

DISEÑO DE LA SALA DE OPERA DEL TEATRO ARGENTINO DE LA PLATA

PACS number 43.55.Fw

Ingeniero R.Sánchez Quintana
Tucumán 1687
Buenos Aires-CP 1050
Argentina
Tel 5411-4371-3354
Fax 5411-4371-3354
E.mail sanchezq@infovia.com.ar

ABSTRACT: This paper concern the Project and Construction of the Opera House of the Teatro Argentino de La Plata, the antecedents, design principles, geometrics verifications, and the study on a 1:50 scale model which has a mirrorlike inside surface to observe the reflexions. Some researches was carried out simultaneously in England, at Cambridge University, with models on the same previous scale, and with high frequencies in equal ratio, with the purpose of determining different parameters and acoustics behaviour. When the test were done with the necessary modifications, the project was accomplished the construction began, but for different reasons it was cut off for 14 years. When the constructions were renewed, all the materials, which were incorporated into the Hall had been tested, not only in external laboratories but in the self-same building. These acoustic test, that also included rehearsals with musical groups are also described. The Opera House opened last October, the 12th with a Symphonic and Choral Concert and Ballet, with a fixed stage, because its machinery was not finished. It is to be completed this year. For this reason, some test such as rehearsals with a full audience and the orchestra in the pit are still pending. Some subjective comments about its acoustics after the opening are included.

RESUMEN: El presente documento se refiere al proyecto y construcción de la Sala de Opera del Teatro Argentino de La Plata, antecedentes, principios de diseño, las verificaciones geométricas y estudio sobre un modelo en escala 1:50, espejado interiormente para poder observar reflexiones. Simultáneamente se realizaron ensayos en Inglaterra, en la Universidad de Cambridge, con modelos en la misma escala anterior y con frecuencias elevadas en igual relación, con el fin de determinar distintos parámetros y comportamientos acústicos. Finalizados estos ensayos e introducidas las modificaciones necesarias, se completó el proyecto y luego se inició la construcción que por diversos motivos se interrumpió por 14 años. Reanudadas las obras se fueron verificando todos los materiales que se incorporaban a la sala realizándose ensayos, tanto en laboratorios externos como en el lugar de emplazamiento. Se describen estas pruebas acústicas que también comprendieron ensayos con diversas formaciones musicales. La sala de ópera se inauguró el 12 de Octubre del año pasado con un concierto Sinfónico-Coral y espectáculo coreográfico, con escenario fijo, ya que faltan aún terminar los sistemas de mecanizado, los que se finalizarán en el presente año. Por ello quedan pendientes de realizar ensayos a sala llena con orquesta en el foso. Se incluyen algunos comentarios subjetivos respecto a su acústica, derivados de la función de apertura.

1. Antecedentes

El proyecto del Centro de las Artes del Espectáculo Teatro Argentino de La Plata, nace como consecuencia de un incendio en el Teatro del mismo nombre, acaecido el 18 de Agosto de 1977. Luego de discusiones y controversias de como se debía encarar su reconstrucción, la idea que prevaleció fue, no sólo reemplazar la sala lírica sino agregar una serie de salas complementarias y adicionales a saber: una Sala de Prosa, para albergar a la Comedia de la Provincia, un Microcine de usos múltiples, Salas de Ensayo para Escena y Orquesta en donde se pudiese ensayar la puesta a punto con decorados de cada presentación lírica, Sala de ensayo de Coro, Salas Auxiliares, Sala de ensayo de ballet, Salas de ensayos individuales y toda una serie de locales complementarios como depósitos, talleres, donde se pudiesen elaborar decorados, no sólo para uso propio sino para algunos otros teatros dependientes de la Provincia. Ello unido a restaurantes, cafeterías, cocheras, Estudio de TV y Radio para poder preparar desde ellos los programas correspondientes a las distintas salas, cintoteca, etc., constituyendo por lo tanto un verdadero complejo cultural con una superficie cubierta de más de 60000 m².

Se ha avanzado mucho en algunos aspectos de las Obras y se ha inaugurado la Sala Lírica el año pasado, con un escenario fijo, en un programa de concierto. En el transcurso de este año se terminará la instalación de un escenario mecanizado que permite gran cantidad de movimientos. La obra, proyecto de los Arquitectos R.Germani, E.Bares, T.García, C.Ucar, I.Rubio y A.Sbarra ganadores del concurso dispuesto para la reconstrucción, fue encarada por ellos con gran seriedad y totalmente compenetrados con los asesores de cada especialidad a saber: el Ing. J. Lande en Estructuras, el Ing. J.Blasco Diez en Termomecánica, el Arq. G.Breyer y el Sr E.Diz en Escenario y Técnica Teatral, el Ing R. Marcó en Instalaciones Eléctricas y en Acústica y Electroacústica el Ing F. Malvarez (q.e.p.d) y quien ha realizado esta nota. Dado los antecedentes del Teatro por donde desfilaron figuras de la Lírica mundial, el Teatro Argentino se había inaugurado en 1890, y por el imperioso deseo de estar a tono con la tradición operística del país, debida a la inmigración Italo-Española, teniendo en cuenta además, la inevitable comparación por cercanía con el Teatro Colón, ya que muchos de los músicos y personal han actuado en ese Teatro, no se han escatimado esfuerzos, en cada uno de los rubros, para lograr un resultado adecuado.

Nota: La ciudad de La Plata es la Capital de la Provincia de Buenos Aires y está situada a 60 Km de la ciudad de Buenos Aires, Capital de la República Argentina.

