

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE BORDE EN LA MEDICIÓN DE ABSORCIÓN DE BUTACAS EN CÁMARA REVERBERANTE

Nilda Vechiatti¹, Federico Iasi¹, Gustavo Basso²

¹ Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires
(nildavec@yahoo.com.ar, fedeiasi@yahoo.com)

¹ Facultad de Bellas Artes, Universidad Nacional de La Plata
(basso@isis.unlp.edu.ar)

Resumen

Para la predicción del tiempo de reverberación de una sala utilizando los valores del coeficiente de absorción sonora de las butacas que se instalarán, resulta conveniente conocer tanto la absorción de la superficie superior del conjunto de butacas, como la absorción de las superficies laterales. Si los coeficientes se miden en cámara reverberante según el método de la norma ISO 354^[1], el lote de butacas ensayado debe colocarse en el centro de la cámara, formando un absorbente volumétrico de forma rectangular, en el que la absorción de las condiciones de borde tiene una influencia importante en la absorción sonora total obtenida. En este trabajo se presentan los resultados de haber ensayado un lote de butacas con diferentes condiciones de borde, evaluándose su influencia.

Palabras clave: Coeficiente de absorción sonora, butacas, cámara reverberante.

Abstract

For the prediction of the reverberation time of a room using the values of sound absorption coefficient of the seats to be installed, it is convenient to know both the absorption of the upper surface of the set of seats, as the absorption of the side surfaces. If the coefficients are measured in a reverberation chamber according to the method of ISO 354, the assembly of seats tested should be placed in the center of the chamber, forming a rectangular volumetric absorber, in which the absorption of the boundary conditions have an important influence on the total sound absorption obtained. This paper presents the results of having tested a batch of seats with different boundary conditions and assesses their influence.

Keywords: sound absorption coefficient, seats, reverberation chamber.

PACS no. 43.55.Ev

1 Introducción

En el Barrio de La Boca, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, recientemente se ha inaugurado un Centro Cultural en el edificio que perteneció a la Compañía Italo-Argentina de Electricidad. Además de espacios para la realización de espectáculos de danza, exhibiciones de artes plásticas, muestras y exposiciones, cuenta con una sala para conciertos sinfónicos con capacidad para 1.200 personas, y otra para orquestas de cámara con 300 ubicaciones. Para esta obra de puesta en valor y restauración del edificio, se diseñaron las butacas instaladas en ambos recintos atendiendo sus requerimientos acústicos.

Para la predicción del tiempo de reverberación de una sala resulta conveniente conocer tanto la absorción de la superficie superior, como la de las superficies laterales del conjunto de butacas que se instalarán. Si los coeficientes se miden en cámara reverberante según el método de la norma ISO 354^[1], el lote de butacas ensayado debe colocarse en el centro de la cámara, formando un absorbente volumétrico de forma rectangular, en el que los laterales tienen una influencia importante en la absorción sonora total obtenida. Una situación similar ocurre si el ensayo en cámara reverberante se realiza utilizando el método propuesto por Kath and Kuhl (K & K), que propone instalar el lote de butacas en un rincón de la cámara de ensayos, dejando expuestos dos de los laterales del arreglo ensayado. En ambos procedimientos se recomienda cubrir los lados con pantallas rígidas y reflejantes del sonido^[2], con el objeto de minimizar la fonoabsorción lateral.

En este trabajo se estudió la influencia de las condiciones de borde en la medición de absorción de las butacas diseñadas para la Usina del Arte, siguiendo el primero de los procedimientos mencionados.

Adicionalmente, se presentan los resultados de la medición de estas butacas para dos condiciones de ocupación (0% y 100%).

