

LA ACUSTICA DEL RECONSTRUIDO GRAN TEATRO DEL LICEO

REFERENCIA PACS: 43.55.Fw

Higini Arau
Estudi Acustic H.Arau
C/Travesera de Dalt 118
08024 Barcelona. España
Tel: 34 932 845 016
Fax: 34 932 845 016
E-Mail: arau@arrakis.es

ABSTRACT

The rebuilt Liceo of Barcelona was inaugurated in 7 October of 1999 to widespread critical acclaim. This hall was and will be the home of the Barcelona opera and one is of the most famous, beautiful and prestigious opera house of the world, although it has not included never in the famous books of L.Beranek. The enclosure will first be presented and illustrated, and an outline will be given of the basic acoustics design features such as room shape, seat count and balcony design.

RESUMEN

El reconstruido Liceo de Barcelona fue inaugurado en 7 de Octubre de 1999 con un gran éxito de la crítica y de la ciudadanía. Esta sala fue y será la sede de la ópera de Barcelona, y es una de las más famosas, hermosas y prestigiosas salas de ópera del mundo, a pesar de que nunca haya sido incluida dentro de los famosos libros de L.Beranek. El recinto será presentado e ilustrado con figuras, con una breve descripción de los parámetros de diseño, forma, aforo y diseño de balcones.

1. DESCRIPCIÓN DE LA SALA



Figura 1: Secciones longitudinal y transversales del Gran Teatro Lírico del Liceo de Barcelona.

La reconstrucción del Gran Teatro del Liceo de Barcelona fue proyectada por los Arquitectos I. Solá de Morales, L. Dilmé y X. Fabrè, en donde el redactor de este informe fue el consultor acústico de la obra. A continuación presentamos las relaciones geométricas, de aforo y de formas: Volumen de aire de la sala: $V = 13\,423\text{ m}^3$ y Número de localidades: $N = 2300$

En lo que sigue presentamos los resultados determinados por medición en 27 puntos de la sala, [1], de los distintos parámetros acústicos y los comparamos con los medidos con el año 1992 antes del incendio.

NOISE CRITERIA

Debido al ruido de aire y al de la maquinaria escénica:

Funcionamiento aire acondicionado, etc	63	125	250	500	1000	2000	4000	A
100%	44	35	29	21	17	13	11	25,2
NC – 15	47	36	29	22	17	14	12	25,8

Tabla 1.1: Nivel de ruido de la sistema de climatización y maquinaria teatral

RESPUESTA IMPULSIONAL

No se detectó en ningún punto de la sala reflexiones fuera de criterio

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Tiempo de Reverberación medio TR determinado en sala vacía, con fuente sonora emitiendo desde el escenario y después desde el foso.

	125	250	500	1000	2000	4000	T _{low}	T _{mid}	T _{high}
Liceu – escenario	1,64	1,57	1,5	1,43	1,35	1,24	1,61	1,47	1,30
Liceu – foso	1,76	1,6	1,51	1,42	1,36	1,28	1,68	1,47	1,32

Taula 1.2: Tabla comparativa de los Tiempos de Reverberación medidos en la sala principal del Liceo–sala vacía.

Aplicando, sobre los valores experimentales de sala vacía, la corrección de absorción debida a la audiencia $\Delta\alpha$ expresada en área por butaca de acuerdo a los ensayos realizados en sala reverberante, que son:

	125	250	500	1000	2000	4000
Incremento absorción $\Delta\alpha$	0,11	0,08	0,08	0,08	0,11	0,15

Tabla 1.3: Tabla del incremento de absorción por efecto audiencia per m²

NOTA: En los siguientes apartados, la conversión de todas las magnitudes al caso de sala llena se efectúa aplicando los incrementos de absorción por audiencia, a las expresiones emitidas por Bradley, [2],[3].

El Tiempo de Reverberación medio TR determinado en sala llena, con fuente sonora emitiendo desde el escenario y después desde el foso.

	125	250	500	1000	2000	4000	T _{low}	T _{mid}	T _{high}
Liceu – escenario	1,45	1,44	1,38	1,32	1,22	1,09	1,44	1,35	1,16
Liceu – foso	1,54	1,46	1,39	1,31	1,22	1,12	1,51	1,35	1,18

Tabla 1.4: Tabla comparativa de los Tiempos de Reverberación medidos en la sala principal del Liceo–sala llena.