2. Principios y proyecto de diseño acústico de la sala de ópera

Los Teatros de Opera tradicionales tienen en general la forma de herradura que el empirismo ha mostrado, a través de los años y sucesivos cambios, ser eficaz y comportarse adecuadamente, teniendo la ventaja de que el espectáculo a representar fue creado para dichas salas, pensando en sus condiciones naturales. Sin embargo hay en estas salas una gran cantidad de espectadores que no gozan de confort visual. Ya en los teatros de Opera más modernos, proyectados en los últimos años, tales como el Metropolitan de Nueva York y el Kennedy de Washington se introdujeron algunas variantes que consistían en una platea en forma de abanico y bandejas frontales no demasiado profundas, en donde los espectadores allí ubicados tienen buena visión frontal del escenario. La Opera de la Bastilla en Francia también sigue estos lineamientos.

Por otra parte, todas las paredes laterales en los teatros clásicos estaban rodeadas de palcos, que le dan a estas salas su aspecto característico, pero que además contribuyen a la difusión del sonido en las mismas, con sus adornos y molduras. Las bases del concurso que se realizó, cuando se decidió reconstruir el Teatro, establecían los usos a los cuales estaba destinado y la cantidad de espectadores, por lo que en el anteproyecto se propuso una distribución de ellos en los distintos niveles. Durante el desarrollo del proyecto fue perfeccionándose esta idea llegándose a lo siguiente:

Se proyectó una forma de platea cercana a la tradicional y tres bandejas frontales, poco profundas, es decir que no presentan obstrucción a la llegada del sonido a ellas.

Esto proporcionó una vista frontal desde las mismas muy completa del escenario, dado que además la tecnología del hormigón permitió cubrir la luz de la sala sin ninguna columna. Se

proyectaron tres niveles de palcos en los laterales siguiendo la línea tradicional y otros cuatro niveles de palcos corridos o galerías con una sola fila de sillas, con acceso desde las bandejas. Esta forma permite al espectador acomodarse al ángulo más conveniente y no tener obstrucción visual ni acústica, además todos estos palcos desde el punto de vista acústico han contribuido a la muy buena difusión de sonido en la sala.

En la tabla que sigue se muestra la distribución de público por nivel y otros datos de interés como el volumen de escenario, la superficie del foso y la distribución de algunos materiales.

Tabla 1 -Superficies

Ubicación	Personas	m2/cubiertos	Pasillos	Paredes	Cielo rasos	Antepechos	Cortinas
Platea-bandeja	816	402	130		138		
Foso		108					
Platea palcos	152	78		130	76	78	45
Palco cont. 10.40	70	35	30	98	108	39	40
Bandeja 13.00	320	133	69	98	176	27	12
Palcos 13.00	136	87	10	185	50	58	30
Palco cont. 15.60	84	47	24	80	57	48	48
Bandeja 18.20	188	81	54	24	154	27	12
Palco 18.20	124	78	10	136	50	58	20
Palco cont. 20.80	60	30	24	96	57	48	5
Bandeja 23.40	178	83	90	55		27	5
Palco cont.23.40	72	35	28	130		48	5
Cielo raso					120+826		
Totales	2200	1197	469	1114	1812	458	222
Corrección de borde		131					
Volumen escenario	25200m3						
Volumen sala	15030 m3						
Superficie escenario		1365					
Arco Proscenio		451					
Boca escena		198					

La planta general del piso que incluye los pasillos y el foyer se puede observar en la figura 1. La planta de la sala que incluye al escenario en la figura 2 y el corte longitudinal de la sala en la figura 3. En ellas se pone de relieve el volumen del escenario, las bandejas y su inclinación, la forma de platea y los palcos antes mencionados. Las formas interiores, tales como: la línea de techo, antepechos de palcos, forma de la embocadura de escena y arco de proscenio surgieron del criterio arquitectónico adoptado y de análisis geométricos.