2 Proceso de diseño acústico de las butacas

El fabricante seleccionado para confeccionar las butacas de la Usina del Arte fue el mismo que hizo las de dos salas previas en la Ciudad de Buenos Aires: el Auditorio de la Unión Ferroviaria y el Teatro 25 de Mayo. En ambos casos las butacas presentaban resonancias de banda angosta en la región de 125 Hz, que se sumaban a la absorción acústica de la butaca ocupada por el público. Se consideró que la causa de esta resonancia podía ser la perforación de la parte inferior del asiento de la butaca. La empresa presentó muestras con dos porcentajes diferentes de perforación (Figura 1).

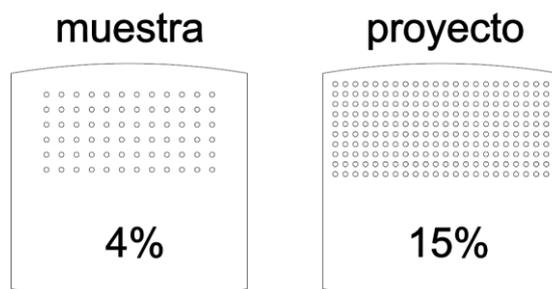


Figura 1: Muestras de butacas con diferentes porcentajes de perforación en la parte inferior del asiento

Luego de analizar las consecuencias acústicas de dichas perforaciones se llegó a la conclusión de que eran la causa de las resonancias en la región de 125 Hz que se querían evitar. Por lo tanto, se decidió la eliminación de dichas perforaciones y se cubrió el fondo inferior liso de madera del asiento con la misma tela que se empleó para tapizar el resto de la butaca.

3 Procedimiento de trabajo

3.1 Mediciones en cámara reverberante

En la cámara reverberante del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, se realizaron mediciones de tiempos de reverberación para el cálculo del área equivalente de absorción sonora de 20 butacas. La sala utilizada posee un volumen de 186 m³, una superficie interior de 208 m², y se siguió el procedimiento de ruido interrumpido según la Norma ISO 354.

Para las mediciones se utilizó una fuente sonora omnidireccional, dodecaedro, en 2 posiciones diferentes, y se seleccionaron 6 posiciones de micrófono, realizándose 3 registros por cada combinación fuente-micrófono, con lo cual, cada tiempo de reverberación fue el resultado del promedio de 36 caídas, siguiendo los recaudos expuestos en la norma antes citada. El instrumento utilizado fue un analizador de espectros en tiempo real, marca Brüel & Kjaer, modelo 2250, con su generador interno de ruido de banda ancha y su software específico para T_R.

Se ensayó un lote conformado por 4 filas de 5 butacas cada una, en diferentes montajes de ensayo:

1. Butacas en el centro de la cámara de ensayos, sin barrera perimetral:

- 1.1. Separación entre filas: 0,90 m

- 1.2. Separación entre filas: 1,00 m

- 1.3. Separación entre filas: 1,10 m

Objetivo: valorar la influencia de la separación entre filas, utilizando tres medidas típicas.

2. Butacas en el centro de la cámara de ensayos, separadas 1 m entre filas:

- 2.1. Sin barrera perimetral

- 2.2. Con barrera perimetral total

- 2.3. Con barrera perimetral parcial (sin frente)

- 2.4. Con barrera perimetral parcial (sin un lateral)

- 2.5. Con barrera perimetral parcial (sin fondo)

Objetivo: considerar la influencia de la absorción lateral del arreglo de butacas.

3. Butacas en el centro de la cámara, con barrera perimetral, separadas 1 m entre filas:

- 3.1. Sin ocupación (0%)

- 3.2. Con ocupación (100%)

Objetivo: considerar la influencia del estado de ocupación.

En cada caso, se calculó el área equivalente de absorción sonora del arreglo, en m², para las bandas de tercios de octava entre 100 y 5000 Hz.

Cuando las mediciones se realizaron con cerramiento perimetral, la superficie cubierta por el arreglo ensayado fue de [4,18 x 3,18] m², y las butacas cubrían una superficie fue de [3,70 x 2,83] m².

