

CAMPO DIRECTO (ÚTIL) / REVERBERADO (PERJUDICIAL) RESULTADOS EXPERIMENTALES FRENTE A SIMULACIÓN EN CATT-ACOUSTIC

PACS: 43.55.Br

Requena Plens, Jose Manuel; Vera Guarinos, Jenaro; Yebra Calleja, María Soledad

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la señal
Escuela Politécnica Superior de Alicante – Edif. Politécnica II
Universidad de Alicante – Campus de San Vicente del Raspeig
Email: info@jmrplens.com; jenaro@ua.es; myebra@ua.es

ABSTRACT

Based on the results obtained in previous works, the study of the phenomenon from the point of view of the simulation in a three-dimensional model is proposed. It is verified that there is an evident parallelism between the results of the simulation and the experimental one. To delve into the question the procedure is applied in a smaller enclosure and the pertinent consequences are extracted: validity, importance of the geometry and disposition of the furniture.

KEYWORDS: Diffuse field, direct field, C50, Intelligibility.

RESUMEN

Basándonos en los resultados obtenidos en trabajos anteriores, se plantea el estudio del fenómeno desde el punto de vista de la simulación en un modelo tridimensional. Se comprueba que existe un paralelismo evidente entre los resultados de la simulación y lo experimental. Para ahondar en la cuestión se aplica el procedimiento en un recinto de menor tamaño y se extraen las consecuencias pertinentes sobre: validez, importancia de la geometría y disposición del mobiliario.

PALABRAS CLAVE: Campo difuso, Campo directo, C50, Intelligibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

La distancia crítica o radio crítico en el ámbito de la acústica indica la distancia a la cual los niveles de presión del campo directo y reverberado son iguales. Este concepto supone que el campo directo principalmente depende de la inversa del cuadrado de la distancia entre el emisor y el receptor, mientras que el campo reverberado se mantiene constante en cualquier punto.

La motivación de este estudio parte de un estudio anterior¹, en el cual se analizaba una sala de mayor tamaño que la de este estudio. En este trabajo se intenta replicar la metodología empleada para las medidas in situ, pero en un recinto con otras dimensiones para así comprobar si existe alguna dependencia con el tamaño. Para después, tratar de simular las mismas condiciones en CATT-Acoustic y observar las posibles equivalencias.

¹ ESTIMACIÓN DEL CAMPO DIRECTO "vs." CAMPO REVERBERANTE EN UN RECINTO DE PÚBLICA CONCURRENCIA DE TAMAÑO MEDIO. Vera Guarinos, Jenaro; Yebra Calleja, Marisol; Eva Calzado Estepa. Esteve Rico, Juan Carlos. TechniAcústica 2015.

2. OBJETIVOS

Comprobar mediante el uso de recintos modelados tridimensionales si las relaciones que encontramos mediante medidas in situ en los recintos reales tienen una contrapartida en dichos modelos. Se analiza la relación que existe entre el campo directo y campo reverberado, así como en lo que convenimos en llamar campo útil y campo perjudicial [1].

El trabajo lo podemos dividir en dos objetivos o intenciones. El primero es comprobar si existían diferencias en los resultados si se variaban las dimensiones del recinto estudiado, pues se disponen de resultados para un recinto de dimensiones relativamente grandes (465 metros cúbicos) y el actual tiene 228 metros cúbicos.

El segundo objetivo es replicar el estudio pero sobre modelos tridimensionales de las habitaciones estudiadas y comprobar si dichas simulaciones son consistentes con la realidad.

3. METODOLOGÍA

3.1 IN SITU

Para la realización de las medidas in situ se ha utilizado el paquete de software dBFA32 junto a la unidad de adquisición Symphonie y micrófono G.R.A.S 40AF de media pulgada, y como fuente de ruido un altavoz dodecaédrico emitiendo señal MLS. Las medidas se han realizado en bandas de octava (125-16000 Hz), tomando niveles cada milisegundo (duración total de cada medida: 2500ms).

La medición se ha realizado en el aula 26M de la Escuela Politécnica Superior IV de la Universidad de Alicante. Las características de la sala son las siguientes:



Figura 1. Imágenes tomadas del aula utilizada en este estudio.

Dimensiones:

Largo = 11.9 m; Ancho = 7.1 m; Alto = 2.7 m.; Volumen = 228 m³;

Superficies: Yeso pintado: 47.6 m² + 51.8 m²; Techo desmontable: 67.2 m²; Terrazo: 72.5 m²; Ventanas: 15.4 m²; Pizarra: 6.2 m²; Sillas y mesas: 115 m²; Otras maderas: 19 m².

Coefficientes de absorción medio: Sala llena = 0.21; Sala vacía = 0.17.

