

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE TEATROS-CIRCO EN BASE A LA NORMATIVA ISO-3382

Samuel Quintana¹, José A. Ballesteros¹, Marcos D. Fernández¹,
María Machimbarrena², Reine Johansson³

¹Escuela Politécnica de Cuenca

{Samuel.Quintana@uclm.es; JoseA.Ballesteros@uclm.es; Marcos.Fernandez@uclm.es}

²Departamento de Física Aplicada. Universidad de Valladolid

{mariao@opt.uva.es}

³INTECO; International Technology Consulting, Uddevalla, Sweden

{reine.johansson@inteco.se}

Resumen

Los Teatro-Circo son un tipo particular de espacios escénicos que se caracterizan fundamentalmente por la posibilidad de intercambiar la configuración típica como Teatro, donde la caja escénica se acopla a la sala principal de forma cuasi-circular y estética habitualmente modernista, a una configuración más Circense donde se adapta el patio de butacas para montar mecánicamente un escenario sobre la planta central del recinto. A pesar de que existe abundante literatura tratando de evaluar objetiva y subjetivamente una gran diversidad de espacios escénicos, los Teatros-Circo no han sido estudiados hasta el momento. Este trabajo pretende ser una primera aproximación al estudio acústico de este tipo de espacios escénicos. Tras realizar una selección y descripción de diversos recintos susceptibles de ser estudiados, se presentan los resultados experimentales obtenidos siguiendo una metodología de medida basada en la norma ISO-3382, así como un análisis preliminar de dichos resultados.

Palabras clave: Teatro-Circo; parámetros acústicos; ISO 3382

Abstract

The Circus-Theaters are a particular type of scenic spaces which have the possibility of changing the typical Theater functional configuration, where the scenic box is coupled to the main room in a quasi-circular and usually modernist aesthetic way, into a configuration more Circense where the seating area is adapted and a stage on the central floor of the enclosure can be mounted mechanically. Although there is abundant literature trying to objectively and subjectively evaluate a great diversity of scenic spaces, the Circus-Theaters have not been studied so far. This work intends to be a first approach to acoustic characterization of this type of scenic spaces. After making a selection and description of various Circus-Theaters, the experimental results obtained following a measurement methodology based on the ISO-3382, are presented, as well as a preliminary analysis of these results.

Keywords: Circus-Theaters, acoustic parameters, ISO 3382

PACS n°. 43.55.Gx

1 Introducción y objetivos

Se podría establecer que la arquitectura de los Teatro-Circo en España utiliza los espacios escénicos tradicionales de finales del siglo XIX, para adaptarlos, mediante las técnicas de diseño y materiales propios de la segunda revolución industrial, a las necesidades culturales y tendencias de la sociedad civil de la época.

A principios del siglo XX muchos teatros se reconvierten en espacios multifuncionales que tratan de ofrecer una variada programación en sus espectáculos, desde obras de teatro hasta las primeras proyecciones cinematográficas (1895), pasando por todo tipo de espectáculos (circo, festivales ecuestres, peleas de gallos, acrobacias y magia, bailes, etc.). En las últimas décadas del siglo XIX y en las primeras del XX, casi cuarenta ciudades españolas contaban con un Teatro-Circo [1] (principalmente en las comunidades gallega y cántabra, levantina, andaluza y catalana), llegándose a construir más de sesenta edificaciones de este tipo, de las cuales actualmente continúan en funcionamiento solamente seis. Los Teatros-Circo que tienen actualmente esta denominación en España son: Teatro-Circo Apolo en El Algar/Cartagena (Murcia); Teatro-Circo de Albacete (Albacete); Teatro-Circo de Murcia (Murcia); Teatro-Circo Atanasio Díe Marín en Orihuela (Alicante); Teatro-Circo Price en (Madrid); Teatro-Circo de Marte en Santa Cruz de la Palma (San Cruz de Tenerife).

El diseño, que les hace particularmente atractivos, es tal que permite ubicar la escena en una posición central del teatro, que a modo de pista de circo facilita la observación del espectáculo desde cualquier ángulo, ya que los espectadores se pueden situar tanto en altura como en cualquiera de los sectores circulares alrededor de la escena en una visión de casi 360°. Para que esto sea posible, el teatro sacrifica las localidades del patio de butacas para albergar un escenario circular, que se desplaza de la posición habitual dentro de la caja escénica de los teatros “a la italiana” [2], a la posición central de la sala. El Teatro-Circo Carré de Ámsterdam y el Teatro-Circo de Albacete [3] son dos ejemplos coetáneos (1887) de este tipo de arquitectura a nivel europeo y nacional, datando de 1852 el edificio circense más antiguo (Cirque D’Hiver de Paris). Paralelamente a este artículo, se ha realizado un estudio comparativo del Teatro-Circo de Albacete en sus dos configuraciones de uso posible[4].

Dada la ausencia de estudios sobre este tipo de recintos, se ha planteado iniciar una línea de investigación, tomando como punto de partida el patrimonio del que se dispone en España. El estudio arranca con la selección de diversos recintos y el objetivo inicial es crear una base de datos de medidas in situ en este tipo de recintos. A partir de las medidas in situ, se determinarán diversos parámetros comúnmente empleados para la calificación de acústica de salas y, a partir de ellos, se podrá describir el comportamiento acústico de cada una de las salas estudiadas.

