obtenidos por estos métodos siguen siendo una aproximación a la realidad, por lo tanto la precisión de los resultados puede variar debido a distintos factores.

El proyecto busca evaluar, la precisión de los métodos de acústica geométrica utilizados por el software CATT-Acoustic para la creación de auralizaciones, mediante un proceso de comparación, utilizando como referencia datos medidos en recintos construidos.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la fidelidad de las auralizaciones creadas mediante métodos numéricos basados en acústica geométrica utilizando el software de predicción acústica CATT-Acoustic y el sistema de reproducción binaural OPSODIS.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el material sonoro que será reproducido en los recintos simulados.
- Medir los parámetros acústicos y las respuestas al impulso de los recintos a simular.
- Simular el campo acústico de dos recintos aplicando métodos de acústica geométrica en el software CATT-Acoustic.
- Comparar de manera objetiva los parámetros obtenidos de la simulación y los obtenidos de la medición.
- Evaluar de forma subjetiva las auralizaciones mediante pruebas de escucha donde se evalúe la sensación sonora generada por las auralizaciones utilizando el sistema de reproducción binaural OPSODIS.

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL

El proyecto consiste en evaluar el modelo de acústica geométrica utilizado por el software CATT-Acoustic para la creación de auralizaciones, mediante comparaciones objetivas y subjetivas de los resultados obtenidos por la simulación del entorno virtual sonoro y las mediciones en recintos ya existentes.

Según Vörländer, auralización es "el proceso o técnica que se utiliza para crear un archivo sonoro audible a partir de datos numéricos (Simulados, Medidos o Sintetizados)" [1]. El proceso de auralización puede ser dividido en tres etapas fundamentales: Generación, Transmisión y Reproducción. El proyecto agrega una etapa adicional para la Evaluación.

La etapa de Generación, es donde se define y se crea el material sonoro que se va a reproducir en la auralización, el cual puede ser generado digitalmente o grabado. En caso de utilizar material grabado, en éste no debe existir influencia

de campo reverberante del recinto en el que se realizó la grabación. Dado lo anterior, sería necesario realizar la grabación en una cámara anecoica, pero, según Vörländer [1], es posible realizar las grabaciones en un estudio de grabación siempre que éste tenga un alto grado de absorción acústica. En esta etapa es necesario conocer la directividad de la fuente que se va a utilizar como referencia. En caso de utilizar un instrumento musical, se deben conocer los patrones de radiación de éste para ayudar a simular de forma más acertada su comportamiento en un ambiente real.

La segunda etapa es la de Transmisión. En esta etapa se obtiene el campo sonoro del recinto, a partir de mediciones y de un modelo computarizado de los mismos, teniendo en cuenta el material de cada una de las superficies y sus respectivos coeficientes de absorción. En esta etapa se obtienen las respuestas al impulso con las que se crean las auralizaciones. Con estas respuestas también se obtiene el tiempo de reverberación y otros parámetros de la norma ISO 3382 (para este proyecto C80 y D50), por bandas de octavas. Los archivos de audio son generados mediante la convolución de las respuestas binaurales con los mensajes grabados en la etapa anterior.

La tercera etapa es la Reproducción de las auralizaciones. Esta consiste en realizar pruebas de escucha crítica utilizando el sistema de reproducción binaural OPSODIS. Este sistema es una de las nuevas tecnologías en reproducción binaural y uno de sus aspectos innovadores es que ha dado solución a los problemas de pérdida de rango dinámico encontrados en otros métodos de reproducción [2].

El proyecto tiene una cuarta etapa de Evaluación, en donde se realizan comparaciones tanto objetivas como subjetivas de los resultados obtenidos en la simulación con los de la medición. En la comparación objetiva se tienen en cuenta los valores de tiempo de reverberación, claridad y definición por bandas de octava. En la evaluación subjetiva se realizan pruebas comparativas de escucha, en estas los participantes deben calificar la similitud entre la sensación sonora generada por las auralizaciones creadas mediante simulación en CATT-Acoustic y las creadas a partir de datos medidos.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se basa en la pregunta: ¿Qué tan eficaz puede ser la aproximación brindada por el método de acústica geométrica empleado por el software CATT-Acoustic para la realización de auralizaciones, utilizando mensajes sonoros con alto contenido en bajas frecuencias?

La acústica geométrica se ha utilizado desde los años 60 como un método de predicción del comportamiento de los recintos [1], con el fin de ayudar a los

ingenieros acústicos y arquitectos en su posterior diseño y construcción; además es uno de los procesos esenciales para la creación de auralizaciones. Estos métodos, aunque pueden llegar a simular de forma muy acertada siguen siendo una aproximación a la realidad. La predicción obtenida por medio de la acústica geométrica se basa en una solución especial de la ecuación de onda, la cual sólo se cumple si la longitud de onda es pequeña en comparación a las dimensiones geométricas de las superficies que la rodean; y grandes en comparación con la rugosidad y curvatura de estas superficies [1].

Con el proyecto no se busca refutar los resultados del método, más se busca evaluar el realismo que puede generar este modelo en las auralizaciones, mediante una comparación entre la sensación sonora generada por el recinto modelado por computadora y los datos obtenidos a través de mediciones.

Cabe aclarar que el método de reproducción es importante, ya que de este depende la naturalidad de la escucha de las auralizaciones. El proyecto propone el uso del sistema de reproducción OPSODIS, el cual tiene ciertas ventajas en comparación a otros sistemas, presentando una escucha más natural [2].

1.5 PROPÓSITO DEL PROYECTO DE GRADO

Hoy en día en el medio de la acústica arquitectónica se ha optimizado la predicción de parámetros acústicos para un recinto, siendo ésta una de las etapas fundamentales para la auralización. Este es un proceso de presentación audible, por modelación física o matemática del campo sonoro de una fuente en un recinto, de manera que simula la experiencia sonora en una determinada posición en el espacio modelado [3].

El propósito del proyecto es evaluar las auralizaciones creadas utilizando el método de acústica geométrica del software CATT-Acoustic, mediante la escucha comparativa con auralizaciones de referencia creadas a partir de respuestas al impulso medidas en dos recintos ya construidos. La evaluación subjetiva se basa en pruebas de escucha comparativa, utilizando un formulario para evaluar la similitud de las auralizaciones en cuatro aspectos fundamentales: localización, timbre, reverberación y sensación sonora en general. Los participantes empleados para la prueba son estudiantes de ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura. La evaluación también comprende la comparación objetiva de los parámetros estipulados por la norma ISO 3382.

La reproducción de las auralizaciones se puede realizar de diferentes maneras. Entre las técnicas más conocidas de representación sonora se encuentran: Técnicas binaurales mediante el uso de HRTF, técnicas estéreo con cancelación de *crosstalk*, Ambisonics, WFS, entre otros [1]. El sistema de reproducción escogido para este proyecto es el OPSODIS, un sistema binaural que presenta

ventajas en relación a otras formas de reproducción. Este sistema no presenta problemas pérdida de rango dinámico que se presenta en algunos sistemas multicanal debido a la cancelación de *crosstalk* [2].

1.6 MARCO TEÓRICO

1.6.1 Métodos de grabación del material anecoico. Las grabaciones del material sonoro deben ser hechas de tal forma que se pueda cubrir proporcionalmente las características direccionales de la fuente con un arreglo de micrófonos, para garantizar que los patrones de radiación sean constantes para todas las componentes de la señal. Esto debido a que existen instrumentos musicales que tienen un patrón de radiación que varía al momento de ejecutar diferentes tonalidades, por ejemplo, los instrumentos de viento de madera, en los cuales sus válvulas u orificios están abiertas y cerradas durante la ejecución [4].

Las grabaciones simultáneas multicanal contendrán la información espacial de la fuente con respecto a las asimetrías en el instrumento, los movimientos de los ejecutantes y los cambios en la radiación en diferentes tonos. Para lograr esto se hace un promedio para cada banda de octava tomando muestras de los tonos que contenga todo el registro del instrumento, para cada uno de los micrófonos, que posteriormente se filtran para cada banda de octava y finalmente con cada muestra filtrada se hace un promedio logarítmico [4].

Para la grabación de instrumentos que tienen una radiación constante, tales como los de viento de metal, en los cuales la emisión sonora es dominada por la abertura de su campana, y no cambia durante la ejecución. La captura puede realizarse utilizando un solo micrófono [1]. Las capturas monofónicas deben realizarse de modo que se obtenga la mayor información posible del instrumento, por esto los micrófonos deben ubicarse en la parte del instrumento que radie mayor cantidad de sonido [1].

1.6.2 Acústica geométrica. La acústica geométrica es la base de muchos programas para predecir el comportamiento de un recinto, ya que permite analizar la respuesta de una sala a la excitación de un sonido emitido por una fuente. Para esto, la energía de una fuente es representada en forma de rayos que se desplazan por el recinto en distintas direcciones, estos rayos colisionan con las superficies del recinto generando reflexiones especulares y/o difusas (según el método utilizado) [1, 5]. Existen varios métodos de predicción basados en acústica geométrica, tales son: trazado de rayos, método de fuentes imagen y métodos híbridos.

1.6.2.1 Trazado de rayos. Este método consiste en crear el patrón de rayos sonoros considerando la atenuación que el sonido sufre al recorrer diferentes trayectorias hasta que la energía del rayo decae a una millonésima parte de la

inicial, análogo a una reducción de 60 dB en el nivel de presión sonora, de acuerdo con la definición del tiempo de reverberación según Sabine. La trayectoria del rayo se traza en forma de línea recta hasta que se encuentra con alguna de las superficies del recinto, donde cambiará su dirección conforme a la teoría de reflexión especular (ley de Snell). Al pasar por una zona de detección, la energía asociada al rayo se registra según el tiempo de arribo, acumulándola en un arreglo de números. Los elementos de este arreglo representan la energía acústica para distintos valores discretos de tiempo, por lo que la energía se registra en la posición que corresponde al lapso de tiempo desde que se disparó el rayo hasta que fue detectado, dando como resultado es una señal de energía acústica en función del tiempo [1, 6]

1.6.2.2 Fuentes imagen. En este método las señales reflejadas se muestran en los bordes del recinto como si provinieran de fuentes sonoras situadas detrás de la superficie donde ocurrió la reflexión. El orden de estas fuentes depende del número de veces que el sonido es reflejado, de modo que una fuente imagen de primer orden se crea cuando el rayo que llega a la superficie proviene directamente de la fuente, las fuentes de orden mayor se crean cuando los rayos provienen de otra fuente imagen. Cada imagen presenta una reducción de amplitud en relación al rayo incidente, esta reducción se da según el coeficiente de absorción del material de que este hecho la superficie reflectante, al igual que pasa en el método de trazado de rayos cuando un rayo se encuentra con un objeto o una superficie. Las fuentes imaginarias se localizan trazando una línea recta perpendicular a la superficie reflejante que cruce por la posición de la fuente original, encontrándose en el mismo lugar que la original pero en dirección hacia atrás de la pared como muestra la Figura 1.

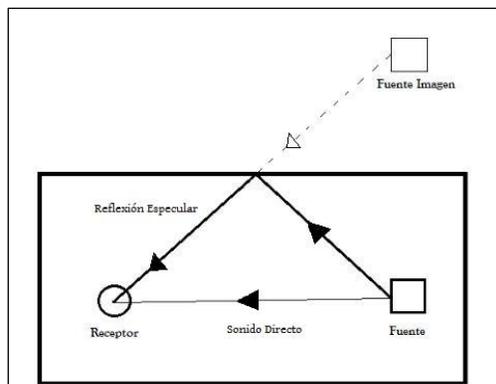


Figura 1. Representación del método fuentes imagen

Para obtener la respuesta acústica de la sala se reciben pulsos de presión desde las fuentes hasta la posición en la que se desea registrar la respuesta a impulso, tomando en cuenta el tiempo que tarda en llegar la señal desde lugares cada vez

más lejanos. La magnitud de la amplitud de las fuentes se suma en un arreglo de números, cuyos elementos corresponden con valores discretos del tiempo de arribo [1, 6].

1.6.2.3 Métodos híbridos. Es la combinación del método de trazado de rayos y el de fuente especular. Con este método se logró solucionar algunos problemas y desventajas con respecto a la resolución e implementación del software que tienen los métodos anteriores, además se incluye al cálculo el parámetro de dispersión [1]. Algunos métodos híbridos muy usados son el *cone-tracing*, *beam-tracing* y el *pyramidal-tracing*.

1.6.2.4 Randomized Tail-Corrected Cone-Tracing. Es el modelo de acústica geométrica que utiliza CATT-Acoustic. Es un algoritmo híbrido el cual combina características del modelo de fuentes imagen, trazado de conos y trazado de rayos, los cuales se aplican según el orden de las reflexiones [1]. Las reflexiones especulares de primer y segundo orden se hallan utilizando el método de fuentes imagen, mientras que las reflexiones difusas de primer orden se hallan utilizando pequeñas fuentes distribuidas sobre la superficie difusora, se crean vectores desde la fuente a cada una de estas fuentes y estas son reflejadas al receptor [7] como se observa en la Figura 2.

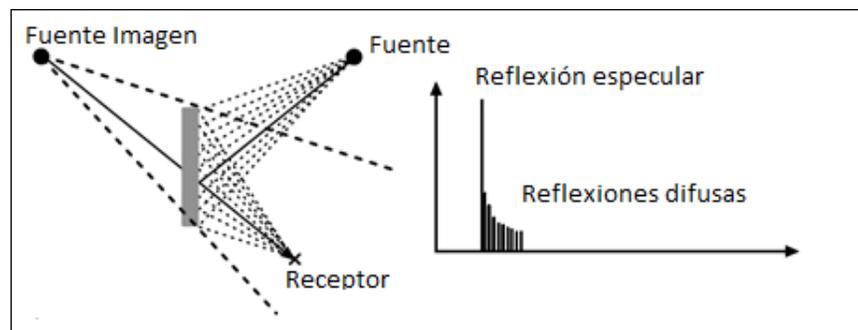


Figura 2. Reflexiones de primer orden, *Randomized Tail-Corrected Cone-Tracing* (por Vörländer [1])

Las reflexiones de orden mayor son halladas mediante trazado de conos independientes para cada banda de octava, donde para cada reflexión se genera un número aleatorio entre $[0, 1]$; si el número generado es menor al valor del coeficiente de dispersión el rayo será reflejado de manera aleatoria siguiendo la ley de Lambert, de lo contrario se generará una reflexión especular [8].

1.6.3 Respuesta a impulso. La respuesta a impulso es una señal que muestra la salida de un sistema invariable en el tiempo, al ingresarle una impulso unitario (*delta Dirac*) [9]. Tomando el recinto como un sistema LTI, la respuesta al impulso indica cómo responde la sala a la excitación sonora procedente de una

fuentes que emiten un sonido impulsivo, es decir, un evento sonoro de muy corta duración y de gran intensidad, como una explosión de cohete o una pistola. Esta señal es captada por un micrófono y queda conformada por tres elementos básicos: el sonido directo emitido por la fuente, las primeras reflexiones de la sala y las reflexiones tardías, conocidas como cola reverberante. La respuesta al impulso brinda toda la información necesaria en tiempo y frecuencia para conocer las modificaciones a la señal inicial que generó la sala. La Figura 3 muestra un ejemplo de una respuesta al impulso de un recinto.

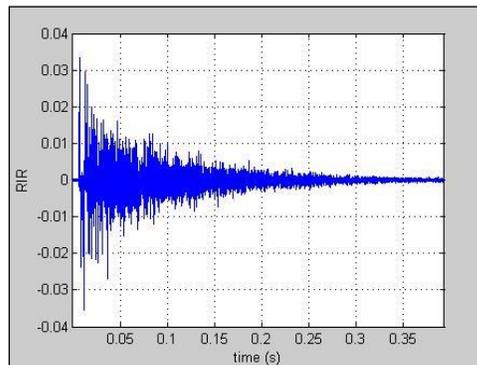


Figura 3. Representación gráfica de una respuesta al impulso

1.6.4 Convolución. La convolución es una operación matemática, en la cual se combinan dos funciones creando una tercera función. La operación representa la magnitud de la superposición de una función f con una versión invertida y desplazada de una función g . La representación de una convolución es la manera de representar el cambio de una señal al pasar por un sistema LTI con una respuesta al impulso dada [9]. La convolución se puede realizar por medio de computadores y además existen distintos modelos de implementación. La operación se realiza punto a punto, puede necesitar alta capacidad de procesamiento, y requiere de un tiempo de procesamiento que varía dependiendo de las señales que se van a utilizar.

1.6.5 Audio tridimensional. El audio tridimensional, busca simular la respuesta del oído humano al sonido proveniente de distintas direcciones. Los seres humanos tienen la capacidad de ubicar fuentes sonoras en el espacio debido a diferencias interaurales de tiempo y de amplitud recibidas en ambos oídos; y la respuesta obtenida después de la interacción del sonido con el torso, la cabeza y las orejas, todas actuando como un filtro que varía dependiendo de la proveniencia del sonido.

Las diferencias de nivel, se dan debido a que la cabeza actúa como una barrera, generando la llamada “sombra acústica”, dada por el fenómeno de difracción.

Este fenómeno sólo se presenta para frecuencias cuya longitud de onda sea pequeña en comparación al diámetro de la cabeza [10]. Las diferencias de tiempo, están dadas por la diferencias de arribo de la onda a ambos oídos, debido a la diferencia entre caminos recorridos por la onda para llegar a cada uno.

En las orejas también se produce un fenómeno de diferencias de tiempos de arribo debido a las reflexiones dadas por la forma particular de las orejas, solo que en este caso lo que se crea son cancelaciones y adiciones, esto es conocido como filtro peine. El torso y los hombros también hacen parte de este proceso ya que el sonido que se refleja desde ellos hacia las orejas llega con cierto desfase generando el mismo efecto [10]. Estos filtros tienen su función de transferencia, las HRTF (*Head Related Transfer Functions*), y sirven para emular la transformación generada por estos filtros al sonido proveniente de la fuente antes de llegar a los oídos. Existen distintos sistemas de reproducción para el audio tridimensional, algunos se mencionan a continuación.

1.6.5.1 Audífonos. Los audífonos son un sistema de transductores electroacústicos diseñados para ser ubicados en las orejas. Los audífonos representan una forma fácil de simular la escucha binaural, ya que la información de cada canal llega al oído correspondiente, evitando así el efecto de *crosstalk* (diafonía). La escucha binaural por medio de audífonos, puede tener, también una serie de desventajas, como por ejemplo la sensación de que las fuentes están ubicadas dentro de la cabeza, a este efecto se le llama lateralización [11], y se requieren algoritmos de externalización para evitar este problema [9]. El uso de audífonos por un largo periodo de tiempo puede ser incómodo, además de generar fatiga auditiva en el usuario [11].

1.6.5.2 Arreglo de dos parlantes. Este arreglo, consiste en dos parlantes ubicados en frente del usuario a cierta distancia uno del otro, generando la analogía a un dipolo acústico. Uno de los problemas de este sistema, es la diafonía o *crosstalk*, que es cuando la información que debería llegar a un oído llega al otro. Para evitar este problema, se debe eliminar la interferencia por medio de cancelaciones (*crosstalk cancellation*). En un sistema estereofónico, la cancelación de *crosstalk* se realiza enviando la información que se quiere llevar al oído correspondiente más la información que llega al oído contrario, ésta última con un desfase, de forma que al llegar al oído haya un efecto de cancelación con la información que se filtra desde el otro parlante. Esto funciona para un punto del espacio, así que el usuario debe estar estático a fin de no perder el efecto [12]. Se debe implementar un sistema Head-Tracking para que el usuario tenga una mayor libertad de movimiento sin perder el efecto [13].

1.6.5.3 Arreglo de cuatro parlantes. También conocido como Quadraphonics, consiste en un arreglo de cuatro parlantes ubicados, regularmente, en forma de

un cuadrado perfecto imaginario, apuntando a un punto central [12]. Este sistema también necesita un proceso de cancelación de *crosstalk*.

1.6.5.4 Ambisonics. Llamado en ocasiones B-format, es un estándar de grabación y reproducción espacial, que utiliza un micrófono especial (*soundfield microphone*). Básicamente, la información es codificada en cuatro canales conocidos como X, Y, Z y W. El resultado es la descomposición del campo acústico en armónicos esféricos en términos de la presión sonora (W), con un micrófono omnidireccional y tres componentes de su gradiente (X, Y y Z) obtenidos a través de micrófonos bidireccionales. En la reproducción, las cuatro señales son combinadas por medio de una matriz decodificadora, donde la información que llega a cada parlante es una combinación lineal de todas las señales y es dependiente a su ubicación en un arreglo que rodea un punto [1].

1.6.5.5 OPSODIS. El sistema OPSODIS, trabaja con el principio de distribución óptima de fuentes OSD (del inglés *Optimal Source Distribution*), este principio propone un arreglo de dos (o tres) [14] transductores por canal que varían su separación en relación a la frecuencia, siendo el espacio entre estos, menor en frecuencias altas y mayor a frecuencias bajas. El sistema OPSODIS se basa en un modelo discreto de este principio, de modo que se define un número de transductores con separación fija, la información de cada canal es dividida por bandas de frecuencia y luego enviada a los parlantes correspondientes según la separación entre par de transductores requerida para el rango de frecuencia de interés [2]. El sistema cuenta con buen rango dinámico, bajo índice de distorsión armónica y amplio punto de escucha (*sweet-spot*), lo cual hace posible la reproducción para múltiples usuarios con mínima pérdida del efecto binaural.

1.7 ESTADO DEL ARTE

La auralización no es un tema reciente, ya en los años 30 se había formulado una forma de emular el campo acústico de un recinto mediante modelos a escala, pero resultaba difícil debido a las limitaciones de la tecnología de la época. En 1934 Spandöck presentó una técnica utilizando señales ultrasónicas en un modelo a escala de un recinto. En los años 60 con el desarrollo de los computadores se rediseñó el concepto de simulación de recintos, y aparecieron los primeros programas computarizados de predicción acústica para recintos [1]. Desde la época se han realizado avances en los modelos de acústica geométrica para la obtención de auralizaciones.

Se realizaron estudios sobre cómo afectaba la direccionalidad de las fuentes a la predicción de la auralización [15]. Se establecieron estándares para la obtención del material sonoro, al igual que se desarrolló una técnica multicanal para obtener una representación más acertada del campo acústico de las fuentes [4]. Esta técnica fue evaluada luego, a fin de conocer en qué grado podría afectar el

número de canales al realismo resultante en la auralización, y se encontró que a medida que aumentaba la cantidad de posiciones de micrófono se obtenía una mayor sensación de realismo en la auralización [16].

Los modelos computarizados fueron utilizados para el diseño de teatros y recintos multipropósito en los 70s, comprobando la precisión de estos modelos de predicción y demostrando la facilidad que representaban para la implementación de diseños acústicos [17, 18]. Estos recintos fueron simulados utilizando trazado de rayos. A finales de los 70s se realizaron estudios utilizando el método de fuentes imagen para la simulación de respuestas al impulso en recintos virtuales rectangulares, con las cuales se realizaba una convolución con voces grabadas para simular la reverberación de un recinto [19]. Años más tarde se desarrolló una extensión de este modelo para recintos con geometría más compleja [20], al mismo tiempo, se introducía por primera vez el algoritmo híbrido de acústica geométrica, el cual propone una combinación entre los modelos de trazado de rayos y fuente imagen [21]. Este método mostró gran precisión en el cálculo de las respuestas al impulso del recinto simulado.

En 1989 se desarrolló el software CATT-Acoustic, inicialmente basado en sistema operativo MS-DOS, utilizando la combinación de los modelos de fuente especular para las primeras reflexiones y el trazado de rayos para el decaimiento tardío [22]. En 1990 se realizó la primera auralización utilizando un DSP (dispositivo de procesamiento digital de señales). En 1995 se agregó un módulo de convolución, así el proceso completo de auralización se podía realizar desde un PC a pesar de la estrecha relación con el dispositivo DSP y las opciones de reproducción con Ambisonic [7].

En 1998, en su versión 7 para Windows de 32 bits fue introducido el *Related Tail-Corrected Cone-Tracing* (RTC) y una funcionalidad fundamental: la interfaz de directividad DLL (DDI). El RTC es un método muy general, útil para la predicción de los parámetros acústicos, así como para la auralización [8].

Se han utilizado distintos sistemas de reproducción basados en parlantes para la reproducción de auralizaciones, entre estos, el dipolo estéreo [23] y los sistemas de 4 parlantes [24]. Un estudio basado en la comparación del método Ambisonics con el dipolo estéreo para la reproducción de entornos virtuales sonoros, dio como resultado un bajo rendimiento al reproducir frecuencias bajas del dipolo acústico, además que el sweet-spot de este método es muy estrecho en comparación al del Ambisonics [12]. El sistema Ambisonics también se utilizó para la implementación de las auralizaciones en tiempo real [25].

Se realizaron evaluaciones subjetivas de las auralizaciones mediante la comparación entre material binaural grabado en un recinto con la auralización creada utilizando el modelo de fuentes imagen, concluyendo que se podía tener

un resultado muy acertado en la escucha binaural con las auralizaciones, aunque se observaron ciertas discrepancias, generalmente en sonidos impulsivos [26].

Hasta la fecha, varios estudios se han realizado para las pruebas de las auralizaciones. Estas pruebas eran realizadas utilizando reproducción binaural mediante audífonos o con el sistema Ambisonics [27, 26, 16]. No se encontró bibliografía referente a pruebas sobre auralizaciones realizadas utilizando el sistema OPSODIS.

2. METODOLOGÍA

El proyecto busca evaluar las auralizaciones creadas utilizando el método de acústica geométrica del software de predicción acústica CATT-Acoustic, mediante la comparación, tanto objetiva como subjetiva, de los resultados obtenidos en la simulación con datos de referencia obtenidos de la medición de recintos ya construidos. Para esto se escogieron dos recintos de la Universidad de San Buenaventura Medellín, con distintas dimensiones y geometría. El proyecto se divide en 4 etapas: etapa de Generación, etapa de Transmisión, etapa de Reproducción y etapa de Evaluación.

2.1 ETAPA DE GENERACIÓN

La etapa de Generación es donde se crea o se obtiene el material a ser reproducido en las auralizaciones, este material debe estar libre de reverberación. Para el proyecto se grabaron tres mensajes audibles utilizando fuentes con alto contenido en frecuencias bajas. El material escogido fue: una voz masculina, un bombardino y una tambora.

Todas las grabaciones fueron realizadas en el Estudio A de la Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín. Para garantizar la menor influencia del campo reverberante del recinto fue necesario un montaje con materiales absorbentes, micrófonos con patrón direccional cardiode y técnicas de grabación cercanas (ver Figura 4). Información detallada sobre los micrófonos utilizados se puede conseguir en la ficha técnica del proceso de grabación, en el Anexo C.

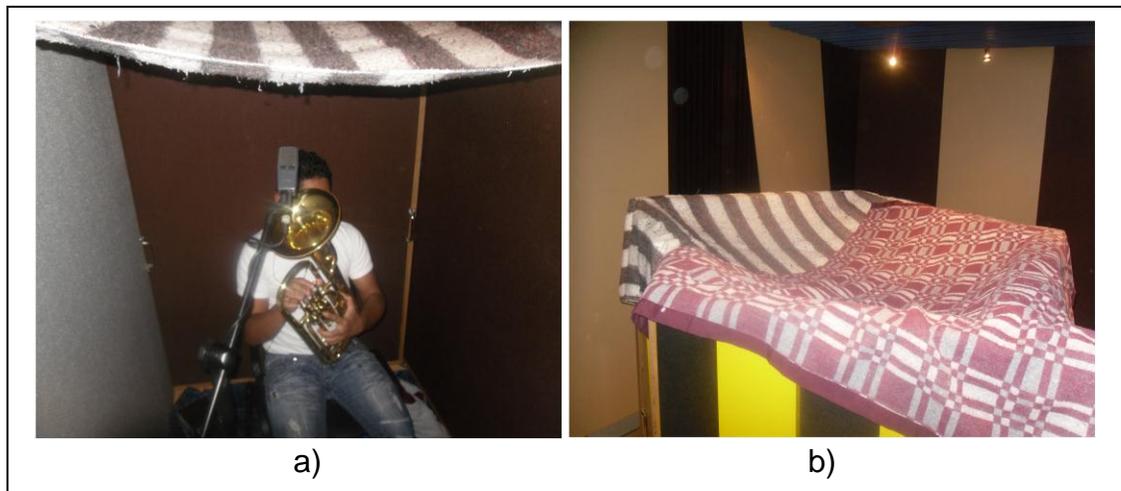


Figura 4. Etapa de generación. a) Grabación del bombardino, b) Montaje de materiales absorbentes

2.2 ETAPA DE TRANSMISIÓN

En esta etapa se escogen los recintos, se realizan las mediciones, se crean los modelos computarizados y se obtienen las respuestas al impulso con las que se crean las auralizaciones mediante la convolución de estas con los mensajes grabados en la etapa anterior. Los recintos escogidos para el proyecto fueron el Mini-Auditorio 2, ubicado en el bloque C, y el Aula 402E del bloque E.

Se realizó un análisis inicial de los recintos, se calculó el tiempo de reverberación de Sabine y se realizó un análisis modal teórico. Este análisis se hizo con la finalidad de tener un primer acercamiento al comportamiento de ambos recintos en relación al tiempo de reverberación y distribución modal. Para el cálculo de tiempo de reverberación los salones se simularon vacíos, ya que no se modelaron elementos como sillas mesas y pupitres, condiciones que se recrearon en la medición realizada posteriormente.

2.2.1 Medición. Se realizó una medición de respuestas al impulso monoaurales y binaurales en ambos recintos, basadas en la norma ISO 3382. Se utilizó el método de *sine-sweep*, con un barrido exponencial de frecuencias desde 20Hz hasta 20kHz. Las respuestas al impulso fueron luego obtenidas mediante un proceso de convolución inversa. Las capturas monoaurales fueron realizadas con un micrófono de medición mientras que las binaurales se realizaron con un maniquí (cabeza binaural) provista por el laboratorio de ingeniería de sonido de la universidad (ver Figura 5).



Figura 5. Medición de respuestas al impulso. a) Mini-Auditorio 2, b) Aula 402E

La fuente utilizada para las mediciones fue el parlante EON-15G2, un sistema de dos vías para refuerzo sonoro. Éste sistema se tomó como fuente de referencia y fue también simulado en los modelos computarizados. Se utilizó un cubrimiento normal, con tres posiciones de fuente y al menos tres posiciones de receptor por fuente. Todas las posiciones de receptor están a la altura aproximada de una persona sentada (aprox. 1.20 metros del piso), las posiciones de fuente se ubicaron a una altura de 1,30 metros.

Las capturas monoaurales fueron utilizadas para la estimación de los parámetros de tiempo de reverberación (T_{20} , T_{30} y EDT) y de distribución energética (C_{80} y D_{50}). Se realizó un promedio espacial entre los datos obtenidos en cada posición de receptor para obtener el tiempo de reverberación promedio por bandas de octava, este se muestra en la Figura 7. Todos los resultados y la descripción detallada del procedimiento de medición se pueden encontrar en el Anexo A.

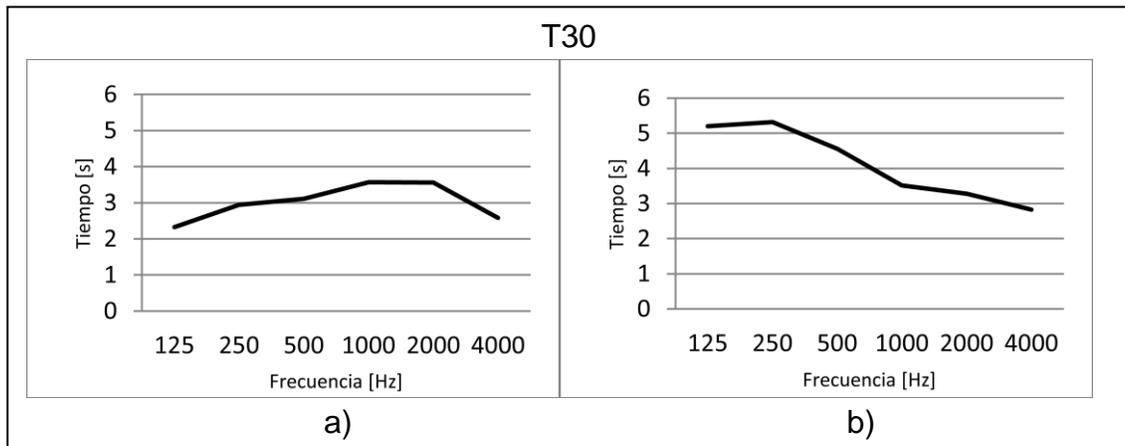


Figura 6. Promedio espacial para el tiempo de reverberación T_{30} . a) Mini-Auditorio 2, b) Aula 402E

2.2.2 Modelos Computarizados. Se modelaron ambos recintos en el software CATT-Acoustic, utilizando las dimensiones originales de ambos recintos y los coeficientes de absorción de los materiales de las superficies que los conforman (ver Figura 8). Estos coeficientes pueden encontrarse en distintos libros de acústica de recintos y fichas técnicas de materiales de construcción. Los modelos fueron simplificados para facilitar su implementación.

