

INFLUENCIA DE LA LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE SONORA EN UN RECINTO RECTANGULAR EN LA EXITACIÓN DE MODOS PROPIOS DE VIBRACIÓN

**Sebastián P. Ferreyra^a, Gabriel A. Cravero^a, Hugo C. Longoni^a, Mario D. Flores^a,
Leopoldo Budde^a, Oscar A. Ramos^{a,b} y Fabian C. Tommasini^a**

^a*Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada al CONICET
Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Maestro López esq. Av. Cruz Roja
Argentina. CP 5016ZAA, Córdoba, Rep. Argentina. e-mail: sferreyra@scdt.frc.utn.edu.ar,
<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>*

^b*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Rivadavia
1917, CP: C1033AAJ, CABA, Rep. Argentina. <http://www.conicet.gob.ar>*

Palabras clave: modos propios de vibración, fuente sonora, respuesta impulsiva.

Resumen. La teoría acústica ondulatoria explica como la interacción entre ondas sonoras incidentes y reflejadas en un recinto produce interferencias constructivas y destructivas dando lugar a ondas estacionarias ó modos propios de vibración. Cada modo de resonancia está asociado a una frecuencia denominada propia ó normal. Los modos aumentan con el volumen del recinto y con el cubo de la frecuencia de manera que las irregularidades de la respuesta del recinto son notorias en bajas frecuencias, por debajo de la frecuencia de corte ó Schröder. Por otra parte, un recinto puede ser modelado como un sistema lineal invariante en el tiempo, existiendo funciones de transferencias asociadas a cada posición de dupla fuente-receptor. Recientemente investigaciones han verificado que la respuesta modal del recinto en un punto del espacio es dependiente de la posición y características de la fuente sonora. En este trabajo se comparan las respuestas modales para un punto de un recinto rectangular pequeño obtenidas a partir de diferentes posiciones de la fuente sonora mediante el método de la respuesta impulsiva integrada. También se analiza el efecto que introducen los modos propios de vibración en parámetros acústicos de recintos utilizados para evaluar la reverberación e inteligibilidad de la palabra.

1 INTRODUCCIÓN

La teoría acústica ondulatoria explica como la interacción entre ondas sonoras incidentes y reflejadas en un recinto produce interferencias constructivas y destructivas dando lugar a ondas estacionarias ó modos propios de vibración. Cada modo de resonancia está asociado a una frecuencia denominada propia ó normal. Los modos aumentan con el volumen del recinto y con el cubo de la frecuencia de manera que las irregularidades de la respuesta del recinto son notorias en bajas frecuencias, por debajo de la *frecuencia Schröder*, f_s (Schröder M, 1996). Por otra parte, un recinto puede ser modelado como un sistema lineal invariante en el tiempo, existiendo funciones de transferencias asociadas a cada posición de dupla fuente-receptor. Recientemente investigaciones han verificado que la respuesta modal del recinto en un punto del espacio es dependiente de la posición y características de la fuente sonora (Meissner M, 2011). En este trabajo se comparan las respuestas modales para un punto de un recinto rectangular pequeño obtenidas a partir de diferentes posiciones de la fuente sonora mediante el método de la respuesta impulsiva integrada. También se analiza el efecto que introducen los modos propios de vibración en parámetros acústicos de recintos utilizados para evaluar la reverberación e inteligibilidad de la palabra. El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se presenta las características acústicas del recinto seleccionado para las mediciones. En la sección 3, se describe el método de medición empleado. En la sección 4, se presenta el análisis modal mediante la comparación de la densidad espectral de potencia de cada respuesta impulsiva medida en baja, media y alta frecuencia. En la sección 5, se comparan los valores de diversos parámetros acústicos de recintos para todas las posiciones de medición seleccionadas. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones.

2 RECINTO

Se seleccionó un recinto de geometría paralelepípedica de base rectangular y dimensiones reducidas (Aula 608, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina), ver Figura 1. Las paredes están construidas con diversos materiales, siendo una de las transversales de hormigón y el resto de tabique doble de placa roca yeso (12,5 mm espesor c/u rellena con fieltro liviano de lana de vidrio 50 mm de espesor). Presenta ventanas con aberturas de carpintería de aluminio y paños de vidrio de 4 mm de espesor. El techo, está construido con vigas de hormigón premoldeado. La puerta de ingreso es de madera hueca. El mobiliario está formado por 35 bancos de caño y madera y un pizarrón de madera. En la Tabla 1, se presentan dimensiones, volumen y la frecuencia Schröder calculada del recinto.

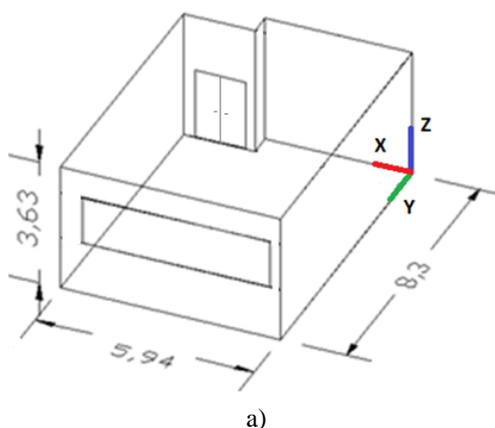


Figura 1: Modelo computacional y fotografía del recinto

Recinto	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Volumen de aire [m ³]	Superficie cubierta [m ²]	Capacidad [n° de bancos]	Frecuencia Schröeder, f_s [Hz]
Aula 608 Edificio "Ing. Soro" FRC UTN	8,30	5,94	3,63	175,73	48,41	35	201,7

Tabla 1: Dimensiones y otras características acústicas del recinto.

3 MÉTODO DE MEDICIÓN

Las mediciones de respuesta impulsiva de recinto (RIR) se efectuaron siguiendo las recomendaciones que brinda la norma IRAM 4109-2 (compatible con ISO 3382-2). Éstas se realizaron sin presencia de alumnos (sala vacía), utilizando un sistema de medición optimizado para tal fin (Ferreyra et al, 2009) el cual se detalla en Tabla 2.

Descripción	Marca, modelo
Micrófono de medición	Brüel&Kjær, type 4134
Placa de adquisición de sonido	Presonus, Audio box 44VSL
Fuente sonora omnidireccional (dodecaedro)	Cintra, FSO D-12
Sistema de gestión de altavoces	dBx, Drive Rack PA+
Pre-amplificador para micrófono, 200V	Brüel&Kjær, type 2804
Amplificador de audio	Samson, Servo 300
Software de acústica de salas	Brüel&Kjær, 7841
Distanciómetro Laser	Leica, D5
Auriculares	Senheiser, HD280 PRO
PC Notebook	Bangho, Intel i3 Duo/RAM 4 GB

Tabla 2: Sistema electroacústico utilizado para la medición de RIR.

Se registraron un total de 9 RIR monoaurales correspondientes a 9 posiciones de fuente y 1 posición de micrófono. En la Figura 2 se presentan las configuraciones de medición de los pares fuente-receptor (FSO_i-M_1). En la Tabla 3 se presentan las coordenadas de las posiciones mencionadas. El micrófono siempre estuvo orientado en dirección hacia la fuente sonora. Se mantuvo constante la ganancia del sistema. Por lo cual, la única variable identificada se atribuye al cambio de posición de la fuente sonora en el recinto en el plano x - y .