2 Descripción de los Teatro-Circo seleccionados

En este trabajo se han seleccionado los cinco primeros Teatros-Circo localizados en la península Ibérica de los seis mencionados anteriormente. Cabe destacar sin embargo que, aunque todos ellos conservan los aspectos formales de planta cuasi-circular, cubierta tronco-cónica y diseño con materiales metálicos propios de la revolución industrial, sólo dos de ellos, el Teatro-Circo de Albacete y el Teatro-Circo Price de Madrid, mantienen la posibilidad de posicionar el escenario tanto en la posición central en la planta del patio de butacas (circo), como en la posición tradicional sobre la caja escénica frente a los espectadores (teatro). La tabla 1 resume las principales características geométricas y de aforo de cada uno de los Teatros-Circo seleccionados. Las salas se presentan ordenadas en función del volumen de la sala principal (ascendente) y que coincide con el que se obtendría en función del aforo. Sus medidas oscilan desde los 2700m³ y 496 localidades del Teatro-Circo Apolo, hasta los 22000m³ y 2142 localidades del Teatro-Circo Price. El parámetro “volumen

relativo al aforo” oscila entre los 5,4m³ del teatro más pequeño, hasta los 10,3m³ por espectador en el teatro más grande. Las características de los recintos han sido contrastadas tanto con la base de datos del MIREM [5], como con la información proporcionada por los respectivos Ayuntamientos municipales y durante las visitas previas que se han realizado a todos los recintos para poder planificar el trabajo adecuadamente.

Tabla 1. Principales características de los Teatro-Circo evaluados.

Teatro-Circo	Ciudad / Provincia	Año construcción / Última reforma	Volumen; (m ³) Sala principal	Aforo	Volumen/Aforo (m ³ /espectador)	Circo (Modo)
				(nº. localidades)		
T.Circo Apolo	El Algar-Cartagena / Murcia	1904 / 2009	2700	496	5,4	No
T.Circo Albacete	Albacete / Albacete	1887 / 2002	7950	936	8,5	Si
T. Circo Murcia	Murcia / Murcia	1892 / 2011	8500	968	8,8	No
T. Circo Atanasio D.M.	Orihuela / Alicante	1908 / 1996	12300	1200	10,3	No
T. Circo Price	Madrid / Madrid	2002 / 2007	22000	2142	10,3	Si

Todos los Teatros se han estudiado inicialmente en una configuración típica de uso como teatro sin foso para orquesta, en situación de inocupación, con el escenario completamente vacío y con el telón levantado.

3 Selección de parámetros acústicos

Existen diversos parámetros que permiten la caracterización acústica objetiva de un recinto y cada vez más estudios que los relacionan con la percepción subjetiva manifestada, tanto por público experto como no experto, y con la calidad acústica de los recintos. Aunque hay muy diversos trabajos que se pueden utilizar como punto de partida [6]–[8], en este trabajo se ha utilizado la norma ISO 3382-1[9] como referencia tanto para la elección de parámetros acústicos, como por lo que respecta a los procedimientos de medida de estos. Ello sin duda facilitará la comparación con futuros estudios en este mismo campo.

Los parámetros acústicos estudiados, agrupados en función del aspecto subjetivo con el que se relacionan, se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Relación entre aspectos subjetivos y magnitudes objetivas, según norma ISO 3382-1

	Aspecto subjetivo	Magnitud		Promediado	Umbral	Rango típico	Unidades			
				(Hz)	(JND)	ISO 3382				
1	Nivel sonoro subjetivo	Fuerza sonora	G _m ; (dB)	500 - 1000	1 dB	-2dB ; +10dB	dB			
				octavas						
2	Reverberación percibida	Tiempo reverberación inicial	EDT _m ; (s)	500 - 1000	Rel. 5%	1,0 ; 3,0	s			
		Tempo de reverberación	RT _m ; (s.)	500 - 1000						
		octavas								
3	Claridad del sonido percibida	Claridad	C _{80m} ; (dB)	500 - 1000	1 dB	-5dB ; +5dB	dB			
		Definición	D _{50m}	500 - 1000				0,05	0,3 ; 0,7	(-)
		Tiempo central	T _{sm} ; (mseg)	500 - 1000				10 ms.	60ms ; 260ms	ms
4	Ancho aparente fuente-(ASW)	Fracción energía lateral	J _{LFm}	125 - 1000	0,05	0,05 ; 0,35	(-)			
5	Envolvente oyente -(LEV)	Magnitud binaural	IACC _{m 0,50}	500 - 2000	0,075		(-)			
			IACC _{m 0,80}	500 - 2000						
			IACC _{m 50,+}	500 - 2000						
			IACC _{m 80,+}	500 - 2000						
				octavas						
6	Magnitudes de escenario	Soporte precoz	ST _{m precoz} ; (dB)	250 - 2000	Desconocido	-24dB ; -8dB	dB			
		Soporte tardío	ST _{m tardío} ; (dB)	250 - 2000				Desconocido	-24dB ; -10dB	dB

Durante la toma de datos se han mantenido las recomendaciones informativas de los tres anexos de la norma, con el fin de poder comparar los resultados con los criterios para los auditorios (anexo A), y poder obtener magnitudes binaurales (anexo B) y magnitudes del escenario (anexo C).

4 Breve descripción de la configuración de las medidas

Las condiciones de iluminación eran las mínimas para poder operar en el Teatro y no se encontraba activo el sistema de climatización. Se monitorizaron las condiciones de temperatura, humedad relativa y presión barométrica, de forma que durante el intervalo de medición no se produjeron variaciones significativas de las condiciones superiores a un 20%.

Se ha consultado la siguiente bibliografía por lo que respecta a la fuente y su posición [7], [10], a la señal [11] y a las posiciones de medida [8], [12], [13].

Para todas las medidas se decide emplear una fuente sonora omnidireccional (B&K4292-L), que se sitúa en el centro geométrico del escenario, más concretamente con su centro acústico a 1,5m de altura por encima del suelo, en la posición intermedia sobre la línea de proscenio. El escenario se encuentra sin ningún elemento adicional, por lo que la fuente sonora se posiciona centrada sobre una línea divisoria imaginaria entre la caja escénica y la sala principal.

