

PRIMERAS JORNADAS REGIONALES DE ACÚSTICA AdAA 2009

19 y 20 de noviembre de 2009, Rosario, Argentina



AdAA2009-A036R

El Teatro Avenida y su acústica

Juan C. Giménez de Paz.

Licenciado en Ciencias Físicas, UBA. Docente Facultad de Ingeniería, UBA y UNICEN. Particular: N° 678, (1718) San Antonio de Padua, Prov. Buenos Aires, Argentina E-mail: gimenezdepaz@syticom.com.ar.

Abstract

Teatro Avenida was opened in 1908 (the same year as the Teatro Colón). Unfortunately it was partially destroyed by a fire in 1977. It was not rebuilt until 1994 when it was reopened. Juan C. Giménez de Paz was the acoustical consultant for this revival of the theater. Its main hall was rebuilt according to the original design which had been slowly modified through the years, but with new equipments. An auditorium for 120 people was built just under the main floor; a restaurant was also built next to the hall. All this produced new sources of noise so that it was necessary not only to consider a good kind of acoustics in the hall but also a low background noise level. The horseshoe hall has the main floor and four levels of boxes for about 1200 people. It is in a classic decorated style with ornaments and a huge central chandelier. No acoustics measurements were made after the reopening, but they were just made this year 2009. The hall, its architecture and acoustic conditions are shown and described in this work. This theater is one of the theaters around the world included in the "Acoustical Design of Theatres for Drama Performance 1985-2010" which will be issued in 2010 by ASA.

Resumen

El Teatro Avenida se inauguró en 1908 (mismo año que el Colón), pero fue parcialmente destruido por un incendio en 1977, permaneciendo abandonado hasta su reapertura en 1994, contando con este autor como su asesor acústico. La sala fue reconstruida respetando el diseño original que había sido paulatinamente modificado, pero con la incorporación de los adelantos técnicos necesarios. Se incluyó una confitería adyacente y un auditorio para 120 personas ubicada por debajo de la platea y comunicada por su sistema de ventilación. Esto significa nuevas fuentes de ruido lo que obligó no solo a contemplar la buena acústica de la sala, sino también a mantener un bajo nivel de ruido de fondo. La sala es del tipo "herradura" con platea y cuatro niveles de palcos, con una capacidad de alrededor de 1200 espectadores. Es de estilo clásico, con ornamentaciones y una gran araña central. No se efectuaron mediciones acústicas luego de su reapertura, las que recién se efectuaron este año 2009. En la presentación se muestra la sala, se describe su arquitectura y las condiciones acústicas. Esta sala se incluye en el libro "Acoustical Design of Theatres for Drama Performance 1985-2010" que editará ASA en 2010.

1 Introducción histórica

El domingo 19 de junio de 1994, a las 17 h, se realizó la velada de Gala Reinaugural del Teatro Avenida, con la participación de Plácido Domingo como solista invitado y la Orquesta Filarmónica de Buenos Aires dirigida por el maestro español Miguel Roa, el Coro Polifónico Nacional (Julio Fainguersch) y solistas. Este esperado acontecimiento tuvo que esperar 17 años, con el teatro en estado de abandono desde su incendio ocurrido en 1977.

Esta sala estuvo activa desde su inauguración el 3 de octubre de 1908 (en el mismo año que el Teatro Colón) en forma continuada, formando parte del paisaje de la primera y muy característica Avenida de Mayo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Esta arteria fue diseñada durante la intendencia de Torcuato de Alvear, inspirada en los proyectos del Barón de Haussmann (prefecto de París) quien proyectó varios de los hoy reconocidos bulevares de esa ciudad. La Avenida de Mayo corre de este a oeste y vincula a la casa de gobierno (Casa Rosada) con el Palacio del Congreso, cuyas respectivas plazas constituyen sus límites.

Se la inauguró en 1894 adoptando su nombre por Ley del 4/11/1884, Ordenanza del 18/09/1885 y Decreto del 7/10/1885. Con un estilo marcadamente parisino que se mantiene aún hoy y el primer servicio de trenes subterráneos por debajo de su calzada, inaugurado el 1 de diciembre de 1913, que mantiene la dotación de trenes belgas de esa época.

La arteria presentaba un aspecto como lo ilustra la figura 2 (foto de 1917) a menos de 10 años de la inauguración del Teatro.



Figura 1. Avenida de Mayo en el año 1917.

La numerosa comunidad española no disponía de una sala importante que le fuera propia, lo que impulsó que se satisficiera tal necesidad. En épocas en las que la ciudad y el país estaban en pleno crecimiento, la sala debía ser de importancia acorde. La Avenida de Mayo era su escenario natural, presente desde hacía más de una década.

Este teatro se sumó a los de entonces como el Coliseo, Odeón, el viejo Opera y algunos más y a una incipiente manifestación artística local y a un repertorio europeo nutrido, principalmente español e italiano. También manifestaciones líricas representativas de las distintas comunidades radicadas en el país.

Los ingenieros Fernández Poblet y Ortúzar erigieron ese teatro que originalmente incluía un bar, una sastrería y un hotel para hacer rentable la inversión. Para la inauguración se pre-

sentó “El castigo sin venganza” de Lope de Vega, lo que fue la impronta del origen español de tantas presentaciones teatrales y musicales que le seguirían.

En el número 1222 de la Avenida se encuentra la entrada principal del teatro que mantiene un repertorio con clara presencia de la música española, la zarzuela en particular, aunque no excluyente, como una manifestación más del carácter de arteria de la comunidad española, que se enseñoreó al poco tiempo de inaugurada esa arteria.

Para el estado original de la obra en la época de su inauguración, lo describe una crónica del diario La Nación:

“De un estilo severo y elegante, el frente que da a la Avenida puede considerarse entre los mejores que se exhiben en la gran arteria. Sencillo sin ser monótono, de líneas arquitectónicas libre de decoraciones pesadas, ocupa más de la mitad de la cuadra. Tres amplios portones dan acceso al vestíbulo de vastas proporciones y de buen gusto.

Del vestíbulo parten varias escaleras y corredores que conducen a la planta palcos y tertulias altas del teatro.

La sala es muy amplia, bien dispuesta y elegante, destacándose sus decoraciones de estilo imperio, con tonalidades delicadas y sobre las cuales se ven en artísticos relieves grandes medallones bronceados y enlazados entre sí por guirnaldas.

El cielorraso acompaña con figuras geoméricamente ordenadas y con apropiados adornos el estilo dominante y disimula en el centro, con vidrios artísticamente pintados, la única abertura por donde puede pasar la luz natural.

La luz artificial en cambio está distribuida profusamente en pequeños focos colocados a lo largo de las hileras de los palcos y de las galerías y cubiertos por tulipas.

Complementan el aspecto de la sala las tapicerías en terciopelo granate, sobre las cuales sobresalen ligerísimas cornisas de oro viejo y pequeños bustos del mismo tono que rematan las esbeltas columnas”.

En la figura 2 se muestra dibujada, la fachada del frente sobre Avenida de Mayo, basándose en el original de 1908.

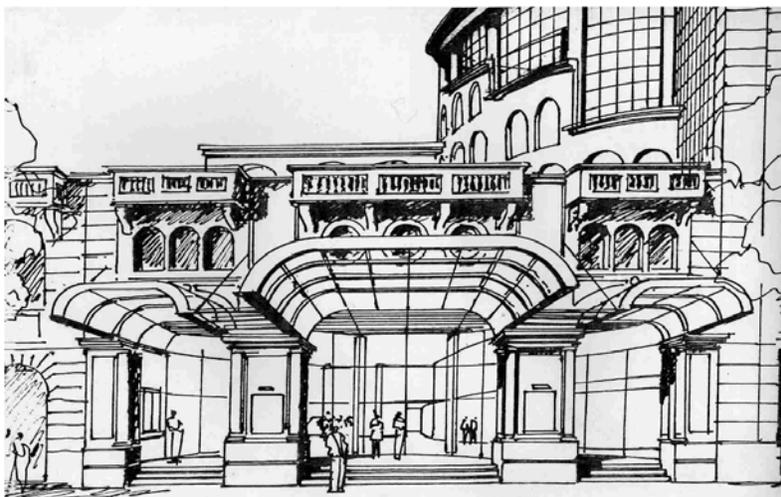


Figura 2. Vista de la fachada principal basado en la original de 1908.