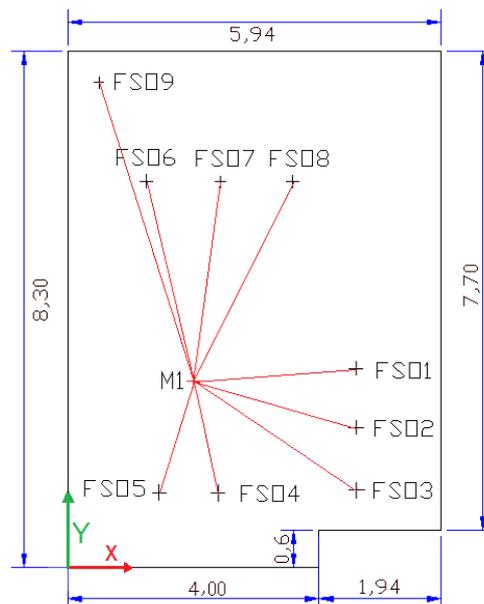


Figura 2: Configuraciones de medición, vista superior del recinto.

Posición	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Coord. Z [m]
M ₁	2,00	3,00	1,35
FSO ₁	4,60	3,20	1,63
FSO ₂	4,60	2,25	1,63
FSO ₃	4,60	1,25	1,63
FSO ₄	2,50	1,20	1,63
FSO ₅	1,45	1,20	1,63
FSO ₆	1,25	6,20	1,63
FSO ₇	2,42	6,20	1,63
FSO ₈	3,56	6,20	1,63
FSO ₉	0,50	7,80	1,63

Tabla 3: Coordenadas de posiciones Fuente-Micrófono (FSO_i-M₁) seleccionadas.

Las curvas de decrecimiento energético temporal (ETC), empleadas en el cálculo de diversos parámetros acústicos en la sección 5, fueron obtenidas mediante la integración inversa del cuadrado de la respuesta impulsiva del recinto (método de la respuesta impulsiva integrada, [Schröder, 1965](#)) mediante la técnica de deconvolución de señales determinísticas (ISO 3382-2). Como señal de excitación se utilizó un barrido de frecuencia de variación exponencial (de 20 Hz a 20 kHz), debido a las ventajas que esta presenta ([Farina, 2000](#)).

4 ANÁLISIS MODAL

4.1 Modelo matemático de acústica ondulatoria

En la Tabla 4 se presentan las primeras 33 frecuencias modales aplicando la ecuación (1), donde c es la velocidad del sonido; f_x, f_y, f_z son las frecuencias propias del recinto también

$$f_{x,y,z} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2} \quad (1)$$

llamadas *modos propios* ó *normales de vibración*, MPV (en lengua inglesa “*eigentones*”), a los cuales responde el mismo cuando es excitado por una señal cualquiera que contenga dichas frecuencias; n_x, n_y y n_z son números enteros positivos ó nulos (0, 1, 2, 3, 4, ..., n) y L_x, L_y y L_z son la altura, el ancho y el largo de un recinto paralelepípedo. La expresión matemática (1) recibe el nombre de *formula de Rayleigh*, siendo una herramienta eficaz para la determinación de MPV en recintos paralelepípedos pequeños ([Ferreya et al, 2012](#)).

n _x	n _y	n _k	Tipo	Frecuencia [Hz]	n _x	n _y	n _k	Tipo	Frecuencia [Hz]	n _x	n _y	n _k	Tipo	Frecuencia [Hz]
0	1	0	A	20,66	0	3	0	A	61,99	2	2	1	O	85,29
1	0	0	A	28,87	0	2	1	T	62,77	3	0	0	A	86,62
1	1	0	T	35,50	1	3	0	T	68,38	1	4	0	T	87,55
0	2	0	A	41,33	1	2	1	O	69,09	3	1	0	T	89,05
0	0	1	A	47,25	2	2	0	T	71,01	0	0	2	A	94,49
1	2	0	T	50,41	2	0	1	T	74,61	0	4	1	T	95,20
0	1	1	T	51,57	2	1	1	O	77,42	3	2	0	T	95,97
1	0	1	T	55,37	0	3	1	T	77,94	0	1	2	T	96,72
2	0	0	A	57,74	0	4	0	A	82,65	2	3	1	O	97,00
1	1	1	O	59,10	1	3	1	O	83,12	3	0	1	T	98,66
2	1	0	T	61,33	2	3	0	T	84,72	1	0	2	T	98,80

A: Modo Axial; T: Modo Tangencial; O: Modo Oblicuo.

Tabla 4: Primeros 33 MPV del recinto ordenados por frecuencia ascendente.

En la Figura 3 se representa la distribución en el espectro de frecuencias de los primeros 220 MPV entre 20,66 y 203,16 Hz. Se observa que los primeros 9 MPV pueden considerarse como *aislados, discretos ó individuales*, o sea distanciados espectralmente uno del otro por varias unidades de Hz. Sin embargo, ya en 61 Hz, coexisten al menos dos MPV, el N°11 (Tangencial: 2,1,0) y N°12 (Axial: 0,3,0) para un ancho de banda de 1 Hz, ver Tabla 4. El solapamiento de múltiples MPV en frecuencias aisladas es la causa de marcadas *resonancias ó coloraciones espectrales* de un recinto (Isbert, 2001).

Por otra parte, el gráfico evidencia solapamientos de MPV por unidad de Hz (ej: 77, 95, 98, 100, 103, 106 Hz, en adelante hasta aproximadamente los 200 Hz, siendo este último próximo al valor calculado de f_s). Cabe mencionar que la *frecuencia de Schröder* permite estimar, conociendo el volumen y el tiempo de reverberación aproximado del recinto, a partir de qué frecuencia coexisten al menos 3 MPV por unidad de Hz.

También, cabe recordar que la densidad espectral de MPV aumenta con el cubo de la frecuencia, por lo cual en media (>500 Hz) y alta frecuencia (>5000 Hz) no deberían detectarse marcadas resonancias por estar los MPV distribuidos uniformemente en el espectro de frecuencia.

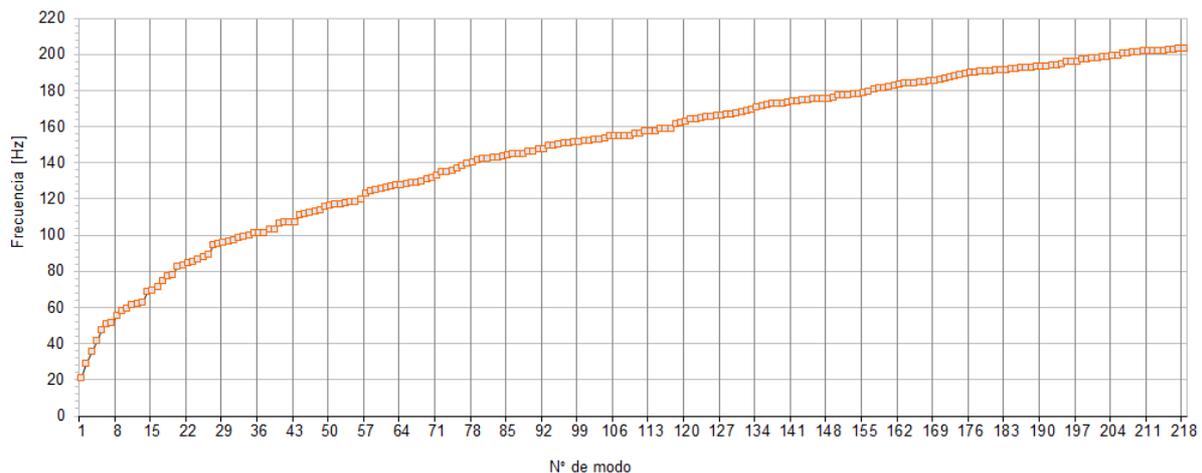


Figura3: Frecuencias calculadas para los primeros 220MPV.