Para posicionar los micrófonos se ha elegido una matriz de 10 por 3, es decir, 10 posiciones a lo largo de los 11.9 metros de la sala y 3 filas a lo ancho de los 7.10 metros de la sala. La

fuente se ha ubicado en dos posiciones, en una esquina (A0)² y en el centro de la sala (B0). Se aporta imagen de la simulación en CATT para aclarar las posiciones:

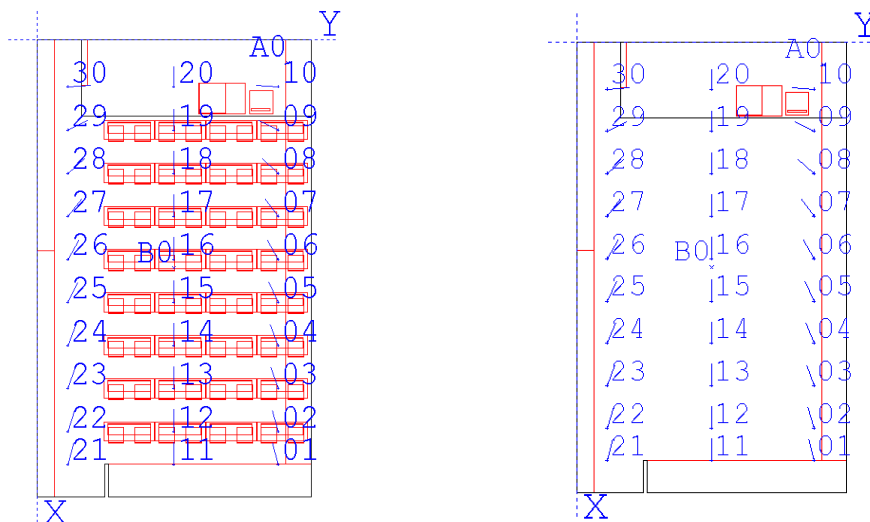


Figura 2. Mapa de posiciones realizado con CATT-Acoustic. (Aula Llena [izquierda], aula vacía [derecha]).

Las medidas se realizaron del mismo modo tanto con el aula llena (con todo el mobiliario) como con el aula vacía (retirando todas las mesas y sillas de alumnos, el mobiliario de profesor fue imposible retirarlo ya que estaba anclado al suelo).

3.2 SIMULACION POR ORDENADOR

En el caso del modelado/simulación por ordenador se ha utilizado el software CATT-Acoustic v8.0d (build 2.1) junto con un software realizado para este y otro estudio en desarrollo para la plataforma Matlab llamado CATT2Matlab³, que ofrece mayor información de los resultados obtenidos con CATT. Tanto las fuentes como los receptores se posicionaron en los mismos puntos que las medidas in situ. La señal que emiten las fuentes de la simulación contiene el mismo espectro y niveles que la señal MLS⁴.

Para obtener los datos de la historia temporal usamos los que ofrece el resultado de la opción ISM (Image Source Model) para cada receptor. Para que se generen estos archivos se debe elegir antes el orden de reflexión. Desgraciadamente el costo de computación crece exponencialmente con el número de planos que definen el modelo y en este caso no consideramos viable el simplificar el plano de audiencia a uno solo pues creemos necesario que aparezcan en el modelo el intrincado sistema de reflexiones que se forma en la zona baja del mobiliario escolar. Es por lo que en el caso de recinto amueblado el orden de reflexiones que no hacia colapsar la computación fue como máximo cinco pero no menor de cuarto orden.

Se ha decidido utilizar el método de ISM en lugar de la respuesta impulsiva que nos ofrece de forma sencilla la opción de postprocesado y auralización debido a que cuando usábamos esta opción del software CATT-Acoustic determina niveles SPL aparentemente de forma arbitraria por lo que no se puede realizar una relación del nivel frente a la distancia (los audios generados tenían más nivel cuanto más lejos estaban de la fuente, obviamente incorrecto). En la siguiente imagen, Figura 3, mostramos los resultados de los niveles obtenidos de los .wav

² La directividad de la fuente A0 cambia de Q=1 a Q=4 por el efecto de los dos planos reflectantes de la esquina, sin que tenga efecto en ella ni el plano del techo ni el del suelo.

³ CATT2Matlab se ha desarrollado para ser compatible con todos los sistemas operativos y con versiones de Matlab desde r2014b en adelante. Está disponible tanto en GitHub como en 'File Exchange' de Mathworks.

⁴ En las medidas in situ se midió con un analizador de espectro (NTI XL2) el nivel generado y estos niveles se introdujeron en los parámetros de fuente en el software CATT-Acoustic.

generados por el programa donde se puede observar que los niveles aumentan con la distancia.