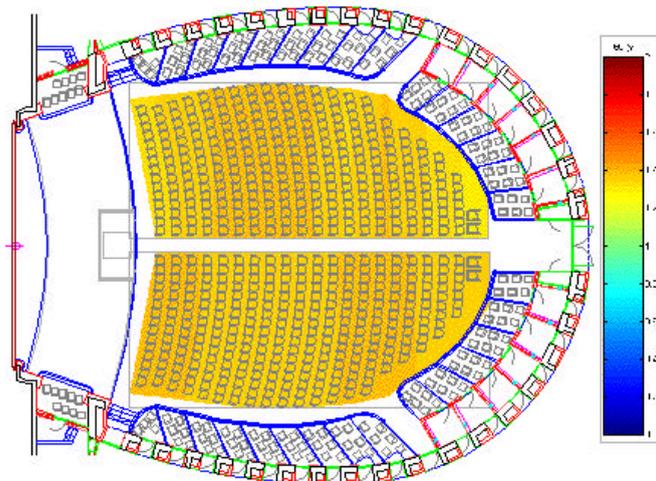


Figura 2: Tiempo de reverberación medido a la platea. En el mapa de la izquierda de platea la fuente sonora estaba ubicada en el escenario mientras que en el de la derecha, la fuente sonora estaba en el foso.

Así por tanto los índices de calidez y de brillantez determinados para sala llena, son:

ÍNDICES DE CALIDEZ Y BRILLANTEZ

	Calidez (T_{low} / T_{mid})	Brillantez (T_{high} / T_{mid})
Liceu – escenario	1,07	0,86
Liceu – foso	1,12	0,87
Prescrito por criterio	$0.9 < T_{low} / T_{mid} < 1.3$	$T_{high} / T_{mid} > 0.8$

Tabla 1.5: Tabla comparativa de lo Índices de Calidez i Brillantez de la sala principal del Liceo–sala llena.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN INMEDIATO: EDT

En la tabla 1.6 se indican el Early Decay Time medio determinados para sala vacía, emitiendo desde el escenario y desde el foso.

	125	250	500	1000	2000	4000	EDT_{mid}
Liceu – escenario	1,3	1,29	1,2	1,12	1,04	0,92	1,16
Liceu – foso	1,51	1,56	1,54	1,4	1,32	1,17	1,47

Tabla 1.6: Tabla comparativa de los EDT de la sala principal del Liceo–sala vacía

En la tabla 1.7 indicamos el EDT medio determinado per a sala llena, en ambas situaciones de emisión sonora.

	125	250	500	1000	2000	4000	EDT_{mid}	EDT_{mid} / T_{mid}
Liceu – escenario	1,15	1,18	1,1	1,03	0,94	0,81	1,07	0,79
Liceu – foso	1,32	1,43	1,41	1,29	1,19	1,02	1,36	1,01
Prescripción criterio[4]								$> 0,75$

Tabla 1.7: Tabla comparativa de los EDT de la sala principal del Liceo–sala llena.

ÍNDICE DE CLARIDAD

En la tabla 1.8 se indican los Índices de Claridad (C_{80}) medios medidos con la sala vacía

	125	250	500	1000	2000	4000	$C_{80\text{ mid}}$
C_{80} Liceu escenario	2,31	2,84	3,72	4,01	4,57	5,44	3,87
C_{80} Liceu foso	-0,33	-1,03	-0,13	0,04	0,46	1,38	-0,05

Taula 1.8: Taula comparativa dels C_{80} de la sala principal del Liceu–sala buida.

En la tabla 1.9, los Índices de Claridad (C_{80}) medios determinados con la sala llena

	125	250	500	1000	2000	4000	$C_{80\text{ mid}}$
C_{80} Liceu escenario	3,01	3,34	4,2	4,47	5,16	6,17	4,33
C_{80} Liceu foso	0,42	-0,51	0,34	0,50	1,07	2,13	0,42

Tabla 1.9: Tabla comparativa de los C_{80} de la sala principal del Liceu–sala llena.