2 La reconquista del Teatro

Un grupo de españoles y descendientes de españoles se propuso en 1987 la reconstrucción del Teatro, llamando a concurso que fue ganado por los estudios de los arquitectos Vázquez Gaviria y Soler. La empresa propietaria en ese momento fue “Reconquista del Teatro Avenida” y actualmente, con diferentes propietarios, es Teatro Avenida S.A.

El proyecto consistió como eje, en seguir los planos originales, incluso la marquesina, respetando las fachadas.

Se restauró la arquitectura interior de la sala principal, ocupando las bandejas su disposición original de palcos bajos, altos, tertulias con palcos laterales y graderías del sector central, finalizando con los dos niveles de graderías superiores correspondientes al paraíso.

Se reemplazó la estructura metálica original de la platea por otra de hormigón armado conformada por el trazado del nuevo sistema de aire acondicionado. También fueron reciclados los palcos baignoires o palcos de viudas.

Se diseñó y ejecutó una sala de conferencias y exposiciones por debajo de la platea, que no existía en el edificio de 1908, para lo que hubo que efectuar excavaciones y submuraciones.

Se mantuvo la fachada histórica sobre la calle posterior, Hipólito Yrigoyen, con sus ventanas que forma parte de un sector del escenario. Es decir que una de las paredes del escenario es parte de esa fachada, manteniendo las ventanas vistas desde el exterior.

Se incorporaron salas de máquinas inexistentes en el edificio original, una confitería adyacente, oficinas propias, oficinas alquiladas a terceros, nuevos servicios sanitarios, SUM y una escalera presurizada de emergencia. Ascensor para palcos altos. Se reequipó el complejo con instalaciones sanitarias, eléctricas, de maquinaria escénica y lumínica. Nuevo sistema central de aire acondicionado, sistema contra incendios, cabina de proyecciones.

El equipo de profesionales que tuvieron a su cargo todas las tareas, es el que menciona en el recuadro de la “Ficha técnica”.

FICHA TECNICA

Obra: Reconquista del Teatro Avenida.

Ubicación: Av.de Mayo 1222, C.A.B.A.

Proyecto y Dirección: Arq.J.Vázquez Gaviria y Asoc. y Oscar F.Soler y Asoc.

Coordinador de obra: Arq.E.Eberle.

Equipo de diseño: Arqs.L.A.Aldrey, M.Jamardo, L.Croce, E.Giachino, J.Larumbe, M.I. Pérez, R.Orsi y J.Calabro.

Decoración: Arq.José Luis Eiras.

Asesores: Ing.J.Zaldúa (estructura), C.Rizzone (instalaciones electromecánicas), Lic. Juan C.Giménez de Paz (acústica), Capiello y Cía. (Iluminación), Ing.J.M.Salinas (Instalaciones termomecánicas), J.Benavente (instalaciones sanitarias), Arq.L.D.Pedreira y M. Rodríguez (equipamiento escénico).

Jefes de obra: A.Mosca, J.C.Romano y A.Romano.

Los especialistas estuvieron coordinados por el arquitecto Enrique Eberle, quien además condujo la marcha de las obras.

3 Descripción del teatro

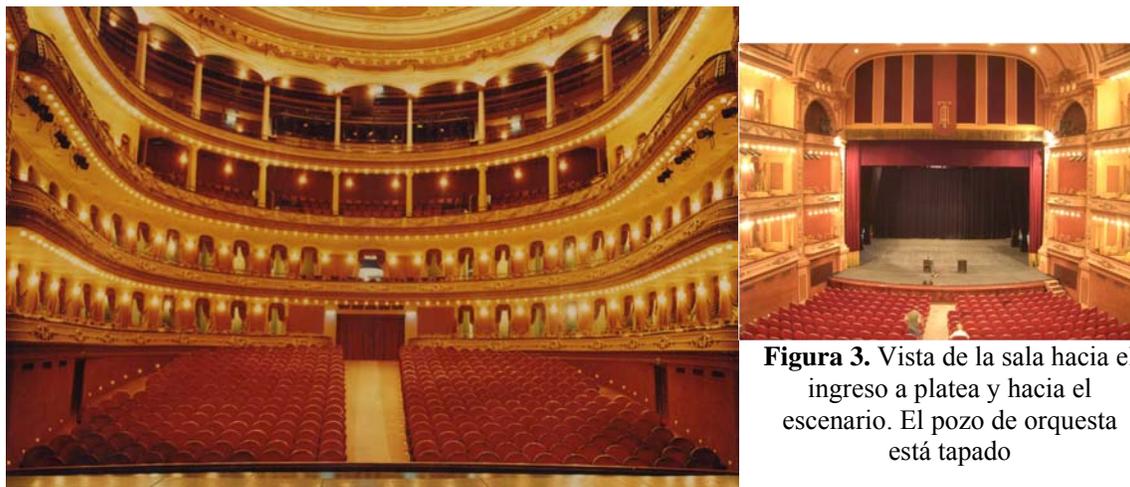


Figura 3. Vista de la sala hacia el ingreso a platea y hacia el escenario. El pozo de orquesta está tapado

La sala principal del complejo, es de estilo clásico, con planta en forma de herradura y escenario con proscenio. Tiene dos niveles de palcos, uno de tertulias que incluye palcos, un paraíso y un sobre paraíso para audiencia de pie. La figuras 3 ilustra la sala, en un caso con vista al escenario y en el otro, hacia la entrada a platea en el fondo de la sala.

Las 1201 localidades que constituyen su capacidad, está discriminada según se muestra en la tabla 1. Este total varió levemente desde su reinauguración.

Tabla 1. Capacidad de público de la sala principal

Ubicación	Público
Plateas	464
Palcos platea balcón 4 x 4 loc.	16
Palcos platea 24 x 5 loc.	120
Palcos platea N° 25/26 x 10 loc.	20
Palcos bajos balcón 4 x 4 loc.	16
Palcos bajos 26 x 5 loc.	130
Palco autoridades	20
Tertulias	128
Palcos tertulia 16 x 2 loc.	32
Paraíso	62
Sobre paraíso	93
TOTAL (sentados)	1101
Paraísos de pie	100
GRAN TOTAL	1201

La obra es de mampostería, con piso de losa alfombrada y butacas con asiento rebatible, mullidos, con tapizado de terciopelo. Los palcos para 4 personas, tienen asientos similares o sillas con esterilla según su ubicación. El frente de los palcos y tertulia siguen la misma línea de los contornos de la platea con su frente ondulado y molduras en relieve.

El piso de la platea tiene una clara inclinación hasta el foso de la orquesta y el escenario una leve inclinación en sentido opuesto, tal como se muestra en la figura 3.

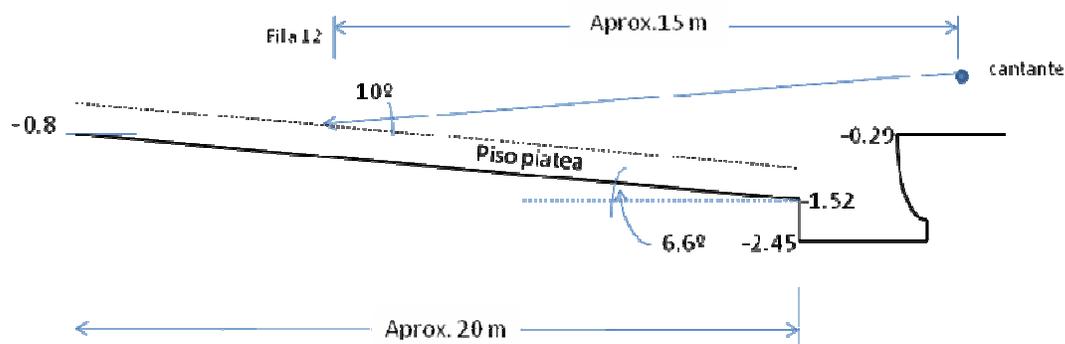


Figura 4. Corte esquemático con la inclinación del piso de la sala.