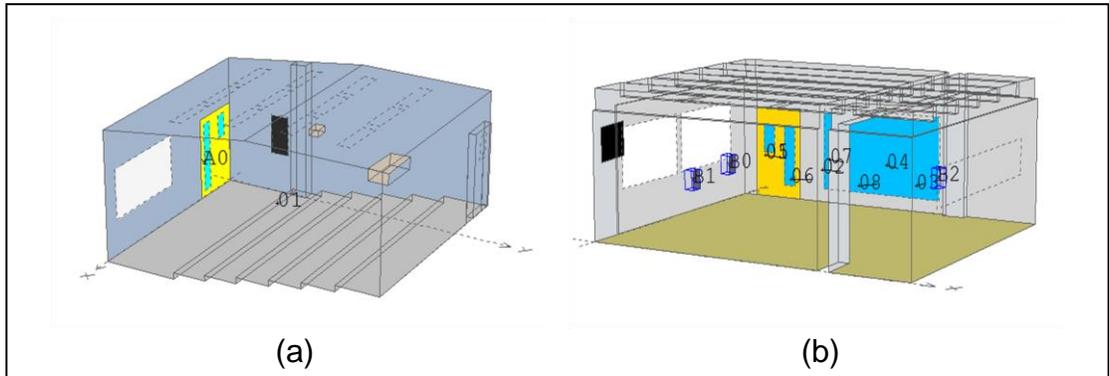


Figura 7. Modelos en CATT-Acoustic de los recintos. a) Mini-Auditorio 2, b) Aula 401E

Los coeficientes de dispersión se incluyeron siguiendo recomendaciones de diseño para modelos computarizados, estos valores son estimados según la dureza y rugosidad de los materiales.

Luego de implementar la geometría en los modelos computarizados, se realizó un proceso de calibración, el cual consistió en variar los coeficientes de absorción a modo de obtener una curva parecida a la dada por el tiempo de reverberación promedio obtenido en la medición, este proceso se realizó en el módulo de cálculo interactivo de Sabine/Eyring del CATT-Acoustic (ver Figura 9).

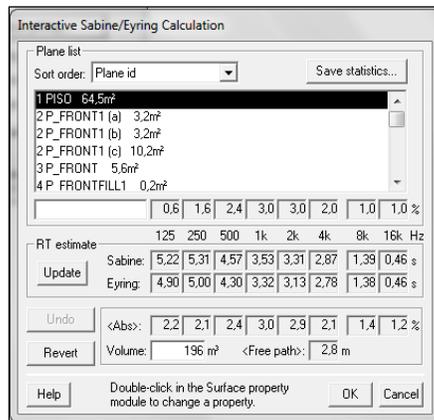


Figura 8. Ventana de cálculo interactivo de Sabine/Eyring en CATT-Acoustic

Una vez calibrados los modelos, se procedió a agregar las posiciones de fuente y de receptor usadas en la medición. Fue necesario modelar la fuente utilizada en la medición ingresando las especificaciones técnicas de la misma en el software de predicción (ver Figura 10). También fue necesario realizar una medición de directividad del parlante dado que este dato no estaba incluido en la ficha técnica, se puede conseguir un informe detallado de esta medición en el Anexo B.

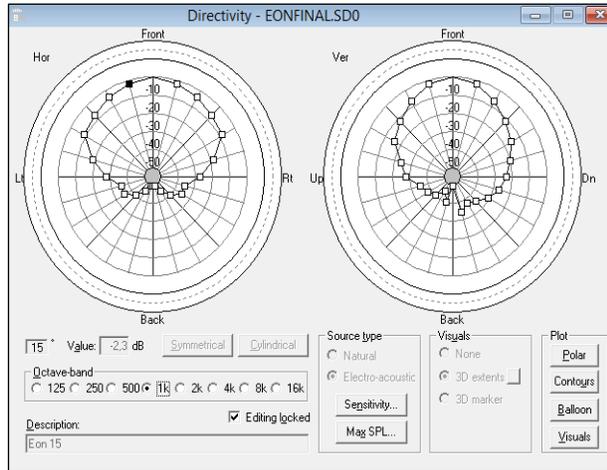


Figura 9. Ventana de directividad del software CATT-Acoustic

Después de la calibración se procedió a realizar el cálculo detallado de los parámetros acústicos. Para esto se utilizó una cantidad de rayos igual al doble de la recomendada por el software y un tiempo de truncamiento un poco mayor al tiempo de reverberación más alto obtenido en la medición, La Figura 11 muestra los ecogramas obtenidos en el software.

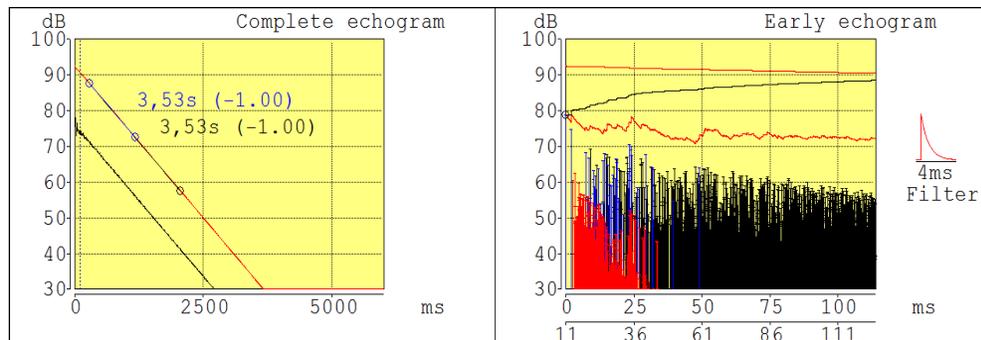


Figura 10. Gráfico de los ecogramas en CATT-Acoustic para la primera posición de fuente de la primera posición de receptor en el Aula 402E

Las respuestas impulsivas fueron obtenidas utilizando el módulo de post-procesamiento del software. De igual forma que en la medición, se obtuvieron respuestas monoaurales y binaurales. Las respuestas monoaurales fueron utilizadas para la obtención de los parámetros acústicos y su posterior comparación con los datos obtenidos en la medición.

2.2.3 Obtención de las Auralizaciones. Con las respuestas al impulso binaurales obtenidas de la medición y la simulación se procedió a realizar las auralizaciones mediante el proceso de convolución entre las respuestas y los mensajes audibles grabados en la etapa anterior. Este proceso fue realizado mediante el entorno de programación MATLAB. Los códigos utilizados pueden ser encontrados en el Anexo D.

2.5 Etapa de Reproducción. Esta etapa, como su nombre lo indica es donde se realiza la reproducción de las auralizaciones creadas. Para esta etapa se utilizó el sistema de reproducción binaural OPSODIS. En esta etapa se realizaron pruebas de escucha comparativa entre las auralizaciones creadas utilizando el software y las creadas con las respuestas al impulso medidas en los recintos.

2.4 Etapa de Evaluación. En esta etapa es donde se realiza la comparación entre las auralizaciones. La evaluación se realizó de dos maneras: de forma objetiva y de forma subjetiva. La evaluación objetiva se basa en la comparación de los parámetros de la norma ISO 3382 generados en la simulación y los obtenidos mediante la medición.

La evaluación subjetiva se realizó mediante pruebas de escucha crítica utilizando el sistema de reproducción binaural OPSODIS. En esta etapa los participantes escucharon 13 pares de auralizaciones, creadas utilizando los dos métodos (simulación y medición). Los participantes debían evaluar la similitud entre las auralizaciones en una escala de 1 a 4 donde: 1 es nada similar, 2 poco similar, 3 algo similar y 4 muy similar. Para esta evaluación se tuvieron en cuenta 4 aspectos principales: localización, timbre, reverberación y sensación sonora en general.

La localización se entiende como la capacidad de distinguir la procedencia del sonido generado por una fuente en un punto del espacio, el timbre se evaluó tanto para el contenido en frecuencias como para los cambios en la envolvente acústica. Para el parámetro de reverberación, se tuvo en cuenta la sensación del decaimiento de energía al igual que la distribución de la reverberación en el espacio. El parámetro de sensación sonora se tomó como una calificación general de la similitud entre las auralizaciones generadas por medio de software y las obtenidas de la medición.

La prueba se dividió en cuatro segmentos. En los tres primeros segmentos se reprodujeron cuatro pares de auralizaciones por cada uno de los tres mensajes grabados. El cuarto segmento se reprodujo un solo par de mensajes hablados, donde el evaluador tenía conocimiento de cuál de los archivos de audio era la auralización generada con el software y cuál era la proveniente de la medición. Esto con la finalidad de calificar la similitud en general entre ambas, el parámetro evaluado en esta prueba fue el de sensación sonora. A los formularios se les agregó una sección de comentarios, donde los participantes podían apuntar singularidades encontradas durante la prueba. La prueba se realizó con diez participantes (cinco por recinto), todos estudiantes de niveles superiores al 5to semestre de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANALISIS INICIAL

El análisis inicial muestra la diferencia en el comportamiento de ambos recintos debido a las diferencias de volumen y los materiales que los componen. Se puede observar tiempos de reverberación moderadamente altos en el Mini-Auditorio 2, en cambio el recinto 402E muestra valores muy altos, mayormente en las bandas de frecuencia entre 125Hz y 500Hz.

En las Tablas 1 y 2 se pueden observar los resultados obtenidos del cálculo de Sabine para ambos salones.

Tabla 1. Resultados, cálculos de Sabine, Mini-Auditorio 2

Mini-Auditorio 2						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Tiempo de Reverberación [s]	1,03	2,07	3,25	3,17	2,74	2,11

Tabla 2. Resultados, cálculos de Sabine, Aula 402E

Aula 402E						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Tiempo de Reverberación [s]	4,08	5,26	5,64	3,92	3,65	2,49

El resultado del análisis modal puede ser visto en la Figura 11, donde se observa mayor contenido de modos normales de vibración en el recinto 402E.

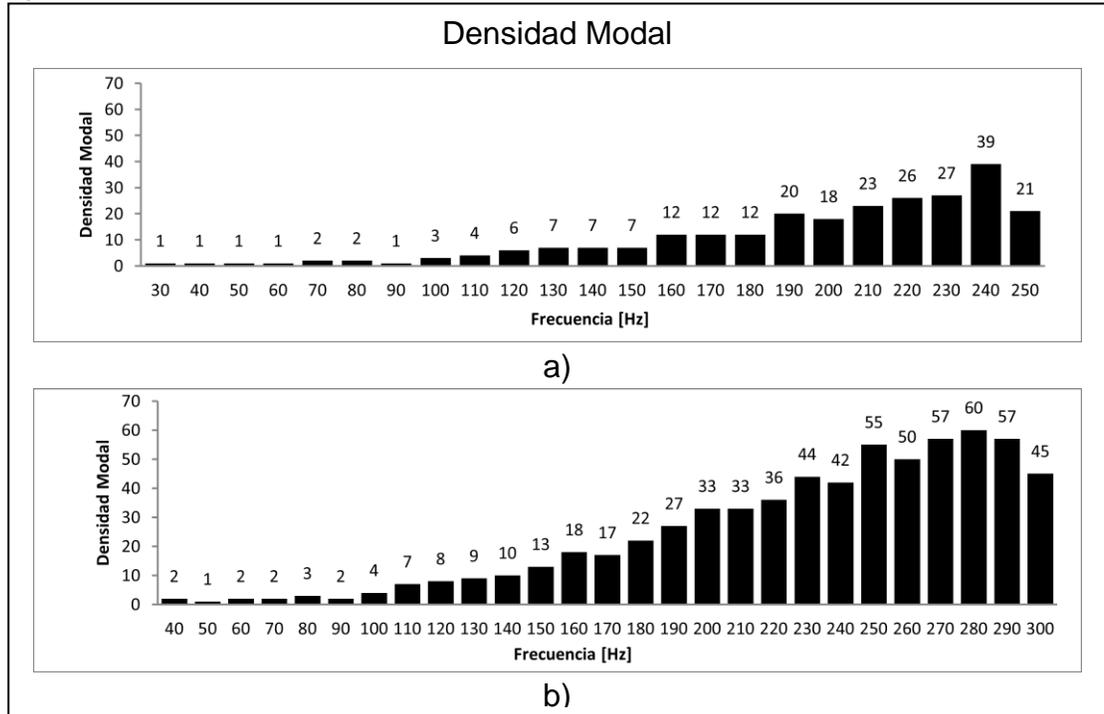


Figura 11. Densidad modal por recinto. a) Mini-Auditorio 2, b) Aula 402E

3.2 COMPARACIÓN OBJETIVA

Los resultados de la simulación muestran un comportamiento similar al recinto medido en datos de tiempo de reverberación, debido a la calibración que se realizó previamente en ambos recintos. En la Figura 4.4 se presenta la comparación entre los valores de T30, T20 y EDT promedio para ambos recintos. También se realizó una comparación entre los resultados de C80 y D50. Estos últimos mostraron mayores discrepancias, generalmente en la banda de 125Hz, aun así, en algunos puntos se logra observar que ambos siguen una tendencia similar en las bandas entre 1kHz y 4kHz. En las figuras 12 a 21 se muestran los resultados de la simulación comparados con los obtenidos en la medición para los parámetros de EDT, T30, T20, C80 y D50 para ambos recintos.

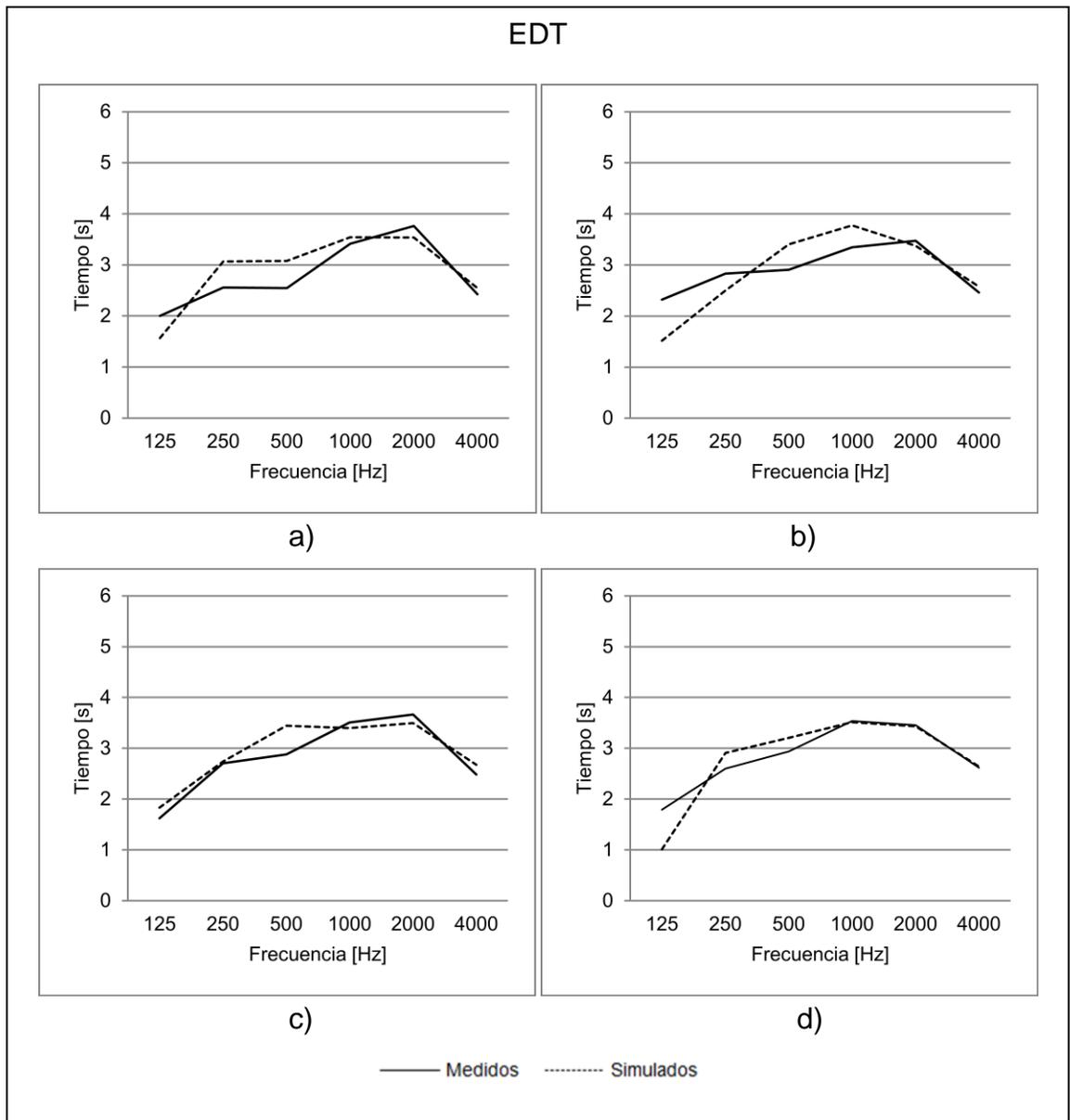


Figura 12. EDT por posición de receptor, Mini-Auditorio 2. a) Posición centro cercano b) posición lateral cercano, c) lateral lejano, d) centro lejano

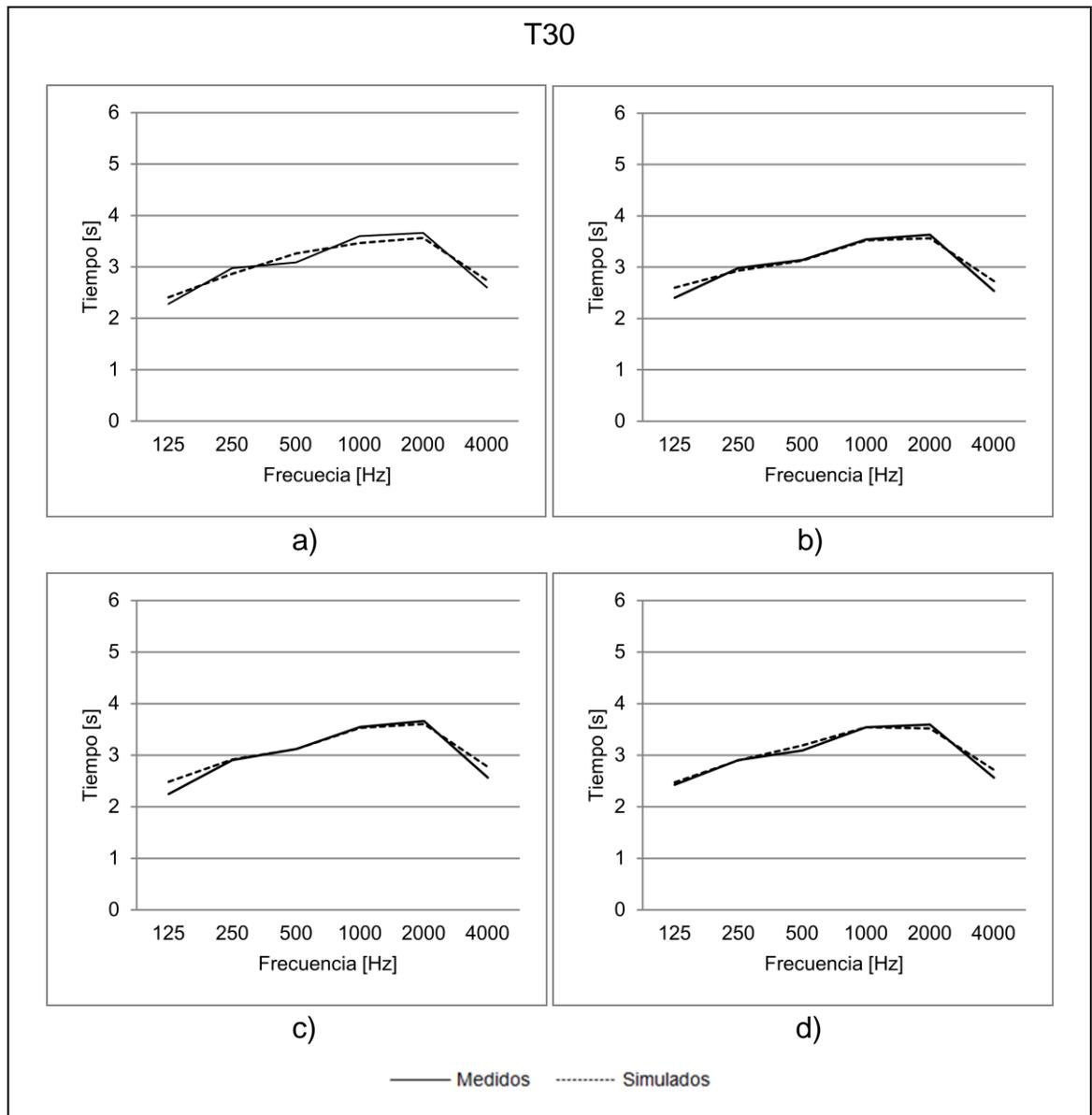


Figura 13. T30 por posición de receptor, Mini-Auditorio 2. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

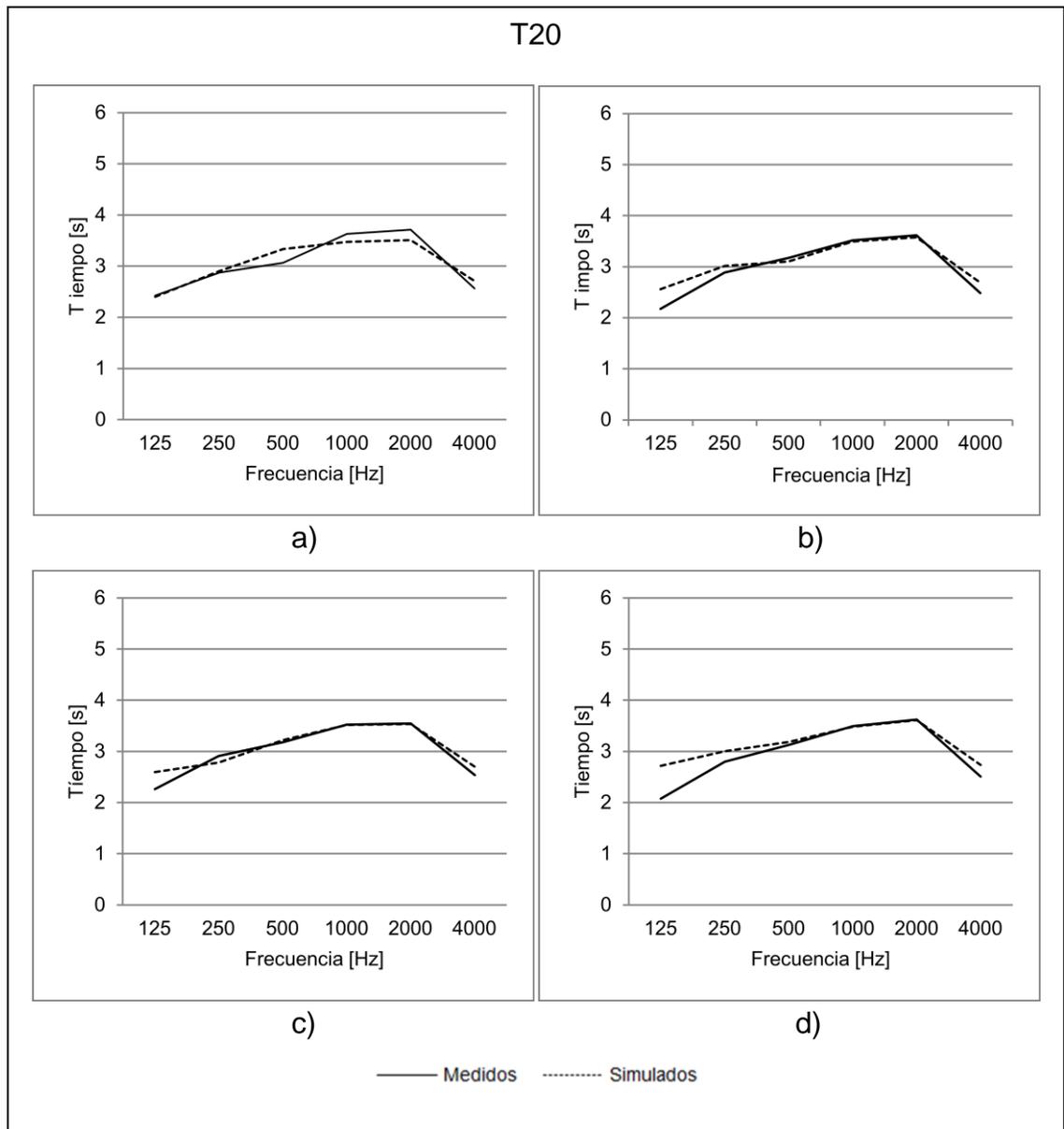


Figura 14. T20 por posición de receptor, Mini-Auditorio 2. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

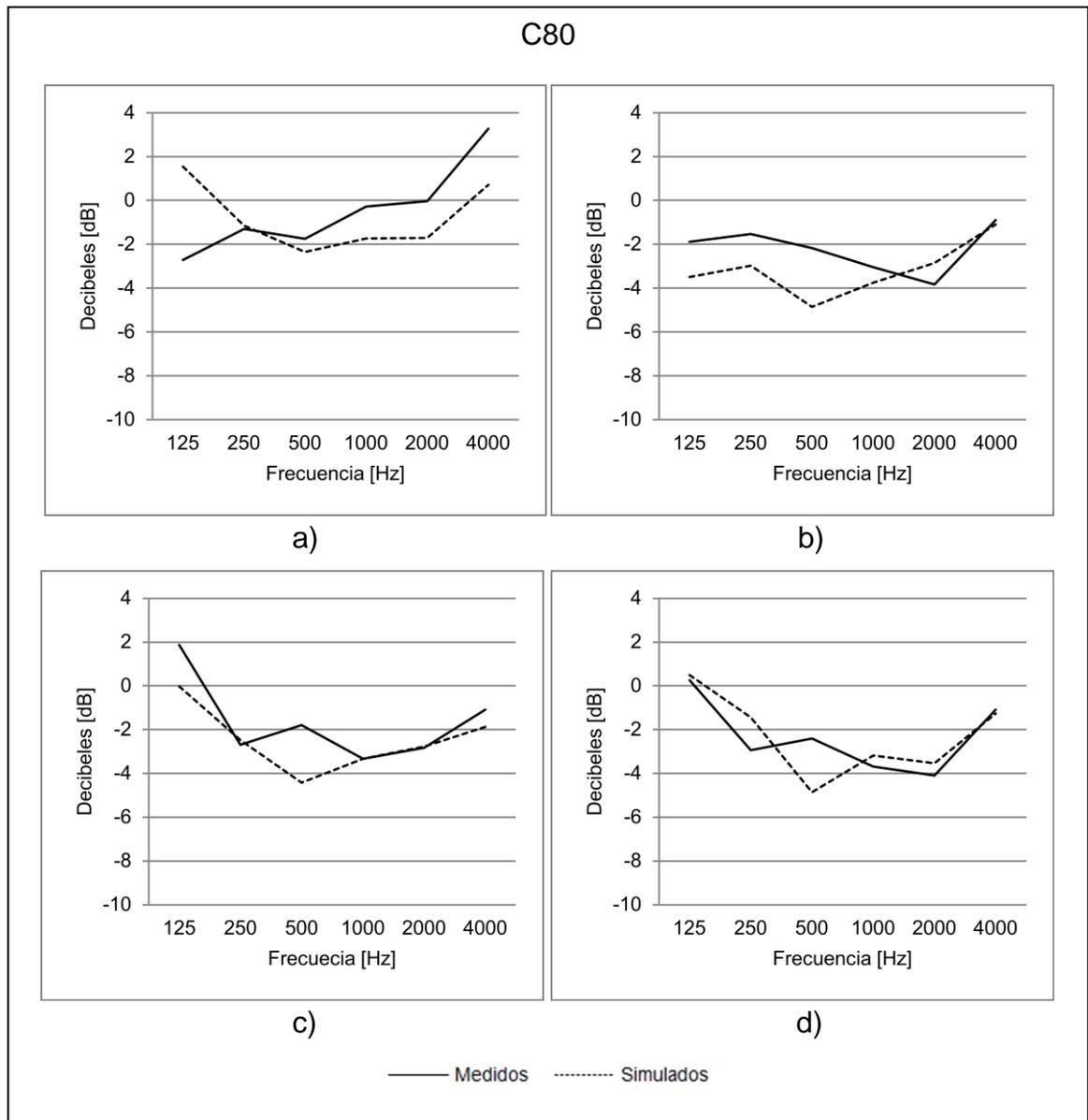


Figura 15. C80 por posición de receptor, Mini-Auditorio 2. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

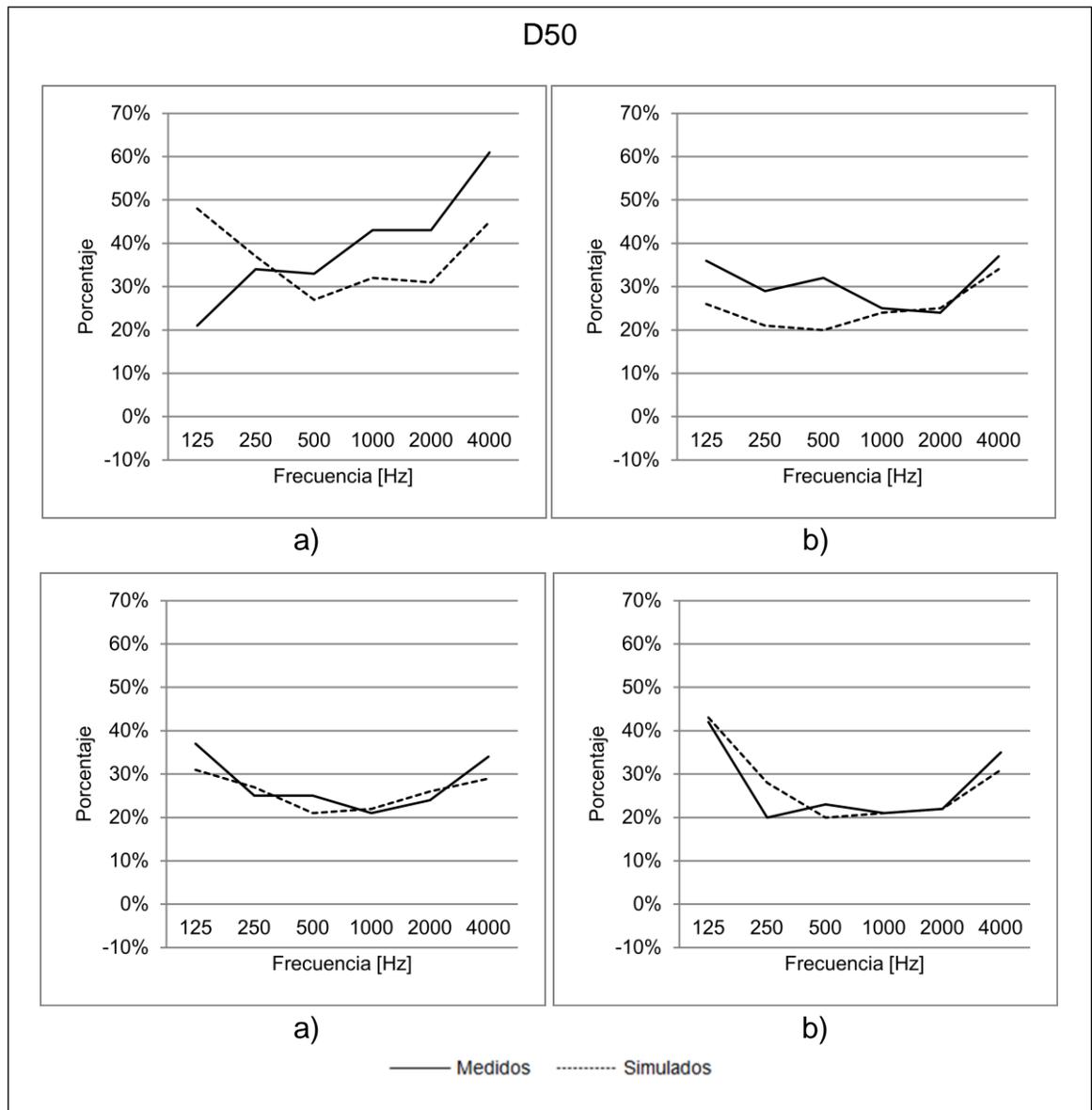


Figura 16. D50 por posición de receptor, Mini-Auditorio 2. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