En las Fotografías 1 a 4, se pueden apreciar disposiciones del arreglo ensayado, y en las Fotografías 5 a 8, se pueden apreciar detalles de una de las butacas.



Fotografías 1 a 4: Arreglo de butacas ensayado



Fotografías 5 a 8: Detalles de una de las butacas ensayadas

3.2 Comparación de absorción sonora medida y calculada

Con el fin de evaluar la factibilidad de emplear en proyectos la información obtenida en mediciones de laboratorio hechas con barreras perimetrales para minimizar la influencia de los laterales en el absorbente volumétrico completo (paralelepípedo rectangular), se calculó la absorción del conjunto de butacas con sus laterales expuestos a partir de la absorción parcial de cada superficie.

Para ello se emplearon los valores de absorción obtenidos para los casos en que las butacas estuvieron rodeadas por una barrera total o parcial, según correspondía, y se consideró la absorción de cada una teniendo en cuenta las superficies expuestas al sonido en función de su ubicación en el lote ensayado (Figura 2). De este modo, y aprovechando el mismo conjunto de 20 butacas, se lo consideró como integrado por:

- 3 butacas centrales de primera fila (sin filas delante, con butacas en ambos lados)
- 2 butacas delanteras en rincón (sin filas delante, y sin butacas de un lado)
- 6 butacas centrales (con butacas laterales, con filas delante y detrás)
- 4 butacas laterales (sin butacas de un lado, con filas delante y detrás)
- 3 butacas centrales de última fila (sin filas detrás, con butacas en ambos lados)
- 2 butacas traseras en rincón (sin filas detrás, y sin butacas de un lado)

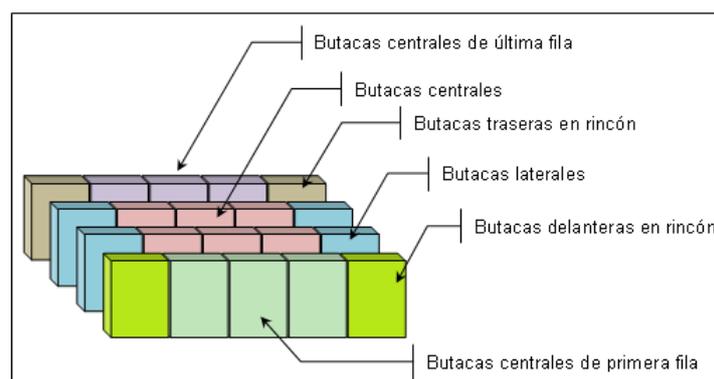


Figura 2: Clasificación de butacas según su ubicación

Finalmente, los valores de área de absorción total calculados para las butacas ubicadas en el centro de la cámara, sin barrera perimetral, separadas 1 m entre filas, fueron comparados con los medidos para la misma condición de montaje.

4 Resultados obtenidos

4.1 Medición de la influencia de la separación entre filas

Los valores obtenidos para las butacas ubicadas en el centro de la cámara, sin barrera perimetral, y variando la separación entre filas (0,90 m, 1,00 m y 1,10 m), se presentan en la Tabla 1 y en la Figura 3.

Tabla 1: Área equivalente de absorción sonora según la separación entre filas, A en m²

Frecuencias [Hz]	Separación entre filas		
	0,90 m	1,00 m	1,10 m
100	1,5	1,9	1,8
125	2,4	2,6	2,6
160	3,6	3,3	3,6
200	6,2	5,7	6,1
250	6,9	6,9	7,1
315	7,2	7,8	7,7
400	8,2	8,4	8,3
500	9,1	9,2	9,5
630	9,2	9,5	9,8
800	9,1	10,0	10,2
1000	10,0	10,2	10,4
1250	9,7	10,4	10,1
1600	10,0	10,3	10,6
2000	10,2	10,5	10,9
2500	10,8	11,1	10,9
3150	10,9	11,3	11,3
4000	10,7	11,4	11,3
5000	10,8	11,2	11,7