La distribución de sus asientos tiene una pequeña asimetría, siendo mayor la cantidad por filas en uno respecto al otro lado del pasillo central.

El techo de la platea es abovedado con un muy vistoso y llamativo chandelier central, facetada, decorada con dibujos alegóricos y las figuras de 16 músicos rodeándola, esculpidos en la bóveda. En la figura 5 se la muestra desmontada para los trabajos periódicos de limpieza y mantenimiento.



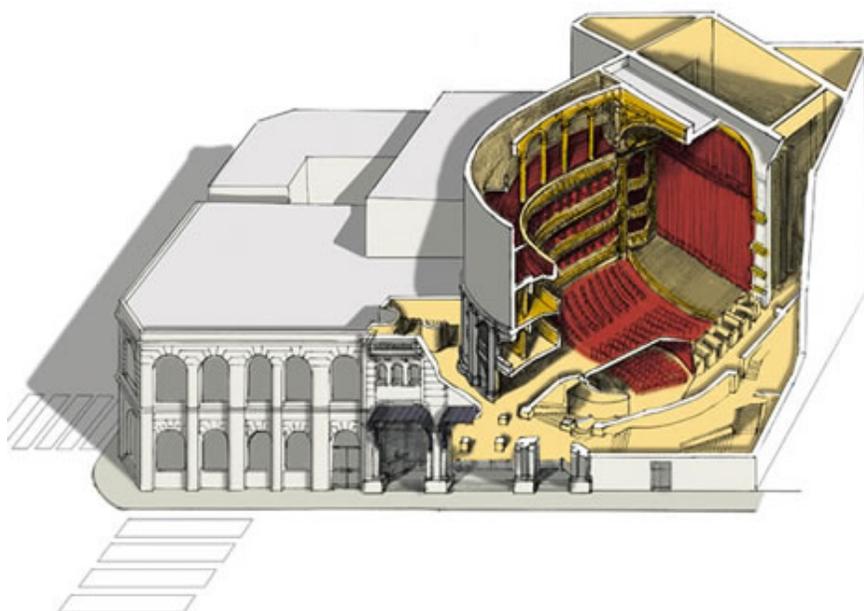
Figura 5. Chandelier desmontado para limpieza y mantenimiento

Las dimensiones máximas y medias de la sala se dan en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones medias de la sala principal

Dimensión (media)	Valor
Largo platea (máxima)	26,0 m
Ancho platea (máxima)	17,0 m
Altura platea (media)	17,5 m
Largo platea (media)	22,0 m
Ancho platea (media)	14,0 m
Área platea con asientos	375 m ²
Volumen sala	5400 m ³
Ancho escenario (media)	21,0 m
Profundidad escenario (media)	10,8 m
Área del escenario	227 m ²
Altura escenario	23,5 m
Ancho boca escenario	11,5 m
Altura boca escenario	7,0 m

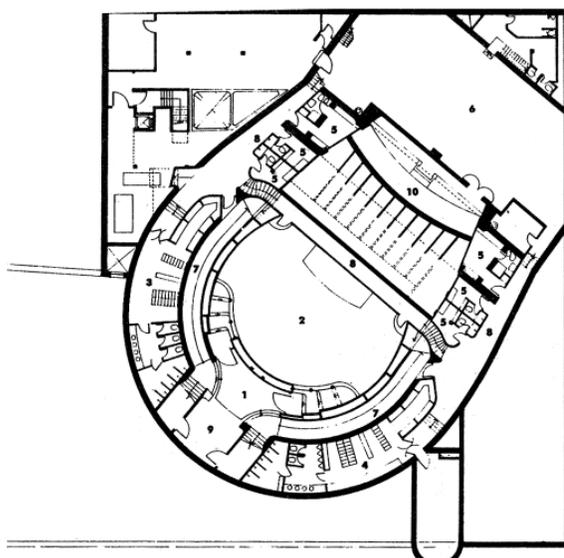
El largo de la sala con su escenario y lobby son mayores que la longitud de las calles Lima y Santiago del Estero, entre Av.de Mayo e H.Yrigoyen (la manzana marcadamente rectangular que lo abarca), por lo que la sala no es perpendicular al frente y contrafrente, sino que su posición es oblicua, tal como lo muestra la figura 6 con la vista con corte de su ubicación.

**Figura 6.** Vista con corte de la sala principal y auditorio y su disposición en la manzana.

Las relaciones dimensionales y de otras cantidades se indican en la tabla 3.

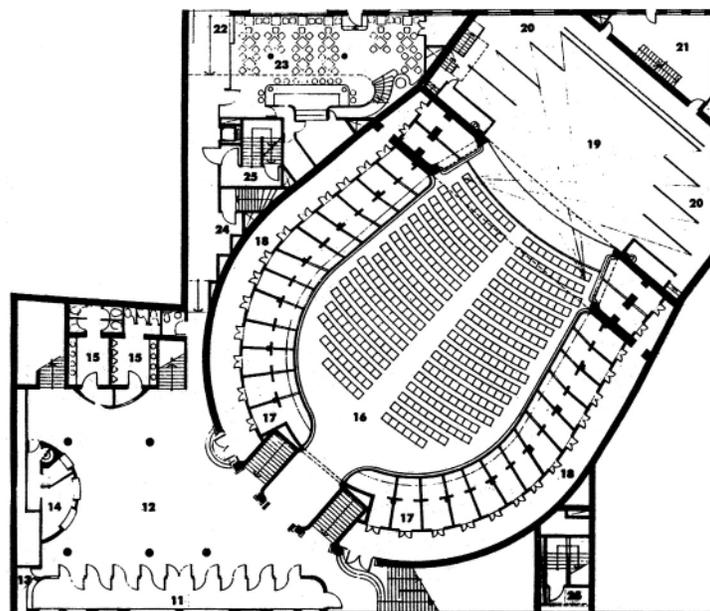
Tabla 3. Dimensiones y relaciones con cantidades propias de la sala

Parámetro	Valor
V: Volumen (excluye escenario detrás de cortinado)	5400 m ³
S _A : Área de audiencia (incluye circulación hasta 1 m y graderías)	350 m ²
S _T : S _A + área del proscenio + área del pozo de orquesta)	400 m ²
N _A : Cantidad de butacas en la sala	1101
N _S : Cantidad de público de pie en las gradas	100
N _T = N _A + ½N _S	1151
V / N _T	4,7 m ³
S _A / N _T	0,30 m ²



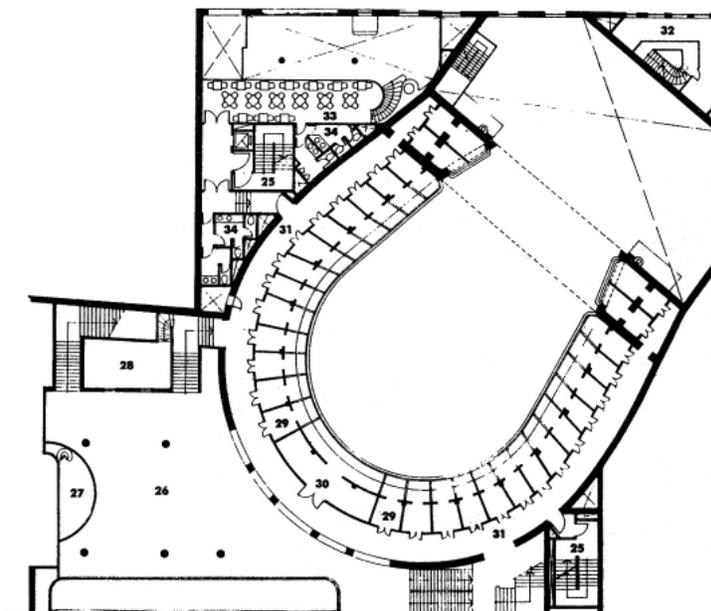
- Foyer (1)
- Auditorio (2)
- Camarines (3, 4 y 5)
- Bajo escenario (6)
- Circulación (7)
- Circulación artistas (8)
- Cafetería (9)
- Foso de orquesta (10)