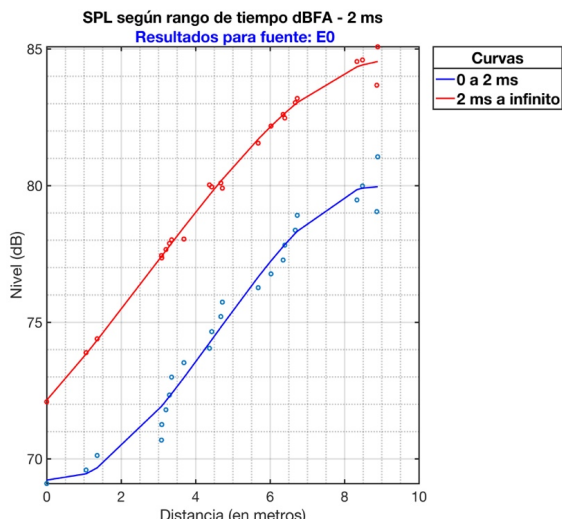


Figura 3. Muestra del análisis SPL frente a distancia de la auralización generada por CATT-Acoustic.

Es por este problema por lo que optamos por usar los datos extraídos del ISM que mostraban un comportamiento correcto. Pero al decidir esto se nos plantea un problema: la duración temporal del ISM no supera los 300 ms en el mejor de los casos que se pueda activar hasta orden nueve para las reflexiones. Y la historia temporal que tenemos en las medidas de campo alcanzan los 2500 ms. La solución optada para poder realizar una comparación entre los resultados "in situ" y los de simulación has ido recortar los cálculos realizados sobre las medidas reales hasta el tiempo que nos limita la historia temporal de reflexiones obtenida de los ISM en cada situación.

Como se puede comprobar en el apartado de resultados, la decisión optada de recortar las señales alrededor de los 300 ms es muy poco importante en los resultados para el campo Directo (0 - 2 ms) y para el campo Útil (0 - 50 ms). Pero es evidente que no es inocua cuando se trata de obtener resultados para el campo Reverberante y el Perjudicial. Pero lo que si que es cierto desde nuestra posición es que las comparaciones hechas con este tiempo ajustado a un máximo de 300 ms tiene suficiente información como para considerarlo válido.

Se ha optado por dibujar en verde, en las gráficas que referenciamos como dBFA, los resultados que tendríamos si los cálculos realizados hubieran tenido la duración de 2500 ms, pues son los que se corresponden a la realidad a la hora de comparar los dos recintos con diferente volumen. Y se dibujan en rojo los resultados para el tiempo ajustado, que son las que compararemos con su homónima referenciada como CATT en los encabezados.

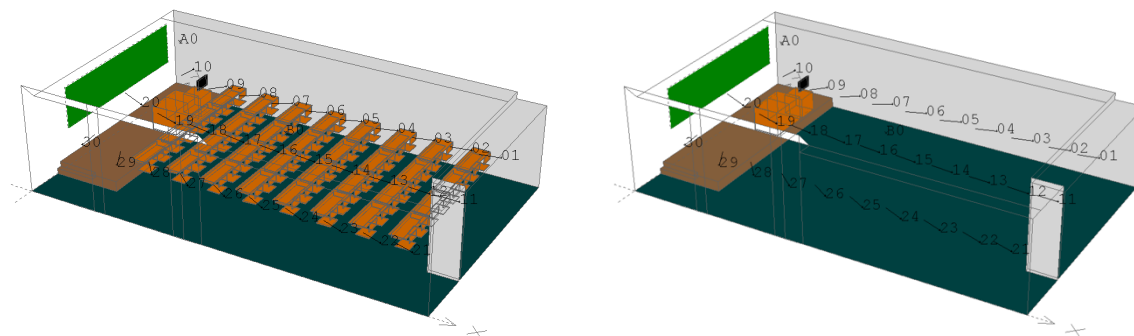


Figura 4. Modelo tridimensional creado en CATT-Acoustic.

4. MEDIDAS Y RESULTADOS

4.1 IN SITU y CATT – Aula amueblada

En primer lugar, se observa el tiempo de reverberación tanto con la fuente en la esquina (A0) como la fuente en el centro (B0):

Posición fuente	In situ (RTmid, segundos)	CATT (RTmid, segundos)
Esquina	1.36	1.36
Centro	1.38	1.35

Tabla 1. Calculado a través del promedio de RT de todos los receptores por octava y después calculado el RTmid.

4.1.1 IN SITU y CATT – Aula amueblada– 2 ms

A continuación, se muestra el nivel SPL obtenido para dos rangos de tiempo ([0 - 2 ms] y [2 ms - ∞]) según la distancia del receptor a cada una de las fuentes.