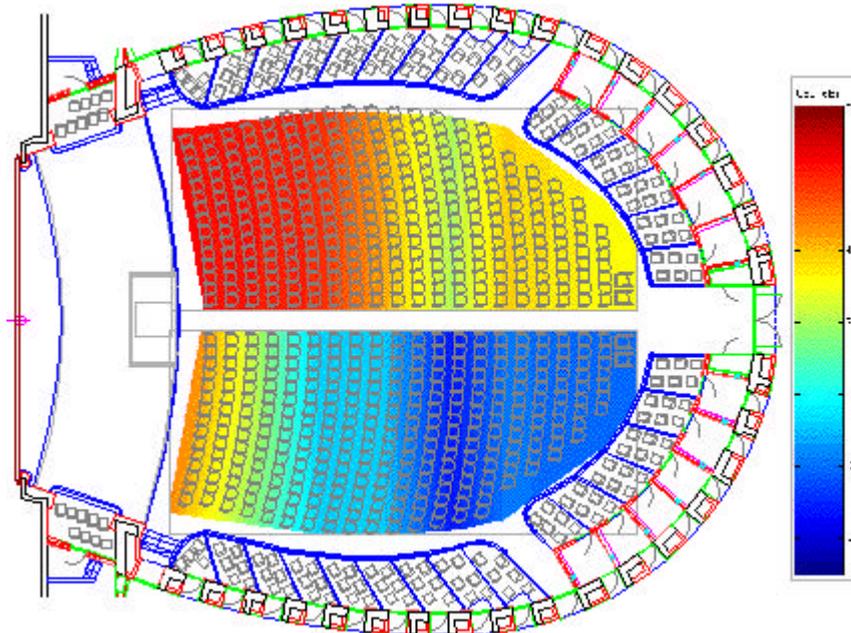


Figura 3: Índice de claridad medido en la platea. En el mapa de la izquierda de platea la fuente sonora estaba ubicada en el escenario mientras que en el de la derecha, la fuente sonora estaba al foso.

ÍNDICES DE INTELIGIBILIDAD

En la tabla 1.10 se indican los Índices de inteligibilidad (STI / RASTI) medios medidos con la sala vacía.

	STI	RASTI
Liceu Escenario	0,59	0,59
Liceu Foso	0,54	0,52

Taula 1.10: Tabla comparativa de los Índices de inteligibilidad de la sala principal del Liceu–sala llena.

Y, en la tabla 1.11, mostramos los índices de inteligibilidad medios determinados con la sala llena

	STI	RASTI
Liceu Escenario	0,64	0,67
Liceu Foso	0,59	0,59
Criterio	>0,5	>0,5

Tabla 1.11: Tabla comparativa de los Índices de inteligibilidad de la sala principal del Liceu–sala llena.

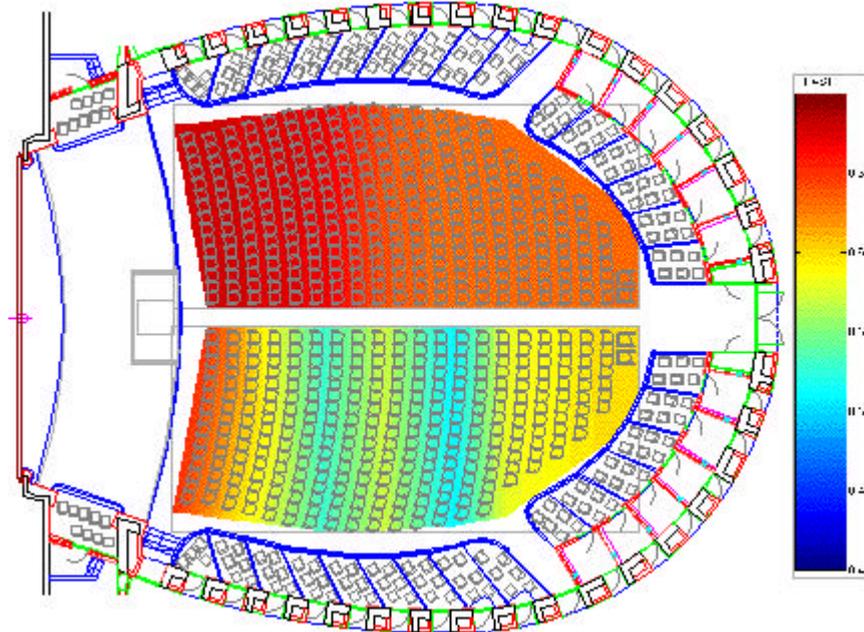


Figura 4: Índice de inteligibilidad medido a la platea. En el mapa de la izquierda de platea la fuente sonora estaba ubicada en el escenario mientras que en el de la derecha, la fuente sonora estaba en el foso.

NIVEL DE SONORIDAD TOTAL G

En la tabla 1.12 se muestran los Niveles de Sonoridad (G) medios medidos con la sala vacía

	125	250	500	1000	2000	4000	G _{low}	G _{mid}
G Liceu escenario	7,2	6,2	5,4	5,4	3,2	3,6	6,7	5,4
G Liceu foso	7,5	5,6	4,3	4,5	2,9	2,8	6,6	4,4

Tabla 1.12: Tabla comparativa de los G de la sala principal del Liceu–sala vacía.

En la tabla 1.13, exponemos los Niveles de Sonoridad (G) medios determinados con la sala llena

	125	250	500	1000	2000	4000	G _{mid}
G Liceu escenario	6,3	5,6	4,8	4,8	2,5	2,7	4,8
G Liceu foso	6,6	5,0	3,7	3,9	2,2	1,9	3,8
Prescripción criterio							>0

Tabla 1.13: Tabla comparativa de los G de la sala principal del Liceu–sala llena.

DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN LOS PUNTOS DE RECEPCIÓN

Finalmente, en la tabla 1.14 se indica la desviación entre los valores de nivel de presión sonora en bandas de octava medidos en los diferentes puntos de la sala.