4.2 Comparación de densidad espectral de potencia de RIR medidas para diferentes posiciones de la fuente sonora y una única posición de micrófono.

El análisis modal se realizó mediante la comparación de la *densidad espectral de potencia* (PSD) de cada respuesta impulsiva medida en 4 bandas de frecuencia:

- a) MBF: muybaja frecuencia (de 20 a 100 Hz)
- b) BF: baja frecuencia (de 100 a 200 Hz)
- c) MF: media frecuencia (de 1000 a 1100 Hz)
- d) AF: alta frecuencia (de 12000 a 12100 Hz)

En Figuras 4, 5 y 6 se presentan los resultados de las comparaciones de PSD en grupos de tres RIR para MBF. En primer lugar, se observa que todas las señales poseen amplitudes similares con excepción de FSO₉-M₁, la cual presenta un aumento significativo superior a 15 dB/Hz en MBF y BF, y en general en todo el ancho de banda analizado. Esto último se debe por un lado a que la energía radiada por la fuente sonora omnidireccional, ha sido concentrada en una superficie menor por estar en proximidad de dos paredes rígidas (de alta impedancia acústica). Por otra parte, es sabido que todos los MPV son excitados si la fuente sonora se encuentra ubicada en aquellas posiciones de presión sonora máxima, por ejemplo aquellas