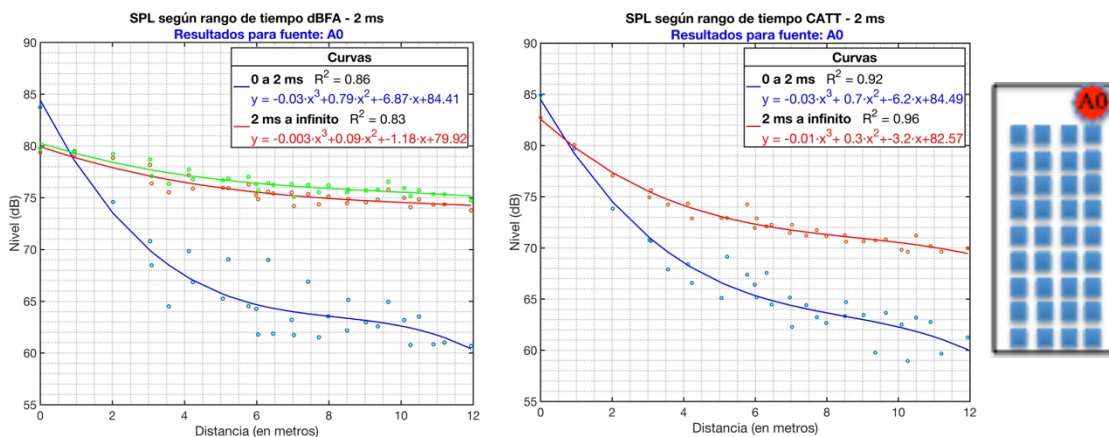


Figura 5. Campo directo y campo reverberante para aula llena y fuente en A0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

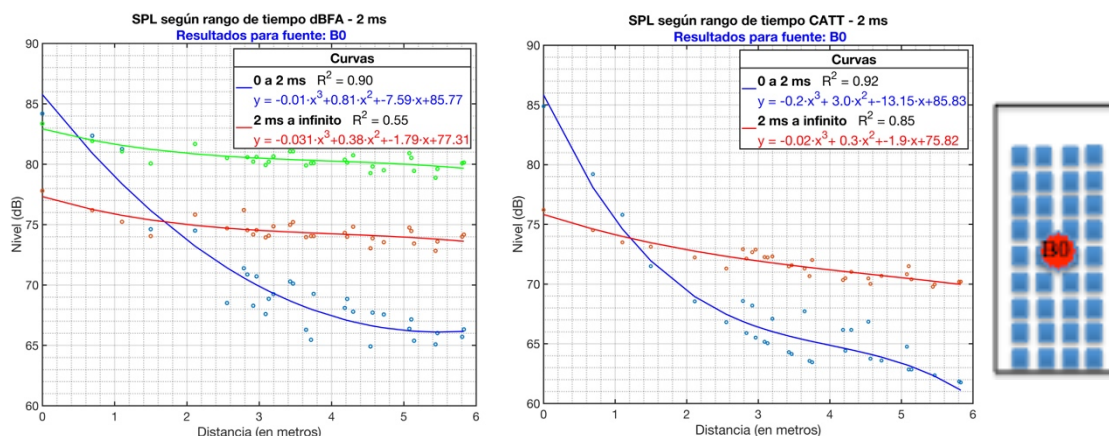


Figura 6. Campo directo y campo reverberante para aula llena y fuente en B0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

Se puede observar que cuando adaptamos los tiempos a 300 ms los resultados “in situ” tienen un comportamiento bastante similar a los resultados que se obtienen de la simulación en CATT, por lo que se podría usar esta herramienta para analizar el fenómeno estudiado. Es significativo que el campo reverberante decaiga con la distancia tanto en la realidad como con el modelo. La distancia crítica se mantiene para ambas entre 0.5 m y 1 m.

4.1.2 IN SITU y CATT – Aula amueblada – 50 ms

Ahora mostramos el nivel SPL obtenido para dos rangos de tiempo [0 - 50 ms] y [50 ms-∞) según la distancia del receptor a cada una de las fuentes. Lo que llamamos Campo Útil y Campo Perjudicial.