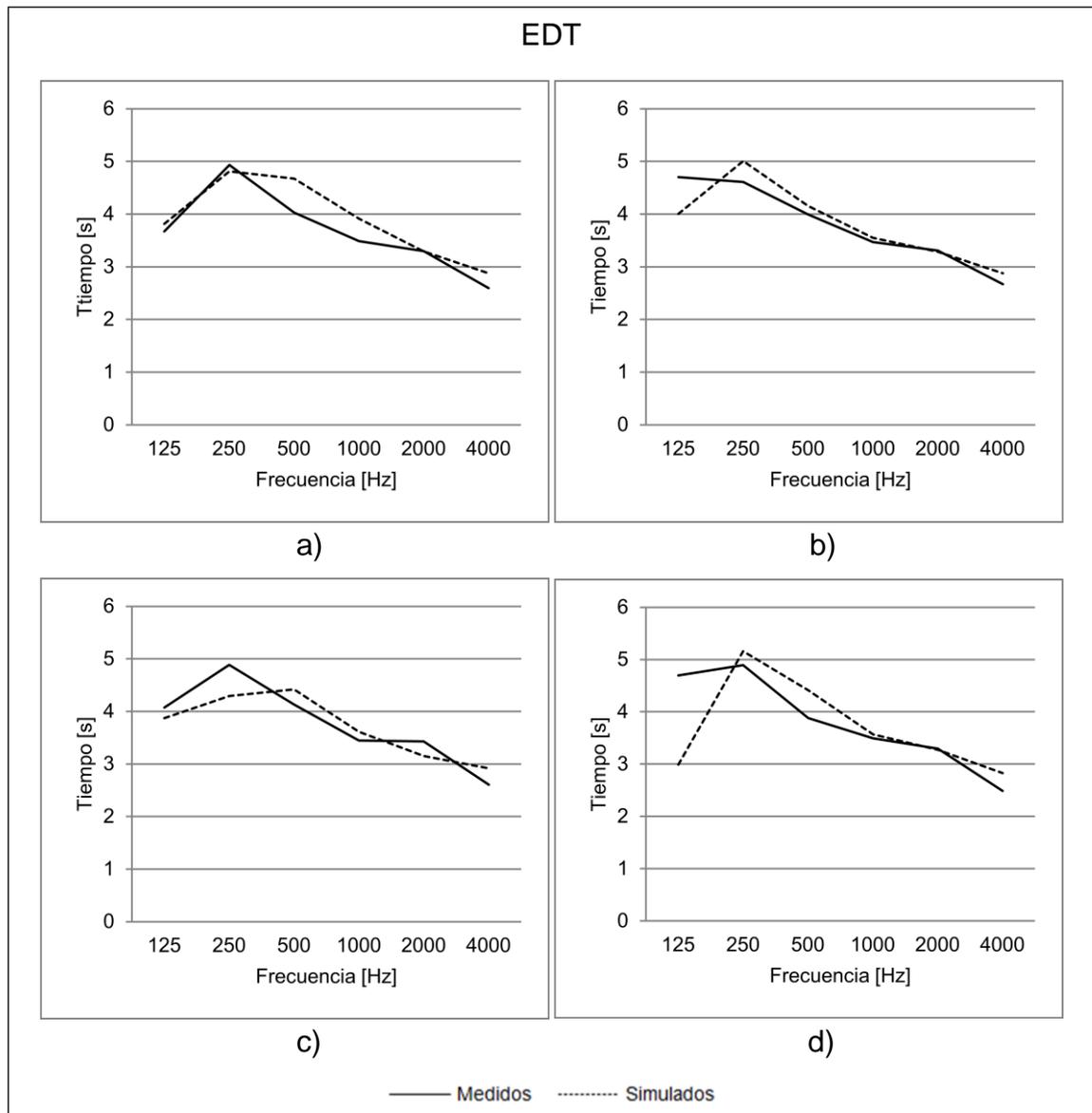


Figura 17. EDT por posición de receptor, 402E. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

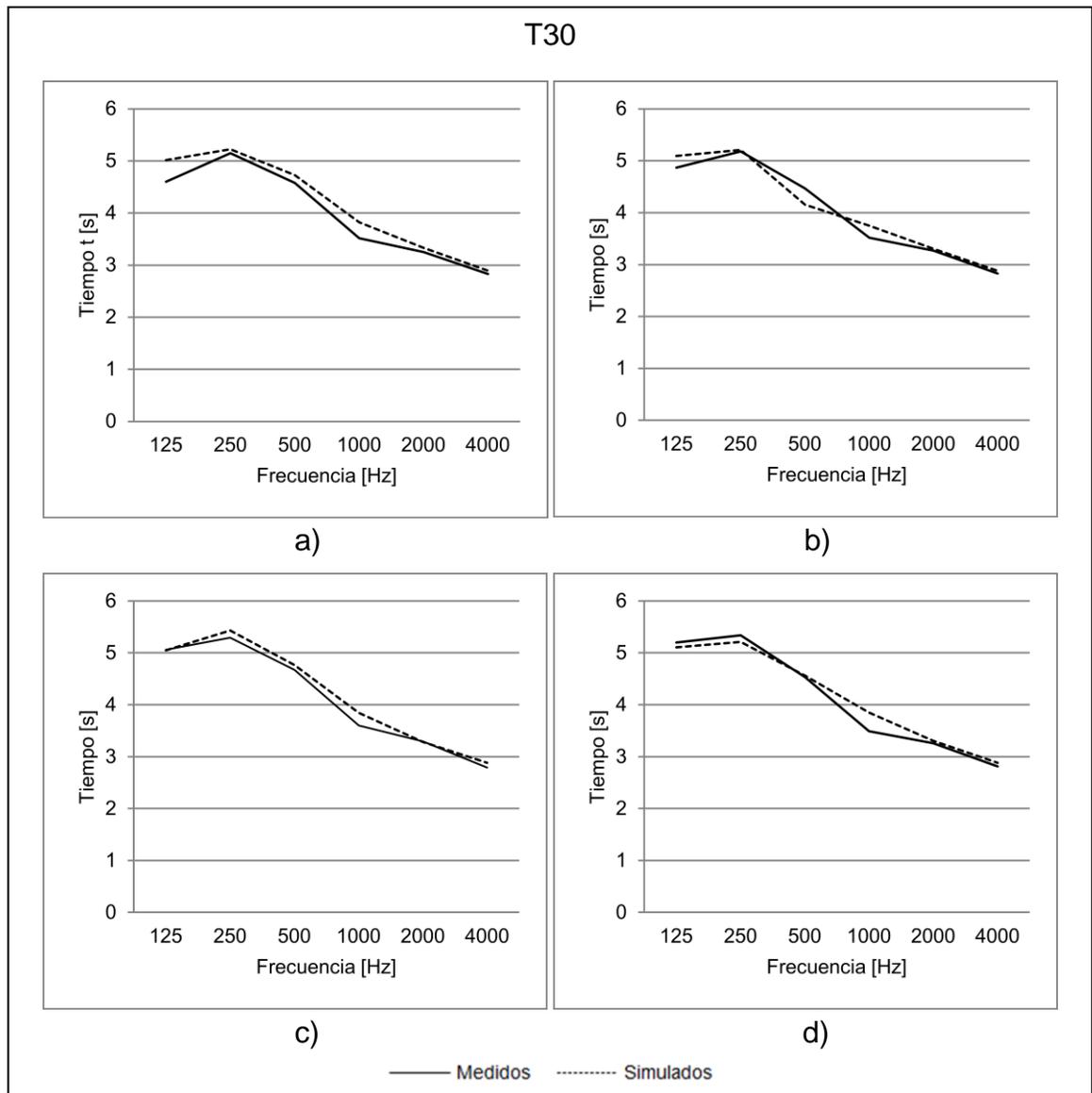


Figura 18. T30 por posición de receptor, 402E a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

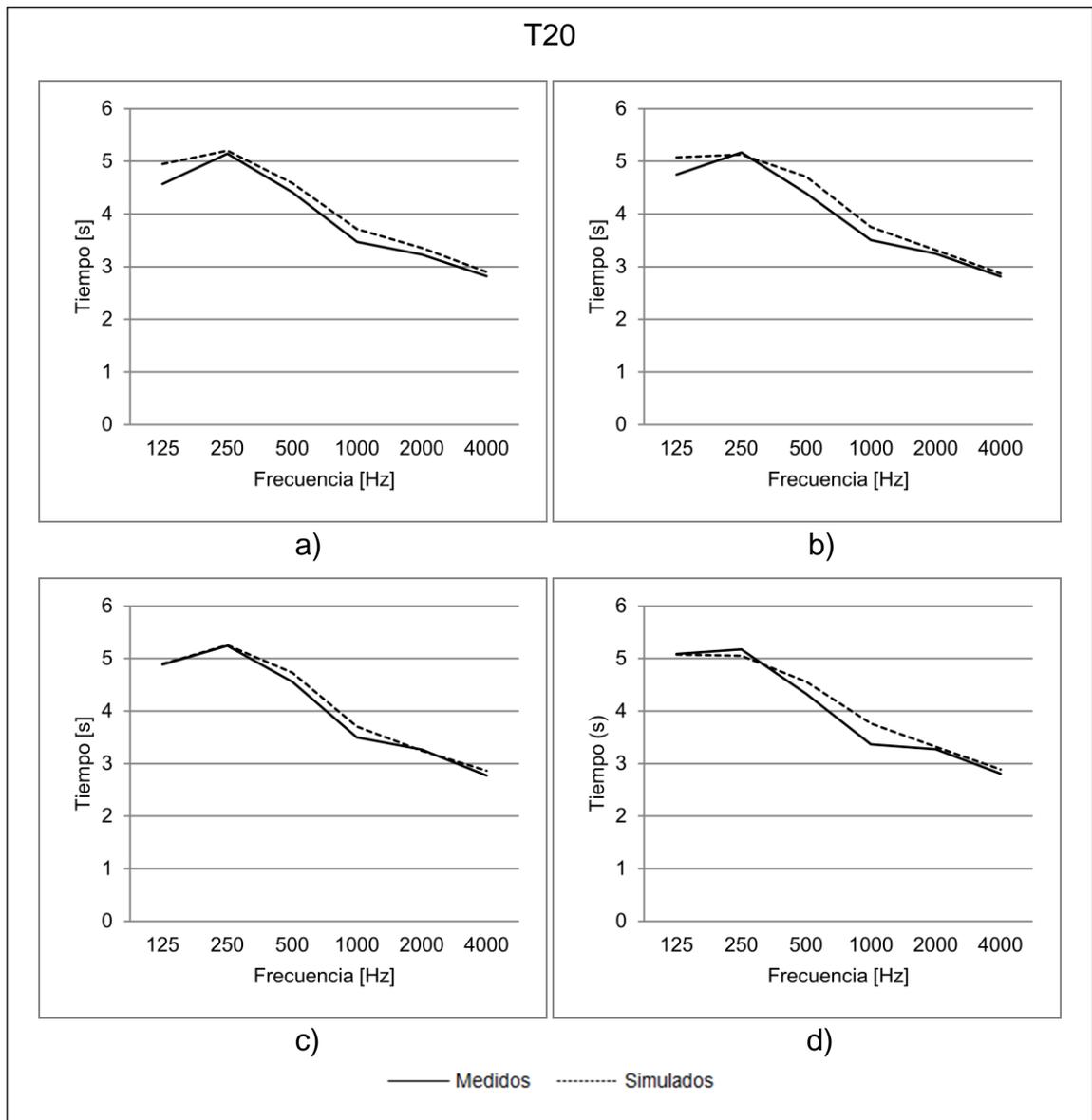


Figura 19. T20 por posición de receptor, 402E. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

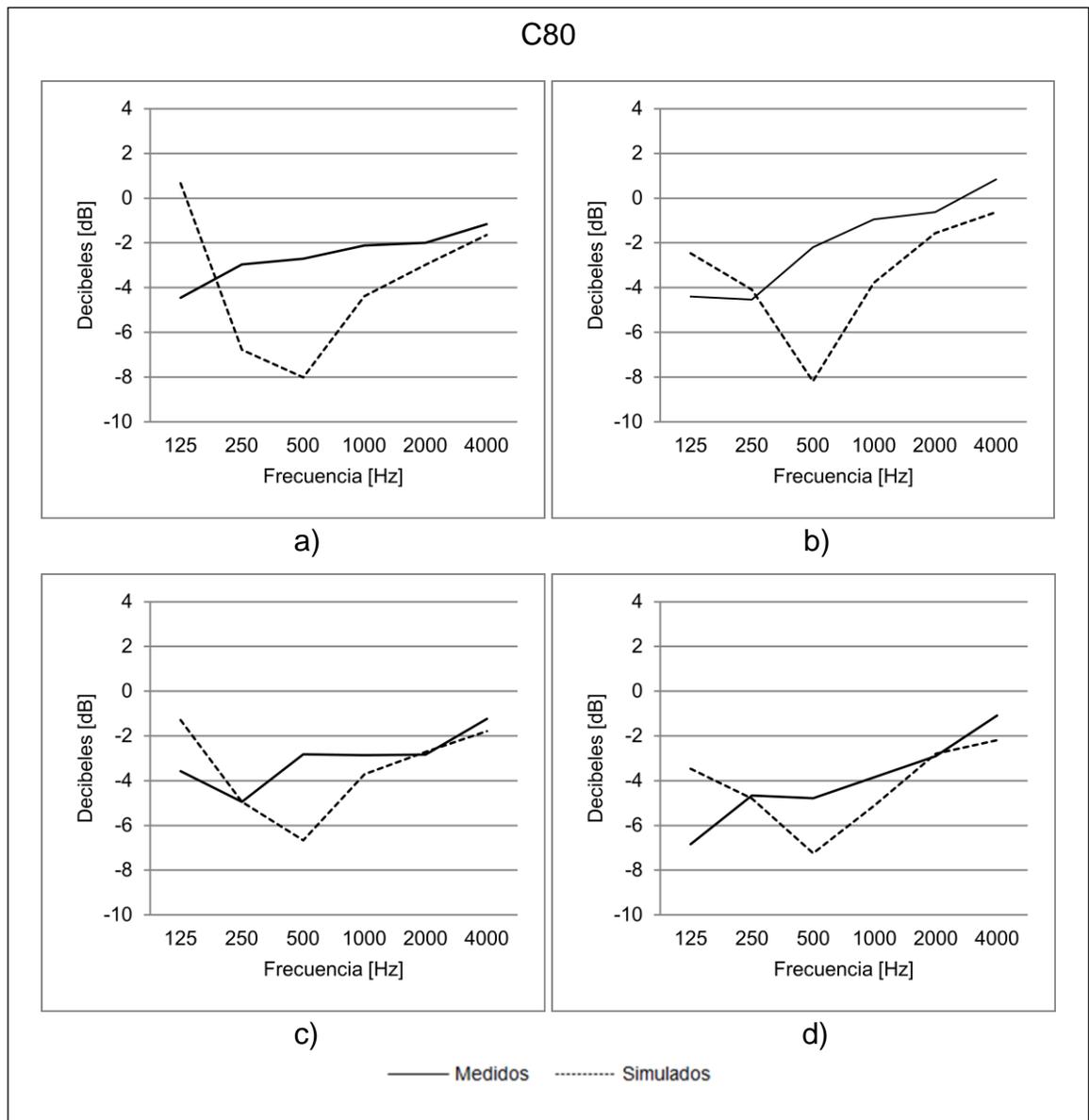


Figura 20. C80 por posición de receptor, 402E. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

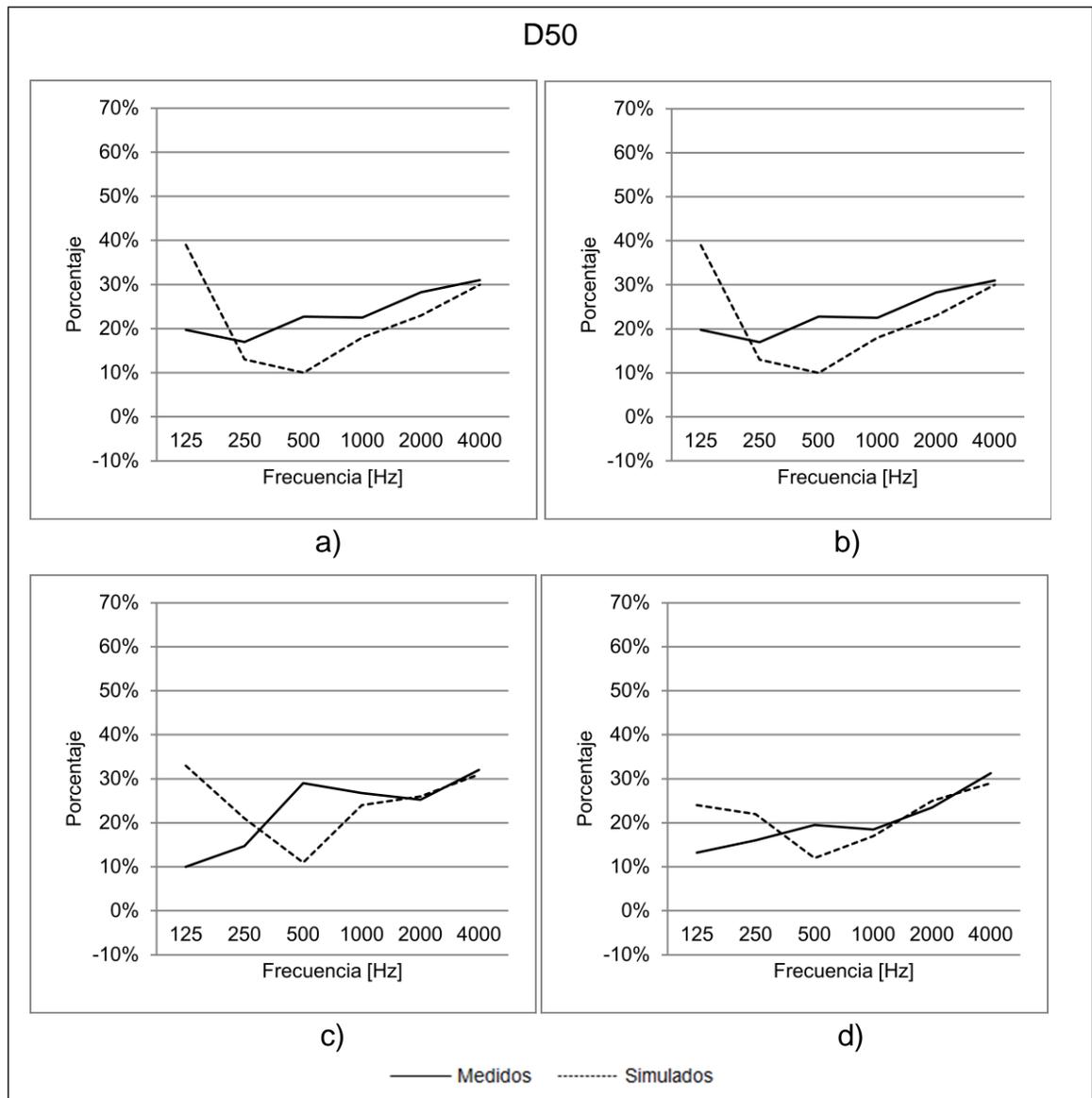


Figura 21. D50 por posición de receptor, 402E. a) Posición centro cercano, b) Posición lateral cercano, c) Posición lateral lejano, d) Posición centro lejano

A fin de facilitar la comparación, se halló el error absoluto tomando los resultados de la medición como datos de referencia, y se observó la relación entre el error y la distancia fuente-receptor. La Tabla 3 muestra el promedio del error por parámetro asumiendo que todas las bandas de frecuencia aportan de igual manera al error total de los resultados.

Tabla 3. Promedio del error absoluto por parámetro para cada posición de fuente en ambos recintos

Recinto	Parámetro	Posición de Receptor			
		Centro Cercano	Lateral Cercano	Lateral Lejano	Centro Lejano
Mini 2	EDT [s]	0,32	0,38	0,21	0,24
	T20 [s]	0,14	0,14	0,11	0,19
	T30 [s]	0,13	0,09	0,06	0,09
	C80 [dB]	1,79	1,27	0,93	0,90
	D50 [%]	12,50	5,83	3,33	2,67
402E	EDT [s]	0,06	0,10	0,12	0,08
	T20 [s]	0,04	0,05	0,04	0,02
	T30 [s]	0,04	0,05	0,03	0,03
	C80 [dB]	1,58	1,08	0,41	0,46
	D50 [%]	0,27	0,36	0,30	0,58

3.3 ESCUCHA CRÍTICA

En la escucha crítica realizada previa a la prueba subjetiva se pudieron observar algunas diferencias notorias, entre estas se puede resaltar la sensación de reverberación. En las auralizaciones obtenidas de la medición se podían escuchar reflexiones provenientes de distintas partes del recinto, fenómeno que en ocasiones dificultaba la localización de las fuentes, en cambio en las auralizaciones realizadas por software esto no era tan notorio, al contrario, la mayor parte de la energía reflejada parecía provenir desde el centro del recinto sin importar la ubicación de la fuente. Esto generó, en algunos casos, una mayor facilidad para la localizar las fuentes. Se notó también que las auralizaciones simuladas muestran un menor cambio en la envolvente acústica de las fuentes, en comparación a las obtenidas mediante la medición. A pesar de estas diferencias se pudo observar que el tiempo de decaimiento de la energía obtenido fue muy similar en ambos métodos.

Debido a las diferencias observadas en la escucha crítica, se creó una nueva versión de los modelos, variando los coeficientes de dispersión y absorción a fin de obtener un comportamiento más parecido al de la medición. Los resultados obtenidos de estos modelos fueron muy parecidos a los anteriores y no se notó mayor cambio en la sensación sonora generada, por lo tanto, estos modelos fueron descartados.

3.4 PRUEBA SUBJETIVA

Con los resultados de las pruebas subjetivas se realizó un promedio por parámetro evaluado, para observar la tendencia de los datos. En la Figura 22, se expresan los resultados de la evaluación para los parámetros de localización, timbre y reverberación, divididos por instrumento para cada recinto.

El parámetro de localización fue el mejor calificado con valores medios mayores o iguales a 3. Se puede notar una gran dispersión en las calificaciones de localización para la tambora, mostrando un rango de calificaciones entre 2 (poco similar) y 4 (muy similar), aun así, se obtuvo una mediana de 3. En la Figura 23, se observa un promedio por recinto de las calificaciones individuales para el parámetro de localización para las posiciones de fuente ubicadas al frente del receptor y a los costados, a fin de obtener una visión general del parámetro por recinto teniendo en cuenta la proveniencia del sonido.

Se observa que a los participantes les pareció menos similar la ubicación en las posiciones laterales en el Mini-Auditorio 2, caso contrario a la situación de fuentes ubicadas en el centro, donde el Aula 402E obtuvo menores calificaciones. Durante la prueba se pudo observar que, para ambos recintos, algunos participantes presentaban problemas al ubicar la procedencia del sonido en ciertas posiciones de fuente en las auralizaciones creadas a partir de las mediciones debido a la reverberación, fenómeno que fue expuesto por algunos participantes en la sección de comentarios de la prueba.

El parámetro de timbre obtuvo calificaciones un poco menores en comparación al parámetro anterior, teniendo las mayores calificaciones la voz en el Mini-Auditorio 2 y el bombardino en el Aula 402E, con un rango de valores bastante cerrado. La tambora muestra calificaciones más bajas en ambos recintos, esto tiene sentido ya que al ser instrumento percutido tiende a ser más notorio el efecto de la reverberación sobre la envolvente acústica del instrumento. Los participantes de la prueba agregaron que el contenido en frecuencias era en algo parecido, aunque se percibía menor contenido energético en frecuencias bajas en las auralizaciones simuladas por software.

El parámetro de reverberación, muestra promedios entre poco similar y algo similar, para la voz y la tambora. El bombardino tuvo mejores calificaciones, mostrando en promedio un resultado mayor a tres para el mini-auditorio 2. En la figura 24 se observan los valores medios obtenidos para el parámetro de reverberación en cada recinto. Es posible apreciar que la calificación es muy similar para los dos recintos, aunque en promedio el Aula 402E presenta calificaciones un poco más altas.

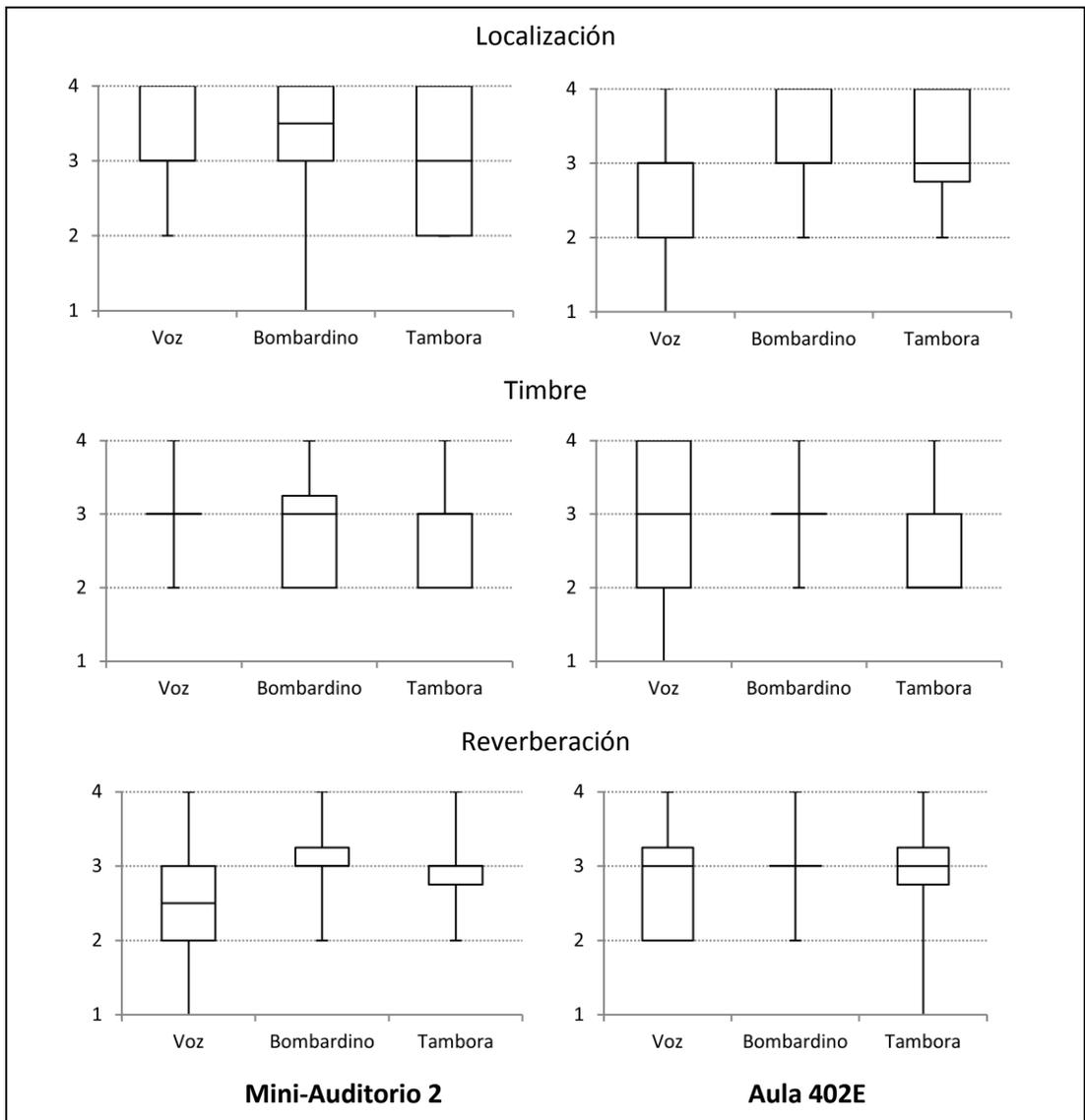


Figura 22. Resultados pruebas objetivas por instrumentos, se muestra la mediana y los percentiles 25 y 75 para cada parámetro evaluado

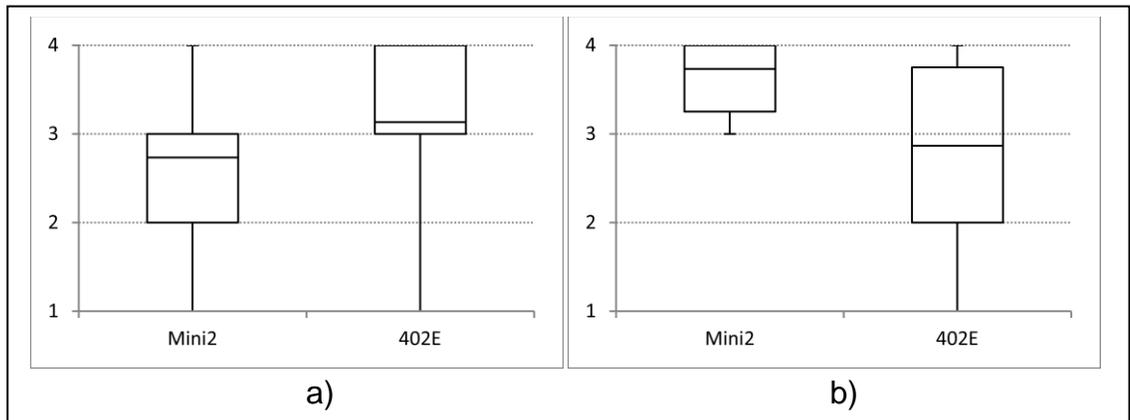


Figura 23. Valor promedio y percentiles 25 y 75, parámetro Localización por recinto. a) posiciones laterales, b) posiciones centrales

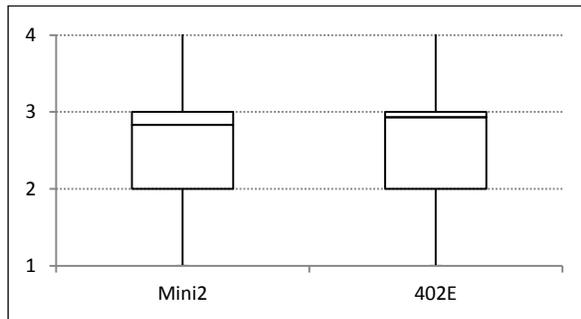


Figura 24. Valor promedio y percentiles 25 y 75, parámetro Reverberación por recinto

El parámetro de sensación sonora fue analizado de forma general en ambos recintos. Como se muestra en la figura 25, las calificaciones fueron de 3 y 4, los participantes consideraron que a pesar de las diferencias encontradas entre los métodos, la sensación sonora era algo similar.