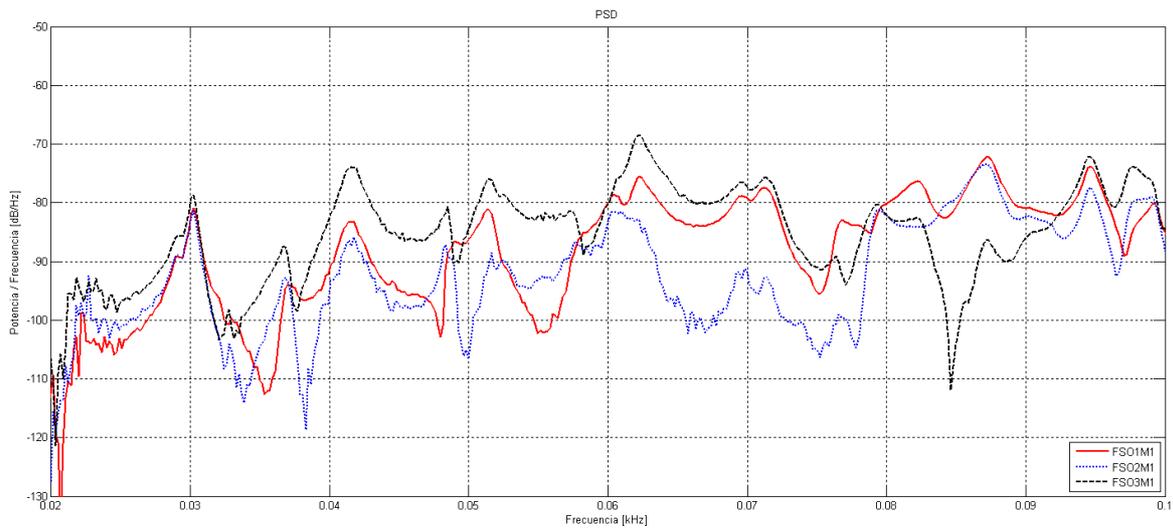


Figura 4: Comparación de PSD para MBF, FSO_{1,2,3}- M₁

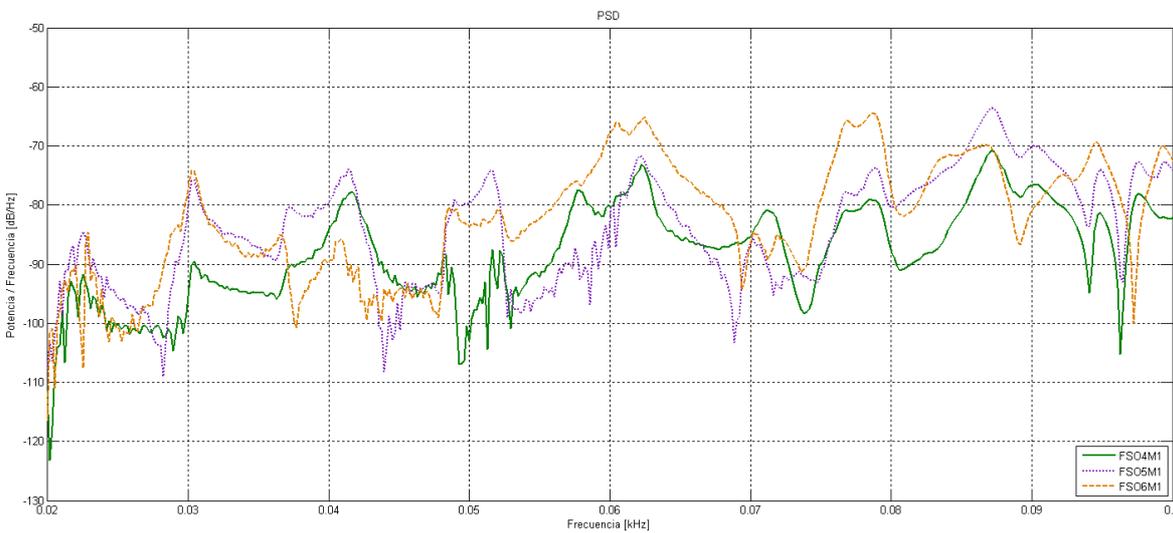


Figura 5: Comparación de PSD para MBF, FSO_{4,5,6}- M₁

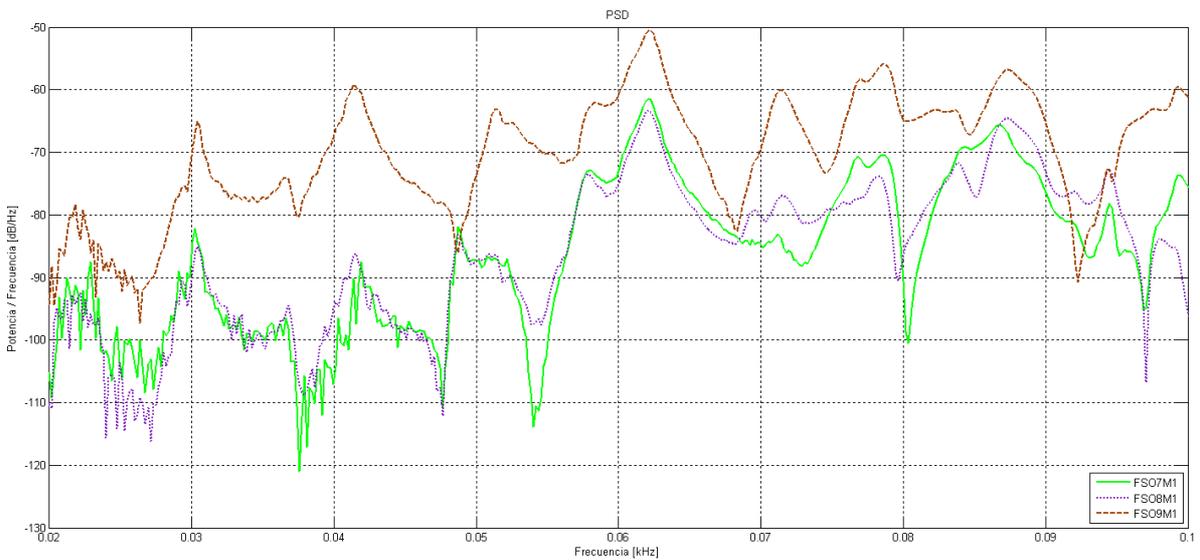


Figura 6: Comparación de PSD para MBF, FSO_{7,8,9}- M₁

próximas a paredes rígidas donde la velocidad volumétrica de las partículas es nula. En segundo lugar, se observa que para el MPV de 28,87 Hz calculado (entre 30,00 y 30,25 Hz medido), todas las RIR describen un pico de energía en dicha frecuencia. Sin embargo, se evidencia que la FSO₉-M₁ alcanza un valor de -65,03 dB/Hz mientras que la FSO₇-M₁ es de -82,17 dB/Hz, lo que implica una variación de 17,14 dB/Hz para dicha frecuencia. Otro aspecto interesante en MBF, es que al estar la fuente ubicada en un vértice (FSO₉-M₁), las agudas cancelaciones (“notch” en 37, 54, 80 Hz) que se observan en otros puntos (FSO_{7,8}-M₁) son significativamente “suavizadas” ó “atenuadas”. Por último, se destaca que las cancelaciones que se producen en este espectro de MBF sufren variaciones espectrales de hasta 4,60 Hz. Mientras que para los máximos relativos existe menor variación espectral.

En Figuras 7, 8 y 9 se presentan los resultados de las comparaciones de PSD en grupos de tres RIR para BF. En primer lugar, se observa la tendencia de que todas las señales se equiparan en amplitud con excepción nuevamente de la FSO₉-M₁, la cual se mantiene entre 15 y 20 dB/Hz por encima de las otras. En segundo lugar, se observa un aumento en la cantidad de mínimos en relación a MBF, siendo a su vez más agudos o pronunciados. Un dato singular ocurre para FSO₄-M₁ que evidencia un agudo mínimo 112 Hz, mientras que FSO_{2,3}-M₁ describen un mínimo de menor intensidad entorno a dicha frecuencia. Otro dato singular, ocurre para FSO₂-M₁ en 162 Hz, donde se produce un agudo mínimo que supera los -120 dB/Hz, estando el resto de las señales 40 dB por encima.

En Figuras 10, 11 y 12 se presentan los resultados de las comparaciones de PSD en grupos de tres RIR para MF. En primer lugar, se evidencia que todas las señales comienzan a equipar su amplitud. Además, sigue aumentando la cantidad de mínimos y máximos relativos como consecuencia del aumento exponencial de los MPV. Sin embargo, entre 1060 y 1080 Hz FSO₄-M₁ presenta mínimos singulares que alcanzan los -110 dB/Hz. Por otra parte la variación de frecuencia entre mínimos de diferentes señales es del mismo orden que para MBF.

En Figuras 13, 14 y 15 se presentan los resultados de las comparaciones de PSD en grupos de tres RIR para AF. En primer lugar, la amplitud de las señales continúa equiparada. En segundo lugar, han disminuido notoriamente la cantidad de mínimos en relación con el espectro de MF, evidenciándose datos singulares en todas las señales. La variación de frecuencia es del orden de 5 Hz.

5 PARAMETROS ACÚSTICOS DE RECINTOS

Finalmente, se calcularon a partir de las 9 RIR medidas, los valores por octava de tres parámetros acústico monoaurales definidos en la norma IRAM 4109-2 (compatible con ISO 3382-2) utilizados para evaluar la reverberación de un recinto, la inteligibilidad de la palabra y el centro gravitacional energético-temporal del recinto. A continuación se define brevemente cada uno de ellos. El *tiempo de reverberación (T)* se define como el intervalo de tiempo transcurrido desde el momento en que el sonido emitido por una fuente que es interrumpida abruptamente disminuye 60 dB. El descriptor normalizado elegido para evaluar el tiempo de reverberación fue T_{30} , el cual utiliza la pendiente de -30 dB de la curva de decrecimiento energética (entre -5 dB y -35 dB), para obtener la atenuación total de 60 dB (ISO 3382).

El *índice energético temprano-tardío (C_X)*, originalmente denominado “Clarity” y calculado partir del cuadrado de la RIR, establece la relación energética entre la fracción de energía temprana que arriba al punto de captura respecto de la fracción energética tardía. Para el caso de la evaluación de la inteligibilidad de la palabra hablada, la constante de tiempo de integración asume el valor de 50 ms (ISO 3382).