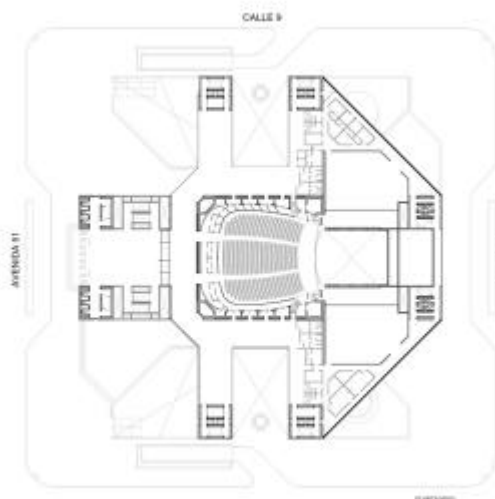


Figura 1

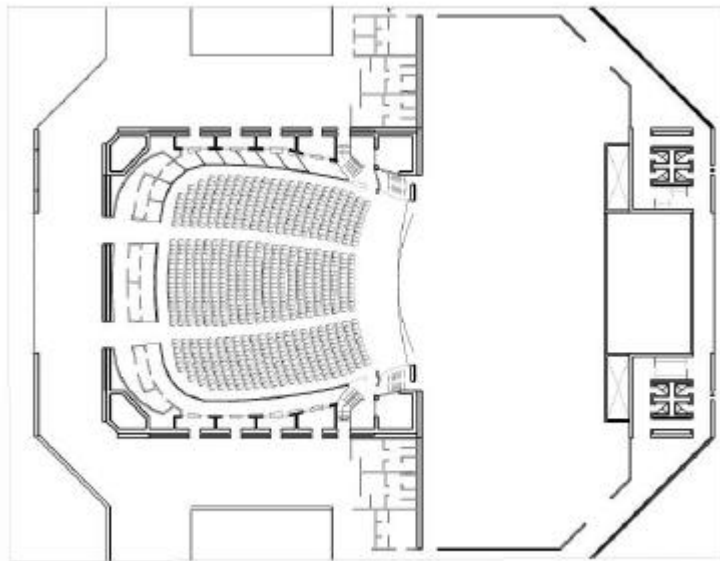


Figura 2

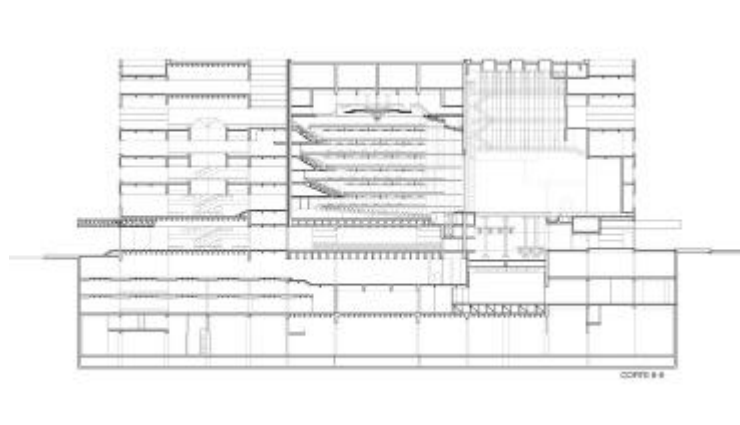


Figura 3

La verificación de las formas proyectadas se puede realizar a través del estudio geométrico teórico o de la técnica de modelos. Se han realizado ambos. Del estudio geométrico teórico en dos dimensiones se pasó a una maqueta con superficies reflejantes y mediante luz modulada, laser, se estudió la conformación interna y formas en tres dimensiones. Pueden verse en las

siguientes figuras 4 y 5 los ensayos con la luz proveniente del laser y su incidencia sobre la maqueta.



Figura 4



Figura 5

También se realizaron verificaciones en un modelo acústico en escala 1:50 en el Reino Unido, para ello se contrató a BAP, Bickerdike, Allen Partners, de Londres que a su vez subcontrataron los servicios de la Universidad de Cambridge, en ese momento a cargo del Dr. Barron, un especialista renombrado en la materia. La técnica utilizada consistió en generar un impulso acústico en frecuencias 50 veces superiores, captándolo mediante micrófonos en distintos lugares o ubicaciones del modelo.

Los ensayos en el exterior con maquetas debieron suspenderse a raíz del conflicto que es de público conocimiento. En esos momentos se evaluaba la posibilidad de realizar ensayos adicionales con mediciones de energía lateral y también se consideró realizar un modelo en escala 1:10.

De todos estos ensayos surgieron cambios en inclinaciones de palcos, cielo raso, antepechos de palcos y distintas formas en el arco del proscenio para proveer mayor difusión en la sala. Es sabido que este tipo de sala necesita aprovechar al máximo la energía producida para distribuirla por igual en las zonas de público.

De los resultados de todos los análisis mencionados se obtuvo importante información, introducidos los cambios y observando los resultados se pudo habilitar el comienzo de la construcción.

Quedó como saldo positivo de esta etapa de ensayos en los distintos modelos lo siguiente:

- remodelación del reflector sobre el proscenio y foso de orquesta
- remodelación de los frentes de palcos y bandejas traseras.

- cambios de ángulos en paredes posteriores e inclinaciones de los cielo rasos de palcos.
- tratamientos adicionales en las esquinas de las bandejas

El Teatro Lírico quedó pues definido por las siguientes dimensiones

altura media	20.5 m	volumen	15030 m3
ancho medio	27 m	volumen escenario	25200 m3
largo	22 m	Superficie escenario	1365 m2
distancia maxima	37 m	Espectadores sentados	2200

2.1-Aislamientos

Niveles de ruido recomendados en el proyecto del complejo

Tabla 2

LUGAR	NC	RC	dBA
Camarines de solistas	20-25	20-25	30
Sala de Prosa	25	25	30
Sala Lírica	15-20	15-20	25
Salas de ensayo	20-25	20-25	30
Area Electrónica (estudios)	20-25	20-25	30
Microcine	20-25	20-25	30

Para la sala lírica se tuvieron cuidados especiales, como se observa en la tabla anterior, dada la exigente recomendación del Comitente.

Para lograr este bajísimo nivel de ruido de fondo se tomaron en el proyecto las siguientes precauciones : las ventanas de los pasillos de acceso a la sala , que dan a la calle y por lo tanto son las vías directas de comunicación del ruido exterior, están provistas de un cerramiento de cristal Blindex de 12 mm de espesor, este pasillo perimetral se proyectó tratándolo acústicamente con material absorbente en piso y paredes de forma que el mismo actuara reduciendo en parte los ruidos exteriores y atenuando los interiores de circulación por los mismos . Desde este pasillo se accede a la sala que está rodeada por un muro de hormigón de 25 cm, luego 20 cm de aire y luego un segundo muro de 40 cm también de hormigón, siendo separadas desde sus bases la pared de hormigón interior de la exterior. Ello asegura que los ruidos y vibraciones que se puedan producir en otras dependencias del complejo, máquinas varias, ascensores y montacargas, bombas de agua, ruidos de los talleres que posee el complejo, pisadas, etc. no serán transmitidos vía sólida al interior de la sala . Tanto el piso como el techo de la sala guardan relación con estos valores, aún cuando por razones de rigidez estructural sus espesores son mayores a los requeridos desde el punto de vista acústico.

Si bien las precauciones tomadas pueden parecer exageradas, un teatro de esta magnitud debe ser pensado para tener larga vigencia y si bien el ruido exterior es producido por la circulación del tránsito automotor también se ha tenido en cuenta el posible tránsito de aviones, helicópteros y sirenas de ambulancias y bomberos, además de un coeficiente de seguridad que tuvo en cuenta el crecimiento de ruido ambiente debido al posible desarrollo.