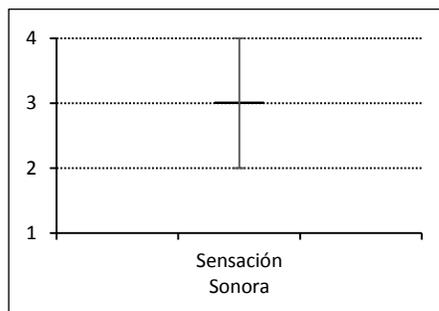


Figura 25. Valor promedio, valor máximo y valor mínimo, parámetro Sensación Sonora

En las Tablas 4 y 5 se presentan los promedios de las calificaciones por parámetro para cada posición de receptor utilizada para la prueba. Esta tabla puede brindar una visión más detallada de lo ocurrido en la evaluación para cada punto utilizado. Como se puede observar, en el Mini-Auditorio 2 se obtuvieron mejores calificaciones en los parámetros de localización y timbre en las auralizaciones donde la fuente se encontraba al frente del receptor.

Tabla 4. Promedio Calificación Por Posición de Receptor. Mini-Auditorio 2

Parámetro	Centro Cercano	Lateral Cercano	Lateral Lejano	Centro Lejano
Localización	3,80	2,47	2,87	3,67
Timbre	2,87	2,87	3,00	2,87
Reverberación	2,80	2,40	2,80	3,20

Tabla 5. Promedio Calificación Por Posición de Receptor. Aula 402E

Parámetro	Centro Cercano	Lateral Cercano	Lateral Lejano	Centro Lejano
Localización	3,07	3,27	2,93	2,67
Timbre	3,07	2,80	2,60	2,93
Reverberación	2,87	3,07	2,87	2,93

Los resultados obtenidos en el Aula 402E, muestran una tendencia decreciente a medida que aumenta la distancia fuente-receptor para los parámetros de localización y timbre. En los dos recintos se puede ver un comportamiento similar en el parámetro de reverberación, en ambos casos éste tiende a tener mejor calificación a medida que aumenta la distancia entre la fuente y el receptor.

4. ANÁLISIS

En la comparación objetiva se puede ver que los resultados obtenidos por medio de la simulación con CATT-Acoustic son bastante similares a los obtenidos por medio de la medición, en los valores de tiempo de reverberación T20 y T30, con algunas variaciones notables para el valor de EDT. El software parece ofrecer una predicción bastante acertada para estos parámetros. Es en los valores obtenidos de C80 y D50 donde se pueden observar diferencias mayores, especialmente en bandas de frecuencias entre 125Hz y 500Hz. Estas diferencias son más notables en el Aula 402E. Al realizar un análisis de la comparación por

frecuencias se pudo observar que la diferencia entre los valores medidos y simulados tiende a disminuir a medida que aumenta la frecuencia.

Se pudo observar también una relación entre la variación de los datos y la distancia. En el Mini-Auditorio 2 se observó que los resultados tienden a ser más similares a en las posiciones de fuente más lejanas, esto también se observa en la prueba subjetiva, en donde las calificaciones obtenidas tienden a ser mayores en las posiciones con mayor distancia fuente-receptor. El salón 402E, en contraste con el otro recinto, mostró resultados menores en puntos de fuente más lejanos, principalmente en el parámetro de localización. Posiblemente debido al tiempo de reverberación del recinto, que muestra alto contenido energético en frecuencias bajas, lo cual dificulta la localización de la fuente en las auralizaciones obtenidas de la medición. Este fenómeno no fue tan notorio en las auralizaciones creadas mediante modelos computarizados.

Se puede observar que las calificaciones para todos los parámetros varían según el estímulo utilizado para la prueba comparativa, aun así las calificaciones en su mayoría tienden a 3. Se puede observar que las auralizaciones con el bombardino como mensaje sonoro, presentaron una mejor calificación en todos los parámetros para ambos recintos, teniendo la mejor calificación de los tres mensajes en el parámetro localización. Las auralizaciones con la tambora muestran el caso opuesto, aunque estas muestran en la mayoría de los datos valores medios de *algo similar* (excepto para el parámetro timbre en el Aula 402E). Las calificaciones muestran gran cantidad de valores menores a 3. Los resultados de la voz varían según el recinto. El recinto más grande (402E) presentó calificaciones muy bajas en el parámetro de localización mientras que el otro salón presentó calificaciones entre 3 y 4, con un valor medio ubicado en *algo similar*.

5. CONCLUSIONES

Fue posible apreciar que a pesar de que los métodos geométricos realizan el cálculo de la caída energética teniendo en cuenta todo el espectro, los resultados obtenidos tienden ser menos precisos en bajas frecuencias.

El proceso estadístico utilizado por el software para calcular la parte final de la respuesta al impulso, no calcula con exactitud la procedencia de cada reflexión, esto se traduce en la pérdida de sensación envolvente en la reverberación.

Existen varios factores que pueden influir en la precisión del software para el cálculo de los parámetros y la sensación sonora producida por las auralizaciones simuladas, en este caso se observó que la distancia afectaba qué tan cercanos eran los datos simulados a la medición, de igual manera afectaban la calificación subjetiva de los parámetros de localización y timbre. De igual manera se observa que las bandas de frecuencia para las cuales los resultados son acertados pueden variar dependiendo de las dimensiones y la geometría del recinto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Vorländer, *Auralization, Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation Algorithms and Acoustic Virtual Reality*, Berlin: Springer, 2008.
- [2] T. Takeuchi y P. A. Nelson, «Optimal source distribution for binaural synthesis,» *Journal of the Acoustical Society Of America*, vol. 112, nº 6, 2002.
- [3] M. Kleiner, B.-I. Dalenback y P. Svensson, «Auralization An Overview,» *AES Journal*, vol. 41, nº 11, 1993.
- [4] F. Otondo y J. H. Rindel, «A New Method for the Radiation Representation,» *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, vol. 91, 2005.
- [5] F. A. Everest, *THE MASTER HANDBOOK*, New York: McGraw-Hill, 2001.
- [6] M. Kleiner, D. L. Klepper y R. R. Torres, *Worship Space Acoustics*, Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2010.
- [7] A. James, B.-I. Dalenbäck y A. Naqvi, «Computer Modelling With CATT-Acoustic - Theory and Practice Of Diffuse Reflection And Array Modeling».
- [8] CATT, *CATT-Acoustic v8: Room Acoustics Prediction and Desktop Auralization*, Gothenburg: CATT, 2002.
- [9] A. Oppenheim, *Señales y Sistemas*, Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall, 1998.
- [10] D. Howard y J. Angus, *Acoustics and Psychoacoustics*, Oxford: Focal Press, 2006.
- [11] F. E. Toole, «In-Head Localization of Acoustic Images,» *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 48, nº 2, 1970.
- [12] A. Farina y E. Ugolotti, «SUBJECTIVE COMPARISON BETWEEN STEREO DIPOLE AND 3D AMBISONIC SURROUND SYSTEMS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS,» de *AES 16th International conference on Spatial Sound Reproduction*, 1999.
- [13] W. G. Gardner, *3-D Audio Using Loudspeakers*, Massachusetts, 1997.
- [14] T. Takeuchi y P. A. Nelson , «Extension of the Optimal Source Distribution for,» *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, vol. 94, 2008.
- [15] L. M. Wang y M. C. Vigeant, «Evaluations of output from room acoustic computer modeling,» *Applied Acoustics*, vol. 69, p. 1281–1293, 2008.
- [16] M. C. Vigeant, L. M. Wanga y J. H. Rindel, «Objective and subjective evaluations of the multi-channel auralization technique,» *Applied Acoustics*, vol. 72, 2011.
- [17] A. KROKSTAD y S. STROM, «ACOUSTICAL DESIGN OF THE MULTI-PURPOSE 'HJERTNES' HALL IN SANDEFJORD,» *Applied Acoustics*, vol. 12 , 1979.

- [18] S. Strom, H. Dahl, A. Krokstad y E. Eknes, «Acoustical Design of the Grieg Memorial Hall in,» *Applied Acoustics*, vol. 18, pp. 127-142, 1985.
- [19] J. B. Allen y D. A. Berkley, «Image method for efficiently simulating small-room acoustics,» *Journal of The Acoustical Society of America*, vol. 65, nº 4, 1979.
- [20] J. Borish, «Extension of the image model to arbitrary polyhedra,» *Journal of The Acoustical Society of America*, vol. 75, nº 6, 1984.
- [21] M. Vorländer, «Simulation of the transient and steady-state sound propagation,» *Journal of The Acoustical Society of America*, vol. 86, nº 1, 1989.
- [22] B.-I. Dalenbäck, M. Kleiner y P. Svensson, «Audibility of Changes in Geometric Shape, Source Directivity, and Absorptive Treatment-Experiments in Auralization,» *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 41, nº 11, Noviembre 1993.
- [23] O. Kirkeby , P. A. Nelson y H. Hamada, «Local sound field reproduction using two closely spaced,» *Journal of The Acoustical Society Of America*, vol. 104, nº 4, 1998.
- [24] W. Krebber , H. W. Gierlich y K. Genuit, «Auditory virtual environments: basics and applications,» *Signal Processing*, vol. 80, 2000.
- [25] M. Noisternig , B. Katz, S. Siltanen y L. Savioja, «Framework for Real-Time Auralization in,» *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, vol. 94, 2008.
- [26] T. Lokki y H. Järveläinen, «SUBJECTIVE EVALUATION OF AURALIZATION OF PHYSICS-BASED ROOM,» de *International Conference on Auditory Display*, Espoo, 2001.
- [27] A. Farina, «Acoustic Quality Of Theatres: Correlations Between Experimental Measures And Subjective Evaluations,» *Applied Acoustics*, 2001.
- [28] W. M. Hartmann y A. Wittenberg, «On the externalization of sound images,» *Journal of The Acoustical Society of America*, vol. 99, nº 6, 1996.
- [29] S.-M. Kim y W. Choic, «On the externalization of virtual sound images in headphone,» *Journal of The Acoustics Society of America*, vol. 117, nº 6, 2005.
- [30] T. Liitola, *Headphone Sound Externalization*, Vantaa, 2006.
- [31] H. Moller, «Fundamentals of Binaural Technology,» *Applied Acoustics*, vol. 36, 1992.
- [32] M. Kleiner, R. Orłowski y J. Kirszenstein, «A Comparison between Results from a Physical Scale,» *Applied Acoustics*, vol. 38, 1993.
- [33] H. Lehnert y J. Blauert, «Principles of Binaural Room Simulation,» *Applied Acoustics*, vol. 36, pp. 259-291, 1992.
- [34] F. P. MECHEL, «IMPROVED MIRROR SOURCE METHOD IN ROOM,» *Journal of Sound and Vibration*, vol. 256, nº 5, pp. 873-940, 2002.
- [35] B. L. Dalenbäck, «Room acoustic prediction based on a unified treatment of

diffuse and specular reflection,» *The Journal Of the Acoustical Society Of America*, vol. 100, n° 899, 1996.

[36] International Organization for Standardization, «ISO 3382-1 Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 1: Performance spaces,» 2012.

ANEXO A. INFORME DE MEDICIÓN DE RESPUESTA AL IMPULSO

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 RESPONSABLES DEL INFORME

Ángel David Londoño Rentería
Estudiante Ingeniería de Sonido
Universidad de San Buenaventura Medellín
CC. 1.077'444.936 de Quibdó

Mario Alfonso Henríquez Romero
Estudiante Ingeniería de Sonido
Universidad de San Buenaventura Medellín
CC. 1.017'175.193 de Medellín

1.1 UBICACIÓN Y DATOS DE LA MEDICIÓN

Universidad de San Buenaventura
Sede San Benito:

Mini-Auditorio 2. Bloque C
Fecha: 12 de Abril de 2013
Hora de inicio: 6:00 a.m.
Hora de finalización: 10:00 a.m.
Temperatura: 18°C
Humedad Relativa (Promedio Ciudad): 89%

Aula 402 E. Bloque E
Fecha: 15 de Abril de 2013
Hora de inicio: 2:00 p.m.
Hora de finalización: 6:00 p.m.
Temperatura: 26°C
Humedad Relativa (Promedio Ciudad): 65%
Medellín – Antioquia, Colombia

2. OBJETIVO

Obtener el tiempo de reverberación, EDT, C80 y D50 a partir del método de integración de la respuesta al impulso del Mini-Auditorio 2 y el Aula402 E.

3. MARCO LEGAL NORMATIVO

3.1 ISO 3382

Esta norma especifica la forma de medir el tiempo de reverberación de una sala, incluyendo orientación sobre el número de posiciones de la fuente, el receptor a utilizar y los detalles de cálculo para cada parámetro.

3.2 NORMAS QUE RIGEN LAS CONDICIONES DEL SONÓMETRO

IEC 651–1979: Norma de la comisión electrónica internacional la cual establece las características que debe presentar un sonómetro determinando, las curvas de ponderación por frecuencia y tiempo.

IEC 804–1985: Norma de la comisión electrónica internacional la cual establece ciertas características que debe presentar un sonómetro, como los tiempos de integración que debe utilizar.

ANSI S 1.4–1983.: Norma que da especificaciones para los sonómetros y proporciona información para el suplemento ANSI 1.4a S-1985.

IEC942: Norma encargada de definir las condiciones que debe tener un calibrador para medidores sonoros y proporciona información para el suplemento ANSI S1.40-1984.

3.3 NORMAS QUE RIGEN LA CALIBRACIÓN DEL PISTÓFONO

ANSI S 1.40-1984: Norma tendiente a dar las especificaciones necesarias para los calibradores acústicos.

IEC 942: Norma encargada de dar las especificaciones para los calibradores de sonómetros tipo 1 o 2.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

En un recinto cerrado la vibración del aire contenido por dicho recinto se debe a la acción resultante de la onda progresiva y las ondas regresivas originadas a las múltiples reflexiones en las superficies límites. Estas reflexiones se van

originando por toda la estructura del recinto, de manera que se superponen al sonido original. Si las reflexiones son en gran número y suceden erráticamente en el tiempo, el campo sonoro resultante se llama reverberante o difuso. Para lograr cuantificar este fenómeno se ha definido un parámetro que se denomina el tiempo de reverberación (TR60), y se define como el tiempo en el que el nivel de una señal acústica en un recinto cae 60 dB después que la emisión sonora se ha interrumpido [1].

Para la representación de resultados en una medición de la ISO 3382 se utilizan los parámetros T_{20} y T_{30} , que ofrecen información de la caída de la energía sonora y se derivan de la sección de la curva de decaimiento entre 5 y 25 dB para T_{20} , y entre 5 y 35 dB para T_{30} respectivamente por debajo del nivel inicial (Ver Figura A.1).

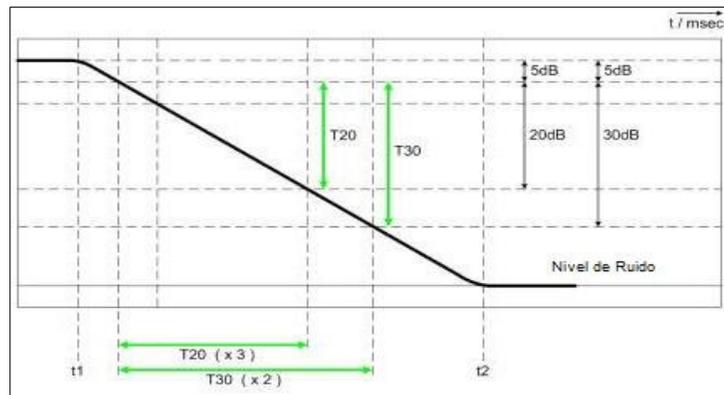


Figura A.1 Representaciones gráficas para T_{20} y T_{30}

4.2 CURVA DE DECAIMIENTO

Es una representación gráfica que representa el decaimiento del nivel de presión sonora como una función de tiempo en un punto de la sala después que la fuente sonora ha parado de sonar [1] (ver Figura A.2).

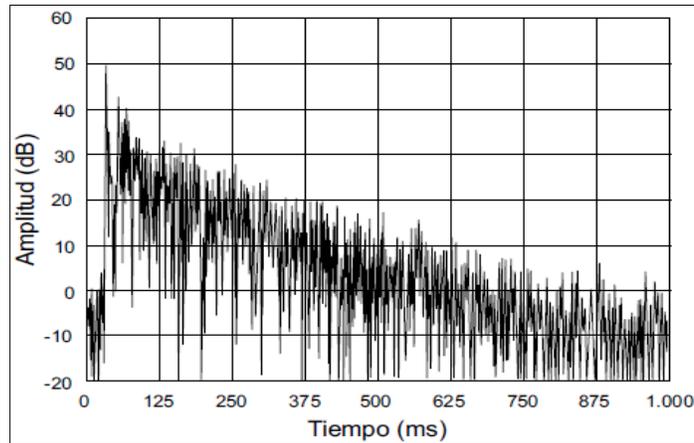


Figura A.2 Curva de decaimiento

La curva de decaimiento se puede obtener al medir el tiempo que tarda en decaer la energía en un recinto que ha sido excitado por una fuente justo después de ser apagada, o derivado de la respuesta al impulso por el método del inverso cuadrado utilizando la siguiente ecuación:

$$E(t) = \int_t^{\infty} P^2(\tau) d\tau = \int_{\infty}^t P^2(\tau) d(-\tau) \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

P es la presión sonora de la respuesta al impulso en función del tiempo.

E es la energía de la curva de decaimiento como función del tiempo.

t es el tiempo.

4.2 TIEMPO DE DECAIMIENTO TEMPRANO (EDT)

El parámetro EDT es el parámetro acústico que más se relaciona a la energía de decaimiento en su nivel más alto, además de relacionarse también con la reducción de modulación, lo que se traduce en una menor inteligibilidad de la palabra hablada.

El EDT se deriva de la sección en la curva de decaimiento entre 0 dB y 10 dB por debajo del nivel inicial y también se calcula para alcanzar -60 dB al igual que T20 y T30 [1] (Ver Figura A.3).

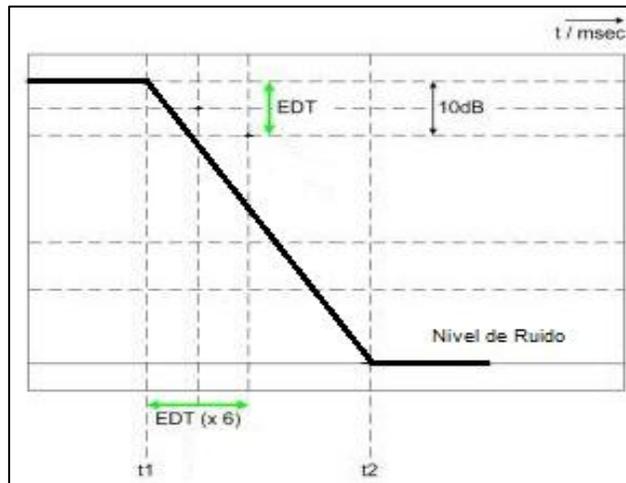


Figura A.3 Tiempo de Decaimiento Temprano

4.3 PARÁMETRO DE CLARIDAD MUSICAL (C_{80})

La claridad musical C_{80} indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.

El C_{80} se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 ms [2], calculada en cada banda de frecuencias entre 125 Hz y 4 kHz. Se expresa en escala logarítmica y se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$C = 10 \log \frac{\int_0^{t_e} P^2(t) dt}{\int_{t_e}^{\infty} P^2(t) dt} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

C es el índice de tiempo temprano a tardío.

t_e es el tiempo límite temprano de 50 ms o 80 ms (C_{80} es usualmente claridad)

$P(t)$ es la presión sonora instantánea de la respuesta al impulso medida en el punto de medición.

4.4 DEFINICIÓN DE LA VOZ (D50)

D50 se refiere a la definición en la inteligibilidad de la palabra. Es la relación de energía sonora emergente cercana al total, donde el término cercano se refiere a los primeros 50 ms [2]. Se le conoce también como “Deutlichkeit” y se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$D50 = \frac{\int_0^{0.050} P^2(t) dt}{\int_0^{\infty} P^2(t) dt} \quad (Ec. 3)$$

Dónde:

t es el tiempo.

$P(t)$ es la presión sonora instantánea de la respuesta al impulso medida en el punto de medición.

5. DESARROLLO DE LA MEDICIÓN

5.1 EQUIPOS

- Parlante JBL EON15 G2
- Sonómetro Cesva SC310sb
- Computador Portátil
- Cabeza Binaural
- Micrófono de medición dbx
- Flexómetro

5.2 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

5.2.1 Mini-Auditorio 2. El mini auditorio está ubicado en el bloque C de la Universidad de San Buenaventura- Sede San Benito. Es un Aula de clases de 7,66 x 5,76 m con capacidad para 50 estudiantes aproximadamente (Ver Figuras A.4 y A.5). El recinto está compuesto por dos paredes de *drywall* y dos paredes de hormigón, ambas pintadas, el techo también está hecho de *drywall* con luces fluorescentes incrustadas. En la Tabla A.1 se observa detalladamente los materiales y coeficientes de absorción de este recinto.

**Tabla A.1 Materiales y coeficientes de absorción por bandas de octava.
Mini-Auditorio 2**

Superficies	Material	Área [m]	Coeficientes de Absorción					
			125Hz	250Hz	500Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Piso	Baldosa	49,49	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Puertas	Madera	2,17	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Ventanas	Vidrio	0,84	0,20	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Tablero	Acrílico	3,14	0,30	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08
Panel de Publicación	Foamy	0,16	0,08	0,22	0,55	0,70	0,85	0,75
Luces	Metal	5,04	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20
Pared frontal	Hormigón	12,59	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Pared izquierda	Drywall	24,79	0,24	0,10	0,05	0,04	0,04	0,04
Pared trasera	Drywall	14,62	0,24	0,10	0,05	0,04	0,04	0,04
Pared derecha	Hormigón	19,45	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Techo	Drywall	39,63	0,24	0,10	0,05	0,04	0,04	0,04

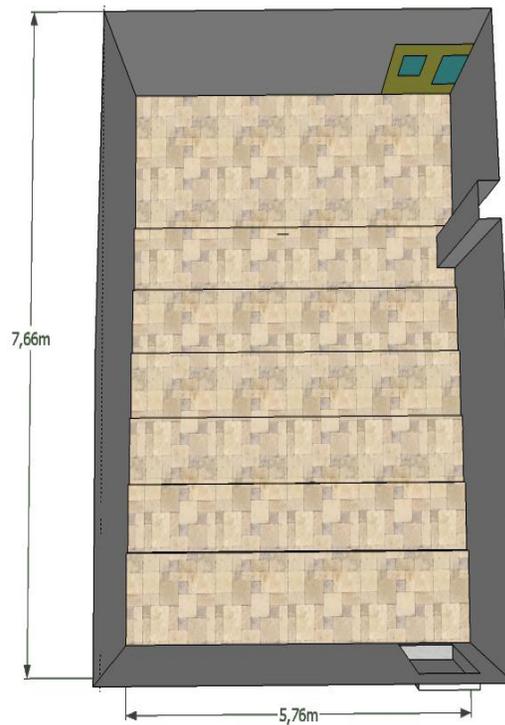


Figura A.4 Vista en planta del Mini-Auditorio 2

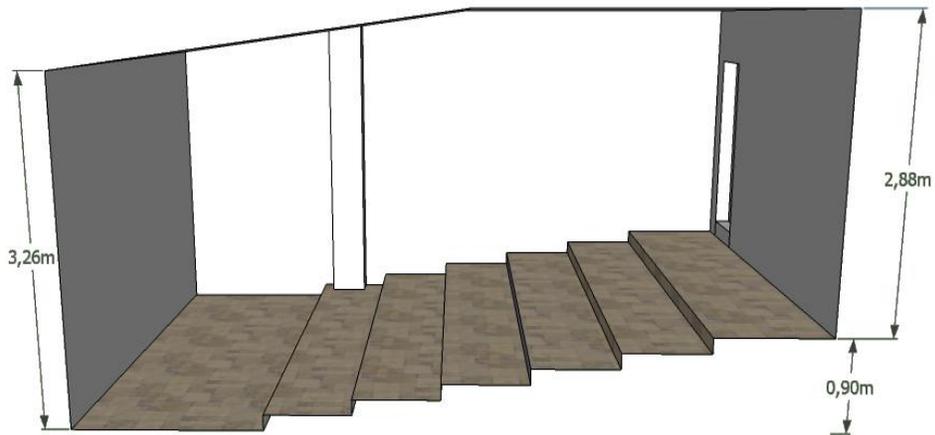


Figura A.5 Vista lateral del Mini-Auditorio 2

5.2.2 Aula 402 E. El Aula 402 E Es un salón de clases de 8.77x7.36m compuesto principalmente por hormigón (techo y paredes) y baldosa. El Aula tiene una ventana grande en la pared lateral y en la pared trasera, el techo tiene pequeñas vigas que sobre salen distribuidas uniformemente (ver Figura A.6 y A.7), tiene un acabado áspero y las luces cuelgan de él puestas en un montaje de metal. En la Tabla A.2 se pueden observar detalladamente los materiales y coeficientes de absorción de este recinto.

Tabla A.2 Materiales y coeficientes de absorción Aula 402 E

Superficies	Material	Área [m]	Coeficientes de Absorción					
			125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Piso	Baldosa	64,50	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Puerta	Madera	2,95	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Luces	Metal	2,94	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20
Televisor	Cristal Liquido	1,263	0,10	0,10	0,010	0,010	0,20	0,20
Ventanas	Vidrio	11,53	0,20	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02
Muros	Hormigón ¹	92,07	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Techo	Hormigón ²	84,45	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Tableros	Acrílico	6,31	0,30	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08

Nota: ¹ Hormigón Pintado, ² Hormigón Áspero Pintado

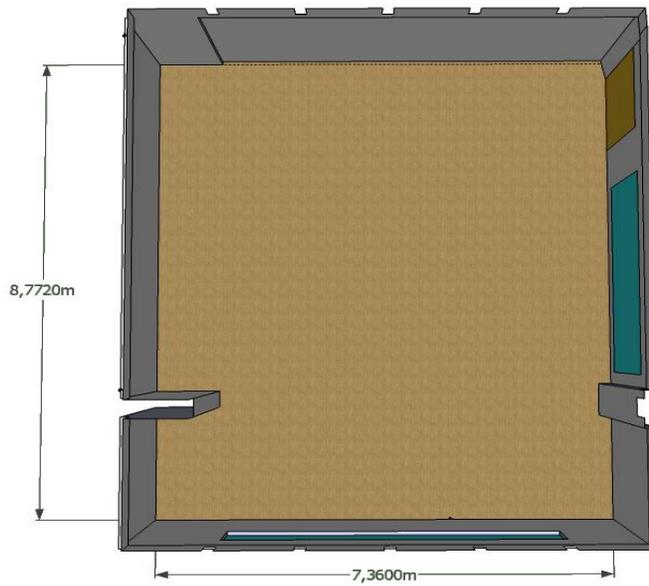


Figura A.6 Vista en planta del 402 E

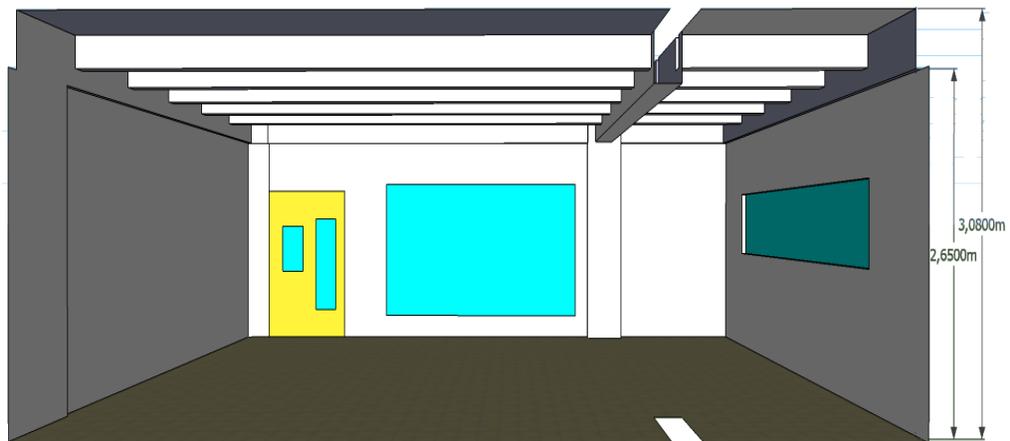


Figura A.7 Vista lateral del 402E

5.2.3 Procedimiento de medición. Para la medición del tiempo de reverberación se utilizó el método de integración de respuestas impulsivas, las cuales fueron obtenidas utilizando *sine-sweep* (barrido de frecuencias). Este método consiste en reproducir dentro del recinto una señal sinusoidal haciendo un barrido de frecuencias desde 20Hz hasta 20kHz, y capturarlo con un micrófono. La señal capturada es luego procesada para obtener una respuesta al impulso, por medio de un proceso denominado deconvolución. En la Figura A.8 se observan una vista de los recintos antes de preparar la medición.



Figura A.8 Recintos medidos. a) Mini-Auditorio 2, b) Aula 402 E

Partiendo de la norma ISO 3382, se decidió utilizar un cubrimiento normal, con tres puntos de fuente y tres puntos de receptor por fuente, agregando un punto de receptor a la primera posición de fuente como se observa en las Figuras A.10 y A.11, con el fin de obtener distintas ubicaciones en relación a la fuente en las respuestas impulsivas binaurales (cercana, lejana y dos laterales).

Es importante resaltar que en el momento de la medición los salones se encontraban vacíos, es decir, se retiraron las sillas y las mesas del recinto (Ver Figura A.9.)