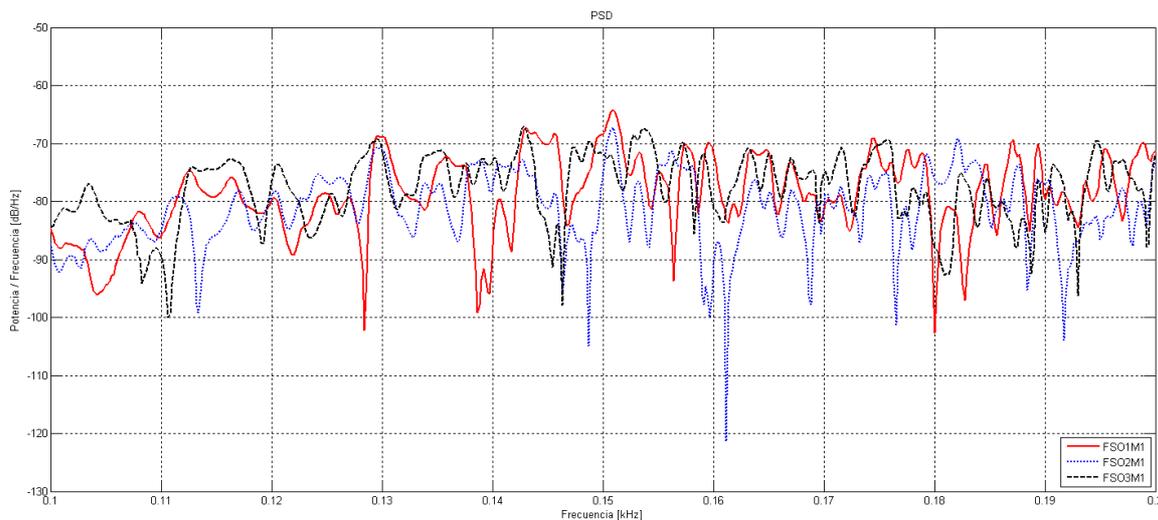


Figura 7: Comparación de PSD paraBF, FSO_{1,2,3}- M₁

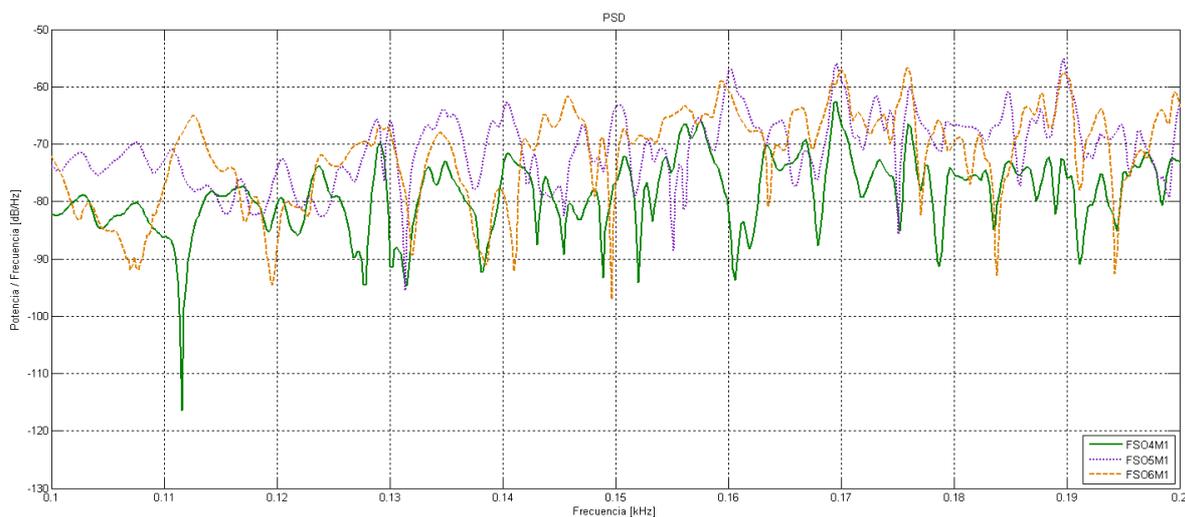


Figura 8: Comparación de PSD paraBF, FSO_{4,5,6}- M₁

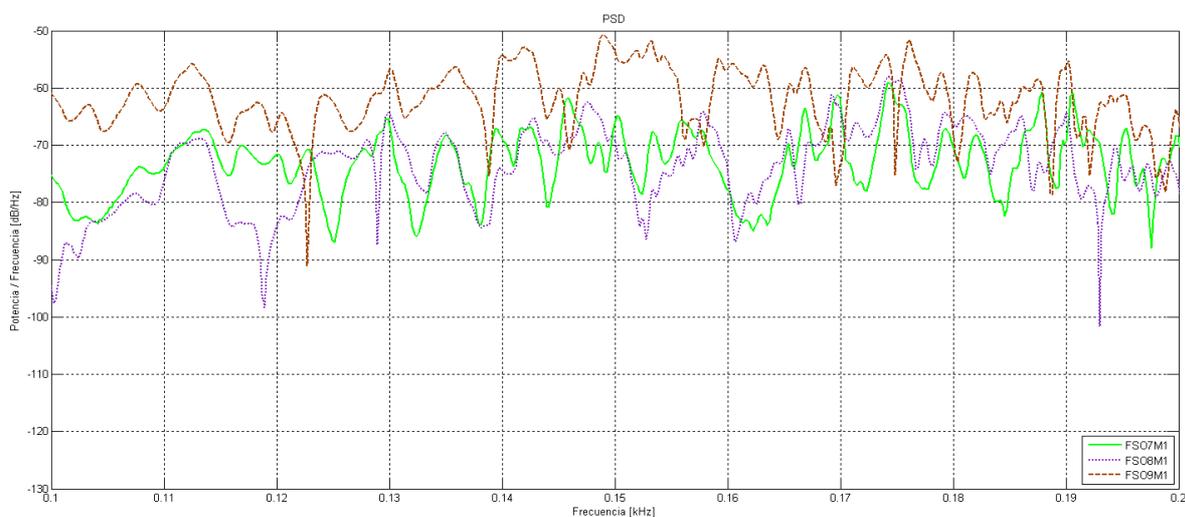


Figura 9: Comparación de PSD paraBF, FSO_{7,8,9}- M₁

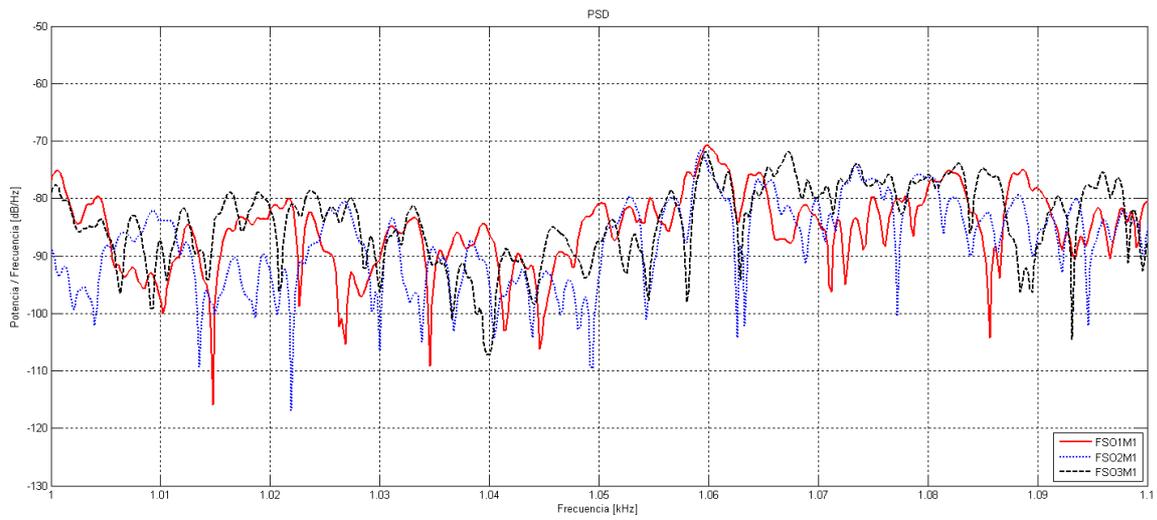


Figura 10: Comparación de PSD para MF, FSO_{1,2,3}- M₁

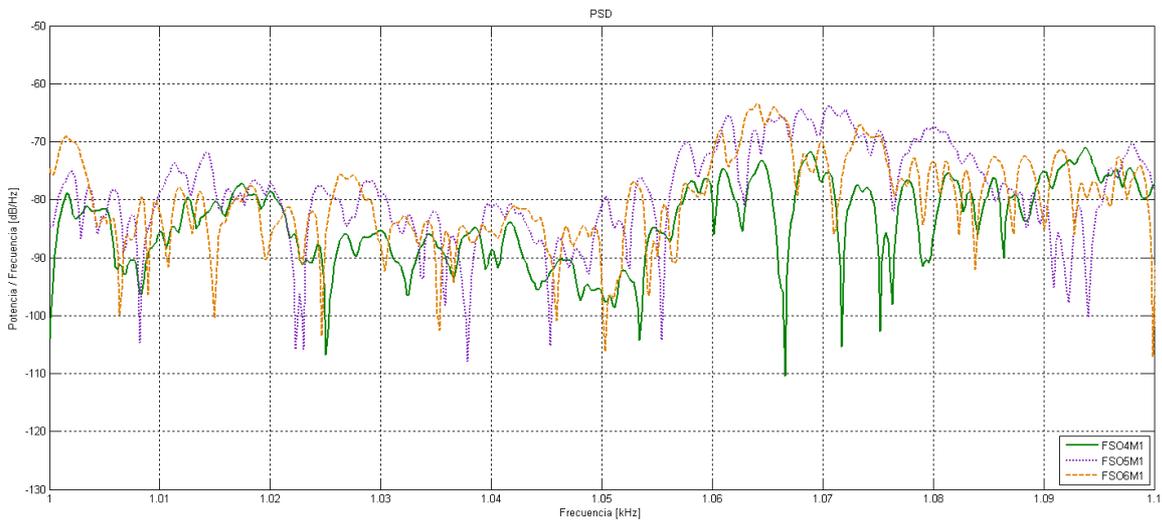


Figura 11: Comparación de PSD para MF, FSO_{4,5,6}- M₁

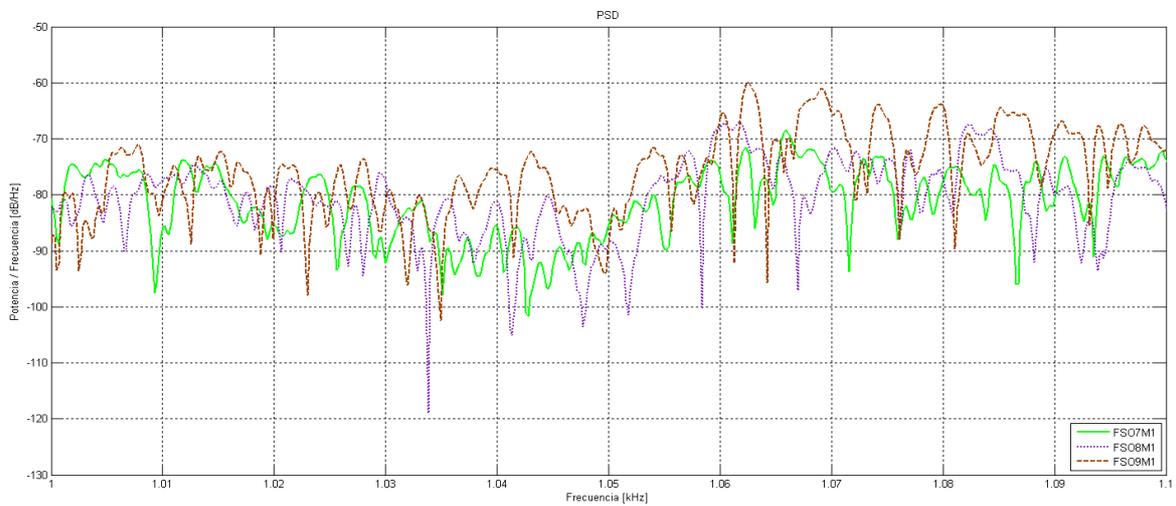


Figura 12: Comparación de PSD para MF, FSO_{7,8,9}- M₁