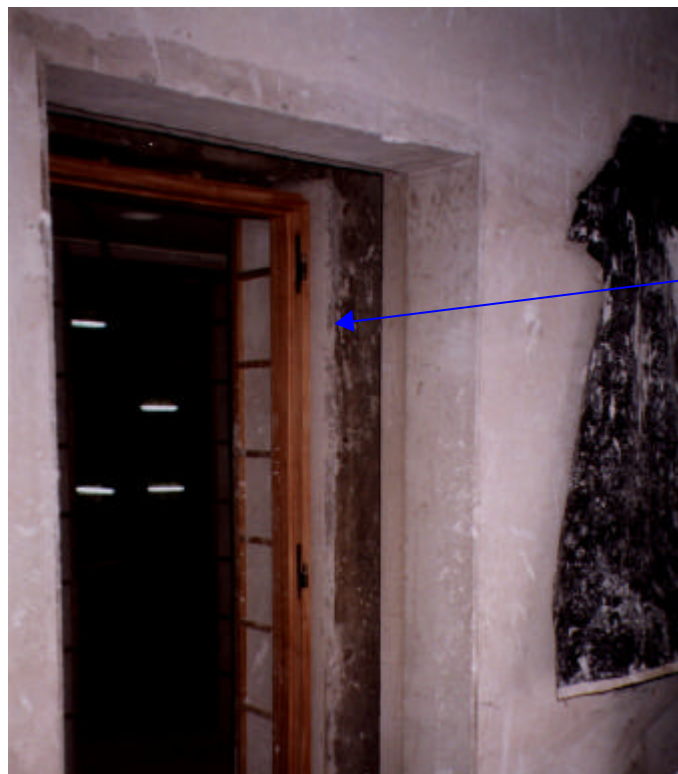
Existe la experiencia positiva del Teatro Colón, que construido hace casi un siglo, debido, tal vez, al tipo de construcción vigente en su momento, que hizo necesario utilizar muros portantes perimetrales de más de un metro de espesor, le permitió seguir vigente, pese al considerable aumento del ruido de tránsito externo, el tren subterráneo, el tránsito aéreo y

otras fuentes que fueron agregándose a las originales, siendo sin embargo en su interior, los ruidos y las vibraciones casi despreciables.

En la figura 6 se pueden observar las bases de la sala lírica, independientes del resto del edificio, que parten desde su fundación en el sub-suelo y llegan al nivel donde la misma está ubicada. En la figura 7 se visualizan las dos paredes de hormigón mencionadas y la cámara de aire intermedia.



Figura 6



Espacio
de aire

Figura 7

Además de lo anteriormente expresado, se han dado para el proyecto recomendaciones especiales para todos aquellos elementos que deban atravesar estos muros, tales como conductos, caños, y para las juntas, a efectos de que no sean portadores de ruidos o vibraciones inadecuadas, evitando de esta forma una pérdida de aislamiento a través de los mismos.

Los cerramientos, puertas de acceso de público y de escenario guardan relación con estas precauciones, pudiendo observarse dobles puertas y antepalcos, para atenuar los sonidos vía aérea que pudieran generarse externamente, más allá de las mismas.

Se especificó el ruido máximo a producir por los equipos de aire acondicionado, el tipo y montaje de maquinaria escénica que permite trabajar a telón abierto, la ubicación de los ascensores de público y montacargas y la distribución y tipo de sanitarios.

La inyección de aire acondicionado se hace por debajo de platea siguiendo la natural corriente térmica. Este aire llega a la sala desde el subsuelo recorriendo un ducto de más de 30 m de mampostería inserto en el piso del subsuelo, este túnel fue cubierto con material absorbente en tres de sus cuatro lados. La dimensión de este túnel es de 1.5 de ancho por 1.7 de altura ya que la velocidad del aire debe ser muy baja, para no generar ruido en las rejillas de salida.

En cada bandeja hay bocas adicionales para mejor uniformidad de cobertura desde el punto de vista térmico, en todos los casos se incluyen atenuadores entre estos ductos y las alimentaciones principales que recorren en forma vertical las esquinas de la sala, para prevenir ruidos intermedios.

2.2 Condiciones interiores

El Comitente había establecido en las bases del concurso la cantidad de espectadores, el tiempo de reverberación en frecuencias medias y el volumen estimado. Por ello se determinaron, de acuerdo con la Arquitectura interior, la distribución de público en las distintas ubicaciones, la geometría interior, antepechos, tamaño de foso, dimensiones de escenario y terminaciones interiores, los que determinaron las constantes para el cálculo de tiempo de reverberación con sala vacía y los tiempos de reverberación con público.

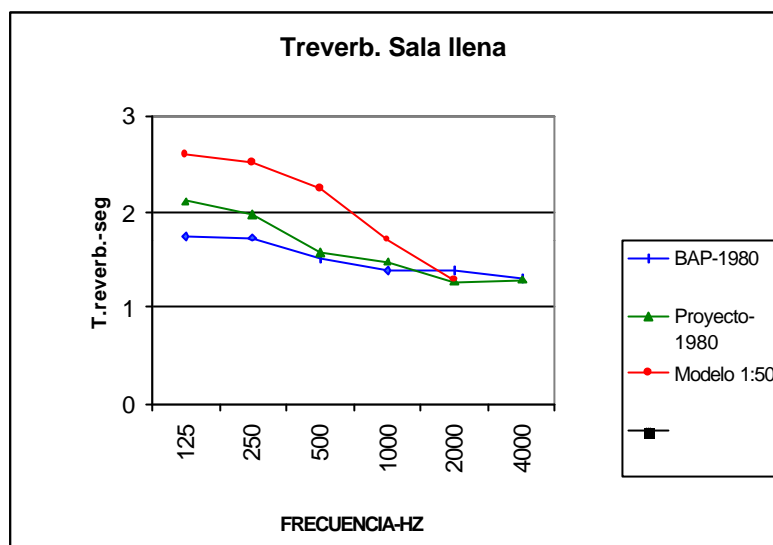
Para sala llena se proyectó un tiempo de reverberación que para frecuencias medias estuviese en el orden de 1,4 a 1,5 segundos. Este valor fue elegido teniendo en cuenta la relación de volúmenes con otros teatros líricos.