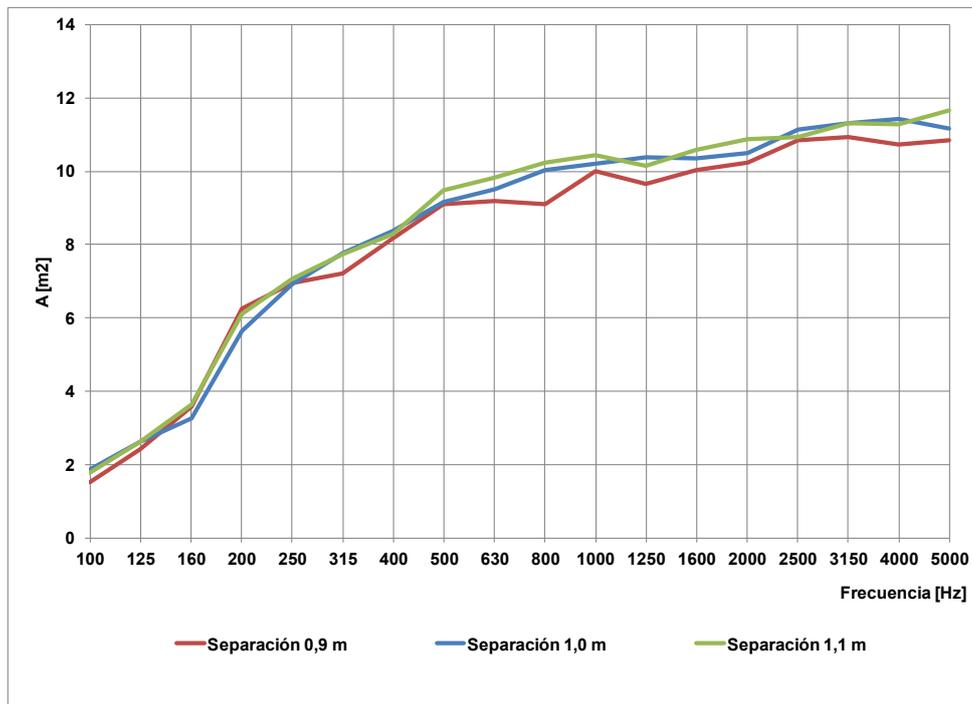


Figura 3: Área equivalente de absorción sonora según la separación entre filas, A en m²

4.2 Medición de la influencia de los laterales expuestos

Los valores obtenidos para las butacas ubicadas en el centro de la cámara, separadas 1 m entre filas, con barrera perimetral completa, parcial o sin barrera, se presentan en la Tabla 2 y en la Figura 4.

Tabla 2: Área equivalente de absorción sonora según condición de laterales expuestos, A en m²

Frecuencias [Hz]	Con barrera perimetral				Sin barrera perimetral
	completa	sin frente	sin lateral	sin fondo	
100	2,3	2,2	2,8	1,4	1,9
125	1,5	2,6	2,5	1,9	2,6
160	3,2	3,9	3,1	2,5	3,3
200	4,7	4,2	4,3	4,7	5,7
250	5,2	5,4	6,1	6,0	6,9
315	5,8	6,5	6,6	6,6	7,8
400	7,2	7,5	7,1	7,6	8,4
500	6,6	6,6	7,3	6,5	9,2
630	6,6	7,6	7,4	7,5	9,5
800	7,0	7,4	7,9	8,0	10,0
1000	7,5	8,2	8,8	8,5	10,2
1250	7,6	8,3	8,6	8,4	10,4
1600	8,2	8,2	8,6	8,2	10,3
2000	8,0	8,9	9,0	8,8	10,5
2500	8,2	9,4	9,2	9,0	11,1
3150	8,5	9,1	9,1	9,0	11,3
4000	8,2	8,8	8,6	9,0	11,4
5000	7,6	8,4	8,4	9,5	11,2