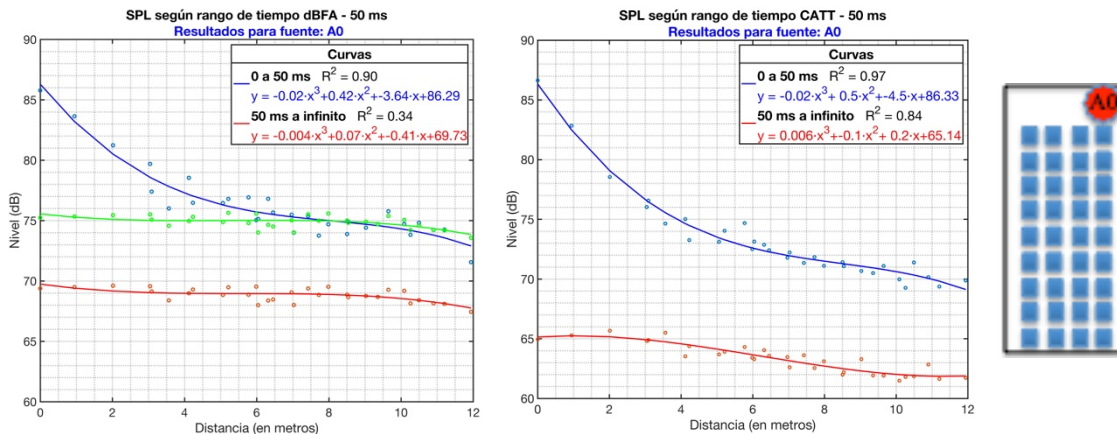


Figura 7. Curvas de campo útil y campo perjudicial para aula llena y fuente en A0 In situ [izquierda], simulación [derecha].

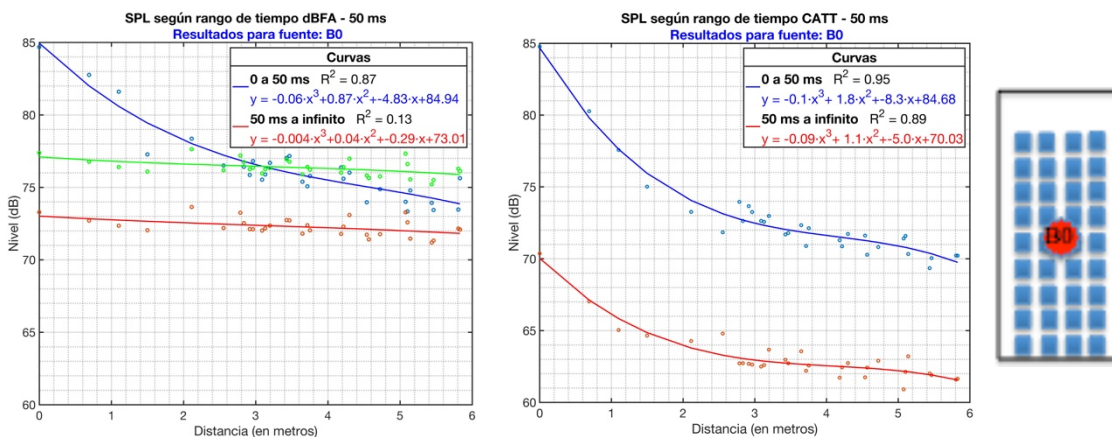


Figura 8. Curvas de campo útil y campo perjudicial para aula llena y fuente en B0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

En este caso se puede observar que el campo que hemos llamado perjudicial se mantiene casi constante con la distancia y el campo útil apenas es superado por este a partir de los ocho metros, y mide doce, lo que significa que este recinto tiene posibilidad de tener una buena respuesta en comprensión verbal, casi en su totalidad a pesar de que el tiempo de reverberación sea superior al ideal para un recinto de palabra de estas dimensiones (se podría decir que un recinto así sin alumnos debería de rondar su tiempo de reverberación por los 0.7 segundos, lo que es aproximadamente la mitad del que tenemos).

Para el caso de fuente situada en el centro como las condiciones cambian respecto a cerramientos más cercanos, la distancia útil se recorta a tres metros.

En cuanto a los resultados de la simulación en Catt, se puede ver que la falta de reflexiones hace que los resultados parezcan más dispares respecto al original a pesar de que se haya adecuado el tiempo de cálculo (curvas en rojo de la derecha).

4.2 IN SITU y CATT – Aula vacía

En este caso, se han sacado de la sala todas las mesas y sillas (a excepción de la mesa de profesor) y se han vuelto a tomar medidas en las mismas posiciones que en el aula llena.

Lo tiempos de reverberación que se obtuvieron:

Posición fuente	In situ (RTmid, segundos)	CATT (RTmid, segundos)
Esquina	1.50	1.50
Centro	1.55	1.50

Tabla 2. Calculado a través del promedio de RT de todos los receptores por octava y después calculado el RTmid.

4.2.1 IN SITU y CATT – Aula vacía – 2 ms

Del mismo modo que con la sala llena, se muestra el nivel SPL obtenido para dos rangos de tiempo ([0 - 2 ms y 2 ms - ∞] según la distancia del receptor a cada una de las fuentes.