En la tabla siguiente se exponen los valores de tiempo de reverberación, en función de la frecuencia, que se obtuvieron por cálculo por el equipo asesor de Bickerdicke, Allen & Partners., BAP en 1980, los valores obtenidos por el equipo de proyecto en Buenos Aires y el valor obtenido de la maqueta en escala 1:50 en la Universidad de Cambridge. Todos los valores obtenidos son meritorios teniendo en cuenta por una parte que en esos momentos la técnica de modelos en esa escala era muy reciente y los coeficientes de absorción utilizados según la bibliografía y experiencia tendían a ser menores en baja frecuencia. El equipo de proyecto a su vez dividió al público en los que ocupaban áreas extensas, (platea y bandejas) y los de palcos y galerías corridas, en donde se utilizaron coeficientes por persona.

Tabla 3 - Tiempos de reverberación calculados

Frecuencia-Hz	BAP-1980	Proyecto-1980	Modelo 1:50	
125	1.75	2.1	2.6	
250	1.72	1.98	2.51	
500	1.51	1.58	2.25	
1000	1.39	1.49	1.7	
2000	1.38	1.27	1.3	
4000	1.31	1.29		

El estudio de las condiciones acústicas de una sala busca cuantificar magnitudes objetivas y parámetros físicos, relacionándolos con magnitudes subjetivas, que son las utilizadas para calificar las bondades de la sala.



Beranek, un estudioso del tema a través del análisis de 53 salas calificó 18 parámetros subjetivos los cuales tienen relación con la respuesta en frecuencia, distribución de energía, etc. Las principales son: definición, difusión, balance entre foso y escenario, uniformidad, a los que hay que agregar, bajo nivel de ruido y evitar ecos y zonas muertas. Recientemente, en Enero del 2000, el mismo Dr. Beranek en un artículo del JASA, ver bibliografía ref [11], hace una reseña de distintas salas de Opera, buscando cuantificar y calificar las relaciones entre magnitudes medibles y opiniones subjetivas.

El foso también fue objeto de estudios detallados, tiene capacidad para 100 músicos, tipo a la Italiana, con una leve modificación, similar a la del Teatro Colón pues está cubierto con un proscenio avanzado en aproximadamente 2m.

Su tamaño y forma fue discutido desde el punto de vista técnico y artístico, ya que las distintas óperas requieren una cantidad variable de músicos, al crecer sus dimensiones se produce un retardo de tiempo entre un extremo y otro del foso, lo que puede incidir desfavorablemente en la puesta a punto y afinación de la orquesta, además desde el podio debe haber buenas condiciones visuales a todos los músicos y al escenario.

En la tabla siguiente se observan las dimensiones de algunos fosos de salas conocidas las que fueron evaluadas en su ocasión.

Tabla 4

SALA	FOSO [m ²]	apertura [m]	largo [m]	ancho [m]	profund. [m]	Volumen [m ³]	Asientos
COVENT GARDEN	62	62	20	4	1,2	12250	2120
OPERA DE VIENA	107	107	16	7	2	10665	1709
BAYREUTH	138	34	15	11	1,5-4,5	10308	1800
T. COLON	105	91	15	8		20570	2487
METROPOLITAN	123	123	21	6	1,9	24724	3816
OPERA BERLIN	104	72	16	7,5	3	10800	1900
OPERA SIDNEY	91					8200	1547
LA SCALA	125	111	17	7,5	1,7	11252	2289
OP.SANFRANCISCO	100	71	20	4,3		20900	3252
T.ARGENTINO	108	85	19	6.5	1.5	15030	2200

OPERA PARIS	78					10000	2131
BASTILLE	186		20	10	2.5	21000	2700

Se le dio especial énfasis a la embocadura de escena, que fue cuidadosamente diseñada para producir la reflexión y la difusión de los teatros clásicos, reemplazando los elementos artísticos ornamentales de aquellos, por elementos de Arquitectura moderna. Se puede observar en la figura 8 siguiente la forma de construcción de la misma.



Figura 8

3 Construcción

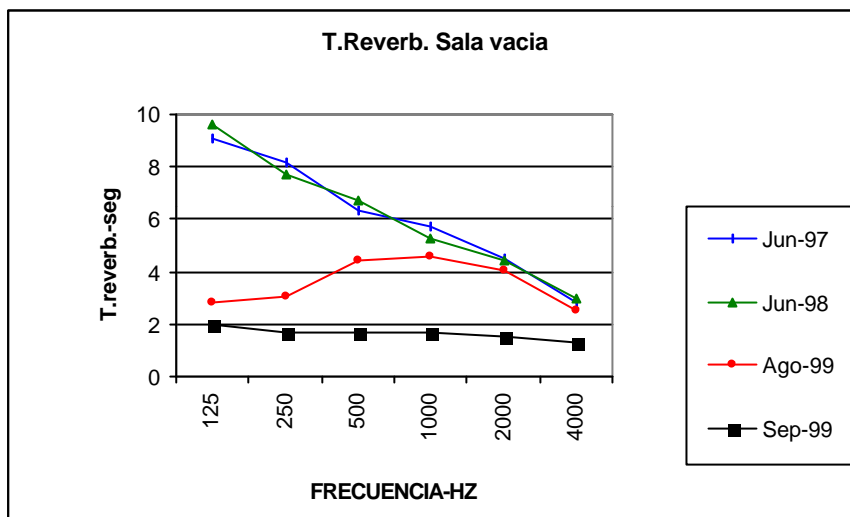
Al encararse la Obra se decidió controlar en forma sistemática cada avance en la construcción. Para ello se había previsto que la firma adjudicataria debía adquirir instrumental de reciente desarrollo para obtener, mediante mediciones y aplicación del Software, algunos de los parámetros objetivos, tales como ruido de fondo y tiempos de reverberación. Este instrumental, de origen Danés, quedará una vez finalizada la Obra para uso del Teatro. Básicamente se adquirió un medidor tipo 2231, con filtros tipo 1625, con diversos módulos entre ellos el 7104, un analizador de tiempo real de dos canales tipo 2143, una fuente patrón tipo 4224, micrófonos, trípodes, calibradores y una computadora con programas adecuados. Además se adquirieron amplificadores, mezcladores y un grabador DAT. Por supuesto las mediciones rigurosas y estrictas sólo son posibles una vez finalizadas las Obras, pero sólo se pueden revertir tendencias negativas actuando cuando ello todavía es posible, de ahí los continuos ensayos. En la siguiente tabla se exponen algunos de los mismos que pueden revestir interés.