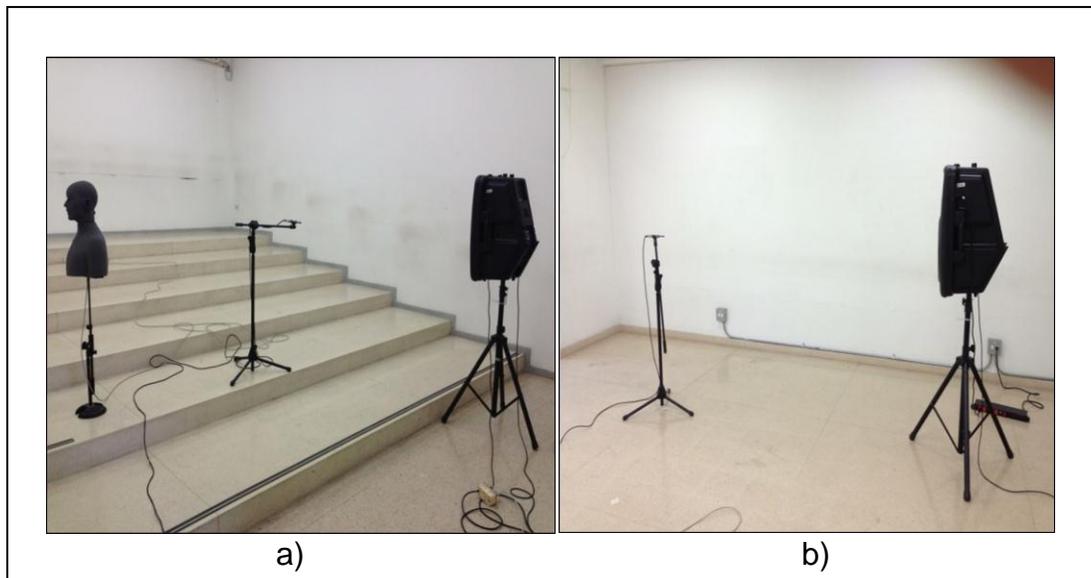


Figura A.9 Posición de micrófono. a) Mini-Auditorio 2, b) Aula 402 E

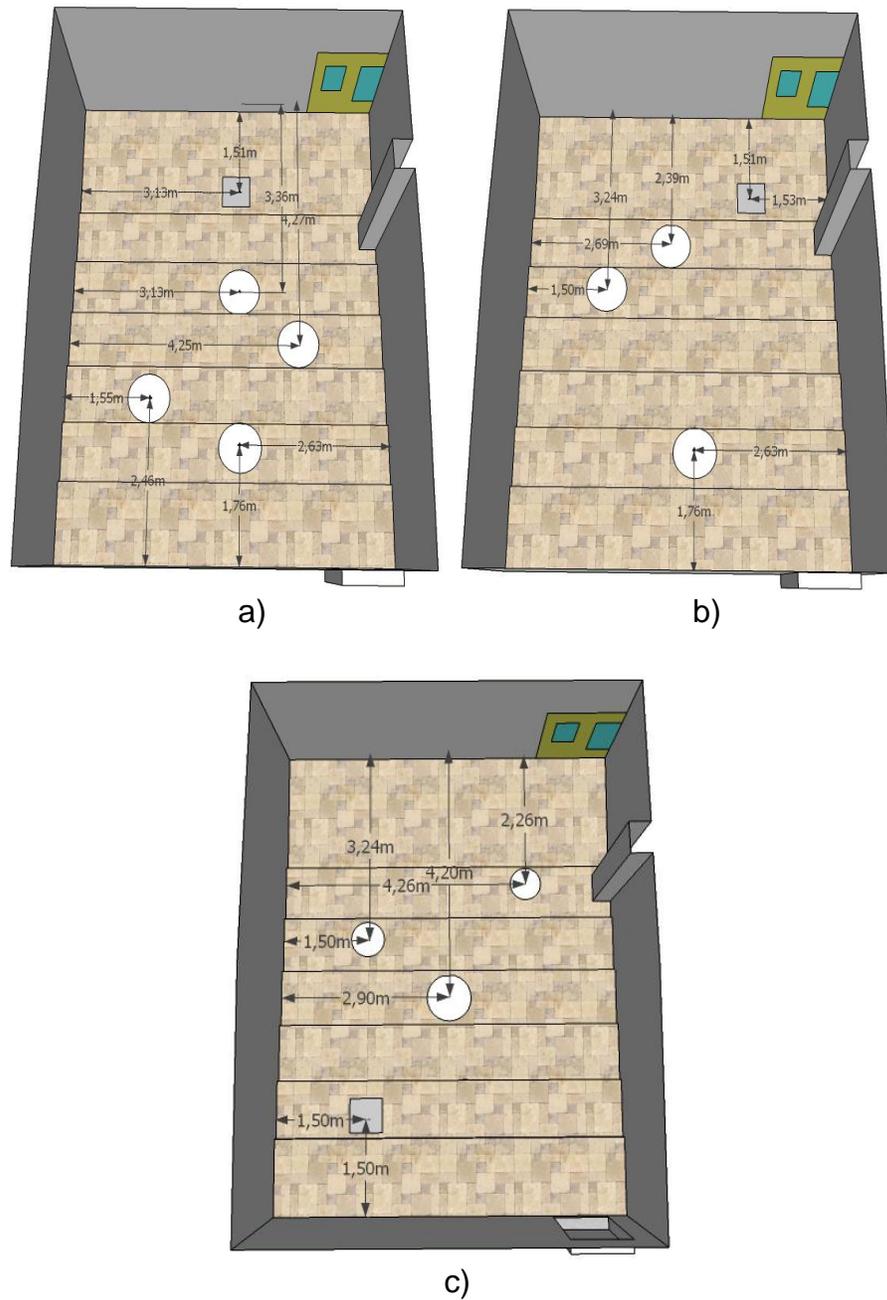


Figura A.10 Posiciones de fuente y receptor en el Mini-Auditorio 2. a) primera posición de fuente y receptores, b) segunda posición de fuente y receptores, c) tercera posición de fuente y receptores

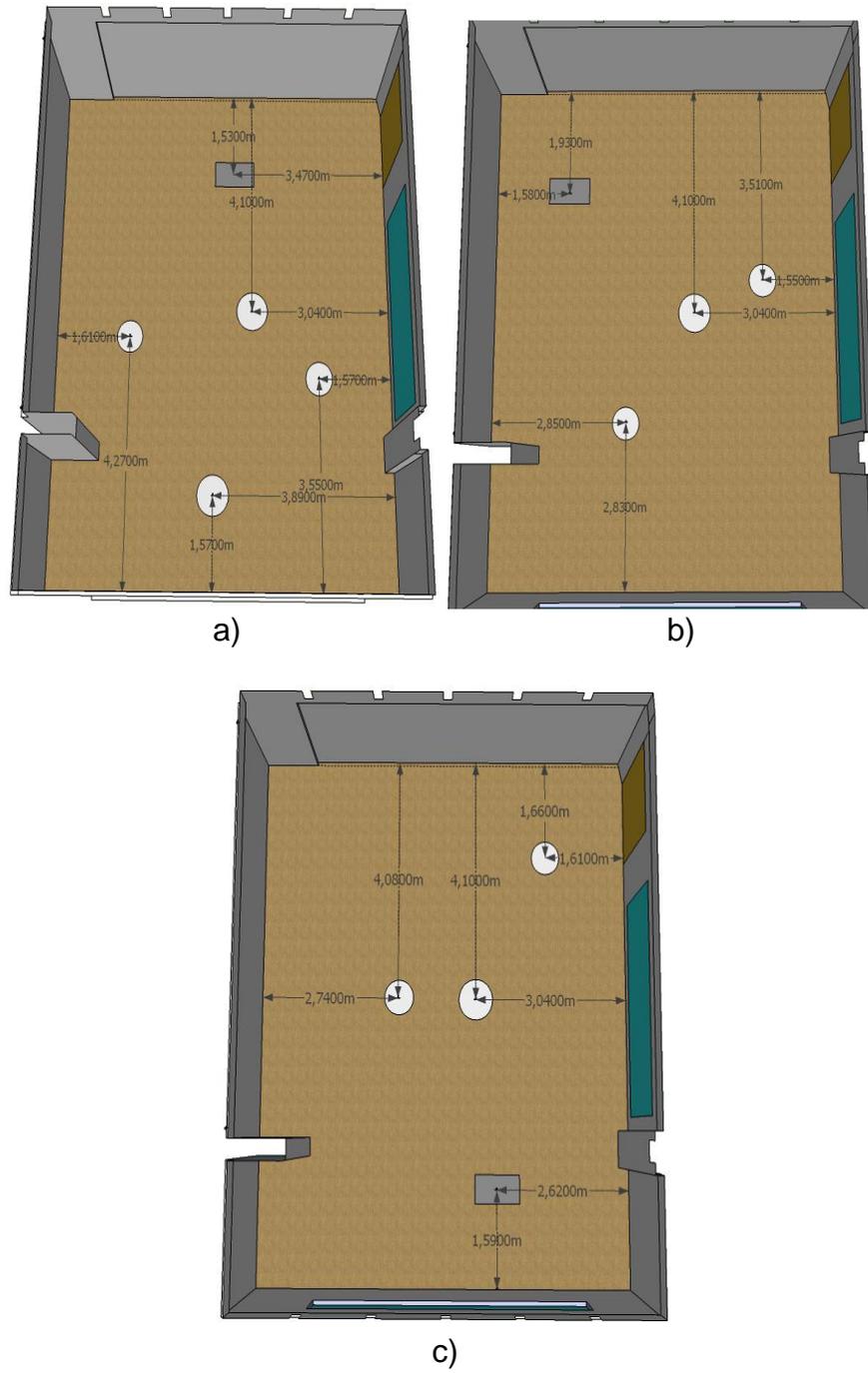


Figura A.11 Posiciones de fuente y receptor en el Aula 402 E. a) primera posición de fuente y receptores, b) segunda posición de fuente y receptores, c) tercera posición de fuente y receptores

Nota: Las posiciones de fuente están representadas en forma de cuadrados, los círculos representan las posiciones de receptor.

Se crearon una serie de cuatro barridos exponenciales de 20Hz hasta 20kHz, con un intervalo de 10 segundos entre cada barrido con el fin de dejar un espacio adecuado para la cola reverberante. La señal de audio fue reproducida utilizando el parlante EON-15 de JBL.



Figura A.12 Computadores utilizados para generar la señal de *sine-sweep* y grabar las capturas de las señales.

Por su parte, la captura se realizó en estéreo por medio de la cabeza binaural del laboratorio de ingeniería de sonido y de forma monofónica utilizando el micrófono de medición RTA-M de dbx.

Antes de comenzar el proceso se tomó una medida rápida de ruido de fondo la cual en el momento era de aproximadamente 63dB SPL y se configuro el parlante de tal forma que se permitiera tener un nivel de presión sonora de 94 dB SPL a un metro, utilizando el sonómetro 01dB Solo (previamente calibrado) como muestra la Figura A.13.

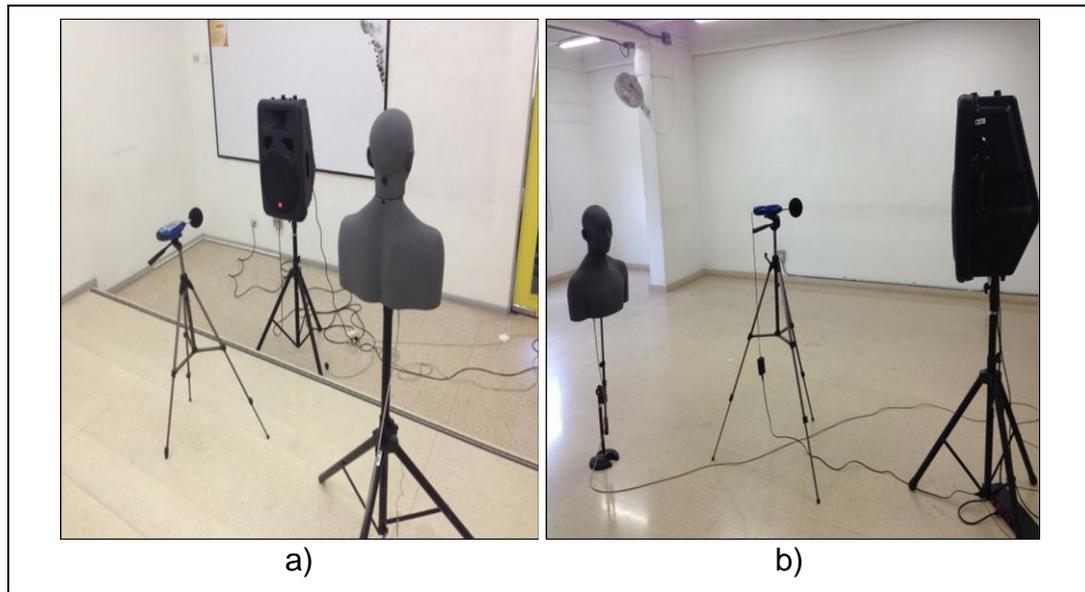


Figura A.13 Calibración del parlante a 94dB SPL a un metro. a) Mini- Auditorio 2, b) Aula 402 E

La señal reproducida en el recinto fue grabada utilizando el software *dB Sonic* para las capturas binaurales y *Pro Tools* para las capturas monoaurales, en la Figura A.12 se observan dos computadores utilizando ambos programas en el momento de la medición. Las respuestas al impulso se obtuvieron utilizando un proceso de convolución, las cuales fueron analizadas posteriormente para obtener la curva de decaimiento (1) y así obtener los parámetros de T30 , T20, EDT y, D50 y C80 con las formulas (2) y (3).

6. RESULTADOS

Para la representación de los resultados se utilizó un promedio espacial calculando la media de los tiempos de reverberación individuales para todas las posiciones independientes de fuente y de micrófono. Se determinó la desviación típica para ofrecer una medición precisa y la variación espacial del tiempo de reverberación.

6.1 MINI-AUDITORIO 2

6.1.1 Posición de Fuente 1

Tabla A.3 Promedio de T30 para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]				Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3	4		
125	2,28	2,41	2,43	2,25	2,34	0,09
250	2,98	2,98	2,91	2,91	2,94	0,04
500	3,09	3,14	3,09	3,12	3,11	0,02
1000	3,60	3,54	3,54	3,55	3,56	0,03
2000	3,66	3,63	3,60	3,66	3,64	0,03
4000	2,60	2,54	2,57	2,56	2,57	0,03

Tabla A.4 Promedio de T20 para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]				Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3	4		
125	2,43	2,17	2,26	2,08	2,23	0,15
250	2,88	2,89	2,91	2,80	2,87	0,05
500	3,07	3,17	3,18	3,13	3,14	0,05
1000	3,63	3,52	3,52	3,49	3,54	0,06
2000	3,71	3,62	3,55	3,62	3,63	0,07
4000	2,57	2,48	2,54	2,51	2,52	0,04

Tabla A.5 Promedio de EDT para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]				Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3	4		
125	2,00	2,33	1,62	1,79	1,94	0,30
250	2,56	2,83	2,70	2,60	2,67	0,12
500	2,55	2,91	2,88	2,94	2,82	0,18
1000	3,42	3,35	3,51	3,54	3,45	0,09
2000	3,77	3,47	3,66	3,46	3,59	0,15
4000	2,43	2,46	2,48	2,62	2,50	0,08

Tabla A.6 C80 para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			
	1	2	3	4
125	-2,72	-1,89	1,87	0,27
250	-1,30	-1,54	-2,69	-2,94
500	-1,75	-2,18	-1,80	-2,40
1000	-0,28	-3,05	-3,33	-3,69
2000	-0,04	-3,83	-2,83	-4,10
4000	3,28	-0,89	-1,08	-1,09

Tabla A.7 D50 para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			
	1	2	3	4
125	0,21	0,36	0,37	0,42
250	0,34	0,29	0,25	0,20
500	0,33	0,32	0,25	0,23
1000	0,43	0,25	0,21	0,21
2000	0,43	0,24	0,24	0,22
4000	0,61	0,37	0,34	0,35

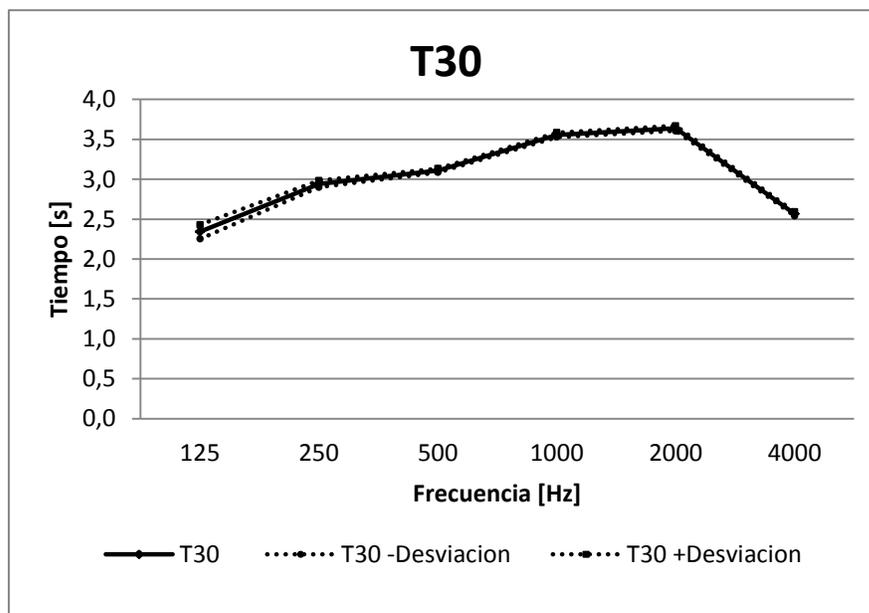


Figura A.14 Valor de T30 para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

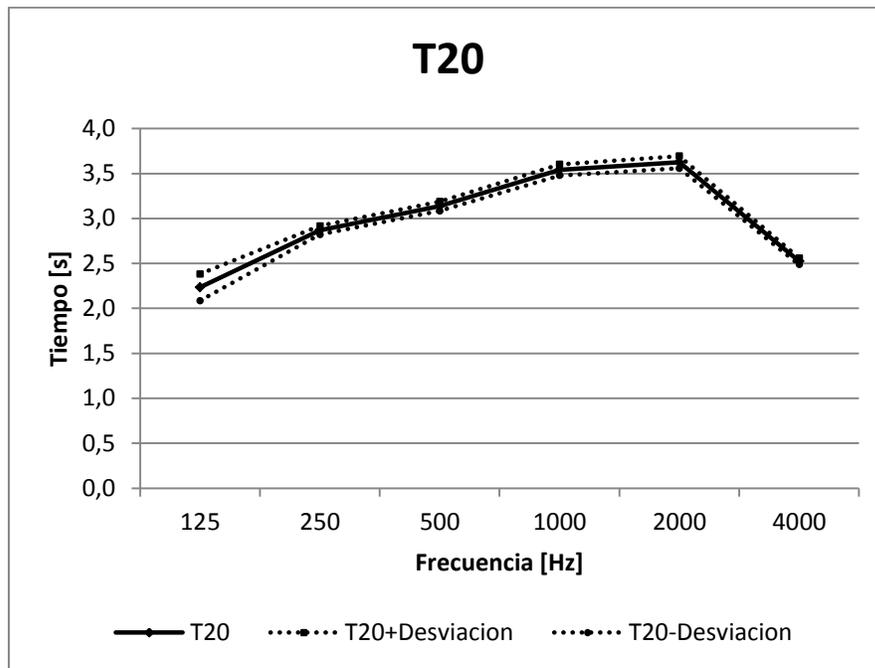
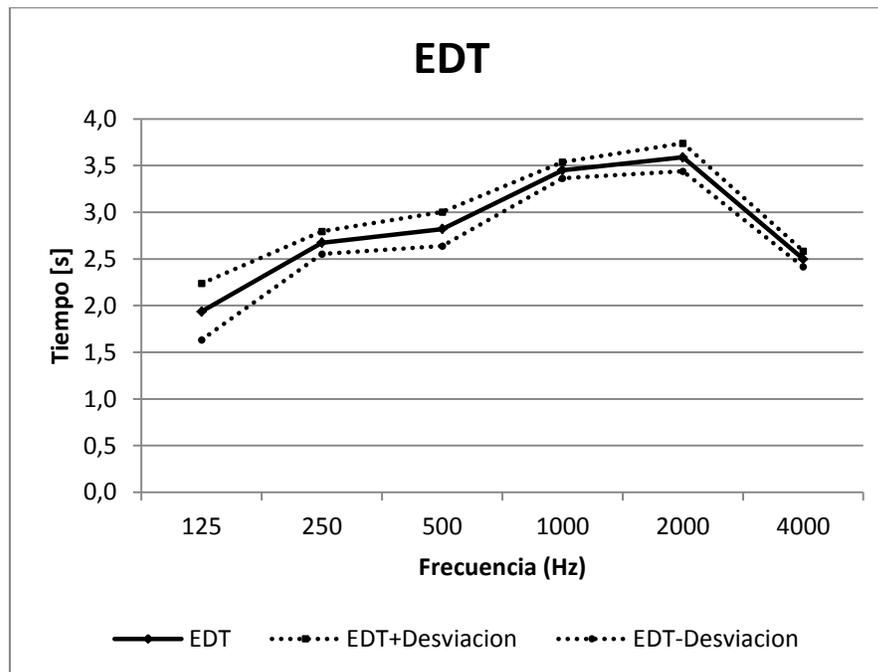


Figura A.15 Valor de T20 para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2



Grafica A.16 Valor de EDT para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

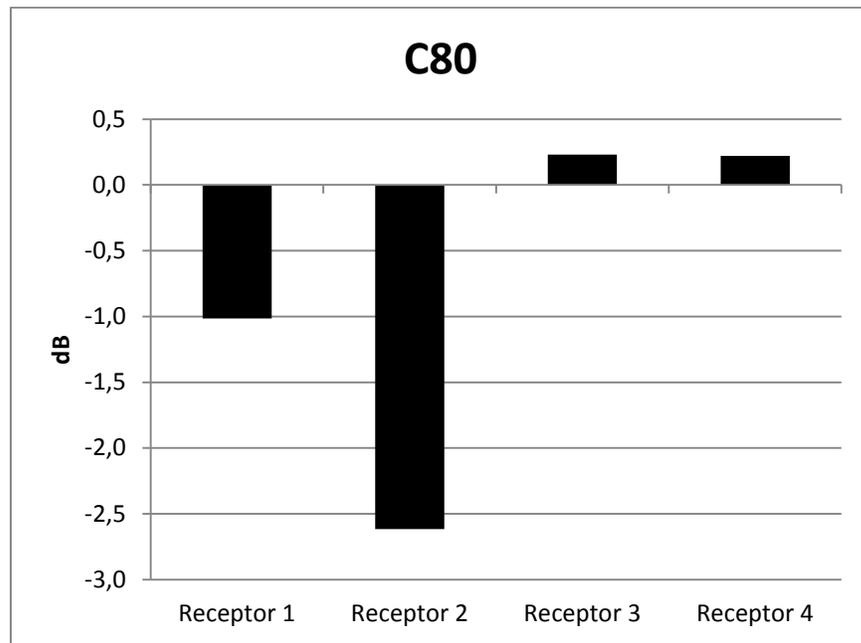


Figura A.17 Valor de C80 Mid para posición de fuente 1. Mini-Auditorio 2

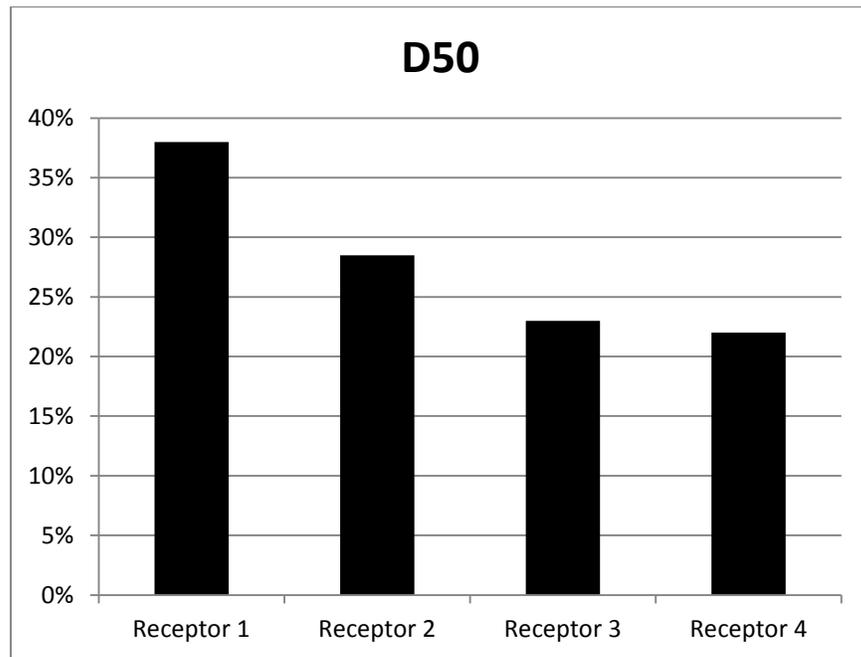


Figura A.18 Valor de D50 Mid para posición de fuente 1 .Mini-Auditorio 2

6.1.2 Posición de fuente 2

Tabla A.8 Promedio de T30 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	2,41	2,18	2,36	2,31	0,12
250	2,97	2,83	3,01	2,94	0,09
500	3,12	3,08	3,03	3,08	0,04
1000	3,56	3,61	3,63	3,60	0,03
2000	3,61	3,62	3,64	3,62	0,01
4000	2,57	2,58	2,56	2,57	0,01

Tabla A.9 Promedio de T20 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	2,29	1,92	2,18	2,13	0,19
250	3,02	2,69	2,69	2,80	0,19
500	3,14	3,02	2,94	3,03	0,10
1000	3,49	3,53	3,50	3,51	0,02
2000	3,55	3,56	3,57	3,56	0,01
4000	2,54	2,53	2,55	2,54	0,01

Tabla A.10 Promedio de EDT para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	1,66	1,74	1,51	1,64	0,12
250	2,54	2,73	2,39	2,55	0,17
500	2,92	3,02	2,94	2,96	0,05
1000	3,43	3,43	3,57	3,48	0,08
2000	3,61	3,56	3,46	3,54	0,08
4000	2,35	2,31	2,51	2,39	0,11

Tabla A.11C80 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	-0,34	-1,71	0,63
250	-4,22	-2,32	-2,18
500	-2,17	-3,08	-0,79
1000	-3,70	-4,31	-3,40
2000	-5,14	-3,84	-3,46
4000	-2,26	-1,71	-1,48

Tabla A.12 D50 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	0,32	0,23	0,38
250	0,21	0,26	0,20
500	0,27	0,22	0,37
1000	0,18	0,20	0,24
2000	0,14	0,22	0,21
4000	0,24	0,29	0,32

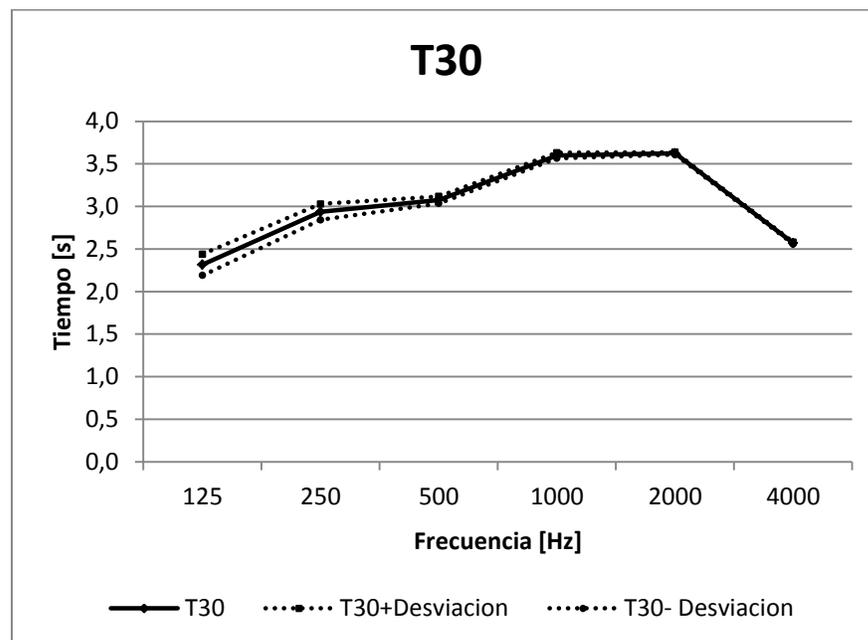


Figura A.19 Valor de T30 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

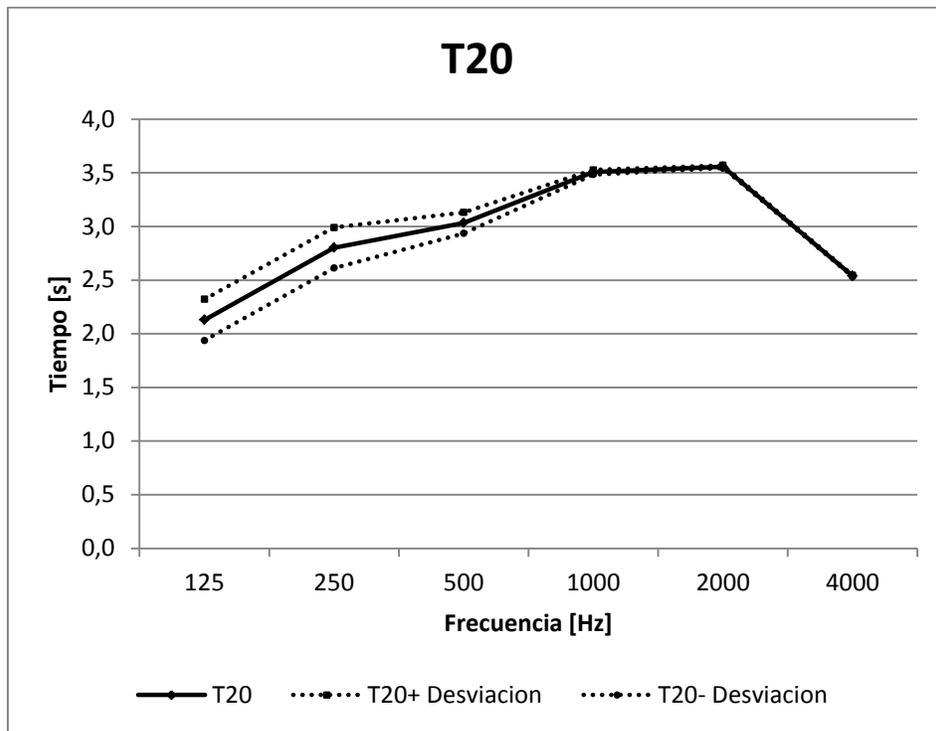


Figura A.20 Valor de T20 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

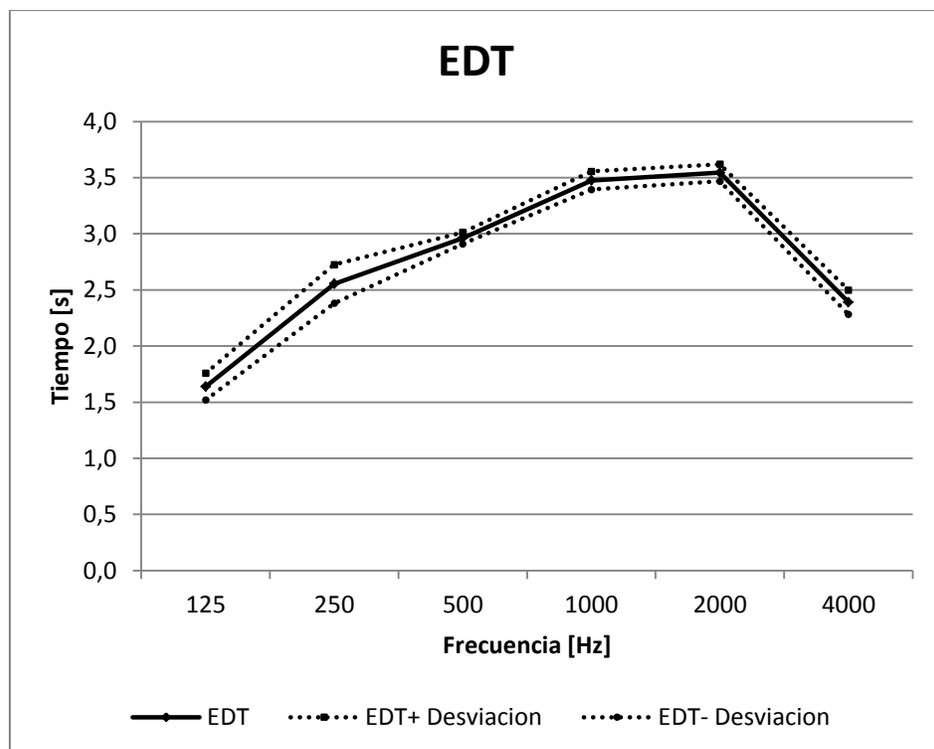


Figura A.21 Valor de EDT para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

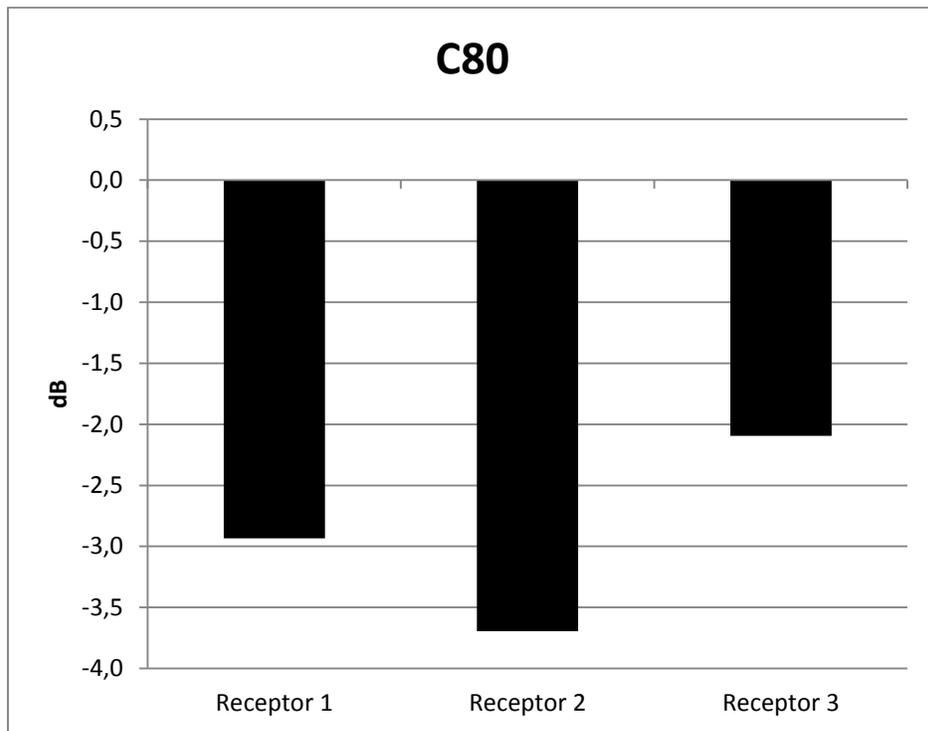


Figura A.22 Valor de C80 Mid para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