Figura 7. Planta nivel subsuelo (auditorio) e identificación de los sitios numerados



- Acceso principal (11)
- Foyer (12)
- Boleterías (13)
- Guardarropas (14)
- Sanitarios (15)
- Platea (16)
- Palcos bajos (17)
- Circulación PB (18)
- Escenario (19)
- Afores (20)
- Intendencia (21)
- Acceso por H.Yrigoyen (22)
- Confitería (23)
- Acceso camarines (24)
- Escalera incendios (25)

Figura 8. Planta nivel platea e identificación de los sitios numerados



- Vacío sobre foyer (26)
- Administración (27)
- Sala de acomodadores (28)
- Palco alto (29)
- Palco Oficial (30)
- Circulación palcos altos (31)
- Taller de mantenimiento (32)
- Entre piso confitería (33)
- Sanitarios (34)

Figura 9. Planta nivel palcos altos e identificación de los sitios numerados

4 Acústica del teatro

Los objetivos acústicos incluidos en el proyecto de Reconquista del Teatro fueron los siguientes, destacando que se excluyeron las mediciones acústicas en toda la etapa de obra y luego de finalizadas:

- Mejora en la calidad de la sala principal, sala de precalentamiento, adecuación del nuevo anfiteatro para 120 personas.
- Aislamiento del ruido exterior, en particular referido a la pared con ventanas y puerta de acceso al escenario desde la calle H.Yrigoyen, con fachada histórica que se debía respetar por exigencias municipales.
- Debía considerarse los efectos del foyer sobre Av.de Mayo con su frente vidriado de escaso aislamiento sonoro y superficies interiores duras y reflejantes de sonido.
- Acceso a los palcos (entre ellos, el oficial) con sus puertas a la circulación periférica que balconea sobre el foyer, como única barrera acústica para el ruido de la avenida.
- Control de ruidos y vibraciones originadas por el nuevo equipamiento incorporado: grupo electrógeno, ascensor, auxiliares del escenario, bombas de agua. Sistema de aire acondicionado central con sus ductos de conducción y unidades de frío.
- La sala debía mantener su aspecto de comienzos del siglo XX, no pudiendo agregarse materiales vistos que distorsionen esa imagen que forma parte del proyecto arquitectónico.

En resumen, debía lograrse un bajo nivel de ruido de fondo y un adecuado tiempo de reverberación (sala y escenario) para música y teatro e independencia con el anfiteatro ubicado por debajo de la sala principal, con posibilidad de funciones en simultáneo.

La sala tal como funcionaba hasta su destrucción parcial, presentaba ciertas características acústicas que afectaban su calidad:

- Ecos en los palcos laterales más próximos al fondo de la sala.
- Atenuación mayor en los tonos más agudos.
- Menor sensación de intimidad en los palcos respecto a la platea, aunque aceptable.
- Menor definición que lo deseable especialmente en los pasajes rápidos.

Los trabajos se encararon presentando informes escritos en el período enero de 1990 a mayo de 1991, tanto en la forma de recomendaciones del asesor como respuestas a demanda del comitente. Todas se efectuaron en la etapa inicial de los trabajos y algunas pocas en forma posterior a esas fechas, como consecuencia de problemas puntuales que se presentaron.

Las formas de la sala estaban fijados, de manera que ciertas variables como la densidad de modos normales, eran fijos y responden a la distribución que se muestra en la tabla 4. Surge de la misma, que desde el criterio técnico, que el campo no es suficientemente difuso (criterio de 3 modos/unidad de frecuencia) para las frecuencias por debajo de los 30 Hz.

Tabla 4. Distribución de autofrecuencias por rangos de frecuencias

Nº	Rango de frecuencias (Hz)		Cantidad de autofrecuencias - Modos				Autofrecuencias/Hz	
			Oblicuo	Tangencial	Axial	Total	Frec.inf.	Frec.sup.
1	0	20	5	6	2	13	0,08	1,47
2	20	30	13	7	1	21	1,47	2,77
3	30	40	25	10	1	36	2,77	4,49
4	40	50	42	13	1	55	4,49	6,61
5	50	60	62	16	1	78	6,61	9,15
6	60	70	87	18	1	106	9,15	12,09
7	70	80	115	21	1	137	12,09	15,44
8	80	90	148	24	1	173	15,44	19,21
9	90	100	185	27	1	213	19,21	23,38
10	20	50	80	30	2	112	1,47	6,61
11	50	100	597	106	4	707	6,61	23,38
12	0	100	683	141	8	832	0,08	23,38
13	100	125	651	79	2	732	23,38	35,60
14	125	150	971	97	2	1 070	35,60	50,39
15	100	150	1 621	176	4	1 802	23,38	50,39
16	150	200	3 157	247	4	3 408	50,39	87,64
17	125	250	9 333	661	10	10 004	35,6	135,12

 Campo sonoro técnicamente no difuso. Difusión a partir aproximadamente de 30 Hz

Como resultado del estudio, sólo se incorporó material absorbente en la forma de cuadros entelados y enmarcados entre los últimos palcos, simulando para el resto, cuadros iguales pero sin material absorbente para mantener continuidad visual.

5 Mediciones y cálculos acústicos

Valores medidos

Las mediciones de la sala principal del teatro se efectuaron recientemente, en septiembre de 2009, por pedido e interés del autor de este trabajo. Fueron realizadas por el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia (LAL), que depende de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires. Los datos de este apartado surgen de su informe oficial, Protocolo N° 62 722/09.

El instrumental utilizado para estas mediciones fue:

- a) Medidor de nivel sonoro y analizador de espectros en tiempo real, marca Brüel & Kjaer, Type 2250, con pre-amplificador de micrófono, marca Brüel & Kjaer, Type ZC-0032, y micrófono de 1/2", marca Brüel & Kjaer, Type 4189.
- b) Software de medición de tiempo de reverberación, marca Brüel & Kjaer, Type BZ-7227.
- c) Fuente acústica de referencia, marca Brüel & Kjaer, Type 4230.
- d) Amplificador de audio frecuencias, marca Pyramid, modelo PA1000X.
- e) Generador de ruido de banda ancha con amplificador incorporado (LAL – TG1).
- f) Dos parlantes de 2 vías.

La emisión de sonido se realizó con ambos emisores a 1 m a cada lado del eje de la sala (en el sentido longitudinal) y a 3 m del borde del proscenio. Se realizaron 3 mediciones repetitivas en cada sitio de medición. La sala se encontraba vacía.

Todas las mediciones se realizaron sin poder eliminar completamente a todas las fuentes del edificio exteriores a la sala, por encontrarse en tareas típicas de mantenimiento y limpieza entre funciones. Sin embargo la sala propiamente, no estaba afectada a trabajos de terceros. No se obtuvieron las condiciones ideales para las mediciones de ruido de fondo.

Los resultados de las mediciones se muestran en los gráficos que siguen.