Tabla 5 - Evolución del tiempo de reverberación

Frecuencia-Hz	Jun-97	Jun-98	Ago-99	Sep-99
125	9,1	9,6	2,8	1,96
250	8,2	7,7	3,05	1,7

500	6,3	6,7	4,4	1.77
1000	5,7	5,3	4,6	1.78
2000	4,5	4,45	4,01	1.52
4000	2,82	2,95	2,5	1.23

En forma gráfica



En la tabla y el gráfico se muestra la evolución del tiempo de reverberación, medido en sala vacía, en ella puede observarse que en Junio de 1997 el techo estaba cubierto por madera para poder construir el cielo raso y en el resto sólo existía hormigón, en junio de 1998 ya se había construido el cielo raso de yeso, con los coeficientes medidos en cámara reverberante que se pueden observar más abajo, en agosto de 1999 estaba la sala sin butacas, sin cortinas ni alfombras, el resto estaba realizado. La última curva corresponde a Septiembre de 1999 con la sala completa y el telón de seguridad bajo.

En toda las etapas de obra, pero especialmente en aquéllas en que hubo cambios substanciales, por ejemplo, cuando se completó el cielo raso, cuando se entablonó el piso de platea ó cuando se comenzó a revestir la sala, era necesario realizar ensayos continuos, para ello se excitaba la sala con petardos y se grababa la respuesta de la sala con un grabador DAT. Ello se realizó de esta forma debido que, al no contar con cerramientos totales, el ruido de fondo era elevado. Para lograr un nivel de señal acústica que estuviese por encima del nivel de ruido, con una amplitud que permitiera el cálculo posterior, era necesario que este nivel fuese elevado, ello significaba contar con potencias importantes por lo que el traslado y alimentación de los amplificadores, en esa situación, era engorroso y demoraba un tiempo que la obra no permitía. Las grabaciones obtenidas se procesaban posteriormente.

Como se ha mencionado, previamente a algunas de las etapas constructivas, en donde debían introducirse materiales, se fueron realizando ensayos en laboratorio. Para el cielo raso de la sala, de 3 a 4 cm de espesor que puede observarse terminado en la figura 9, se construyó una muestra que fue ensayada en el laboratorio de Acústica y Luminotécnica, dependiente del Centro de Investigaciones Científicas de La Provincia de Buenos Aires, estos ensayos serán explicados con detalles en otra charla de este mismo Congreso, obtenidos estos valores se evaluaron sus resultados y recién entonces se aprobó la construcción del cielo raso mencionado.

El ensayo fue realizado en una maqueta de aproximadamente 12 m², con humedad y temperatura registrados continuamente para las correcciones correspondientes, cuidando detalles tales como construir un muro perimetral a esta muestra y sobre él apoyar el cielo raso

en forma invertida para emular la cámara de aire posterior al mismo en su emplazamiento definitivo.

Estos resultados permitieron llevar estos coeficientes, con algunas correcciones, a las tablas de tiempo de reverberación.



Figura 9

Tabla 6- Cielo raso-absorción medida

Frecuencia-Hz	Absorción medida	Absorción considerada
125	0.032	0.1
250	0.04	0.08
500	0.021	0.06
1000	0.04	0.04
2000	0.054	0.04
4000	0.091	0.05

La diferencia en la absorción, que se consideró luego para utilizar en las tablas, fue atribuída a la porosidad de la muestra de laboratorio, por su reciente fabricación y a la falta de pintura que cerrase los poros del yeso. En bajas frecuencias se optó por tomar los valores clásicos.

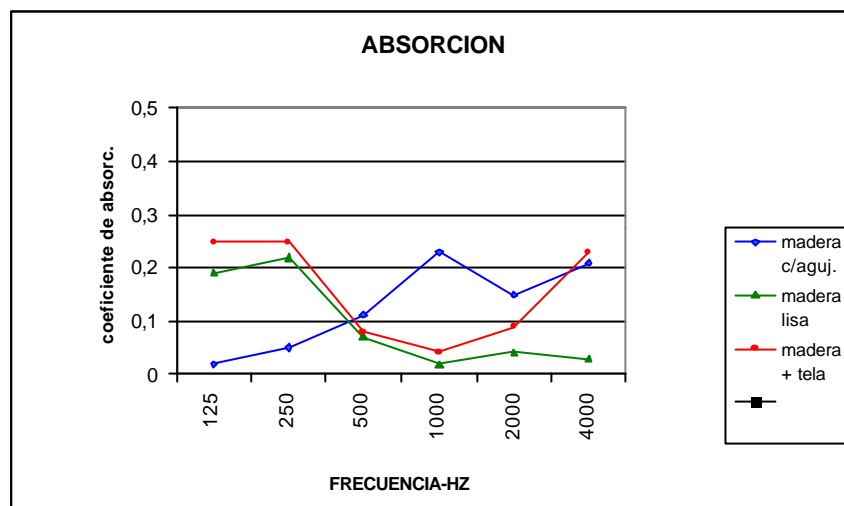
De la misma forma se ensayaron los paneles de madera tapizados de tela, que firmemente adheridos a un entramado de madera cubrieron posteriormente las paredes. Estos paneles se realizaron con un material fenólico y luego de fijados a las paredes, fueron cubiertos con la tela decorada.