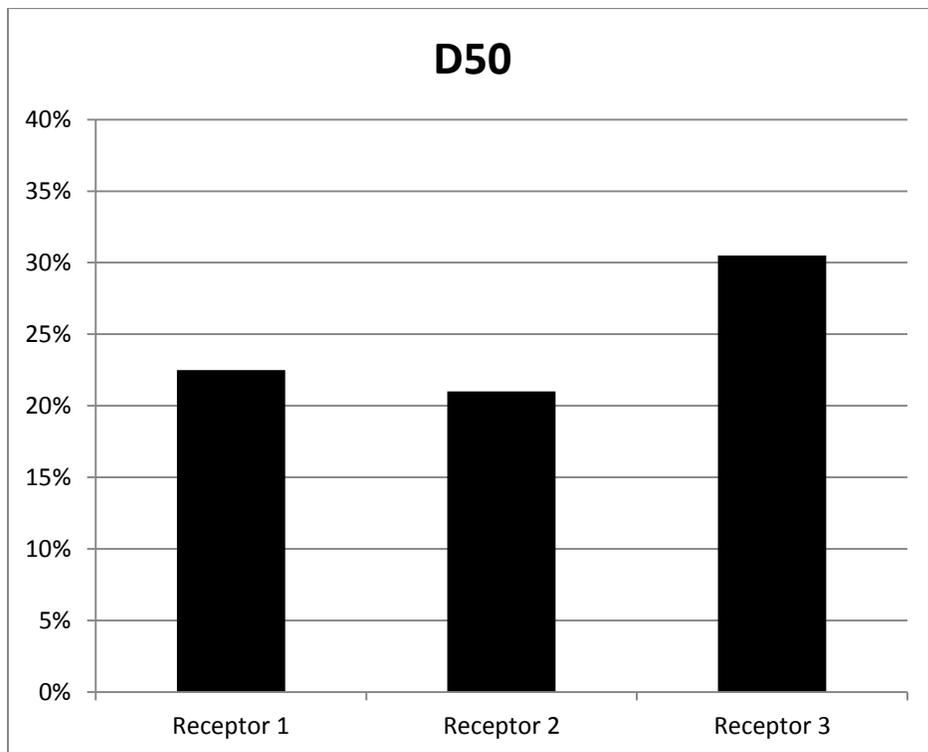


Figura A.23 Valor de D50 para posición de fuente 2. Mini-Auditorio 2

6.1.3 Posición de fuente 3

Tabla A.13 promedio de T30 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	2,09	2,37	2,51	2,32	0,22
250	2,91	2,92	3,00	2,94	0,05
500	3,19	3,17	3,11	3,15	0,04
1000	3,55	3,59	3,55	3,56	0,02
2000	3,63	3,59	3,63	3,62	0,02
4000	2,53	2,50	2,50	2,51	0,02

Tabla A.14 promedio de T20 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	1,95	2,29	2,44	2,23	0,25
250	2,95	2,99	2,99	2,98	0,02
500	3,03	3,12	3,04	3,06	0,05
1000	3,55	3,41	3,55	3,50	0,08
2000	3,60	3,54	3,55	3,56	0,03
4000	2,49	2,45	2,45	2,46	0,02

Tabla A.15 promedio de EDT para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	2,33	1,64	1,80	1,92	0,36
250	2,74	2,78	2,70	2,74	0,04
500	2,83	2,93	3,16	2,97	0,17
1000	3,54	3,45	3,40	3,46	0,07
2000	3,47	3,53	3,45	3,48	0,04
4000	2,45	2,42	2,56	2,48	0,07

Tabla A.16C80 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	0,37	-0,59	-0,59
250	-2,90	-1,26	-2,60
500	-4,22	-1,72	-1,87
1000	-3,60	-3,11	-1,85
2000	-4,31	-2,56	-2,82
4000	-2,70	-1,43	-0,73

Tabla A.17D50 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	0,31	0,33	0,31
250	0,26	0,33	0,29
500	0,18	0,31	0,28
1000	0,16	0,24	0,32
2000	0,19	0,27	0,26
4000	0,24	0,32	0,35

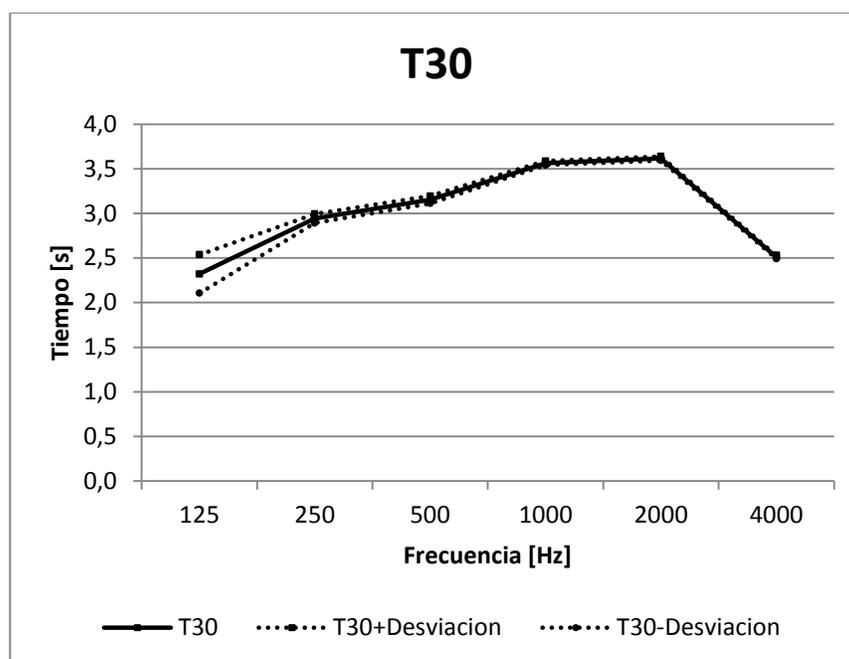


Figura A.23 Valor de T30 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2.

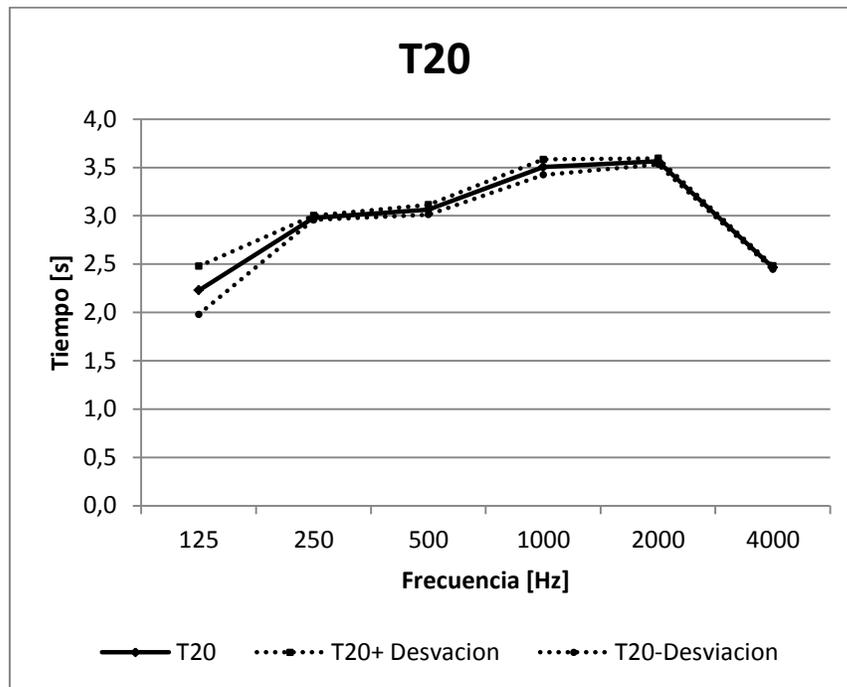


Figura A.24 Valor de T20 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

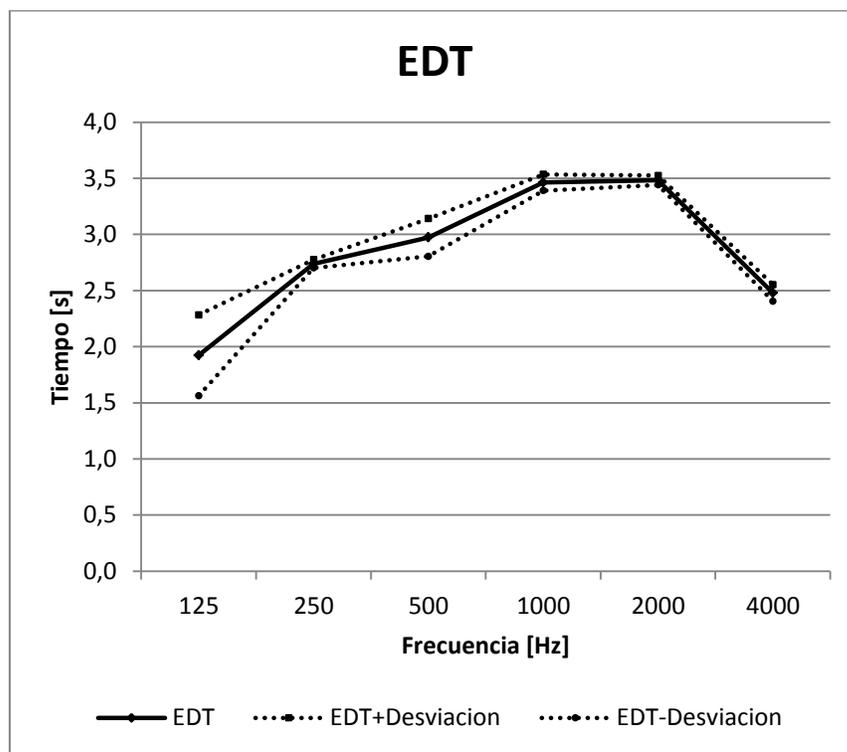


Figura A.25 Valor de EDT para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

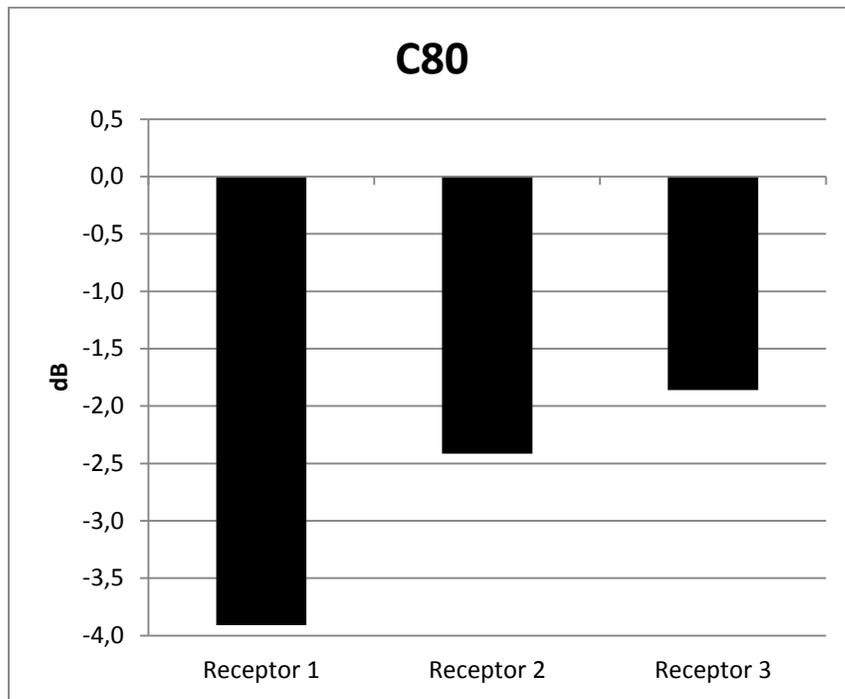


Figura A.26 Valor de C80 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2

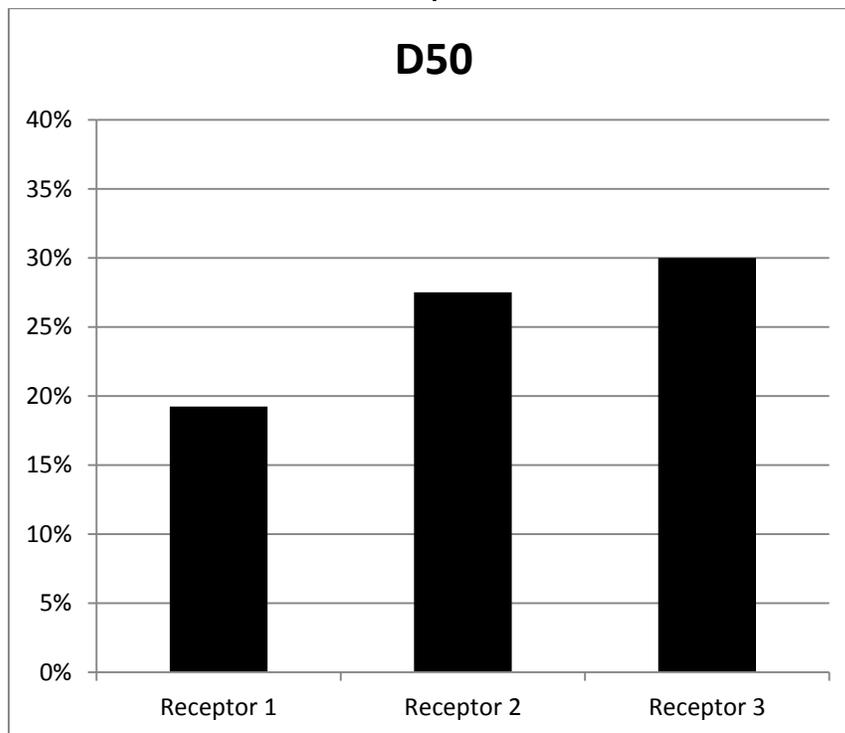


Figura A.27 Valor de D50 para posición de fuente 3. Mini-Auditorio 2.

Tabla A.18 Tiempo de reverberación. Promedio espacial Mini-Auditorio 2

f [Hz]	Fuente [s]			TR	Desviación [s]
	1	2	3		
125	2,77	2,31	2,32	2,47	0,26
250	3,34	2,94	2,95	3,07	0,23
500	3,38	3,08	3,15	3,2	0,16
1000	3,54	3,6	3,56	3,57	0,03
2000	3,56	3,51	3,53	3,54	0,03
4000	2,61	2,68	2,51	2,6	0,09

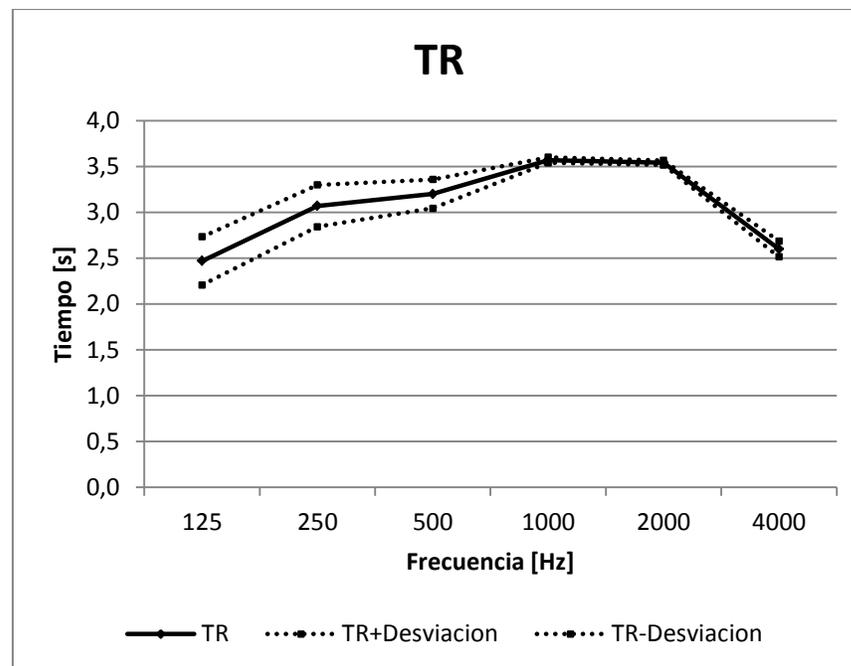


Figura A.28 Gráfico Tiempo de Reverberación (promedio espacial).Mini-Auditorio 2

El tiempo de reverberación medio se obtuvo mediante el promedio de las bandas 500 Hz y 1000 Hz del T30 como lo indica la norma

TRmid	3,39
--------------	------

6.2 AULA 402 E

6.2.1 Posición de fuente 1

Tabla A.19 Promedio de T30 para posición de fuente 1. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]				Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3	4		
125	4,60	4,75	5,06	5,20	4,90	0,28
250	5,15	5,17	5,29	5,34	5,23	0,09
500	4,58	4,39	4,67	4,53	4,54	0,12
1000	3,52	3,50	3,60	3,49	3,53	0,05
2000	3,25	3,25	3,29	3,26	3,26	0,02
4000	2,83	2,81	2,79	2,81	2,81	0,01

Tabla A.20 Promedio de T20 para posición de fuente 1. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]				Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3	4		
125	4,57	4,75	4,89	5,09	4,82	0,22
250	5,15	5,17	5,25	5,18	5,18	0,04
500	4,41	4,39	4,56	4,33	4,42	0,10
1000	3,47	3,50	3,50	3,37	3,46	0,06
2000	3,23	3,25	3,27	3,28	3,25	0,02
4000	2,82	2,81	2,77	2,81	2,80	0,02

Tabla A.21 Promedio de EDT para posición de fuente 1. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]				Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3	4		
125	3,67	4,71	4,07	4,70	4,29	0,50
250	4,94	4,61	4,89	4,90	4,83	0,15
500	4,03	3,99	4,13	3,88	4,01	0,10
1000	3,49	3,47	3,45	3,50	3,47	0,02
2000	3,30	3,31	3,43	3,30	3,33	0,06
4000	2,60	2,67	2,61	2,49	2,59	0,08

Tabla A.22C80 para posición de fuente 1. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]			
	1	2	3	4
125	-4,46	-4,39	-3,57	-6,83
250	-2,96	-4,53	-4,95	-4,66
500	-2,71	-2,20	-2,83	-4,79
1000	-2,11	-0,94	-2,86	-3,84
2000	-1,99	-0,63	-2,83	-2,90
4000	-1,16	0,85	-1,23	-1,08

Tabla A.23D50 para posición de fuente 1. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]			
	1	2	3	4
125	0,20	0,23	0,10	0,13
250	0,17	0,20	0,15	0,16
500	0,23	0,22	0,29	0,20
1000	0,23	0,34	0,27	0,19
2000	0,28	0,38	0,25	0,24
4000	0,31	0,46	0,32	0,31

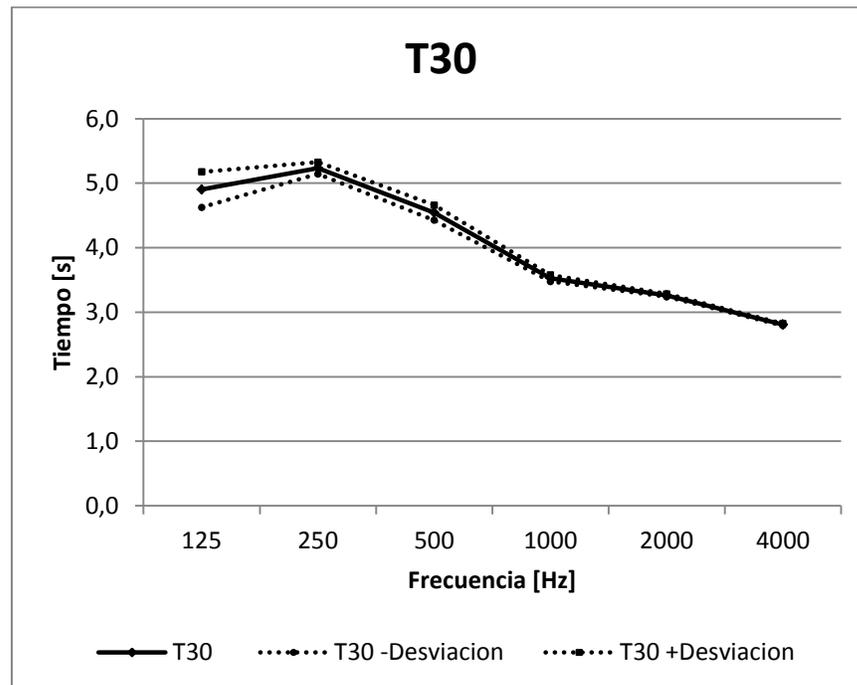


Figura A.29 Valor de T30 para posición de fuente 1. Aula 402 E.

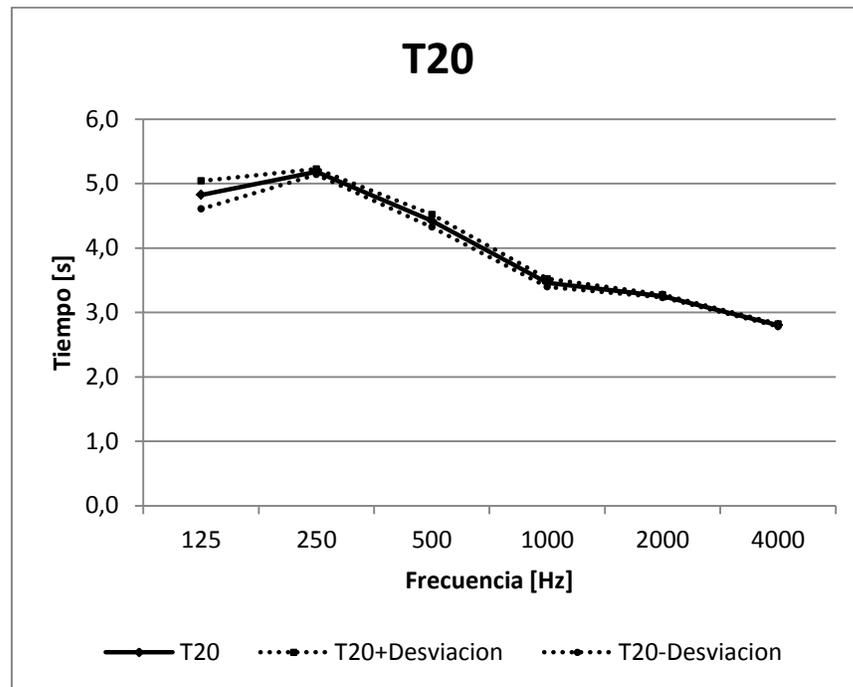


Figura A.30 Valor de T20 para posición de fuente 1. Aula 402 E.

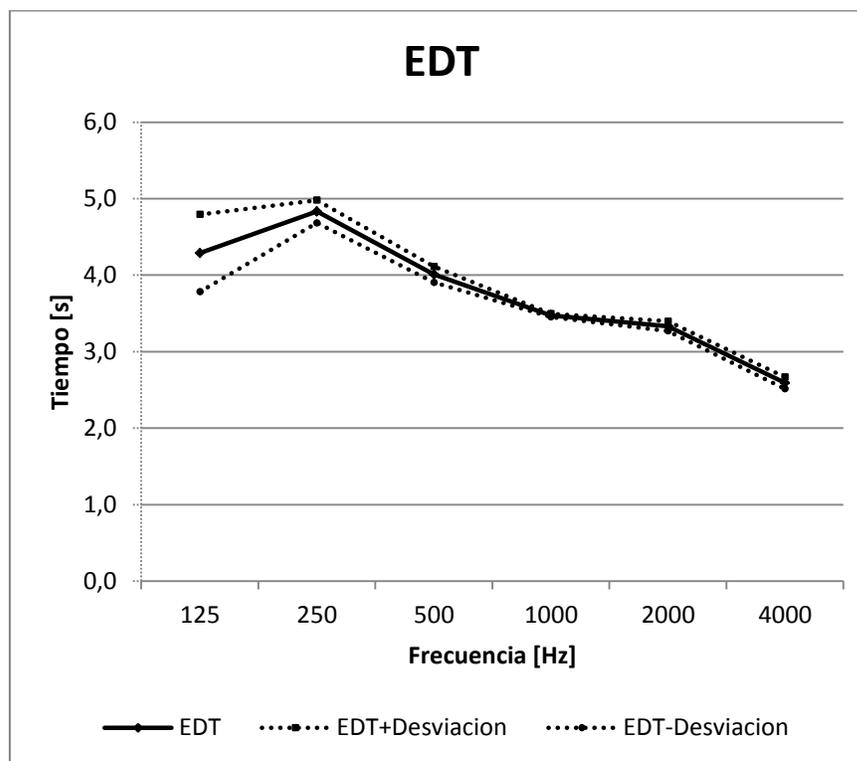


Figura A.31 Valor de EDT para posición de fuente 1. Aula 402 E.

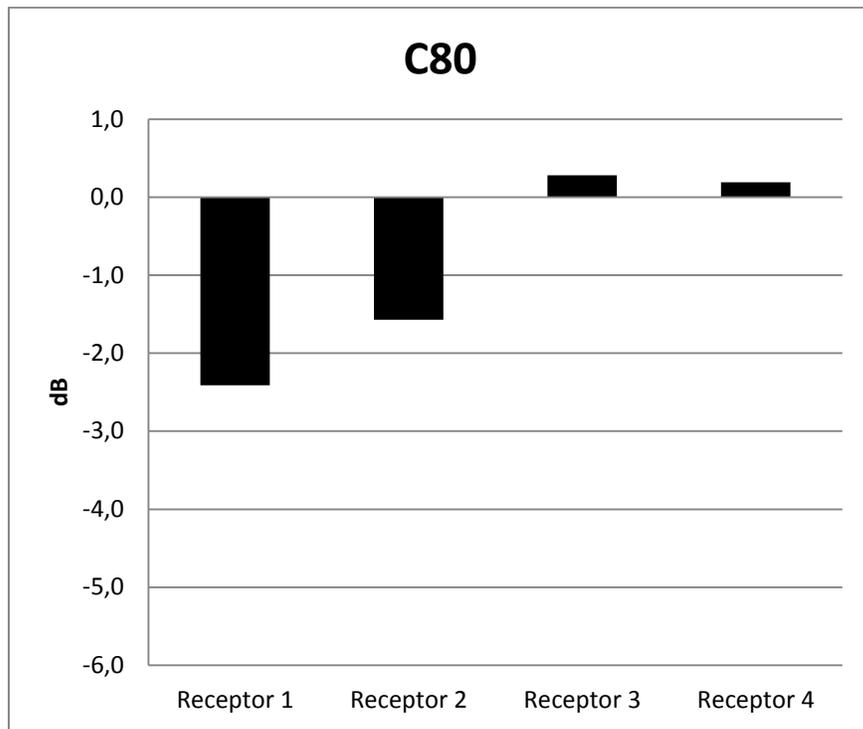


Figura A.32 Valor de C80 para posición de fuente 1. Aula 402 E.

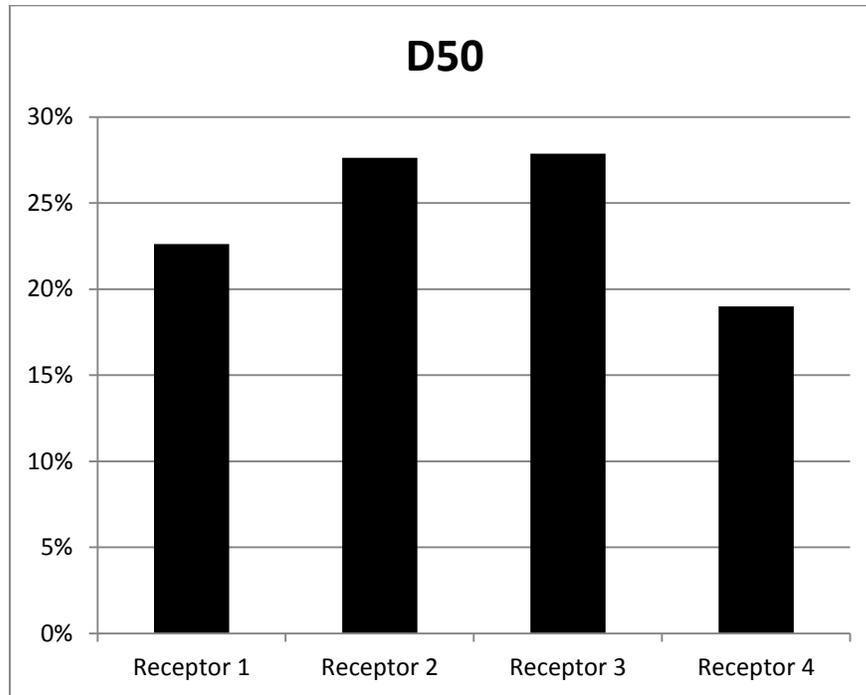


Figura A.33 Valor de D50 para posición de fuente 1. Aula 402 E.