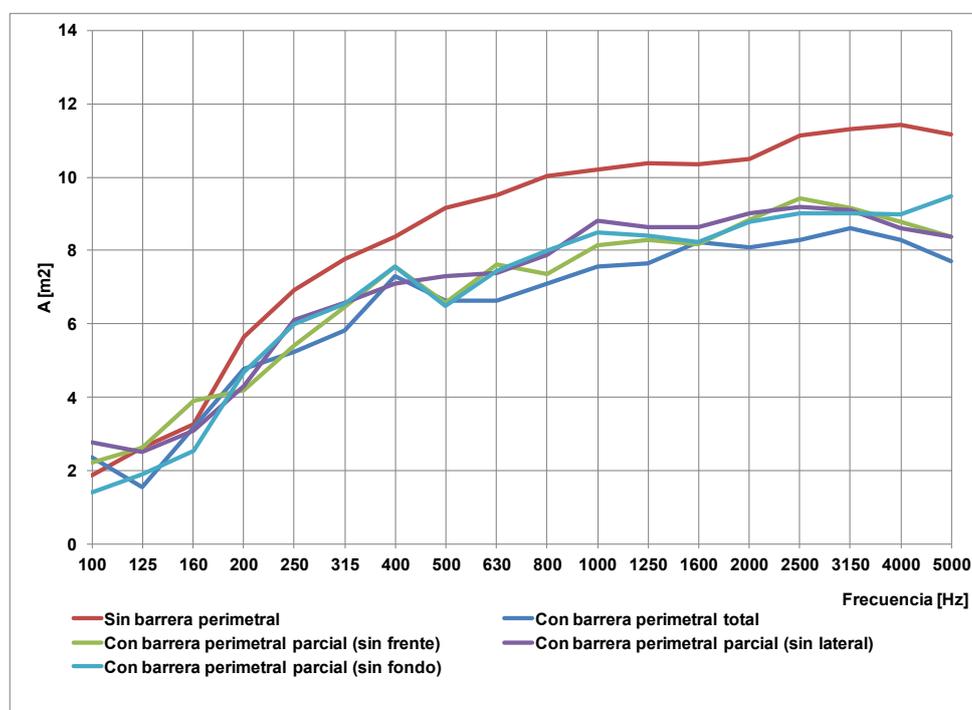


Figura 4: Área equivalente de absorción sonora según condición de laterales expuestos, A en m²

4.3 Comparación de absorción sonora medida y calculada

Los valores de absorción obtenidos por cálculo para las butacas ubicadas en el centro de la cámara, sin barrera perimetral, separadas 1 m entre filas, y su comparación con los correspondientes valores medidos, se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 5.

Tabla 3: Área equivalente de absorción sonora, A en m². Valores medidos vs. calculados

Frecuencias [Hz]	Calculado	Medido
100	2,1	1,9
125	4,9	2,6
160	3,1	3,3
200	3,2	5,7
250	7,9	6,9
315	8,7	7,8
400	7,4	8,4
500	7,8	9,2
630	10,0	9,5
800	9,8	10,0
1000	11,6	10,2
1250	11,0	10,4
1600	9,1	10,3
2000	11,4	10,5
2500	11,9	11,1
3150	10,6	11,3
4000	10,2	11,4
5000	11,5	11,2