Tabla 7 - Coeficientes de absorción de paneles

Frecuencia-Hz	madera c/aguj.	madera lisa	Madera + tela
125	0,02	0,19	0,25
250	0,05	0,22	0,25
500	0,11	0,07	0,08

1000	0,23	0,02	0,04
2000	0,15	0,04	0,09
4000	0,21	0,03	0,23
8000			

En forma gráfica



Respecto a las butacas, el fabricante contratado para su provisión proporcionó los valores de absorción medidos en cámara anecoica, estos valores fueron comparados y modificados para el cálculo de acuerdo a las experiencias de Beranek, Hidaka y otros, ver bibliografía.

Tabla 8 -Butacas-Comparación entre valores

Frecuencia-Hz	Figueras-s/ocup	Figueras/ocup	Beranek-s/ocup	Beranek-ocup.
125	0.38	0.5	0.56	0.68
250	0.46	0.65	0.64	0.75
500	0.62	0.75	0.7	0.82
1000	0.49	0.79	0.72	0.85
2000	0.43	0.81	0.68	0.86
4000	0.39	0.73	0.62	0.86
8000				

Absorción de butacas

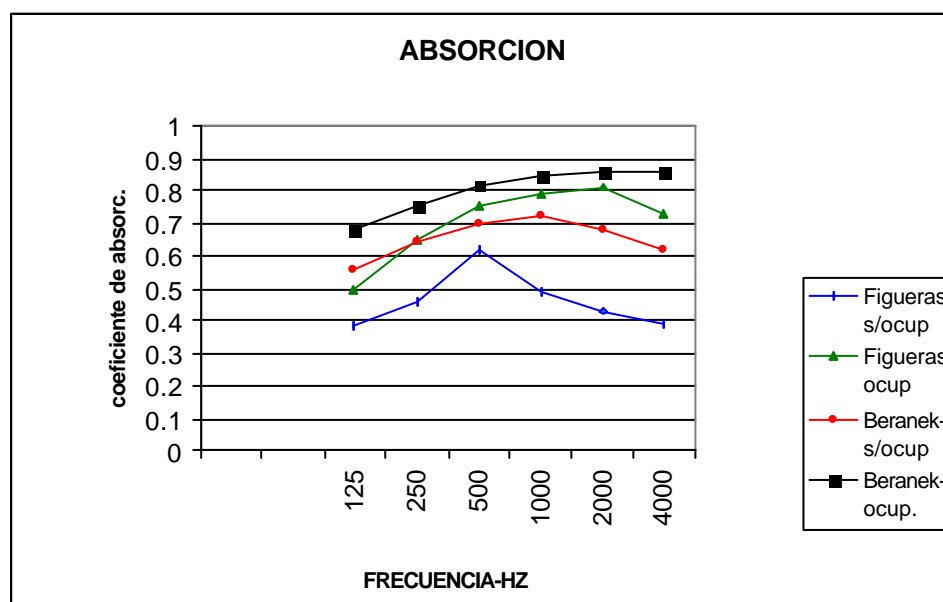




Figura 10



Figura 11

En la figura 10 se puede observar, en el día del concierto de inauguración, el aspecto de la bandeja trasera, donde se visualiza perfectamente la distancia entre bandejas, que facilita la

penetración del sonido en ellas. En la figura 11 se muestra una vista del escenario en un ensayo.

Tabla 9
Tiempos de reverberación calculados para sala vacía

N	Sala Lírica	Volumen total [m3]	15030 SUP. M2	125Hz		250 Hz		500Hz		1kHz		2kHz		4kHz	
				a	as	a	aS	a	aS	a	aS	a	aS	a	aS
1	MATERIALES														
2	cielo raso (yeso)	946	0.1	94.6	0.08	75.68	0.06	56.76	0.04	37.84	0.04	37.84	0.05	47.3	
3	Piso (madera)	866	0.15	129.9	0.12	103.92	0.1	86.6	0.08	69.28	0.07	60.62	0.06	51.96	
4	boca de escena-telón segur.	126	0.1	3	0.07	8.82	0.06	7.56	0.06	7.56	0.06	7.56	0.06	7.56	
5	platea y bandejas-s/público	198	0.14	27.72	0.12	23.76	0.08	15.84	0.06	11.88	0.06	11.88	0.04	7.92	
6	600 sillas tapizadas-s/público	830	0.7	581	0.76	630.8	0.81	672.3	0.84	697.2	0.84	697.2	0.81	672.3	
7	foso (madera)	300	0.36	108	0.47	141	0.57	171	0.62	186	0.62	186	0.6	180	
8	paredes (madera)	108	0.1	10.8	0.07	7.56	0.06	6.48	0.06	6.48	0.06	6.48	0.06	6.48	
9	antepechos (madera)	1114	0.19	211.66	0.22	245.08	0.07	77.98	0.02	22.28	0.04	44.56	0.03	33.42	
10	aberturas(cortinas)	458	0.02	9.16	0.04	18.32	0.05	22.9	0.05	22.9	0.1	45.8	0.05	22.9	
11	arco proscenio (madera)	222	0.14	31.08	0.35	77.7	0.55	122.1	0.72	159.84	0.7	155.4	0.65	144.3	
12	alfombras (pasillo)	451	0.02	9.02	0.04	18.04	0.05	22.55	0.05	22.55	0.1	45.1	0.05	22.55	
13	aire	343	0.15	51.45	0.17	58.31	0.12	41.16	0.32	109.76	0.52	178.36	0.57	195.51	
14	Suma superficies	5962		1267		1408		1303		1399		1576		1738	
15	Tiempo (Sabine)			1.9		1.71		1.84		1.72		1.53		1.38	

En la tabla precedente se han incorporado los coeficientes de absorción medidos en laboratorio y se tuvieron en cuenta además los valores publicados por Beranek e Hidaka según ref [14]. Estos valores son muy próximos a los medidos con sala vacía en Sept. 1999, según tabla 5.