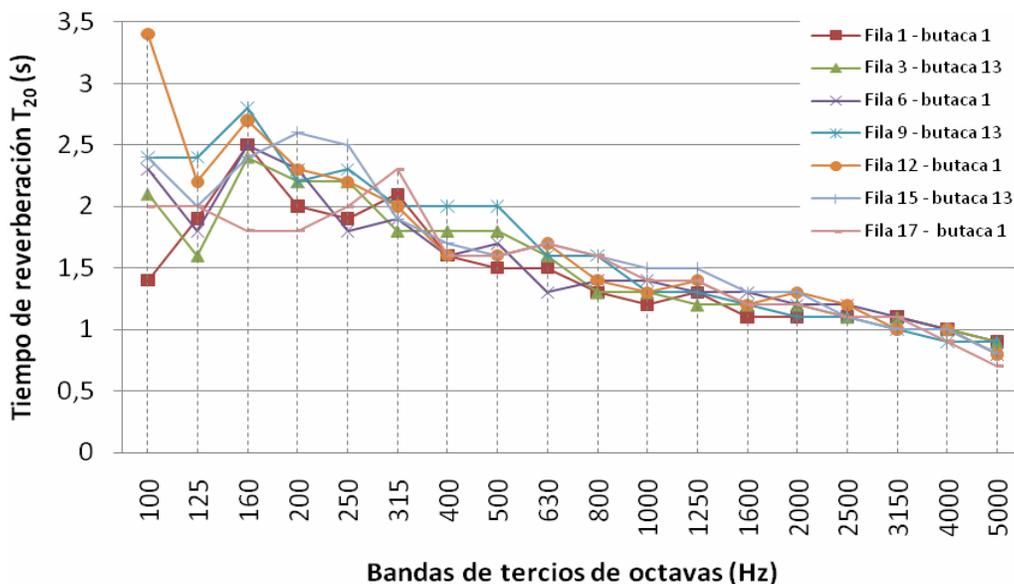


Figura 10. Tiempos de reverberación medidos como T_{20} en 7 sitios de platea.

En el gráfico de la figura 10 se muestran los valores medidos (promedio de 3 mediciones) en los 7 sitios de la platea seleccionados. Los valores tienen una clara variación casi lineal con la frecuencia, a partir de la banda de tercios centrada en 160 Hz.

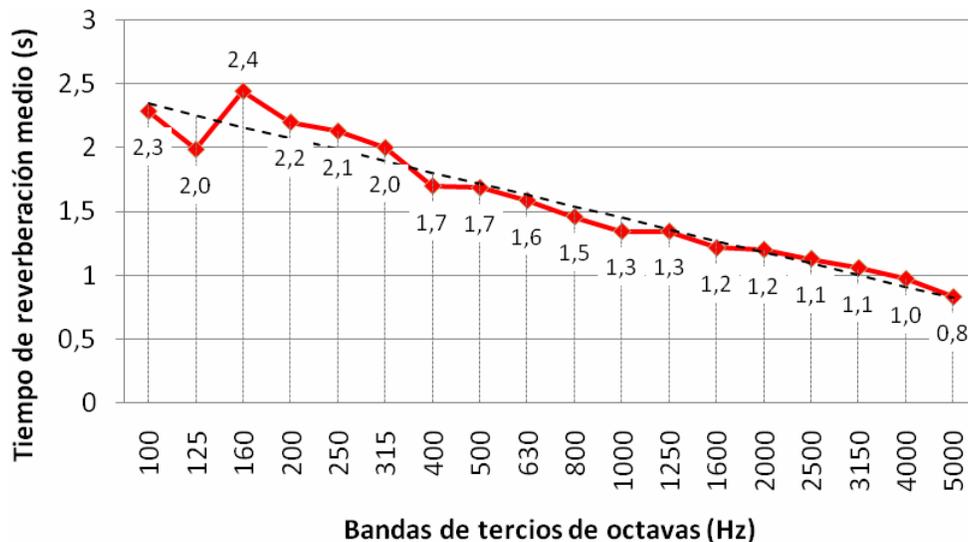


Figura 11. Tiempos de reverberación medios en platea y tendencia lineal.

El gráfico de la figura 11 muestra el valor medio de los valores individuales del gráfico 10, para cada banda de frecuencias. Los tiempos de reverberación se indican en cada una de las bandas. La tendencia lineal decreciente del tiempo de reverberación considerando incluso las centradas en 100 y 125 Hz, tiene una pendiente negativa de $-0,27$ s/octava.

El gráfico de la figura 12 muestra a su vez, los tiempos de reverberación medios en el rango 100 – 5000 Hz para cada uno de los 7 sitios de medición.

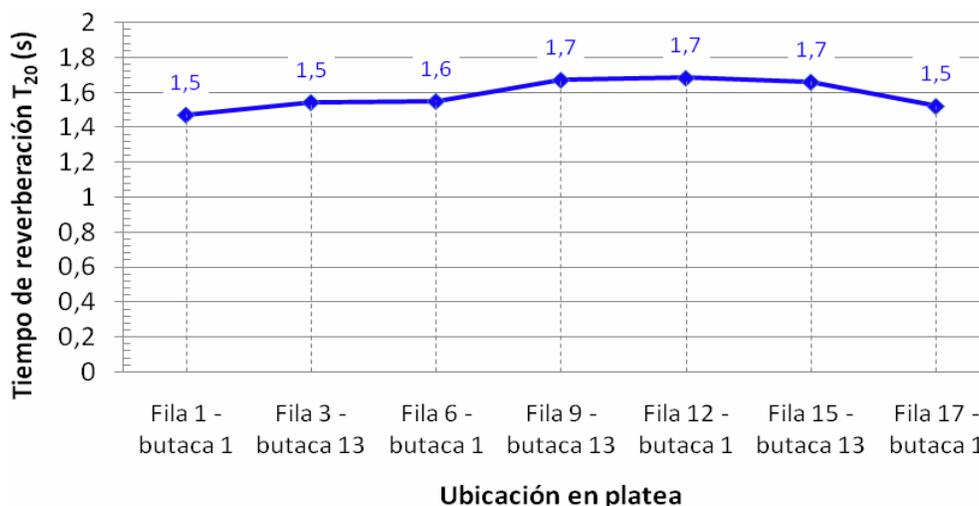


Figura 12. Tiempos de reverberación medios en el rango 100 – 5000 Hz en 7 sitios de platea.

Las mismas mediciones de tiempo de reverberación en la forma de T_{20} se efectuaron en una vertical en la posición del palco 10, ubicado en uno de los laterales. Incluye al palco bajo 10, al palco alto 10, Tertulia 10 y paraíso en esa misma posición relativa. Lo mismo con el palco Oficial (palco alto) y en la tertulia y paraíso ubicados por sobre el mismo.

Los valores individuales medidos se muestran en el gráfico de la figura 13.

En la figura 14 se muestran los valores medios por banda de octavas de los 6 individuales del gráfico de la figura 13.

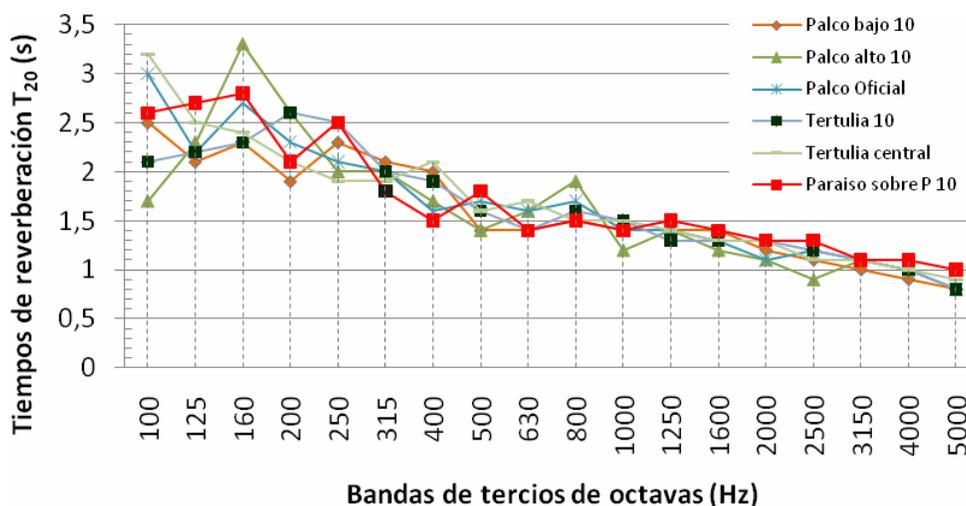


Figura 13. Tiempos de reverberación medidos como T_{20} en 6 sitios de palcos.