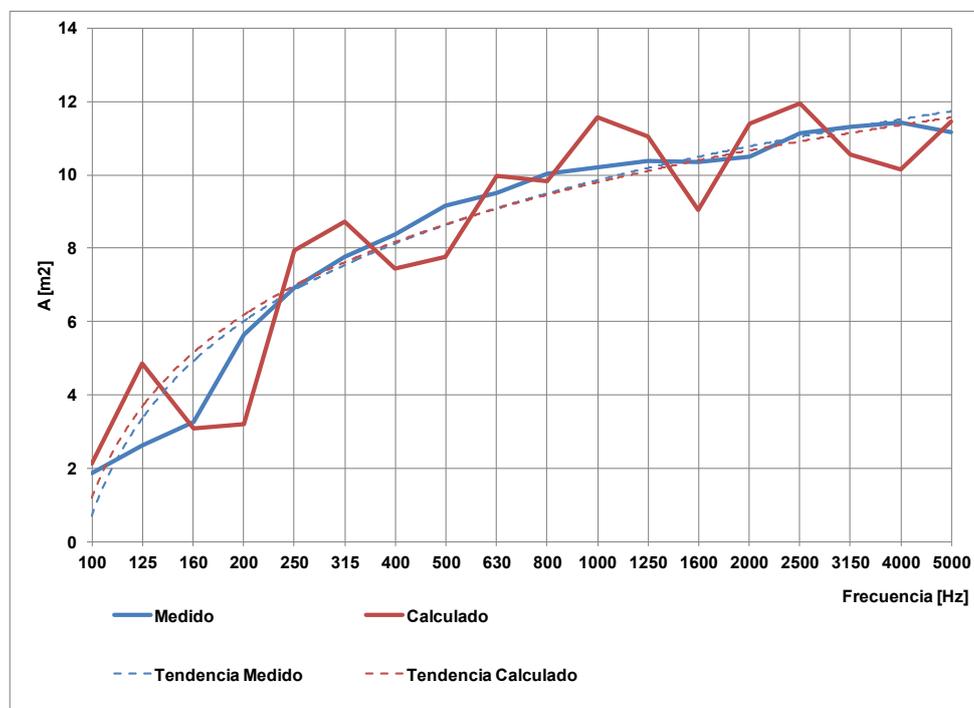


Figura 5: Área equivalente de absorción sonora, A en m². Valores medidos vs. calculados

4.4 Medición de la influencia del estado de ocupación

Los valores obtenidos para las butacas ubicadas en el centro de la cámara, con barrera perimetral completa, separadas 1 m entre filas, con 0% y con 100% de ocupación, se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 6.

Tabla 4: Área equivalente de absorción sonora según la ocupación, A en m²

Frecuencias [Hz]	Estado de ocupación	
	sin personas	con personas
100	2,3	4,9
125	1,5	3,3
160	3,2	5,2
200	4,7	4,6
250	5,2	5,3
315	5,8	6,6
400	7,2	7,9
500	6,6	7,8
630	6,6	7,8
800	7,0	8,4
1000	7,5	8,3
1250	7,6	8,6
1600	8,2	8,9
2000	8,0	8,8
2500	8,2	9,2
3150	8,5	9,3
4000	8,2	9,3
5000	7,6	8,5