	125	250	500	1000	2000	4000	MID
ΔL_p Liceu escenario	3,1	2,3	2,2	2,1	1,9	2	2,2
ΔL_p Liceu foso	3,4	1,9	1,8	1,8	2,1	2,3	1,8
Criterio							< 3

Tabla 1.14: Tabla comparativa con la desviación de los valores de L_p en la sala principal del Liceu.

A partir de esta tabla se observa que la desviación del nivel de presión sonora, del sonido rosa emitido, desde el escenario o desde el foso, entre cualquier punto de la sala y el valor medio determinado es inferior a 3 dB. Este hecho indica que la cobertura del sonido sobre toda el área de audiencia es buena.

2. CONCLUSIONES Y ANALISIS COMPARATIVA ENTRE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DEL LICEO ACTUAL Y DE LAS DEL LICEO ANTERIOR AL INCENDIO

En correspondencia a los márgenes de variabilidad de los diferentes parámetros indicados, que la sala principal del Gran Teatro del Liceo había de cumplir, per a sala llena, en la tabla siguiente se realiza una comparación-resum de los valores medidos en el Liceu y los prescritos por el criterio acústico:

PARÁMETRO	ESCENARIO	FOSO	CRITERIO	CUMPLE
NC-Criteria	$L_N < NC-15$		NC-15	SÍ
Respuesta impulsional	$\tau < 60$ ms		$\tau < 60$ ms	SÍ
T_{MID}	1,35	1,35	$1,33 < T_{MID} < 1,81$ s	SÍ
Calidez	1,07	1,12	$0,9 \leq I_{calidesa} \leq 1,3$	SÍ
Brillantez	0,86	0,87	$I_{brillantor} \geq 0,8$	SÍ
EDT_{MID}/T_{MID}	0,79	1,01	$> 0,75$	SÍ *
$C_{80,MID}$	4,33	0,42	2 – 6 dB	SÍ *
RASTI	0,67	0,59	$> 0,5$	SÍ *
G	4,8	3,8	> 0	SÍ

- Resulta significativa la variación del EDT, C_{60} y RASTI dependiendo de si la fuente sonora está en el escenario o en el foso. Los valores de los parámetros acústicos obtenidos con la fuente sonora en el escenario, es decir en la zona de cantantes, se acercan a los óptimos del criterio de palabra: Un EDT más corto y una mayor claridad e inteligibilidad. Sin embargo cuando la fuente sonora está en el foso, estos valores cambian: El EDT aumenta y disminuyen tanto la claridad como la inteligibilidad acercándose entonces a los valores óptimos del criterio para a música sinfónica. De esta manera, en una sala, se consiguen dos objetivos a priori incompatibles: Una calidad del sonido de los instrumentos similares a la de una sala sinfónica y, a la vez, una alta inteligibilidad de los cantantes.

En la tabla siguiente efectuamos un análisis comparativo entre los valores medidos en el antiguo Liceu [4] y los valores medidos en el nuevo.

PARAMETRO	1992	1999	CRITERIO
T_{MID}	1,30	1,35	$1,33 < T_{MID} < 1,81$ s
Calidez	0,98	1,07	$0,9 \leq I_{calidesa} \leq 1,3$
Brillantez	0,79	0,86	$I_{brillantor} \geq 0,8$
EDT_{MID}	1,08	1,07	$> 0,98$
EDT_{MID}/T_{MID}	0,83	0,79	$> 0,75$
$C_{80,MID}$	3,26	4,33	$2 < C_{80} < 6$ dB
RASTI	0,66	0,67	$> 0,5$
G	4,8	3,5	> 0

Como se observa en la tabla anterior, los valores de los parámetros acústicos antes y después del incendio son prácticamente idénticos.

De todas maneras, cabe destacar los siguientes aspectos:

- Se evidencia un ligero aumento de la reverberación en todo el rango de frecuencias que se acercan mejor que antes a las prescripciones del criterio

2. También se produce un aumento de los índices de calidez y brillantez más acordes con lo que prescribe el criterio acústico.
3. Se observa, también, un ligero aumento de la claridad y de la inteligibilidad en la sala que siguen estando dentro del margen admitido por el criterio acústico.

3. BIBLIOGRAFIA

[1] Maximum Length Sequences (MLS). "Método para la medición de la respuesta impulsional en diferentes puntos de una sala a partir de la generación de una secuencia pseudoaleatoria". Segons la norma ISO/DIS 3382: "Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters"

[2] H.Arau (1996). "Caracterización acústica de diversas salas de ópera y teatro". Tecniacústica 96. pp.57 – 60.

[3] J.S.Bradley (1991). "A comparison of three classical concert halls". J.A.S.A. Vol 89 nº3 – March.

[4] H.Arau (1999). "El ABC de la acústica arquitectónica". Editorial CEAC.