La señal de emisión que se radia a través de la fuente sonora, es una señal determinística de barrido exponencial entre 50Hz y 10kHz, donde su duración se escoge para que sea mayor al doble del tiempo de reverberación del recinto a la frecuencia mínima exigida por la norma (100Hz), y el número de repeticiones siempre superior a 9, de forma que la relación entre en la respuesta impulsiva integrada sea superior a 35dB, para el rango de frecuencia entre 100Hz a 5kHz.

De igual forma, para cada uno de los recintos se selecciona un número de posiciones de receptor sobredimensionado en al menos un factor de 1,2 al número mínimo de posiciones que indica la norma ISO 3382-1 en función del aforo, y siempre observando que al menos se dispusiera una posición de receptor para cada una de las áreas de audiencia representativas de cada zona (patio de butacas, palco, platea, anfiteatro) y planta (altura). La distribución final del número de posiciones de receptor se ha establecido en función del aforo y proporcionalmente al número de localidades de cada zona. Dado que las salas evaluadas son simétricas respecto al eje longitudinal de la misma, sólo se situaron puntos de receptor en una de las secciones del recinto (impares), lo que permite en definitiva un mejor muestreo espacial. La altura del receptor es siempre la misma (1,25m por encima del suelo en las ubicaciones de los asientos del público) para cada una de las cuatro baterías de medida que se plantean en función de la magnitud a evaluar (tabla 2), excepto en la medición de las magnitudes del escenario, que se sitúa a la misma altura de la fuente (1,5m).

La tabla 3 muestra el número de posiciones mínimo a emplear de acuerdo con la norma ISO 3382-1, así como el número de posiciones de receptor empleado finalmente en cada sala.

Tabla 3. Distribución del número posiciones de medida

Teatro-Circo	Aforo	Receptores	Receptores Sala	Dimensiones generales; (m)		
	(nº. localidades)	ISO 3382	(nº. posiciones)	Ancho máx.	Fondo (desde boca)	Altura máx.
T.Circo El Algar	496	6	12	22	17	13
T.Circo Albacete	936	6 a 8	28	24	25	14
T. Circo Murcia	968	6 a 8	14	37	18	15
T. Circo Orihuela	1200	8 a 10	14	38	32	14
T. Circo Madrid	2142	> 10	14	42	40	20

5 Programación de las medidas y parámetros acústicos calculados

Para cada teatro se programan cuatro sesiones de medición diferenciadas por lo que respecta a la instrumentación, procedimientos y objetivos de las mismas. En las tres primeras sesiones de medida las posiciones de los receptores son las mismas, aunque el sistema de adquisición de datos ha sido distinto como se explica a continuación. En la cuarta sesión las posiciones receptoras se encontraban en el escenario.

La primera batería de medidas tiene como objetivo obtener los datos necesarios para poder calcular los parámetros relacionados con los aspectos subjetivos 1, 2 y 3 (nivel sonoro, reverberación percibida y claridad del sonido percibida). Para ello se han empleado dos micrófonos omnidireccionales (B&K4190L) midiendo de forma simultánea en las diferentes posiciones. Con los resultados de estas medidas se ha obtenido, para cada posición, las magnitudes fuerza sonora [14] (G_{dB}), tiempo de reverberación inicial (EDT_{s}) y tiempo de reverberación (RT_{s}) [15], así como las magnitudes relacionadas con la claridad del sonido percibida como claridad musical ($C_{80;dB}$) [16], definición (D_{50}) [17], y tiempo central ($T_{s;ms}$) [18].

La segunda batería de medidas se ejecuta para poder determinar el aspecto subjetivo 4 (ancho aparente de la fuente-ASW). En este caso se ha utilizado una configuración pareada con dos micrófonos [19] iguales (Audiotechnica AT4050) pero distinto patrón de directividad (bidireccional y omnidireccional) en cada punto. La configuración utilizada ajusta previamente las sensibilidades de los micrófonos, para conseguir que ambos proporcionen el mismo nivel en condiciones de campo sonoro difuso. El micrófono bidireccional se monta verticalmente sobre el omnidireccional, de forma que el conjunto apunte desde cada posición de receptor (mínimo del patrón bidireccional) hacia la posición de la fuente sonora situada en el escenario. Los resultados de estas medidas permiten calcular la magnitud de fracción de energía lateral precoz (J_{LF}) [20].

Para caracterizar el aspecto subjetivo 5 (envolvente del oyente-LEV) se realiza una tercera batería de medidas empleando un HATS (simulador de cabeza y torso artificial-B&K4100), que se orienta hacia la posición de la fuente sonora desde cada posición de receptor. Con estos resultados se determina la envolvente del oyente (LEV) [21], a través de las magnitudes temprana y reverberante de los coeficientes de correlación cruzada inter-aural (IACC) [22], para dos intervalos temporales de integración de 50ms y 80ms. De esta forma se obtiene un conjunto de cuatro coeficientes basados en la IACC [23] que describen la desemejanza de la llegada de la señal en los dos oídos, donde el subíndice ($_{0,t}$) representa las reflexiones tempranas del IACC, y el subíndice ($_{t,+}$) representa el sonido reverberante del IACC.

Por último se plantea la caracterización del escenario [24] (aspecto subjetivo 6) mediante una cuarta batería de medición, que permite obtener las magnitudes acústicas tanto de Soporte precoz ($ST_{precoz;dB}$) como de Soporte tardío ($ST_{tardío;dB}$). En este caso el escenario se encuentra completamente vacío (sin instrumentos, atriles u otro mobiliario) y las posiciones de medida se sitúan en el escenario, a la misma altura de la fuente sonora (1,5m), en tres posiciones situadas sobre una circunferencia de 1m de radio y centrada sobre centro acústico de la fuente, con angulación de 90° entre ellas (frontal, trasera, lateral). Todas las medidas se han grabado en formato de audio digital sin compresión (wav: 48kHz/24bits) y se han procesado mediante un software [25] dedicado (Dirac v.6), que permite extraer los resultados de cada una de las magnitudes acústicas para cada batería de medida, en bandas frecuenciales de tercio de octava desde 100Hz a 5kHz, y de octava desde 125Hz a 4kHz [26].

6 Resultados e interpretación preliminar de los mismos

A continuación, se presentan los resultados de todas las magnitudes calculadas en bandas de octava (desde 125Hz a 4kHz), agrupadas según el aspecto subjetivo al que corresponden y para los cinco

teatros estudiados. No se han observado grandes variaciones entre los distintos puntos de una sala, por lo cual se ha optado por presentar los valores espectrales promedio calculados para cada teatro, incluyendo la desviación típica para cada banda de frecuencia.

Debido a la complejidad que supone la realización del estudio correlacionado de todos los datos de los que se dispone y a la brevedad de este artículo, se incluye en el último apartado de esta sección, un cuadro resumen que incluye, para cada teatro estudiado, los valores promedio en frecuencia de número único según el ejemplo de la tabla A.1 del anexo A de la norma ISO 3382-1. En lo sucesivo y en este contexto, se considerará baja frecuencia a las bandas de 125Hz y 250Hz, media frecuencia a las bandas de 500 y 1000Hz y alta frecuencia a las bandas de 2000 y 4000Hz.

6.1 Aspecto subjetivo 1: nivel sonoro subjetivo

En la figura 1 se puede observar que los teatros de menor volumen y aforo (Algar, Albacete y Murcia) son lo que presentan valores más bajos de fuerza sonora, estando en el caso de Algar fuera de los límites recomendables a baja frecuencia.

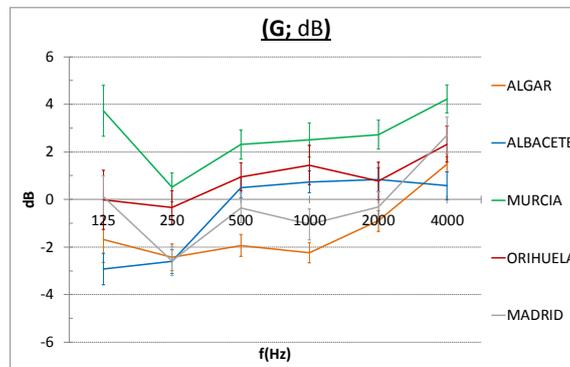


Fig. 1. Fuerza sonora (G_{dB}).

6.2 Aspecto subjetivo 2: reverberación percibida

Como se aprecia en la figura 2 (cuyo origen de tiempos es 0,5s para facilitar la visualización), en todos los teatros excepto en el Algar, la reverberación presenta valores algo más elevados en la zona de baja frecuencia (125Hz) y más bajos en la zona de alta frecuencia (4kHz), típicos del comportamiento en la absorción de los materiales y del aire, lo que llevaría a obtener valores de los parámetros de Calidez (BR) y Brillo (Br) ligeramente superiores e inferiores a 1 respectivamente.

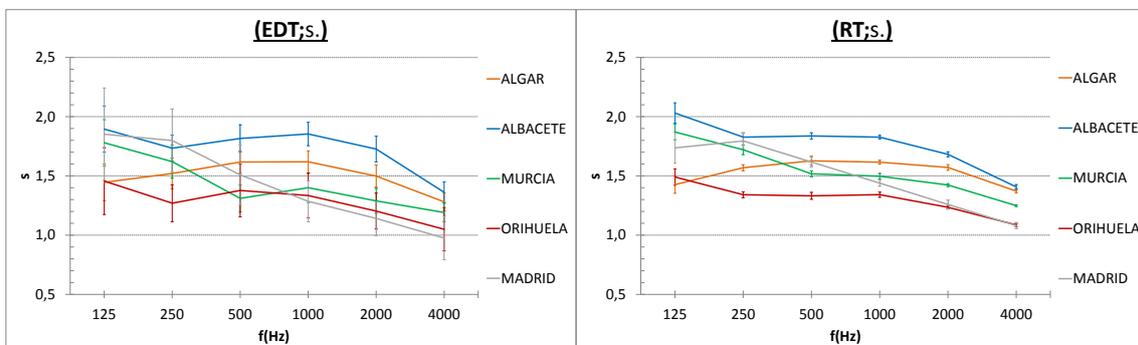


Fig. 2 Comparación entre los parámetros EDT-(izda.), y RT-(dcha.).

Si bien los valores numéricos del RT son ligeramente superiores al EDT, las tendencias frecuenciales de los dos parámetros para cada teatro casos son muy similares. También se aprecia que la dispersión de los valores numéricos evaluada a través de la desviación típica es menor para el RT que para el EDT, lo que revela que en el EDT influye la caída de los 10 primeros decibelios procedentes de reflexiones mayormente tempranas, y en el RT se integran un mayor número de reflexiones tempranas y tardías hasta una caída de 30dB y donde la posición es menos determinante.

6.3 Aspecto subjetivo 3: Claridad del sonido percibida

En la figura 3 se aprecia que las respuestas de la claridad musical (C_{80}) y la definición (D_{50}), se encuentran en casi todos los casos dentro de los rangos de valores aceptables, aunque en el caso del teatro de Madrid se alcanzan valores excesivamente elevados en alta frecuencia. Se observa que en los dos teatros de menor volumen (Algar y Albacete), los valores de C_{80} y D_{50} son muy adecuados y bastante homogéneos en todo el rango de frecuencia. El Teatro de Orihuela, siendo el segundo mayor en volumen y en aforo, también presenta valores bastante uniformes, mientras que en el de Madrid y en el de Murcia (de volumen y aforo análogo al de Albacete) los parámetros varían considerablemente con la frecuencia.

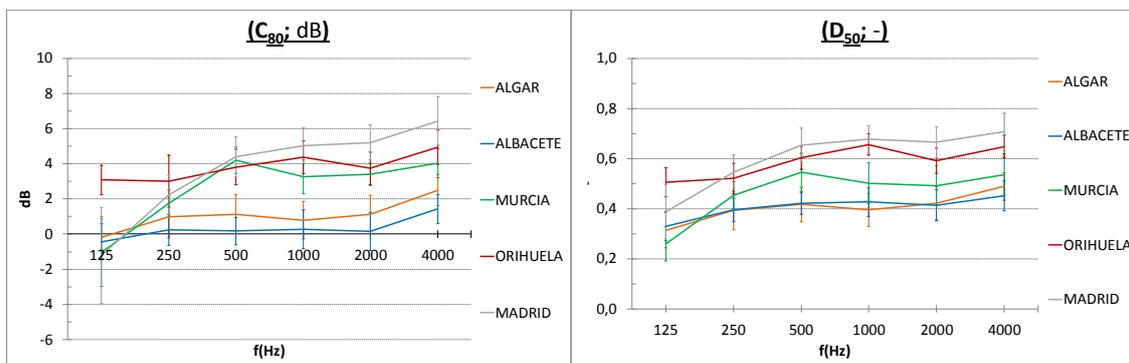


Fig. 3. Claridad musical C_{80} (izda.) y Definición D_{50} (dcha.).

En la figura 4 podemos comprobar que los teatros de Albacete y El Algar presentan valores bastante uniformes de la magnitud de tiempo central, mientras que los teatros de Orihuela, Murcia y Madrid los valores del tiempo central decrecen fuertemente con la frecuencia, situándose en alta frecuencia por debajo del rango típico de la norma ISO 3382-1.

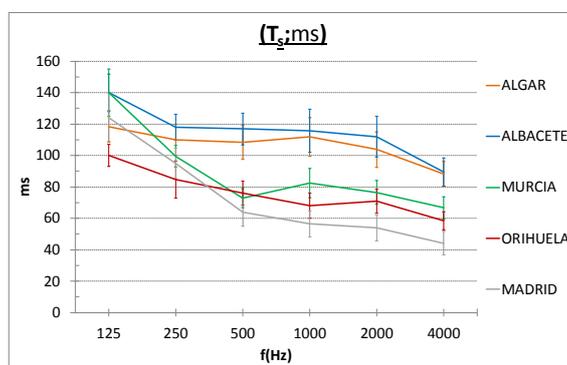


Fig. 4. Tiempo central, T_s .

6.4 Aspecto subjetivo 4: ancho aparente de la fuente (ASW)

En la figura 5 comprobamos que los teatros de mayor volumen y aforo (Orihuela y Madrid), además de presentar valores excesivamente elevados de la magnitud de fracción de energía lateral precoz en algunas bandas de octava, presentan más variación del J_{LF} con la frecuencia.

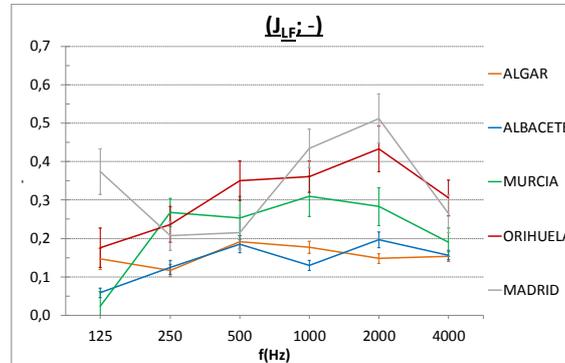


Fig. 5. Fracción de energía lateral precoz, J_{LF}

En los dos teatros más pequeños (Algar y Albacete), los valores son nuevamente más uniformes y en todo caso dentro de los rangos aceptables según la norma ISO 3382-1. El teatro “intermedio” (el de Murcia), presenta un valor de J_{LF} muy bajo en la octava de 125Hz, y aceptable en el resto del rango de frecuencias estudiado. En cuanto a la dispersión de valores mostrada a través de la desviación típica, se aprecia asimismo una mayor dispersión en los teatros de Madrid y Orihuela que en los de Albacete y El Algar.

6.5 Aspecto subjetivo 5: envolvente del oyente (LEV)

En las figuras 6 y 7 se representan los coeficientes de correlación interaural segmentados en dos tiempos de integración (t ; 50ms y 80ms). A su vez, la magnitud del coeficiente de correlación cruzada interaural (IACC), se muestra tanto para las reflexiones tempranas ($_{(0,t)}$) con un intervalo de integración entre la llegada del sonido directo ($_{(0)}$) hasta un tiempo ($_{(t)}$), y que se muestra en la figura 6, como para el sonido reverberante ($_{(t,+)}$) con un intervalo de integración entre el tiempo ($_{(t)}$) y un tiempo superior al tiempo de reverberación de la sala ($_{(+)}$), y que se muestra en la figura 7.

En la figura 6 apreciamos, casi independientemente del intervalo de integración escogido para el cálculo de las reflexiones tempranas (50ms y 80ms), que el coeficiente del IACC ($_{(0,t)}$), se encuentra en una horquilla acotada entre los valores más bajos del teatro del Algar y los valores más altos del teatro de Madrid, con tendencia frecuencial decreciente en ambos casos.

Al comparar entre sí los resultados de las figuras 6 y 7 apreciamos que las diferencias binaurales se hacen más presentes entre los teatros, en lo que se refiere a las reflexiones tempranas, donde se obtienen mayores diferencias del IACC[27] que cuando comparamos con el sonido reverberante, donde si bien existe una tendencia decreciente del valor del IACC en función de la frecuencia y más acusado en 500Hz, es más difícil observar las diferencias entre los teatros independientemente del intervalo de integración.

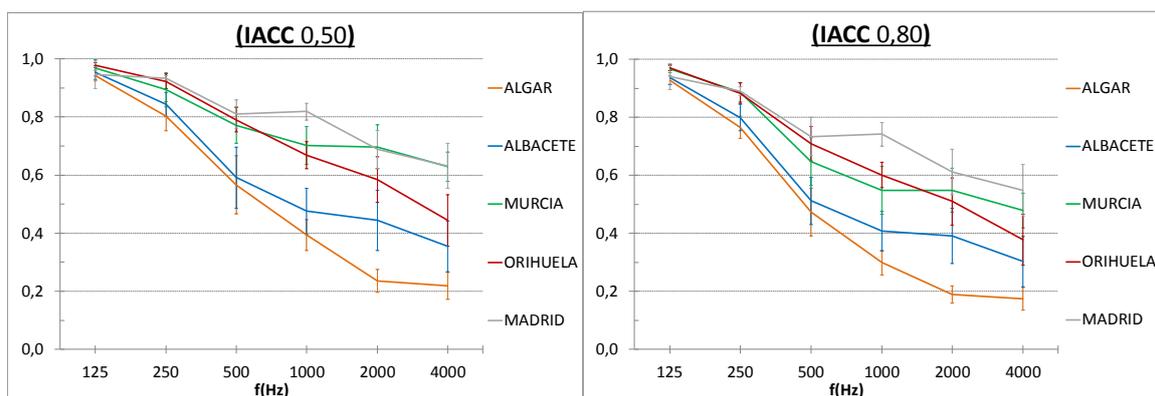


Fig. 6. Magnitudes binaurales para las reflexiones tempranas hasta 50ms. (IACC_{0,50})-(izda.), y hasta 80ms. (IACC_{0,80})-(dcha.).

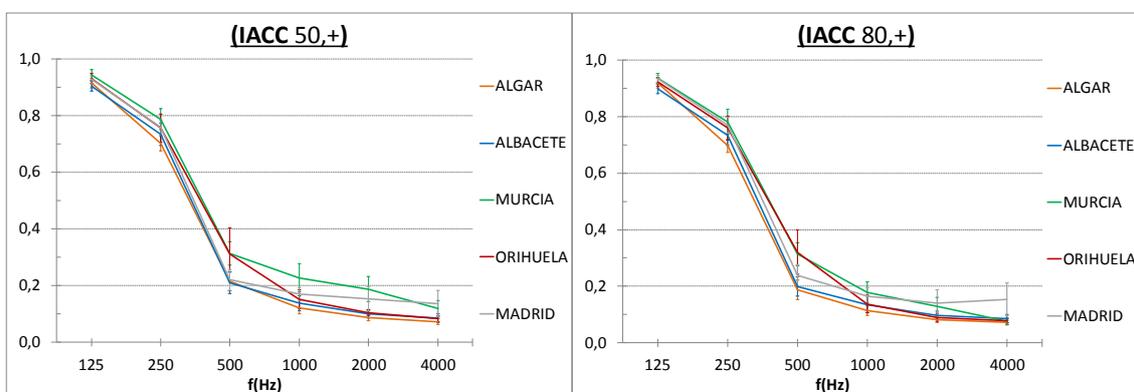


Fig. 7. Magnitudes binaurales del sonido reverberante desde 50ms (IACC_{50,+})-(izda.), y desde 80ms (IACC_{80,+})-(dcha.).

6.6 Aspecto subjetivo 6: soporte objetivo del escenario

En la figura 8 comprobamos que el soporte precoz, relacionado con la facilidad de audición para los demás miembros de la orquesta, tiene poca variabilidad para cada teatro en las bandas centrales, excepto para el de Murcia en el que se presentan grandes variaciones en todo el rango de frecuencias. En cuanto al soporte tardío, relacionado con la respuesta de la sala tal y como la oye el músico, se comprueba que excepto para la banda de frecuencia más baja (125Hz), el comportamiento espectral es bastante plano, con valores entre los -10dB a -15dB y algo inferiores a los alcanzados en el Soporte precoz.

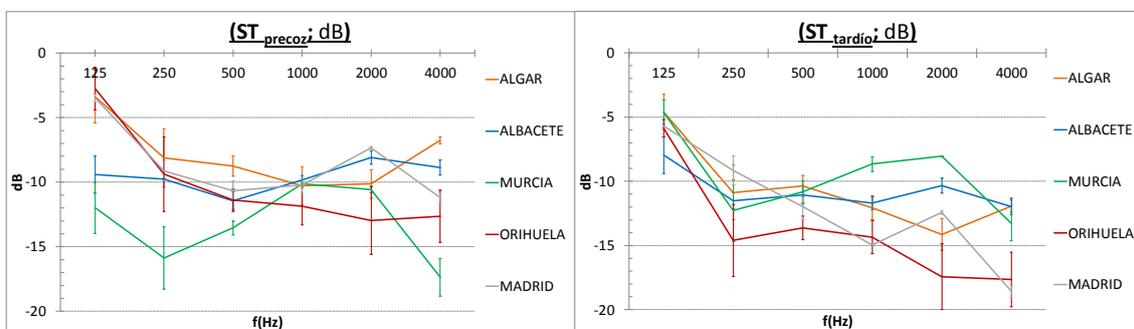


Fig. 8. Variación de la magnitud de escenario de Soporte precoz (ST_{precoz}: dB)-(izda.), y de Soporte tardío (ST_{tardío}: dB)-(dcha.).

6.7 Resumen de parámetros analizados: Valores únicos

Uno de los objetivos que se plantean en este artículo es recoger de forma simplificada un conjunto de valores representativos de cada uno de los teatros estudiados. Es por ello que se ha elaborado la tabla 3 en base al ejemplo de la tabla A.1 del anexo A de la norma ISO 3382-1, en la que se incluyen los valores promedio en frecuencia de número único obtenidos para cada Teatro-Circo.

Tabla 4: Resumen de valores promediados en frecuencia de número único.

	Magnitud		Rango típico	Unidades	ALGAR	ALBACETE	MURCIA	ORIHUELA	MADRID
			ISO 3382						
1	Fuerza sonora	G_m ; (dB)	-2dB ; +10dB	dB	-2,1	0,6	2,4	1,2	-0,7
2	Tiempo reverberación inicial	EDT_m ; (s)	1,0 ; 3,0	s	1,62	1,83	1,36	1,36	1,40
	Tempo de reverberación	RT_m ; (s.)		s	1,62	1,83	1,51	1,34	1,53
3	Claridad	C_{80m} ; (dB)	-5dB ; +5dB	dB	1,0	0,2	3,7	4,1	4,7
	Definición	D_{50m}	0,3 ; 0,7	(-)	0,41	0,42	0,52	0,63	0,67
	Tiempo central	T_{sm} ; (mseg)	60ms ; 260ms	ms	110	116	78	72	60
4	Fracción energía lateral	J_{lfm}	0,05 ; 0,35	(-)	0,16	0,12	0,21	0,28	0,31
5	Magnitud binaural	$IACC_m 0,50$		(-)	0,40	0,50	0,72	0,68	0,77
		$IACC_m 0,80$		(-)	0,32	0,44	0,58	0,61	0,70
		$IACC_m 50,+$		(-)	0,14	0,15	0,24	0,19	0,18
		$IACC_m 80,+$		(-)	0,13	0,14	0,21	0,18	0,18
6	Soporte precoz	$ST_m precoz$; (dB)	-24dB ; -8dB	dB	-9,3	-9,8	-12,5	-11,4	-9,3
	Soporte tardío	$ST_m tardío$; (dB)	-24dB ; -10dB	dB	-11,9	-11,2	-10,0	-15,0	-12,1

7 Conclusiones

En este trabajo se analizan y recopilan las características acústicas más relevantes de un conjunto de cinco Teatros-Circo, permitiendo una primera valoración del comportamiento acústico de un tipo de recinto que posee tanto funcional como arquitectónicamente un factor común. La caracterización de estos recintos mediante la evaluación de un grupo de parámetros acústicos fundamentados en la norma ISO 3382-1 ha permitido un completo estudio de los mismos en su configuración como Teatro, y plantea la posibilidad de analizar objetivamente sus diferencias a través de los parámetros acústicos, que a su vez están íntimamente relacionados con los aspectos subjetivos del oyente. Este primer análisis puede servir de base tanto de experimentación de los procedimientos de medida como de obtención de datos característicos, que permite alimentar un modelo de comportamiento acústico específico para el tipo de recintos Teatro-Circo, a medida que se dispone de un mayor número de este tipo de recintos, a la vez que se permite comparar sus valores promedio en frecuencia de número único, con otro tipo de salas de espectáculos como teatros o auditorios.

Como se deriva de los datos compilados en la tabla 3, y dado que el rango típico de valores recogidos en los anexos de la norma ISO 3382-1 corresponde a auditorios, se podría establecer que, a la vista de los resultados, la acústica de los Teatro-Circo objeto de este trabajo es similar a la de un auditorio. Sin embargo, dado que los rangos típicos de la norma tienen una amplia horquilla de valores, sería necesario un análisis con mayor grado de profundidad para establecer si este tipo de salas tiene un comportamiento acústico singular o diferenciado respecto al indicado por la norma ISO 3382-1 para auditorios, ya que está basado en los valores promedio obtenidos en media-alta frecuencia (500Hz-1000Hz/2000Hz), y para alguna de las magnitudes aún no se dispone de valores de referencia

normativos. Este trabajo permite contribuir a engrosar el número de salas que disponen de una completa caracterización acústica, con el objetivo de poder establecer posteriormente modelos de comportamiento acústico, o un sistema de clasificación y catalogación acústico de salas en función de su respuesta.

Este trabajo, además, abre la puerta a validar modelos de simulación, por lo que permitiría inicialmente nuevos campos de experimentación, como por ejemplo el análisis de las diferencias que se obtienen al cambiar el uso de la sala, partiendo de la configuración como teatro a la configuración como circo, o abordar con garantías acciones de rehabilitación e intervención en las que se producen modificaciones en la geometría y materiales. El disponer de un modelo de simulación permitiría llevar a cabo procesos de auralización, con los que se podría verificar perceptualmente la acústica de la sala o extender su compatibilidad con sistemas inmersivos, además de poder analizar el comportamiento de sistemas de sonorización en cada Teatro-Circo.

Referencias

- [1] G. M. i Eiximenis, “El Teatro-Circo en España: apuntes,” *La Factoría; Revista Bimensual de Pensamiento Social*, 2009.
- [2] M. Garai, F. Morandi, D. D’Orazio, S. De Cesaris, and L. Loreti, “Acoustic measurements in eleven Italian opera houses: Correlations between room criteria and considerations on the local evolution of a typology,” *Build. Environ.*, vol. 94, pp. 900–912, 2015.
- [3] E. Gutiérrez Mozo, “El teatro circo de Albacete,” *Loggia, Arq. Restauración*, 2016.
- [4] S. Quintana, J. A. Ballesteros, M. D. Fernández, and M. Machimbarrena, “El Teatro-Circo de Albacete: Caracterización y comparación de ambas configuraciones escénicas en base a diversos parámetros medidos según la norma ISO-3382,” in *Acustica -Tecnacústica*, 2020.
- [5] Fundación Autor; Sociedad General de Autores y Editores, “No Title,” *MIREM (Mapa Informatizado de Recintos Escénicos y Musicales)*. [Online]. Available: <http://www.mirem.net/>. [Accessed: 20-Aug-2019].
- [6] T. Hidaka and L. L. Beranek, “Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 107, no. 1, pp. 368–383, Jan. 2000.
- [7] R. Pompoli and N. Prodi, “Guidelines for acoustical measurements inside historical opera houses: Procedures and validation,” *J. Sound Vib.*, vol. 232, no. 1, pp. 281–301, 2000.
- [8] F. Martellotta, E. Cirillo, A. Carbonari, and P. Ricciardi, “Guidelines for acoustical measurements in churches,” *Appl. Acoust.*, 2009.
- [9] ISO, “ISO 3382-1 - Acoustics—Measurement of Room Acoustic Parameters—Part 1: Performance Spaces,” *Int. Organ. Stand. Brussels, Belgium*, 2009.
- [10] R. San Martín and M. Arana, “Uncertainties caused by source directivity in room-acoustic investigations,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 123, no. 6, 2008.
- [11] A. Farina, “Advancements in impulse response measurements by sine sweeps,” in *Audio Engineering Society - 122nd Audio Engineering Society Convention 2007*, 2007, vol. 3, pp. 1626–1646.
- [12] I. Witew, P. Dietrich, D. De Vries, and M. Vorländer, “Uncertainty of room acoustic measurements—How many measurement positions are necessary to describe the conditions in auditoria?,” in *International Symposium on Room Acoustics*, 2010.

- [13] T. Akama, H. Suzuki, and A. Omoto, "Distribution of selected monaural acoustical parameters in concert halls," *Appl. Acoust.*, vol. 71, no. 6, pp. 564–577, 2010.
- [14] C. C. J. M. Hak, R. H. C. Wenmaekers, J. P. M. Hak, L. C. J. Van Luxemburg, and A. C. Gade, "Sound strength calibration methods," in *20th International Congress on Acoustics 2010, ICA 2010 - Incorporating Proceedings of the 2010 Annual Conference of the Australian Acoustical Society*, 2010, vol. 4, pp. 2739–2744.
- [15] M. Aretz and R. Orłowski, "Sound strength and reverberation time in small concert halls," *Appl. Acoust.*, vol. 70, no. 8, pp. 1099–1110, 2009.
- [16] C. M. Jasinski, M. J. Ahearn, C. B. Giacomoni, C. I. Ormsbee, M. J. Schaeffler, and A. P. Wells, "Investigations of the just-noticeable-difference of clarity index (C80)," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 130, no. 4, pp. 2429–2429, Oct. 2011.
- [17] M. Galindo, T. Zamarreño, and S. Girón, "Clarity and definition in mudejar-gothic churches," *Build. Acoust.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–16, Mar. 1999.
- [18] F. Martellotta, "The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 128, no. 2, pp. 654–663, Aug. 2010.
- [19] S. Girón, M. Galindo, and T. Zamarreño, "Distribution of lateral acoustic energy in Mudejar-Gothic churches," *J. Sound Vib.*, vol. 315, no. 4–5, pp. 1125–1142, 2008.
- [20] M. Barron, "Late lateral energy fractions and the envelopment question in concert halls," *Appl. Acoust.*, vol. 62, no. 2, pp. 185–202, 2001.
- [21] L. L. Beranek, "Concert hall acoustics-2008," *AES J. Audio Eng. Soc.*, vol. 56, no. 7–8, pp. 532–544, Jul. 2008.
- [22] T. Okano, L. L. Beranek, and T. Hidaka, "Relations among interaural cross-correlation coefficient (IACCE), lateral fraction (LFE), and apparent source width (ASW) in concert halls," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 104, no. 1, pp. 255–265, Jul. 1998.
- [23] T. Hidaka, L. L. Beranek, and T. Okano, "Interaural cross-correlation, lateral fraction, and low-and high-frequency sound levels as measures of acoustical quality in concert halls," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 98, no. 2, pp. 988–1007, Aug. 1995.
- [24] A. Christian, "Acoustics for symphony orchestras; Status after three decades of experimental research," *Build. Acoust.*, vol. 18, no. 3–4, pp. 181–206, 2011.
- [25] L. Álvarez-Morales, M. Galindo, S. Girón, T. Zamarreño, and R. M. Cibrián, "Acoustic Characterisation by Using Different Room Acoustics Software Tools: A Comparative Study," *Acta Acust. united with Acust.*, vol. 102, no. 3, pp. 578–591, Jun. 2016.
- [26] M. D. Țopa, N. Toma, B. S. Kirei, I. Homana, M. Neag, and G. De Mey, "Comparison of different experimental methods for the assessment of the room's acoustics," *Acoust. Phys.*, vol. 57, no. 2, pp. 199–207, Mar. 2011.
- [27] J. S. Bradley, "Comparison of concert hall measurements of spatial impression," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 96, no. 6, pp. 3525–3535, 1994.