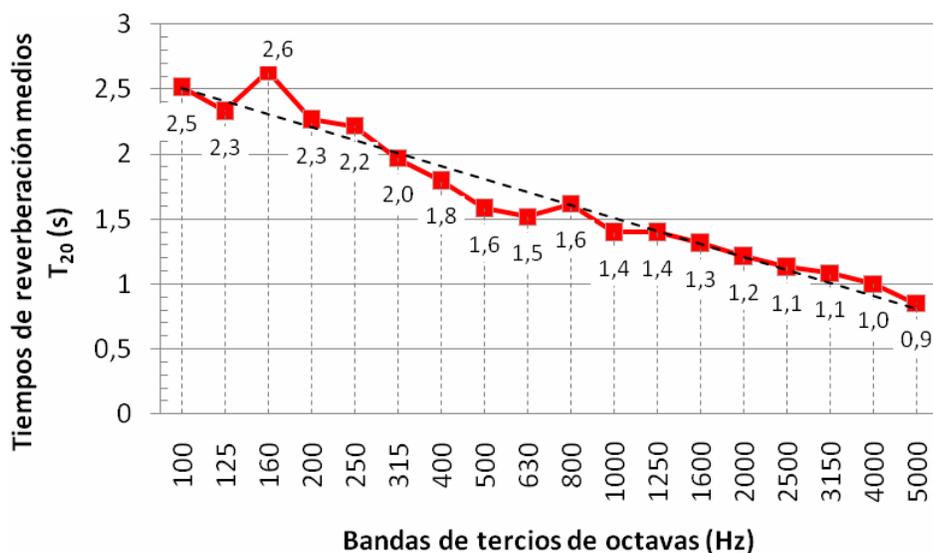


Figura 14. Tiempos de reverberación medios en palcos y tendencia.

También en este caso se nota una clara tendencia decreciente del tiempo de reverberación con la frecuencia. En este caso, la tendencia lineal decreciente es de $-0,30$ s/octava, prácticamente coincidente con el mostrado para la platea.

Finalmente en la figura 15 se muestran los valores medios de tiempo de reverberación en cada uno de los 6 sitios de medición, como valores medios en el rango de bandas de tercios de octavas 100 – 5000 Hz. Los valores resultantes están en el rango de 1,6 a 1,7 segundos, del mismo orden que para la platea, que en ese caso era de 1,5 a 1,7 s.

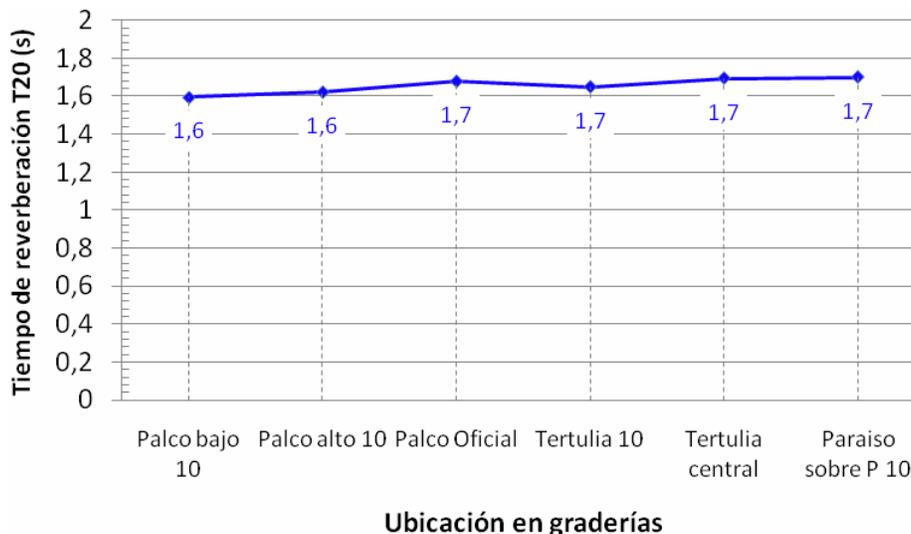


Figura 15. Tiempos de reverberación medios en el rango 100 – 5000 Hz en 6 sitios de palcos

El nivel de ruido de fondo fue medido en 3 posiciones en la platea a lo largo del pasillo central, como promedio de 3 mediciones sucesivas. Los valores medidos se muestran en la figura 16, junto con su promedio y el perfil NC = 25 que es el que mejor se ajusta, siendo la banda centrada en 500 Hz la tangente al perfil. El valor global del promedio resulta ser de 32,3 dBA, como nivel sonoro continuo equivalente.

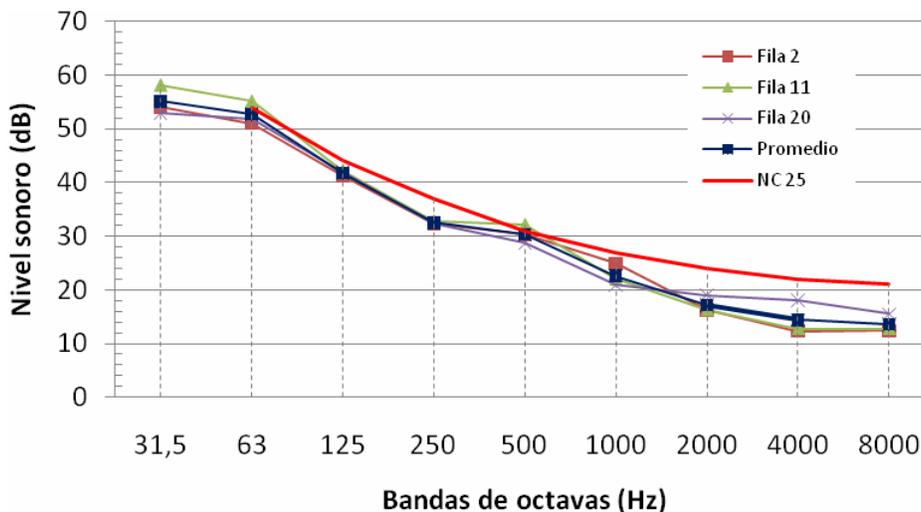


Figura 16. Ruido de fondo medido en platea, valor medio y perfil NC = 25

Finalmente se midió la respuesta en frecuencia de la sala por bandas de octavas. Los registros se efectuaron en el borde del escenario y en la fila 12, pasillo central. Esta posición es aproximadamente el centro de la sala. Los valores medidos y su diferencia se muestra graficados en la figura 17.

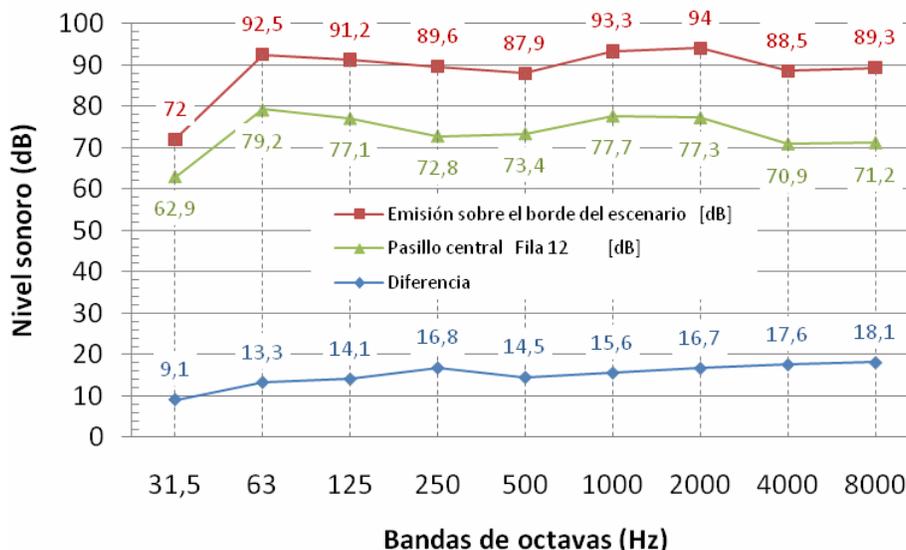


Figura 17. Respuesta en frecuencia del auditorio en fila 12

Los valores globales para todo el rango de frecuencias son, en el borde del escenario, 98,8 dBA (como nivel sonoro continuo equivalente) y en la fila 12, 82,3 dBA, resultando que la diferencia es de 16,5 dBA.