6.2.2 Posición de fuente 2

Tabla A.24 Promedio de T30 para posición de fuente 2. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	5,33	5,50	5,38	5,40	0,09
250	5,18	5,55	5,47	5,40	0,20
500	4,57	4,49	4,61	4,56	0,06
1000	3,55	3,54	3,46	3,52	0,05
2000	3,26	3,30	3,32	3,30	0,03
4000	2,84	2,81	2,85	2,83	0,02

Tabla A.25 Promedio de T20 para posición de fuente 2. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	5,32	5,39	5,33	5,35	0,03
250	5,15	5,49	5,39	5,34	0,17
500	4,56	4,47	4,48	4,50	0,05
1000	3,53	3,49	3,51	3,51	0,02
2000	3,27	3,32	3,35	3,31	0,04
4000	2,78	2,74	2,79	2,77	0,03

Tabla A.26 Promedio de EDT para posición de fuente 2. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	4,97	4,75	5,08	4,93	0,17
250	5,20	5,16	5,32	5,22	0,08
500	4,27	4,27	4,13	4,22	0,08
1000	3,33	3,49	3,74	3,52	0,20
2000	3,31	3,27	3,24	3,27	0,04
4000	2,51	2,63	2,62	2,59	0,06

Tabla A.27 C80 para posición de fuente 2. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	-9,34	-5,05	-8,06
250	-6,66	-5,39	-5,04
500	-3,29	-5,27	-4,61
1000	-2,16	-5,35	-5,49
2000	-2,24	-5,56	-4,47
4000	0,01	-3,48	-2,77

Tabla A.28D50 para posición de fuente 2. Aula 402 E

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	0,05	0,17	0,11
250	0,13	0,16	0,18
500	0,26	0,17	0,17
1000	0,25	0,13	0,16
2000	0,28	0,12	0,16
4000	0,36	0,17	0,22

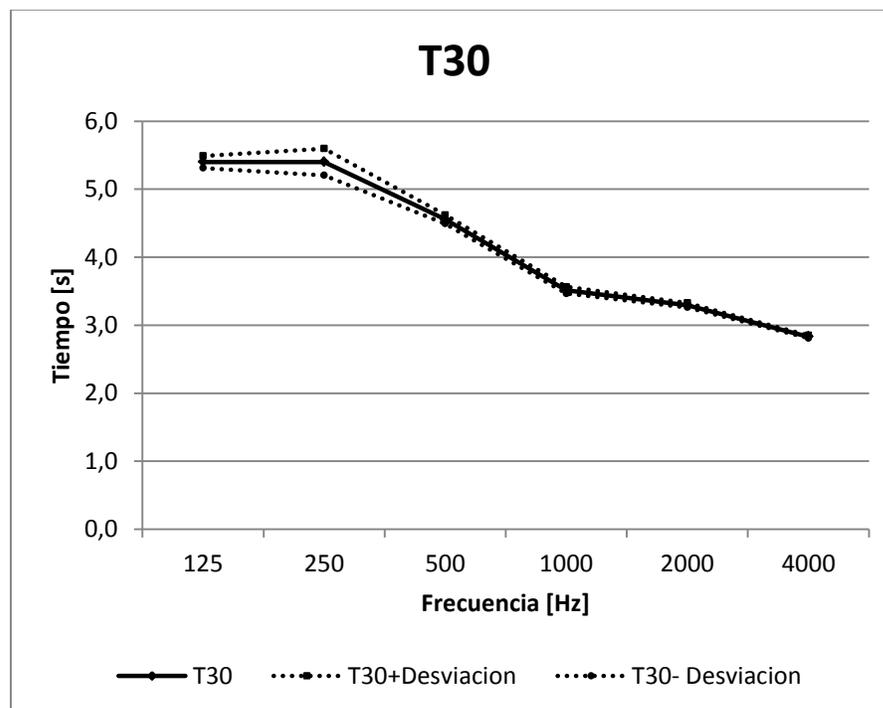


Figura A.33 Valor de T30 para posición de fuente 2. Aula 402 E

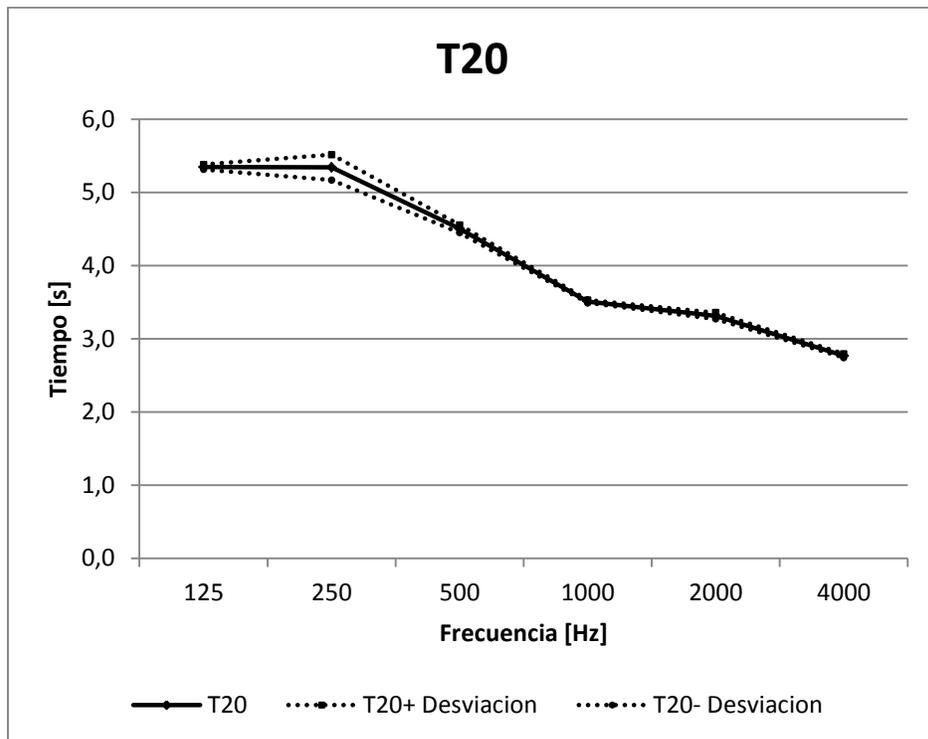


Figura A.34 Valor de T20 para posición de fuente 2. Aula 402 E

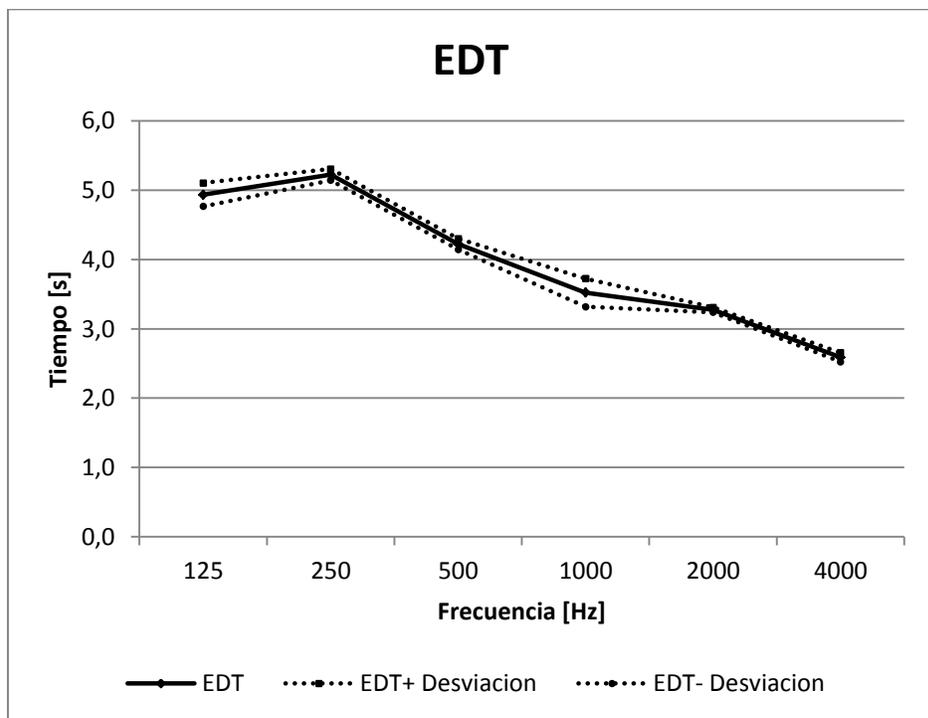


Figura A.35 Valor de EDT para posición de fuente 2. Aula 402 E

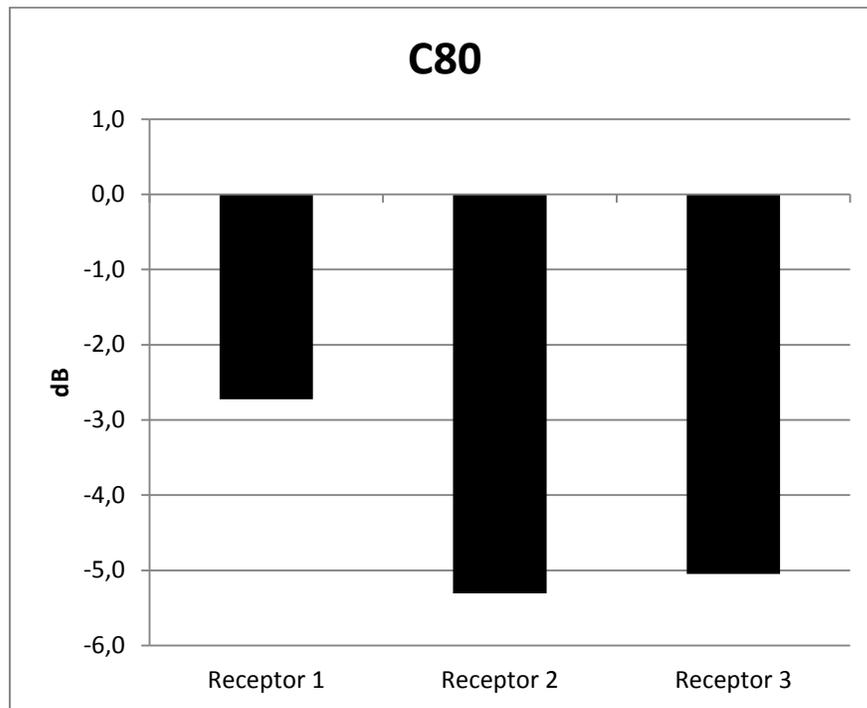


Figura A.36 Valor de C80 para posición de fuente 2. Aula 402 E

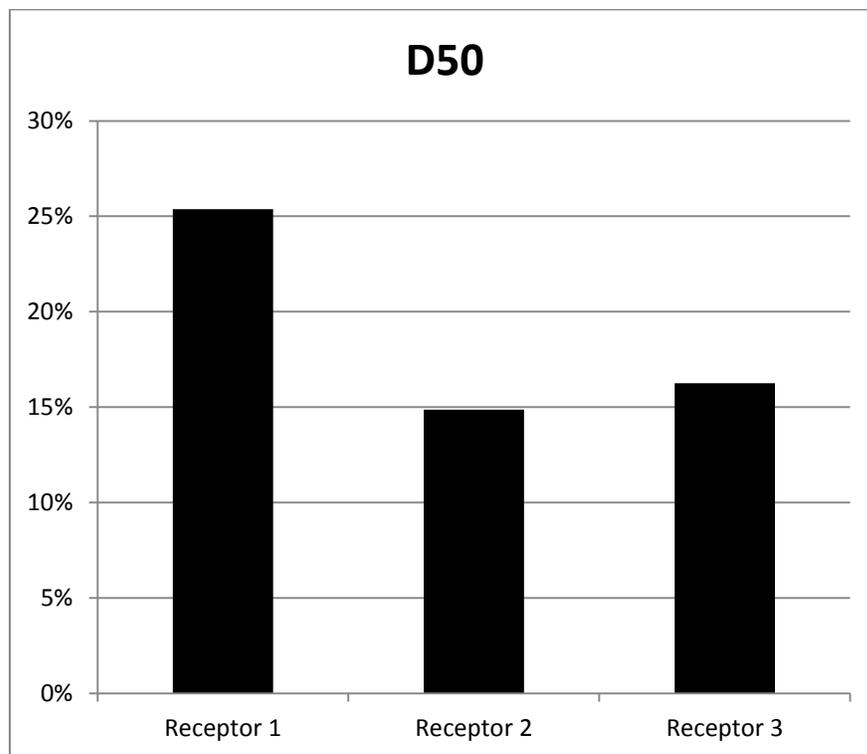


Figura A.37 Valor de D50 para posición de fuente 2. Aula 402 E

6.3.3 Posición de fuente 3

Tabla A.29 Promedio de T30 para posición de fuente 3. Aula 402 E.

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	5,41	5,41	5,31	5,37	0,06
250	5,36	5,30	5,41	5,36	0,05
500	4,53	4,62	4,49	4,55	0,06
1000	3,48	3,51	3,51	3,50	0,01
2000	3,27	3,28	3,31	3,29	0,02
4000	2,87	2,86	2,83	2,85	0,02

Tabla A.30 Promedio de T20 para posición de fuente 3. Aula 402 E.

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	5,27	5,28	5,15	5,23	0,07
250	5,35	5,28	5,36	5,33	0,05
500	4,52	4,52	4,49	4,51	0,01
1000	3,42	3,47	3,52	3,47	0,05
2000	3,25	3,31	3,31	3,29	0,04
4000	2,80	2,80	2,75	2,78	0,03

Tabla A.31 Promedio de EDT para posición de fuente 3. Aula 402 E.

f [Hz]	Receptor [s]			Promedio [s]	Desviación [s]
	1	2	3		
125	4,39	4,69	4,72	4,60	0,18
250	5,21	4,96	5,57	5,25	0,31
500	4,23	3,65	4,26	4,05	0,35
1000	3,65	3,72	3,46	3,61	0,13
2000	3,14	3,36	3,26	3,25	0,11
4000	2,59	2,51	2,45	2,52	0,07

Tabla A.32C80 para posición de fuente 3. Aula 402 E.

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	-4,66	-7,24	-4,27
250	-3,10	-7,77	-4,18
500	-3,75	-4,84	-4,07
1000	-3,14	-2,57	-1,38
2000	-3,30	-2,38	-1,45
4000	-1,40	-0,28	0,46

Tabla A.33D50 para posición de fuente 3. Aula 402 E.

f [Hz]	Receptor [s]		
	1	2	3
125	0,09	0,08	0,19
250	0,23	0,11	0,22
500	0,22	0,18	0,20
1000	0,24	0,27	0,31
2000	0,22	0,38	0,33
4000	0,31	0,28	0,41

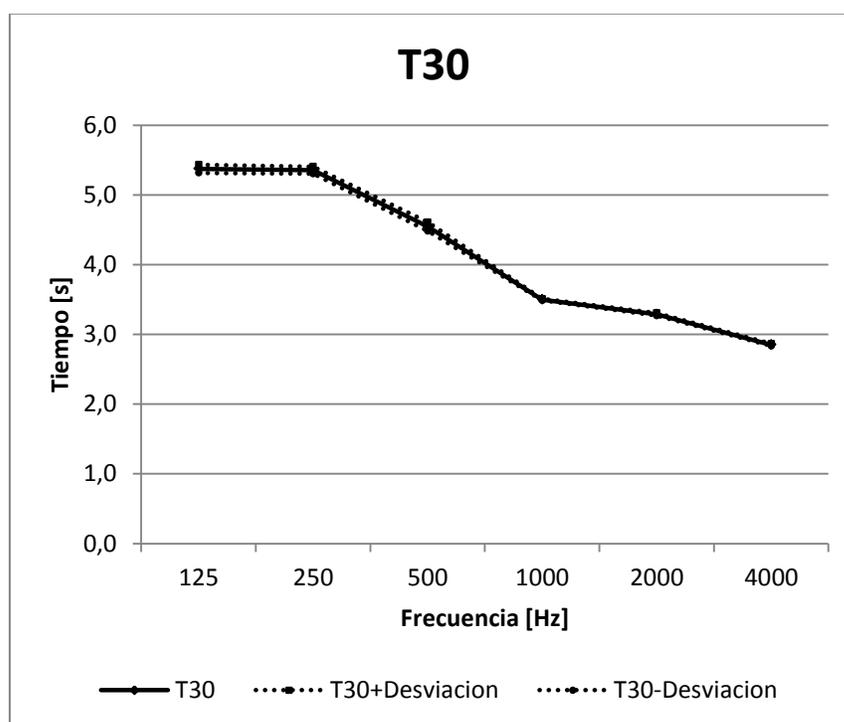


Figura A.38 Valor de T30 para posición de fuente 3. Aula 402 E

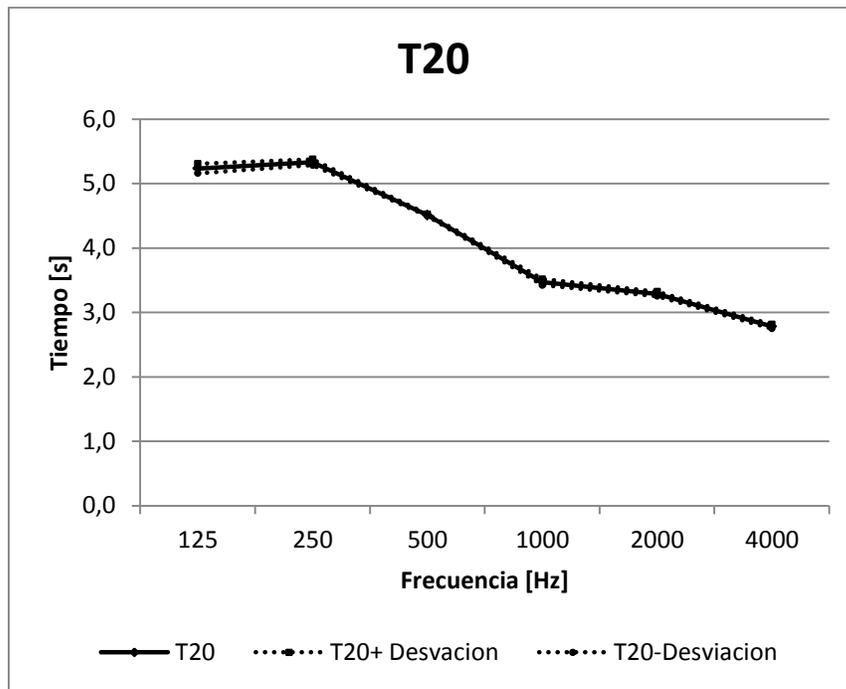


Figura A.39 Valor de T20 para posición de fuente 3. Aula 402 E

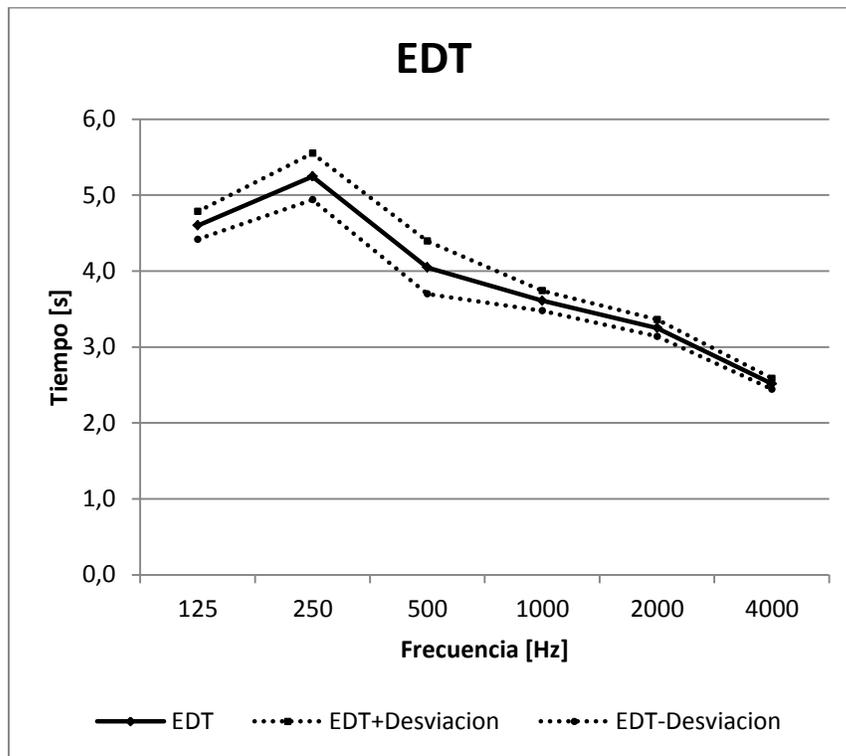


Figura A.40 Valor de EDT para posición de fuente 3. Aula 402 E

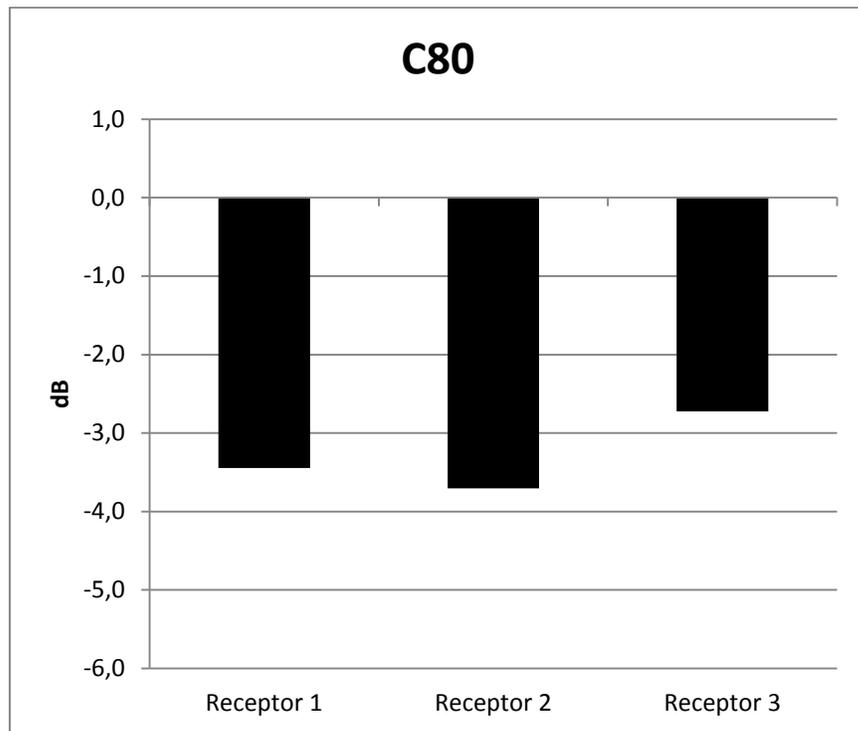


Figura A.41 Valor de C80 para posición de fuente 3. Aula 402 E

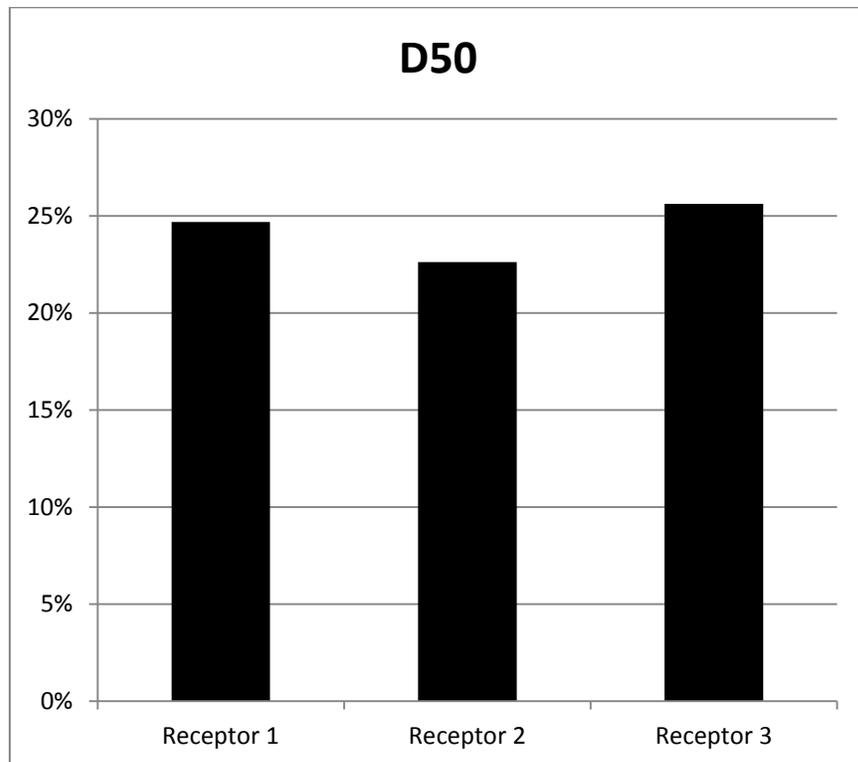


Figura A.42 Valor de D50 para posición de fuente 3. Aula 402 E

Tabla A.34 Tiempo de Reverberación Promedio espacial. Aula 402 E

f [Hz]	Fuente [s]			TR	Desviación [s]
	1	2	3		
125	4,93	5,34	5,37	5,22	0,25
250	5,24	5,28	5,36	5,29	0,06
500	4,56	4,58	4,55	4,57	0,02
1000	3,53	3,52	3,5	3,52	0,02
2000	3,27	3,28	3,29	3,28	0,01
4000	2,81	2,84	2,85	2,84	0,02

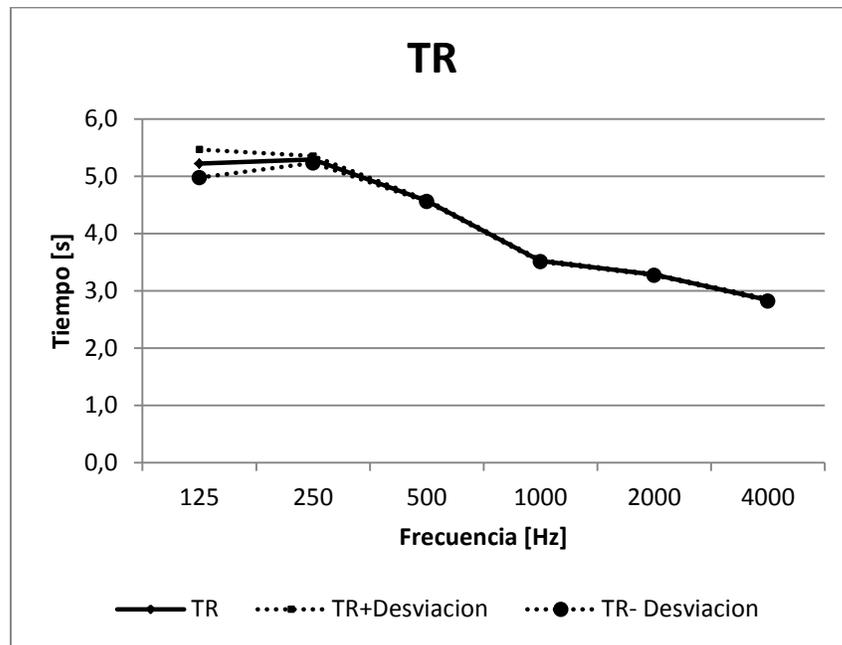


Figura A.43 Gráfico Tiempo de Reverberación (promedio espacial). Aula 402E

El tiempo de reverberación medio se obtuvo mediante el promedio de las bandas 500 Hz y 1000 Hz del T30 como lo indica la norma

Trmid	4,05
--------------	-------------

REFERENCIAS

[1] Norma ISO 3382-1: 2009.

[2] A. Carrion, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos, Barcelona: 1998

ANEXO B. INFORME DE MEDICIÓN DE DIRECTIVIDAD DEL PARLANTE EON 15 G2

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 RESPONSABLES DEL INFORME

Mario Alfonso Henríquez Romero
Estudiante Ingeniería de Sonido
Universidad de San Buenaventura Medellín
CC. 1.017'175.193 de Medellín

Ángel David Londoño Rentería
Estudiante Ingeniería de Sonido
Universidad de San Buenaventura Medellín
CC. 1.077'444.936 de Quibdó

1.2 UBICACIÓN Y DATOS DE LA MEDICIÓN

Universidad de San Buenaventura
Campus Universitario, Salento
Cancha de Arenilla
Fecha: 19 de Junio de 2013
Hora de inicio: 1:30 p.m.
Hora de finalización: 5:00 p.m.
Temperatura: 28°C (promedio)
Humedad Relativa (Promedio Ciudad): 58%

2. OBJETIVO

Obtener el patrón de directividad del parlante EON15-G2 de JBL, para su posterior simulación en el software CATT-Acoustic.

3. MARCO LEGAL NORMATIVO

3.1 ISO 3744

Norma encargada de estipular los parámetros a tener en cuenta y el procedimiento de medición de potencia acústica por medio de niveles de presión sonora medidos en campo libre con un plano reflectante, además contiene un método de obtención de patrones de directividad. Aunque la finalidad de esta medición no es obtener potencia acústica, la medición se basó en muchos de los procedimientos, condiciones y consideraciones que ésta estipula.

3.2 NORMAS QUE RIGEN LAS CONDICIONES DEL SONÓMETRO

IEC 651–1979: Norma de la comisión electrónica internacional en la cual se establecen las características que debe presentar un sonómetro, determinando las curvas de ponderación por frecuencia y tiempo.

IEC 804–1985: Norma de la comisión electrónica internacional que establece las características que debe presentar un sonómetro, presentando los tiempos de integración que este debe utilizar.

ANSI S 1.4–1983: Esta Norma tiende a dar especificaciones para los de sonómetros y proporciona información para el suplemento ANSI 1.4a S-1985.

IEC942: Norma encargada de definir las condiciones que debe tener un calibrador para medidores sonoros y proporciona información para el suplemento ANSI S1.4O-1984.

3.3 NORMAS QUE RIGEN LA CALIBRACIÓN DEL PISTÓFONO

ANSI S 1.40-1984: Norma de especificaciones para los calibradores acústicos.

IEC 942: Norma de especificaciones para los calibradores de sonómetros tipo 1 o 2.

4. DESARROLLO DE LA MEDICIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

La medición se llevó a cabo en la cancha de arenilla del Campus Universitario, esta cancha brinda un espacio amplio de 100 x 66 m (aproximadamente), de forma que ésta puede ser considerada como una buena aproximación a la situación de un campo libre. Aledaños a la cancha se encuentra el hangar de la facultad de Artes Integradas y la cafetería del tercer piso del bloque de aulas del Campus Universitario, el resto de la cancha está rodeada por césped, algunos árboles y un camino por el cual pasan algunos vehículos con suministros hacia la cafetería (ver *Figura B.1*).



Figura B.1 Vista satelital de la cancha del Campus Universitario (Imagen por *Google Maps*).

4.2 IMPLEMENTOS UTILIZADOS

Para la medición se utilizaron distintas herramientas, las cuales se listan a continuación.

4.2.1 Parlante JBL EON15 G2. Sistema de sonido activo de dos vías con parlante de 15 pulgadas.



Figura B.2 JBL EON15G2

4.2.2 Sonómetro Cesva SC310sb. Sonómetro integrador Tipo 1.



Figura B.3 Cesva SC310sb

4.2.3 Transportador. Utilizado para marcar los ángulos para la medición de directividad.

4.2.4 Hilo (1.5 metros). Se pegó al transportador y a la base del sonómetro para tener referencia de la distancia y el ángulo.

4.2.5 Computador Portátil. Se utilizó un computador portátil con software Pro Tools para generar la señal de referencia para la medición (ruido rosa).

4.2.6 Interfaz de audio M-Audio Mobile Pre USB. Interfaz con conexión USB utilizada para llevar la señal de referencia desde el computador hacia el parlante, posee salidas desbalanceadas.



Figura B.4 Interfaz M-Audio Mobile Pre USB

4.2.7 Caja Directa Whirl-wind DIRECTOR. Caja directa pasiva, utilizada para convertir la salida desbalanceada de la interfaz a señal balanceada.



Figura B.5 Caja Directa Whirl-wind DIRECTOR.

4.2.8 Otros Implementos

- 2 Cables TS
- 2 Cables XLR
- Cable de extensión eléctrica
- Múltiple (Regleta)

4.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

El parlante fue ubicado cerca al área de la portería, a una distancia considerable de las posibles fuentes de ruido y apuntando hacia el otro extremo de la cancha (ver *Figura B.6*).



Figura B.6 Ubicación y dirección del parlante

Se utilizó una esfera imaginaria alrededor del parlante, de un radio R de 1.7 metros, y se definió una resolución de medición de 15 grados por punto, teniendo 24 puntos de medición para la directividad vertical y 12 para la horizontal, para ésta última, el resto de los valores fueron hallados por simetría (Ver Figuras B.7 y B.8) .

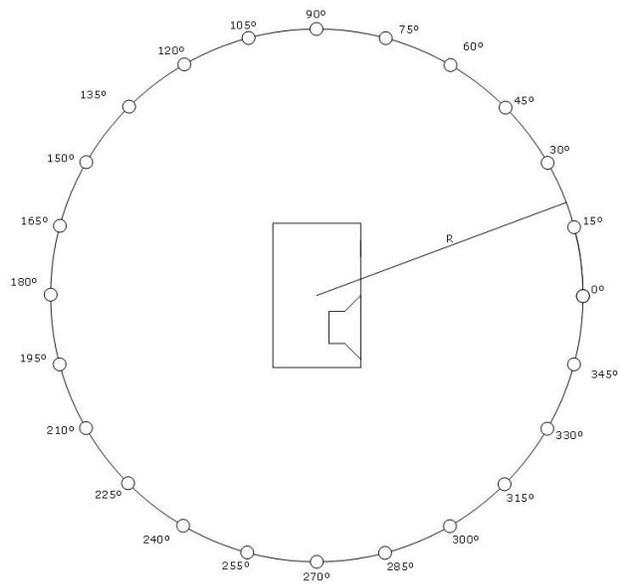


Figura B.7 Superficie y puntos de medición, componente vertical

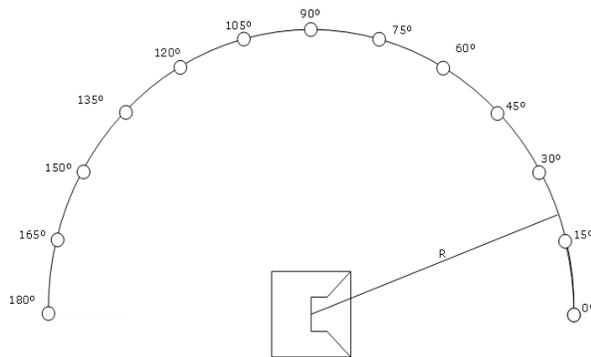


Figura B.8 Superficie y puntos de medición, componente horizontal

El parlante fue ubicado en una base a 1.5 metros de altura, esta altura se varió para medir los puntos correspondientes a la parte inferior del parlante para poder tener cierta distancia entre el suelo y el micrófono, para estas medidas el parlante fue ubicado a una altura de 1.8 metros.