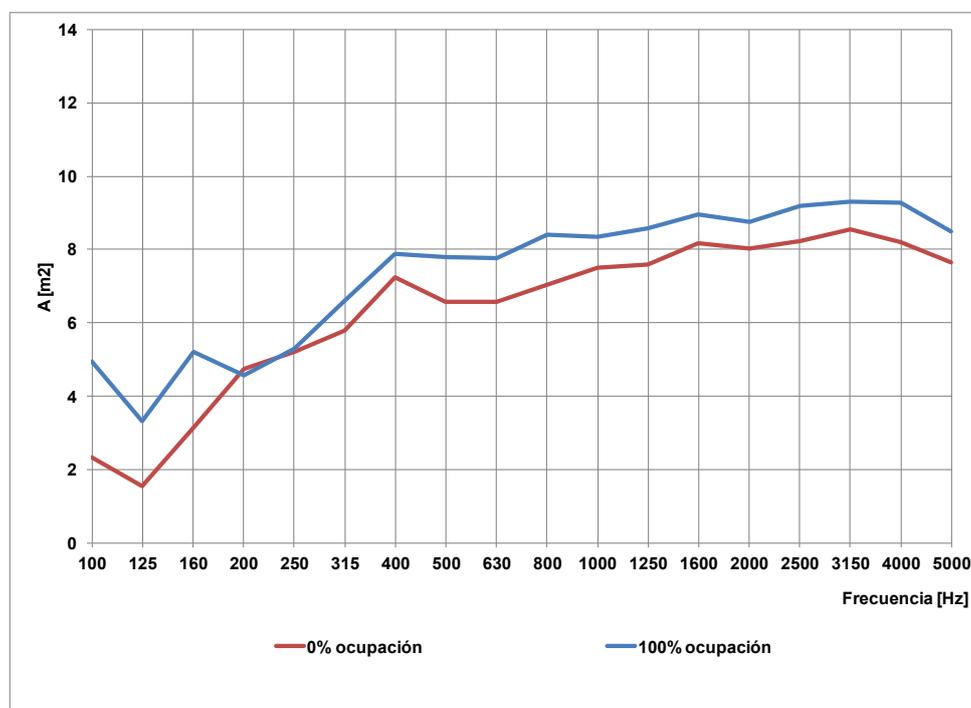


Figura 6: Área equivalente de absorción sonora según la ubicación en la cámara, A en m²

5 Conclusiones

5.1 Influencia de la separación entre filas

Variando la separación de filas entre 0,90 m y 1,10m, no se aprecia una influencia importante en la absorción sonora del arreglo de butacas ensayadas.

5.2 Influencia de los laterales expuestos

Analizando las curvas obtenidas en las mediciones con cerramiento perimetral (total o parcial), encontramos que el aumento de absorción a medida que aumenta la frecuencia, tiene fluctuaciones mucho más pronunciadas que para el caso en que no se cerró el contorno del lote de butacas. Esto puede deberse a la modificación del campo sonoro producida la presencia de la barrera alrededor de la muestra de butacas.

5.3 Valores medidos vs. Valores calculados

La absorción del conjunto de butacas para el caso de laterales expuestos al sonido, obtenida por cálculo a partir de las mediciones con barrera total o parcial, puede considerarse que muestra la misma tendencia que la absorción medida para esas condiciones de borde. Tal como se indicó en el párrafo anterior, se aprecian las fluctuaciones generadas por la presencia de la pantalla utilizada, sin embargo los valores obtenidos por medición podrían ser utilizados para la predicción de tiempos de reverberación en recintos en los que se instalen las butacas, aún cuando éstas hayan sido ensayadas con una pantalla reflejante del sonido en todo su contorno.

Las mediciones de laboratorio que se aprecian en este trabajo muestran la desaparición de la resonancia en 125 Hz que se pretendía como uno de los requerimientos de proyecto.

En octubre del año 2011 se realizaron mediciones según Norma ISO 3382 en la sala sinfónica de la Usina del Arte (Fotografía 9). Los resultados, en particular los valores de tiempo de reverberación T30, pusieron en evidencia la inexistencia de resonancias de banda angosta en la región de bajas frecuencias.



Fotografía 9: Medición de campo acústico en la Usina del Arte con las nuevas butacas instaladas

Agradecimientos

Agradecemos a la firma Diseño y Equipamiento S.R.L, fabricante de las butacas marca Rassegna, por haber facilitado las mismas para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] ISO 354: Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room.
- [2] Nishihara, N.; Hidaka, T.; Beranek, L. “Mechanism of sound absorption by seated audience in halls”. *J. Acoust. Soc. Am.* 110 (5), Pt. 1, Nov. 2001, páginas 2398-2411.
- [3] Davies, W.; Orłowski, R.; Lam, Y. “Measuring auditorium seat absorption”. Department of Applied Acoustics
- [4] Martellotta, F.; Della Crociata, S.; D’Alba, M. “On site validation of sound absorption measurements of occupied pews”. *Applied Acoustics* 72 (2011), páginas 923–933
- [5] Young Ji Choi; JinHak Lee; HyunKyung Joo; DaeUp Jeong. “Effect of sample size on measurement of the absorption by seats”. *Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010*