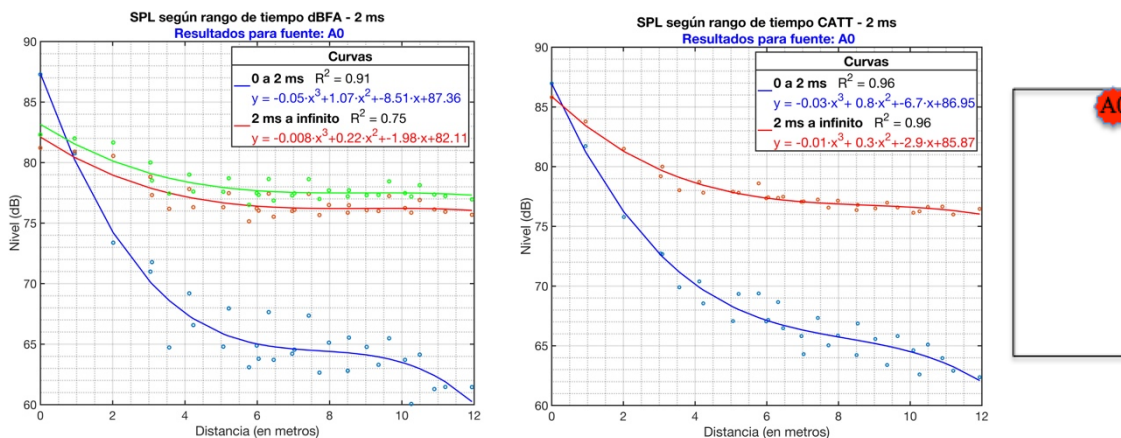


Figura 9. Curvas de campo directo y campo reverberante para aula vacía y fuente en A0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

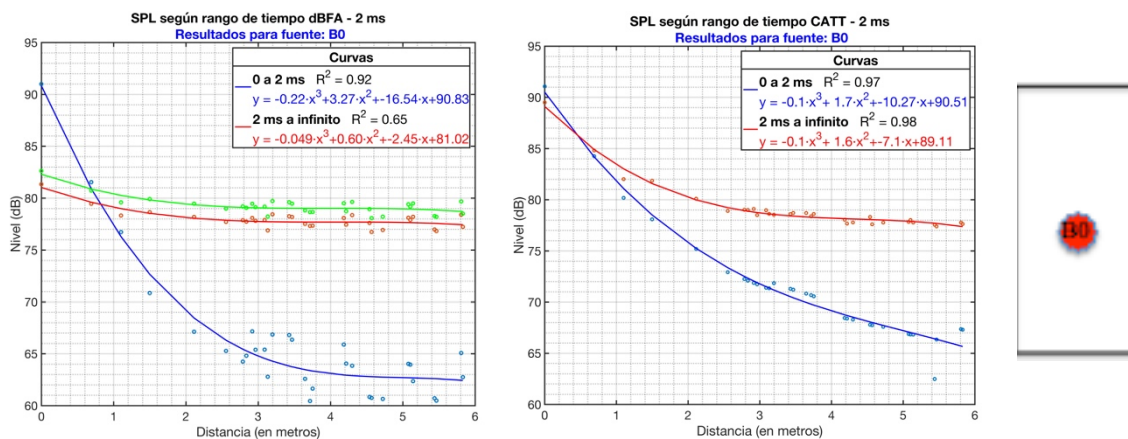


Figura 10. Curvas de campo directo y campo reverberante para aula vacía y fuente en B0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

Se puede observar que en caso de fuente en esquina los resultados CATT para el campo Directo y Reverberado, los resultados obtenidos por los dos métodos son casi idénticos si asumimos la adaptación de tiempo hecha. El campo Reverberante sigue manteniendo cierta tendencia a disminuir con la distancia.

Si comparamos estos resultados de aula vacía frente a la amueblada la única diferencia significativa remarcable sería que el campo Directo parece decaer más rápidamente, quizás

eso se deba a la falta del plano de reflexiones que se forma con las superficies de las mesas cuando está amueblada.

4.2.2 IN SITU y CATT – Aula vacía – 50 ms

Del mismo modo que con la sala llena, se muestra el nivel SPL obtenido para dos rangos de tiempo [0 - 50 ms y 50 ms - ∞] según la distancia del receptor a cada una de las fuentes:

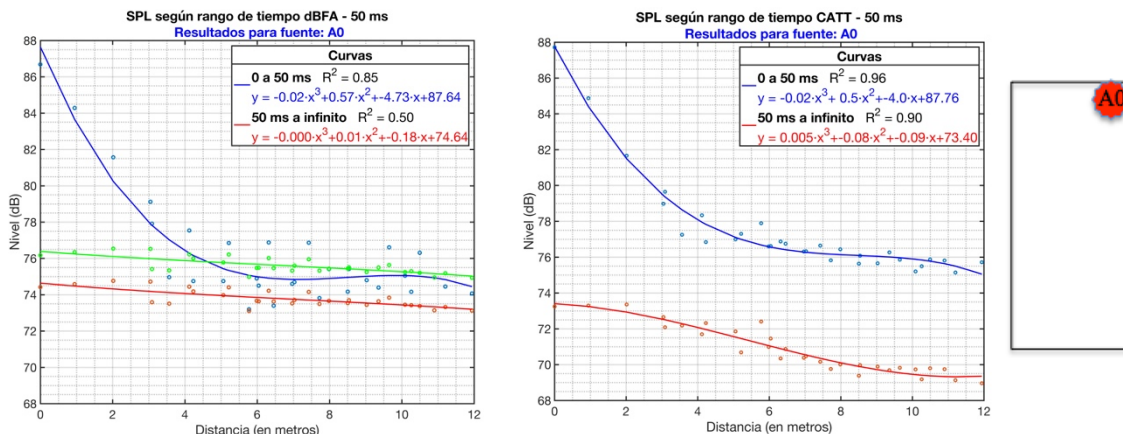


Figura 11. Curvas de campo útil y campo perjudicial para aula vacía y fuente en A0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

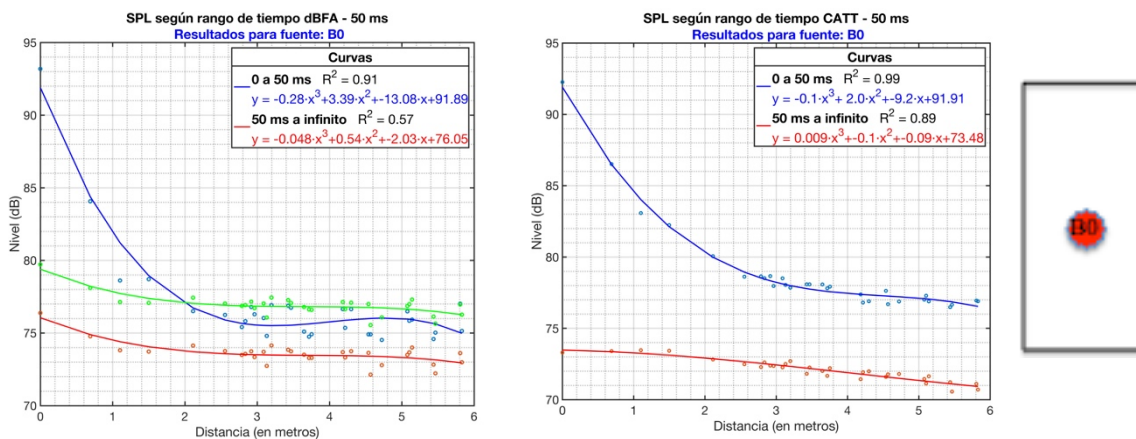


Figura 12. Curvas de campo útil y campo perjudicial para aula vacía y fuente en el B0. In situ [izquierda], simulación [derecha].

Ahora el campo Perjudicial si que parece tener caída apreciable tal que ya sea para la fuente en esquina A0 o la centrada B0 a partir de 5 metros y 2 metros respectivamente los valores de la energía Útil y Perjudicial mantienen valores muy parecidos a lo largo de toda la habitación (curvas verdes) lo que hace que cualquier punto del aula se pueda calificar como un lugar donde habrá buena comprensión verbal.

Los resultados de la simulación vuelven a ser insuficientes para este periodo de tiempo por las razones que apuntamos anteriormente para el aula amueblada.

5. SIMULACION Y COMPARACIÓN CON ESTUDIO ANTERIOR

Se han vuelto a analizar los datos obtenidos en las mediciones in situ y se ha encontrado un error en la gráfica de fuente en esquina, 50ms y sin mobiliario; este hecho se encuentra en la gráfica de la página 11 del trabajo referenciado como [1]. A continuación, se muestra la gráfica correcta:

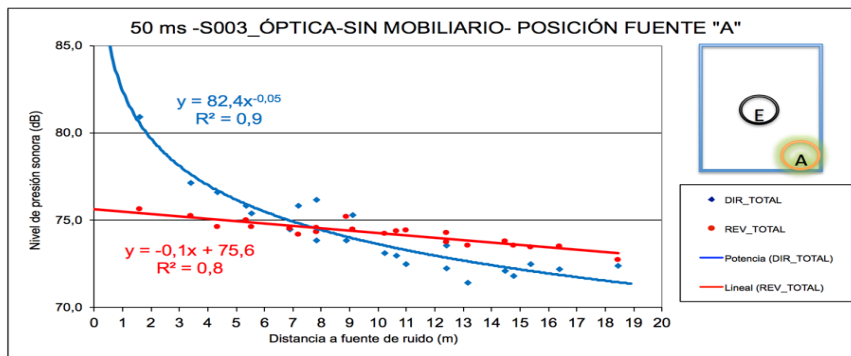


Figura 12. Gráfica corregida del artículo que ha motivado este estudio.

Las dimensiones de la sala a comparar son:

Largo = 18.70 m; Ancho = 9.20 m y Alto = 2.70 m; Volumen = 465 m³.