4. Impresiones subjetivas

Sorprendió favorablemente, en la etapa en que todavía no había piso de madera, cielo raso, ni revestimientos en las paredes, que aún así la inteligibilidad era buena para un cantante que entonó a "cappella" un aria de ópera, ello demostró la buena conformación geométrica de la sala.

Este comentario favorable se fue confirmando en etapas sucesivas. Cuando se terminó la colocación de las butacas, se ensayó con un conjunto de cámara, un trío integrado por flauta, violín y viola y volvió a satisfacer la forma en que se escuchaba, con limpieza y claridad. Luego en los ensayos para la inauguración la buena impresión de los músicos se generalizó. El comentario adicional de estos artistas fue que "se tocaba con facilidad".

Esta misma idea fue sostenida por los solistas del elenco de inauguración y los cantantes participantes afirmaron tener un buen retorno de la sala.

Debido a que la función inaugural contemplaba la presentación de todos los elencos estables con que cuenta el teatro, es decir coro, orquesta y cuerpo de baile, la caja de orquesta, cedida por el Teatro Colón, fue colocada más atrás de lo habitual, según su diseño, para dejar conformado un escenario mayor que el normal, que además en su interior no tenía los elementos absorbentes habituales. (ver figura 12) Todo esto no fue satisfactorio desde el punto de vista acústico. No obstante la impresión inicial fue auspiciosa y la prensa especializada comentó favorablemente la acústica, pese a ciertas improvisaciones que no confirieron al estreno un carácter definitivo, pues como ya se mencionó resta terminar el escenario y foso mecanizado, además de otras áreas del complejo.



Figura 12

El diario La Nación, en un artículo firmado por el crítico Juan C. Montero, actual director del Teatro Colón, dijo dos días después del concierto inaugural, refiriéndose a la acústica "La nueva sala posee un equilibrado balance de frecuencias de la orquesta y buena definición en volumen y timbre de los cantantes"

Bibliografía

1. Barron. M (1993) Auditorium Acoustics and Architectural Design (E and FN Spon and Chapman& Hall, London)
2. Barron.M. Balcony overhangs in concert auditoria. JASA 98- pag 2580-2589
3. M.Barron.M.-Bass sound in concert auditoria. JASA 97- pag 1088-1098
4. M.Barron.M. -Loudness in Concert Halls- ACUSTICA Vol. 82-pág. 21-29
5. Barron M.-(1995) Interpretation of early decay times in Concert Auditoria ACUSTICA Vol. 81 pág 320-331
6. Beranek. L.- " Concert hall acoustics-1992 " JASA 92 -pág 1-39
7. Beranek. L. -1996-Concert and Opera Halls: How they sound (Acoustical Society of America, Woodbury, NY)
8. Cremer,L.,Mueller,H. and Schulyz,T. (1982) Principles and aplicaciones of room acoustics. (Applied Science Publishers, Essex, England and Elsevier, New York)
9. Harris. C. -Handbook of noise control- Mc. Graw Hill-New York (Acoustic Society of America)
10. T.Hidaka-L.Beranek-T.Okano (1995)-Interaural cross-correlation, lateral fraction, and low and high frequency sound levels as measures of acoustical quality in concert halls. JASA 98-pág 988-1007
11. T.Hidaka-L.Beranek-Objetive and subjetiv evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan and the Americas.JASA -107-pag 368-383
12. ISO 3382-(1997) " Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters
13. T.Okano-L.Beranek-T.Hidaka (1988) -Relations among interaural cross-correlation coefficient ($IACC_E$), lateral fraction (LF_E), and apparent sound width (ASW), in concert halls.JASA-104- pag 255-265
14. L.Beranek-T.Hidaka-Sound absorption in concert halls by seats, occupied and unoccupied, and by the hall's interior surfaces.JASA 104-pag 3169-3177
15. T.Hidaka-L.Beranek-T.Okano (2000) -Acoustical design of the Tokyo Opera Cit-Acoustical design of the Tokyo Opera City (TOC) Concert hall, Japan, JASA 107-pág 340-354
16. L.Beranek-T.Hidaka-S. Masuda-(2000) Acoustical design of the opera house of the New National Theatre, Tokyo, Japan.JASA 107 - pág 355-367
17. S.Bech-Timbral aspects of reproduced sound in small rooms.JASA 97-pág 1717-1726
18. J. Bradley- Comparison of Concert hall measurements of spatial impression. JASA 96- pag 3525-3535
19. J. Bradley-The sound absorption of occupied auditorium seating.JASA 99-pag990-995
20. J. Bradley-G.Soulodre-The influence of late arriving energy on spatial impression.JASA 97- pag 2263-2271
21. W. Davies-R.Orlowski-Y. Lam-Measuring auditorium seat absorption.JASA 96-pag 879-888
22. J. Meyer- The sound of the Orchestra.JASA 41-pag 203-213
23. T. Schultz-Problems in the measurement of reverberation time.JASA 11-pag 307-317
24. J. Bradley-G.Soulodre-The influence of late arriving energy on spatial impression.
25. W. Davies-R.Orlowski-Y. Lam-Measuring auditorium seat absorption.
26. J. Meyer- The sound of the Orchestra.
27. T. Schultz-Problems in the measurement of reverberation time.