Se unió el transportador al parlante utilizando cinta, éste a su vez se le adjuntó una tira de hilo la cual se unió al soporte del sonómetro, para tener una referencia del radio de la esfera como se observa en la Figura B.9.



Figura B.9 Transportador adjunto al parlante

Se utilizó una señal de referencia (ruido rosa) utilizando el software Pro Tools, esta señal fue llevada de la interfaz de audio hacia una caja directa, para eliminar o reducir problemas de ruido o señales de radiofrecuencia que se pudiesen filtrar.

El sonómetro se calibró utilizando el calibrador tipo 1 propio del Cesva SC310sb y se configuró para que tomara medidas con un tiempo de integración de 60 segundos, también se utilizó la pantalla anti-viento.

Se realizó una medición de Ruido de fondo, y se configuró el parlante para obtener un nivel 6dB por encima (cómo mínimo).

Inicialmente se midió la componente vertical, para esto fue necesario el montaje de una base tipo boom, este se implementó utilizando la extensión de una base de 4 metros (ver Figura B.10), en este montaje se ubicó el micrófono del sonómetro usando el cable de extensión. A este montaje se le adjuntó también la tira de hilo anexa al transportador, para tener siempre la referencia del radio del círculo y del ángulo a medir.



Figura B.10 Montaje tipo boom para la medición de la componente vertical

Debido a la naturaleza del montaje, los valores obtenidos de directividad vertical no son considerados datos precisos, más bien una aproximación.

Los datos de directividad horizontal se tomaron sin necesidad de montajes especiales, y se midió de 0° a 180° debido a la simetría horizontal que presentan los parlantes (Ver Figura B.11).



Figura B.11 Medición de la componente horizontal

5. RESULTADOS

Tabla B.1 Tabla de ruido de fondo

Ruido De Fondo							
f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL [dB]	57,6	61,8	64,7	61,4	51,6	44,9	43,3

Tabla B.2 Nivel de presión sonora por ángulo en bandas de octavas

Componente Horizontal [dBSPL]						
Ángulo	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0°	97,5	96,0	99,0	95,0	88,3	89,1
15°	96,8	95,5	99,1	94,4	86,4	88,8
30°	96,3	95,1	98,3	92,6	85,4	88,7
45°	97,1	96,2	99,1	91,9	83,5	86,7
60°	98,3	96,7	96,8	87,9	83,2	84,6
75°	97,0	95,2	95,0	85,3	77,5	80,3
90°	95,5	93,4	93,2	81,8	74,1	74,9
105°	93,2	91,0	91,1	82,0	71,5	72,3
120°	92,5	90,6	91,8	79,9	69,5	68,6
135°	91,3	89,7	90,6	77,4	71,9	71,4
150°	90,9	89,3	87,2	76,1	72,5	67,4
165°	91,7	90,9	85,6	72,7	74,1	70,3
180°	91,8	90,9	87,4	73,2	76,6	71,9
195°	91,7	90,9	85,6	72,7	74,1	70,3
210°	90,9	89,3	87,2	76,1	72,5	67,4
225°	91,3	89,7	90,6	77,4	71,9	71,4
240°	92,5	90,6	91,8	79,9	69,5	68,6
255°	93,2	91,0	91,1	82,0	71,5	72,3
270°	95,5	93,4	93,2	81,8	74,1	74,9
285°	97,0	95,2	95,0	85,3	77,5	80,3
300°	98,3	96,7	96,8	87,9	83,2	84,6
315°	97,1	96,2	99,1	91,9	83,5	86,7
330°	96,3	95,1	98,3	92,6	85,4	88,7
345°	96,8	95,5	99,1	94,4	86,4	88,8

Tabla B.3 Nivel de presión sonora por ángulo en bandas de octavas

Ángulo	Componente Vertical [dBSPL]					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
0°	87,0	88,8	88,9	86,7	83,1	83,3
15°	87,4	87,7	87,6	84,0	80,4	83,4
30°	87,6	86,6	86,4	82,1	81,0	80,8
45°	87,3	85,5	84,8	80,0	79,0	77,5
60°	85,7	82,8	81,0	75,2	73,0	70,9
75°	85,3	81,8	79,5	72,3	70,3	68,1
90°	84,7	80,7	78,1	69,2	67,2	65,3
105°	84,2	80,1	76,9	67,9	64,8	63,3
120°	83,9	80,3	76,4	67,2	63,3	61,5
135°	83,7	80,7	76,1	68,4	62,4	58,3
150°	83,4	81,8	78,1	66,7	61,1	59,3
165°	82,1	82,0	79,1	66,6	57,3	54,4
180°	81,3	82,8	78,5	66,9	59,1	54,9
195°	84,3	80,9	76,8	68,6	59,9	53,1
210°	84,2	81,5	76,8	67,9	59,9	51,4
225°	83,7	82,2	77,5	67,1	58,9	56,2
240°	83,3	83,1	78,3	69,3	65,0	57,7
255°	82,7	83,7	78,1	69,8	62,9	55,6
270°	84,0	85,0	80,3	71,7	67,2	61,7
285°	85,0	86,3	82,8	76,7	73,2	65,7
300°	86,5	87,0	85,3	79,7	73,0	68,4
315°	88,3	87,4	86,6	82,2	76,5	72,1
330°	88,7	87,6	87,4	84,6	78,9	76,6
345°	89,2	87,5	88,2	86,6	81,2	80,4

La ISO 3744 estipula una corrección por ruido de fondo, la cual se aplica cuando los valores medidos están entre 6 y 15 dB por encima del ruido de fondo, esta corrección se realiza usando la fórmula:

$$K_1 = -10 \log_{10}(1 - 10^{-0.1\Delta L_p}) \text{ dB}$$

donde ΔL_p es la diferencia entre el nivel de presión sonora medido con la fuente en funcionamiento y el valor medido de ruido de fondo.

El valor resultante es la diferencia entre el valor medido y las correcciones realizadas. Así se obtienen las siguientes tablas:

Tabla B.4 Nivel de presión corregido sonora por ángulo en bandas de octavas

Componente Horizontal Corregido [dBSPL]						
Ángulo	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0°	97,5dB	96,0dB	99,0dB	95,0dB	88,3dB	89,1dB
15°	96,8dB	95,5dB	99,1dB	94,4dB	86,4dB	88,8dB
30°	96,3dB	95,1dB	98,3dB	92,6dB	85,4dB	88,7dB
45°	97,1dB	96,2dB	99,1dB	91,9dB	83,5dB	86,7dB
60°	98,3dB	96,7dB	96,8dB	87,9dB	83,2dB	84,6dB
75°	97,0dB	95,2dB	95,0dB	85,3dB	77,5dB	80,3dB
90°	95,5dB	93,4dB	93,2dB	81,8dB	74,1dB	74,9dB
105°	93,2dB	91,0dB	91,1dB	82,0dB	71,5dB	72,3dB
120°	92,5dB	90,6dB	91,8dB	79,8dB	69,4dB	68,6dB
135°	91,3dB	89,7dB	90,6dB	77,3dB	71,9dB	71,4dB
150°	90,9dB	89,3dB	87,2dB	76,0dB	72,5dB	67,4dB
165°	91,7dB	90,9dB	85,6dB	72,4dB	74,1dB	70,3dB
180°	91,8dB	90,9dB	87,4dB	72,9dB	76,6dB	71,9dB
195°	91,7dB	90,9dB	85,6dB	72,4dB	74,1dB	70,3dB
210°	90,9dB	89,3dB	87,2dB	76,0dB	72,5dB	67,4dB
225°	91,3dB	89,7dB	90,6dB	77,3dB	71,9dB	71,4dB
240°	92,5dB	90,6dB	91,8dB	79,8dB	69,4dB	68,6dB
255°	93,2dB	91,0dB	91,1dB	82,0dB	71,5dB	72,3dB
270°	95,5dB	93,4dB	93,2dB	81,8dB	74,1dB	74,9dB
285°	97,0dB	95,2dB	95,0dB	85,3dB	77,5dB	80,3dB
300°	98,3dB	96,7dB	96,8dB	87,9dB	83,2dB	84,6dB
315°	97,1dB	96,2dB	99,1dB	91,9dB	83,5dB	86,7dB
330°	96,3dB	95,1dB	98,3dB	92,6dB	85,4dB	88,7dB
345°	96,8dB	95,5dB	99,1dB	94,4dB	86,4dB	88,8dB

Tabla B.5 Nivel de presión corregido sonora por ángulo en bandas de octavas

Componente Vertical Corregido [dBSPL]						
Ángulo	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
0°	87,0	88,8	88,9	86,7	83,1	83,3
15°	87,4	87,7	87,6	84,0	80,4	83,4
30°	87,6	86,6	86,4	82,1	81,0	80,8
45°	87,3	85,5	84,8	79,9	79,0	77,5
60°	85,7	82,8	80,9	75,0	73,0	70,9
75°	85,3	81,8	79,4	71,9	70,2	68,1
90°	84,7	80,6	77,9	68,4	67,1	65,3
105°	84,2	80,0	76,6	66,8	64,6	63,2
120°	83,9	80,2	76,1	65,9	63,0	61,4
135°	83,7	80,6	75,8	67,4	62,0	58,1
150°	83,4	81,8	77,9	65,2	60,6	59,1
165°	82,1	82,0	78,9	65,0	55,9	53,9
180°	81,3	82,8	78,3	65,5	58,2	54,4
195°	84,3	80,8	76,5	67,7	59,2	52,4
210°	84,2	81,5	76,5	66,8	59,2	50,3
225°	83,7	82,2	77,3	65,7	58,0	55,9
240°	83,3	83,1	78,1	68,5	64,8	57,5
255°	82,7	83,7	77,9	69,1	62,6	55,2
270°	84,0	85,0	80,2	71,3	67,1	61,6
285°	85,0	86,3	82,7	76,6	73,2	65,7
300°	86,5	87,0	85,3	79,6	73,0	68,4
315°	88,3	87,4	86,6	82,2	76,5	72,1
330°	88,7	87,6	87,4	84,6	78,9	76,6
345°	89,2	87,5	88,2	86,6	81,2	80,4

La Norma también estipula una corrección K_2 la cual está relacionada con la influencia del entorno de medición. La corrección no fue tomada en cuenta debido a que la fuente de referencia requerida para esta corrección no se tenía a la mano a la hora de la medición.

El coeficiente de directividad fue obtenido mediante la relación entre el valor de presión sonora en pascales en el punto de referencia (0°) y los obtenidos en los distintos ángulos, utilizando la siguiente fórmula:

$$ID = 20 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_\alpha} \right) dB$$

Donde P_r es la presión sonora en Pa en el ángulo 0 y P_α es la presión sonora para cada ángulo. Así se pudo obtener las tablas que se muestran a continuación.

Tabla B.6 Índice de directividad horizontal por ángulo en bandas de octava

Índice de Directividad Horizontal[dBSPL]						
Ángulo	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
0°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15°	-0,7	-0,5	0,1	-0,6	-1,9	-0,3
30°	-1,2	-0,9	-0,7	-2,4	-2,9	-0,4
45°	-0,4	0,2	0,1	-3,1	-4,8	-2,4
60°	0,8	0,7	-2,2	-7,1	-5,1	-4,5
75°	-0,5	-0,8	-4,0	-9,7	-10,8	-8,8
90°	-2,0	-2,6	-5,8	-13,2	-14,2	-14,2
105°	-4,3	-5,0	-7,9	-13,0	-16,8	-16,8
120°	-5,0	-5,4	-7,2	-15,0	-18,7	-20,5
135°	-6,2	-6,3	-8,4	-17,5	-16,4	-17,7
150°	-6,6	-6,7	-11,8	-18,8	-15,8	-21,7
165°	-5,8	-5,1	-13,4	-22,0	-14,2	-18,8
180°	-5,7	-5,1	-11,6	-21,5	-11,7	-17,2
195°	-5,8	-5,1	-13,4	-22,0	-14,2	-18,8
210°	-6,6	-6,7	-11,8	-18,8	-15,8	-21,7
225°	-6,2	-6,3	-8,4	-17,5	-16,4	-17,7
240°	-5,0	-5,4	-7,2	-15,0	-18,7	-20,5
255°	-4,3	-5,0	-7,9	-13,0	-16,8	-16,8
270°	-2,0	-2,6	-5,8	-13,2	-14,2	-14,2
285°	-0,5	-0,8	-4,0	-9,7	-10,8	-8,8
300°	0,8	0,7	-2,2	-7,1	-5,1	-4,5
315°	-0,4	0,2	0,1	-3,1	-4,8	-2,4
330°	-1,2	-0,9	-0,7	-2,4	-2,9	-0,4
345°	-0,7	-0,5	0,1	-0,6	-1,9	-0,3

Tabla B.7 Índice directividad vertical por ángulo en bandas de octava

Índice de Directividad Vertical[dBSPL]						
Ángulo	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
0°	0	0	0	0	0	0
15°	0,4	-1,1	-1,3	-2,7	-2,7	0,1
30°	0,6	-2,2	-2,5	-4,6	-2,1	-2,5
45°	0,3	-3,3	-4,1	-6,7	-4,1	-5,8
60°	-1,3	-6,0	-8,0	-11,7	-10,1	-12,4
75°	-1,7	-7,0	-9,5	-14,8	-12,9	-15,2
90°	-2,3	-8,1	-11,0	-18,3	-16,0	-18,0
105°	-2,8	-8,8	-12,3	-19,9	-18,5	-20,1
120°	-3,1	-8,6	-12,8	-20,8	-20,1	-21,9
135°	-3,3	-8,1	-13,1	-19,3	-21,1	-25,2
150°	-3,6	-7,0	-11,0	-21,5	-22,5	-24,2
165°	-4,9	-6,8	-9,9	-21,6	-27,2	-29,4
180°	-5,7	-6,0	-10,6	-21,2	-24,8	-28,9
195°	-2,7	-7,9	-12,4	-19,0	-23,9	-30,9
210°	-2,8	-7,3	-12,4	-19,9	-23,9	-33,0
225°	-3,3	-6,6	-11,6	-20,9	-25,1	-27,4
240°	-3,7	-5,7	-10,8	-18,2	-18,3	-25,8
255°	-4,3	-5,1	-11,0	-17,6	-20,5	-28,1
270°	-3,0	-3,8	-8,7	-15,4	-16,0	-21,7
285°	-2,0	-2,5	-6,2	-10,1	-9,9	-17,6
300°	-0,5	-1,8	-3,6	-7,1	-10,1	-14,9
315°	1,3	-1,4	-2,3	-4,5	-6,6	-11,2
330°	1,7	-1,2	-1,5	-2,1	-4,2	-6,7
345°	2,2	-1,3	-0,7	-0,1	-1,9	-2,9

Con estas tablas se hallaron los patrones polares de directividad, los cuales se presentan en las figuras siguientes:

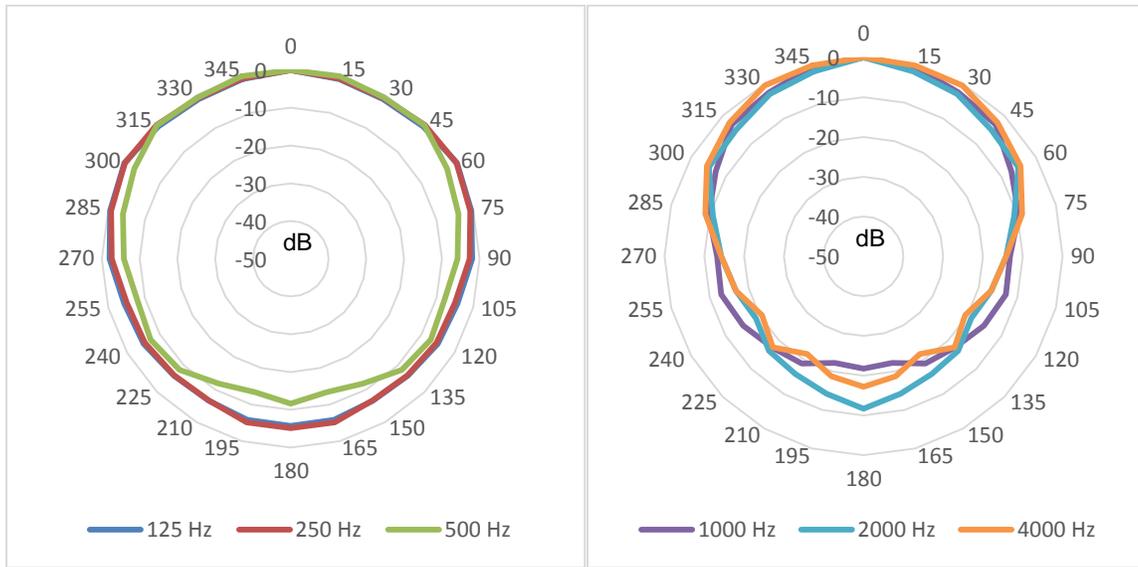
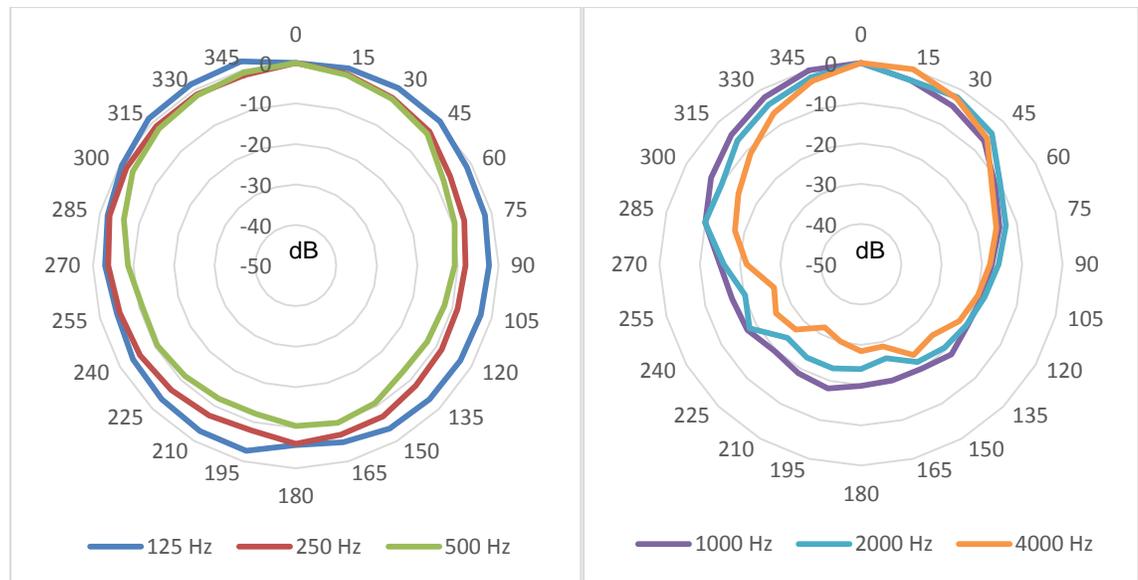


Figura.B.12 Gráficos de índice de directividad horizontal por bandas de octava



FiguraB.13 Gráficos de índice de directividad vertical por bandas de octava

REFERENCIAS

[1] ISO 3744, Acoustics – Determination of sound power level of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane, 1994

ANEXO C. FICHA TÉCNICA GRABACIÓN DE MENSAJES LIBRES DE REVERBERACIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 RESPONSABLES DEL INFORME

Mario Alfonso Henríquez Romero
Estudiante Ingeniería de Sonido
Universidad de San Buenaventura Medellín
CC. 1.017'175.193 de Medellín

Ángel David Londoño Rentería
Estudiante Ingeniería de Sonido
Universidad de San Buenaventura Medellín

CC. 1.077'444.936 de Quibdó

1.2 UBICACIÓN Y DATOS DE LA MEDICIÓN

Universidad de San Buenaventura
Campus Universitario, Salento
Estudio A

Sesión 1

Fecha: 15 de Febrero de 2013
Hora de inicio: 8:00a.m.
Hora de finalización: 12:00 p.m.

Sesión 2

Fecha: 3 de Mayo de 2013
Hora de inicio: 8:00 p.m.
Hora de finalización: 10:00 p.m.

2. OBJETIVO

Realizar la grabación de mensajes sonoros libres de campo reverberante, los cuales serán luego utilizados para las auralizaciones en el software CATT-Acoustic.

3. DEFINICIONES

3.1 MÉTODO DE GRABACIÓN DEL MATERIAL ANICÓNICO

3.1.2 Grabación Monofónica. Este método consta de un micrófono direccionado al punto de emisión y se utiliza para la grabación de instrumentos que tienen una radiación constante, tales como los vientos de metal en los cuales la radiación es dominada por la abertura de su campana o pabellón, y por lo tanto no cambia mediante la ejecución [1].

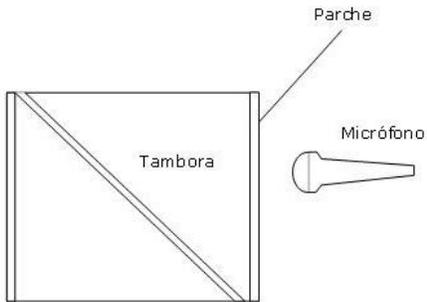
3.1.3 Grabación Multicanal. Este método se utiliza para instrumentos que cambian su forma de radiación al momento de ser ejecutados, aunque tampoco presenta ningún problema para instrumentos que no lo hacen. Sin embargo, para los que si se debe realizar una buena representación de las características direccionales, y una forma de hacerlo es mediante un arreglo de micrófonos ubicados de forma esférica, a fin de captar el sonido radiado por el instrumento en distintas direcciones. Esto se hace mediante grabaciones simultáneas las cuales contendrán la información espacial del instrumento, los movimientos de los ejecutantes y los cambios en la radiación en diferentes tonalidades [2].

Los instrumentos utilizados en este proyecto fueron: una Tambora, un Bombardino y la grabación de una voz hablada, utilizando una técnica monofónica para cada instrumento (Ver Figura C.1).

4. FICHAS TÉCNICAS

4.1 TAMBORA

Tabla C.1 Ficha técnica de la grabación de la Tambora

Instrumento:	Tambora
Fecha de grabación:	15 de Febrero de 2013
Lugar de grabación:	Estudio A - Universidad de San Buenaventura
Micrófono utilizado:	Electro-Voice RE-20
Transducción:	Dinámico
Patrón direccional del micrófono:	Cardioide
Técnica de microfonía:	10cm de la fuente, apuntando al parche del instrumento.
Software utilizado:	Pro Tools HD 10
Frecuencia de muestreo:	44.1kHz
Profundidad de bits:	24bits
Representación Gráfica (Ubicación del micrófono)	 <p>El diagrama ilustra la configuración de grabación. A la izquierda se muestra un cuadrado que representa la tambora, con una línea diagonal que indica la posición del parche. A la derecha del parche se encuentra un micrófono cardioide, etiquetado como 'Micrófono'. Una línea de conexión indica la proximidad entre el micrófono y el parche, etiquetado como 'Parche'. El texto 'Tambora' está centrado dentro del cuadrado.</p>

4.4 MENSAJE HABLADO

Tabla C.2 Ficha técnica de la grabación de la Tambora.

Instrumento:	Voz
Fecha de grabación:	15 de Febrero de 2013
Lugar de grabación:	Estudio A - Universidad de San Buenaventura
Micrófono utilizado:	Neumann U87
Transducción:	Condensador
Patrón direccional del micrófono:	Cardioide
Técnica de microfonía:	10cm de la fuente apuntando a la boca del orador. Se utilizó una pantalla anti-viento.
Software utilizado:	Pro Tools HD 10
Frecuencia de muestreo:	44.1kHz
Profundidad de bits:	24bits
Representación Gráfica (Ubicación de micrófono)	

4.3 BOMBARDINO

Tabla C.3 Ficha técnica de la grabación de la Tambora.

Instrumento:	Bombardino
Fecha de grabación:	3 de Mayo de 2013
Lugar de grabación:	Estudio A - Universidad de San Buenaventura
Micrófono utilizado:	AKG c414
Transducción:	Condensador
Patrón direccional del micrófono:	Cardioide
Técnica de microfonía:	10cm de la fuente, apuntando a la boca del instrumento.
Software utilizado:	Pro Tools HD 10
Frecuencia de muestreo:	44.1kHz
Profundidad de bits:	24bits
Representación Gráfica (Ubicación del micrófono)	<p>El diagrama ilustra la configuración de grabación. A la izquierda se muestra el perfil de un músico. A la derecha se encuentra un bombardino. Una línea indica la posición de la boca del instrumento. Encima de la boca, se muestra un micrófono cilíndrico con una etiqueta 'Micrófono'. El instrumento mismo está etiquetado como 'Bombardino'.</p>

5. OBSERVACIONES

- Todos los instrumentos fueron grabados y editados utilizando el software Pro Tools HD 10.
- A falta de una cámara anecoica, la cual sería esencial para la obtención de mensajes libres de reverberación, la grabación fue realizada en un estudio de grabación. Según Vörländer, esto puede hacerse siempre y cuando la sala tenga un alto coeficiente de absorción. Para garantizar un ambiente más seco, se realizó un montaje con paneles y materiales absorbentes en el cual se ubicaron los instrumentos (Ver Figura C.2).

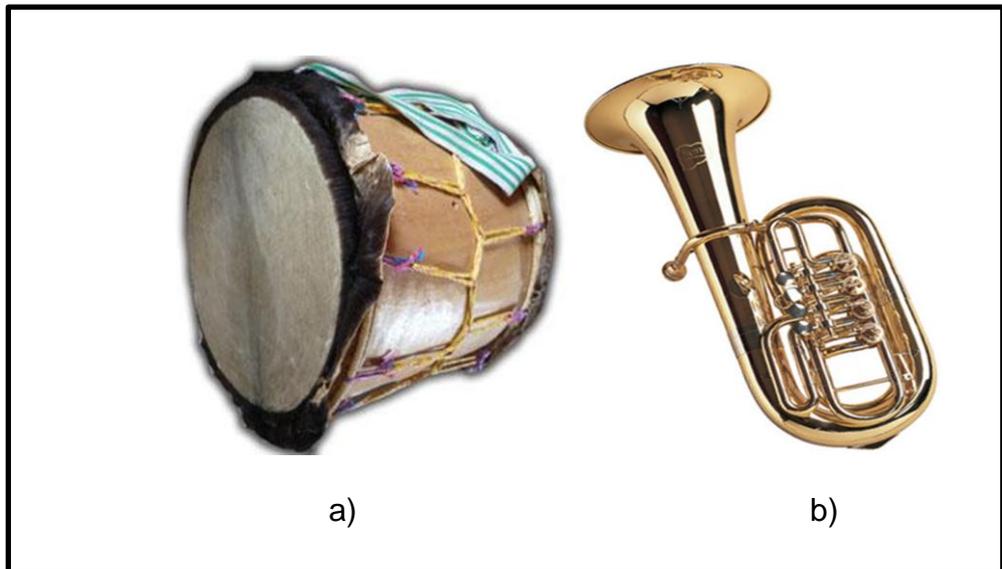


Figura C.1 Instrumentos grabados. a) Tambora, b) Bombardino



Figura C.2 Montaje con materiales absorbentes

- La profundidad de bits de los archivos de audio fue reducida a 16bits para que coincidieran con la de las respuestas al impulso medidas.

REFERENCIAS

[1] M. Vörländer, Auralization, Fundamentals of Acustics, Modelling, Simulation Algorithms and Acoustic Virtual Reality, Berlin: Springer, 2008.

[2] F. Otondo y J.H. Rindel, << A New Method for the Radiation Presentation>>, ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA, Vol. 91, 2005.

ANEXO D. CÓDIGO PARA CONVOLUCIÓN DE RESPUESTAS AL IMPULSO BINAURALES CON EL MATERIAL SONORO

```
function [Auracatt,Auramed]=auralizar(func1,func2,func3,func4,func5)
%Código #2: Convolución de RI binaural con material anecoico
%Mario Henríquez Romero- Ángel David Londoño
%Los datos se Ingresan de la Siguiete forma:
% auralizar(RILSimulada,RIRSimulada,RILMedida,RIRMedida,Material Anecoico)
% Los resultados son Las auralizaciones medidas y simuladas con el mismo
% tamaño para el mismo punto de receptor
func3=transpose(func3);
func4=transpose(func4);
Posicion1=find(func1==max(max(func1)));
Posicion2=find(func2==max(max(func2)));
Posicion3=find(func3==max(max(func3)));
Posicion4=find(func4==max(max(func4)));
IRL=func3((Posicion3-(Posicion1-1)):end);
IRR=func4((Posicion4-(Posicion2-1)):end);
[~,x]=size(IRL);
[~,y]=size(IRR);
Condicion1=1;
Condicion2=2;
Condicion3=3;
switch Condicion1
case 1
if x==y
end
otherwise
end

switch Condicion2
case 2
if x>y
z=x-y;
IRR=[IRR zeros(1,z)];
end
otherwise
end
switch Condicion3
case 3
if y>x
z=y-x;
IRL=[IRL zeros(1,z)];
```

```

end
otherwise
end
[~,s1]=size(func1);
[~,s2]=size(func2);
[s3,s4]=size(func5);
if s3 > s4
    func5=transpose(func5);
end
if s1 > s2
    j=1;
    for i=1:s2
        irl2(1,j)=func1(1,i);
        j=j+1;
    end
    func1=irl2;
elseif s2 > s1
    j=1;
    for i=1:s1
        irr2(1,j)=func2(1,i);
        j=j+1;
    end
    func2=irr2;
end
y1=conv(func5,func1);
y2=conv(func5,func2);
Auracatt=[transpose(y1) transpose(y2)];
wavwrite(Auracatt,44100,'Receptorcatt');
[~,s5]=size(IRL);
[~,s6]=size(IRR);
if s5 > s6
    j=1;
    for i=1:s6
        irl3(1,j)=IRL(1,i);
        j=j+1;
    end
    IRL=irl3;
elseif s6 > s5
    j=1;
    for i=1:s5
        irr3(1,j)=IRR(1,i);
        j=j+1;
    end
    IRR=irr3;
end
end

```

```
y3=conv(func5,IRL);  
y4=conv(func5,IRR);  
Auramed=[transpose(y3) transpose(y4)];  
Auramed=Auramed./max(max(abs(Auramed)));  
wavwrite(Auramed,44100,'Receptormed');
```

ANEXO E. FORMULARIO DE LA PRUEBA SUBJETIVA.

Objetivo

Evaluar de manera subjetiva la sensación sonora generada por las auralizaciones creadas usando el software CATT-Acoustic.

A quién va dirigida

La prueba está dirigida a un pequeño grupo de personas familiarizadas con el campo de la acústica, principalmente estudiantes y docentes de la carrera Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura.

Procedimiento

El evaluador escuchará 13 pares de mensajes sonoros, los cuales pueden ser generados mediante datos medidos o datos simulados utilizando el software CATT-Acoustic. Luego procederá a realizar una evaluación entre la similitud de ambos mensajes teniendo en cuenta 4 aspectos principales: localización, timbre, reverberación y sensación sonora en general.

- Localización

Ubicación de una fuente en un punto del espacio.

- Timbre

Capacidad de distinguir un instrumento de otro.

- Reverberación

Percepción de tiempo de reverberación y distribución en el espacio.

- Sensación sonora

Tomando todo en cuenta, qué tan parecida es la sensación sonora generada por la auralización mediante software a la referencia.

La prueba estará dividida en 4 segmentos, en los tres primeros segmentos se reproducirán 4 pares de un instrumento determinado, escuchando al principio de cada segmento el mensaje sonoro con el instrumento sin procesar como referencia. El cuarto segmento consistirá en la escucha de un solo par de mensajes hablados. En este segmento el evaluador sabrá si el mensaje es generado por software o mediante datos medidos, esto a fin de evaluar la sensación sonora en general.

El evaluador puede pedir que se repita cualquier par de mensajes en cualquier momento de la prueba.

Prueba

Escuche cuidadosamente los mensajes audibles y valore los siguientes parámetros en una escala de 1 a 4, donde:

4: Muy similar. **3:** Algo similar. **2:** Poco similar. **1:** Nada similar.

Par nº Parámetros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Localización												
Timbre												
Reverberación												

Sensación Sonora

Comentarios:
