

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS TEATROS A LA ITALIANA A PARTIR DEL ESTUDIO DE SU GEOMETRÍA.

PACS: 43.55.Gx

Barba Sevillano, A.¹; Giménez Pérez, A.¹; Segura García, J.²; Montell Serrano, R.¹

¹ Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. Física Aplicada. Camino de Vera S/N

² Instituto de Robótica, Universitat de València

{arbase@fis.upv.es, agimenez@fis.upv.es}

ABSTRACT

The graphic procedures for acoustical analysis of an enclosure are a simple and intuitive way to obtain great knowledge about the behaviour of the sound in a room and about its acoustics. In this study we have analyzed the architectural typology "Italian Style Theatre" in order to determine the impact in the acoustics of its geometric shape. Our basic tool has been geometric acoustics, and the results have been checked by means of computer simulations and measurements in situ carried out from the Polytechnic University of Valencia.

RESUMEN

Los procedimientos geométricos gráficos para el análisis acústico de un recinto constituyen una forma rápida e intuitiva de obtener un conocimiento razonablemente aproximado del comportamiento del sonido en una sala. En este estudio hemos analizado diferentes morfologías de la tipología arquitectónica teatral a la italiana, determinando la repercusión de la geometría de la planta en el funcionamiento acústico global del recinto. La herramienta básica utilizada ha sido la acústica geométrica, y los resultados que se exponen han sido cotejados con medidas in situ en salas teatrales y con estudios realizados con simulaciones informáticas llevados a cabo desde la Universidad Politécnica de Valencia.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo acústico de la arquitectura operística a lo largo de la historia poco ha tenido que ver con el ámbito de los estudios matemáticos o numéricos. Numerosos tratadistas

del siglo XVIII de la talla de Algarotti [1], Patte [2], Saunders [3], Milicia [4] o Noverre [5] abordaron en sus escritos todo tipo de cuestiones relacionadas con el diseño y la edificación de salas teatrales y operísticas, pero la mayor parte de los razonamientos y juicios relacionados con la acústica que encontramos en ellos no gozan de un respaldo científico que los avale. Como en tantas facetas de la evolución humana, la fortuna, la intuición y la experiencia fueron las claves que permitieron mejorar constantemente los modelos teatrales optimizando el resultado visual y sonoro de las salas.

Desde sus inicios, los teatros a la italiana tuvieron que afrontar numerosas dificultades funcionales propias de las representaciones operísticas: por una parte los cantantes, actores, actrices o coros actúan como fuente emisora proyectando sonido desde el interior de la caja escénica al tiempo que necesitan percibir con claridad el sonido de la orquesta, que es emitido desde el foso orquestal situado en el volumen de la zona de público. Recíprocamente, el director y los componentes de la orquesta emiten desde el foso y necesitan percibir con claridad el sonido de los cantantes procedente del escenario; y por encima de todo, el público asistente a las representaciones tiene que percibir con claridad los sonidos de la orquesta y de los cantantes, manteniéndose el equilibrio entre ambos. Una compleja problemática para cuya resolución únicamente se contaba con medios arquitectónicos y geométricos: disponer las pendientes adecuadas en platea y escenario; elegir las geometrías y curvaturas convenientes en planta; proporcionar alturas y profundidades óptimas en palcos; orientar adecuadamente la inclinación del arco de proscenio;... Nada más y nada menos.

Para el análisis de los modelos teatrales nos hemos valido de la llamada "Acústica Geométrica", que nos permite predecir de modo intuitivo la respuesta acústica de una sala. Analizaremos diferentes morfologías teatrales partiendo del comportamiento de las reflexiones del sonido en sus paramentos interiores, admitiendo la simplificación que supone considerar que el sonido al encontrarse con un obstáculo se refleja de acuerdo a las leyes de reflexión especular de la óptica y con una pérdida de energía variable según el material del objeto. No cuantificaremos esa energía ni obtendremos numéricamente valores de parámetros normalizados en ningún caso. Sin embargo hemos comprobado en trabajos anteriores que una adecuada interpretación de este análisis gráfico proporciona una idea bastante aproximada de los márgenes entre los que oscilarán los parámetros acústicos [6].

2. LOS TEATROS A LA ITALIANA: EN BUSCA DE LA GEOMETRÍA PERFECTA

Durante el siglo XVIII se generalizó en toda Europa el uso del modelo arquitectónico teatral italiano con la presencia desde sus inicios de múltiples variantes geométricas en el diseño de la planta que en ningún caso desvirtuaron los postulados de partida de la tipología teatral italiana ya codificada en el siglo XVII. Fue un período de investigación y estudio sobre la forma más adecuada que debía tener una sala operística para conseguir una visibilidad y una acústica óptimas. No fueron pocos los teóricos que proclamaron abiertamente la primacía visual, estética y/o acústica de alguno de los modelos geométricos empleados sobre los demás basándose en razonamientos que, la mayoría de las veces, se hallaban desprovistos de rigor científico alguno. Las principales geometrías que adoptaron los teatros de ópera son [7] [8]:

1- La **forma elíptica**, que fue adoptada en diseños tan relevantes como el Teatro Tordinona en Roma (1670), Teatro Argentina de Roma (1732), o Teatro Regio de Turín (1738-1740). El teórico francés P. Patte (1723-1814) en su *Essai sur l'architecture théâtrale* [2] establece que la elipse es la forma geométrica más favorable para obtener una correcta acústica y una adecuada visión en los teatros y propone el diseño de un teatro ideal de acuerdo con estos postulados ideológicos (Figura 1).

2- La **forma circular** en planta será la óptima para tratadistas como el francés A. J. Roubo [9] o el inglés G. Saunders [3]. Este último, en su *Treatise on theatres* de 1790 se decanta por la geometría circular sin aportar ningún razonamiento físico que justifique científicamente su superioridad sobre el resto de las geometrías; Saunders propone en su

tratado los planos de un teatro y de una casa de ópera ambos de planta circular (Figura 2), diseño pretendidamente teórico que fue adoptado sin apenas variaciones por B. Dean Wyatt en su proyecto del londinense Theater Royal Drury Lane (1811).

El arquitecto neoclásico francés C. N. Ledoux (1736-1806) defiende en su tratado de 1804 [10] la superioridad del trazado semicircular argumentando nuevamente la mejor visión del escenario que se obtiene. Para Ledoux la geometría circular es la “única forma que deja la posibilidad de descubrir todas las escenas del teatro”. Ledoux proyectó y construyó el Teatro de Besançon (1784).

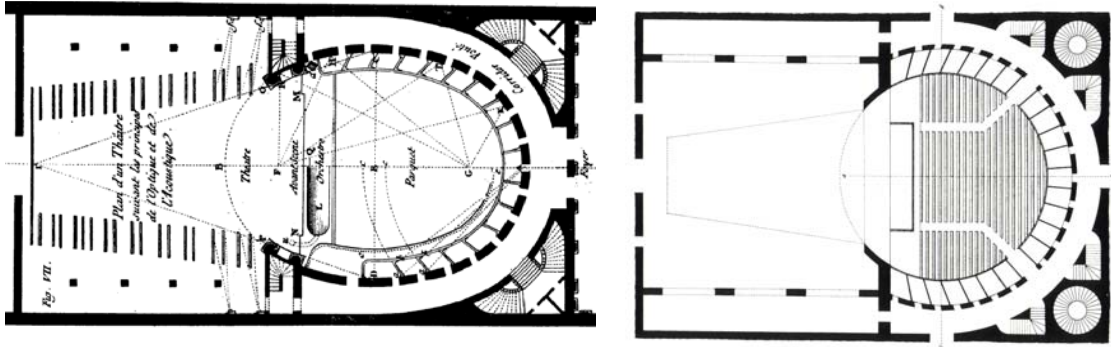


Figura 1 (Izq.) – Planta teatral diseñada por P. Patte (1782)
Figura 2 (Der.) – Planta de la Casa de Ópera diseñada por G. Saunders (1790)

3- La **forma de campana** fue otra geometría de gran aceptación durante los siglos XVII y XVIII. Tres generaciones de arquitectos de una misma familia fueron sus creadores y difusores: los Galli-Bibiena que alcanzaron fama en toda Europa por sus brillantes diseños arquitectónicos teatrales, de maquinaria escénica, decorados, etc. Entre los teatros diseñados por esta familia, destacamos: Teatro de Ópera de Rietplatz (Viena, 1706-08), el Teatro Aliberti (Roma, 1720), el Teatro Filarmónico de Verona (1732), el Markgräfliches Opernhaus de Bayreuth (1744-48, Figura 3) y el Teatro Comunale de Bolonia (1756-1763).

No faltaron tampoco detractores del empleo de esta geometría; el Conde F. Algarotti (1712 – 1764), criticó la forma acampanada al calificar de absurdo lo que él considera la justificación de su empleo: que un cantante pueda hacer entrar en vibración las superficies de un teatro colocándose en posición análoga al badajo de una campana [1].

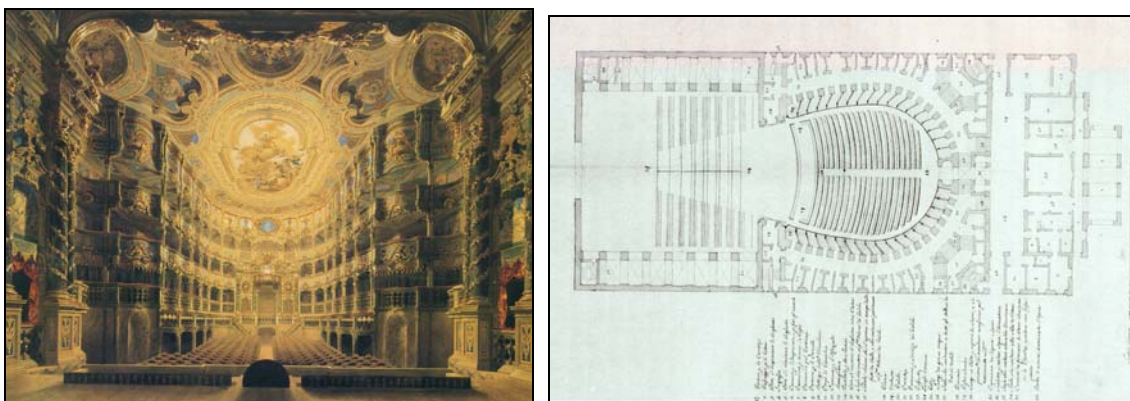


Figura 3 (Izq.) – Markgräfliches Opernhaus de Bayreuth (G. Galli-Bibiena, 1744 - 1748)
Figura 4 (Der.) – Planta del Teatro alla Scala de Milán (L. Piermarini, 1778)

4- La **forma en herradura** fue una de las más presentes en los teatros de los siglos XVIII y XIX, y dio vida a algunos de los que aún hoy siguen siendo considerados los más gloriosos coliseos operísticos a nivel mundial: el Teatro alla Scala de Milán de 1.778 (Figura 4) el Teatro di San Carlo de Nápoles (1737), la Staatsoper de Viena (1869) o el Teatro Colón de Buenos Aires (1908). En España cabe citar el Gran Teatre del Liceu de Barcelona (1847) proyectado “a imitación del Teatro de la Scala de Milán” y de “dimensiones análogas” [11], el Teatro Real de Madrid (1850) o el Teatro Principal de Valencia (1774-1832).

3. ANÁLISIS ACÚSTICO-GEOMÉTRICO

A priori toda sala teatral a la italiana genera una concentración de reflexiones en la zona posterior de la misma con independencia de la geometría adoptada en cada caso. Para verlo fácilmente, basta hacer una fuerte simplificación formal y plantear las reflexiones especulares de sonido que se producirían en un teatro cuya platea fuese rectangular (Figura 5).

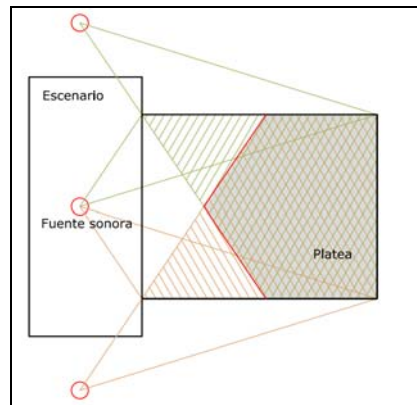


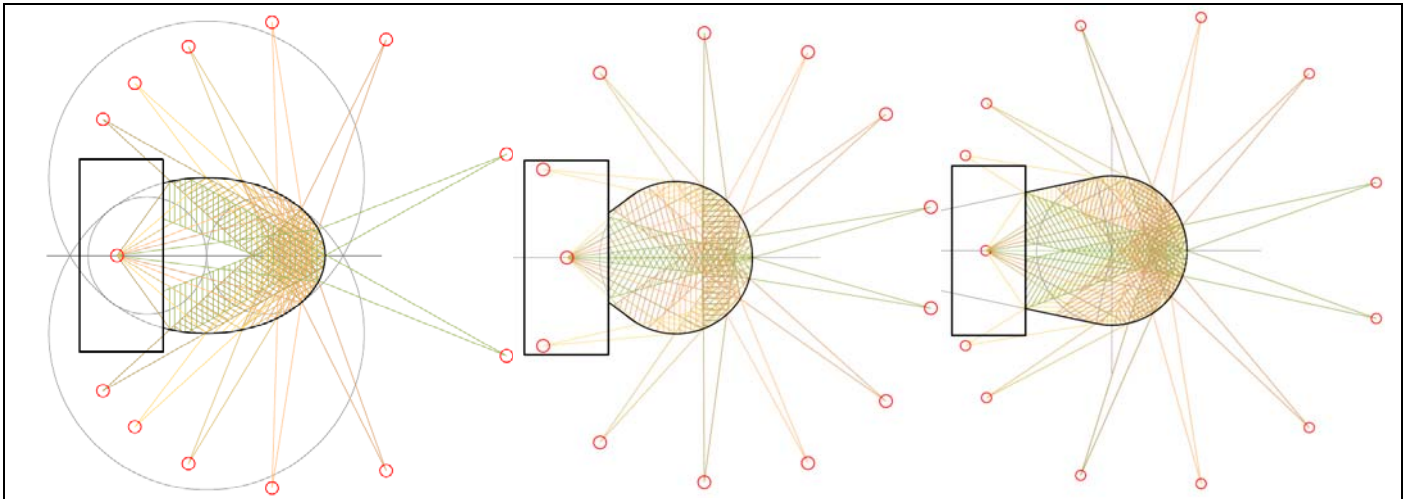
Figura 5 – Simplificación formal: reflexiones especulares de los paramentos laterales en un teatro de platea rectangular (elaboración propia)

En las Figuras 6, 7, 8 podemos observar el comportamiento de las reflexiones sonoras iniciales en tres modelos geométricos de ópera a la italiana: **la elipse**, **la circunferencia** y **la herradura**. Las tres geometrías se comportan de un modo similar generando concentraciones de energía sonora tempranas en la parte posterior de la platea. Este fenómeno no nos debe extrañar, pues la geometría de las salas teatrales y de los auditorios siempre ha tratado de suplir con medios arquitectónicos las carencias de nivel sonoro que tienen las filas más alejadas del escenario debido a la atenuación natural del sonido con la distancia y a la absorción de los materiales. Así, contrariamente a lo que se pudiera pensar, el sonido emitido por los cantantes o actores es percibido con gran claridad y con niveles energéticos (dB) muy elevados en las filas del tercio posterior del patio de butacas de estos modelos geométricos, como ya se ha puesto de manifiesto en publicaciones anteriores [12] [13].

Las curvaturas de los teatros inducen un mecanismo acústico similar a las llamadas “galerías de susurros”, en las que las reflexiones de las distintas partes de un elemento curvo se focalizan en un punto o zona en la cual se produce un incremento sonoro claramente perceptible. Por tanto, las localidades del tercio posterior de platea reciben gran cantidad de reflexiones laterales tempranas que provocan valores elevados de G (por concentración), C80 y D50 (por el reducido tiempo de llegada de las reflexiones) y LF (por la procedencia lateral de éstas). El $IACC_E$ mostrará mejores valores en las localidades apartadas del eje central de la sala.

Dado que la geometría elíptica se estrecha en la zona posterior de la sala (Figura 6), se genera en ella una concentración sonora localizada en torno al foco de la misma, mientras la

circunferencia y sobre todo la herradura focalizan el sonido abarcando una franja espacial de mayor anchura (Figuras 7 y 8). En las tres geometrías curvas el tercio delantero de la sala queda prácticamente despojado de reflexiones tempranas lo cual se traduce en una sensación de falta de espacialidad en la percepción sonora desde estas localidades (muy bajos valores de LF), si bien la escasa distancia entre estos oyentes y el emisor sonoro (cantante, actor, etc.) hace que en su percepción predomine la potencia del sonido directo sobre las cualidades acústicas aportadas por la sala teatral (muy elevado SPL y G).



Trazado de Reflexiones de Primer Orden (elaboración propia)

Figura 6 (Izq.) – Geometría en Elipse

Figura 7 (Centro) – Geometría Circular

Figura 8 (Der.) – Geometría en Herradura

La **forma teatral acampanada** presenta una geometría definida por tres tramos curvos: Convexo- Cóncavo-Convexo. Al estudiar las geometrías anteriores hemos podido apreciar que las curvas cóncavas generan concentración de sonido. De forma contraria las curvas convexas producirán dispersión sonora permitiendo que el sonido alcance a un mayor número de oyentes (Figura 9).

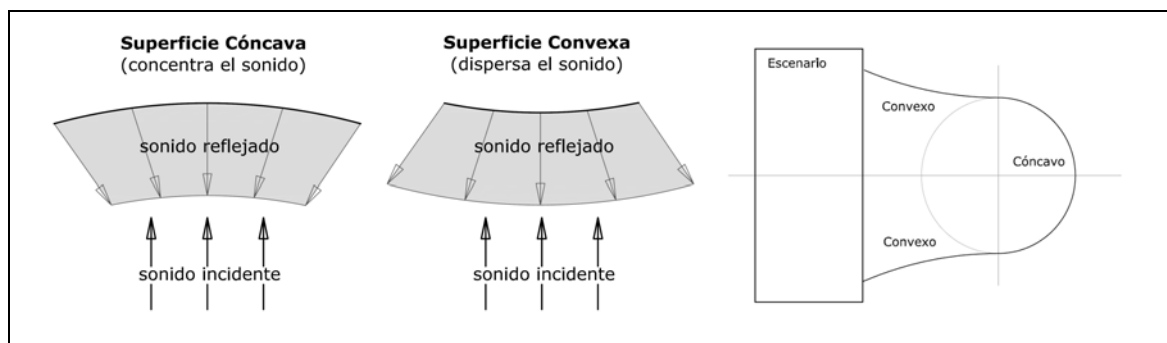
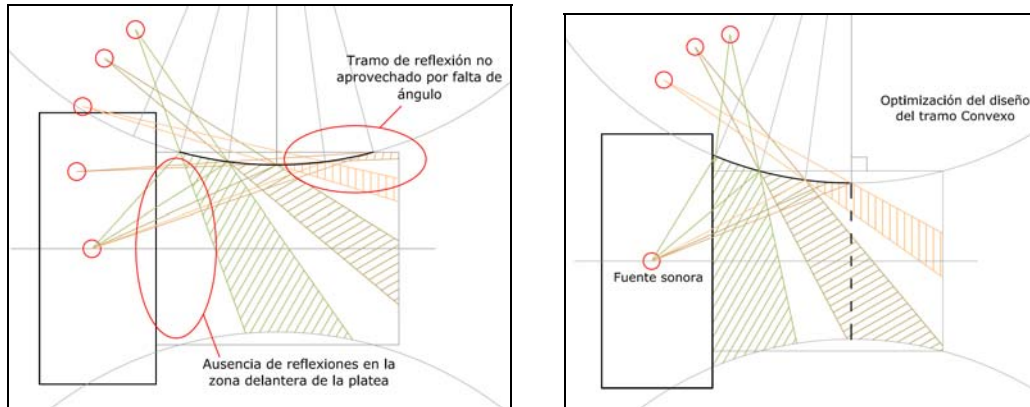


Figura 9 – Efecto de la curvatura en la reflexión del sonido (elaboración propia)

En función de la longitud del tramo convexo, de su radio de curvatura y de su colocación en la sala, éste puede ayudar a conseguir los objetivos acústicos propuestos o entorpecerlos. La Figuras 10 y 11 muestran los efectos de las reflexiones iniciales producidas con el empleo, erróneo en el primer caso y adecuado en el segundo, de curvas convexas en los laterales de una sala teatral. En la Figura 10 la curvatura se halla centrada en el lateral de la sala mientras en la Figura 11 se optimiza el diseño de la curva convexa desplazando su centro

hacia el fondo de la platea (derecha de la imagen) y desechando el tramo curvo que apenas gozaba de visión directa de la fuente. Además se incluye en la sala el tramo de curvatura inicial junto al escenario, que proporcionará reflexiones tempranas a las filas delanteras



Figuras 10, 11 – Estudio del tramo convexo de la geometría acampanada (elaboración propia)
Izq.: curvatura centrada en lateral de la sala. Der.: curvatura desplazada hacia el fondo de platea.

La Figura 12 muestra el trazado de las reflexiones iniciales de un teatro de forma acampanada. Se observa que el reparto sonoro es más homogéneo que en las anteriores geometrías estudiadas, ya que los tramos convexos aportan reflexiones a las filas delanteras y centrales, mientras el tramo cóncavo trasero focaliza y concentra sus reflexiones sonoras en los oyentes situados en la parte posterior de la sala (los más alejados de la fuente) al tiempo que envía reflexiones tardías a la zona delantera.

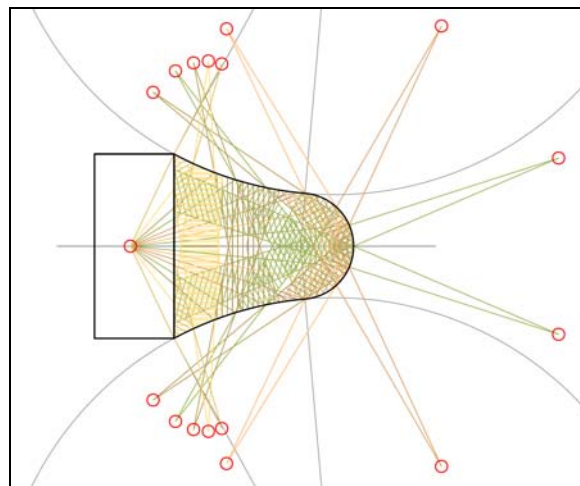


Figura 12 – Geometría en forma de Campana: trazado de las primeras reflexiones (elaboración propia)

4. CONCLUSIONES

Aplicando una simplificación del comportamiento real del sonido, hemos analizado diferentes cualidades acústicas de diseños teatrales históricos a partir del estudio gráfico de su geometría, basándonos únicamente en la Acústica Geométrica. Las conclusiones enunciadas a continuación han sido contrastadas con los resultados de las medidas "in situ" realizadas en diferentes teatros de la Comunidad Valenciana.