A continuación mostraremos los resultados del aula tratada en dicho estudio que es la S003 de Óptica.

5.1 IN SITU y CATT – Aula S003-Óptica amueblada – 2 ms

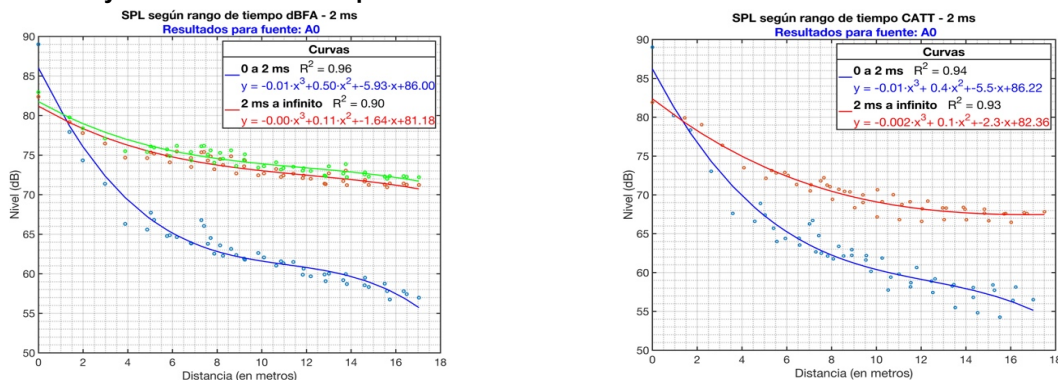


Figura 13. Curvas de campo directo y campo reverberante para aula 2 llena y fuente en esquina. In situ [izquierda], simulación [derecha].

5.2 IN SITU y CATT – Aula S003-Óptica vacía – 50 ms

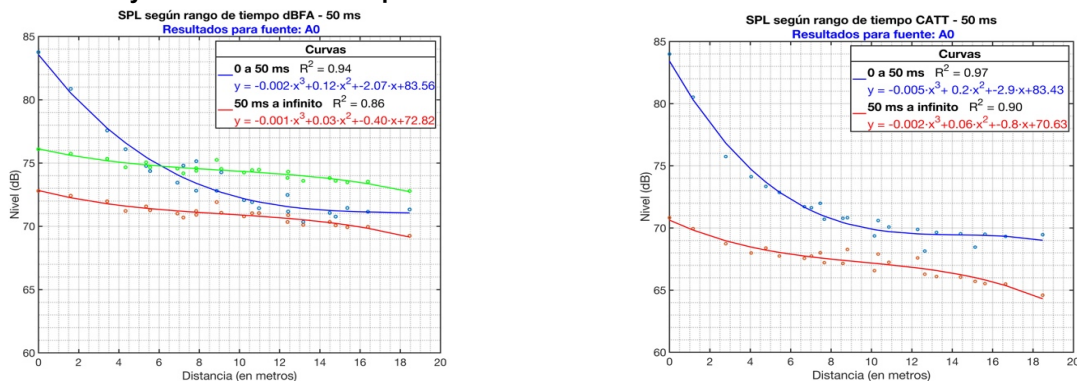


Figura 14. Curvas de campo útil y campo perjudicial para aula 2 vacía y fuente en la esquina. In situ [izquierda], simulación [derecha].

Se puede comprobar que en el rango de 2 milisegundos tanto las medidas "in situ" como la simulación mantienen una buena correspondencia. Mientras que para 50 milisegundos los resultados obtenidos del ISM del Catt se muestran insuficientes.

6. CONCLUSIONES

- Los resultados entre la medición in situ y la simulación son relativamente similares en el caso que el intervalo de tiempos sea 2 milisegundos, o sea cuando calculamos campo directo y reverberado con el ajuste de tiempos que ya explicamos al principio.
- Cuando queremos hacer el estudio para las definiciones propuestas de campo útil y perjudicial (intervalo de tiempo de 50 milisegundos) los resultados de la simulación que hemos obtenido con la historia temporal de reflexiones que el Catt calcula con el ISM, son inconsistentes por insuficiente información en el campo de reflexiones.
- Se ha encontrado que el software Catt_Acoustic. v8.0d (build 2.1) no es capaz de proporcionar señales impulsivas que mantengan estable su nivel relativo con la distancia al emisor. Este hecho tan solo nos deja imaginar que la simulación parece que se ajusta a la realidad, pero no podemos llegar a sacar las conclusiones que nos proponíamos.
- Al comparar los resultados para dos recintos que difieren en el doble de capacidad volumétrica, no se han encontrado diferencias marcables

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Vera ; M. Yebra; Marisol; E. Calzado; J. C. Esteve, "Estimación del campo directo "vs." campo reverberante en un recinto de pública concurrencia de tamaño medio" 46° Congreso Español de Acústica, (2015)