Valores calculados

A partir de los datos medidos, se calcularon algunos parámetros objetivos. La inclinación (α) del piso de platea para disminuir la atenuación sonora por el sonido rasante sobre el público y permitir una buena visión, debe cumplir con la expresión dada por Gade¹ que vincula la visibilidad de la última línea ($h = 0,16$ m), la distancia horizontal de esa línea con la posición del cantante ($b = 20$ m), la separación entre asientos ($d = 1,5$ m), la distancia de la primera línea con el cantante ($a = 5$ m) y la sobre altura del cantante con el primer espectador ($e = 1,6$ m), mediante la expresión 1 y valores tomados de la figura 5, dando por resultado, $\alpha \cong 5,8^\circ$.

$$tg(\alpha) = \frac{h \times b}{d \times a} - \frac{e}{a} \tag{1}$$

Una estimación del tiempo de reverberación de la sala ocupada, T_{oc} , en el rango medio de frecuencias, se puede estimar a partir del ajuste lineal dado por Beranek² mediante la ecua-

¹ A.C.Gade, "Acoustics in Halls for Speech and Music", Cap.9 de T.D. Rossing (editor), "SPRINGER HANDBOOK OF ACOUSTICS". Springer Verlag (N.York, 2007). Página 326.
² L.L.Beranek, "CONCERT AND OPERA HALLS. How they sound". Acoustical Society of America (New York, 1996). Página 437.

ción 2, siendo el volumen $V = 5400 \text{ m}^3$ y el área de ocupación $S_T = 400 \text{ m}^2$ tomados de la tabla 3, resultando $T_{oc} = 1,89 \text{ s}$.

$$T_{oc} = 0,14 \frac{V}{S_T} \text{ (s)} \tag{2}$$

Con este valor se estimó a su vez, el valor probable de *strength* G_{calc} , mediante la expresión 3, dada por A.C.Gade³, de la que resulta $G_{calc} = 10,4 \text{ dB}$.

$$G_{calc} = 10 \times \lg\left(\frac{T}{V}\right) + 45 \text{ (dB)} \tag{3}$$

Se calculó también, el índice de Claridad C_{80} apropiado para teatro de música con la ecuación 4 de Barron⁴, aplicada a los sitios de medición de platea y palcos.

$$C_{80} = 10 \times \lg \frac{100/r^2 - \frac{31200 T}{V} e^{(0,04 r/T)} (1 - e^{-1,11/T})}{\frac{31200 T}{V} e^{(-0,04 r/T)} \times e^{(-1,11/T)}} \text{ (dB)} \tag{4}$$

donde r es la distancia emisor-receptor en metros, T es el tiempo de reverberación en el sitio de inmisión en segundos y V es el volumen de la sala en metros cúbicos.

De acuerdo con la definición dada por L.L.Beranek⁵, se considera el valor medio para las bandas de octavas centradas en 500, 1 000 y 2 000 Hz, denotando como $C_{80}(3)$, cuyos valores se dan en la tabla 5, calculados para sala vacía.

Tabla 5. Valores medios calculados como $C_{80}(3)$ (“Music average”)

Ubicación	$C(3)_{80}$ (dB)
Fila 3 – butaca 13	2,4
Fila 6 – butaca 1	2,1
Fila 9 – butaca 13	1,6
Fila 12 – butaca 1	1,5
Fila 15 – butaca 13	1,0
Fila 17 – butaca 1	1,3

La respuesta de la sala (“Room Response” RR) tiene en cuenta la energía sonora lateral recibida en el intervalo 25 a 80 ms y la energía sonora total en el intervalo 80 – 160 ms en relación con la energía total en los 80 ms iniciales. De esta manera se cuantifica el efecto espacial como criterio subjetivo.

Se lo calculó empleando la ecuación 5 dada por V.L.Jordan⁶ para valores esperados, con sus resultados graficados en la figuras 18 y 19.

³ A.C.Gade, *Op.cit.*, página 309.

⁴ M.Barron y L-J.Lee, “Energy relations in concert auditoriums. I”. *J.A.S.A.* 84 (2), 1988, 618-628.

⁵ L.L.Beranek, *Op.cit.*, Página 478.

⁶ V.L.Jordan, “ACOUSTIC DESIGN OF CONCERT HALLS AND THEATRES” Applied Science Publ. Ltd. (London, 1980). Apéndice V. Nota: en la expresión p_2 se deslizó un error: su exponente debe ser $e^{-13,8 \times 0,08/T}$.

$$RR = 10 \lg \left[\frac{2}{\pi} \frac{e^{-12,8 \times 0,025/T} - e^{-12,8 \times 0,07/T}}{1 - e^{-12,8 \times 0,08/T}} + \frac{e^{-12,8 \times 0,09/T} - e^{-12,8 \times 0,16/T}}{1 - e^{-12,8 \times 0,08/T}} \right] \quad (5)$$

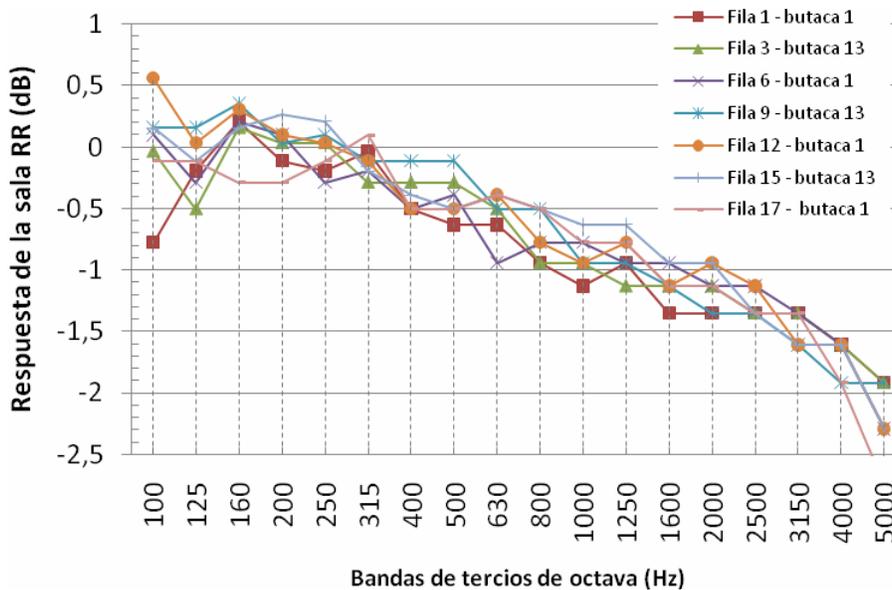


Figura 18. Índice RR en platea.