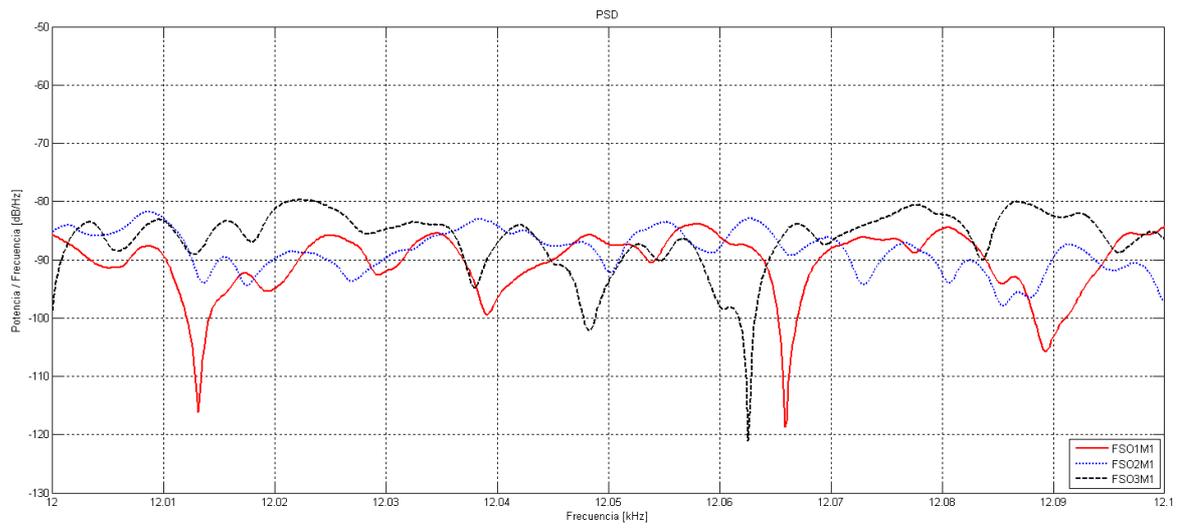


Figura 13: Comparación de PSD para AF, FSO_{1,2,3}- M₁

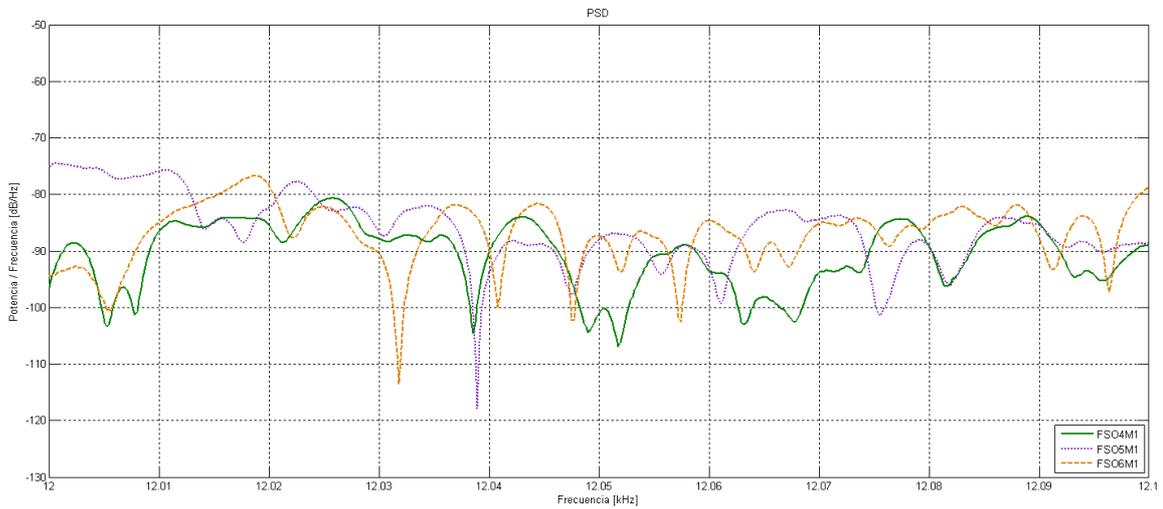


Figura 14: Comparación de PSD para AF, FSO_{4,5,6}- M₁

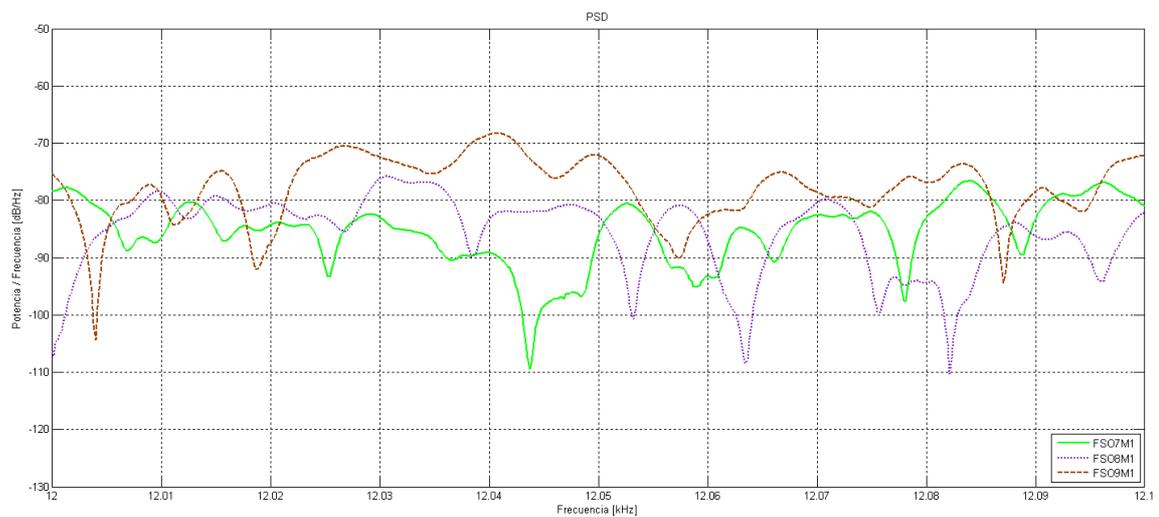


Figura 15: Comparación de PSD para AF, FSO_{7,8,9}- M₁

Por último, el *centro de tiempo* (T_s), calculado también a partir del cuadrado de la RIR, se define como el centro de gravedad energético temporal de la RIR. Por lo cual, la cantidad de energía desde el comienzo de la RIR hasta el valor de T_s , es igual a la cantidad de energía desde el T_s hasta el final de la RIR (ISO 3382).