- Teatros a la italiana de **planta Circular, en Elipse, o en Herradura**:
 - las **localidades delanteras y centrales de la platea** reciben niveles de energía elevados (SPL, G) pero el sonido del actor o del cantante no “envuelve” al oyente, la sensación de espacialidad es baja (LF). Las reflexiones sonoras que se reciben desde el fondo de la sala tardan demasiados milisegundos en llegar por la lejanía de dichas superficies y no ayudan por tanto a aportar claridad (C80) ni definición (D50) al conjunto sonoro recibido.
 - En las **localidades del tercio posterior** del patio de butacas, el nivel de energía (G) sigue siendo elevado por la acumulación de reflexiones de sonido que aporta la geometría curva, y la sensación de claridad, espacialidad y de sonido envolvente es óptima por la procedencia variada y cercana de los rayos sonoros recibidos (IACC_E, LF). Estas reflexiones llegan con un retraso mínimo tras el sonido directo reforzándolo y aumentando la sensación de claridad y precisión en la escucha de textos y de música (C80, D50).
- Teatros a la italiana de **planta Acampanada**:
 - Su comportamiento acústico es análogo a las anteriores geometrías, presentando una mejor difusión sonora (a medias y bajas frecuencias) y mayor sensación de espacialidad (LF, IACC) en la zona delantera de platea debido a la alternancia curva-contracurva de la planta.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de los Proyectos Coordinados pertenecientes a los Planes Nacionales I+D+I del Ministerio de Ciencia e Innovación cuyas referencias son BIA2003-09306-C04 y BIA2008-05485.

6. REFERENCIAS

- [1] Algarotti: *Essai sur l'Opéra (traduit de l'italien du Comte Algarotti)*, París, 1773
- [2] Patte, P.: *Essai sur l'architecture théâtrale*, París, 1782
- [3] Saunders, G.: *Treatise on theatres*, Londres, 1790
- [4] Milizia, F.: *Del Teatro*, Venecia, 1773
- [5] Noverre, M.: *Observations sur la construction d'une nouvelle salle de l'opera*, París, 1781
- [6] Barba, A.: *El Teatro Principal de Valencia. Evolución arquitectónica desde sus inicios y análisis de su acústica actual*, DCADHA, Universidad Politécnica de Valencia; Trabajo de investigación, 2008
- [7] Izenour, G. C.: *Theater Design*, U.S.A., McGraw-Hill Book Company, 1977
- [8] Forsyth, M.: *Buildings for music*, Cambridge, Cambridge University Press, 1985
- [9] Roubo, A. J.: *Traité de la construction des théâtres et des machines théâtrales*; París, 1777
- [10] Ledoux, C. N.: *L'architecture considérée sous le rapport de l'art, des moeurs et de la législation*, República Federal Alemana, 1984 (Facsimil de la edición: París, 1847)
- [11] Solà-Morales, I.; Dilmé, Ll.; Fabrè, X., et al.: *Liceu. Un espacio para el arte*, Barcelona, U.P.C.-Fundació Gran Teatre del Liceu-Lundweg editores, 1999
- [12] Barba, A.; Giménez, A.; Segura, J.; Lacatis, R. G.: *¿Cómo “suena” un teatro a la italiana? El Teatro Principal de Valencia*, 40º Congreso Nacional de Acústica TecniAcústica, Cádiz, 2009
- [13] Iannace, G.; Ianniello, E.: *Changes in Subjective Sound-focusing effects in the plan of horse-shoe shaped opera theatres*, International Congress Acoustics08-Paris, 2008