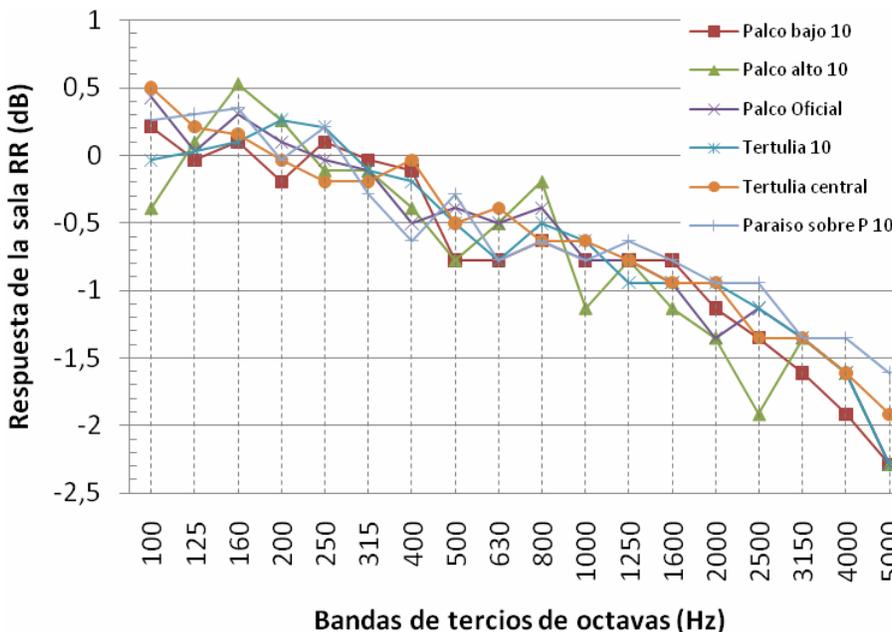


Figura 19. Índice RR en palcos.

6 Comentarios

El presente trabajo no pretende ser un estudio exhaustivo de la sala principal del Teatro Avenida, sino una descripción de la misma y un informe de los parámetros acústicos fundamentales resultantes de una medición y de otros pocos calculados. Una descripción de su acústica se incluirá como capítulo de una publicación a editar por la Acoustical Society of America en 2010⁷.

Los valores de los parámetros calculados, responden a ajustes y criterios de sus autores, resumidos en expresiones en función de los parámetros medidos, por lo que no son independientes. Responden a las tendencias centrales que los vinculan y no contemplan las dispersiones de los datos individuales. Lo calculado no es sino otra forma de mostrar lo mismo que representan los parámetros medidos.

La sala reinaugurada en 1994 tuvo una muy buena acogida por sus características acústicas, además de las arquitectónicas. Plácido Domingo, seguramente con un exceso de cortesía, opinó que “*Este es el segundo Colón*”⁸. Las mediciones acústicas recién fueron realizadas a pedido y cargo del autor, 15 años después de ese acontecimiento.

La inclinación del piso de la sala, mayor que la original, supera al valor aproximado, calculado con la expresión 1, por lo que es dable aceptar que no se produce una excesiva absorción del sonido rasante directo ni de las primeras reflexiones en los laterales, corrigiendo el problema anterior.

No obstante su estructura arquitectónica clásica, la sala sigue las tendencias actuales de un mayor tiempo de reverberación que otras similares en capacidad de público, con valores típicos menores a 1,5 s.

El tiempo de reverberación del rango medio de frecuencias para salas ocupadas permite una inferencia de la calificación de la sala. Para Beranek⁹, ese valor debería estar comprendido en el rango $1,7 \text{ s} \leq T_{oc} \leq 2,0 \text{ s}$, recomendación que cumple el valor calculado con la expresión 2 ($T_{oc} = 1,89 \text{ s}$).

El tiempo de decrecimiento temprano medido, EDT, cuyos promedios para las ubicaciones de platea ya empleadas (tabla 6), muestran que el T_{20} es del mismo orden, no presentando ninguna tendencia de una a otra ubicación.

Tabla 6. EDT y su relación con T_{20} para rango medio de frecuencias.

	Fila 1 butaca 1	Fila 3 butaca 13	Fila 6 butaca 1	Fila 9 butaca 13	Fila 12 butaca 1	Fila 15 butaca 13	Fila 17 butaca 1
T_{20}	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4
EDT	1,6	1,5	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2
EDT/ T_{20}	0,82	0,90	0,98	1,20	0,98	1,11	1,17

Los valores que superan en algunas ubicaciones o son menores que la unidad en otras, indican curvaturas opuestas en el decaimiento de nivel sonoro. Sin embargo, parecerían no te-

⁷D.T.Bradley, E.E.Ryherd y M.C.Vigeant (co editors), “ACOUSTICAL DESIGN OF THEATRES FOR DRAMA PERFORMANCE: 1985–2010”, ASA (New York, 2010).

⁸Reproducido por la revista Gente, N° 1509, 23 de junio de 1994, página 176.

⁹L.L.Beranek, “Concert hall acoustics – 1992”. JASA, 92 (1), 1992, 1-39. Página 35

ner influencia en la calidad de la sala como comenta Beranek, al comparar salas que tienen uno y otro comportamiento, pero con comportamientos acústicos similares¹⁰.

El ruido de fondo satisface al perfil NC = 25, mayor que las recomendaciones resumidas en la norma IRAM 4070¹¹. Es cierto que las mediciones no pudieron realizarse en las mejores condiciones, ya que varias fuentes externas a la sala, pero internas al edificio, estaban funcionando, en particular equipos de limpieza y por algún trabajo en el bajo escenario. Es probable que en su ausencia, el nivel hubiera quedado representado por el perfil NC = 20.

La experiencia del autor como espectador de funciones diversas, es que efectivamente el ruido de fondo es menor que el medido, ya que las fuentes propias del edificio están bajo control y desactivadas en tales ocasiones.

La mayor parte de la sala tiene valores calculados $C_{80}(3) < 2$ dB, rango en el que se encuentran la casi totalidad de las salas analizadas por Beranek¹², cuya mayoría corresponden a las calificadas como B+.

El índice $C_{80}(3)$ calculado y que se incluye en la tabla 5, queda fuera de los valores recomendados por Beranek¹³ (desigualdad 6), para corresponder a su categorización A+, A, pero está dentro del rango recomendado por Jordan¹⁴ (desigualdad 7):

$$-4 \leq C_{80}(3) \leq 0 \quad \text{L.L.Beranek} \quad (6)$$

$$-2 \leq C_{80}(3) \leq +2 \quad \text{V.L.Jordan} \quad (7)$$

El restante parámetro calculado, RR, con valores mostrados en los gráficos de las figuras 18 y 19, tienen como valor medio para todo el rango de frecuencias y para todos los sitios de medición, un valor RR = -0,7 dB. Para los palcos evaluados, el valor medio de los 6 sitios resulta RR = -0,6 dB. Ambos se ubican próximos, pero por fuera, del extremo inferior del rango dado como criterio tentativo por Jordan¹⁴ (desigualdad 8).

$$\text{RR: } -0,5 \leq \text{RR} \leq +0,5 \quad (8)$$

La conclusión de esta evaluación, es que la sala del Teatro Avenida tiene una buena respuesta acústica desde el punto de vista subjetivo. Los parámetros acústicos medidos y los calculados la ubican en una posición media dentro de la dispersión de datos medidos de otras salas y publicados. Se ubican a su vez, en los rangos de criterios publicados por especialistas.

La sala actualmente presenta en cartelera obras del teatro lírico amplio, que supera la anterior orientación de las representaciones típicamente españolas, como la zarzuela. Su comportamiento es muy aceptable para ese repertorio.

¹⁰ L.L.Beranek, "CONCERT AND OPERA HALLS. How they sound". Acoustical Society of America (New York, 1996). Página 425.

¹¹ Norma IRAM 4070:2007, "Ruidos. Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles 'NC' y 'RC'".

¹² L.L.Beranek, *Op.cit.*, página 481, Figure 12.1.

¹³ L.L.Beranek, *Op.cit.*, página 470

¹⁴ V.L.Jordan, "ACOUSTIC DESIGN OF CONCERT HALLS AND THEATRES" Applied Science Publ. Ltd. (London, 1980). Página 191