En las Figuras 16, 17 y 18 se comparan los resultados del cálculo de T_{30} , C_{50} y T_s respectivamente para las 9 posiciones de la fuente en relación con el punto de recepción seleccionado. Los resultados se presentan para la frecuencia central de filtros normalizados por banda de octava entre 31,5 y 16000 Hz.

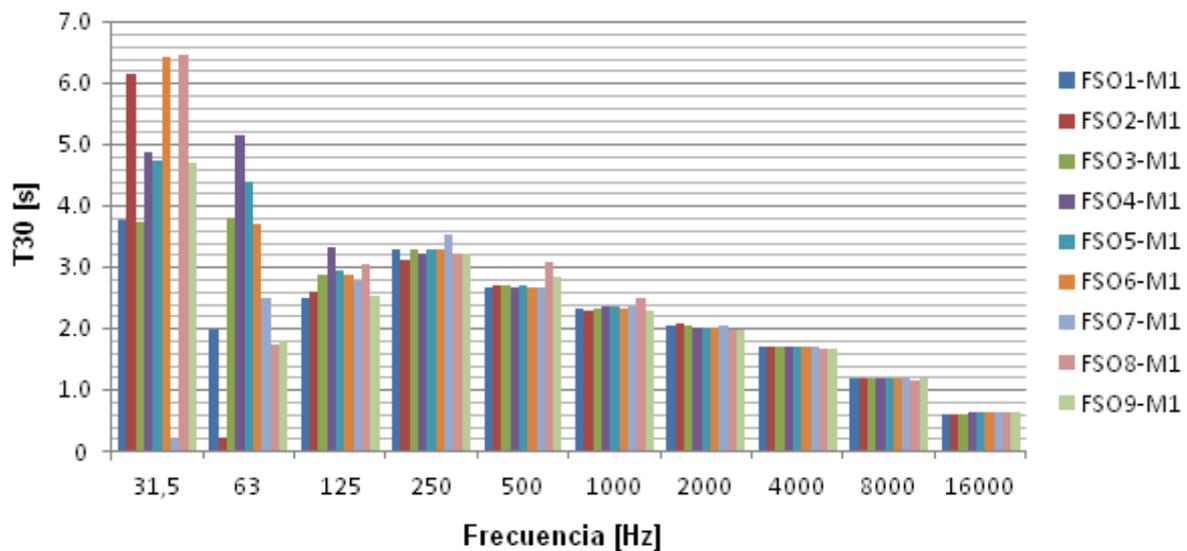


Figura16: Tiempo de reverberación (T_{30}) medido por octava para 9 combinaciones de fuente-receptor.

En la Figura de 16, en primer lugar se evidencia la significativa variabilidad de T_{30} en las bajas frecuencias, particularmente para las bandas de octava de 31,5 y 63 Hz para las distintas posiciones de la fuente y en menor medida para las bandas de 125 y 250 Hz. Esta variabilidad disminuye notoriamente a medida que aumenta la frecuencia, siendo prácticamente nula en bandas de octava por encima de 2 kHz. Esto último, evidencia que los MPV son los responsables de marcadas resonancias ó coloraciones en un recinto. En segundo lugar, se evidencia que el efecto de los MPV pueden producir que el $T_{30(31,5 \text{ Hz})}$ se duplique ó disminuya a la mitad respecto de $T_{30(500 \text{ Hz})}$; y $T_{30(63 \text{ Hz})}$ verifique el mismo efecto respecto de $T_{30(2 \text{ kHz})}$. Por último, se evidencia que en un análisis por banda de octava, es prácticamente imposible detectar variaciones en T_{30} por encima de los 2 kHz como consecuencia del efecto que introducen los MPV.

En la Figura 17, en primer lugar se observa que C_{50} por el contrario a T_{30} , evidencia significativas variaciones en todo el espectro de frecuencias, siendo de hasta 9 dB en la banda de octava de 63 Hz; 4 dB para 125, 250, 500, 1000 Hz; y 2 dB por encima de 2 kHz, con excepción de la banda de 16 kHz con variaciones de 4 dB. En segundo lugar, el estudio demuestra que a pesar de ser un recinto pequeño, el campo sonoro resulta altamente heterogéneo en función de la posición, pudiéndose concluir que la inteligibilidad de la palabra será afectada significativamente en aquellas posiciones donde este parámetro asume valores máximos negativos.

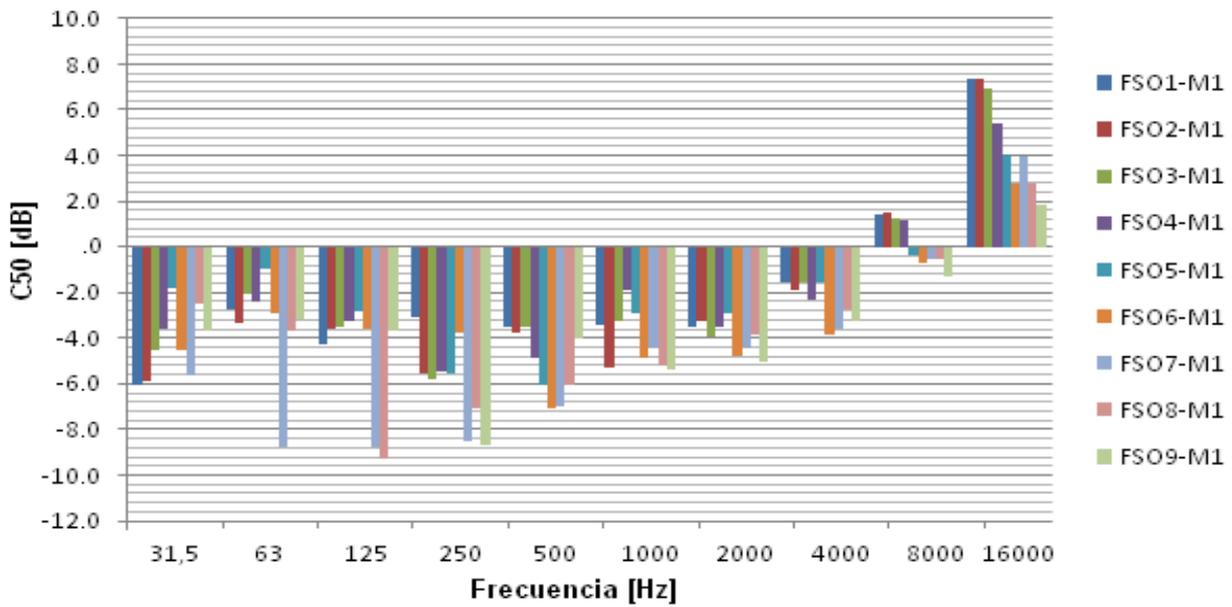


Figura 17: Claridad (C_{50}) medidor octava para 9 combinaciones de fuente-receptor.

Por último, en la Figura 18 para el caso de T_s , en primer lugar se observa nuevamente variaciones en todo el espectro de frecuencias estudiado, siendo de hasta 150 ms en la banda de octava de 31,5 Hz; 65 ms para bandas de 63 y 125 Hz; 50 ms para 500, 1000; 40 ms por encima de 2 kHz. En segundo lugar, se destaca la marcada disminución de T_s en la banda de octava 63 Hz, con un valor promedio de 141 ms, similar el observado en la banda de 2 kHz. Por el contrario, las bandas laterales a 63 Hz, muestran un marcado incremento como consecuencia de la existencia de MPV siendo notable hasta la banda de 250 Hz.

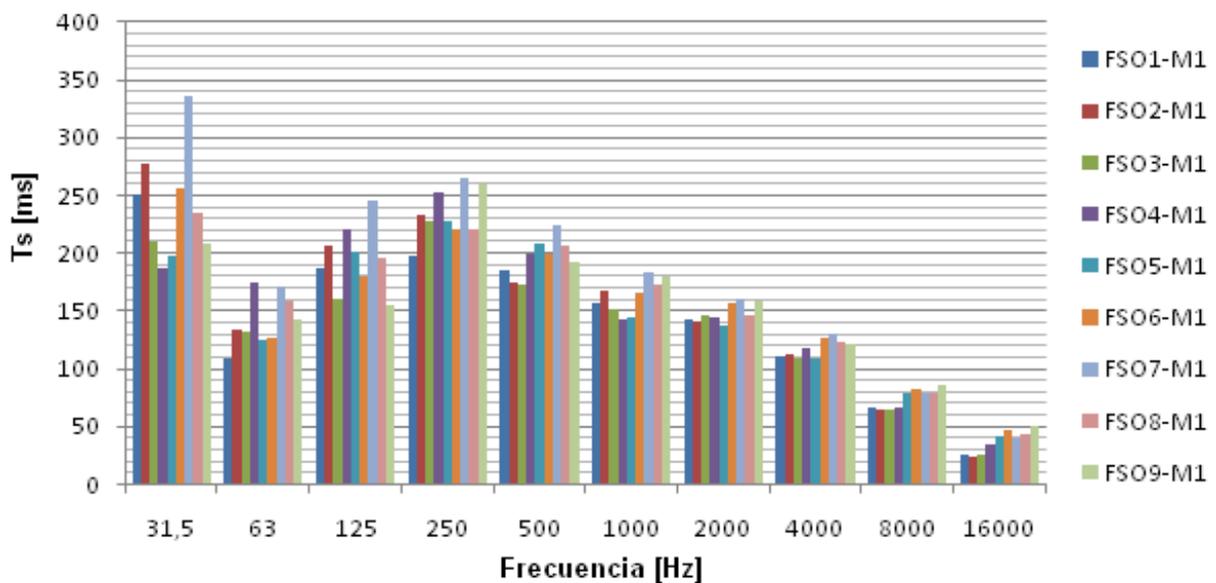


Figura 18: Centro de tiempo (T_s) medido por octava para 9 combinaciones de fuente-receptor

6 CONCLUSIONES

En primer lugar, se concluye que la posición (en el plano horizontal) de la fuente sonora modifica significativamente la respuesta modal de un recinto paralelepípedo de base rectangular, dimensiones reducidas ($175,73 \text{ m}^3$) y tiempo de reverberación de 2,494 s para banda ancha (31 Hz a 16000 Hz).

En segundo lugar, a pesar de poseer el recinto proporciones (1:1,64:2,29) que cumplimentan con recomendaciones como la de Richart H. Bolt, (1946) para una correcta distribución de MPV, el análisis de densidad espectral de potencia evidencia marcados realces y cancelaciones en las respuestas impulsivas medias, donde la única variable es la localización de la fuente sonora omnidireccional en el espacio (plano horizontal). En particular, la combinación FSO₉-M₁, donde la fuente se ubica próxima a uno de los vértices, evidencia un lógico aumento en la energía por el efecto de la nueva condición de borde. Por otra parte, es sabido que todos los MPV son excitados si la fuente sonora se encuentra ubicada en aquellas posiciones de presión sonora máxima, por ejemplo aquellas próximas a paredes rígidas donde la velocidad volumétrica de las partículas es nula. Se concluye que la influencia de la localización de la fuente evidenció marcadas diferencias en los espectros de MBF y BF analizados, estando ambos por debajo de la f_s calculada.

En tercer lugar, se evidenció que 3 parámetros acústicos según IRAM 4109 (compatible ISO 3382), muestran significativas variaciones debido a la influencia de la localización de la fuente en el recinto producto de la excitación de MPV principalmente en bajas y medias frecuencias.

7 AGRADECIMIENTOS

A la Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional. Al Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada al CONICET, de la Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- Bolt R. H. Note on the normal frequency statistics in rectangular rooms. *J.Acoust.Soc.Am.* 18(1) 130-133. (1946).
- Cravero G A., Ferreyra S P., Ramos O A., Tommasini F., Araneda M., Base de Datos de Mediciones de Respuestas Impulsivas de Recintos con Diferentes Características Acústicas. *Mecánica Computacional*, Vol. XXX, págs. 3125-3143. *Actas del 19^{no} Congreso sobre métodos numéricos y sus aplicaciones ENIEF 2011*. Rosario. Argentina. 1 al 4 de noviembre de 2011.
- Ercoli L, Azzurro A. Case study: theacousticalcharacteristics of typicalargentineanclassrooms. *BuildAcoust* 2001; 8(4):301–10.
- Farina, A., Simultaneous measurements of impulse response and distortion with a swept-sine technique. *Proc. 108th Convention of Audio Engineering Society*, Paris, Francia, 2000
- Ferreyra, Sebastián P.; Cravero, Gabriel A.; Ramos, Oscar A. (2012); Tommasini F., Araneda M.. “Identificación y análisis de modos propios de recintos a partir de sus respuestas impulsivas”. *Mecánica Computacional*, Vol. XXXI, pp. 3969-3989. *Actas del 10^{mo} Congreso sobre Mecánica Computacional MECOM 2012*. Ciudad de Salta, República Argentina. Del 13 al 16 de noviembre de 2012.
- Ferreyra S.P., Esquinas P.B., Orecchia I., Elías J.M. “Diseño y construcción de una cadena de instrumentación electroacústica para la medición de la respuesta al impulso de recintos según norma ISO 3382. *Mecánica Computacional*, Vol. XXVIII, págs. 63-72. *Actas del*

- 18^{vo} Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones ENIEF 2009, ciudad de Tandil, Argentina del 3 al 6 de Noviembre de 2009.
- Ferreira, S. P. y Ramos, O. A. Análisis físico-acústico-espacial de respuestas impulsivas de un recinto con alta dispersión sonora obtenidas por métodos indirectos. *Mecánica Computacional*, 26, pp 3-14, ISSN: 1666-6070. *Procedimientos del 26^{to} Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (ENIEF 2007)*, Córdoba, Argentina, 2-5 de Octubre, 2007
- Isbert C. A., *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, Barcelona, 2001
- ISO 3382-2:2008, Acoustics—Measurements of room acoustics parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. 2008.
- IRAM 4109-2:2011 Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2 – Tiempo de reverberación de recintos comunes.
- Meissner M. Examination of the effect of sound source location on the steady-state response of two-room coupled system. *Archives of Acoustics*, 36, 4, 761-775.
- Schröder M., The Schroeder frequency revisited. *Journal Acoustical Society of America*, 99 (5) pp. 3240, 1996
- Schröder M., New method of measuring reverberation time, *Journal Acoustical Society of America*, 37:409-412, 1965